

INSTYTUT ŚRODOWISKA ROLNICZEGO I LEŚNEGO POLSKIEJ AKADEMII NAUK W POZNANIU

AKADEMIA TALENTÓW PRZYRODNICZYCH

– podwyższenie jakości kształcenia kompetencji
naukowych i przyrodniczych w szkołach ponadgimnazjalnych
w ramach przedmiotu *Ekologia Krajobrazu*

Ekologia Krajobrazu cz. I

**Podstawy teoretyczne
wraz z projektami badawczymi**



KAPITAŁ LUDZKI
NARODOWA STRATEGIA SPÓJNOŚCI



UNIA EUROPEJSKA
EUROPEJSKI
FUNDUSZ SPOŁECZNY



Niniejsza publikacja została wydana w ramach projektu pt. „Akademia talentów przyrodniczych – podwyższenie jakości kształcenia kompetencji naukowych i przyrodniczych w szkołach ponadgimnazjalnych w ramach przedmiotu Ekologia krajobrazu”, współfinansowanego ze środków Europejskiego Funduszu Społecznego w ramach Programu Operacyjnego Kapitał Ludzki 2007-2013.

Publikacja jest dystrybuowana bezpłatnie.

Wydawca:

Instytut Środowiska Rolniczego i Leśnego
Polskiej Akademii Nauk w Poznaniu
ul. Bukowska 19, 60-809 Poznań
www.isrl.poznan.pl

Praca zbiorowa pod redakcją dr inż. Marii Szyszkiewicz-Golis i mgr inż. Marii Beczkiewicz

Opracowanie merytoryczne:

prof. dr hab. Maciej Pietrzak, PWSZ Leszno – rozdz. 1.2
prof. dr hab. Andrzej Kędziora, IŚRL PAN – rozdz. 2.1, 2.2, 2.3
prof. dr hab. Zbigniew W. Kundzewicz, IŚRL PAN – rozdz. 5.1
prof. dr hab. Jerzy Karg, IŚRL PAN – 6.1
prof. dr hab. Jerzy Solon, IGI PZ PAN – 1.3, 6.1
dr hab. Krzysztof Kujawa, prof. IŚRL PAN, IŚRL PAN – rozdz. 3.1, 3.2, 3.5, 3.8, 3.9, 3.10, 3.11
dr hab. Piotr Kowalczak, prof. IŚRL PAN, IŚRL PAN – rozdz. 4.1
dr hab. Hanna Przybysławska-Goldyn, prof. IŚRiL PAN – rozdz. 3.7
dr Iwona Pińskwar, IŚRiL PAN – 4.4, 5.8
dr Piotr Pińskwar, IŚRiL PAN – 6.4
dr Zdzisław Bernacki, IŚRL PAN – rozdz. 2.1, 2.4
dr Damian Józefczyk, IŚRL PAN – rozdz. 5.2, 5.4
dr Anna Kujawa, IŚRL PAN – rozdz. 3.6, 3.10
dr Mostefa Mana, IŚRL PAN – rozdz. 4.2, 4.3
dr Maciej Nowak, IŚRL PAN – rozdz. 6.2, 3.3
dr Maria Oleszczuk, IŚRL PAN – rozdz. 3.3, 3.4
dr Małgorzata Szwed, IŚRL PAN – rozdz. 5.1, 5.3, 5.5
dr Maria Szyszkiewicz-Golis, IŚRL PAN – rozdz. 1.1, 6.3
mgr Dariusz Graczyk, IŚRL PAN – rozdz. 5.2, 5.3, 5.4, 5.5
mgr Dariusz Sobczyk, IŚRL PAN – rozdz. 3.8, 3.9
mgr Rafał Łęcki, IŚRL PAN – rozdz. 3.11
mgr Krzysztof Janku, IŚRL PAN – rozdz. 4.2, 4.3

Konsultacja naukowa:

prof. dr hab. Jerzy Solon
Instytut Geografii i Przestrzennego Zagospodarowania Polskiej Akademii Nauk w Warszawie

Recenzenci:

prof. dr hab. Iwona Piotrowska
Wydział Nauk Geograficznych i Geologicznych Uniwersytetu im. Adama Mickiewicza w Poznaniu, Pracownia Dydaktyki Geografii i Edukacji Ekologicznej

prof. dr hab. Jerzy Solon
Instytut Geografii i Przestrzennego Zagospodarowania Polskiej Akademii Nauk w Warszawie

mgr Grzegorz Lorek
Liceum Ogólnokształcące nr 1 w Lesznie

Konsultacje (nauczyciele):

mgr Violetta Błazeczek, I Liceum Ogólnokształcące im. O. Kolberga w Kościanie
mgr Danuta Boczek, Zespół Szkół Ponadgimnazjalnych im. J. Kasprówicza w Nietążkowie
mgr Maria Depczyńska, Zespół Szkół Ponadgimnazjalnych im. J. Kasprówicza w Nietążkowie
mgr Eliza Franciszkiewicz-Łakoma, I Liceum Ogólnokształcące im. J. Dąbrowskiego w Rawiczu
mgr Katarzyna Krzeszewska, Liceum Ogólnokształcące im. Powstańców Wielkopolskich w Środzie Wlkp.
mgr Iwona Krzyczkowska, Liceum Ogólnokształcące w Zespole Szkół im. E. Szanieckiej w Pniewach
mgr Andrzej Lisek, I Liceum Ogólnokształcące im. J. Dąbrowskiego w Rawiczu
mgr Grzegorz Lorek, I Liceum Ogólnokształcące w Lesznie
mgr Justyna Malepsza-Węćlaś, I Liceum Ogólnokształcące im. J. Dąbrowskiego w Rawiczu
mgr Monika Marciniak-Woźniak, Liceum Ogólnokształcące w Zespole Szkół im. E. Szanieckiej w Pniewach
mgr Grzegorz Maślankiewicz, I Liceum Ogólnokształcące w Lesznie
mgr Agnieszka Misiewicz, Liceum Ogólnokształcące w Zespole Szkół im. E. Szanieckiej w Pniewach
mgr Monika Oleszak, Zespół Szkół Ponadgimnazjalnych im. J. Kasprówicza w Nietążkowie
mgr Robert Padurek, I Liceum Ogólnokształcące im. O. Kolberga w Kościanie
mgr Anna Podbielska, Liceum Ogólnokształcące im. Powstańców Wielkopolskich w Środzie Wlkp.
mgr Agnieszka Sutula, Liceum Ogólnokształcące im. Powstańców Wielkopolskich w Środzie Wlkp.
mgr Zbigniew Trzmiel, I Liceum Ogólnokształcące w Lesznie
mgr Janina Wawrzyniak, I Liceum Ogólnokształcące im. O. Kolberga w Kościanie

Redakcja techniczna: dr Daria Zarabska-Bożejewicz

Druk: „GAMMA” Aleksander Urbański, ul. Sienkiewicza 55, 62-031 Luboń

ISBN: 978-83-938379-4-6

Poznań, wrzesień 2015



KAPITAŁ LUDZKI
NARODOWA STRATEGIA SPÓJNOŚCI

UNIA EUROPEJSKA
EUROPEJSKI
FUNDUSZ SPOŁECZNY



Publikacja współfinansowana ze środków Unii Europejskiej w ramach Europejskiego Funduszu Społecznego

SPIS TREŚCI

Wstęp	5
1. Wprowadzenie do Ekologii krajobrazu	6
1.1. Ekologia krajobrazu – przedmiot badań i interdyscyplinarność	6
1.2. Istota krajobrazu i rozwój badań	8
1.3. Krajobraz i ekologia krajobrazu – przegląd najważniejszych ujęć	11
2. Przepływ energii słonecznej i obieg materii w środowisku przyrodniczym, w tym w krajobrazie rolniczym	15
2.1. Przepływ energii słonecznej i obieg wody w krajobrazie rolniczym	15
2.2. PROJEKT: Energia i woda w krajobrazie. Czy rośliny gorączkują?	31
2.3. PROJEKT: Wpływ zasolenia gleby na proces przepływu wody przez roślinę	38
2.4. PROJEKT: Co to znaczy, że rośliny wiążą energię?	44
3. Różnorodność biologiczna w krajobrazie	53
3.1. Różnorodność biologiczna – zależności krajobrazowe, wpływ człowieka	53
3.2. PROJEKT: Krajobraz jako bociania „stołówka” – czy struktura krajobrazu wpływa na efektywność żerowania i zdobywania pokarmu dla młodych u bociana białego?	66
3.3. PROJEKT: Czy istnieje zależność między typem krajobrazu rolniczego a liczbą i różnorodnością ofiar w sieciach pojęczych?	71
3.4. PROJEKT: Jak wykorzystać pająki w ograniczaniu zagęszczeń szkodników upraw? Wpływ zadrzewień w krajobrazie rolniczym na różnorodność i liczebność pająków sieciowych na polach uprawnych	76
3.5. PROJEKT: Wpływ struktury terenów uprawnych na zagęszczenie ptaków	80
3.6. PROJEKT: Czy rozdrobnienie środowisk w krajobrazie jest korzystne dla różnorodności roślin? Analiza znaczenia ekotonów dla liczby gatunków roślin naczyniowych	87
3.7. PROJEKT: Jak inwazje obcych gatunków roślin wpływają na bioróżnorodność?	90
3.8. PROJEKT: Motyle jako wskaźnik jakości krajobrazu	95
3.9. PROJEKT: Jaka struktura krajobrazu jest najdogodniejsza dla motyli dziennych	99
3.10. PROJEKT: SLOSS – Single Large Or Several Small, czyli czy duży może więcej?	104
3.11. PROJEKT: Jednolity czy mozaikowy? Polny czy łąkowy? Jaki krajobraz preferuje sarna?	109
4. Gospodarka zasobami wodnymi w krajobrazie, w tym na terenach zurbanizowanych	113
4.1. Wprowadzenie	113
4.2. PROJEKT: Cieki i zbiorniki wodne jako istotny element krajobrazu w gospodarowaniu wodami powierzchniowymi	123
4.3. PROJEKT: Zasoby wody na świecie i ich znaczenie w krajobrazie	126
4.4. PROJEKT: Ryzyko powodziowe – co powinniśmy wiedzieć?	127
5. Zmiany klimatu, edukacja globalna	135
5.1. Wprowadzenie	135
5.2. PROJEKT: Efekt szklarniowy - dobrodziejstwo czy zagrożenie?	145
5.3. PROJEKT: Klimat idealny dla Ciebie. Gdzie chciałabyś mieszkać?	166
5.4. PROJEKT: Miejska (urbanizacyjna) wyspa ciepła	158
5.5. PROJEKT: Przysłowia mądrością narodu – sprawdzalność przysłów. Czy pogoda zna przysłowia? ..	172
5.6. PROJEKT: Gdzie jest globalne ocieplenie?	178
6. Gospodarowanie krajobrazem	189
6.1. Gospodarowanie krajobrazem (struktura, kształtowanie, funkcjonowanie)	189
6.2. PROJEKT: Jak zmienia się krajobraz?	197
6.3. PROJEKT: Zaprojektuj zadrzewienia chroniące jak najlepiej różnorodność biologiczną i pełniące funkcję przeciwwietrzną	199
6.4. PROJEKT: Tworzenie się nowego ekosystemu wodnego na przykładzie zbiornika Rydzyna. Mała retencja wodna w krajobrazie rolniczym	203
Dodatkowe materiały – artykuły	207
Wprowadzenie do ekologii krajobrazu – istota krajobrazu i rozwój badań	207
Percepcja krajobrazu – krajobraz multisensoryczny	215
Krajobraz i potencjał rekreacyjny	220
Organizacja krajobrazu w skali globalnej, regionalnej i lokalnej	228
Przemiany krajobrazu jako efekt antropopresji	236
Wpływ zmian klimatycznych i użytkowania ziemi na bilans wodny zlewni i przepływy w ciekach	242
Niekorzystny wpływ procesów urbanizacji i intensywnej gospodarki rolniczej w krajobrazie na przykładzie cieków i towarzyszących im zbiorników	254
Wprowadzanie zadrzewień do krajobrazów rolniczych	264
Inwazje roślin – przyczyny, przebieg i skutki	268
Wpływ fragmentacji siedlisk na stan zachowania bioty porostów	274
Słownik	282
O autorach	296

WSTĘP

Niniejszy program powstał w ramach projektu pt.: „AKADEMIA TALENTÓW PRZYRODNICZYCH – podwyższenie jakości kształcenia kompetencji naukowych i przyrodniczych w szkołach ponadgimnazjalnych w ramach przedmiotu Ekologia krajobrazu”, współfinansowanego ze środków Europejskiego Funduszu Społecznego w ramach Programu Operacyjnego Kapitał Ludzki 2007–2013, Priorytetu III. Wysoka jakość systemu oświaty, Działania 3.3. Poprawa jakości kształcenia, Poddziałania 3.3.4. Modernizacja treści i metod kształcenia, nr umowy: UDA-POKL.03.03.04-00-281/12-00.

Projekt pt. „AKADEMIA TALENTÓW PRZYRODNICZYCH – podwyższenie jakości kształcenia kompetencji naukowych i przyrodniczych w szkołach ponadgimnazjalnych w ramach przedmiotu Ekologia krajobrazu” jest odpowiedzią na istniejący problem stosunkowo niskiego poziomu kształcenia kompetencji naukowych w przedmiotach przyrodniczych, co jest konsekwencją takich zjawisk jak:

- rozdzielenie treści programowych pomiędzy różne przedmioty, które utrudnia zrozumienie zależności i powiązań pomiędzy procesami, jakie zachodzą w przyrodzie, co jednocześnie oddala je od zastosowań w praktyce i czyni je tym samym mniej interesującymi dla uczniów,
- niedostosowanie treści programowych, a zwłaszcza brak konkretnych ćwiczeń rozwijających myślenie naukowe i uczących rozwiązywać problemy,
- niewystarczające kształcenie nauczycieli w kierunku prowadzenia zajęć interdyscyplinarnych i zgodnie z metodologią wnioskowania naukowego,
- brak oferty edukacyjnej dla ucznia zdolnego oraz odpowiedniego doposażenia szkół umożliwiającego prowadzenie zajęć badawczych (SZYSZKIEWICZ-GOLIS – badania własne 2011, analiza danych CKE i OKE 2009-2011, ORE 2011).

Ekologia krajobrazu łagodzi wymienione wyżej niekorzystne tendencje oraz jest programem innowacyjnym, ponieważ:

- jest to przedmiot bez ustalonej podstawy programowej,
- zajęcia w jego ramach będą realizowane w formule interdyscyplinarnej, stanowiąc połączenie zagadnień z geografii, biologii, ochrony środowiska i planowania przestrzennego,
- celem większości zajęć jest wyjaśnienie mechanizmów zjawisk i procesów przyrodniczych, o których uczeń słyszy, ale których przyczyn nie rozumie, np. spadek różnorodności biologicznej, powodzie, globalne ocieplenie czy mała retencja. Zjawiska przyrodnicze są przedstawione w ujęciu problemowym,
- zakłada wykorzystanie technologii informacyjno-komunikacyjnych w trakcie zajęć. W ramach projektu powstały: trzy oprogramowania do tablic interaktywnych, cztery wideowykłady, 20 prezentacji multimedialnych oraz filmy prezentujące przebieg zajęć pokazowych o charakterze badawczym w terenie. Proponowane jest także wykorzystanie arkusza kalkulacyjnego MS Excel i wybranych programów GIS oraz opracowanego w ramach projektu wortalu www.ekologia-krajobrazu.pl z forum dyskusyjnym do realizacji uczniowskich projektów badawczych,
- zakłada stosowanie metody projektu edukacyjnego, która sprzyja zaangażowaniu uczniów, rozwojowi kompetencji naukowych oraz umożliwia pracę zespołową,
- program uwzględnia także potrzeby uczniów ze specjalnymi potrzebami edukacyjnymi – „nakładka” Akademia talentów przyrodniczych dla uczniów zdolnych.

ROZDZIAŁ 1

WPROWADZENIE DO EKOLOGII KRAJOBRAZU

1.1. EKOLOGIA KRAJOBRAZU – PRZEDMIOT BADAŃ I INTERDISCYPLINARNOŚĆ

Co bada ekologia krajobrazu? Związki ekologii krajobrazu z innymi naukami i praktyką

Ekologię krajobrazu określa się jako interdyscyplinarną dziedzinę zajmującą się relacjami pomiędzy społeczeństwem ludzkim a jego przestrzenią życiową, którą uprawia się na trzech poziomach (SO-LON 2011 za Leser i Rodd 1991), do których odniesiono się w niniejszym programie nauczania:

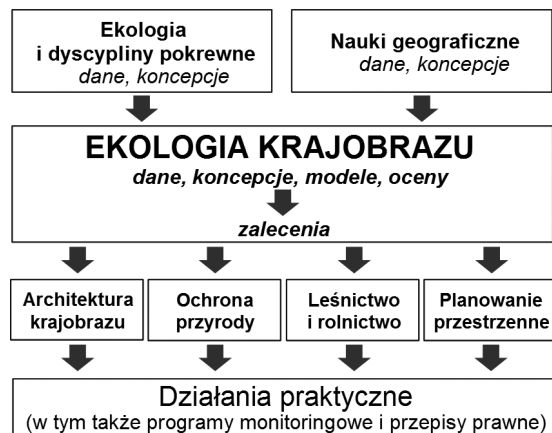
- bezpośrednim – gdy obiekt badań traktuje się jako zintegrowany i kompleksowy system (badania prowadzone w ramach geografii i biologii, np. dotyczące przepływu energii słonecznej i obiegu materii w środowisku przyrodniczym czy różnorodności biologicznej),
- pośrednim – gdy celem badań jest rozpoznanie pojedynczych czynników krajobrazu (badania nauk wyspecjalizowanych, takich jak hydrologia, klimatologia),
- praktycznym – prace o charakterze stosowanym wykonywane przez specjalistów o różnym wykształceniu (np. projektowanie zadrzewień).

Ekologia krajobrazu obejmuje analizę składowych krajobrazu i zachodzących między nimi relacji, identyfikację przyrodniczych jednostek przestrzennych, ich hierarchiczną klasyfikację oraz waloryzację układów środowiska przyrodniczego dla różnych form działalności człowieka, a także diagnozę sposobu organizacji przestrzeni przyrodniczej. Jest więc dziedziną, która kładzie nacisk na rozpoznanie zależności, relacji oraz związków przyczynowo-skutkowych zachodzących w krajobrazie.

Przedmiotem badań w ekologii krajobrazu są:

- struktura – przestrzenne relacje pomiędzy jednostkami krajobrazowymi (rozmieszczenie gatunków roślin i zwierząt oraz dystrybucja materii i energii w odniesieniu do rozmiarów, kształtu, liczby, rodzaju i układu wzajemnego geo- i ekosystemów),
- funkcjonowanie – interakcja pomiędzy przestrzennymi jednostkami krajobrazu (przepływ materii, energii i informacji, w tym migracje organizmów żywych pomiędzy ekosystemami),
- zmienność – przekształcenia struktury i funkcji mozaiki jednostek krajobrazowych w czasie (RICHLING, SOLON 2011).

Ekologia krajobrazu twórczo korzysta głównie z dorobku nauk geograficznych i biologicznych, ale ma również związek z innymi naukami, wykraczającymi poza przyrodnicze, takimi jak historia, socjologia czy ekonomia. Ekologia krajobrazu stanowi bazę teoretyczną dla formułowania wytycznych służących do racjonalnego kształtowania i użytkowania środowiska w architekturze krajobrazu, ochronie przyrody, leśnictwie, rolnictwie i planowaniu przestrzennym (RICHLING, SOLON 2011). Dlatego badania prowadzone w konwencji ekologii krajobrazu stosunkowo częściej niż badania czysto biologiczne czy geograficzne znajdują zastosowanie w praktyce. Graficznie przedstawia to następujący schemat:



Ryc. 1.1. Powiązania ekologii krajobrazu z innymi naukami i działaniami na rzecz praktyki (na podstawie RICHLING, SOLON 2011)

Interdyscyplinarność i całościowe rozumienie krajobrazu

Interdyscyplinarność – podstawowa cecha ekologii krajobrazu – daje możliwość lepszego uchwycenia procesów zachodzących w przyrodzie przez połączenie przestrzennego spojrzenia geografów z funkcjonalnym podejściem ekologów. Jest często nazywana efektem mariażu geografii i biologii, ale łączy w sobie również elementy innych nauk i jest uprawiana przez przedstawicieli między innymi takich dyscyplin jak ekologia, architektura krajobrazu, planowanie przestrzenne, geobotanika, hydrologia, zoologia, leśnictwo, a w największym stopniu ochrona środowiska. Ekologia krajobrazu daje szansę prowadzenia eksperymentów nowego rodzaju, w których niezbędny jest wkład przedstawicieli różnorodnych dyscyplin naukowych. W badaniach takich analizuje się procesy ekologiczne w skali większej niż dotychczas. Ponadto analizy te są przeważnie bardziej skomplikowane, ukierunkowane na zbadanie współzależności między aktywnością człowieka a procesami naturalnymi (FARINA 1998).

Interdyscyplinarność ekologii krajobrazu wynika z konieczności całościowego podejścia do środowiska przyrodniczego i ukierunkowania na poznanie procesów i zależności. Jak podkreśla KOZACKI (1993), środowisko przyrodnicze należy traktować jako system, którego integralną właściwością jest fakt istnienia między jego elementami współzależności o charakterze sprzężeń zwrotnych. Skutki zmian zaistniałych w obrębie jednego elementu przenoszą się na pozostałe. Uruchamiany zostaje w ten sposób cały łańcuch zmian, łącznie ze zwrotną reakcją w stosunku do sfery, w której zmiany zostały zapoczątkowane. Podobnie uważają RICHLING i SOLON (2011), charakteryzując środowisko przyrodnicze jako całość złożoną z powiązanych ze sobą i wzajemnie na siebie oddziałujących elementów. Ich zdaniem mogą być one badane w ramach wyspecjalizowanych dyscyplin, jednak z faktu ich wzajemnego powiązania wynika konieczność podejścia całościowego. Podłożem takiego całościowego rozumienia krajobrazu jest holistyczna koncepcja przyrody obecna od dawna w badaniach ekologicznych. Opiera się ona na przekonaniu, że badając żywe organizmy lub system przyrodniczy, nie powinno się redukować ich do zespołu części elementarnych, ale dążyć do wyodrębnienia „mniejszych całości” (tzw. holonów), charakteryzujących się zdolnością do samoregulacji (NAVEH, LIEBERMAN 1984; RICHLING, SOLON 2011).

Wielu autorów zgadza się, że miejscem narodzin tej odrębnej dyscypliny naukowej jest Europa Środkowa. Tutaj właśnie zaczęto traktować krajobraz nie tylko w kategoriach estetycznych i czysto geograficznych, ale również jako całość strukturalno-funkcjonalną, będącą przestrzenią życiową człowieka, integrującą geosferę, biosferę oraz sferę twórczości ludzkiej (NAVEH, LIEBERMAN 1984; FORMAN, GODRON 1986; FORMAN 1997; FARINA 1998; RICHLING, SOLON 2011).

Adam Wodziczko, inicjator badań ekologii krajobrazu w naszym kraju, już w 1938 roku wskazywał na wspólnotę istot żywych i ich środowiska: „stanowią pewną realnie istniejącą w przyrodzie całość, samoregulujący się układ, jakby organizm wyższego rzędu (...); w pojęciu fizjocenozy (...) łączą się punkty widzenia biologów, którzy zwracają uwagę przede wszystkim na biocenozę i jej wewnętrzną strukturę i dynamikę, oraz geografów, interesujących się głównie środowiskiem i zagadnieniem granicy odmiennych biocenoz. Takie łączne ujęcie biocenozy wraz z biotopem prowadzi do rozczłonkowania powierzchni ziemi na krajobrazy, które mogą być ujmowane ciaśniej lub szerzej”. Zdefiniował on w następujący sposób pojęcie krajobrazu: „To nie tylko obraz kraju, lice ziemi, zewnętrzny wygląd pewnego obszaru, ale organiczna całość, której wszystkie składniki powiązane są ze sobą węzłami wzajemnych zależności i oddziaływań”. Wodziczko jako jeden z pierwszych zwrócił uwagę na interdyscyplinarność nauki o krajobrazie, która stworzyła nowe możliwości w stosunku do dotychczas istniejących dyscyplin przyrodniczych. W 1945 roku na Uniwersytecie Poznańskim utworzył pierwszy w Polsce samodzielny Zakład Ochrony Przyrody i Uprawy Krajobrazu. Apelowal: „Ważne potrzeby życia współczesnego wołają o rozwój biologicznej nauki o krajobrazie. Oczekują od niej rolnictwo i leśnictwo, urbanistyka i rurytyka, a przede wszystkim planistyka, jeżeli planowanie przestrzenne ma się trzymać ziemi” (WODZICZKO 1950).

Obecnie największym wyzwaniem stojącym przed ekologią krajobrazu jest integracja szczegółowych analiz, dotyczących na przykład konkretnych gatunków czy elementów abiotycznych krajobrazu, z rozwiązywaniem konkretnych problemów planistycznych (OPDAM i in. 2002). NAVEH i LIEBERMAN (1984) zauważają, że w Europie ekologia krajobrazu stanowi obecnie podstawę i naukowe zaplecze do planowania przestrzennego, zarządzania krajobrazem oraz jego ochrony i rekułtywacji. W związku z tym dyscyplina ta wykroczyła już poza obszar klasycznych nauk bioekologicznych i nawiązuje do nauk ekonomicznych, socjoekonomicznych, kulturowych i humanistycznych, mających ścisły związek

z dzisiejszym użytkowaniem ziemi. Skala krajobrazu pozwala syntetyzować procesy socjoekonomiczne i ekologiczne, na których opiera się świat realny, a które rozpatrywane oddzielnie mają charakter fikcyjny (FARINA 1998; BASTIAN 2002).

Liczne modele teoretyczne stosowane w ekologii krajobrazu, np. model „płatów i korytarzy” czy np. biogeograficzna teoria wysp (FARINA 1998; RICHLING, SOLON 2011), są przykładami sposobów poszukiwania prawidłowości powszechnie obowiązujących w krajobrazach, co jest obecnie uważane za główne zadanie ekologii krajobrazu (WO, HOBBS 2002, WO 2004; OPDAM i in. 2002). Poznanie tych prawidłowości umożliwi zwiększenie stabilności mniej lub bardziej kulturowych krajobrazów Europy, w których ochrona przyrody w klasycznym ujęciu już nie wystarcza, ponieważ siedlisk kwalifikujących się do takiej ochrony pozostało bardzo niewiele (BRANDT 1998).

Literatura

- BASTIAN O. (2002): Landscape ecology – towards a unified discipline? *Landscape Ecology* 16 (8): 757-766.
- BRANDT J. (1998): Key concepts and interdisciplinary in landscape ecology: A summing-up and outlook. W: J. W. Dover, R.G.H. Bunce (red.), *Key concepts and interdisciplinary in Landscape Ecology*. S. 421-434. IALE (UK), Preston.
- FARINA A. (1998): Principles and methods in landscape ecology. Ss. 391. Chapman and Hall, London, Weinheim, New York, New York, Tokyo, Melbourne, Madras.
- FORMAN R.T.T. (1997): Land Mosaics. The ecology of landscapes and regions. Ss. 656. Cambridge University Press. Cambridge.
- FORMAN R., GORDON M. (1986): Landscape ecology. Ss. 640. John Wiley and Sons. New York.
- FRY G. L. A. (1998): A landscape perspective of biodiversity: indices, models, planning. W: J. W. Dover, R.G.H. Bunce (red.), *Key concepts and interdisciplinary in Landscape Ecology*. S. 3-13. IALE (UK), Preston.
- KOZACKI L. (1993): Podstawy realizacji zasady myślenia globalnego a działania lokalnego. W: J. Banaszak (red.), *Krajobraz ekologiczny*. S. 217-240. Wydawnictwo WSP, Bydgoszcz.
- LESER H., RODD H. (1991): Landscape ecology – fundamentals, aims and perspectives. W: G. Esser, O. Overdieck (red), *Modern Ecology: Basic and Applied Aspects*. Elsevier, Amsterdam.
- NAVEH Z., LIEBERMAN A. S. (1984): Landscape ecology. Theory and application. Ss. 360. Springer-Verlag, New York.
- OPDAM P., FOPPEN R., VOS C. (2002): Bringing the gap between ecology and spatial planning in landscape ecology. *Landscape Ecology* 16 (8): 767-779.
- RICHLING A., SOLON J. (2011): Ekologia krajobrazu. Ss. 464. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa.
- SOLON J. 2002. Ocena różnorodności krajobrazu na podstawie analizy struktury przestrzennej roślinności. *Prace Geograficzne IGiPZ PAN* nr 185.
- WODZICZKO A. (1950): O biologii krajobrazu. *Przegląd Geograficzny* 22: 295-301.
- WU J., HOBBS R. (2002): Key issues and research priorities in landscape ecology: An idiosyncratic synthesis. *Landscape Ecology* 17: 355-365.

Powyższy tekst jest zmodyfikowanym fragmentem wprowadzenia do pracy doktorskiej: SZYSZKIEWICZ-GOLIS M. (2005): Struktura i waloryzacja funkcjonalna zadrzewień w krajobrazie rolniczym Wielkopolski. S. 188. Rozprawa doktorska wykonana w Akademii Rolniczej im. A. Cieszkowskiego w Poznaniu, Poznań (manuskrypt).

1.2. ISTOTA KRAJOBRAZU I ROZWÓJ BADAŃ

Krajobraz podziwiamy, malujemy i fotografujemy, w nim pracujemy, mieszkamy i wypoczywamy. Warto więc dowiedzieć się o nim nieco więcej, aby lepiej i rozumniej go wykorzystywać, ale też skuteczniej chronić i kształtować. Nie ulega bowiem wątpliwości, iż człowiek i krajobraz stanowią w efekcie jedność, połączoną licznymi bezpośrednimi i pośrednimi więzami, a nasz dobrobyt i dobrostan zależą w dużym stopniu od jego jakości i kondycji.

W naukach przyrodniczych krajobraz traktuje się najczęściej jako niezwykle skomplikowany, wielowymiarowy i wieloecchowy system składający się z geokomponentów i tworzonych przez nie jednostek przestrzennych, za które tradycyjnie uważa się tak zwane geokompleksy lub – coraz częściej – tkwiące w krajobrazowym tle płyty i korytarze (FORMAN, GODRON 1986). Jego struktura, funkcjonowanie i zmiany stanowią przedmiot zainteresowania stosunkowo młodej, choć korzeniami tkwiącej w dziewiętnastowiecznym przyrodoznawstwie i późniejszych geografii i ekologii, dyscypliny naukowej, określanej współcześnie mianem ekologii krajobrazu. Przyjrzenie się bliżej jej przedmiotowi, zadaniom badawczym i wybranym zastosowaniom warto jednak poprzedzić przypomnieniem istoty „krajobrazu”, pomimo (a może właśnie dlatego) iż termin ten zna niemal każdy lub przynajmniej tak mu się wydaje, a jego istota jest *często łatwiejsza*

do objęcia zmysłowo niż pojęciowo (BOBEK, SCHMITHÜSEN 1949: 119). I właśnie zapewne z tego powodu, choć termin ten ma długą historię, nadal jego stosowanie i interpretacja stwarzają problemy, wynikające głównie z faktu, iż zarówno przypisuje mu się znaczenie potoczne, jak i podnosi do rangi terminu naukowego. W pierwszym przypadku krajobraz traktuje się najczęściej jako zewnętrzny wygląd fragmentu powierzchni Ziemi (ujęcie fizjonomiczne „pejzażowe”), w drugim natomiast (jak wspomniano wyżej) – określa jako swoistą, przestrzenną jednostkę strukturalno-materialno-energetyczną, którą ujmować można typologicznie, regionalnie lub traktować jako pojęcie ogólne. HARD (1970), rozróżniając krajobraz *języka* i krajobraz *geografów* pisze, iż najczęściej pojęcie to oznacza: (1) pewną okolicę lub widok, (2) obszar lub rejon czy też (3) malarski wizerunek. Dodatkowe problemy interpretacyjne stwarza jednak coraz częstsze odchodzenie od pierwotnego znaczenia tego pojęcia, co w efekcie sprawia, że zgodzić trzeba się ze stwierdzeniem KNOXA I MARSTONA (2001), iż termin krajobraz *przez każdego jest rozumiany inaczej*” oraz z wcześniejszą opinią CAROLA (1956) o krajobrazie *jako nierozwiązanym pytaniu geografii*.

W języku polskim termin „krajobraz” (sięgający korzeniami do sanskrytu, gdzie rājya to królestwo) użyty został najprawdopodobniej po raz pierwszy przez Joachima Lelewela (1786–1861) w początkach XIX wieku w znaczeniu „historia kraju”, zaś spopularyzowany w połowie tegoż wieku przez Wincentego Pola (1807–1872), który nadawał mu znaczenie bliskie dzisiejszemu, potocznemu jego rozumieniu (HARASIMIUK 2008).

Mniej więcej w tym samym okresie w języku niemieckim pojawiają się całkiem współcześnie brzmiące definicje HUMBOLDTA (1807), według którego krajobraz to *całościowy charakter jakiegoś obszaru (regionu) Ziemi* i ROSENKRANZA (1850), piszącego o krajobrazach jako *hierarchicznie zintegrowanych lokalnych systemach i relatywnych całościach*.

Według NAVEHA i LIBERMANN (1984) najstarszy zapis omawianego terminu znajdujemy w Księdze Psalmów (48.2), gdzie w języku hebrajskim brzmi on *noff* (co wywodzi się od *yafe* – piękny), a użyty został do opisu pięknego widoku Jerozolimy ze świątynią Salomona, pałacami i zamkami. Warto tu zauważyć, iż takie ujęcie stanowić może dobrą podstawę współczesnych działań dotyczących gospodarki krajobrazem, efektem których powinny być w tym sensie krajobraz z naturo- i antropocentrycznego punktu widzenia nie tylko właściwie funkcjonujący, ale także po prostu piękny.

W rezultacie krajobraz ujmować można (BUWAL 2001) jako:

- obszar naturalny,
- przestrzeń życiową,
- obszar kulturowy,
- obszar ekonomiczny,
- miejsce doświadczania (przyrody, przygód, rekreacji),
- obszar identyfikacji,
- świadectwo dziejów Ziemi,
- wspólną własność.

W tak szerokim ujęciu krajobraz jest zatem z jednej strony przestrzenią tworzoną przez przyrodę i człowieka (jego fizycznym otoczeniem), z drugiej zaś – rezultatem naszej percepcji (specyficznym artefaktem funkcjonującym w wyobraźni człowieka). Europejska Konwencja Krajobrazowa ujmuje to w definicji, według której krajobraz jest obszarem postrzeganym przez ludzi, którego charakter jest rezultatem akcji i interakcji czynników przyrodniczych i/lub ludzkich. Podobnie BERLEANT (1997) określa krajobraz jako wzajemnie powiązany i uwarunkowany związek ludzi i miejsca. Tego typu ujęcie znajduje odbicie w badaniach tzw. percepcji krajobrazu i w szerokim rozumieniu terminu „krajobraz kulturowy”.

Jak rozwijały się zatem tzw. badania krajobrazowe, określane współcześnie jako ekologia krajobrazu?

Zdaniem DRDOŚA (1999) dokonać można następującej ich periodyzacji, wyróżniając:

- etap „tradycyjnej syntezy”,
- etap „końca geografii krajobrazu”,
- etap „post tradycyjnej syntezy” („geograficznej” ekologii krajobrazu),
- etap „ekologicznej” ekologii krajobrazu.

Próby syntetycznego ujęcia przyrody otaczającej człowieka prowadzą do powstania ekologii krajobrazu, rozumianej jednak zdecydowanie przez jej „ojców-założycieli” (TROLLA 1939; SCHMITHÜSENA 1963, 1976; NEEFA 1967) jako dział geografii fizycznej. Termin „ekologia krajobrazu” wprowadzony został do literatury przez Carla Trolla (1939), który jako pierwszy zestawiał dwa funkcjonujące dotąd niezależnie pojęcia „ekologia” (HAECKEL 1866) i „krajobraz”, a poglądy swoje rozwinął później w opracowaniu *Die geographische Landschaft und ihre Erforschung* (TROLL 1950), wydanym w 1965 roku także w języku polskim.

Jak podają BUCHWALDT i ENGELHARDT (1975), Troll uważał wówczas jeszcze za sprawę otwartą (co dziś nie budzi wątpliwości), czy w ekologii krajobrazu będzie chodziło tylko o zależności funkcjonalne krajobrazu naturalnego, czy też należy dołączyć funkcjonalne powiązanie z dzielami ludzkimi powstałymi w krajobrazie kulturowym. Wprowadził także określenie „ekotop” na najmniejszą, elementarną jednostkę „krajobrazową” a pod koniec życia – bez powodzenia zresztą – lansował termin „geoekologia” jako międzynarodowy odpowiednik terminu „ekologia krajobrazu”. W ujęciu TROLLA (1968) ekologia krajobrazu jest studium całkowitego, panującego w określonym wycinku krajobrazu kompleksowego zespołu oddziaływań pomiędzy biocenozy i ich warunkami środowiskowymi.

Dla wielu badaczy nie ulega zatem wątpliwości, iż korzenie ekologii krajobrazu tkwią w Europie Środkowej, a wśród jej ojców założycieli – obok wspomnianego wyżej Carla Trolla – wymienia się najczęściej (LESER 1997) Josefa Schmithüsen (1909–1984) i Ernsta Neefa (1908–1984).

Za najważniejsze (i chyba nadal aktualne nie tylko dla badaczy rosyjskich) uznać należy, zdaniem PRIEBRAŹENSKIEGO i in. (1988) następujące pytania-problemy:

- jak przestrzennie zorganizowany jest krajobraz?
- jakie prawa rządzą jego funkcjonowaniem i rozwojem?
- jak jest zorganizowany czasowo?
- jak krajobraz związany jest z innymi obiektami rzeczywistości przyrodniczej?

Umowną cezurą czasową etapu „ekologicznej” ekologii krajobrazu jest rok 1982, w którym doszło do utworzenia Międzynarodowej Asocjacji Ekologii Krajobrazu (IALE). Jednocześnie, niejako równolegle rozwija się także (szczególnie w Polsce) wspomniana wyżej „geograficzna” ekologia krajobrazu, choć symptomatyczne jest to, iż stosowany często wcześniej zamiennie termin kompleksowa geografia fizyczna praktycznie nie występuje już w języku naukowym. Polscy geografowie fizyczni kompleksowi (w tym i autorzy niniejszego opracowania) coraz częściej określają się jako „ekolodzy krajobrazu” lub „geoekolodzy”, są autorami podręczników dotyczących tej dyscypliny (RICHLING, SOLON 1993, 2011; PIETRZAK 2010), tworzą poświęcone jej towarzystwo naukowe (Polska Asocjacja Ekologii Krajobrazu), wydają biuletyn, serię wydawniczą, a od niedawna czasopismo naukowe („Problemy Ekologii Krajobrazu”). To właśnie utworzona w 1993 roku Polska Asocjacja Ekologii Krajobrazu (PAEK), kontynuująca działalność Klubu Ekologii Krajobrazu Polskiego Towarzystwa Geograficznego, stała się najważniejszym (choć nie jedynym) krajowym forum dyskusji nad istotą i celami badawczymi ekologii krajobrazu. Jej głównym dorobkiem – poza inspiracją do wszechstronnej wymiany poglądów – jest przeszło trzydzieści tomów serii wydawniczej „Problemy ekologii krajobrazu”, będących w początkowym okresie pokłosiem konferencji i sympozjów naukowych organizowanych przez Asocjację. Wymienione niżej tytuły opublikowanych tomów stanowią zarazem dobry przegląd problemów nurtujących polskich ekologów krajobrazu skupionych w PAEK. Są to między innymi:

- zastosowania ekologii krajobrazu w ekorozwoju,
- badania ekologiczno-krajobrazowe na obszarach chronionych,
- transformacja krajobrazu w Europie,
- systemy informacji geograficznej w badaniach środowiska przyrodniczego,
- geoekologiczne podstawy badania i planowania krajobrazu rekreacyjnego,
- teoria i zastosowania ekologii krajobrazu w praktyce,
- granice krajobrazowe – podstawy teoretyczne i znaczenie praktyczne,
- ekologia krajobrazu i ekorozwój,
- park krajobrazowy i co dalej?,
- przemiany środowiska przyrodniczego Polski i jego funkcjonowanie,
- krajobraz – turystyka – ekologia,
- perspektywy rozwoju regionu w świetle badań krajobrazowych,
- studia ekologiczno-krajobrazowe w programowaniu rozwoju zrównoważonego,
- platy i korytarze jako elementy struktury krajobrazu – możliwości i ograniczenia koncepcji,
- struktura przestrzenno-funkcjonalna krajobrazu,
- regionalne studia krajobrazowo-ekologiczne,
- krajobraz kulturowy – cechy, walory, ochrona,
- waloryzacja środowiska przyrodniczego w planowaniu przestrzennym,
- klasyfikacja krajobrazu: teoria i praktyka,
- struktura i funkcjonowanie systemów krajobrazowych: metaanalizy, modele, teorie i ich zastosowania,

- ekologia krajobrazu – perspektywy badawcze i użytkowe,
- problemy środowiska przyrodniczego miast i terenów poprzemysłowych,
- turystyka a ochrona środowiska przyrodniczego.

Powyższy tekst to fragmenty artykułu pt. *Wprowadzenie do ekologii krajobrazu – istota krajobrazu i rozwój badań*, który w całości znajduje się na wortalu: www.ekologia-krajobrazu.pl

Literatura

- BERLEANT A. (1997): Living in the landscape: toward an aesthetics of environment. Ss. 212. University Press of Kansas, USA.
- BOBEK H., SCHMITHÜSEN J. (1949): Die Landschaft im logischen System der Geographie. Erdkunde, Bd. 3: 112-120.
- BUCHWALDT K., ENGELHARDT W. (1975): Kształtowanie krajobrazu a ochrona przyrody. Ss. 824. PWRiL. Warszawa.
- BUWAL – Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft (2001): Landschaft ist. . . . Umwelt 4: 34-47.
- CAROL H. (1956): Zur Diskussion um Landschaft und Geographie. Geographica Helvetica 11: 111-131.
- DRDOŠ J. (1999): Geoekológia a environmentalistika. I. Část. Ss. 152. Prešovská Univerzita, Prešov.
- FORMAN R.T.T. GODRON M. (1986): Landscape ecology. Ss. 619. J. Wiley & Sons, New York.
- HAECKEL E. (1866): Generelle Morphologie der Organismen, Bd. 1: Allgemeine Anatomie der Organismen, Ss. 574, Bd. 2: Allgemeine Entwicklungsgeschichte der Organismen, Berlin, Ss. 462 s.
- HARASIMIUK K. (2008): Dźwięk w opisach krajoznawczych Wincentego Pola. W: Bernat S. (red.), Dźwięk w krajobrazie jako przedmiot badań interdyscyplinarnych. Prace Komisji Krajobrazu Kulturowego PTG nr 11, Lublin, 29-35.
- HARD G. (1970): „Die Landschaft“ der Sprache und „die Landschaft“ der Geographen, Coll. Geogr., 11, Bonn.
- HUMBOLDT A. VON (1807): Ideen zu einer Geographie der Pflanzen nebst einem Naturgemälde, Tübingen.
- KNOX P. L., MARSTON S. (2001): Humangeographie. Spectrum Akademischer Verlag GmbH, Heidelberg-Berlin.
- LESER H. 1978. Landschaftsökologie, 2 Auflage, UTB 521, Verlag Eugen Ulmer, Stuttgart, Ss. 433.
- NAVEH Z., LIEBERMANN A.S. (1984): Landscape ecology: theory and application. Ss. 356. Springer-Verlag, New York-Berlin-Heidelberg.
- NEEF E. (1967): Die theoretischen Grundlagen der Landschaftslehre. Ss. 152. Wydawnictwo Gotha/Leipzig.
- PIETRZAK M. (2010): Podstawy i zastosowania ekologii krajobrazu – teoria i metodologia. Ss. 161. PWSZ. Leszno.
- PRIEBRAŹENSKIJ W. S., ALEKSANDROWA T. D., KUPRIANOWA T. L. (1988): Osnovy landszaftnogo analiza. Ss. 192. „Nauka”, Moskwa.
- RICHLING A., SOLON J. (1994). Ekologia krajobrazu. Ss. 226. Wydawnictwo Naukowe PWN. Warszawa.
- RICHLING A., SOLON J. (2011): Ekologia krajobrazu. Ss. 464. Wydawnictwo Naukowe PWN. Warszawa.
- ROSENKRANZ J. K. F. (1850): System der Wissenschaft. Ein philosophisches Encheiridion, Wydawnictwo Königsberg.
- SCHMITHÜSEN J. (1963): Der Wissenschaftliche Landschaftsbegriff. Mit. D. Flor.-soziol. Arbeitsgemeinschaft, N.F. Heft 10: 9-19.
- SCHMITHÜSEN J. (1976): Allgemeine Geosynergetik. Grundlagen der Landschaftskunde. Ss. 349. Walter de Gruyter, Berlin-New York.
- TROLL C. (1939): Luftbildplan und ökologische Bodenforschung. Zeit. der Ges. f. Erdkunde, Berlin, H. 7/8: 241-298.
- TROLL C. (1950): Die geographische Landschaft und ihre Erforschung. W: Studium Generale, III, Bonn, 4/5: 163-181.
- TROLL C. (1968): Landschaftsökologie. W: R. Tuxen (Hrsg.): Pflanzensozioökologie und Landschaftsökologie, 7. Int. Symp., Stolzenau/Weser 1963, Int. Vereinigung für Vegetationskunde, Junk, den Haag: 1-21.

1.3. KRAJOBRAZ I EKOLOGIA KRAJOBRAZU – PRZEGLĄD NAJWAŻNIEJSZYCH UJĘĆ

Terminu „krajobraz” używa się zarówno w mowie potocznej, jak i w różnych dyscyplinach naukowych. Często określa się nim zupełnie różne obiekty i zjawiska. Zgodnie z podejściem kompleksowym (całościowym), funkcjonujące definicje krajobrazu można pogrupować w kilka różnych ujęć podstawowych, najczęściej związanych z konkretnymi dyscyplinami naukowymi lub kierunkami badań (por. RICHLING, SOLON 2011).

Krajobraz w ujęciu fizjonomycznym to widok, przestrzeń, którą można objąć spojrzeniem – rysunek czy obraz przedstawiający fragment środowiska. Można mówić o krajobrazie wiejskim, przemysłowym, zimowym i letnim, brzydkim i ładnym, rozległym, zróżnicowanym, dominującym, podporządkowanym. Jest to podejście wizualno-estetyczne, które leży u podstaw rozwoju badań nad percepcją, harmonią i pięknem krajobrazu.

Krajobraz w ujęciu geograficznym jest rozpatrywany jako obszar, region (łac. regio). FORMAN i GODRON (1986) definiują krajobraz jako heterogeniczny fragment terenu złożony z powiązanych wzajemnie ekosystemów. Rozwinęło się z niego podejście regionalno-typologiczne, które zainspirowało badania nad regionalizacją, typologią i analizą struktury krajobrazu. Rosenkranz (1850 – cyt. wg RICHLING, SOLON 2011) zdefiniował krajobraz jako hierarchicznie zorganizowany lokalny układ

czynników wszystkich państw przyrody. Powyższe spojrzenia na krajobraz dały początek podejściu funkcjonalnemu, z którego rozwinęły się badania nad funkcjonowaniem, rolą i dynamiką krajobrazu.

Krajobraz w ujęciu geografii fizycznej kompleksowej określa się pojęciem geokompleksu, który rozpatrywany jest w aspekcie typologicznym i układzie hierarchicznym. Geokompleks jest wyróżniany na podstawie cech przyrodniczych – początkowo głównie abiotycznych. Człowiek nie jest tutaj traktowany jako element systemu przyrodniczego, co odróżnia ujęcie geografii kompleksowej od krajobrazowo-ekologicznego. Z takiego ujęcia wywodzi się hierarchiczna typologia i regionalizacja krajobrazu „naturalnego”.

Krajobraz w ujęciu geochemicznym to przestrzenny kompleks dynamiczny, określane na podstawie procesów na atomowym szczeblu organizacji materii. Wyróżnianie i klasyfikacja krajobrazu odbywa się na podstawie jakościowej i ilościowej analizy wodnej i atmosferycznej migracji pierwiastków z uwzględnieniem obiegu biologicznego.

Krajobraz w ujęciu geobotanicznym to realnie istniejący, przestrzenny, dynamiczny układ strukturalno-funkcjonalny na ponadekosystemalnym poziomie organizacji biosfery. W ujęciu tym elementami są ekosystemy, których granice i zasięg wyróżnia się najczęściej na podstawie zbiorowisk roślinnych. Połączone są one między sobą nieprzypadkowymi relacjami wzajemnymi oraz zależnością od wspólnych warunków środowiska. O specyfice krajobrazu jako odrębnego poziomu organizacyjnego świadczy obecność określonych zjawisk i procesów, które nabierają pełnego sensu i znajdują zadowalające wyjaśnienie w perspektywie krajobrazu, a nie pojedynczego ekosystemu (np. zjawiska ekotonowe, sukcesja, migracje międzyekosystemowe, bariery dla rozprzestrzeniania się gatunków) (MATUSZKIEWICZ 1974).

Krajobraz w ujęciu ekologii zwierząt to najczęściej pole gry dla procesów wewnątrz- i między-populacyjnych. Analizie podlega tutaj terytorializm zwierząt. Z tego ujęcia wywodzą się badania nad fragmentacją siedlisk, korytarzami ekologicznymi, łącznością między płacami, dynamiką metapopulacji, obszarami minimalnymi, zjawiskami ekotonowymi, synantropizacją krajobrazu oraz ochroną różnorodności biologicznej.

Krajobraz w ujęciu architektury krajobrazu jest traktowany w kategoriach fizjonomicznych. Wyróżnia się tu trzy zakresy działania w krajobrazie (BOGDANOWSKI 1990):

1. zakres jednostek architektoniczno-krajobrazowych, co odpowiada skali planistycznej (województwa, gminy),
2. skala zespołów wewnątrz krajobrazowych, co odpowiada skali urbanistycznej (miasteczka, wsie lub ich części),
3. skala poszczególnych wewnątrz czy placów, co odpowiada skali architektonicznej.

Wychodząc od tego ujęcia, wyróżnia się jednostki architektoniczno-krajobrazowe z uwzględnieniem cech historycznych. Prace badawcze koncentrują się też na optymalizacji cech funkcjonalnych i estetycznych krajobrazu.

Krajobraz w ujęciu geografii człowieka jest rozpatrywany jako efekt działalności człowieka. Często przy tym stosuje się podwójną charakterystykę regionu: przyrodniczą oraz kulturową, obejmującą: tradycje, instytucje, język, zwyczaje, kuchnię lokalną etc. (VIDAL DE LA BLACHE 1903). Obiektem badań są w tym ujęciu przyrodnicze uwarunkowania działalności człowieka oraz przekształcenia środowiska i elementy kulturowe w krajobrazie.

Żadne z powyższych ujęć nie obejmuje wszystkich aspektów strukturalnych i funkcjonalnych krajobrazu. Ograniczenie to stara się przezwyciężyć ekologia krajobrazu, która traktuje krajobraz jako obiekt badawczy będący syntezą wszystkich powyższych podejść, a człowiek i jego wytwory są w tu traktowane jako część systemu krajobrazowego.

Kompleksowe ujęcie krajobrazu

Krajobraz w ujęciu ekologii krajobrazu to całość przestrzenno-czasowa, obejmująca różne układy hierarchiczne wzajemnie ze sobą powiązane:

1. antropogeniczny (społeczny) – obejmujący elementy krajobrazu wyróżniane, grupowane i analizowane jako obiekty mające znaczenie dla życia ludzkiego i społeczeństwa;
2. abiotyczny – dotyczący obiektów i relacji przestrzennych oraz funkcjonowania elementów i komponentów wyróżnionych na podstawie ich charakterystyki abiotycznej;
3. biologiczny – w którym punktem centralnym są określone grupy organizmów (populacje, gatunki, biocenozy) oraz ekosystemy.

Każdy z tych aspektów jest zróżnicowany wewnętrznie w swoisty, często niepowtarzalny sposób, co powoduje, że istnieją trzy hierarchie różnorodności zobrazowane na poniższym schemacie:

biotyczna → bioróżnorodność
 abiotyczna → georóżnorodność
 społeczna → antroporóżnorodność

Ekologia krajobrazu traktuje krajobraz jednocześnie jako:

- zestaw obiektów fizycznych, ich agregacji, konfiguracji i podsystemów (abiotycznych, biotycznych, antropogenicznych);
- system powiązanych ze sobą procesów (ekologicznych, geomorfologicznych, biogeochemicznych, ekonomicznych, społecznych i innych) integrujących różne obiekty fizyczne;
- zbiór rzeczywistych i potencjalnych usług dla różnych grup użytkowników;
- zbiór bodźców, oddziaływujących na zmysły użytkownika, wynikających m.in. z fizjonomii i funkcjonowania krajobrazu;
- zbiór wartości przyrodniczych, społecznych, ekonomicznych, materialnych, duchowych, historycznych i innych, które najczęściej mają znaczenie względne, gdyż można je określić jedynie przy porównaniu z innymi obiektami lub przyjętymi skalami.

Powyższe, kompleksowe rozumienie krajobrazu obejmuje swoim zakresem wszystkie wymienione wcześniej branżowe jego ujęcia, ale jest od nich znacznie bogatsze i logicznie rozróżnia obiekty mające byt materialny, ich cechy oraz funkcje i użyteczność. Należy tu podkreślić, że dwa pierwsze ujęcia są obiektywne, istnieją niezależnie od woli, poglądów i nastawienia odbiorcy (użytkownika); natomiast trzy pozostałe mają charakter względny, zależny od możliwości percepcji, potrzeb, kontekstu kulturowego, warunków ekonomicznych i preferencji użytkownika (RICHLING, SOLON 2011).

Krajobraz w ujęciu prawnym

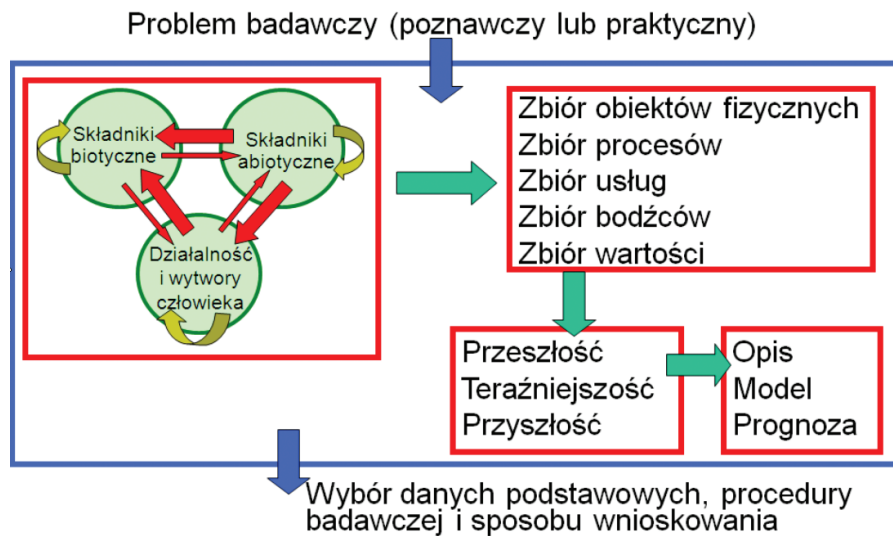
Poza naukowymi definicjami krajobrazu istnieje również definicja prawna, zapisana w Europejskiej Konwencji Krajobrazowej, sporządzonej we Florencji 20 października 2000 r. (Dz. U. z dnia 29 stycznia 2006 r.). Zgodnie z artykułem 1 tej konwencji

- krajobraz oznacza obszar postrzegany przez ludzi, którego charakter jest wynikiem działania i interakcji czynników przyrodniczych i/lub ludzkich;
- cel jakości krajobrazu oznacza, w przypadku określonego krajobrazu, sformułowanie przez właściwe organy publiczne aspiracji społeczeństwa w odniesieniu do cech otaczającego je krajobrazu;
- ochrona krajobrazu oznacza działania na rzecz zachowania i utrzymywania ważnych lub charakterystycznych cech krajobrazu, tak aby ukierunkować i harmonizować zmiany, które wynikają z procesów społecznych, gospodarczych i środowiskowych;
- gospodarowanie krajobrazem oznacza działanie podejmowane ze względu na trwałość i zrównoważony rozwój, w celu zapewnienia regularnego podtrzymania krajobrazu tak, aby kierować i harmonizować jego zmiany wynikające z procesów społecznych, gospodarczych i środowiskowych;
- planowanie krajobrazu oznacza skuteczne działanie perspektywiczne mające na celu powiększenie, odtworzenie lub utworzenie krajobrazów.

Jedynie kompleksowe traktowanie krajobrazu, takie jak proponuje ekologia krajobrazu, umożliwia uwzględnienie wszystkich aspektów, które w sposób jawny lub ukryty mieszczą się w definicji prawnej krajobrazu.

Schemat postępowania w badaniach krajobrazu

Procedury badawcze stosowane w badaniach krajobrazu prowadzonych przez specjalistów z różnych dziedzin bazują na różnych przesłankach teoretycznych. Można je jednak ująć w jednym schemacie przedstawionym poniżej.



Rycina 1.2. Różne procedury badawcze

Zgodnie z tym schematem, po sformułowaniu celu badawczego należy najpierw wybrać kategorie (jedną lub kilka) analizowanych obiektów, którymi mogą być twory pochodzenia abiotycznego, biotycznego, antropogenicznego lub mieszane. Następnym krokiem jest wybór badanych aspektów tych obiektów. Można np. analizować zbiór usług świadczonych jednocześnie przez składniki biotyczne i strukturę przestrzenną oraz georóżnorodność składników abiotycznych przy uwzględnieniu wpływu obiektów antropogenicznych na wybrane procesy w krajobrazie. Następnie należy wybrać horyzont czasowy analizy i w końcu metody analizy, których efektem może być opis, model lub prognoza. Taki sformalizowany sposób postępowania umożliwia łatwe włączenie najrozmaitszych badań krajobrazowych w jeden schemat logiczny.

Literatura

BOGDANOWSKI J. (1990): Metoda jednostek i wnętr architektoniczno-krajobrazowych (JARK-WAK) w studiach i projektowaniu. Ss. 40. Wyd. Politechnika Krakowska, Kraków.
 FORMAN R.T.T., GODRON M. (1986): Landscape ecology. Ss. 619. J. Wiley & Sons, New York.
 MATUSZKIEWICZ W. (1974): Teoretyczno-metodyczne podstawy badań roślinności jako elementu krajobrazu i obiektu użytkowania rekreacyjnego. Wiad. Ekol. 20 (1): 3-13.
 RICHLING A., SOLON J. (2011): Ekologia Krajobrazu. Ss. 464. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa.
 SAUER C. (1925): The Morphology of Landscape. University of California Publications in Geography 22: 19-53.
 VIDAL DE LA BLACHE P. (1903): Tableau de la Geographie de la France, Paris: Librairie Jules Tallandier, 1979.

Polecana literatura

BALON J. (2013): Organizacja krajobrazu w skali globalnej, regionalnej i lokalnej. <http://www.ekologia-krajobrazu.pl/index.php/ekologia-krajobrazu/76-organizacja-krajobrazu-w-skali-globalnej-regionalnej-i-lokalnej>
 BALON J. (2013): Przemiany krajobrazu jako efekt antropopresji. <http://www.ekologia-krajobrazu.pl/index.php/ekologia-krajobrazu/77-przemiany-krajobrazu-jako-efekt-antropopresji>
 PIETRZAK M. (2010): Podstawy i zastosowania ekologii krajobrazu. Teoria i metodologia. Ss. 161, PWSZ, Leszno.
 PIETRZAK M. (2013): Wprowadzenie do ekologii krajobrazu – istota krajobrazu i rozwój badań. <http://www.ekologia-krajobrazu.pl/index.php/ekologia-krajobrazu/75-wprowadzenie-do-ekologii-krajobrazu-istota-krajobrazu-i-rozwoj-badan>

Strona internetowa

<http://paek.ukw.edu.pl>

ROZDZIAŁ 2

PRZEPŁYW ENERGII SŁONECZNEJ I OBIEG MATERII W ŚRODOWISKU PRZYRODNICZYM, W TYM W KRAJOBRAZIE ROLNICZYM

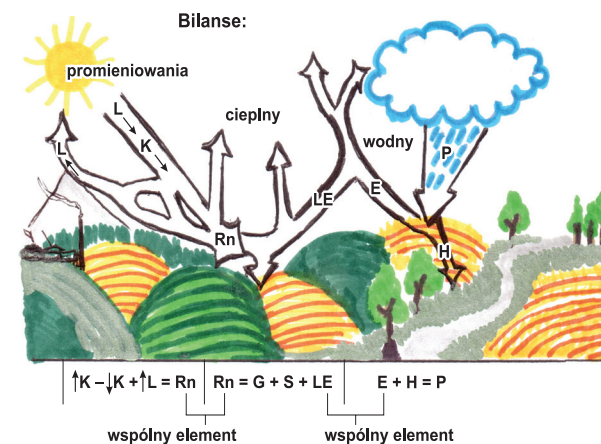
2.1. PRZEPŁYW ENERGII* SŁONECZNEJ I OBIEG WODY W KRAJOBRAZIE ROLNICZYM

Wprowadzenie

Z punktu widzenia trwania życia na Ziemi najważniejszy jest proces przekształcania (transformacji) energii słonecznej w materię organiczną w procesie fotosyntezy*. Aby ten proces mógł zachodzić, muszą być spełnione następujące warunki:

- stały dopływ energii do aparatu asymilacyjnego*; jedynym jej źródłem jest Słońce,
- odpowiednie warunki wodne w glebie; roślina może pobierać wodę głównie z gleby,
- dostarczenie do liści substancji odżywczych; transportuje je z gleby strumień wody płynący przez roślinę.

Podczas rozważania procesów przepływu energii i obiegu wody należy pamiętać, że te dwa procesy są ze sobą ściśle powiązane. Strumień energii jest siłą napędową strumienia wody, ale strumień wody jest transporterem energii. Woda transportuje energię w fazie gazowej i ciekłej. Siłą napędową obiegu wody jest proces jej parowania*, wymagający olbrzymich ilości energii. Dla wyparowania 1 kg wody, czyli jednodymilimetrowej warstewki wody z powierzchni 1 m² potrzeba około 2,5 miliona dżuli energii. Ta ilość energii wystarcza do ogrzania dziesięciocentymetrowej warstwy wody z powierzchni 1 m² o temperaturę 6°C i 33-metrowej warstwy powietrza o temperaturze 60°C. Ten przykład pokazuje, jakie znaczenie dla kształtowania warunków termicznych siedliska ma proces parowania. Najlepszą charakterystyką warunków energetycznych i wilgotnościowych ekosystemu* jest podanie jego bilansu promieniowania* i wodnego*, przedstawionych na Ryc. 1. Po lewej stronie ryciny przedstawiony został bilans promieniowania*, czyli zestawienie wszystkich strumieni promieniowania. Składnikami przychodowymi tego bilansu są krótkofalowe promieniowanie słońca i długofalowe promieniowanie atmosfery, a składnikami rozchodowymi odbite promieniowanie słońca i długofalowe promieniowanie powierzchni ziemi i roślin. Chwilową wartością tego bilansu jest saldo promieniowania, które jest jedynym źródłem energii dla wszystkich innych procesów zachodzących w ekosystemie, z których najważniejsze pod względem wielkości są ciepło ogrzewania gleby, powietrza i ciepło utajone*, wykorzystywane w procesie parowania, które zostały przedstawione w centralnej części ryciny. Po prawej stronie przedstawiony jest bilans wodny, który jest mocno związany z bilansem cieplnym poprzez strumień parującej wody. Z treści tej ryciny wynika, że jakiegokolwiek działania zmieniające strukturę krajobrazu powodujące zmiany jednego z tych bilansów, mają także wpływ na strukturę drugiego. Ten fakt jest najważniejszy dla planowania przestrzennego dotyczącego kształtowania struktury krajobrazu w skali lokalnej i regionalnej.



Ryc. 2.1. Bilans promieniowania, bilans cieplny i bilans wodny powierzchni Ziemi: R_n – saldo promieniowania, $L\downarrow$ – promieniowanie długofalowe atmosfery dochodzące do powierzchni Ziemi, $L\downarrow$ – promieniowanie długofalowe powierzchni Ziemi, $K\downarrow$ – promieniowanie krótkofalowe dochodzące do powierzchni Ziemi, $K\uparrow$ – promieniowanie krótkofalowe odbite od powierzchni Ziemi, S – strumień ciepła jawnego, LE – strumień ciepła utajonego, G – strumień ciepła glebowego, E – strumień ciepła parowej, H – odpływ całkowity, P – opady atmosferyczne

Energia w krajobrazie

Co to jest energia? Słowo to używane jest na co dzień w różnych dziedzinach życia i gospodarki człowieka. Źródłostów jest zawsze taki sam. Wyrażamy fakt, że ktoś lub coś ma zdolność do oddziaływania z czymś lub kimś innym. My zajmiemy się jednak tylko pojęciem energii w fizyce. W tym obszarze zjawisk termin: energia oznacza zdolność do oddziaływania między dwoma układami fizycznymi, najczęściej rozumianą jako zdolność do wykonania pracy. **Zasada zachowania energii mówi, że całkowita energia we wszechświecie jest stała i niezniszczalna. Energia nie zużywa się, może być wykorzystana w różnych procesach fizycznych czy chemicznych, wymieniana pomiędzy dwoma układami fizycznymi i wtedy jeden układ zyskuje tyle energii, ile traci drugi.** Jedna forma energii może być zamieniana w drugą, na przykład energia cieplna* ciała w energię promieniowania czy energia kinetyczna* w energię potencjalną*, ale nie może zostać zużyta. Wyrażenie: energia zużyta w procesie parowania jest niepoprawne. Należy powiedzieć: energia wykorzystana w procesie parowania lub: ciepło parowania. Wtedy termin: ciepło oznacza dokładnie proces przekazywania energii cieplnej jednego układu drugiemu układowi, na przykład energia cieplna masy wody w jeziorze przekazywana jest cząsteczkom, które się ulatniają.

Niemal jedynym źródłem energii napędzającej wszelkie procesy zachodzące na naszej planecie oraz podtrzymującej życie, jak również energii potrzebnej człowiekowi, jest Słońce.

Temperatura powierzchni Słońca wynosi około 6000 K. Chociaż trudno mówić o powierzchni Słońca, ponieważ jest ono rozżarzoną kulą gazową i nie ma takiej powierzchni jak np. Ziemia, to używając terminu: temperatura powierzchni Słońca, mówimy o temperaturze fotosfery* – warstwy, której temperatura decyduje o jego promieniowaniu cieplnym. Energia słoneczna albo dopływa ciągłym strumieniem ze Słońca, albo jest uwalniana w procesie spalania nośników energetycznych (węgiel, ropa, gaz, drewno), w których została zmagazynowana w procesie fotosyntezy. Słońce wysyła w ciągu sekundy ponad 63 miliony dżuli z każdego metra kwadratowego (ilość potrzebną do wyparowania 26 litrów wody). Z całej swej powierzchni wysyła w sekundę 3,86·10²⁶ J (386 kwadrylionów dżuli), na co traci około 5 milionów ton swej masy. W ciągu dziesięciu sekund wysyła ilość energii wystarczającą dla zamiany całej wody znajdującej się na kuli ziemskiej w parę.

- Energia emitowana przez Słońce w ciągu roku przekracza 1200 kwintylionów dżuli (1218·10³⁰ J).
- W ciągu roku do atmosfery ziemskiej dociera od Słońca 5,6 kwadrylionów dżuli (5,6·10²⁴ J), co jest ilością energii wystarczającą na wyparowanie 2 mln 300 tys. km³ lub czeriopółmetrowej warstwy wody z powierzchni całej Ziemi. Do powierzchni Ziemi przenika przez atmosferę około 43% tej wartości, czyli 2,4·10²⁴ J.
- Cała energia, jaką można uzyskać na Ziemi w wyniku spalania całego węgla zmagazynowanego w biosferze*, wyniosłaby 2·10²³ J, czyli prawie dwa tysiące razy mniej niż wysyła Słońce w ciągu sekundy. Ilość energii, jaką emituje ludzkość do atmosfery w wyniku spalania paliw wynosi 2·10²⁰ J w ciągu roku, a więc jest to 28 tysięcy razy mniej niż dociera od Słońca do powierzchni atmosfery.
- Ziemia, w wyniku ogrzania przez promieniowanie Słońca, sama promieniuje w ciągu sekundy 450 J z metra kwadratowego swej powierzchni. W ciągu roku z całej swej powierzchni wysyła więc 6,4·10²⁴ J, z czego w przestrzeń kosmiczną przenika około 25%, czyli tyle, ile dociera do atmosfery ziemskiej od Słońca.

Jak wynika z przytoczonych wyżej danych, przyroda zapewnia człowiekowi ogromne ilości energii „czystej”. Problem polega tylko na tym, że nie umiemy z niej, przynajmniej dzisiaj, korzystać. Jest to jednak problem tylko techniczny. Ludzkość, chcąc dalej istnieć, musi się nauczyć korzystać z energii słonecznej. Jak zobaczymy dalej, woda – drugi niezbędny dla życia element naszego środowiska - występuje na ziemi w ograniczonych ilościach i co gorsze, nie ma jej w bliskim nam kosmosie.

Energia cieplna może być wymieniana pomiędzy dwoma układami fizycznymi na trzy sposoby: przewodzenie ciepła*, konwekcja* i promieniowanie.

1. Przewodzenie ciepła*

W przypadku przewodzenia ciepła ośrodek, w którym następuje transport energii cieplnej, jest nieruchomy. Przewodzenie polega na przekazywaniu energii kinetycznej mikroskopowego ruchu

cząsteczek pomiędzy dwoma układami stykającymi się bezpośrednio. Jest to jedyny sposób przekazywania energii cieplnej w ciałach stałych, nieprzenikliwych dla promieniowania. W przyrodzie jest to jedyny sposób, w który ciepło może przepływać w glebie. Ilość ciepła, jaka przepływa między dwoma ciałami, zależy od różnicy ich temperatur i zdolności przewodzenia ciepła przez ośrodek, której miarą jest współczynnik przewodnictwa cieplnego. Ciepło płynie zawsze od ciała cieplejszego do zimniejszego. Ciało cieplejsze to nie ciało, które ma więcej ciepła, ale to, które ma wyższą temperaturę. Na przykład weźmy dwa ciała: jedno to stulitrowa beczka wody o temperaturze 20°C, a drugie to metalowa kula o masie 1 kg i temperaturze 100°C. W beczce jest zgromadzone 123 tys kJ (100 kg wody x 4198 J x kg-1K-1x 293 K, a w żelaznej kuli tylko 168 kJ (1 kg x 451 J x kg-1K-1x 273 K), jednak gdy wrzucimy kulę do wody, to ciepło popłynie z kuli do wody.

2. Konwekcja

Konwekcja polega na transporcie energii cieplnej przenoszonej przez poruszającą się masę płynu (cieczy lub gazu). Jest to sposób wymagający istnienia substancji transportującej energię z jednego miejsca w przestrzeni w drugie. Konwekcja jest znacznie wydajniejsza niż przewodzenie. Woda w naczyniu podgrzewanym od dołu jest ośrodkiem, w którym istnieje równocześnie przewodzenie ciepła (od cieplejszych warstw wody przy dnie naczynia do chłodniejszych, leżących wyżej – jest to proces mało wydajny) i konwekcja (ogrzone od dna naczynia cieplejsze warstwy wody stają się lżejsze od zimnych, leżących wyżej i wypływają ku górze, a na ich miejsce opadają warstwy chłodne). Zjawisko konwekcji, obok promieniowania, odgrywa zasadniczą rolę w transporcie pionowym energii cieplnej i masy (pary wodnej) w atmosferze.

3. Promieniowanie

Promieniowanie jest przekazywaniem energii niewymagającym kontaktu fizycznego pomiędzy ciałem promieniującym i absorbującym energię. Istnieją różne rodzaje promieniowania: jądrowe, grawitacyjne, kosmiczne, elektromagnetyczne, cieplne i inne. Promieniowanie cieplne* lub termiczne jest rodzajem promieniowania elektromagnetycznego, czyli przekazywania energii w postaci fali elektromagnetycznej z prędkością światła, przy czym jego natężenie i rozkład widmowy wyznaczone są przez temperaturę ciała promieniującego, a w przypadku ciał stałych przez temperaturę ich powierzchni. Dlatego też energia słoneczna może docierać do ziemi tylko pod postacią promieniowania elektromagnetycznego.

Najlepszą charakterystyką warunków energetycznych poszczególnych ekosystemów w krajobrazie jest sporządzenie jego bilansu cieplnego opisanego równaniem:

$$R_n + G + S + LE + A + F + M + X = 0$$

Wszystkie strumienie dochodzące do ekosystemu mają znak dodatni (są przychodem, tak jak pieniądze wpłacane na konto w banku), a strumienie odpływające z ekosystemu są rozchodem (tak jak pieniądze wyjmowane z konta). **W skali całego krajobrazu w każdym momencie saldo bilansu cieplnego musi się równać zeru, a równanie upraszcza się do następującej formy:**

$$R_n + G + S + LE = (\text{praktycznie}) 0,$$

gdź ostatnie cztery składniki równania są bardzo małe w stosunku do czterech pierwszych, gdzie:

- R_n – saldo promieniowania,
- G – strumień ciepła glebowego,
- S – strumień ciepła jawnego,
- LE – strumień ciepła utajonego,
- A – adwekcja,
- F – energia wiązana w procesie fotosyntezy,
- M – ciepło zgromadzone w masie roślin,
- X – bardzo drobne strumienie nieomówione wyżej.

Struktura bilansu cieplnego (wielkość poszczególnych strumieni) jest bardzo charakterystyczna dla danego ekosystemu i zależy od wielu czynników wymienionych niżej, ale szczególną rolę gra struktura krajobrazu i charakterystyka jego powierzchni. Szczególnie ważna jest szata roślinna i wilgotność siedliska. W przyrodzie istnieje zasada priorytetu parowania. Oznacza to, że jeżeli tylko jest dostatecznie dużo wody, która może wyparować, czy to z powierzchni zbiornika, czy poprzez ewapotranspirację*, wtedy wszystkie strumienie energii występujące w ekosystemie kierują się do powierzchni parującej (powierzchni czynnej). Mało ciepła pozostaje na ogrzewanie powietrza i gleby. Dlatego w upalne dni w lesie jest chłodno (rośliny silnie parują), a w mieście gorąco (nie ma co parować).

Czynniki decydujące o wartościach poszczególnych składników bilansu cieplnego powierzchni czynnej są wymienione poniżej:

1. Saldo promieniowania* zależy od:

- szerokości geograficznej,
- pory roku,
- pory dnia,
- zachmurzenia,
- albedo* powierzchni,
- zawartości pary wodnej w powietrzu,
- temperatury powierzchni czynnej,
- temperatury atmosfery.

2. Strumień ciepła utajonego zależy od:

- salda promieniowania,
- obfitości szaty roślinnej,
- wilgotności siedliska,
- niedosytu wilgotności powietrza,
- pionowego gradientu* stężenia pary wodnej w powietrzu,
- prędkości wiatru,
- stanu równowagi termodynamicznej* powietrza.

3. Strumień ciepła jawnego zależy od:

- salda promieniowania,
- charakteru podłoża (jest czy nie ma szaty roślinnej),
- pionowego gradientu temperatury powietrza,
- wilgotności siedliska,
- prędkości wiatru,
- stanu równowagi termodynamicznej powietrza.

4. Strumień ciepła glebowego (a właściwie ciepła wymienianego z podłożem), zależy od:

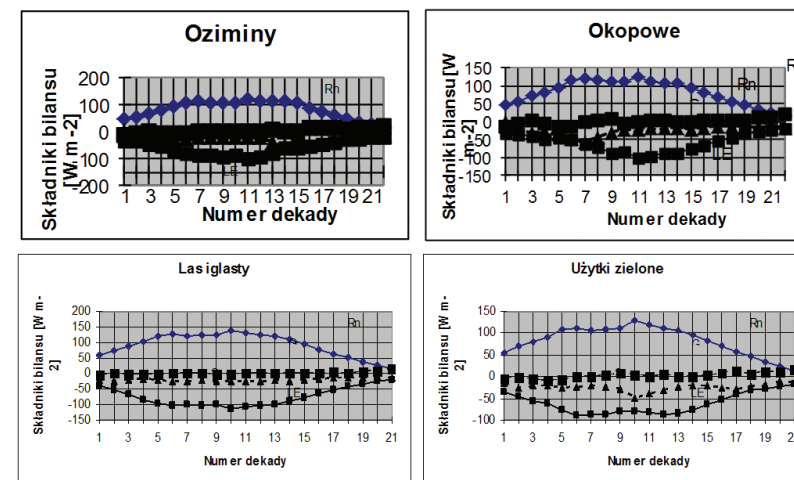
- pionowego gradientu temperatury w podłożu,
- wilgotności podłoża,
- porowatości podłoża.

Typowa struktura bilansu cieplnego różnych ekosystemów w okresie wegetacyjnym (od ostatniej dekady marca do końca października jest przedstawiona w Tab. 2.1). Największe wartości salda promieniowania (R_n) mają zadrzewienia śródpolne, gdyż pochłaniają najwięcej promieniowania słonecznego. Mają małe albedo – wielkość, która mówi, jaką część energii słonecznej na nie padającej odbijają. Te ekosystemy, dzięki głębokiemu systemowi korzeniowemu mogą pobierać więcej wody niż inne i dlatego największą wśród wszystkich ekosystemów część salda promieniowania wykorzystują na ewapotranspirację. Stosunek LE/R_n wynosi 0,88, podczas gdy stosunek S/R_n wynosi zaledwie 0,07. Oznacza to, że te ekosystemy wykorzystują mało energii na ogrzewanie powietrza. Nie należy mówić, że zużywają energię, ponieważ energia się nie zużywa, przechodzi jedynie transformację z jednej formy w inną. Na drugim końcu znajduje się powierzchnia bez roślin (uógór), która wykorzystuje na parowanie tylko nieco ponad połowę salda promieniowania, a na ogrzewanie powietrza aż ponad 40%.

Tab. 2.1. Parametry bilansu cieplnego typowych ekosystemów w krajobrazie rolniczym w okresie wegetacyjnym od 21 marca do 31 października

Parametr	Ekosystem					
	zadrzewienia	łąka	rzepak	buraki cukrowe	pszenica	uógór
R_n	1730	1494	1551	1536	1536	1575
LE	1522	1250	1163	1136	1090	866
S	121	215	327	339	385	651
G	87	29	61	61	61	47
LE/ R_n	0,88	0,84	0,75	0,74	0,71	0,55
S/ R_n	0,07	0,14	0,21	0,22	0,25	0,41

Struktura bilansu cieplnego wykazuje zmienność sezonową, a jej charakter zależy od typu ekosystemu, a dokładniej mówiąc – od przebiegu wegetacji roślin w tym ekosystemie. Ilustrują to wykresy przedstawione na Ryc. 2. Uprawy ozime aż do 12 dekady (druga dekada lipca) wykorzystują ponad 90% salda promieniowania (R_n) na ewapotranspirację. Jest to wynik natychmiastowego startu wzrostu roślin, gdyż aparat asymilacyjny i ewapotranspiracyjny jest gotowy – został utworzony w poprzednim roku. Potem, gdy rośliny kończą wegetację, zaczyna rosnać strumień ciepła jawnego*, zrównując się ze strumieniem ciepła utajonego. Sytuacja wygląda zupełnie inaczej w przypadku okopowych (np. buraki cukrowe). W pierwszych siedmiu dekadach (do pierwszej dekady czerwca) strumień ciepła jawnego (S) i ciepła utajonego (LE) są praktycznie równe. Wynika to z faktu, że nie ma jeszcze roślin (brak aparatu ewapotranspiracyjnego), więc parowanie z gleby jest słabe, ale większe niż w drugiej połowie roku z powierzchni pozbawionej roślin. Wynika to z faktu, że na wiosnę gleba jest jeszcze wilgotna, podczas gdy w drugiej połowie roku staje się przesuszona. W przypadku lasu iglastego, który cały czas jest aktywny, krzywa przebiegu ciepła utajonego jest zwierciadlanym odbiciem krzywej salda promieniowania. Pozostałe dwa strumienie są nieznaczące. W przypadku użytków zielonych, okresowo koszonych, struktura bilansu cieplnego wykazuje zmienność podobną do oziminy z wyraźnie zaznaczonymi spadkami ciepła utajonego w dekadach po koszeniu. Opisane wyżej zjawiska potwierdzają rolę interakcji pomiędzy przepływem energii i obiegiem wody w krajobrazie. Strumień energii jest siłą napędową obiegu wody poprzez proces parowania, ale roślinność decyduje o tym, na jakie strumienie ciepła zostanie ten strumień energii rozdzielony.

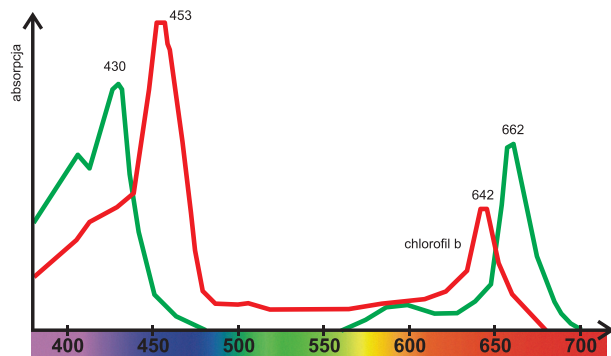


Ryc. 2.2. Bieg sezonowy składników bilansu cieplnego w okresie wegetacyjnym (od trzeciej dekady marca do końca października) dla czterech grup ekosystemów: ozime, których okres rozwoju przypada w pierwszej połowie okresu wegetacji; uprawy okopowe – okres rozwoju przypada na drugą połowę okresu wegetacji; lasy iglaste, których wegetacja trwa cały okres i użytki zielone, które rozwijają się zmiennie, w zależności od terminu pokosów. Liczby na osi X oznaczają numery dekad, rozpoczynając od trzeciej dekady marca

Fotosynteza i produkcja pierwotna jako przepływ energii między abiotyczną* a biotyczną* częścią ekosystemu

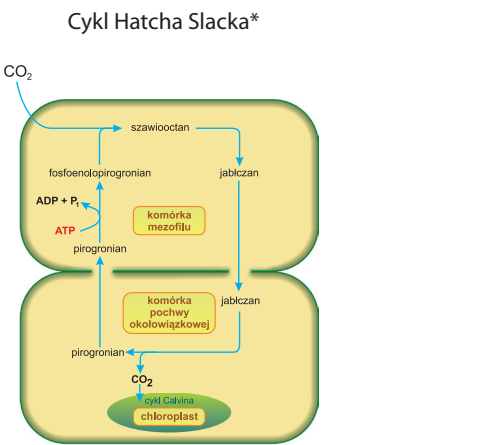
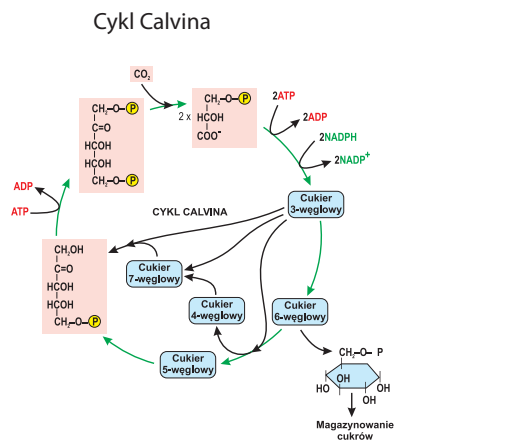
Jak już wspomniano, fotosynteza ma marginalne znaczenie dla bilansu energetycznego krajobrazu, jednak właśnie dzięki fotosyntetycznej aktywności roślin zachodzi produkcja biomasy, a w konsekwencji aparatu asymilacyjnego i transpiracyjnego, który, jak wykazano wyżej, ma zasadnicze znaczenie dla rozdziału strumienia energii w krajobrazie.

Absorpcja promieniowania słonecznego przez główny barwnik fotosyntetyczny – chlorofil a – najintensywniej przebiega w zakresie 430 nm (światło niebieskie). Drugie maksimum wynosi 662 nm (światło czerwone) (Ryc. 2.3). Dla chlorofilu b wartości te wynoszą odpowiednio: 453 i 632 nm. Zakres promieniowania położony między tymi wielkościami (światło zielone) jest praktycznie nieprzydatny dla fotosyntezy. Ten zakres widma promieniowania nie jest absorbowany przez chlorofil i ulega odbiciu. Dlatego rośliny są zielone. **Część widma promieniowania słonecznego, która może być wykorzystana w procesie fotosyntezy, nazywamy promieniowaniem aktywnym fotosyntetycznie (PAR).** Stanowi ono około 50% całkowitego promieniowania słonecznego, a w naszej szerokości geograficznej wynosi około 1200 – 1300 MJ·m⁻² w sezonie wegetacyjnym.



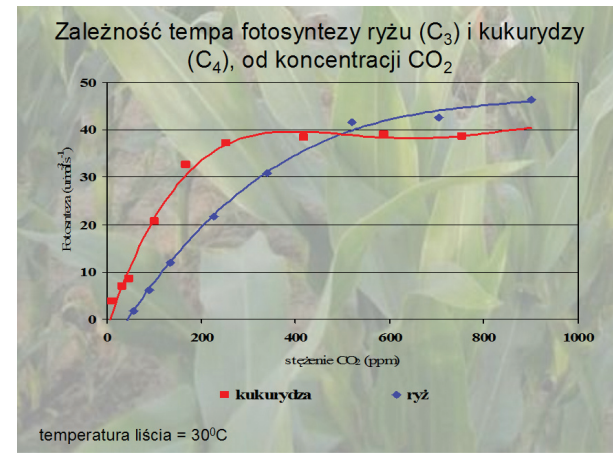
Ryc. 2.3. Absorpcja promieniowania słonecznego przez barwniki fotosyntetyczne

Rośliny wykorzystują jedynie niewielką część PAR. Wydajność fotosyntezy wynosi 1,6% całkowitego promieniowania słonecznego, a więc około 3,2% PAR (TRANESAU 1926). Potwierdziły to również późniejsze badania, w których wykazano, że maksymalna wydajność fotosyntezy u dominujących w strefie klimatu umiarkowanego roślin o fotosyntezie typu C₃ nie przekracza 6% PAR. U roślin reprezentujących wydajniejszy typ fotosyntezy C₄ – jej wydajność może sięgać 10% PAR. W warunkach połowych, w strefie umiarkowanej, wielkości te zwykle nie przekraczają 2% PAR dla obu typów fotosyntezy.



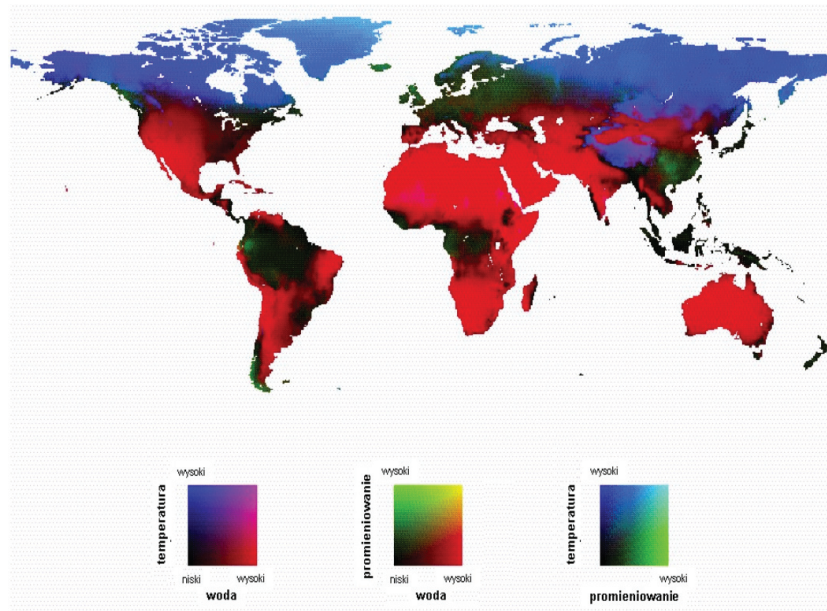
Ryc. 2.4. Schemat przebiegu fazy ciemnej fotosyntezy

Analizując schemat szlaków fotosyntezy, możemy zauważyć, że wspólny dla obu typów fotosyntezy cykl Calvina wymaga dostarczenia dwóch cząsteczek ATP na wytworzenie trójwęglowego cukru – aldehydu 3 fosfglicerynowego, a więc czterech cząsteczek ATP na jedną cząsteczkę glukozy. Tymczasem zachodzący u roślin C₄ cykl Hatcha Slacka wymaga dodatkowego zużycia ATP (w praktyce dwóch – trzech cząsteczek) na przetransportowanie cząsteczki CO₂ z komórek mezofilu* do pochwy okołowiązkowej*. Skąd zatem wyższa wydajność fotosyntezy C₄? Otóż cykl Hatcha Slacka nie jest niczym innym jak rodzajem pompy tłoczącej CO₂ do komórek pochwy okołowiązkowej. Zapewnia to stałe wysokie stężenie CO₂ w komórkach pochwy okołowiązkowej i tym samym zwiększa intensywność wiązania CO₂ przez enzym karboksylazę RuDP. **Fotosynteza roślin C₄ może być zatem dwu-, a nawet trzykrotnie wydajniejsza niż C₃.** Ponadto dzięki przestrzennemu odizolowaniu zachodzącej w mezofilu fazy świetlnej, podczas której uwalniany jest tlen od Cyklu Calvina, u roślin C₄ nie występuje, przynoszące straty materii organicznej fotooddychanie. Innymi słowy: opłaca się poświęcić pewną ilość energii na cykl Hatcha Slacka, aby dzięki temu wyprodukować większą ilość wysokoenergetycznej glukozy. Dlaczego zatem rośliny C₄ nie opanowały Ziemi? Przyczyną są wysokie wymagania termiczne i świetlne roślin C₄. Optimum pierwotnego akceptora CO₂ w cyklu Hatcha Slacka – enzymu karboksylazy PEP – wynosi ok. 40°C, ponadto przewaga roślin C₄ nad roślinami C₃ szybko maleje przy wzroście poziomu CO₂. Rośliny C₄ dominują jedynie w strefie klimatu zwrotnikowego i kontynentalnego. W umiarkowanej strefie klimatycznej są to wyłącznie rośliny uprawne lub zawlezione, takie jak kukurydza (*Zea sp.*), proso (*Panicum sp.*), sorgo (*Sorghum sp.*), trzcina cukrowa (*Saccharum officinarum*), chwastnica jednostronna (*Echinochloa crus-galii*), szarłat szorstki (*Amaranthus retroflexus*).



Ryc. 2.5. Zależność tempa fotosyntezy ryżu (C₃) i kukurydzy (C₄) od stężenia CO₂

Biorąc pod uwagę niską wydajność energetyczną fotosyntezy, można założyć, że intensywność światła w warunkach naturalnych nie jest czynnikiem ograniczającym produkcję biomasy. Dostęp światła może być czynnikiem ograniczającym jedynie dla roślin wodnych lub dla niższych pięter roślinności w zbiorowiskach o strukturze warstwowej, np. dla roślin runa leśnego. Na tempo fotosyntezy wpływa cały szereg innych czynników: stężenie CO₂, temperatura, dostępność wody i stan fizjologiczny rośliny, uwarunkowany m.in. dostępnością pierwiastków takich jak azot, fosfor, żelazo, magnez i potas. Uwarunkowania te powinny zatem kształtować również produkcję biomasy, tymczasem badania terenowe wskazują, że całkowita produkcja pierwotna, czyli cała biomasa wyprodukowana przez rośliny w ciągu sezonu wegetacyjnego, jest zbliżona w obrębie danej strefy klimatycznej, za wyjątkiem ekosystemów charakteryzujących się skrajnymi warunkami siedliska. Zjawisko to nosi nazwę kompensacji wielkości produkcji pierwotnej*. Wynika ono ze zrównoważenia się efektów oddziaływania wymienionych czynników w dłuższych okresach czasu. Możliwa do przyjęcia jest też koncepcja wskazująca, że wielkość produkcji pierwotnej w okresie wegetacyjnym kształtowana jest przez czynnik limitujący, jakim jest niska, zaledwie 0,038% zawartość CO₂ w atmosferze. Za niewielką efektywność energetyczną fotosyntezy odpowiedzialny jest zatem niski poziom zasobów, a nie niedostatek energii.



Ryc. 2.6. Najważniejsze czynniki kształtujące wielkość produkcji pierwotnej

Za zasadniczy (pomijając poziom CO₂ w atmosferze) czynnik wpływający na wielkość produkcji pierwotnej w naszej strefie klimatycznej uważa się dostępność wody, a i to dotyczy raczej sytuacji ekstremalnych. Wpływ temperatury na wielkość produkcji pierwotnej nie jest jednoznaczny. Temperatura wpływa na produkcję biomasy głównie poprzez wydłużenie okresu wegetacyjnego, a jej wzrost może wręcz oddziaływać negatywnie na skutek pogorszenia warunków higrotermicznych oraz intensyfikacji oddychania roślin, które zużywają wyprodukowaną materię organiczną. Niewielkie znaczenie dla produkcji biomasy ma też żyzność siedliska (dostępność pierwiastków biogennych). W tym kontekście jako czynnik limitujący wielkość produkcji najczęściej wymieniany jest azot, rzadziej fosfor.

Ciekawą prawidłowością, wskazującą na optymalizację dystrybucji energii przez rośliny, jest to, że na wytworzenie powierzchni asymilacyjnej (głównie liści) we wszystkich typach ekosystemów wykorzystywana jest około połowa wyprodukowanej biomasy. Wyjątkiem okazują się uprawy roślin o fotosyntezie typu C₄ – one na wyprodukowanie liści wykorzystują znacznie mniej wyprodukowanej biomasy (Tab. 2.2).

Tab. 2.2. Relacje między całkowitą produkcją pierwotną (NPP*), a wielkością fotosyntetyzującej biomasy (PAB) w ekosystemach krajobrazu rolniczego

Ekosystem	NPP [g suchej masy·m ⁻²]	PAB [g suchej masy·m ⁻²]	LWR [PAB/NP]
Uprawy kukurydzy	1804,08	207,81	0,2
Uprawy roślin C ₃ *	1409,25	569,66	0,4
Łąki	2047,58	921,39	0,45
Młode zadrzewienia	1666,99	963,47	0,58
Lasy	1374,37	712,11	0,52

Źródło: Bernacki 2012

Produkcja pierwotna stanowi pierwszy etap przepływu energii w sieciach troficznych. Całość materii organicznej wyprodukowana w ciągu sezonu wegetacyjnego w procesie fotosyntezy (włączając w to materię zużytą na procesy życiowe roślin) określana jest jako produkcja pierwotna brutto (GPP). Produkcję pierwotną netto (NPP) określa się jako ilość masy organicznej wbudowanej w ciało roślin przy czym $NPP = GPP - R$, gdzie R oznacza respirację roślin (ODUM 1977).

Tab. 2.3. Produkcja pierwotna oszacowana w skali niewielkiej zlewni rolniczej

Ekosystem	Zajmowany areal [ha]	Biomasa [mg suchej masy]	NPP [mg suchej masy]
Lasy	2181	610 680	30 534
Zadrzewienia	1091	13 092	18 547
Łąki	2276	20 484	46 658
Pola uprawne	11 694	69 817	193 144
Razem zlewnia	17 242	714 073	288 883

Źródło: Bernacki 2012

Aby zrozumieć rolę fotosyntezy w biosferze, należy uświadomić sobie, że (pomijając mające marginalne znaczenie chemosyntezę, a od XIX w. także syntezę chemiczną) jest ona jedynym źródłem całej materii organicznej występującej na Ziemi, zarówno tej zawartej w biomasie, jak i w paliwach, pożywieniu, meblach, a także w nas samych. Całkowita produkcja pierwotna biosfery szacowana jest na ok. 100 mld ton. Na terenie niewielkiej (ok. 17 000 ha) zlewni rolniczej w Wielkopolsce produkcję oszacowano na niemal 300 tys. ton. Tak olbrzymią biomasę udaje się wyprodukować w ciągu roku, wykorzystując zaledwie 1% energii słonecznej. Ta materia stanowi podstawę przepływu energii i obiegu materii w biosferze. Przepływ energii i obieg materii przez poziomy troficzne biocenozy są procesami powszechnie znanymi. W skali krajobrazu zachodzą dodatkowe procesy, takie jak wymiana materii i energii między ekosystemami. **Dodatkowy dopływ energii do ekosystemu nazywamy subwencją energetyczną***. Subwencją jest także dostarczenie do ekosystemu dodatkowej porcji materii, nie tylko wysokoenergetycznych związków organicznych. Mówiąc o subwencji energetycznej, zwykle mamy na myśli subwencję zachodzącą za pośrednictwem człowieka.

Rzeczywiście typowymi ekosystemami zależnymi od subwencji energetycznej są pola uprawne (agroekosystemy*), jednak nawet bardzo wysoka subwencja energetyczna może zachodzić bez udziału człowieka. Ekosystemami istniejącymi tylko dzięki subwencji energetycznej są np. ekosystemy polarne, rozwijające się na terenach, na których wcześniej były kolonie pingwinów. Ptaki te wynoszą z morza olbrzymie ilości materii, a pozostawione przez nie guano może osiągać masę 10 kg·m⁻² rocznie, czyli około 10 razy więcej niż produkcja pierwotna takiego ekosystemu. W naszej strefie klimatycznej typowymi ekosystemami zależnymi od subwencji są agroekosystemy. Subwencja musi w tym wypadku nie tylko wyrównywać straty wynikłe z eksportu znacznej części produkcji pierwotnej w postaci plonu, ale także podtrzymywać sztucznie uproszczoną strukturę ekosystemu. Subwencją jest wtedy zarówno dopływ materii w postaci nawozów, jak również energia wykorzystanych paliw, energia zużyta na wyprodukowanie nawozów, środków ochrony roślin, maszyn, a także praca ludzka.

Obieg wody w krajobrazie rolniczym

Woda jest jedną z najbardziej zadziwiających substancji znajdujących się w przyrodzie. Wiele jej właściwości różni się wartościowo, od innych substancji występujących w przyrodzie i uczestniczących w procesach ważnych dla funkcjonowania biosfery. Jej ciepło właściwe i stała dielektryczna mają jedne z najwyższych wartości w przyrodzie*.

Niektóre z jej właściwości zmieniają się pod wpływem temperatury i ciśnienia zupełnie inaczej niż u innych substancji – na przykład gęstość wody nie zawsze maleje ze wzrostem temperatury: największa gęstość wody występuje w temperaturze około 4°C. Woda jest jednym z najbardziej uniwersalnych rozpuszczalników, występuje w przyrodzie we wszystkich stanach skupienia: lód, woda ciekła i para wodna.

Woda spełnia w przyrodzie trzy ważne funkcje, bez których istnienie życia i naszej cywilizacji byłoby niemożliwe: jest materiałem budulcowym żywych organizmów, medium transportującym materię (substancje chemiczne w roślinach, substancje zawieszone i rozpuszczone w ciekach) i energię (prądy oceaniczne i cyrkulacja atmosfery).

1. Funkcja budulcowa

Organizmy roślinne i zwierzęce zawierają od 45 do 98% wody. Noworodek składa się w 85% z wody (embrion zawiera jej nawet 98%). Dorosły mężczyzna ma w swym organizmie 65% wody. Jej zawartość u ludzi starszych może spadać do 50%. Organizm kobiety zawiera około 10% mniej wody niż organizm mężczyzny ze względu na to, że zawiera więcej tłuszczu. Nawet nasiona roślin zawierają od 15–20% wody, natomiast niektóre prymitywne organizmy, jak np. meduzy parzydełkowców, zawierają nawet 98% wody. Zdrowy organizm utrzymuje bardzo ścisłą kontrolę nad bilansem płynów, w którym ubytek wody nawet o 1–2% może niekorzystnie wpłynąć na funkcjonowanie całego ustroju, utrata 10% powoduje znaczne osłabienie funkcji życiowych, a utrata 20% skutkuje śmiercią.

2. Funkcja transportu materii

Wiatr i woda, poprzez procesy erozji transportują wielkie ilości materiału z powrotem do oceanów i mórz, gdzie gromadzą się na ich dnie w postaci osadów. Intensywne opady deszczu, szczególnie na gruntach o mało związłych glebach, jak np. czarnoziemy i na terenach pozbawionych roślinności (pola uprawne po zbiorach, tereny wylesione) powodują silną erozję gleb. Materiał glebowy jest następnie transportowany do rzeki i dalej do morza. Intensywność erozji wodnej zależy od intensywności opadu i rodzaju gleby. W czarnoziemach natężenie erozji może być tak wielkie, że w czasie jednego opadu powstają wąwozy, do których może w nie wjechać wóz konny. Chińska rzeka Huang He (Rzeka Żółta) transportuje rocznie do morza 1,5 miliarda ton materiału glebowego, a amerykańska rzeka Missisipi – 550 milionów ton rocznie. Wielkość erozji wodnej w skali światowej jest bardzo różna (Tab. 2.4) i w dużym stopniu zależy od czynnika roślinnego – rodzaju użytkowania terenu i stopnia pokrycia powierzchni przez rośliny (Tab. 2.5).

Tab. 2.4. Erozja wodna gleb

Kontynent	Powierzchnia		Spływ		Materiał erodowany	Grubość warstwy wymywanego gruntu
	[mln km ³]	[km ³]	[mm]	[mm]	[mln t]	[mm/rok]
Europa	9.67	2577	266		420	0.050
Azja	44.89	11464	255		7445	0.130
Afryka	29.81	6052	203		1395	0.048
Ameryka Północna	20.44	6440	315		1503	0.075
Ameryka Południowa	17.98	8080	449		1675	0.099
Australia	7.96	610	77		257	0.03

Najszybciej erodowana jest Azja, trzynastocentymetrowa warstwa ziemi w ciągu stu lat, a najwolniej Australia – około 3 cm w ciągu 100 lat. Ogromną rolę w kontrolowaniu funkcji wody jako transportera materii obrazuje Tab. 2.5. Gleba pod lasem praktycznie nie ulega erozji, a gleba całkowicie pozbawiona roślin znika w tempie 1 metra na 100 lat.

Tab. 2.5. Czas niezbędny do erozji 18 cm gleby (BENNETT 1939)

Ekosystem	Las dziewiczy	Pastwisko trwałe	Pola uprawne	Pole bez roślin
Liczba lat	575 000	82 150	110	18

3. Funkcja transportu energii

Ciepło dochodzące ze Słońca do Ziemi nie jest równomiernie rozłożone na całym globie. Najwięcej ciepła dochodzi do obszarów równikowych, a najmniej do stref polarnych. Jednak dzięki wodzie, która w formie prądów oceanicznych oraz przez ruchy powietrza zawierającego parę wodną transportuje olbrzymie ilości ciepła ze stref równikowych do stref chłodniejszych, obszar Ziemi zapewniający warunki odpowiednie do życia jest znacznie powiększony.

Ilość energii cieplnej przenoszanej przez prądy morskie i ruchy atmosfery jest olbrzymia. Na przykład prąd morski płynący w Oceanie Atlantyckim z Zatoki Meksykańskiej w kierunku Europy, który nazywa się Prądem Zatokowym albo Golsztrmem, niesie dwieście razy więcej energii niż cała ludność świata zużywa w ciągu roku. Podobne ilości energii są przenoszone przez ruchy atmosfery ze stref równikowych do chłodniejszych stref: umiarkowanej i polarnej. Prądy morskie i atmosferyczne przenoszą łącznie około 500 razy więcej energii niż obecnie wykorzystuje świat.

Dzięki bardzo wysokiemu ciepłotajonemu (2,5 MJ/kg) woda, parując, pobiera olbrzymie ilości ciepła, które następnie dzięki globalnej cyrkulacji atmosferycznej jest transportowane ze stref gorących do zimnych.

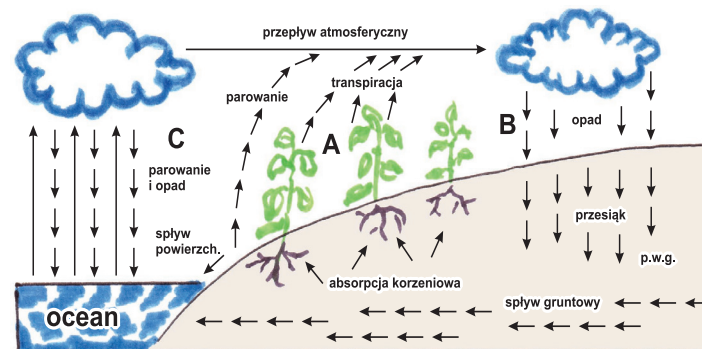
Rocznie z powierzchni Ziemi wyparowuje 577 km³ wody, czyli warstwa o grubości 113 cm, transportując z powierzchni Ziemi do atmosfery 1414 trylionów dżuli energii (1414·10¹⁸ J). Jest to prawie trzy razy więcej energii cieplnej niż niesie Golsztrmem. **Dzięki temu tereny bogate w wodę nigdy nie nagrzewają się tak mocno jak tereny suche (pustynie), a klimat na takich obszarach jest łagodny i nie ma tam wielkich wahań temperatury.**

Całość wody występującej na powierzchni Ziemi, przenikająca jej skorupę i stanowiąca domieszka atmosfery nazywa się hydrosferą*. Objętość hydrosfery wynosi około 1,4 · 10⁹ km³ (Tab. 2.6). Z tego 96,5% stanowią wody oceanu światowego. Woda glebowa o objętości 16,5 tys. km³ stanowi nieco ponad 0,001% całej hydrosfery, a woda atmosferyczna o objętości 12,9 tys. km³ stanowi nieco mniej niż 0,001% wszystkich wód planety.

Tab. 2.6. Zasoby wodne hydrosfery (wg *World water balance and water resources of the earth*, 1978)

Rodzaje wód	Objętość [tys. km ³]	Zasoby wodne [%] w stosunku do ogólnej objętości
Wody oceanu światowego	1338000	96,5
Wody podziemne	23400	1,7
(w tym wody w strefie aktywnej wymiany do 100 m)	10530	0,76
Wody glebowe	16,5	0,001
Lodowce i stała pokrywa śnieżna	24064,1	1,74
Wieczna zmarzlina	300	0,022
Jeziora	176,4	0,013
Bagna	11,47	0,0008
Rzeki	2,12	0,0002
Woda biologiczna	1,12	0,0001
Para wodna w atmosferze	12,9	0,001
Ogółem wody hydrosfery	1385984	100

Zaledwie 2,5%, czyli 35 milionów km³ stanowią wody słodkie (Tab. 2.6), z czego ponad 2/3 uwięzione jest w lodowcach, stałej pokrywie śnieżnej i w wiecznej zmarzlinie. Woda atmosferyczna i woda glebowa stanowią odpowiednio 0,037% i 0,05% wszystkich wód słodkich. Należy podkreślić, że opisane wyżej funkcje wody istotne dla życia zwierząt i roślin, spełnia mniej niż 0,1% wszystkich zapasów wody na Ziemi.



Ryc. 2.7. Duży (C), mały (B) i mikrobieg* wody w przyrodzie

Obieg wody w przyrodzie należy rozpatrywać w trzech skalach (Ryc. 2.7).

1. Obieg duży* – obieg od oceanu poprzez atmosferę i ziemię z powrotem do oceanu. Obieg wody nie ma punktu początkowego, ale możemy prześledzić jego cały cykl, poczynając od oceanu. Siłą napędową tego procesu jest Słońce. Podgrzewa ono wodę w oceanie, ta zaczyna parować i w postaci pary unosi się nad oceanem. Wznoszące prądy powietrzne przenoszą parę wyżej, do atmosfery, gdzie niska temperatura wywołuje proces kondensacji i powstanie chmur. Poziome prądy powietrzne przenoszą chmury wokół globu ziemskiego. Z nich powstają opady docierające do powierzchni Ziemi. Około 60% wody opadowej wyparowuje, a 40% powraca rzekami do mórz. Dzieliąc objętość wody, która wyparowuje z powierzchni oceanów (577 km³) przez całkowitą ilość wody w atmosferze (12,9 km³), otrzymujemy w wyniku wielkość 45. Tyle razy każda cząsteczka wody atmosferycznej musi wyparować i skondensować. Dzieliąc liczbę dni w roku (365) przez 45, otrzymujemy liczbę 8. To znaczy, że przeciętnie każda cząsteczka przebywa w atmosferze osiem dni.

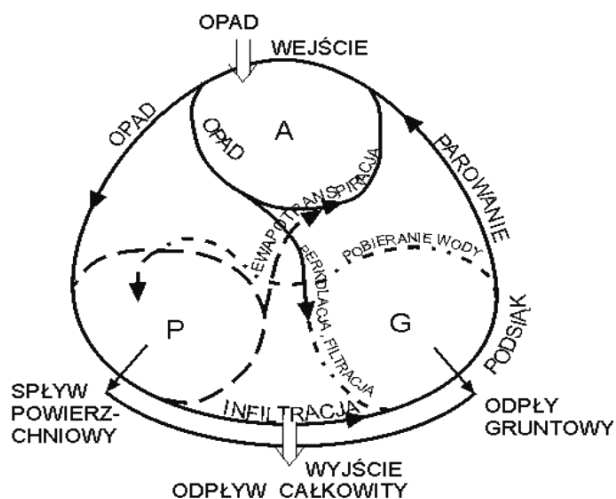
2. Obieg mały* – cyrkulacja wody pomiędzy oceanem i atmosferą lub kontynentem i atmosferą. Ilość wody wyparowującej z powierzchni zbiorników wodnych zależy przede wszystkim od ilości dopływającej energii słonecznej. Natomiast aby doszło do procesu parowania z powierzchni lądowej muszą być spełnione tylko trzy warunki:

- musi istnieć woda w fazie ciekłej, czy to na powierzchni terenu, czy w glebie,
- musi być dopływ energii lub jej zapas (w masie wody w zbiorniku lub w glebie),
- powietrze musi być nienasycone parą wodną.

Większość wody opadowej wyparowuje. Część wód opadowych i roztopowych spływa po powierzchni ziemi, tworząc odpływ powierzchniowy. Dociera on do rzek i jako przepływ rzeczny podąża w stronę oceanu. Znaczna część wody przesiąka, infiltruje* grunt i jako odpływ gruntowy dociera do rzeki i dalej do morza. Część wody infiltrującej grunt przesiąka głębiej, zasilając warstwy wodonośne (nasycone wodą warstwy gruntu), które magazynują ogromną ilość słodkiej wody przez długi czas.

3. Mikroobieg – obieg wody wewnątrz szaty roślinnej. Polega na parowaniu wody z powierzchni gleby, kondensowaniu na liściach i powrocie do gleby. W niektórych ekosystemach, np. na wilgotnych łąkach, strumień powracającej w nocy wody może stanowić ponad połowę tej ilości, która wyparowała w ciągu dnia.

W obiegu wody można wyróżnić trzy ogniwa: **atmosferyczne, powierzchniowe i glebowe** (Ryc. 2.8). Są one powiązane procesami przez procesy przepływu wody: parowanie, kondensację, opady, intercepcję*, destylację, infiltrację, przesiąkanie, spływ powierzchniowy, odpływ podziemny, podsiąk i retencję.



Ryc. 2.8. Trzy ogniwa obiegu wody w przyrodzie

1. Ogniwo glebowe

Woda wsiąkająca do gleby przemieszcza się we wszystkich kierunkach. Jeżeli jest zdolna do retencjonowania w warstwie ponad poziomem wody gruntowej, to dalszy dopływ do warstwy nasyconej powoduje podniesienie się poziomu lustra wody gruntowej. W przypadku silnego parowania z powierzchni gleby woda płynie z głębszych warstw ku warstwie korzeni roślin, które pobierają wodę potrzebną roślinom do życia i transportu substancji odżywczych do liści. Szybkość przepływu wody w glebie zależy od jej wilgotności i właściwości. Gleby ciężkie, takie jak gliny i ły, mają niską przepuszczalność, natomiast gleby piaszczyste są mocno przepuszczalne. Woda dopływająca do rzeki stanowi odpływ gruntowy w bilansie wodnym zlewni. W glebach o prawidłowej strukturze i w krajobrazie odpływ gruntowy jest zwykle większy od odpływu powierzchniowego. Obecnie w skali całego globu obserwuje się niekorzystne zmiany w tych proporcjach.

2. Ogniwo powierzchniowe

Z punktu widzenia funkcjonowania krajobrazu rolniczego i ekologii krajobrazu jest to najważniejsze ogniwo. Zachodzą w nim procesy najważniejsze dla obiegu wody i najbardziej skomplikowane, gdyż na ich przebieg i intensywność mają wpływ czynniki abiotyczne* (czynniki siedliskowe, ukształtowanie terenu, warunki meteorologiczne), biotyczne (obfitość i struktura szaty roślinnej) i antropogeniczne (działalność człowieka). Najważniejsze z tych procesów to:

- I. Intercepcja – przechwytywanie opadów przez szatę roślinną.** Powoduje to zmniejszenie ilości wody dopływającej do gleby, ale jednocześnie zmniejsza parowanie wody z gleby i z roślin.
- II. Ewapotranspiracja – jednoczesne parowanie z gleby i transpiracja roślin.** Jest to podstawowy proces przemiany fazowej wody – przejście ze stanu ciekłego w gazowy. Jest to proces napędowy obiegu wody. W tym procesie wiązana jest energia słoneczna i transportowana w wyższe warstwy atmosfery. W okresie wegetacyjnym średnia dobową wartość ewapotranspiracji z krajobrazu rolniczego wynosi 2,4 mm na dobę, a średni dobowy opad wynosi 2,2 mm. Wynika z tego, że szata roślinna w okresie wegetacji potrzebuje więcej wody niż uzyskuje z opadów, musi więc korzystać z zapasów wody glebowej.
- III. Infiltracja – proces wsiąkania wody opadowej do gleby.** Zwiększając udział nieprzepuszczalnych powierzchni takich jak zabudowa czy parkingi, zmniejszamy niekorzystne zjawisko gromadzenia wody w glebie.
- IV. Spływ powierzchniowy – woda spływająca podczas opadu po powierzchni terenu do rzek.** Im uboższa szata roślinna i im bardziej uproszczona struktura krajobrazu, tym większy spływ powierzchniowy, a mniejszy gruntowy. Jest to niekorzystna zmiana w strukturze bilansu wodnego zlewni.

3. Ogniwo atmosferyczne

Woda w atmosferze znajduje się w trzech stanach skupienia: para wodna w całej atmosferze (tym jest jej więcej, im bliżej powierzchni ziemi), woda powstająca w wyniku kondensacji pary wodnej jako drobne kropelki w chmurze i kryształki lodu w chmurach znajdujących się powyżej poziomu, na którym utrzymuje się temperatura ujemna. W atmosferze, w chmurach zachodzi jeden z ważniejszych dla obiegu wody procesów – powstawanie opadów. Kondensacja pary wodnej zachodzi tym szybciej i intensywniej, im więcej jest w atmosferze jąder kondensacji, którymi są kryształki soli i inne drobne pyłki.

W wyniku wielu procesów zachodzących w chmurze, prowadzących do łączenia się drobnych kropelek wody o średnicy mniejszej niż 50 mikrometrów w większe krople, powstają opady. Aby powstała kropelka deszczu o średnicy 1 mm, musi się połączyć 8000 kropelek o średnicy 50 mikrometrów, a do powstania największych w warunkach ziemskiej atmosfery kropli deszczu o średnicy 8 mm, musi się połączyć ponad 8 milionów takich małych kropelek.

Wielkość i rozkład opadów w czasie i przestrzeni są bardzo zmienne. Suma roczna opadów waha się od kilkudziesięciu milimetrów (1 mm to 1 litr na powierzchni jednego m²: 1 m² x 1 mm = 0,001 m³ = 1 dcm³ = 1 l) w niektórych regionach pustynnych do kilkunastu tysięcy milimetrów na stokach Himalajów. Rekordowe opady zarejestrowane w punktach pomiarowych to 38 mm w ciągu minuty, 1825 mm w ciągu doby, 9300 mm w ciągu miesiąca i 26 461 mm w ciągu roku. Opady te zanotowano w strefach klimatu wilgotnego. Rekordy Polski są znacznie niższe: 2770 mm w Dolinie Pięciu Stawów w 2001 r., 2628 mm na Hali Gąsienicowej w 2001 r., 2599 mm na Kasprowym Wierchu w 2001 r. Najniższa roczna suma opadów: 275 mm została zanotowana w Poznaniu w 1982 r.

Bilans wodny zlewni

Zestawienie wszystkich strumieni wody w różnych stanach skupienia, dochodzących do powierzchni zlewni i odchodzących od niej, nazywa się bilansem wodnym zlewni. Liczba składników takiego równania zależy od okresu, dla którego sporządza się bilans. Dla dostatecznie długiego okresu, w którym zmiany zachodzące w gruncie można pominąć, równanie bilansu wodnego zapisuje się następująco (surowy bilans wodny):

$$Pr + E + H = 0$$

gdzie:

Pr – opady atmosferyczne w różnej postaci [mm],

E – ewapotranspiracja [mm],

H – odpływ całkowity [mm].

W okresie krótszym, np. jednego roku, trzeba jeszcze uwzględnić zmiany retencji w gruncie (ΔR). Wtedy równanie przybierze postać:

$$Pr + E + H \pm \Delta R = 0$$

W powyższych równaniach strumienie dochodzące do powierzchni zlewni mają znak dodatni, a odpływające z niej ujemny. Zmiana retencji glebowej ma znak ujemny, gdy zmniejszyła się w ciągu danego okresu i, znak dodatni, jeżeli wzrosła. Bilans sporządza się dla powierzchni zlewni, zatem gdy w ciągu roku zapas wody w gruncie zmniejszył się, to znaczy, że pewna ilość wody dopłynęła do powierzchni (podsiąk przeważał nad przesiąkaniem) i wyparowała.

Struktura bilansu wodnego zlewni zależy od dwóch grup czynników:

- zmienności i rozkładu w czasie oraz przestrzeni opadów atmosferycznych, które są elementem nieciągłym w czasie i przestrzeni,
- cech fizjograficznych zlewni (nachylenie powierzchni, gęstość i rodzaj pokrywy roślinnej, przepuszczalność i chłonność pokrywy glebowej).

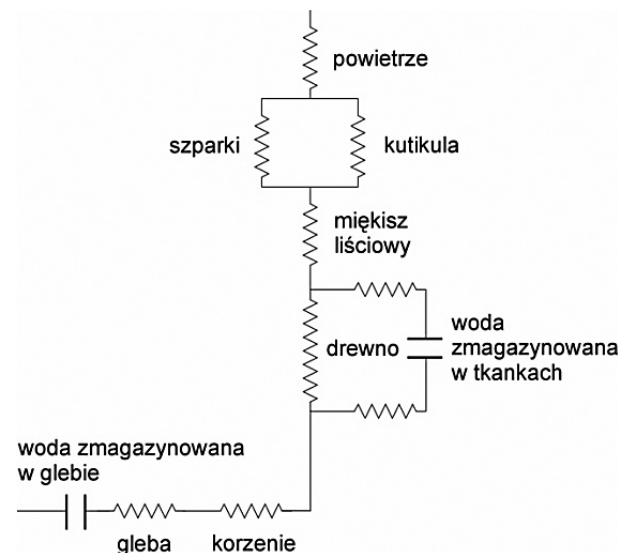
Istotny wpływ na dokładność oceny bilansu wodnego zlewni mają jej wymiary, ponieważ granice zlewni topograficznej (wyznaczone na podstawie ukształtowania powierzchni zlewni) nie zawsze pokrywają się z granicami zlewni hydrologicznej.

Przepływ energii i wody przez system GRAK

Akronim GRAK oznacza system gleba – roślina – atmosfera – kontinuum. Jest to fragment obiegu wody, który mieści się w trzech wyżej omówionych ogniwach ogólnego obiegu wody. Woda znajdująca się w glebie, roślinach i atmosferze jest poddana działaniu różnych sił: sile przyciągania przez cząstki gleby, tkanki rośliny, substancje rozpuszczone w wodzie, siłę grawitacji i siłę ssącą atmosfery. Bardzo ważnym pojęciem używanym przy rozważaniu przepływu wody przez system GRAK jest pojęcie potencjału wody*. Jest to w przybliżeniu wielkość pracy, jaką trzeba wykonać, aby pobrać jednostkę wody znajdującą się w określonym stanie termodynamicznym. Woda wolna i czysta chemicznie (niewiązana przez żadne siły) ma potencjał równy zeru. Im silniej woda jest wiązana przez różne siły, tym mniejszy jej jest potencjał, a więc jest zawsze ujemny. Woda przez system GRAK płynie zawsze z miejsc o wyższym potencjale do miejsc o potencjale niższym. Ilość wody, która przepływa z gleby do atmosfery przez roślinę, jest wprost proporcjonalna do różnicy pomiędzy potencjałem wody przy wejściu do rośliny (czyli potencjałem wody w glebie), a potencjałem przy wyjściu (czyli potencjałem pary wodnej w atmosferze), a odwrotnie proporcjonalna do oporów, jakie spotyka strumień wody na swej drodze przez roślinę. Możemy to zapisać następująco:

$$\text{Gęstość strumienia wody [kg m}^{-2}\text{s}^{-1}\text{]} = \frac{\text{różnica w potencjale wody } (\Delta\varphi) \text{ [J kg}^{-1}\text{]}}{\text{opór (r) [s m}^{-1}\text{]}}$$

Przepływ wody przez roślinę jest analogiczny do przepływu prądu. Elementami układu są oporniki (opory gleby, korzeni, tkanek i szparek) oraz kondensatory (miejsca magazynowania wody). Zasadniczo woda przepływa z gleby do roślin i w roślinie w formie cieczy. Jednak przy przejściu z rośliny do atmosfery ulega przemianie fazowej – staje się parą. Ten proces nazywa się transpiracją. Największym oporem stawianym strumieniowi wody jest opór kutikuli*, który jest zawsze bardzo duży i opór szparek, który jest zmienny i zależy od stanu fizjologicznego rośliny.



Ryc. 2.9. Schemat przedstawiający układ oporów i magazynów wody przy przepływie wody przez glebę – roślinę – atmosferę – kontinuum (GRAK)

Tempo przepływu wody przez roślinę jest kontrolowane przez trzy czynniki:

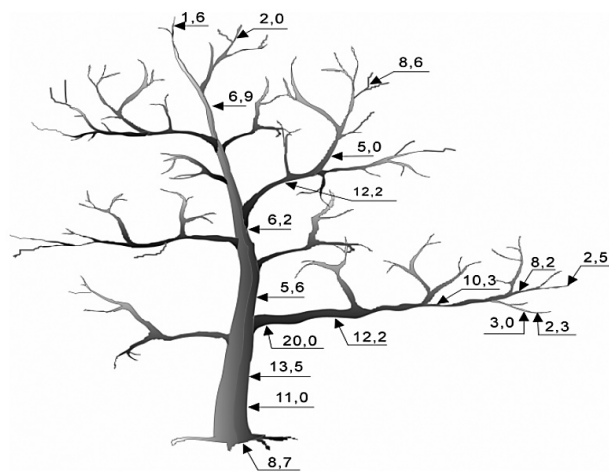
- gradient potencjału wody pomiędzy parującą powierzchnią roślin a powietrzem,
- stopień otwarcia szparek,
- wzrost oporów przepływu powstających w wyniku zmniejszonej absorpcji korzeniowej, co z kolei jest spowodowane spadkiem wilgotności gleby.

Większość roślin absorbuje wodę przez korzenie, chociaż niektóre potrafią robić to przez liście i łodygę. Możliwość zachowania odpowiedniej intensywności absorpcji przez korzenie jest warunkiem przeżycia rośliny. Szybko transpirujące rośliny, np. kukurydza, wyparowują w ciągu dnia od dwóch do czterech litrów wody, co dwukrotnie przewyższa cały zapas wody w roślinie. Brak odpowiedniej absorpcji korzeniowej prowadzi do śmierci rośliny w ciągu jednego dnia.

Pod względem intensywności transpiracji rośliny dzielą się na wolno i szybko transpirujące. U pierwszych z nich wartość potencjału ciśnienia w tkankach jest dodatnia, co powoduje gutację* (wypychanie wody z tkanek) lub wyciek soku komórkowego po przecięciu tkanek. W roślinach szybko transpirujących potencjał ciśnieniowy jest zawsze ujemny i nigdy nie ma gutacji. U większości roślin na wiosnę zdarza się, że transpiracja jest bardzo słaba, a absorpcja korzeniowa intensywna i wtedy pojawia się parcie korzeniowe*: po przecięciu tkanek roślina obficie traci wodę.

Poza groźnym dla życia rośliny spadkiem intensywności absorpcji korzeniowej istnieje jeszcze inny mechanizm prowadzący do obumarcia rośliny. Jest to nadmierne obniżenie transpiracji wywołane przez niektóre choroby. Na przykład porażenie pszenicy przez zarazę ziemniaczaną (*Phytophthora infestans*) powoduje silne zamknięcie światła naczyń w szyi korzeniowej roślin, a to z kolei mocno obniża intensywność transpiracji i roślina zaczyna gorączkować. Jej temperatura silnie wzrasta i roślina po pewnym czasie umiera. Taka gorączkująca roślina może mieć temperaturę o kilka stopni wyższą niż otaczające ją zdrowe rośliny.

Szybkość przepływu soków roślinnych w organizmach roślinnych jest zróżnicowana. W dorosłym dębie prędkość ta zmienia się od 2 m/h w szczytowych gałązkach aż do 20 m/h w miejscach, gdzie grube konary wyrastają z pnia (Ryc. 2.10).



Ryc. 2.10. Prędkości przepływu wody w drzewie

Na przykład pojedyncza roślina kukurydzy ma 2 m^2 łącznej powierzchni liści transpirujących taką samą powierzchnię korzeni absorbujących wodę z gleby. Łodyga o średnicy 3 cm ma wiązkę naczyniową o przekroju $0,2 \text{ cm}^2$. Jeżeli ta roślina transpiruje 200 g wody na godzinę (200 cm^3), to szybkość wnikania wody przez korzenie jest równa szybkości parowania i wynosi $200 \text{ cm}^3 \cdot 20 \text{ 000 cm}^2 = 0,01 \text{ cm} \cdot \text{h}^{-1}$. Ta ilość wody musi przepłynąć przez wiązkę naczyń, co wymaga prędkości $200 \text{ cm}^3 \cdot 0,2 \text{ cm}^2 = 1000 \text{ cm} \cdot \text{h}^{-1}$, czyli $10 \text{ m} \cdot \text{h}^{-1}$. W drzewach prędkość przepływu wody przez naczynia wynosi niekiedy $25 \text{ m} \cdot \text{h}^{-1}$.

W miarę nasilania się procesu transpiracji zmniejsza się ilość wody w tkankach liści i obniża się w nich jej potencjał. To powoduje przepływ wody z naczyń do miększu liściowego przy jednoczesnym obniżeniu potencjału wody w naczyniach. Wytworzony w ten sposób gradient potencjału pomiędzy korzeniem a naczyniami powoduje przepływ wody z korzeni do naczyń. Ostatecznie więc siłą napędową ruchu jest niski potencjał wody w atmosferze otaczającej liście, a jej przepływ przez roślinę można traktować jako ciągłą, kohezyjną kolumnę wody przenikającą roślinę.

Opór stawiany przepływającej wodzie jest różny w poszczególnych częściach rośliny. Przyjmując opór łodygi za jednostkowy, opór liści jest dwuipółkrotnie większy, a opór korzeni aż cztery razy większy.

Woda w roślinach może poruszać się w dwóch kierunkach, zawsze od potencjału wyższego do potencjału niższego. Zaobserwowano i takie sytuacje, kiedy w jednej gałęzi woda poruszała się ku górze, podczas gdy w drugiej ku dołowi. Prędkość przemieszczania się soku roślinnego zmienia się od korzenia do szczytu. W dębnie największa jest przy pierwszym konarze i maleje ku wierzchołkom gałęzi, ponieważ tam rośnie stosunek przekroju przewodzącej do powierzchni liści, które zasila. Odwrotnie jest w brzozie, gdzie względna przewodność maleje ku wierzchołkowi, a więc prędkość musi rosnąć. W przebiegu dobowym prędkość przepływu wody przez łodygę rośliny odpowiada dokładnie przebiegowi transpiracji.

Literatura

- BENNETT H. H. (1939): Soil conservation. Ss. 993. McGraw-Hill. New York-London.
- BERNACKI Z. (2012): Przestrzenne zróżnicowanie produkcji pierwotnej i rozkładu materii organicznej w krajobrazie rolniczym na przykładzie Parku Krajobrazowego im. gen. Dezyderygo Chłapowskiego: Znaczenie struktury krajobrazu. Rozprawy Naukowe 437. Ss. 163. Wyd. Uniwersytetu Przyrodniczego, Poznań.
- BRUTSAERT W. (1988): Evaporation into the Atmosphere. Theory, History, and Applications. Ss. 360. D. Reidel Publishing Company, Dordrecht.
- CHURKINA G., RUNNING S. W. (1998): Contrasting climatic controls on the estimated productivity of global terrestrial biomes. Ecosystems 1: 206-215.
- COOPER J. P. (1975): Photosynthesis and productivity in different environments. Ss. 175. Cambridge Univ. Press. Cambridge.
- DUSZYŃSKI J., GRYKIEL K., LESICKI A., RATAJCZAK L. (2004): Biologia – podręcznik. Tom 3. Ss. 286. Wydawnictwo Szkolne PWN, Warszawa.
- ELSER J. J., BRACKEN M. E. S., CLELAND E. E., GRUNER D. S., HARPOLE W. S., HILLEBRAND H., NGAI J. T., SEABLOOM E. W., SHURIN J. B., SMITH J. E. (2007): Global analysis of nitrogen and phosphorus limitation of primary producers in freshwater, marine and terrestrial ecosystems. Ecology

Letters 10: 1135-1142.

- FORMAN R. T. T., GODRON M. (1986): Landscape Ecology. Ss. 620. John Wiley and Sons, New York.
- GUTRY-KORYCKA M. (1978): Parowanie terenowe w Polsce (1931-1960). Przegl. Geofiz., t. XXIII (XXXI), 4: 295-299.
- KĘDZIÓRA A. (1993): Klimat a stosunki wodne w środowisku przyrodniczym Wielkopolski. Kronika Wielkopolski 1 (64): 46-54.
- KĘDZIÓRA A. (1994): Energy and water fluxes in an agricultural landscape. W: L. Ryszkowski, S. Bałazy (red.), Functional Appraisal of Agricultural landscape in Europe (EUROMAB and INTECOL, Seminar 1992). S. 61-75. Poznań.
- KĘDZIÓRA A. (2008): Podstawy Agrometeorologii. Ss. 380. PWRiL, Poznań.
- KĘDZIÓRA A. (2008): Bilans wody i energii w krajobrazie rolniczym. W: Jakość środowiska, surowców i żywności. Materiały II Symposium Naukowego. S. 251-254. Instytut Agrofizyki im. B. Dobrzańskiego PAN, Lublin.
- KĘDZIÓRA A., OLEJNIK J. (2002): Water balance in agricultural landscape and options for its management by change of plant cover structure of landscape. W: L. Ryszkowski (red). Landscape ecology in agroecosystems management. S. 57-110. CRC Press, Boca Raton, London, New York, Washington D.C.
- KĘDZIÓRA A., TUCHOŁKA S., KAPUŚCIŃSKI J., PASZYŃSKI J., LEŚNY J., OLEJNIK J., MOCZKO J. (1997): Impact of plant cover on heat and water balance in agricultural landscapes located in humidity gradient. Roczn. AR w Poznaniu 19 (1): 271 - 301.
- KNAPP A. K., BRIGGS J. M., KOELLIKER J. K. (2001): Frequency and extent of water limitation to primary production in a mesic temperate grassland. Ecosystems 4: 19-28.
- LEMON E. R. (1960): Photosynthesis under field conditions. II. An aerodynamic method for determining the turbulent carbon dioxide exchange between the atmosphere and a corn field. Agron. J. 52: 697-703.
- MICKLER R. A., EARNHARDT T. S., MOORE J. A. (2002): Modeling and Spatially Distributing Forest Net Primary Production at the Regional Scale. J. Air Waste Manage. Assoc. 52: 174-185.
- MU Q., ZHAO M., HEINSCH F. A., LIU M., TIAN H., RUNNING S. W. (2007): Evaluating water stress controls on primary production in biogeochemical and remote sensing based models. J. Geoph. Res. 112: 1-13.
- ODUM E. P. (1977): Podstawy ekologii. Ss. 520. PWRiL, Warszawa.
- OLEJNIK J., KĘDZIÓRA A. (1991): A model for heat and water balance estimation and its application to land use and climate variation. Earth Surface Processes And Landforms 16: 601-617.
- OLLINGER, S. V.; SMITH, M. L. (2005): Net primary production and canopy nitrogen in a temperate forest landscape: an analysis using imaging spectroscopy, modeling and field data. Ecosystems 8: 760-778.
- RYSZKOWSKI L., KĘDZIÓRA A. (2008): The influence of plant cover structures on water fluxes in agricultural landscapes. W: D. Bossio, K. Geheb (red.), Conserving Land, Protecting Water. S. 163-177. Centre for Agricultural Bioscience International. Wallingford, UK.
- RYSZKOWSKI L., KĘDZIÓRA A. (1993): Energy control of matter fluxes through land-water ecotones in an agricultural landscape. Hydrobiologia 251: 239-248.
- RYSZKOWSKI L., BERNACKI Z. (1995): Produkcja pierwotna, a wielkość eksploatowanej biomasy roślinnej. Las; Drewno; Ekologia: Materiały II Krajowej Konferencji. S. 89-96. Wielkopolska Fundacja Naukowa im. T. Perkitnego, Poznań.
- STARON K. (red.) (2003): Biologia: cz. 2, t. 1. Kształcenie w zakresie rozszerzonym. Ss. 288. WSiP, Warszawa.
- TANSLEY A. G. (1935): The use and abuse of vegetational concepts and terms. Ecology 16: 284-307.
- TRANSEAU E. N. (1926): The accumulation of energy in plants. Ohio J. Sci. 26: 1-10.
- WODZICZKO A. (1947): Wielkopolska stepowieje. W: A. Wodziczko (red.), Stepowienie Wielkopolski. PTPN, Prace Kom. Matem.-Przyr. Ser. B, 10: 139-234.
- WORLD WATER BALANCE and water resources of the earth (1978): National Committee for the IHD (USSR); USSR. Chief Administration of Hydrometeorological Service. Ss. 638. UNESCO, Paris.
- WideoWykład do wykorzystania na lekcjach pt. Przepływ energii i obieg wody w krajobrazie, <http://www.ekologia-krajobrazu.pl/index.php/baza-wiedzy>

2.2. PROJEKT: ENERGIA I WODA W KRAJOBRAZIE. CZY ROŚLINY GORĄCZKUJĄ?

CELE REALIZACJI PROJEKTU

- zapoznanie uczniów z bilansem cieplnym i wodnym krajobrazu
- wyjaśnienie związku pomiędzy strumieniem energii i strumieniem pary wodnej
- wykazanie roli transpiracji dla gospodarki wodnej i utrzymania stanu termicznego roślin
- kształtowanie umiejętności korzystania z aparatury pomiarowej

OPIS ZAGADNIENIA DO REALIZACJI NA LEKCJI I W PROJEKCIE

Bilanse promieniowania, ciepła i wody w krajobrazie

Najlepszą charakterystyką warunków energetycznych i wilgotnościowych ekosystemu jest podanie jego bilansu cieplnego i wodnego, przedstawionych na Ryc. 2.1 (s. 14).

Po lewej stronie ryciny przedstawiony jest bilans promieniowania, czyli zestawienie wszystkich

strumieni promieniowania. Składnikami przychodowymi tego bilansu są krótkofalowe promieniowanie słońca ($K\downarrow$) i długofalowe ($L\downarrow$) promieniowanie atmosfery, a składnikami rozchodowymi, odbite promieniowanie słońca ($K\uparrow$) i długofalowe promieniowanie powierzchni ziemi i roślin ($L\uparrow$). Chwilową wartością tego bilansu jest saldo promieniowania (R_n), które jest jedynym źródłem energii dla wszystkich innych procesów zachodzących w ekosystemie, z których najważniejsze pod względem wielkości są ciepło ogrzewania gleby (G), powietrza (S) i ciepło utajone wykorzystywane w procesie parowania (LE) przedstawione w centralnej części ryciny (bilans cieplny). Po prawej stronie przedstawiony jest bilans wodny, który jest mocno związany z bilansem cieplnym poprzez strumień parującej wody (LE w bilansie cieplnym – strumień utajonego ciepła parowania i E – strumień pary wodnej w bilansie wodnym). Wniosek płynący z analizy tego bilansu jest taki, że jakiegokolwiek działania zmieniające strukturę krajobrazu powodujące zmiany jednego z tych bilansów, zmieniają także strukturę drugiego. Ten fakt jest najważniejszy dla planowania przestrzennego dotyczącego kształtowania struktury krajobrazu w skali lokalnej i regionalnej. Należy podkreślić, że składniki bilansu cieplnego przedstawione na Ryc. 2.1 są największe. Nie ma tutaj strumienia energii wykorzystywanej w procesie fotosyntezy. Z abiotycznego punktu widzenia nie ma on znaczenia, gdyż stanowi najwyżej od 1 do 2% salda promieniowania. Jednak z biotycznego punktu widzenia jest to najważniejszy proces dla istnienia życia, gdyż jako jedyny transformuje energię w materię roślinną. Ukryta w tej materii energia jest wykorzystywana przez wszystkie inne organizmy, a także przez człowieka, jako paliwa kopalne.

Typowa struktura bilansu cieplnego różnych ekosystemów w okresie wegetacyjnym (od ostatniej dekady marca do końca października) jest przedstawiona w Tab. 2.1. Największe wartości salda promieniowania (R_n), mają zadrzewienia śródpolne pochłaniające najwięcej promieniowania słonecznego, gdyż mają małe albedo – wielkość, która mówi, jaka część energii słonecznej na nie padającej jest odbijana. Te ekosystemy, dzięki głębokiemu systemowi korzeniowemu, mogą pobierać więcej wody niż inne ekosystemy i dlatego największą, ze wszystkich ekosystemów część salda promieniowania wykorzystują na ewapotranspirację. Stosunek LE/R_n wynosi 0,88, podczas gdy stosunek S/R_n wynosi zaledwie 0,07, co oznacza, że te ekosystemy wykorzystują mało energii do ogrzewania powietrza.

Najważniejsza z punktu widzenia trwania życia na ziemi jest transformacja energii słonecznej w materię organiczną w procesie fotosyntezy. Aby ten proces mógł zachodzić, muszą być spełnione następujące warunki:

- stały dopływ energii do aparatu asymilacyjnego (jedynym źródłem tej energii jest Słońce)
- odpowiednie warunki wodne w glebie (roślina może pobierać wodę głównie z gleby)
- dostarczenie do liści substancji odżywczych (transportuje je z gleby strumień wody płynący przez roślinę).

Ciepło dochodzące ze Słońca do Ziemi nie jest równomiernie rozłożone na całym globie. Najwięcej ciepła dochodzi do obszarów równikowych, a najmniej do stref polarnych. Nierównomierny rozkład energii słonecznej na powierzchni globu ma istotne znaczenia dla budowy i funkcjonowania roślin. Dla prawidłowego przebiegu procesów biochemicznych zachodzących w roślinach jest zapewnienie im odpowiedniej temperatury. Zbyt niskie, ale także zbyt wysokie temperatury spowalniają te procesy, a nawet je uniemożliwiają. Przyroda w procesie ewolucji wykształciła takie przystosowania, które zapewniają organizmom termoregulację. Przyjęło się uważać, że termin: termoregulacja stosowany może być wyłącznie w odniesieniu do zwierząt stałocieplnych, jednak procesy termoregulacyjne występują również u zwierząt zmiennocieplnych, a także u roślin. W przypadku roślin chodzi przede wszystkim o niedopuszczenie do przegrzania się liści w wyniku absorpcji energii świetlnej. I tutaj znowu podstawowym czynnikiem jest woda, bowiem procesem zapewniającym roślinom uniknięcie przegrzania jest transpiracja. Pozwala ona na wychłodzenie liścia, dzięki odparowaniu wody poprzez aparaty szparkowe. Warunki środowiska, określające sposób gospodarki wodnej i termicznej roślin, decydują m.in. o ich rozmieszczeniu geograficznym. Rośliny o dużych liściach odprowadzających nadmiar ciepła występują w strefie równikowej, rośliny zrzucające okresowo liście dla ochrony przed przesuszeniem w strefie sawanny, lub przed wychłodzeniem w strefie klimatu umiarkowanego, rośliny o drobnych, słabo transpirujących liściach (szpilkach) w strefie tajgi. Jeżeli roślina nie może doprowadzić do liścia odpowiedniej ilości wody, to transpiracja słabnie, a nadmiar energii absorbowanej przez roślinę prowadzi do jej przegrzania. Tak może być w przypadku braku wody w glebie, albo wystąpienia nadmiernych oporów przy przepływie wody w roślinie. Tak również się dzieje w przypadku porażenia rośliny przez choroby grzybowe. Wtedy roślina gorączkuje.

Doświadczenie przewidziane w tym projekcie powinno uświadomić uczniom rolę transpiracji w utrzymaniu stanu termicznego roślin poprzez widowiskowy pokaz „gorączkowania” roślin znajdujących się w nieodpowiednich warunkach (niedobór wody) lub też chorych (zakażenie grzybem *Phytophthora infestans*).

Krążenie wody

Obieg mały to cyrkulacja wody pomiędzy oceanem i atmosferą lub kontynentem i atmosferą. Ilość wody wyparowującej z powierzchni zbiorników wodnych zależy przede wszystkim od ilości dopływającej energii słonecznej. Natomiast, dla zachodzenia procesu parowania z powierzchni lądowej muszą być spełnione tylko trzy warunki:

- musi istnieć woda w fazie ciekłej – czy to na powierzchni terenu, czy w glebie,
- musi być dopływ energii lub jej zapas (w masie wody w zbiorniku lub w glebie),
- powietrze musi być nienasycone parą wodną.

Większość wody opadowej wyparowuje. Część wód opadowych i roztopowych spływa po powierzchni ziemi, tworząc odpływ powierzchniowy. Dociera do rzek i jako przepływ rzeczny podąża w stronę oceanu. Znaczna część wody przesiąka, infiltruje grunt i jako odpływ gruntowy dociera do rzeki i dalej do morza. Część wody infiltrującej grunt przesiąka głębiej, zasilając warstwę wodonośną (nasyconą wodą warstwę gruntu), które magazynują ogromną ilość słodkiej wody przez długi czas.

Mikroobieg to obieg wody wewnątrz szaty roślinnej. Polega na parowaniu wody z powierzchni gleby, kondensowaniu na liściach i powrocie do gleby. W niektórych ekosystemach, np., wilgotnych łąkach, strumień powracającej w nocy wody może stanowić ponad połowę tej ilości, która wyparowała w ciągu dnia.

Dla życia roślin najistotniejszy jest proces przepływu wody przez system GRAK (gleba – roślina – atmosfera – kontinuum). W tym przepływie można wyróżnić trzy ogniwa: glebowe, powierzchniowe i atmosferyczne. Woda płynie przez system GRAK zawsze z miejsc o wyższym potencjale do miejsca o potencjale niższym. Ilość wody, która przepływa z gleby do atmosfery przez roślinę, jest wprost proporcjonalna do różnicy ($\Delta\phi$) pomiędzy potencjałem wody na wejściu do rośliny i potencjałem przy wyjściu (czyli pomiędzy potencjałem wody w glebie, który zależy od wilgotności gleby i potencjałem wody, a właściwie pary wodnej w atmosferze, który zależy od temperatury i wilgotności powietrza), a odwrotnie proporcjonalna do oporów (r), jakie strumień wody spotyka na swej drodze przez roślinę. Możemy to zapisać następująco:

$$\text{gęstość strumienia wody [kg m}^{-2}\text{s}^{-1}\text{]} = \frac{\text{różnica w potencjale wody } (\Delta\phi) \text{ [J kg}^{-1}\text{]}}{\text{opór } (r) \text{ [s m}^{-1}\text{]}}$$

Spadek wilgotności gleby prowadzi do spadku potencjału wody w glebie. Z drugiej strony rośliny zarażone grzybami mają mniejsze światło naczyń przewodzących wodę, przez co rośnie opór. Wtedy malejący licznik i rosnący mianownik w powyższym równaniu dają w efekcie mniejszą gęstość strumienia wody płynącej przez roślinę. Spada transpiracja i rośnie temperatura roślin.

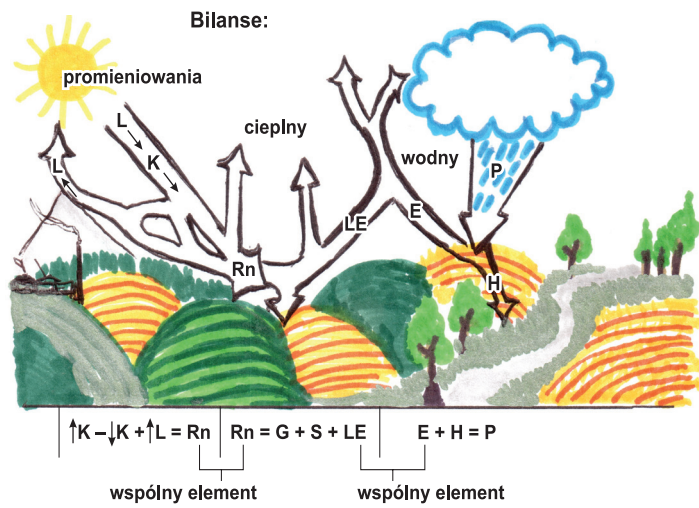
MATERIAŁY GRAFICZNE DO REALIZACJI NA LEKCJI I W PROJEKCJI

Tabele

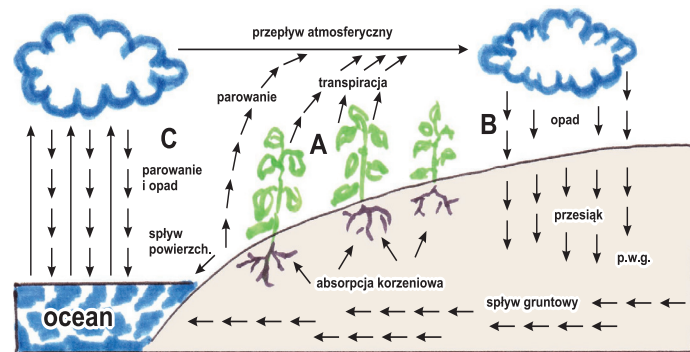
Parametr	Ekosystem						
	W × m ⁻²	zadrzewienia	łąka	rzepak	buraki cukrowe	pszenica	ugór
Rn	1730	1494	1551	1536	1536	1536	1575
LE	1522	1250	1163	1136	1090	1090	866
S	121	215	327	339	385	385	651
G	87	29	61	61	61	61	47
LE/Rn	0,88	0,84	0,75	0,74	0,71	0,71	0,55
S/Rn	0,07	0,14	0,21	0,22	0,25	0,25	0,41

Tab. 2.1. Parametry bilansu cieplnego typowych ekosystemów w krajobrazie rolniczym w okresie wegetacyjnym, od 21 marca do 31 października

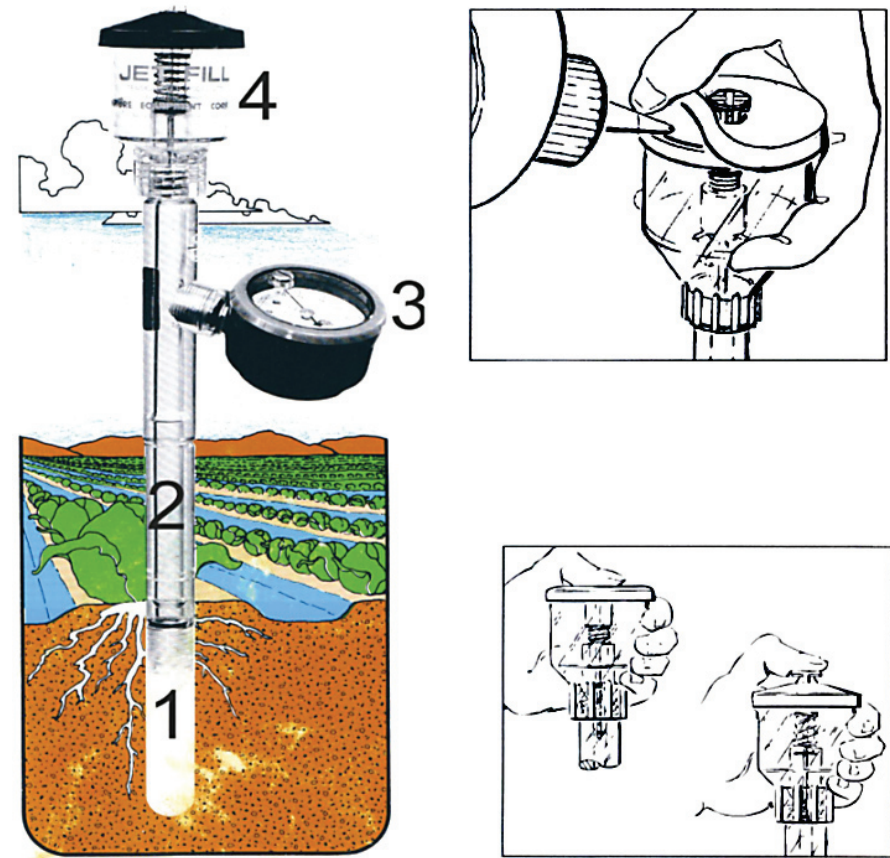
Ryciny



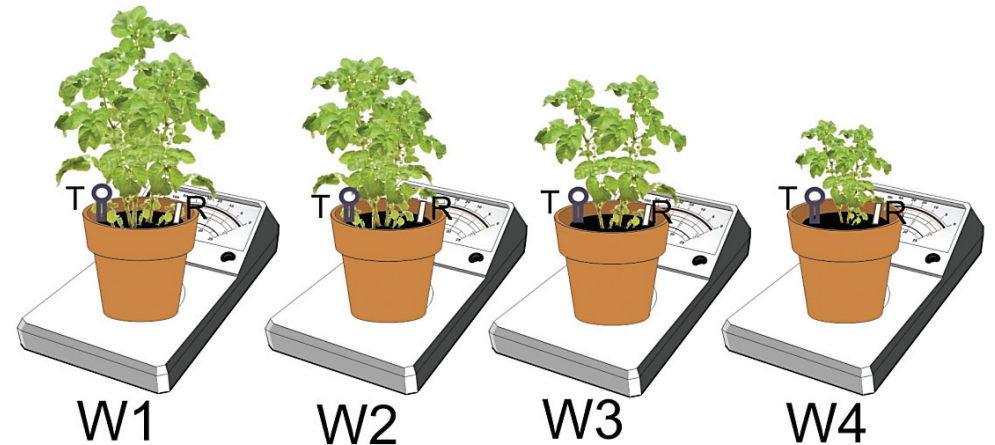
Ryc. 2.1. Bilans promieniowania, bilans cieplny i bilans wodny powierzchni Ziemi



Ryc. 2.7. Duży (C), mały (B) i mikroobieg (A) wody w przyrodzie



Ryc. 2.11. Tensjometr i jego obsługa: 1 – ceramiczny kubek, 2 – trzon wypełniony wodą, 3 – manometr, 4 – zbiornik rezerwowy



Ryc. 2.12. Schemat doświadczenia wazonowego: T – tensjometr, R – rurka do podlewania

MATERIAŁY POMOCNICZE DO REALIZACJI TEMATU NA LEKCJI I W PROJEKCIE

Materiały zamieszczone na stronach internetowych

http://holmes.iigw.pl/~wbanach/dydaktyka/hydrologia_inf/pliki/cwiczenia/bilans_wodny.pdf

<http://nauka.katalogi.pl/Transpiracja-t4527.html>

Literatura

- BRUTSAERT W. (1988): Evaporation into the atmosphere. Theory, history, and applications. Ss.302. D. Reidel Publishing Company, Dordrecht.
- BUNCE R.G.H., JONGMAN R. H. G. (2000): An introduction to landscape ecology. W: R.G.H. Bunce, L. Ryszkowski, M.G. Paoletti (red.), Landscape ecology and agroecosystems. S. 3-10. Lewis Publishers, Boca Raton.
- GUTRY-KORYCKA M. (1978): Parowanie terenowe w Polsce (1931-1960). Przegl. Geofiz. 23 (4): 295-299.
- KĘDZIORA A. (1994): Energy and water fluxes in an agricultural landscape. W: L. Ryszkowski, S. Bałazy (red.), Functional appraisal of agricultural landscape in Europe (EUROMAB and INTECOL, Seminar 1992, Poznań).
- KĘDZIORA A. (2008): Podstawy Agrometeorologii. Ss 380. PWRiL, Poznań.
- KĘDZIORA A., OLEJNIK J. (2002): Water balance in agricultural landscape and options for its management by change of plant cover structure of landscape. W: L. Ryszkowski L., Landscape ecology in agroecosystems management. S. 57-110. CRC Press, Boca Raton, London, New York, Washington D.C.
- MU Q., ZHAO M., HEINSCH F. A., LIU M., TIAN H., RUNNING S. W. (2007): Evaluating water stress controls on primary production in biogeochemical and remote sensing based models. J. Geoph. Res. 112: 1-13.
- OLEJNIK J., EULENSTEIN F., KĘDZIORA A., WERNER A. (2001): Evaluation of water balance model using data for bare soil and crop surfaces in middle Europe. Agricultural and Forest Meteorology 106: 105-116.
- OLEJNIK J., KĘDZIORA A. (1991): A model for heat and water balance estimation and its application to land use and climate variation. Earth Surface Processes And Landforms 16: 601-617.
- RYSZKOWSKI L., KĘDZIORA A. (2008): The influence of plant cover structures on water fluxes in agricultural landscapes. W: Bossio D., Geheb K. (red.), Comprehensive Assessment of Water Management in Agricultural Series, Vol. 6: Conserving Land, Protecting Water. S. 163-177. Centre for Agricultural Bioscience International, Wallingford, UK.
- TRANSEAU E. N. (1926): The accumulation of energy in plants. The Ohio Journal of Science 26: 1-10.

OPIS PROJEKTU**Cel**

Wykazanie roli transpiracji dla gospodarki wodnej i utrzymania stanu termicznego roślin.

Czas trwania projektu: 1–2 miesiące.

Zagadnienie I. W jaki sposób transpiracja wpływa na temperaturę roślin?

Zagadnienie II. Czy temperatura roślin zdrowych i chorych jest taka sama?

Etap I. Zbieranie informacji

Uczniowie gromadzą informacje na temat gospodarki wodnej roślin i znaczenia transpiracji.

Etap II. Planowanie doświadczenia

Uczniowie poinformowani przez nauczyciela o możliwościach sprzętowych przygotowują propozycje przeprowadzenia doświadczeń, wykazujących wpływ transpiracji na stan termiczny roślin, czynników wpływających na intensywność transpiracji, wpływu wybranych patogenów na transpirację i temperaturę roślin.

Etap III. Wybór optymalnych wariantów eksperymentów

Przeprowadzenie doświadczeń laboratoryjnych: ocena zmian temperatury i intensywności transpiracji, w różnych warunkach termicznych i wilgotności oraz porównanie temperatury roślin zdrowych i zakażonych.

Etap IV. Seminarium

Dyskusja, wyciągnięcie wniosków i przygotowanie raportu, który powinien zawierać: określenie problemów badawczych, postawienie hipotez, opis procedury badawczej, wyniki i ich omówienie, wnioski.

Zastosowane metody badawcze**1. Metodyka badań**

Obserwacje wybranych roślin (ziemniak lub burak cukrowy) posadzonych w plastikowych donicach o pojemności 30 l i wadze około 40 kg. W każdej z ośmiu donic posadzona będzie jedna roślina. Uwzględnione zostaną cztery warianty, każdy w dwóch powtórzeniach:

- 1. wariant (W1) – roślina zdrowa przy optymalnej wilgotności gleby odpowiadającej sile ssącej gleby, wynoszącej 200 hPa (20 cb),
- 2. wariant (W2) – roślina zdrowa, ale ograniczony dostęp do wody – wilgotność odpowiadająca sile ssącej gleby, wynoszącej 800 hPa (80 cb),
- 3. wariant (W3) – roślina zarażona grzybem, ale dobrze nawadniana,
- 4. wariant (W4) – roślina chora i słabo nawadniana.

W każdej donicy zainstalowany jest tensjometr (Ryc. 2.11) i rurka plastikowa do nawodnienia. Powierzchnia gleby w wazonie będzie przykryta folią, aby uniemożliwić parowanie fizyczne z gleby. Co pięć dni zdejmujemy folię na kilka godzin, aby umożliwić przedostanie się tlenu do gleby. Cztery donice umieszczamy na wagach łazienkowych, a cztery pozostałe stanowią rezerwę na wypadek, gdyby któryś wariant główny uległ zniszczeniu z przyczyn losowych.

Rycina 4 przedstawia schemat doświadczenia. Najpierw doprowadzamy wilgotność gleby w wazonach do wartości przewidzianej w schemacie doświadczenia, czyli w wariantach W1 i W3 do wskazań tensjometru (20 cb), a w wariantach W2 i W4 do 80 cb.

Obserwacje prowadzone są w następujący sposób, a ich wyniki notowane w tabeli utworzonej w arkuszu kalkulacyjnym MS Excel załączonym poniżej:

- numeruje się kolejne dni, rozpoczynając od dnia rozpoczęcia obserwacji;
- w pierwszym dniu notuje się: wagę wazonu, wskazania tensjometru i temperaturę roślin (korzystamy z pirometru);
- w kolejnych dniach (zawsze o tej samej porze, którą ustali nauczyciel) odczytujemy wagę wazonów i wskazania tensjometrów oraz temperaturę roślin;
- uzupełniamy ciężar wazonów do wagi wyjściowej (poprzez dolanie odpowiedniej masy wody, innej w każdym wariantach);
- sporządzamy dokumentację zmian morfologicznych roślin, wykonując zdjęcia co cztery dni.

2. Wybór obszaru badań – stanowisk pomiarowych

Wazony ustawione powinny być na otwartej przestrzeni, ale od góry przykryte folią, aby uchronić przed deszczem. Folia musi być rozpięta na wysokości co najmniej 2 m nad roślinami, aby nie hamować prędkości wiatru i transpiracji roślin.

3. Wymagany sprzęt pomiarowy

Oprócz wazonów potrzebne będą: cztery wagi łazienkowe, cztery tensjometry i jeden pirometr.

4. Najlepszy czas wykonywania badań

Najlepszym okresem byłby czerwiec, ze względu na naturalny przebieg wegetacji roślin. Jednak ze względu na organizację roku szkolnego trzeba przeprowadzić obserwacje we wrześniu, jednak samo doświadczenie musi być przygotowane wcześniej.

5. Czas potrzebny do wykonania badań

1 do 2 miesięcy

6. Przykładowe wyniki podobnych badań przeprowadzonych wcześniej

Badania prowadzone nad pszenicą wykazały, że w okresie intensywnego wzrostu temperatura zdrowych roślin wynosiła 20–22°C, podczas gdy rośliny porażone grzybem (*Phytophthora infestans*) miały temperaturę wyższą o 8–10°C.

Zastosowana technologia informacyjna

- a) programy statystyczne
Uczniowie wykorzystają podstawowy pakiet Statistica.
Analizowany będzie przebieg transpiracji i temperatury oraz intensywność transpiracji (gęstość strumienia pary wodnej E) wyliczona wg wzoru: $E [kg\ m^{-2}\ h^{-1}] = (C_1 - C_1^{-1}) [kg]/S[m^2\ 24]$, C_1 – waga wazonu w dniu pomiaru, C_1^{-1} – waga wazonu w dniu poprzednim, S – powierzchnia wazonu $[m^2]$.
- b) arkusze kalkulacyjne
Wykorzystany zostanie arkusz kalkulacyjny MS Excel.

Tab. 2.7. Propozycja konstrukcji tabeli do notowania obserwacji

Arkusz pomiarów i analizy wpływu wilgotności gleby i stanu fitosanitarnego roślin na ich transpirację i temperaturę.

W - waga, O - odczyt na tensjometrze, T - temperatura

Data	Nr pomiaru	Warianty doświadczenia											
		W1			W1			W1			W1		
		W [kg]	O [cbar]	T [°C]	W [kg]	O [cbar]	T [°C]	W [kg]	O [cbar]	T [°C]	W [kg]	O [cbar]	T [°C]
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
	0												
	1												
	2												
	3												
	4												
	5												
	6												
	7												
	8												
	9												
	10												

Najważniejsze osiągnięcia – kompetencje ucznia

- a) wiedza
określenie wpływu warunków siedliskowych i stanu fitosanitarnego rośliny na intensywność jej transpiracji, nabycie umiejętności ilościowej oceny wpływu różnych czynników na analizowany proces (np. zależność intensywności transpiracji od wilgotności gleby)
- b) umiejętności
nauczenie się prowadzenia eksperymentu i analizy wyników pomiarów
- c) postawa
zrozumienie znaczenia podstawowych zasad ochrony roślin dla jej wzrostu i rozwoju.

2.3. PROJEKT: WPŁYW ZASOLENIA GLEBY NA PROCES PRZEPŁYWU WODY PRZEZ ROŚLINĘ**CELE REALIZACJI PROJEKTU**

- zapoznanie uczniów z procesem przepływu wody przez roślinę
- wyjaśnienie związku pomiędzy stanem fizjologicznym rośliny i strumieniem wody przez nią płynącej
- wykazanie znaczenia rozpuszczonych w wodzie glebowej soli dla procesu przepływu wody z gleby do rośliny (pojęcie suszy fizjologicznej) i dla stanu fizjologicznego rośliny
- kształtowanie umiejętności korzystania z aparatury pomiarowej

OPIS ZAGADNIENIA DO REALIZACJI NA LEKCJI I W PROJEKCIE**Przepływ wody przez system GRAK**

Akronim GRAK oznacza gleba – roślina – atmosfera – kontinuum. Jest to fragment obiegu wody, w którym woda przepływa z gleby do atmosfery poprzez roślinę. Proces ten zależy od trzech czynników:

- warunków fizycznych gleby (wilgotność i zasolenie),
- stanu fizjologicznego rośliny,
- warunków atmosferycznych (potencjał wody w atmosferze).

Pierwszym etapem w tym procesie jest pobór wody z gleby przez roślinę. Drugim jest przepływ przez roślinę, a trzecim transpiracja. W pierwszym i drugim etapie woda (właściwie roztwór różnych związków chemicznych) płynie w fazie ciekłej. W procesie transpiracji następuje przemiana fazowa wody – z fazy ciekłej w gazową, co wymaga olbrzymich ilości energii.

Woda znajdująca się w glebie, roślinach i atmosferze jest poddana działaniu różnych sił: sile przyciągania przez cząstki gleby, tkanki rośliny, substancje rozpuszczone w wodzie, sile grawitacji i sile ssącej atmosfery. Wypadkową działania tych wszystkich sił jest pewien stan termodynamiczny wody, najlepiej określony ilościowo przez potencjał wody (ϕ). To w przybliżeniu wielkość pracy, jaką trzeba wykonać, aby pobrać jednostkę wody znajdującej się w określonym stanie termodynamicznym. Woda wolna i czysta chemicznie (nie wiązana przez żadne siły) ma potencjał równy zeru. Im silniej jest wiązana przez różne siły, tym mniejszy ma potencjał, a więc jest on zawsze ujemny. Siła, z jaką gleba wiąże wodę, jest sumą dwóch sił: siły wiązania wody przez cząstki gleby i siły wynikającej z wiązania wody przez jony soli rozpuszczonych w roztworze wodnym w glebie. Razem nazywane są siłą ssącą gleby (S_m), lub potencjałem wody glebowej (ϕ_w). W większości gleb w klimacie umiarkowanym stężenie soli jest bardzo niskie i o sile ssącej gleby decyduje jej wilgotność. Jednak w pewnych warunkach, gdy w glebie jest dużo soli (tereny przybrzeżne mórz i oceanów), wilgotność jest wystarczająca, o jej sile ssącej decyduje zasolenie, a więc ciśnienie osmotyczne roztworu glebowego. Podobnie w klimacie aridowym, gdzie nawadniane są intensywne uprawy rolne, woda podsiąkająca z głębszych warstw gleby, wyparowując, pozostawia w strefie korzeniowej duże ilości soli, co doprowadza w końcu do takiego zasolenia, że rośliny nie mogą pobierać wody i gleba staje się bezużyteczna. W taki sposób zakończyła się gospodarka rolna na wielu terenach Mezopotamii. Jedynym sposobem przeciwdziałania temu procesowi jest stosowanie do nawodnień wody w ilościach znacznie większych niż może wyparować z gleby i przez rośliny. Nadmiar wody przemywa sól z warstwy korzeniowej w warstwy głębsze, gdzie powinien być zainstalowany system drenażowy odprowadzający te zasolone wody do rzeki.

Woda zawsze płynie przez system GRAK z miejsc o wyższym potencjale do miejsca o potencjale niższym. Ilość wody, która przepływa z gleby do atmosfery przez roślinę, jest wprost proporcjonalna do różnicy pomiędzy potencjałem wody na wejściu do rośliny i potencjałem przy wyjściu.

Większość roślin absorbuje wodę przez korzenie, chociaż niektóre potrafią absorbować ją przez liście i łodygę. Możliwość zachowania odpowiedniej intensywności absorpcji przez korzenie jest warunkiem przeżycia rośliny. Szybko transpirujące rośliny, np. kukurydza, wyparowują w ciągu dnia od dwóch do czterech litrów wody, co dwukrotnie przewyższa cały zapas w roślinie. Brak odpowiedniej absorpcji korzeniowej prowadzi do jej obumarcia w ciągu jednego dnia. Do takiej sytuacji dochodzi wtedy, gdy stężenie soli w roztworze glebowym przekracza granicę tolerancji danej rośliny, czyli potencjał osmotyczny wody glebowej jest znacznie niższy niż potencjał wodny soku roślinnego. Wtedy roślina nie ma możliwości poboru wody z gleby i zamiera.

Główną siłą napędową przepływu wody w systemie GRAK jest istnienie bardzo niskiego potencjału wody (a dokładnie pary wodnej) w powietrzu. Jest on funkcją wilgotności względnej powietrza. Siła ssąca atmosfery jest prawie zawsze większa od siły ssącej gleby w stanie wilgotności więdnięcia, poza sytuacją, gdy w powietrzu jest para wodna nasycona, a to zdarza się tylko nad ranem, niekiedy podczas deszczu, i to nie każdego dnia. Zatem naturalną sytuacją jest silny gradient potencjału wody z gleby przez roślinę do atmosfery. Ten mechanizm zapewnia przepływ wody przez system GRAK.

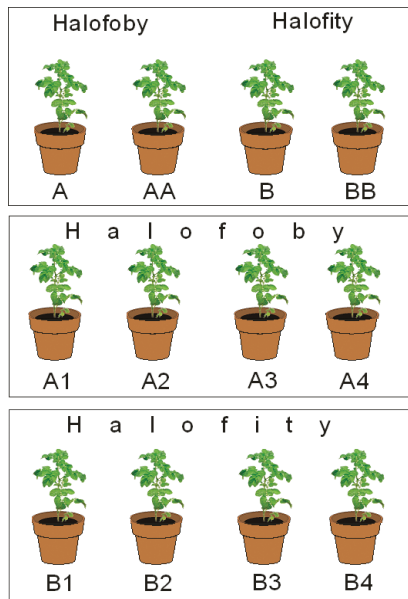
MATERIAŁY GRAFICZNE DO REALIZACJI NA LEKCJI I W PROJEKCIE

Tabele

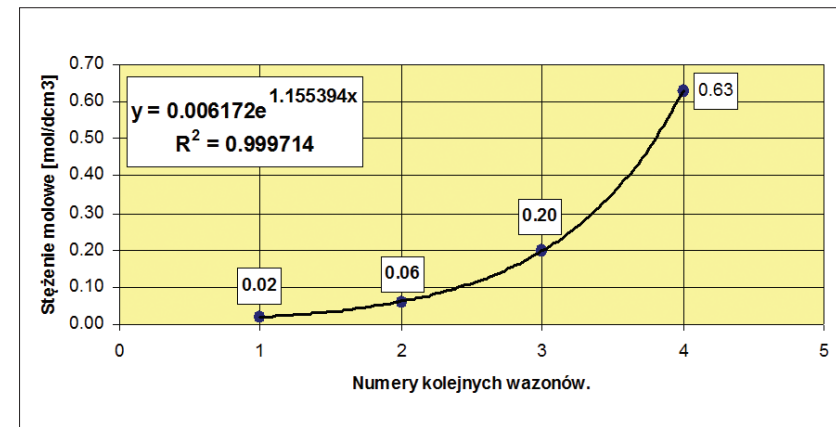
Tab. 2.8. Tabela obserwacyjna

	Waga wazonu [kg] z dokładnością do 1 g											
	Kontrolne			Halofoby				Halofity				
	A	AA	BB	A1	A2	A3	A4	B1	B2	B3	B4	
0												
1												
2												
3												
4												
5												
6												
7												
8												
9												
10												
11												
12												
13												
14												
15												
16												
17												
18												
19												
20												

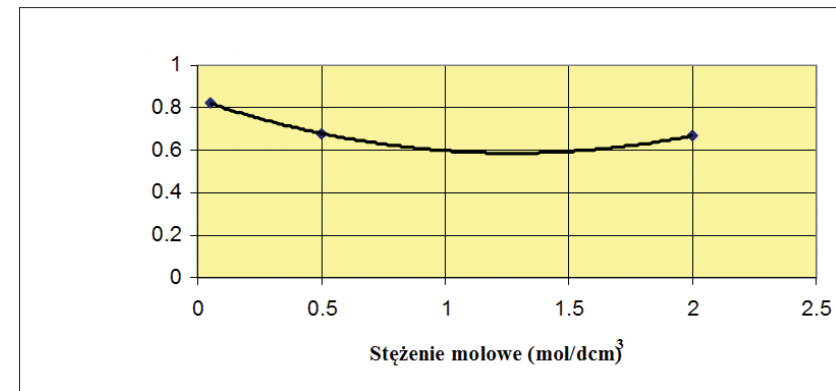
Ryciny



Ryc. 2.13. Schemat doświadczenia z suszą fizjologiczną (zasolenie)



Ryc. 2.14. Wartości stężenia molowego roztworów NaCl przygotowanych do podlewania roślin. Stężenie rośnie wykładniczo



Ryc. 2.15. Zależność współczynnika aktywności roztworu NaCl od jego stężenia dla temperatury 20°C w zakresie stężenia molowego do 0.5 mol/l.

MATERIAŁY POMOCNICZE DO REALIZACJI TEMATU NA LEKCJI I W PROJEKCIE

Strony internetowe

- http://pl.wikipedia.org/wiki/Ciśnienie_osmotyczne
- http://pl.wikipedia.org/wiki/Gleby_słone
- <http://pl.wikipedia.org/wiki/Plik:Wrc.svg>

Literatura

- BREŚ W., GOŁCZ A., KOMOSA A., KOZIK E., TYKSIŃSKI W. (1997): Nawożenie roślin ogrodniczych. Cz. I. Diagnostyka potrzeb nawozowych. Wyd AR, Poznań.
- BUCKMAN H.C., BRADY N.C. (1971): Gleba i jej właściwości. Ss. 530. PWRiL, Warszawa.
- KĘDZIORA A. (2008): Podstawy agrometeorologii. Ss. 380. PWRiL, Poznań.
- PUDELSKI T. (1993): Uprawa warzyw pod osłonami. Ss. 360. PWRiL, Warszawa.
- STARCK J.R. (1990): Uprawa roli i nawożenie roślin ogrodniczych. www.inwarz.skierniewice.pl

OPIS PROJEKTU**Cel**

Wykazanie wpływu zasolenia gleby na wzrost i rozwój roślin oraz na ich transpirację.

Czas trwania projektu

1 miesiąc

Zagadnienie I. W jaki sposób zasolenie gleby wpływa na rozwój roślin?

Zagadnienie II. Czy wszystkie rośliny są tak samo wrażliwe na zasolenie?

Etap I. Zbieranie informacji

Uczniowie gromadzą informacje na temat siły ssącej gleby i tego, jaką rolę w jej kształtowaniu spełnia stężenie soli w roztworze glebowym.

Etap II. Planowanie doświadczenia

Uczniowie poinformowani przez nauczyciela o możliwościach sprzętowych przygotowują propozycje przeprowadzenia doświadczeń wykazujących wpływ stopnia zasolenia gleby na transpirację roślin i w efekcie na ich wzrost i rozwój.

Etap III. Wybór optymalnych wariantów eksperymentów

Przeprowadzenie doświadczeń laboratoryjnych. Ocena zmian w tempie rozwoju roślin rosnących na glebach o różnym zasoleniu. Porównanie reakcji halofitów (rośliny tolerancyjne wobec zasolenia) i halofobów (rośliny wrażliwe na zasolenie).

Etap IV. Seminarium

Dyskusja, wyciągnięcie wniosków i przygotowanie raportu, który powinien zawierać: określenie problemów badawczych, postawienie hipotez, opis procedury badawczej, wyniki i ich omówienie, wnioski.

Zastosowane metody badawcze

Potrzebny sprzęt

- 4 wagi łazienkowe,
- 12 doniczek plastikowych o objętości 30 litrów

Przygotowanie gleby i roślin

1. Glebę pobieramy z warstwy ornej pola uprawnego.
2. Do napełnienia 30-litrowego wazonu potrzeba około 42–45 kg gleby. Aby napełnić wszystkie wazony potrzebujemy $12 \times 45 = 540$ kg gleby.
3. Glebę dobrze mieszamy, pobieramy próbki na określenie jej wilgotności i przykrywamy folią, aby w czasie, gdy określamy jej wilgotność, nie parowała.
4. Napełniamy wazon glebą warstwami po 5 cm, lekko ugniatając.
5. W jednym wazonie określamy wartość siły ssącej gleby (S_m), wykorzystując w tym celu tensjometr.
6. Przygotowujemy dwa gatunki roślin o różnym stopniu odporności na zasolenie. Wrażliwość niektórych roślin warzywnych, sadowniczych i roślin ozdobnych na zasolenie gleby:
 - a) mało wrażliwe: kapustne, burak, rzepa, jarmuż, szparag, amarylis, sansewieria
 - b) średnio wrażliwe: sałata, kukurydza, papryka, marchew, ogórek, cebula, pomidor, szpinak, groch, begonia, winorośl, róże, filodendron, pierwiosnek.
 - c) bardzo wrażliwe: seler, fasola, bób, ziemniak, rzodkiewka, jabłoń, grusza, brzoskwinia, śliwa, truskawka, czarna porzeczka, malina, fiołek, chryzantema, petunia, pelargonie.
7. Sadzimy przygotowane sadzonki (po kilka w każdym wazonie) i wszystkie ważymy.
8. W tabeli obserwacyjnej pod numerem „pomiar zerowy” zapisujemy masy poszczególnych wazonów z dokładnością do 1g.
9. Pod tabelą zapisujemy wartości wilgotności gleby i wartość siły ssącej S_m .

Przebieg doświadczenia

1. Ustawiamy doniczki w trzech rzędach (Ryc. 2.12)
 - a) W pierwszym rzędzie w dwóch donicach sadzimy rośliny słabo odporne na zasolenie (A), a w dwóch odporne (B). Stawiamy je na wagach.
 - b) W drugim rzędzie sadzimy rośliny mało odporne (halofoby A).
 - c) W trzecim rzędzie sadzimy rośliny odporne (halofity B).
2. Po dwóch dniach ważymy ponownie wszystkie wazony i podlewamy przygotowanym wcześniej roztworem soli (sposób przygotowania podany jest poniżej). Roztwór soli rozprowadzamy po całej powierzchni wazonu, a nie wlewamy go w jedno miejsce. Podlewamy wazon stojący na wadze. W tym celu zdejmujemy na chwilę wazon kontrolny, a na ich miejsce stawiamy wazon najpierw z drugiego rzędu, a potem z trzeciego. Wszystko notujemy w tabeli.
3. Zapisujemy masę z dokładnością do 1 g. Podlewamy tyle, aby wazon miały taką samą masę jak na początku doświadczenia, czyli zapisaną w wierszu oznaczonym numerem 0.
4. Podlewamy co dwa dni, zawsze mniej więcej o tej samej godzinie.
5. Obserwujemy reakcję roślin, zwracając uwagę na pierwsze objawy zasychania
6. Obserwujemy także zmiany ewapotranspiracji. Bardzo ważne!!! Aby ocenić, ile wody wyparowało, najpierw ważymy wazon, a potem dolewamy roztworu. Przy odwrotnej kolejności stracimy doświadczenie, bo nie będziemy mogli obliczyć, ile wody wyparowało z wazonu.
7. Po zaschnięciu roślin analizujemy zawartość soli w glebie i obliczymy ciśnienie osmotyczne roztworu (sposób obliczania ciśnienia osmotycznego podany jest poniżej).
8. Analizujemy wyniki obserwacji pod kątem wpływu zasolenia gleby na proces transpiracji. Gdy on ustaje, roślina umiera.
9. Formułujemy wnioski.

Przygotowanie roztworu soli

1. Przygotujemy cztery roztwory o różnym stężeniu soli. Pierwszy roztwór powinien mieć stężenie niewiele większe niż woda. Wybieramy wartość $0,02 \text{ mol/dcm}^3$. Cztery roztwór powinien mieć stężenie odpowiadające największemu stężeniu w przyrodzie, występującemu w morzach i oceanach, czyli 36 promili (36 g soli rozpuszczone w 1 dcm^3 wody). Odpowiada to stężeniu molowemu $= 0,62 \text{ mol/dcm}^3$. Dwa pośrednie poziomy wybieramy tak, aby wzrost stężeń w funkcji kolejnych wariantów był wykładniczy i stężenia różniły się istotnie (Ryc. 2.14).
2. Stężenia molowe (c) poszczególnych stężeń wyliczone na podstawie równania przedstawionego na Ryc. 2 są następujące: 1 – $0,02 \text{ mol/dcm}^3$, 2 – $0,06 \text{ mol/dcm}^3$, 3 – $0,20 \text{ mol/dcm}^3$ i 4 – $6,2 \text{ mol/dcm}^3$.
3. Ilość soli (m), która powinna być rozpuszczona w 1 l wody (1 dcm^3) obliczamy ze wzoru:

$$n = c \cdot M,$$
 gdzie M – gramocząsteczka (gramomol) $\text{NaCl} = 58 \text{ g/mol}$, c – stężenie molowe roztworu.
4. W wyniku obliczeń otrzymujemy dla poszczególnych wariantów:

$$1 - 1,16 \text{ g/dcm}^3, 2 - 3,48 \text{ g/dcm}^3, 3 - 11,6 \text{ g/dcm}^3, 4 - 35,96 \text{ g/dcm}^3.$$
 Dla przykładu w pierwszym wariantcie mamy: $n = 0,02 \text{ mol/dcm}^3$ czyli $58 \text{ g/mol} = 1,16 \text{ g/dcm}^3$.
5. Przygotowujemy wstępnie po 5 litrów każdego roztworu zawierającego tyle soli w litrze wody ile podano w punkcie poprzednim. Po ewentualnym wyczerpaniu się zapasów należy przygotować następną partię w ten sam sposób.

Obliczenia ciśnienia osmotycznego roztworu NaCl

1. Roztwór soli jest silnym elektrolitem, który dysocjuje na jony Na^+ i Cl^- . Z tego powodu jeden mol soli daje w roztworze dwa mole jonów. Jednak ich aktywność spada w miarę wzrost stężenia soli (Ryc. 2.15), ze względu na oddziaływanie pomiędzy jonami. Na Ryc. 2.8 podano wykres zależności współczynnika aktywności jonów w roztworze NaCl o stężeniu większym niż $0,001 \text{ mol/dcm}^3$.
2. Równanie van Hafa dla takich roztworów musi uwzględniać te zjawiska, i dlatego brzmi ono następująco:

$$\pi = i \cdot f \cdot c \cdot R \cdot T,$$
 gdzie: i – liczba jonów (w naszym przypadku $i = 2$), f – współczynnik aktywności, wyliczony z równania podanego na Ryc. 3. W naszym doświadczeniu wynosi on odpowiednio: stężenie

0,02 mol/dcm³, $f = 0,83$, dla stężenia 0,06 mol/dcm³, $f = 0,82$ dla stężenia 0,20 mol/dcm³, $f = 0,77$ i dla stężenia 0,62 mol/dcm³, $f = 0,65$.

R jest uniwersalną stałą gazową i wynosi 8,314 (J/mol·K), T – temperatura w skali Kelwina. $T = 273 \text{ K}, 16 + t$, gdzie t – temperatura w skali Celsjusza.

3. W naszym przypadku dla pierwszego wariantu mamy: $i = 2$, $f = 0,83$, $c = 0,02 \text{ mol/dcm}^3$, $t = 20^\circ\text{C}$, $R = 8,314 \text{ J/mol}\cdot\text{K}$.
4. Stawiając do wzoru podanego w punkcie 3 otrzymujemy:

$$\pi = 2 \cdot 0,83 \cdot 0,02 \text{ mol/dcm}^3 \cdot 8,314 \text{ J/(mol}\cdot\text{K)} \cdot (20 + 273,16) \text{ K} = 81 \text{ J/dcm}^3 = 81 \text{ N}\cdot\text{m}/10^{-3} \text{ m}^3 = 81000 \text{ N/m}^2 = 81000 \text{ Pa} = 810 \text{ hPa} = 0,81 \text{ atmosfery}$$
(mol upraszcza się z molem i Kelvin z Kelvinem).
5. Dla pozostałych stężeń (uwzględniając zmiany f) otrzymujemy wartości π odpowiednio: dla $c = 0,06 \text{ mol/dcm}^3$ $\pi = 2,37, 7,47$ i $20,0 \text{ atm}$.
6. Wyrażając to ciśnienie w centymetrach słupa wody, otrzymujemy w pewnym przybliżeniu odpowiednio: 810, 2370, 7470 i 20000 cm.
7. Siła ssąca może być wyrażona jednostką pF, która jest logarytmem z siły ssącej wyrażonej powyżej w centymetrach słupa wody.
8. Otrzymujemy odpowiednio dla wariantów: 1 – 2,91; 2 – 3,38; 3 – 3,87 i 4 – 4,30.
11. Większość roślin przy pierwszym stężeniu wykaże lekkie przyhamowanie wzrostu, przy drugim – nastąpi silne zahamowanie wzrostu, przy trzecim – przestaje się rozwijać, przy czwartym – zamiera.

Zastosowana technologia informacyjna

- a) programy statystyczne
 Uczniowie wykorzystają podstawowy pakiet Statistica.
 Analizowany będzie przebieg transpiracji, oraz intensywność transpiracji (gęstość strumienia pary wodnej E) wyliczona według wzoru

$$E [\text{kg m}^{-2} \text{ h}^{-1}] = (C_1 - C_{1-1}) [\text{kg}]/S[\text{m}^2 \cdot 24]$$
,
 gdzie C_1 – waga wazonu w dniu pomiaru, C_{1-1} – waga wazonu w dniu poprzednim,
 S – powierzchnia wazonu [m^2];
- b) arkusze kalkulacyjne: wykorzystany zostanie arkusz kalkulacyjny MS Excel.

Najważniejsze osiągnięcia – kompetencje ucznia

- a) w zakresie wiedzy: określenie wpływu zasolenia gleby na proces transpiracji roślin. Nabycie umiejętności ilościowej oceny wpływu różnych czynników na analizowany proces
- b) w zakresie umiejętności: nauczenie się prowadzenia eksperymentu i analizy wyników pomiarów
- c) w zakresie postaw: zrozumienie znaczenia podstawowych zasad ochrony roślin dla ich wzrostu i rozwoju

2.4. PROJEKT: CO TO ZNACZY, ŻE ROŚLINY WIĄŻĄ ENERGIĘ?

CELE REALIZACJI PROJEKTU

- uświadomienie uczniom faktu, że materia organiczna na Ziemi jest efektem wiązania energii słonecznej w procesie fotosyntezy,
- zapoznanie uczniów z metodami oceny fotosyntezy i produkcji pierwotnej
- określenie wpływu warunków pogodowych na produkcję biomasy przez rośliny
- kształcenie umiejętności korzystania z aparatury pomiarowej
- kształcenie umiejętności odczytywania, rejestrowania i interpretacji wyników
- kształcenie umiejętności korzystania z różnych źródeł informacji

OPIS ZAGADNIENIA DO REALIZACJI NA LEKCJI I W PROJEKCIE

Produkcja biomasy przez rośliny zielone jest procesem wiązania energii, który zachodzi dzięki fotosyntetycznej aktywności roślin. Absorpcja promieniowania słonecznego przez głów-

ny barwnik fotosyntetyczny – chlorofil a, najintensywniej przebiega w zakresie 420 nm (światło czerwone). Drugie maksimum wynosi 663 nm (światło niebieskie). Dla chlorofilu b wartości te wynoszą odpowiednio: 463 i 635 nm. Zakres promieniowania położony między tymi wielkościami (światło zielone) jest praktycznie nieprzydatny dla fotosyntezy. Ten zakres widma promieniowania nie jest absorbowany przez chlorofil i ulega odbiciu. Dlatego rośliny mają zielony kolor. Część widma promieniowania słonecznego, która może być wykorzystana w procesie fotosyntezy, nazywamy promieniowaniem aktywnym fotosyntetycznie (PAR). Stanowi ono około 50% całkowitego promieniowania słonecznego (Q), a na naszej szerokości geograficznej wynosi około 1200–1300 MJ·m⁻² w sezonie wegetacyjnym (od kwietnia do września).

Rośliny wykorzystują jedynie niewielką część PAR. Pionierska synteza TRANSEAU (1926) wykazała, że wydajność fotosyntezy wynosi 1,6% całkowitego promieniowania słonecznego, a więc około 3,2% PAR. Potwierdzają to późniejsze prace (m. in. LEMON 1960; COOPER 1975; WATERLOW i in. 1998) gdzie wykazano, że maksymalna wydajność fotosyntezy u dominujących w strefie klimatu umiarkowanego roślin o fotosyntezie typu C3 nie przekracza 6% PAR. U roślin reprezentujących wydajniejszy typ fotosyntezy C4 (należą tu głównie rośliny tropikalne i subtropikalne, w umiarkowanej strefie klimatycznej są to wyłącznie rośliny uprawne lub zawlezione (kukurydza, trzcina cukrowa, proso, sorgo, chwastnica jednostronna, szarłat szorstki) jej wydajność może sięgać 10% PAR. W warunkach połowych, w strefie umiarkowanej, wielkości te zwykle nie przekraczają 2% PAR dla obu typów fotosyntezy (GOSZ i in. 1978; RYSZKOWSKI 1979).

Na tempo fotosyntezy wpływa cały szereg czynników: intensywność światła, stężenie CO₂, temperatura liścia, dostępność wody i stan fizjologiczny rośliny, uwarunkowany m.in. dostępnością pierwiastków takich jak azot, fosfor, żelazo, magnez i potas. Czynniki te powinny zatem kształtować również wielkość NPP, tymczasem badania terenowe wskazują, że całkowita produkcja pierwotna większości ekosystemów (za wyjątkiem siedlisk charakteryzujących się skrajnymi warunkami) jest zbliżona w obrębie danej strefy klimatycznej (AJTAY i in. 1979; COUPLAND 1979; FRENCH i in. 1979; DE ANGELIS i in. 1981; RYSZKOWSKI 1984; BERNACKI 1992a, b, 2002; BERNACKI, KASHKAROWA 1994; RYSZKOWSKI; BERNACKI 1995, MICKLER i in. 2002). RYSZKOWSKI (1984) nazywa to zjawisko konwergencją wielkości produkcji pierwotnej. Wynika ono według niego z kompensowania się efektów oddziaływania różnych czynników kształtujących wielkość NPP w dłuższych okresach.

Za zasadniczy w naszej strefie klimatycznej czynnik wpływający na wielkość produkcji pierwotnej uważa się dostępność wody (BURKE i in. 1997; WEBB i in. 1978; CHURKINA, RUNNING 1998; CHURKINA i in. 1999; FANG i in. 2001; KNAPP i in. 2001; MU i in. 2007), a i to dotyczy raczej sytuacji ekstremalnych (ABDEL RAZIK 1988; SINGH i in. 1980; XIAO i in. 1998; ZHANG i in. 2006). Wpływ temperatury na wielkość produkcji pierwotnej nie jest jednoznaczny. RYSZKOWSKI (1984) oraz JOSHI i in. (2003) uważają, że temperatura wpływa na wielkość NPP jedynie poprzez wydłużenie okresu wegetacyjnego. Niewielkie znaczenia dla kształtowania wielkości NPP ma też żywność siedliska (dostępność pierwiastków biogenych). W tym kontekście jako czynnik limitujący wielkość produkcji najczęściej wymieniany jest azot (ABER i in. 1995; TYLER i in. 2003; OLLINGER, SMITH 2005), rzadziej fosfor (ELSER i in. 2007).

Produkcja pierwotna stanowi pierwszy etap przepływu energii w sieciach troficznych. Całość materii organicznej wyprodukowana w procesie fotosyntezy w ciągu sezonu wegetacyjnego (włączając w to materię zużytą na procesy życiowe roślin) określana jest jako produkcja pierwotna brutto (GPP). Produkcję pierwotną netto (NPP) określa się jako ilość masy organicznej wbudowanej w ciało roślin, przy czym $NPP = GPP - R$, gdzie R oznacza respirację roślin (ODUM 1977).

Pomijając mającą marginalne znaczenie chemosyntezę, a od XIX wieku także syntezę chemiczną, fotosynteza jest jedynym źródłem całej materii organicznej występującej na Ziemi, zarówno tej zawartej w biomasie, jak i w paliwach, pożywieniu, meblach, a także w nas samych.

MATERIAŁY GRAFICZNE DO WYKORZYSTANIA NA LEKCJI I W PROJEKCIE

Tabele

Tab. 2.9. Relacje między całkowitą produkcją pierwotną (NPP), a wielkością fotosyntetyzującej biomasy (PAB) w ekosystemach krajobrazu rolniczego

Ekosystem	NPP (g suchej masy · m ⁻²)	PAB (g suchej masy · m ⁻²)	LWR (PAB/NPP)
Uprawy kukurydzy	1804,08	207,81	0,20
Uprawy roślin C ₃ *	1409,25	569,66	0,40
Łąki	2047,58	921,39	0,45
Młode zadrzewienia	1666,99	963,47	0,58
Lasy	1374,37	712,11	0,52

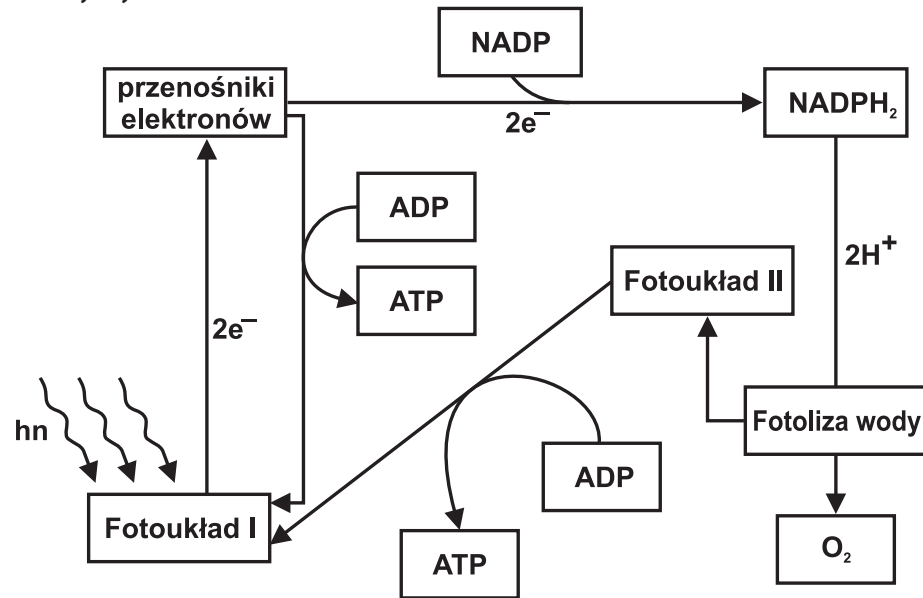
Źródło: BERNACKI 2012

Tab. 2.10. Produkcja pierwotna oceniona w skali niewielkiej zlewni rolniczej

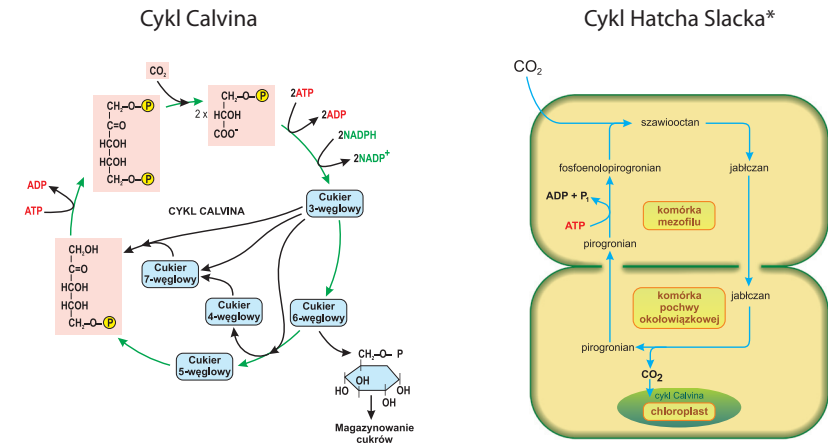
Ekosystem	Zajmowany areał [ha]	Biomasa [mg s.m.]	NPP [mg s.m.]
Lasy	2181	610 680	30 534
Zadrzewienia	1091	13 092	18 547
Łąki	2276	20 484	46 658
Pola uprawne	11 694	69 817	193 144
Razem zlewnia	17 242	714 073	288 883

Źródło: BERNACKI 2012

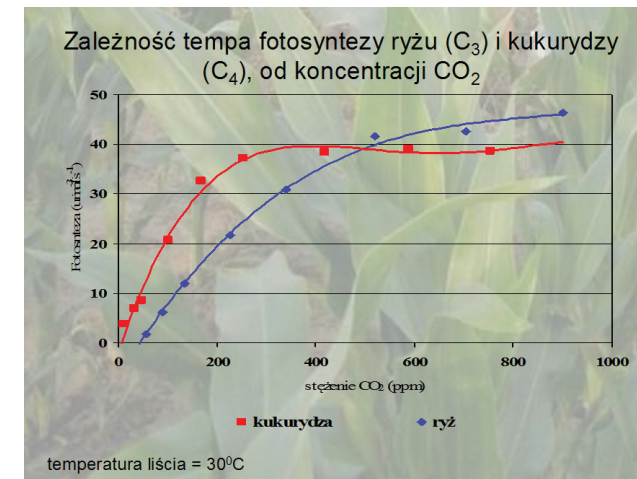
Ryciny



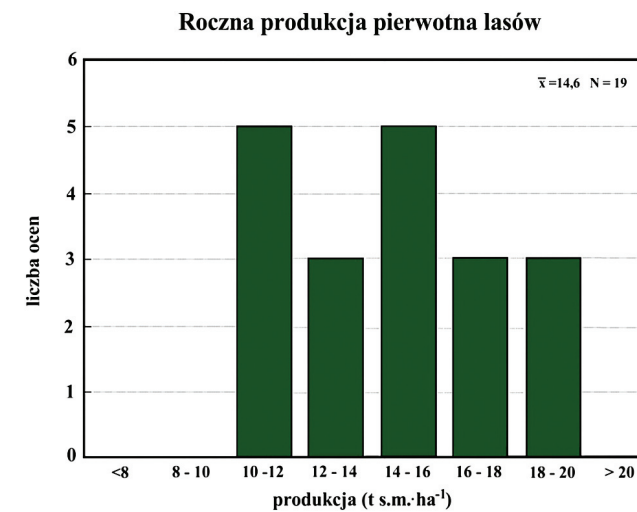
Ryc. 2.16. Faza jasna fotosyntezy



Ryc. 2.4. Faza ciemna fotosyntezy



Ryc. 2.5. Czynniki wpływające na wielkość produkcji pierwotnej



Ryc. 2.17. Produkcja pierwotna lasów (RYSZKOWSKI, BERNACKI 1995)

- TRACZYK T., TRACZYK H., PASTERNAK-KUŚMIERSKA D. (1985): Primary production of root crops and industrial crops in the Jorka River watershed. *Pol. Ecol. Stud.* 11: 263-275.
- WILKOŃ MICHALSKA J., NIŻEWSKA J. (1992): Produkcja pierwotna pól z uprawą kukurydzy. *Acta Universitatis Nicolai Copernici* 80: 61-73.

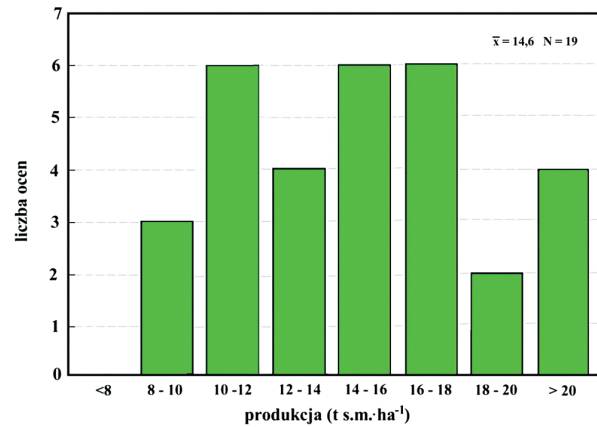
Literatura – artykuły popularnonaukowe

- BURDA K. (2006): Dlaczego warto zajmować się fotosyntezą? *Foton* 42: 8-16.
- COLINVAUX P. (1985): Dlaczego tak mało jest wielkich drapieżników? *Eseje ekologiczne*. Ss. 288. PWN, Warszawa.

Literatura – inne

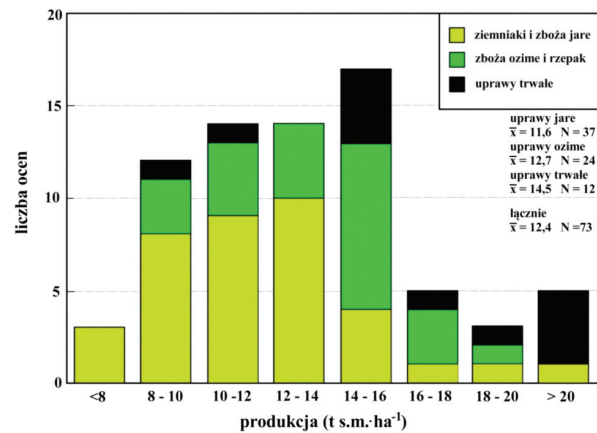
- ABDEL-RAZIK M., AYAD M., HENEIDY S. (1988): Phytomass and mineral composition in range biomass of a Mediterranean arid ecosystem (Egypt). *Acta Oecol. Oecol., Plant.* 9: 359-370.
- ABER J. D., MAGELL A., MCNULTY, S. G., BOONE R. D., NADELHOFFER K. J., DOWNS M., HALLETT R. (1995): Forest biogeochemistry and primary production altered by nitrogen saturation. *Water, Air and Soil Pollution* 85: 1665-1670.
- BERNACKI Z. (1992a): Porównanie trzech metod oceny produkcji pierwotnej pola z uprawą owsa i żyta. W: Bałazy S., Ryszkowski L. (red.), *Produkcja pierwotna, zasoby zwierząt i wymywanie materii organicznej w krajobrazie rolniczym*. S. 75-96. ZBŚRIL PAN.
- BERNACKI Z. (1992b): Produkcja pierwotna agrocenoz Wielkopolski. W: S. Bałazy, L. Ryszkowski (red.), *Produkcja pierwotna, zasoby zwierząt i wymywanie materii organicznej w krajobrazie rolniczym*. S. 57-74. ZBŚRIL PAN.
- BERNACKI Z. (2002): Ocena produkcji pierwotnej łąki trwałej w aspekcie metodycznym. *Łąkarstwo w Polsce* 5: 23-42.
- BERNACKI Z. (2012): Przestrzenne zróżnicowanie produkcji pierwotnej i rozkładu materii organicznej w krajobrazie rolniczym na przykładzie Parku Krajobrazowego im. gen. Dezyderygo Chłapowskiego: Znaczenie struktury krajobrazu. *Rozprawy Naukowe* 437. Ss. 163. Wyd. Uniwersytetu Przyrodniczego w Poznaniu, Poznań.
- BERNACKI Z., KASHKAROVAV. P. (1994): Srovnatelnyj analiz struktury i produktivnosti antropogennykh fitocenozov drevnepokhotnykh raionov Zapadnoj Velikopolshi i Centralno Chernozemnogo raiona Ruskoj Lesostepi. *Izvestija Akademii Nauk Seria Geograficheskaja*: 59-70.
- BURKE I. C., LAUENROTH W. K., PARTON W. J. (1997): Regional and temporal variation in net primary production and nitrogen mineralization in grasslands. *Ecology* 78: 1330-1340.
- CHURKINA G., RUNNING S. W. (1998): Contrasting climatic controls on the estimated productivity of global terrestrial biomes. *Ecosystems* 1: 206-215.
- COOPER J. P. (1975): Photosynthesis and productivity in different environments. Ss. 175. Cambridge Univ. Press, Cambridge.
- COUPLAND R.T. (red) (1979): *Grassland ecosystems of the world*. Ss. 350. Cambridge Univ. Press, Cambridge.
- DE ANGELIS D. L., GARDNER R. H., SHUGART H. H. (1981): Productivity of forest ecosystems studied during the IBP: the woodland data set. W: D. E. Reichle (red.), *Dynamic properties of forest ecosystems*. S. 567-672. Cambridge Univ. Press, Cambridge.
- DUSZYŃSKI J., GRYKIEL K., LESICKI A., RATAJCZAK L. (2004): *Biologia – podręcznik: tom 3*. Ss. 286. Wydawnictwo Szkolne PWN, Warszawa.
- ELSER J. J., BRACKEN M. E. S., CLELAND E. E., GRUNER D. S., HARPOLE W. S., HILLEBRAND H., NGAI J. T., SEABLOOM E. W., SHURIN J. B., SMITH J. E. (2007): Global analysis of nitrogen and phosphorus limitation of primary producers in freshwater, marine and terrestrial ecosystems. *Ecology Letters* 10: 1135-1142.
- FANG J., PIAO S., TANG Z., PENG C., W. J. (2001): Variation among biomes in temporal dynamics of aboveground primary production. *Science* 291: 481-484.
- FRENCH R., RYSZKOWSKI L., TITLIANOVA A. A., ZLOTIN R. I. (1979): Srovnanije struktury organicheskogo weschestwa w razlichnykh ekosistemakh. *Izv. Sib. Otdel. AN SSSR* 2: 8-22.
- GOSZ J. R., HOLMES R. T., LIKENS G. E., BORMANN F. H. (1978): The flow of energy in a forest ecosystem. *Scientific American* 238: 93-102.
- JOSHI A. B., VANN D. R., JOHNSON A. H. (2006): Litter quality and climate decouple nitrogen mineralization and productivity in chilean temperate rainforests. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 70: 153-162.
- KNAPP A. K., BRIGGS J. M., KOELLIKER J. K. (2001): Frequency and extent of water limitation to primary production in a mesic temperate grassland. *Ecosystems* 4: 19-28.
- LEMON E., R. (1960): Photosynthesis under field conditions. II. an aerodynamic method for determining the turbulent carbon dioxide exchange between the atmosphere and a corn field. *Agron. J.* 52: 697-703.
- MICKLER R. A., EARNHARDT T. S., MOORE J. A. (2002): Modeling and spatially distributing forest net primary production at the regional scale. *J. Air Waste Manage. Assoc.* 52: 174-185.
- MU Q., ZHAO M., HEINSCH F. A., LIU M., TIAN H., RUNNING S. W. (2007): Evaluating water stress controls on primary production in biogeochemical and remote sensing based models. *J. Geoph. Res.* 112: 1-13.
- ODUM E. P. (1977): *Podstawy Ekologii*. Ss. 678. PWRiL, Warszawa.
- OLLINGER S. V., SMITH M. L. (2005): Net primary production and canopy nitrogen in a temperate forest landscape: an analysis using imaging spectroscopy, modeling and field data. *Ecosystems* 8: 760-778.
- RYSZKOWSKI L. (1979): Produkcja rolna, a przepływ energii i obieg materii w agroekosystemach. *Zeszyty Problemowe Post. Nauk Roln.* 228: 29-47.
- RYSZKOWSKI L. (1984): Primary production in agroecosystems. *Option mediterraneennes* 1: 78-93.
- RYSZKOWSKI L., BERNACKI Z. (1995): Produkcja pierwotna, a wielkość eksploatowanej biomasy roślinnej. *Redakcja Las; Drewno; Ekologia: Materiały II Krajowej Konferencji*. S. 89-96. Wielkopolska Fundacja Naukowa im. T. Perkitnego, Poznań.
- SINGH J. S., TRILICA M. J., RISSER P. G., REDMANN R. E., MARSHALL J. K. (1980): Autotrophic subsystem. W: A. I. Breymer, G. M. Van Dyne (red),

Roczna produkcja pierwotna ekosystemów trawiastych



Ryc. 2.18. Produkcja pierwotna ekosystemów trawiastych (RYSZKOWSKI, BERNACKI 1995)

Roczna produkcja pierwotna pól uprawnych



Ryc. 2.19. Produkcja pierwotna pól uprawnych (RYSZKOWSKI, BERNACKI 1995)

MATERIAŁY POMOCNICZE DO REALIZACJI TEMATU NA LEKCJI I W PROJEKCIE

Strony internetowe

- <http://pl.wikipedia.org/wiki/Fotosynteza>
<http://www.e-biotechnologia.pl/Artykuly/fotosynteza>
<http://www.edukacja.edux.pl/p-12478-fotosynteza.php>

Literatura – artykuły naukowe

- AJTAY G. L., KETNER P., DUVIGNEAUD P. (1979): Terrestrial primary production and phytomass. The global carbon cycle (Scope 13), W: B. Bolin, E.T. Degens, S. Kempe, P. Ketner (red.). Wiley, New York.
- BERNACKI Z. (2012): Przestrzenne zróżnicowanie produkcji pierwotnej i rozkładu materii organicznej w krajobrazie rolniczym znaczenie struktury krajobrazu. *Wydawnictwo Uniwersytetu Przyrodniczego, Poznań*.
- CHURKINA G., RUNNING S. W. (1998): Contrasting climatic controls on the estimated productivity of global terrestrial biomes. *Ecosystems* 1: 206-215.
- PARZYCH A., SOBISZ Z. (2010): Biomasa i produkcja pierwotna netto roślin runa w wybranych zespołach leśnych Słowińskiego Parku Narodowego. *Ochrona Środowiska i Zasobów Naturalnych* 42: 72-83.

- Grassland systems analysis and Man. S. 59-200. Cambridge Univ. Press, Cambridge.
- STAROŃ K. (red.) (2003): Biologia: cz. 2, t. 1. Kształcenie w zakresie rozszerzonym. Ss. 288. WSiP, Warszawa.
- TRANSEAU E. N. (1926): The accumulation of energy in plants. The Ohio Journal of Science 26: 1-10.
- TYLER A. C., MASTRONICOLA T. A., MCGLATHERY K. J. (2003): Nitrogen fixation and nitrogen limitation of primary production along a natural marsh chronosequence. Oecologia 136: 431-438.
- WATERLOW J. C., ARMSTRONG D. G., FOWDEN L., RILEY R. (1998): Feeding a world population of more than eight billion people: A challenge to science. Ss. 280. Oxford University Press, Oxford.
- WEBB W., SZAREK S., LAURENROTH W., KINERSON R. (1978): Primary productivity and water use in native forest, grasslands and desert ecosystems. Ecology 59: 1239-1247.
- XIAO X., MELILLO J.M., KICKLIGHTER D.W., PAN Y., MCGUIRE A.D., HELFRICH J. (1998): Net primary production of terrestrial ecosystems in China and its equilibrium responses to changes in climate and atmospheric CO₂ concentration. Acta Phytocologica Sinica 22: 97-118.
- ZHANG J., PAN X., GAO Z., SHI Q., LIU G. (2006): Carbon uptake and change in net primary productivity of oasis-desert ecosystem in arid western China with remote sensing technique. J. Geographical Sciences 16: 315-325.

WideoWykład do wykorzystania na lekcjach pt. Co to znaczy, że rośliny magazynują energię?
<http://www.ekologia-krajobrazu.pl/index.php/baza-wiedzy>

OPIS PROJEKTU

Problem badawczy

Czy barwa światła wpływa na tempo fotosyntezy roślin?
 Czy ilość biomasy produkowana w określonym czasie na polu, łące, suchej murawie różni się istotnie?

Wariant podstawowy

Uczniowie pracują pod kierunkiem nauczyciela. Raz w tygodniu wyznaczone są konsultacje, podczas których uczniowie omawiają z nauczycielem kolejne kroki, konsultują podjęte działania i otrzymują wskazówki dotyczące doboru literatury.

Praca podzielona jest na następujące etapy:

Etap I. Zbieranie informacji koniecznych do przeprowadzenia doświadczeń laboratoryjnych
 Uczniowie zapoznają się z zaproponowaną przez nauczyciela literaturą na temat czynników wpływających na proces fotosyntezy (w szczególności intensywności i długości fali świetlnej).

Etap II. Przeprowadzenie doświadczeń laboratoryjnych zaproponowanych przez nauczyciela:
 Ocena intensywności fotosyntezy w świetle sztucznym, o różnej barwie i natężeniu.

Etap III. Podsumowanie doświadczenia laboratoryjnego.
 Propozycja doświadczenia polowego.

Etap IV. Wybór optymalnych wariantów doświadczeń polowych.
 Przeprowadzenie doświadczeń polowych. Ocena biomasy roślin, w różnych układach krajobrazowych: pole uprawne, pole z zadrzewieniem.

Wariant rozszerzony

Uczniowie pracują samodzielnie pod kontrolą nauczyciela. Raz w tygodniu wyznaczone są konsultacje, podczas których uczniowie, w razie potrzeby, prezentują zebrane przez siebie informacje, omawiają z nauczycielem dalsze kroki, konsultują podjęte działania i dobór literatury.

Praca podzielona jest na następujące etapy:

Etap I. Zbieranie informacji koniecznych do przeprowadzenia doświadczeń laboratoryjnych

Uczniowie gromadzą informacje z literatury i Internetu na temat czynników (w szczególności światła: intensywności i długości fali świetlnej) wpływających na proces fotosyntezy.

Etap II. Planowanie doświadczenia

Uczniowie poinformowani przez nauczyciela o możliwościach sprzętowych przygotowują propozycje przeprowadzenia doświadczeń wykazujących wpływ intensywności światła i długości fali świetlnej na tempo fotosyntezy moczarki kanadyjskiej.

Etap III. Wybór optymalnych wariantów eksperymentów:

Przeprowadzenie doświadczeń laboratoryjnych: Ocena intensywności fotosyntezy w świetle sztucznym, o różnej barwie i natężeniu. Opis doświadczenia.

Etap IV. Raport z części laboratoryjnej

Propozycja doświadczenia polowego.

Etap V. Zbieranie informacji koniecznych do przeprowadzenia doświadczeń polowych

Uczniowie gromadzą informacje z literatury i Internetu na temat czynników wpływających na produkcję biomasy przez rośliny.

Etap VI. Planowanie doświadczeń polowych

Uczniowie przygotowują propozycje przeprowadzenia doświadczeń oceniających tempo produkcji biomasy przez rośliny.

Etap VII. Wybór optymalnych wariantów doświadczeń polowych

Przeprowadzenie doświadczeń polowych. Ocena biomasy roślin, w różnych układach krajobrazowych: pole uprawne, pole z zadrzewieniem, wsparte pomiarami parametrów siedliska: wilgotności i temperatury gleby oraz usłonecznienia. W fazie koncepcyjnej uczniowie wyszukują z literatury i Internetu dane dotyczące zawartości energii (kaloryczności) w biomacie (drewno, słoma itp.). W końcowej fazie obliczają ilość energii skumulowanej przez rośliny.

Etap VIII. Seminarium: dyskusja, wyciągnięcie wniosków i przygotowanie raportu

Raport końcowy z projektu powinien zawierać:

- określenie problemów badawczych,
- postawienie hipotez,
- opis procedury badawczej,
- wyniki,
- wnioski.

Zastosowane metody badawcze

1. Metodyka badań (obserwacji, pomiarów, doświadczeń)

- i. Metoda laboratoryjna – oznaczanie intensywności fotosyntezy na podstawie ilości wydzielonego tlenu

W kolbach przesłoniętych kolorowymi szybkami: bezbarwną, czerwoną, niebieską i zieloną umieszczamy pojedyncze (w przybliżeniu równej wielkości) pędy moczarki kanadyjskiej. Kolby oświetlamy lampami pozwalającymi na regulację intensywności światła. Produkowany przez roślinę tlen zbiera się w probówce umieszczonej ponad kolbą. Ocenę ilości produkowanego tlenu prowadzimy po 1, 2 i 3 godzinach, zarówno wizualnie (ilość pęcherzyków), jak i za pomocą tlenomierza w probówce. Ocenę taką prowadzimy trzykrotnie, za każdym razem zwiększając intensywność światła.

- ii. Metoda badań terenowych: oznaczenie biomasy roślin na powierzchniach stałych
 Dwukrotnie, w odstępie 1 miesiąca, pobieramy biomasa nadziemną roślin w powierzchni 0,25 m², wyznaczonej ramkami. Próby pobierane są w trzech zbiorowiskach roślinnych o prostej strukturze (pole, murawa, łąka). Biomasa podziemną pobieramy na tych samych powierzchniach za pomocą próbnika glebowego. Po oczyszczeniu części nadziemnych

i opłukaniu części podziemnych próby umieszczane są w suszarce na 24 h, w temperaturze 80°C i ważone następnego dnia. Biomasa części nadziemnych i podziemnych przeliczana jest na powierzchnię 1 m².

iii. Metoda oceny parametrów siedliska

Temperatura gleby oceniana jest za pomocą termometru glebowego na głębokości 5 cm. Należy wykonać minimum 10 pomiarów w każdym ekosystemie. Wyniki uśredniamy dla każdego z badanych ekosystemów. Wilgotność gleby oceniamy za pomocą cylindrów Kopeckiego o pojemności 100 cm³. W każdym ekosystemie pobieramy 10 prób. Próby są ważone bezpośrednio po pobraniu i po wysuszeniu. Różnica między początkową i końcową masą cylindra jest wilgotnością objętościową wyrażoną w %.

2. Wybór obszaru badań – stanowisk pomiarowych

Dowolny obszar charakteryzujący się mozaikową strukturą krajobrazu.

3. Wymagany sprzęt pomiarowy:

- kolba stożkowa 1 l z korkiem gumowym – 4 szt.,
- rurka szklana Ø 0,5 cm – 4 szt.,
- probówka – 4 szt.,
- kolorowe szybki: bezbarwna, niebieska, czerwona, zielona – po 4 szt.,
- lampa min. 100 W,
- cylindry Kopeckiego do oceny wilgotności gleby 10 szt.,
- termometry glebowe 10 szt.,
- solarymetr HT204,
- ramki, kółka, paliki do wyznaczania powierzchni badawczych.

4. Najlepszy okres do wykonywania badań: maj – lipiec.

5. Czas potrzebny do wykonania badań:

- wariant podstawowy: 1 miesiąc,
- wariant rozszerzony: 3 miesiące.

Zastosowana technologia informacyjna

- a) programy statystyczne: Statistica,
- b) arkusze kalkulacyjne: MS Excel.

Najważniejsze osiągnięcia – kompetencje uczniów

- a) w zakresie wiedzy: poznanie mechanizmu zapewniającego wiązanie energii świetlnej, powiązanie poziomu fizjologicznego wiązania energii (fotosynteza) z poziomem ekologicznym (produkcja pierwotna, obieg materii w krajobrazie);
- b) w zakresie umiejętności: projektowanie doświadczeń, posługiwanie się aparaturą laboratoryjną, prowadzenie i dokumentowanie pomiarów;
- c) w zakresie postaw: prawidłowe (nie antropocentryczne) pojmowanie roli fotosyntezy (produkcja biomasy a nie produkcja tlenu), świadomość konsekwencji nadmiernego eksploatowania ekosystemów rolnych.

ROZDZIAŁ 3

RÓŻNORODNOŚĆ BIOLOGICZNA W KRAJOBRAZIE

3.1. RÓŻNORODNOŚĆ BIOLOGICZNA – ZALEŻNOŚCI KRAJOBRAZOWE, WPŁYW CZŁOWIEKA

Wstęp

Definicja i wyjaśnienie pojęcia: różnorodność biologiczna

Różnorodność biologiczna jest jedną z wielu cech środowiska przyrodniczego. Wyróżniamy następujące komponenty środowiska przyrodniczego:

- abiotyczne: woda, gleba, podłoże litologiczne, klimat (lokalny), ukształtowanie terenu;
- biotyczne: świat roślinny, świat zwierzęcy, świat grzybów, świat mikroorganizmów.

Termin „różnorodność biologiczna” (lub inaczej – niezbyt poprawnie – „bioróżnorodność”) odnosi się do komponentów biotycznych i jest używany już od 45 lat. Jednak znaczny wzrost zainteresowania tym pojęciem wystąpił po wydaniu książki pt. „Biodiversity” autorstwa jednego z najślyniejszych współczesnych biologów (WILSON 1988). Od tamtej pory terminu tego bardzo często używają naukowcy, działacze na rzecz ochrony przyrody, popularyzatorzy wiedzy, politycy itd. Czym zatem jest różnorodność biologiczna? Zwykle definiuje się ją tak jak w „Konwencji o różnorodności biologicznej”:

Różnorodność biologiczna to zróżnicowanie wszystkich żywych organizmów występujących na Ziemi w ekosystemach lądowych, morskich i słodkowodnych oraz w zespołach ekologicznych, których są częścią.

Różnorodność biologiczna jest zatem cechą przyrody, a nie jej synonimem. Używając słów, możemy próbować opisać, jak przyroda „wygląda” w danym miejscu: na przykład że w danym miejscu dominuje las liściasty, że wśród ptaków można spotkać bogatkę itp. Natomiast opisując różnorodność biologiczną tego miejsca, należy ilościowo określić zróżnicowanie przyrody, np. występuje tam średnio 20 gatunków roślin na 1 ar, że występują tam trzy rodzaje lasów (np. łęgi, grądy i bory) itd.

Pełny, a zarazem uniwersalny opis różnorodności biologicznej powinien zawierać informacje o jej trzech głównych poziomach:

- a) **poziom gatunku** – zróżnicowanie osobników (zmienność osobnicza) w obrębie danego gatunku,
- b) **poziom ekosystemu** – zróżnicowanie gatunkowe w obrębie danego ekosystemu,
- c) **poziom krajobrazu** – zróżnicowanie ekosystemów w obrębie danego krajobrazu. Zróżnicowanie środowiska w większej, geograficznej skali, nazywamy **georóżnorodnością**.

Opisując zmienność przyrody na pierwszym poziomie, należy zaprezentować zmienność międzyosobniczą w obrębie gatunku, np. dotyczącą zróżnicowania morfologicznego albo genetycznego. To ostatnie jest raczej rzadko wykorzystywane, gdyż wymaga pobierania odpowiednich próbek, skomplikowanego przygotowania materiału do analiz oraz przeprowadzenia samej analizy. Jej wynikiem może być uzyskanie miary zmienności danego genu lub określonego fragmentu DNA w populacji. Pisząc o różnorodności przyrody na poziomie danego ekosystemu, opisujemy ilościowo jego skład, a także ilościowe relacje między gatunkami. Na przykład awifauna lasu w miejscu A, zawierająca dziesięć gatunków ptaków, jest bardziej różnorodna niż w miejscu B, gdzie występuje pięć gatunków. Ale jeśli w miejscu A, wśród tych dziesięciu gatunków jeden stanowi 91% wszystkich ptaków, a pozostałe dziewięć gatunków po 1%, to awifauna takiego miejsca jest mniej różnorodna niż w miejscu C, gdzie występuje także dziesięć gatunków, ale każdy stanowi po około 10% wszystkich żyjących tam ptaków. Natomiast w odniesieniu do poziomu krajobrazu to krajobraz A, składający się z trzech ekosystemów, jest bardziej różnorodny niż krajobraz B, złożony z jednego ekosystemu. Analogicznie do przykładu dotyczącego awifauny, krajo-

braz złożony w 80% z pól uprawnych oraz po 10% z lasów i łąk, jest mniej różnorodny niż krajobraz złożony w jednej trzeciej z lasów, w jednej trzeciej – pól uprawnych i w jednej trzeciej z łąk.

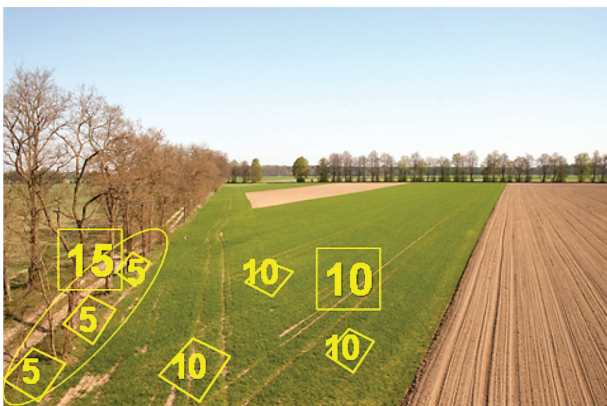
W związku z notowanymi i opisywanymi w wielu miejscach zanikaniem gatunków lub siedlisk (w dużej mierze spowodowanym działalnością ludzką) zainteresowanie problematyką różnorodności biologicznej ostatnio znacznie wzrosło.

Co obejmuje wiedza o różnorodności biologicznej i na czym polegają podstawowe badania nad różnorodnością biologiczną?

Podstawą są tu – zgodnie z wyżej wymienionymi poziomami różnorodności biologicznej – informacje o występowaniu różnych wariantów genów oraz o rozmieszczeniu gatunków i ekosystemów. Jednak zgromadzenie takich informacji to jeszcze nie wszystko. **Wiedza o różnorodności biologicznej to coś o wiele więcej niż np. tylko znajomość liczby gatunków żyjących w danym miejscu oraz ich lista. To również wiedza o tym, jaka jest ich zmienność w przestrzeni. Można to zilustrować dwoma przykładami.**

Przykład A – Badania nad owadami pól uprawnych i przydroży

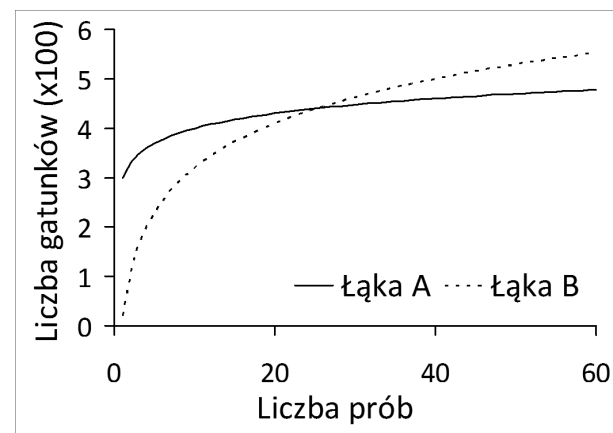
Założmy, że porównanie różnorodności fauny owadów prowadzimy na podstawie powierzchni badawczych o wielkości 1m² każda, rozrzuconych w obu porównywanych środowiskach (Ryc. 3.1). Na każdej z trzech powierzchni na przydrożu (obwiedzionych owalem) zanotowano po pięć gatunków, a na każdej z położonych na polu uprawnym – po dziesięć gatunków. Założmy także, że łączna liczba gatunków na przydrożu wyniosła 15 wobec tylko dziesięciu na polach. Zatem gdzie różnorodność jest większa? Odpowiedź jest niejednoznaczna, gdyż zależy od kontekstu. W powyższym przykładzie, chociaż liczba gatunków w przeliczeniu na jednostkę powierzchni (czyli na 1 m²) jest większa na polu uprawnym, to bardziej różnorodnie jest jednak na poboczu drogi. Liczba gatunków jest tam większa, a w każdym miejscu zaobserwowano odrębną pulę gatunków (po pięć, ale różnych).



Ryc. 3.1. Rozmieszczenie powierzchni badawczych i liczba gatunków owadów (fot. K. Kujawa)

Przykład B – Badania nad owadami dwóch łąk

Na której z łąk występuje bardziej różnorodna fauna owadów? Założmy, że z dwóch łąk (A i B) pobrano po 60 prób* owadów. Następnie sprawdzono, ile gatunków owadów znajduje się w jednej próbie, potem w dwóch, trzech itd., aż do 60 prób. Na ogół wraz ze zwiększaniem liczby prób (czyli tym samym – wielkości powierzchni badawczej) łączna lista stwierdzonych w nich gatunków przyrasta, gdyż w dobranej kolejnej próbie zwykle znajduje się pewna liczba gatunków nowych, nieobecnych we wcześniej pobranych próbach. Wyniki można zilustrować wykresem (Ryc. 3.2). Wskazują one, że w przypadku mniejszych fragmentów (czyli małej liczby prób), bogatsza jest entomofauna łąki A, ale dla dużych (wiele prób) – łąki B (Ryc. 3.2). Podobnie jak w poprzednim przykładzie, odpowiedź na pytanie postawione na początku opisu tych badań jest złożona.



Ryc. 3.2. Liczba gatunków owadów w zależności od liczby prób powierzchni badawczej

Powyższe dwa przykłady ilustrują (i to tylko na najprostszych przykładach) złożoność odpowiedzi na pytania o różnorodność biologiczną.

Celem badań nad różnorodnością biologiczną jest zatem wykrywanie prawidłowości w kształtowaniu się liczby gatunków (a także ekosystemów), a nie tylko ustalanie liczby i listy gatunków obserwowanych w danym miejscu.

Warto dodać, że badania nad różnorodnością niekoniecznie trzeba prowadzić na poziomie gatunków. Niektóre grupy systematyczne są bardzo liczne w gatunki (np. owady) i w takich przypadkach można także prowadzić badania przy użyciu wyższych taksonów, takich jak rodzaj lub rodzina (BALDI 2003).

Znaczenie i specyfika badań nad różnorodnością biologiczną

Dlaczego różnorodność biologiczna jest ważna?

- z powodów pragmatycznych: np. wiele gatunków jest wykorzystywanych w produkcji rolnej i przemysłowej, rybołówstwie, w kontroli biologicznej szkodników upraw itp.,
- z „punktu widzenia” przyrody: różnorodność to „polis ubezpieczeniowa” dla przyrody – większa odporność ekosystemów na zakłócenia z zewnątrz, gdyż zaniknięcie danego gatunku może być zrekompensowane obecnością innych,
- z powodów etycznych: człowiek jako kosmopolityczny* i ekspansywny gatunek, wpływa na losy gatunków, a przez to jest za nie odpowiedzialny.

Przyczyny zmniejszania się różnorodności biologicznej

Znakiem czasów współczesnych jest zmniejszanie się różnorodności biologicznej na świecie. Wykazują to różne badania, zwłaszcza długoterminowe, jak na przykład monitoring ptaków w Europie (m. in. w Polsce, zob. zasoby internetowe GIOŚ – <http://www.monitoringptakow.gios.gov.pl/>) i wiele innych (BUTCHART i in., 2010).

Najważniejsze przyczyny zmniejszania się różnorodności biologicznej są następujące:

- zmiany w wykorzystaniu ziemi:
 - ekspansja terenów rolnych (i upraszczanie ich struktury)
 - budownictwo (osiedla ludzkie i infrastruktura)
 - przemysł wydobywczy
- zanieczyszczenie środowiska,
- nadmierna (związana z rosnącym zaludnieniem Ziemi i z realizacją dogmatu o konieczności nieustającego wzrostu gospodarczego, a przez to rosnącej konsumpcji) eksploatacja ekosystemów – lasów, oceanów, rzek, jezior i gleby.

Dlaczego ekologia krajobrazu jest ważna dla rozumienia różnorodności biologicznej?

Znaczenie interakcji między elementami krajobrazu oraz jego architektury

Krajobraz składa się z poszczególnych elementów, ale wiedza o tym, jak kształtuje się różnorodność biologiczna poszczególnych ekosystemów tworzących owe elementy, nie wystarcza do tego, by wiedzieć, jaki jest poziom różnorodności biologicznej w skali całego krajobrazu. Jest tak dlatego, że elementy krajobrazu (zadrzewienia, pola uprawne, lasy, zbiorniki wodne itp.) oddziałują na siebie nawzajem. Zjawisko zależności występowania grupy gatunków w danym miejscu od struktury krajobrazu wokół tego miejsca nazywane jest często kontekstem krajobrazowym*. Analizując np. rozmieszczenie ptaków w małych (do 4 ha) zadrzewieniach śródpolnych zauważono, że bogatsza typowo leśna awifauna występuje w takich zadrzewieniach, wokół których znajduje się dużo innych zadrzewień (KUJAWA 2006). Innymi słowy, gdyby dane zadrzewienie udało się przenieść w całości z krajobrazu silnie uproszczonego (czyli bez innych zadrzewień) w miejsce, w którym występuje więcej lasów, to najprawdopodobniej bogactwo awifauny (liczba gatunków i zagęszczenie populacji) zwiększyłoby się (KUJAWA 2006). Podobnie zauważono, że występowanie większej liczby ptaków w zadrzewieniach śródpolnych związane jest z urozmaicheniem pól uprawnych wokół nich, co zapewne spowodowane jest większą możliwością wyszukiwania pokarmu dla tej części gatunków, które żerują na polach uprawnych (KUJAWA 2006). Zatem liczebność ptaków (i liczba gatunków) w zadrzewieniach zależy nie tylko od ich struktury (wieku drzew, składu gatunkowego itp.), ale także właśnie od kontekstu krajobrazowego, czyli struktury krajobrazu.

Wniosek: nie wystarczy wiedzieć, co żyje w danym środowisku i jaka jest jego powierzchnia, by oszacować liczbę gatunków oraz wielkość populacji danego gatunku czy gatunków. Trzeba znać interakcje między środowiskami i znaczenie struktury przestrzennej krajobrazu, czyli zagadnienia z zakresu ekologii krajobrazu.

Wiele gatunków żyje w krajobrazie, a nie w pojedynczych środowiskach

Istnieje wiele gatunków, które w ciągu życia wykorzystują różne typy środowisk. Na przykład bocian biały (*Ciconia ciconia*) buduje gniazda na terenie miejscowości, ale żeruje na terenach uprawnych – łąkach, pastwiskach i polach. Gawrony (*Corvus frugilegus*) zakładają kolonie na drzewach, zwykle w miejscowościach, ale pokarm zbierają często poza nimi, pokonując czasem znaczne odległości. Trznadel buduje gniazdo na ziemi w zadrzewieniach lub np. na skraju lasu, ale żeruje na polach uprawnych. Płazy (jak np. ropuchy, rzekotka i żaby) żerują w środowiskach lądowych, ale rozmnażają się wyłącznie w zbiornikach lub ciekach wodnych. Zatem w przypadku takich gatunków, aby poznać zależność ich występowania od struktury środowiska, należy prowadzić badania krajobrazu, a nie pojedynczych środowisk.

Co to znaczy: wysoki poziom różnorodności biologicznej?

Jak już wiemy z powyższych przykładów, na tak postawione pytanie nie da się odpowiedzieć w sposób jednoznaczny. Na ogół łatwiej jest ocenić, który obszar z kilku porównywanych charakteryzuje się najwyższą różnorodnością biologiczną, niż stwierdzić konkretnie: „różnorodność biologiczna obszaru X jest duża”. Jest tak dlatego, że **różnorodność biologiczna jest cechą wieloaspektową, bardzo złożoną i dlatego nie przypisano jej żadnej jednoznacznej jednostki, takiej jak np. metry – długości, a gramy – masie. Jeśli zatem pytamy: jaka jest różnorodność biologiczna danego wycinka krajobrazu, to od razu trzeba doprecyzować: pod jakim względem oraz w porównaniu z jakimi środowiskami.**

Uporządkujmy teraz cechy różnorodności biologicznej, których istnienia musimy mieć świadomość, jeśli porównujemy pewne obszary pod tym względem.

Problem powierzchni krajobrazu

Po pierwsze bardzo ważna jest skala prowadzonych badań (np. porównań), czyli powierzchnia danego wycinka krajobrazu. Jeśli porównujemy np. dwie łąki i na jednej stwierdzono 100 gatunków

roślin, a na drugiej – 150 gatunków, to aby wnioskować o poziomie różnorodności biologicznej tych środowisk, trzeba koniecznie wiedzieć, na jakiej powierzchni badawczej stwierdzono podane wyżej liczby gatunków. Jeśli bowiem te 150 gatunków wykryto na powierzchni większej niż porównywane 100 gatunków, to różnica ta może być tylko skutkiem różnej wielkości próby, a nie wynikać z cech porównywanego środowiska. Dlatego porównania poziomu różnorodności biologicznej powinny być prowadzone za pomocą dokładnie takiej samej metody stosowanej w porównywanych środowiskach.

„Zróżnicowanie zróżnicowania”

Aby wyjaśnić ten aspekt różnorodności biologicznej, załóżmy, że w lesie A występuje średnio pięć gatunków ptaków na hektar, a w lesie B – średnio siedem gatunków na hektar. Na pierwszy rzut oka awifauna tego drugiego lasu może być oceniona jako bardziej różnorodna. Ale średnia wynika z jakiegoś rozrzutu danych wyjściowych. Może być zatem tak, że w lesie A rozrzut wynosi od 1–10 gatunków na hektar (przy średniej 5/ha), natomiast w lesie B 6–8 gatunków. Zatem, to las A na całym swoim terenie jest bardziej zróżnicowany, gdyż możemy trafić na fragment niemal pozbawiony ptaków, ale i taki, gdzie jest aż 10 gatunków na hektar. **Dlatego dogodne jest wyróżnienie trzech aspektów różnorodności biologicznej (RICHLING, SOLON 2011):**

- różnorodność α (ang. α -diversity) – liczba gatunków w danym „punkcie” czy miejscu (lokalna różnorodność); np. przy badaniu danego kompleksu leśnego miarą różnorodności α będzie liczba gatunków w danym wydzieleniu (oddziale), czyli np. 15;**
- różnorodność β (ang. β -diversity) – miara zmienności w α -diversity, czyli np. jaki jest zakres zmienności lokalnej liczby gatunków. Używając przykładu lasu z punktu a), można zilustrować ten rodzaj różnorodności zakresem zmienności liczby gatunków notowanych w wydzieleniach (np. od 5 do 30);**
- różnorodność γ (ang. γ -diversity) – różnorodność biologiczna w skali krajobrazu czy innego dużego obszaru, wynikająca z dwóch poprzednich; na przykład łączna liczba gatunków ptaków w całym kompleksie leśnym.**

Problem „jakości” gatunków

Jakość gatunków to bardzo ważny aspekt różnorodności, ale i najbardziej obciążony subiektywną oceną rangi (ważności) gatunków. Weźmy pod uwagę gatunki z tzw. czerwonych list, czyli uznawane za zagrożone wyginięciem (np. MIREK I IN. 2006). Jeśli na danym terenie żyje sto gatunków ptaków, ale wśród nich nie ma żadnego z czerwonej listy, to taki teren trudno uznać za podobnie wartościowy jak ten fragment, w którym także żyje sto gatunków, ale wśród nich np. dziesięć z czerwonej listy. To dlatego duża **różnorodność biologiczna nie jest synonimem dużej liczby gatunków, choć jest z nią w pewnym stopniu powiązana.** Można sobie bowiem wyobrazić obszar z bardzo dużą liczbą gatunków, ale za to wszędzie, który wówczas ma niewielki wkład do różnorodności γ (czyli w skali krajobrazu), gdyż gatunki te występują wszędzie. Innymi słowy, **podczas kształtowania krajobrazu nie należy „polować” na jak największą liczbę gatunków, ale dbać o to, by zestawy gatunków w poszczególnych miejscach były zróżnicowane.** Zwłaszcza ważne jest, by zapewnić także istnienie środowisk, w których mogą występować gatunki zagrożone, np. umieszczane na czerwonych listach. Proces zmniejszania się zróżnicowania przestrzennego zgrupowań gatunków (czyli wszędzie pewnej liczby takich samych gatunków) nazywamy czasem homogenizacją przyrody.

Istnieją zatem **ważone i nieważone miary różnorodności biologicznej (RICHLING I SOLON 2011).** W miarach „nieważonych” wszystkie gatunki są traktowane na równi, a w miarach „ważonych” gatunkom z wysokim priorytetem w ochronie przyrody (np. z czerwonych list) nadaje się wyższą rangę niż pozostałym.

Wybrane zagadnienia ekologii krajobrazu dotyczące różnorodności biologicznej

Ekologia krajobrazu obejmuje bardzo szeroki zakres zagadnień dotyczących w mniejszym lub większym stopniu różnorodności biologicznej. Spośród nich wybrano kilka takich, których znaczenie można uznać za istotne dla uzyskania wiedzy na temat kształtowania się różnorodności biologicznej w krajobrazie.

Jak różnorodność biologiczna zależy od przestrzennego zróżnicowania środowisk?

Zgrupowania gatunków w poszczególnych środowiskach są odmienne, dlatego zróżnicowanie środowisk odgrywa kluczową rolę w kształtowaniu się różnorodności biologicznej danego terenu. Na przykład wycinek krajobrazu o powierzchni 100 ha, składający się wyłącznie z pól uprawnych, charakteryzuje się niższym poziomem różnorodności biologicznej niż wycinek o takiej samej powierzchni obejmujący po 50 ha pól i łąk, a ten z kolei – mniejszą różnorodnością niż fragment składający się w jednej czwartej z lasów, jednej czwartej z pól, jednej czwartej z mokradeł i jednej czwartej z łąk. Na przykład na polach uprawnych (bez zadrzewień) gniazduje zwykle tylko kilka gatunków ptaków. Gdy pojawią się zadrzewienia, w krajobrazie znajdzie się kilkanaście lub kilkadziesiąt innych. Po wzbogaceniu terenu o mokradła bogactwo gatunkowe awifauny jeszcze wzrośnie, a gdyby znalazły się tam jeszcze łąki, to lista gatunków lęgowych wydłużyłaby się o kolejne. Na Ryc. 3.3 przedstawiono zależność różnorodności biologicznej (tu: liczby gatunków) od zróżnicowania ekosystemów, dla uproszczenia z wyłączeniem środowisk wodnych i podmokłych.



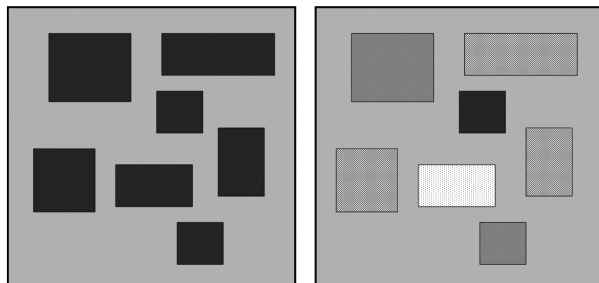
Ryc. 3.3. Przykład zależności różnorodności biologicznej (liczby gatunków ptaków w sezonie lęgowym) od heterogeniczności krajobrazu. Przykład nie uwzględnia ekosystemów wodnych i podmokłych, których obecność zwykle jeszcze bardziej zwiększa różnorodność biologiczną

W związku z dużymi różnicami w liczbie gatunków między środowiskami pojawia się pytanie o to, jakie powinny być proporcje poszczególnych środowisk w krajobrazie „idealnym” ze względu na zachowanie wysokiego poziomu różnorodności biologicznej. Odpowiedź nie jest prosta, a problem takiej „idealnej” konstrukcji krajobrazu przedstawia Ryc. 3.4.

Co jest korzystniejsze?

Obecność jednego tylko, ale za to najbogatszego w gatunki środowiska?

Obecność różnych środowisk, w tym z małą liczbą gatunków?



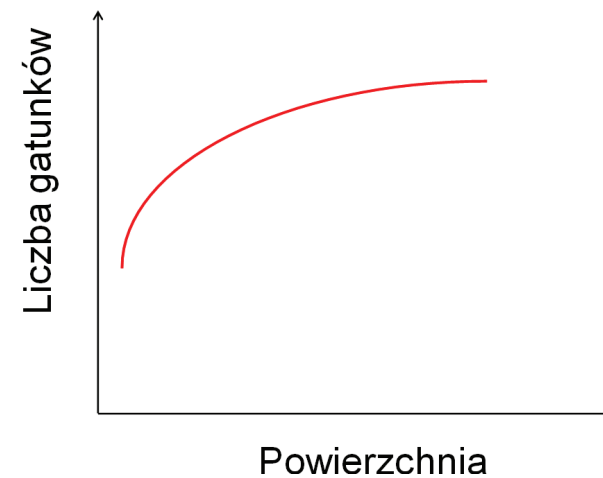
Ryc. 3.4. Model dwóch krajobrazów rolniczych. Oprócz pól (przeważający, jasnoszary kolor), jeden (po lewej) zawiera środowiska wyłącznie najbogatsze w gatunki, a drugi (po prawej) – środowiska zróżnicowane, w tym ubogie w gatunki

Mogłoby się wydawać, że korzystniejszym układem jest ten przedstawiony po lewej, gdyż każdy z elementów krajobrazu zawiera bardzo dużą liczbę gatunków (czyli różnorodność α jest wysoka), a ten po prawej posiada tylko jeden taki element (ciemnoszary). W związku z tym można sądzić, że

całkowita liczba gatunków w krajobrazie po prawej stronie będzie mniejsza. Jednak niekoniecznie tak musi być, gdyż wszystko zależy od tego, które gatunki występują w poszczególnych elementach krajobrazu. Jeśli w krajobrazie po lewej w poszczególnych fragmentach występuje dużo gatunków, ale z tej samej puli*, a w tym po prawej – mało gatunków w poszczególnych fragmentach, ale w każdym z nich inny zestaw, to wówczas może się okazać, że w skali całego krajobrazu różnorodność biologiczna będzie większa w krajobrazie po prawej stronie powyższego schematu.

Jak różnorodność biologiczna zależy od powierzchni środowisk?

Oprócz tego, jaka jest różnorodność siedlisk danego wycinka krajobrazu, cechą istotną dla rozmieszczenia i liczby gatunków jest wielkość (powierzchnia) poszczególnych elementów krajobrazu (czyli środowisk lub ekosystemów). Odpowiedź na pytanie postawione jest bardzo ważna dla zrozumienia reguł występowania gatunków. **Ogólnie rzecz ujmując, liczba gatunków zależy od wielkości ekosystemu, a zależność taką opisuje jakaś funkcja matematyczna, zwykle podobna do przedstawionej na Ryc. 3.5 (ROSENZWEIG 1995), czyli wraz ze zwiększaniem się powierzchni ekosystemu liczba gatunków rośnie – najpierw szybko, potem coraz wolniej, aż w końcu nie obserwuje się przyrostu.** Dzieje się tak dlatego, gdyż pula gatunków żyjących w danym miejscu jest skończona i wobec tego zwiększanie powierzchni środowiska nic już nie daje. Na przykład w zadrzewieniu śródpolnym o powierzchni 0,1 ha jest pewna szansa na to, że stanowi ono stanowisko lęgowe dla kilku (1–3) gatunków ptaków. Następnie, jeśli powierzchnia wynosi 1 ha, to liczba gatunków może wynosić kilkanaście itd. Po przekroczeniu 20 ha liczba gatunków ptaków przyrasta wraz z powierzchnią już bardzo powoli, osiągając poziom 30–40 gatunków (tak dzieje się w naszej strefie geograficznej, gdyż im bliżej równika, tym w analogicznych środowiskach liczba ta jest większa).



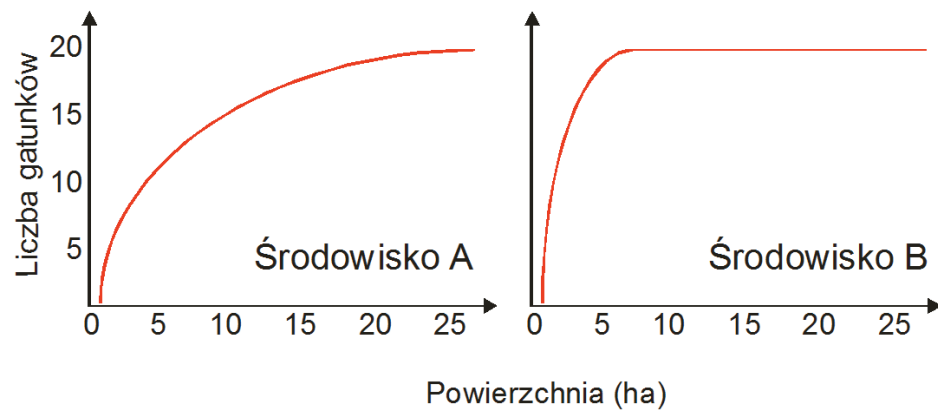
Ryc. 3.5. Ogólny model zależności liczby gatunków od powierzchni środowiska

Chociaż taki kształt „obowiązuje” dla wszystkich środowisk i taksonów, nasuwa się pytanie, jak zależność ta (czyli funkcja) różni się między:

- a) różnymi grupami organizmów (w danym typie środowiska) – czyli np. u ptaków i ssaków występujących w zadrzewieniach na siedliskach lęgowych, czyli jesionowo-olchowych,
- b) różnymi środowiskami (dla danej grupy organizmów) – czyli u ptaków między zadrzewieniami jesionowo-olchowymi a sosnowymi,
- c) różnymi krajobrazami (dla danego typu środowiska i danej grupy organizmów) – czyli np. u ptaków charakterystycznych dla zadrzewień śródpolnych, ale występujących w krajobrazie łąkowym i – dla porównania – w krajobrazie polnym.

Powyższe pytania są bardzo ważne dla zrozumienia kształtowania się różnorodności biologicznej w skali krajobrazu.

Zwróćmy uwagę, że krzywe ilustrujące zależność liczby gatunków od powierzchni środowiska pełniej charakteryzują różnorodność biologiczną niż tylko określenie (nawet bardzo dokładne) liczby gatunków w danym środowisku. Można to zilustrować za pomocą Ryc. 3.6.



Ryc. 3.6. Różne typy krzywych opisujących zależność między liczbą gatunków a powierzchnią ekosystemu

Z kształtu wykresu funkcji wynika, że w obu takich przykładowych środowiskach łączna liczba gatunków jest podobna, ale środowiska są inne. W jednym (A) tempo przyrostu liczby gatunków wraz z powierzchnią jest wolne, co oznacza, że poszczególne gatunki są mało liczne i rozproszone. Wówczas całkowitą liczbę gatunków tam występujących można zanotować dopiero na wycinku o wielkości 20–25 ha. Natomiast w drugim środowisku (B) – już na małej powierzchni (6–7 ha) liczba gatunków osiąga maksimum. Oznacza to, że gatunki są tu gęsto „upakowane”. Gdzie zatem jest większa różnorodność biologiczna? Nietrudno intuicyjnie określić, że w tym drugim środowisku. A zatem za pomocą takich krzywych można znacznie lepiej ocenić, jak kształtuje się różnorodność biologiczna danego krajobrazu w zależności od tego, jak duże fragmenty środowisk w nim występują.

Jak różnorodność biologiczna zależy od wzajemnego położenia elementów krajobrazu?

Z wielu badań wynika, że **nie tylko różnorodność i powierzchnia fragmentów siedlisk wchodzących w skład danego krajobrazu ma znaczenie dla liczby gatunków organizmów, ale także sposób rozmieszczenia fragmentów poszczególnych siedlisk w krajobrazie**. Ważne jest, jak daleko od siebie są one położone oraz to, czy są ze sobą połączone, a pytania te wiążą się z jedną z koncepcji rozumienia struktury krajobrazu, zwanej modelem „płat-korytarz-tło” (FORMAN 1995). Według tej koncepcji elementy te opisuje się w następujący sposób:

„**Tło**” to taki element (środowisko), który w rozważanym wycinku krajobrazu dominuje powierzchniowo, a także decyduje o funkcjonowaniu i zmienności krajobrazu. Na przykład w Polsce, w większości regionów tłem są tereny uprawne, a w nielicznych miejscach – lasy (duże kompleksy leśne, jak Bory Dolnośląskie, Puszcza Notecka, Puszcza Augustowska, Puszcza Białowieska itp.) lub łąki (dolin dużych rzek, takich jak Biebrza, Warta, Odra). Od tego, jakie „tło” w danym miejscu przeważa, zależy, czy krajobraz nazywamy leśnym czy rolniczym.

„**Płaty**” są elementami krajobrazu, których kształt jest nieliniowy, tj. owalny, wielokątny itp., a wielkość stosunkowo (tj. w porównaniu z powierzchnią „tła”) mała. Płaty wyróżnia się w krajobrazie na podstawie typu środowiska, a mogą się one od siebie różnić także wielkością i kształtem. Jeśli zatem wyobrazimy sobie kompleks leśny otoczony polami uprawnymi, a w nim polaną śródleśną oraz dwa fragmenty różniące się drzewostanem (np. w jednej części – iglasty, a w drugiej – liściasty), to wówczas tłem będą pola uprawne, a wyróżnione w tym krajobrazie płaty to: płat lasu liściastego, płat lasu iglastego oraz płat polany. **Udział powierzchniowy płatów jest mniejszy niż tła, ale często odgrywają one znaczną rolę w kształtowaniu krajobrazu, jeśli jest ich dostatecznie dużo.**

„**Korytarze**” to elementy krajobrazu przypominające linie. Są to na przykład drogi (wraz z pobocznymi), leśne drogi działowe, aleje i inne liniowe lub pasowe zadrzewienia śródpolne, miedze, kanały melioracyjne, ciekłki wraz z ich dolinami itp. **Przecinają one tło i, rozdzielając je na mniejsze fragmenty, biegną wśród płatów lub łączą je ze sobą. Należy w tym miejscu podkreślić, że użycie**

terminu „korytarz” ma sens tylko wtedy, gdy dany element liniowy rzeczywiście pełni funkcję szlaku przemieszczania się danej grupy organizmów. Rów z wodą dla gatunków wodnych może rzeczywiście pełnić rolę korytarza łączącego dwa zbiorniki wodne, ale dla słabo poruszających się gatunków lądowych (np. owadów lub mięczaków) ten sam rów jest barierą, a dla gatunków dobrze latających nie będzie ani barierą, ani korytarzem. Warto także dodać, że korytarze mogą być wyznaczane niekoniecznie przez zauważalne ludzkim okiem elementy krajobrazu, ale także przez cechy niezauważalne za pomocą ludzkich receptorów, jak np. ścieżki zapachowe ssaków. Rola korytarzy wynika także z różnic między ich strukturą a cechami tła. Im kontrast pomiędzy nimi jest większy, tym rola korytarzy może być istotniejsza. Na przykład ciąg drzew posadzonych na polu uprawnym ma większe znaczenie jako korytarz niż taki sam ciąg drzew posadzony w mozaice polno-leśnej. Jeśli tło jest dogodne dla danego gatunku, to wówczas rola elementów liniowych jako korytarzy dla tego gatunku spada.

Ze względu na bardzo małą szerokość korytarzy (najczęściej kilka lub kilkanaście metrów, choć np. w Parku Krajobrazowym im. D. Chłapowskiego w Turwi występują zadrzewienia pasowe o szerokości około 50 m) ich udział w powierzchni jest bardzo mały (zwykle zajmuje znacznie mniej niż 1% powierzchni). Jednak funkcje są bardzo różnorodne i ważne, zupełnie nieproporcjonalne do bardzo małego udziału powierzchniowego.

1. **Są siedliskiem wielu różnych grup organizmów**, gdyż stanowią (niezależnie od ich bardzo małej szerokości) środowisko o trwałej, często wielopiętrowej strukturze, silnie zróżnicowane pod względem składu gatunkowego roślin. Dzięki temu mogą być zasiedlane przez organizmy o zróżnicowanych wymaganiach. Na przykład w zadrzewieniach pasowych występują typowo leśne gatunki ptaków, ptaki brzegu lasu, preferujące roślinność zaroślową lub krzewy, a także ptaki dwuśrodowiskowe, wymagające najczęściej zadrzewienia jako miejsca budowy gniazda, a żerujące na przyległych polach. Tego typu liniowe struktury w wielu regionach są jedynym rodzajem środowisk nie użytkowanych rolniczo i jako takie decydują o bogactwie przyrodniczym danego wycinka krajobrazu. To miejsce występowania wielu gatunków roślin, porostów, motyli i zwierząt glebowych.

2. **Stanowią drogi przemieszczania się organizmów i materii**, gdyż tak jak korytarz w budynku łączy ze sobą jego różne części, tak korytarze ekologiczne łączą odległe i izolowane obecnością „tła” płaty różnych środowisk. I tak, zadrzewienie liniowe łączące dwie wyspy leśne stanowi korytarz dla organizmów leśnych, rów melioracyjny może być korytarzem łączącym dwa małe zbiorniki wodne, wykorzystywanym przez organizmy błotne, a przecinka leśna może odgrywać rolę korytarza dla organizmów łąkowych, łącząc ze sobą dwie polany śródleśne. Dlaczego jest to istotne? Lasy poszczególnych populacji odizolowanych od innych zależą bezpośrednio od zdolności uzupełniania jej przez osobniki z zewnątrz. W przypadku niektórych gatunków, np. leśnych, przebycie wielu setek metrów pola uprawnego może być bardzo trudne, zatem obecność korytarzy jest bardzo ważna dla rozprzestrzeniania się tego typu gatunków w krajobrazie i dzięki temu zasilania izolowanych populacji. Oprócz skutków bezpośrednich, bardzo istotny jest jeszcze aspekt genetyczny jej funkcjonowania. Przetrawanie lokalnej populacji zależne jest w odległej perspektywie (setek, tysięcy i więcej pokoleń) od możliwości adaptacji do lokalnych czynników. Adaptacja populacji następuje na drodze selekcji naturalnej, czyli większej skuteczności rozmnażania się organizmów mających lepszy (w odniesieniu do tych lokalnych warunków) zestaw genów. Selekcja naturalna ma szansę być skuteczną, jeśli w populacji jest zmienność genetyczna. Im większa zmienność, tym większa szansa, że część genotypów będzie dobrze dostosowana i wówczas osobniki z takim genotypem będą z pokolenia na pokolenie coraz częstsze, prowadząc do sukcesu populacji. Jednak jeśli populacja jest mocno i trwale izolowana od innych, to zmienność wewnątrzpopulacyjna stopniowo maleje i wówczas dobór naturalny może w ogóle nie mieć możliwości działania. Dlatego przybywanie z zewnątrz nowych osobników do populacji nie tylko krótkoterminowo zwiększa liczebność tej lokalnej populacji, ale jednocześnie długoterminowo stwarza możliwość zwiększenia wewnątrzpopulacyjnego zróżnicowania genetycznego. Właśnie dlatego obecność korytarzy uznawana jest za bardzo korzystną okoliczność ułatwiającą utrzymanie wysokiego poziomu różnorodności biologicznej. Można tu – w zależności od rozpatrywanej skali – wyróżnić korytarze o znaczeniu lokalnym (jak np. zadrzewienie pasowe łączące dwa kompleksy leśne), regionalnym (np. ciąg kompleksów leśnych umożliwiających migrację na odległość dziesiątek kilometrów),

krajowym (np. doliny wielkich rzek (Wisły, Odry, Warty, Noteci, Bugu) i międzynarodowym, jak np. łańcuchy górskie (Karpaty).

- 3. Mogą także – paradoksalnie – odgrywać rolę barier.** Wówczas rezultaty takiego oddziaływania na otoczenie są dwojakie. Negatywne wtedy, gdy utrudniają migracje i lokalne przemieszczanie się organizmów. Na przykład droga samochodowa (zwłaszcza dwupasmowa), rozcinająca kompleks leśny lub łąkowy na dwie części, może poważnie utrudniać niektórym gatunkom przemieszczanie się w obrębie całego lasu (czy łąki), prowadząc do powstania dwóch izolowanych populacji, a w rezultacie do zmniejszenia różnorodności genetycznej i zwiększenia prawdopodobieństwa wymarcia. Szczególnie wrażliwe na niekorzystne oddziaływanie barier są gatunki mało mobilne, ale nawet i dla ptaków niektóre budowle liniowe (np. rząd turbin wiatrowych) mogą stanowić czynnik negatywny, zmuszając ptaki do omijania ich lub przyczyniając się do podwyższenia śmiertelności (w wyniku kolizji). Jednak w wielu przypadkach rola korytarzy jako barier może być oceniona bardzo pozytywnie. Zadrzewienia pasowe, pasma łąk lub zarośli stanowią bowiem naturalny biogeochemiczny filtr, który efektywnie zmniejsza tempo rozprzestrzenienia się zanieczyszczeń obszarowych, czyli środków chemicznych używanych w rolnictwie. Zadrzewienia pasowe mogą np. do 90% zmniejszać zawartość azotanów w wodach, hamują rozprzestrzenianie się pestycydów itp., prowadząc do poprawienia jakości wody w kanałach i ciekach naturalnych. Ważną rolą zadrzewień pasowych jest też zmniejszanie prędkości wiatru, co jest korzystne, gdyż zmniejsza erozję wietrzną oraz tempo parowania wody, a także ogranicza mechaniczne uszkodzenia roślin.

W tym miejscu należy poświęcić nieco uwagi pojęciu „wyspy środowiskowej” (BANASZAK 2002). Jest to rozszerzenie pojęcia wysp w potocznym rozumieniu, czyli kawałka lądu otoczonego wodą. W przypadku wysp środowiskowych mówimy o wyróżniających się pod względem struktury fragmentach środowisk, otoczonych jakimś innym środowiskiem, niedogodnym dla organizmów, taką wyspę zasiedlających (analogicznie do wody otaczającej wyspy oceaniczne, morskie czy śródlądowe na jeziorach). Na przykład bardzo często małe fragmenty lasu otoczone polami uprawnymi traktuje się właśnie jak wyspy środowiskowe, ale także można łatwo wyobrazić sobie sytuację odwrotną, gdy mała polana śródleśna jest taką właśnie wyspą otoczoną „morzem lasów”. Okazało się, że takie rozszerzenie pojęcia wyspy jest bardzo przydatne w wyjaśnianiu dynamiki występowania różnych gatunków łąkowych.

Teoria wyjaśniająca, od czego zależy liczba gatunków na wyspach, dlaczego na danej wyspie występuje taki a nie inny zestaw gatunków, a także dlaczego jedne gatunki sprawnie kolonizują wyspy, a inne nie, nazywana jest teorią wysp (GŁOWACIŃSKI 2004). Okazało się także, że teoria wysp może być przydatna w podejmowaniu decyzji dotyczących ochrony przyrody. Najważniejszym pytaniem w tej teorii jest: dlaczego liczba gatunków na poszczególnych „wyspach” różni się? Okazuje się, że zasadniczą rolę odgrywają tu dwa czynniki: wielkość wysp oraz stopień izolacji wyspy, czyli odległość od innego fragmentu środowiska podobnego do rozważanej wyspy. Stopień izolacji wpływa na częstość kolonizacji (ponieważ im dalej, tym trudniej się tam dostać), a wielkość wyspy – na możliwość przeżycia (im większa, tym możliwości większe, gdyż populacja jest na ogół większa, a to samo przez siebie zmniejsza prawdopodobieństwo wymarcia). Dlatego na ogół na dużych wyspach bogactwo gatunkowe jest większe, a na małych – mniejsze. Należy także pamiętać, że ważną rolę odgrywa tu bogactwo gatunkowe środowiska „źródłowego”, z którego organizmy mogą emigrować i zasiedlać rozważaną wyspę. Tym samym – w małych sosnowych lasach na północy Europy będzie mniej gatunków niż w podobnej wielkości lasach w środkowej Europie, gdyż w tym drugim regionie pula gatunków jest większa. Istotnym czynnikiem zmniejszającym bogactwo gatunkowe na małych wyspach jest także wyższa wrażliwość na zdarzenia losowe. Na przykład przy ubogich sieciach troficznych wyginiecie jednego gatunku może pociągnąć za sobą zanikanie innych, od niego zależnych.

Podsumujmy: **liczba gatunków na wyspach zależy od ich zasobów (czyli powierzchni, topografii itp.), odległości od obszarów „źródłowych”, zasobności obszarów „źródłowych” w gatunki oraz od poziomu równowagi między częstością zasiedlania wyspy oraz częstością zanikania.**

Pojęciem istotnie związanym z wykorzystaniem teorii wysp jest również „opór krajobrazu” wobec migrujących organizmów. Jeśli w krajobrazie przeważa środowisko niekorzystne dla gatunku X, to wówczas mówimy o dużym oporze krajobrazu wobec tego gatunku. Na przykład dla nadrzewnych zwierząt nielatających brak drzew na polach uprawnych otaczających daną wyspę leśną jest skrajnie niekorzystną okolicznością. Dla takich gatunków opór krajobrazu jest bardzo duży. Niekiedy duży opór

krajobrazu może być korzystny (np. w obronie przed gatunkami inwazyjnymi* lub szkodliwymi), ale najczęściej – jest on silnie niekorzystny, gdyż ogranicza możliwości zasiedlania wysp środowiskowych przez przemieszczające się w krajobrazie osobniki. Dlatego struktura krajobrazu, a dokładniej „tła” może odgrywać istotną rolę w rozmieszczeniu gatunków w krajobrazie. Innymi słowy, jeśli by sobie wyobrazić dwa krajobrazy identyczne pod względem położenia, wielkości i jakości wysp leśnych, ale różniące się właśnie pod względem oporu krajobrazu, to wówczas rozmieszczenie gatunków, a także liczba gatunków na wyspach różniłyby się między tymi dwoma krajobrazami. Liczby te będą wyższe tam, gdzie opór krajobrazu jest mniejszy. W kształtowaniu oporu krajobrazu względem migrujących organizmów istotną rolę odgrywają opisane wyżej struktury liniowe, które dla części gatunków są korytarzami ekologicznymi (rola pozytywna), a dla innych –barierami (rola negatywna).

*Jak różnorodność biologiczna zależy od wzajemnego oddziaływania elementów krajobrazu? Znaczenie ekotonów**

Elementy krajobrazu, chociaż stanowią odrębne płyty, nie są od siebie odizolowane. O znaczeniu korytarzy pisaliśmy już wyżej, ale w tym miejscu podkreślimy także to, że – niezależnie od podobieństwa – sąsiadujące ze sobą elementy krajobrazu oddziałują na siebie wzajemnie, wpływając na cechy środowiska i tym samym na jego jakość w odniesieniu do wymogów środowiskowych poszczególnych gatunków. Najbardziej wyrazistym tego przykładem są ekotony. Ekoton to strefa styku dwóch ekosystemów, będąca jednocześnie strefą przejściową między nimi, gdzie elementy składowe (i cechy) obu ekosystemów przenikają się wzajemnie, tworząc odrębne, specyficzne środowisko (RICHLING, SOLON 2011). Ekotony sztuczne są zwykle mało skomplikowane, oceniane na podstawie roślinności mają małą szerokość i najczęściej przypominają linię (Ryc. 3.7, po prawej), stanowiącą po prostu granicę między obydwoma ekosystemami. Natomiast ekotony naturalne (Ryc. 3.7, po lewej), nie podlegające ingerencji człowieka i kształtujące się spontanicznie przez wiele lat są szersze, granica rozdzielająca oba ekosystemy jest trudna do określenia, a ponadto wykazują zróżnicowanie struktury na swojej długości.



Ryc. 3.7. Typy ekotonów: naturalne – brak ostrych granic (na zdjęciu z lewej) i sztuczne – obecność ostrych granic (na zdjęciu z prawej, między zadrzewieniem po lewej stronie a polem uprawnym z młodymi roślinami) (fot. K. Kujawa)

Nie można jednak powiedzieć, jak szeroki jest ekoton, gdyż zależy to od poszczególnych gatunków. Na przykład ważna jest tu wielkość zwierzęcia oraz jego ruchliwość. Ekoton dla ptaków jest szerszy niż np. dla chrząszczy. Zatem ekoton nie może być traktowany jako element krajobrazu o wyznaczonych granicach, gdyż nie wiadomo, któredy takie granice przebiegają. Ekoton to raczej zespół właściwości charakteryzujących granicę styku dwóch różnych ekosystemów. Należy ją rozpatrywać w odniesieniu do konkretnego gatunku lub – w najlepszym przypadku – grupy gatunków o podobnych cechach biologicznych.

Niezależnie od tego, czy mamy do czynienia z ekotonami naturalnymi czy sztucznymi, charakteryzują się one zwykle dużym bogactwem gatunkowym, gdyż występują w nich gatunki zasiedlające oba ekosystemy tworzące dany ekoton oraz dodatkowo takie, które są charakterystyczne dla granicy między ekosystemami.

Wydawać by się mogło, że, biorąc pod uwagę powyższe obserwacje na temat liczby gatunków, krajobraz z dużym zagęszczeniem ekotonów, czyli np. silnie rozdrobnionymi lasami, jest korzystny z punktu widzenia utrzymania wysokiego poziomu różnorodności biologicznej. Jednak nie jest to tak jednoznaczne, gdyż duża część gatunków ekotonowych to gatunki plastyczne, bardzo liczne i często

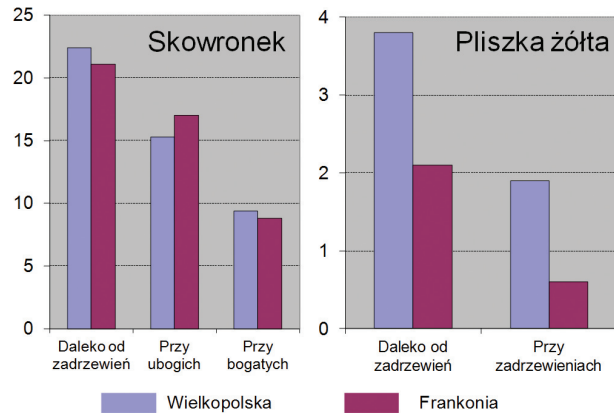
występujące wszędzie. Ogólnie – w obecnych czasach – krajobraz z rozdrobnionymi środowiskami jest bogaty w strefy ekotonowe i jako taki stwarza dogodne warunki życia dla gatunków tolerujących lub preferujących tego typu środowisko. W związku z tym taki krajobraz jest sprzyjającym miejscem życia dla wielu gatunków, ale większość z nich jest wszędobylska. Dlatego uważa się często, że silne rozdrabnianie lasów (czyli omówiona już wyżej fragmentacja) przyczynia się do tzw. homogenizacji przyrody, czyli upodobniania się do siebie zgrupowań organizmów w różnych regionach, w których kiedyś znacznie się różniły dzięki obecności dużych, specyficznych kompleksów leśnych. Zatem o przyrodniczej specyfice danego terenu decydują duże, zwarte, nierozdrobnione ekosystemy, a nie ekotony.

Warto także zaznaczyć, że długie wąskie elementy krajobrazu, takie jak zadrzewienia liniowe, pasowe, pasy krzewów, miedze itp., można w całości traktować jako strefy ekotonowe. Zadrzewienie liniowe na przykład to ekoton polno-leśny bez... lasu.

Przykłady wyników badań nad znaczeniem ekotonu dla rozmieszczenia i liczebności organizmów przedstawiono na ryc. 3.8 i 3.9.



Ryc. 3.8. Przykład pozytywny: w ekotonie pole-zadrzewienie występuje dużo owadów (zimą, ale latem też). (fot. K. Kujawa). Opracowano na podstawie: KARG I KUJAWA (2006)



Ryc. 3.9. Przykład negatywny: w ekotonie pole-zadrzewienie przy zadrzewieniach występuje mała liczebność ptaków. Opracowano na podstawie: KUJAWA (1999)

Fragmentacja siedlisk

Jest to kolejne z podstawowych zagadnień w ekologii krajobrazu, skupiających od wielu lat uwagę badaczy, a także organizacji działających na rzecz ochrony przyrody. Proces fragmentacji siedlisk (a tym samym – krajobrazu) może stanowić także swoiste podsumowanie wyżej wymienionych zagadnień, gdyż opisuje się go za pomocą każdego z pojęć i procesów już opisanych w niniejszym opracowaniu. Fragmentację siedlisk nazywamy też fragmentacją środowisk lub ekosystemów.

Fragmentacja obejmuje następujące ilościowe zmiany w strukturze krajobrazu:

- zmniejszenie całkowitej powierzchni środowiska,
 - zwiększanie się liczby fragmentów środowiska danego typu w wyniku rozdzielania dużych fragmentów na mniejsze,
 - zmniejszanie się średniej wielkości fragmentu środowiska danego typu.
- Oprócz tego często obserwuje się także:
- zmniejszenie stosunku powierzchni wnętrza środowiska do powierzchni jego strefy brzeżnej,
 - zwiększanie się odległości pomiędzy fragmentami środowiska danego typu.

Skutki przyrodnicze zjawiska fragmentacji zależą od stopnia jej intensywności. **Najbardziej konsekwencje fragmentacji odczuwają gatunki organizmów, które wymagają dużych jednolitych płatów środowiska.** Na przykład terytorium rysia (samców) wynosi aż około 200 km², i to wyłącznie terenów leśnych. Na ogół skutki postępującej fragmentacji można opisać następująco: w przypadku, gdy wielki fragment jednolitego krajobrazu leśnego będzie ulegał nieznacznej fragmentacji, np. w wyniku powstania kilku niewielkich polan śródleśnych, to wówczas bogactwo przyrodnicze wzrośnie, gdyż polany będą zasiedlone przez gatunki polne lub łąkowe. Wraz z postępującą fragmentacją bogactwo gatunkowe będzie wzrastało aż do pewnego progu, po przekroczeniu którego rozpocznie się zanikanie gatunków, które wymagają dużych jednolitych środowisk (jak np. wspomniany ryś lub wilk). W przypadku, gdy fragmentacja osiągnie stan „zaawansowany”, czyli np. z niegdyśiejszych lasów pozostanie 20%, dodatkowo podzielonych na małe fragmenty, to wówczas krajobraz taki będzie zasiedlony już tylko przez niewielką liczbę tzw. gatunków „plastycznych*” (eurytopowych*), mających niewielkie wymagania środowiskowe, na ogół pospolitych i wszędobylskich (przykładem takich gatunków ptaków jest np. zięba i trznadel), natomiast gatunki wysoce wyspecjalizowane (często nazywamy je „konserwatywnymi*” lub stenotopowymi*) zanikną. Scharakteryzowany wyżej przebieg zmian w liczbie i składzie gatunkowym związany z postępującą fragmentacją wiąże się z tym, że gatunki można podzielić pod względem preferencji siedliskowych na trzy grupy:

- gatunki „wnętrza ekosystemu” dodatkowo różniące się wymaganiami co do tzw. areалу minimalnego – zanikają często gwałtownie przy zmniejszaniu się powierzchni płatu, gdy zostanie przekroczona pewna wartość progowa;
- gatunki „strefy brzeżnej ekosystemu” które słabo reagują na zmiany wielkości płatu – ale mogą zniknąć w wyniku konkurencji z gatunkami grupy trzeciej,
- gatunki wkraczające z otoczenia – których liczba wyraźnie wzrasta wraz ze spadkiem wielkości płatu lub wzrostem stosunku obwodu do powierzchni.

Należy także dodać, że małe fragmenty środowisk są bardziej narażone na wpływy z zewnątrz niż duże, mające znaczny udział powierzchniowy tzw. wnętrza, stanowiącego o jego swoistości i autonomii względem otaczającego środowiska. Kolejną niekorzystną dla wielu gatunków, zwłaszcza mniej mobilnych, konsekwencją fragmentacji jest zwiększona izolacja siedlisk. W wyniku tego utrudnione jest przemieszczanie się osobników, co wpływa bezpośrednio na zwiększenie się prawdopodobieństwa zanikania gatunku w poszczególnych fragmentach środowiska. Ponadto fragmentacja przyczynia się także do zmniejszania różnorodności genetycznej (mniejsza częstotliwość wymiany genów pomiędzy grupami tego samego gatunku zasiedlającego poszczególne, izolowane fragmenty), co jest niekorzystne ze względu na gorsze możliwości adaptacji na drodze selekcji naturalnej podczas reakcji na negatywne czynniki środowiskowe.

Na zakończenie należy podkreślić, że na ocenę znaczenia procesu fragmentacji duży wpływ ma fakt, że opisywano go przede wszystkim w odniesieniu do lasów. W przypadku tego środowiska rozległa i szybka fragmentacja niewątpliwie negatywnie oddziałuje na różnorodność biologiczną (co opisano już wyżej), ale automatyczne przenoszenie takiej oceny do innych środowisk jest błędem. Na przykład krajobraz rolniczy jednolity, o uproszczonej liczbie upraw i typów środowisk (a zatem nie pofragmentowany, monotony) z pewnością będzie się charakteryzował mniejszą różnorodnością biologiczną niż rolniczy krajobraz podzielony na małe i średnie pola różnorodnych upraw, z obecnymi między nimi resztkami lasów. W tym przypadku zatem fragmentacja siedlisk (czyli pól uprawnych) jest procesem zdecydowanie korzystnym. Niestety, z powodów ekonomicznych (gospodarowanie na dużych polach jest bardziej opłacalne) mamy w Europie (w tym także w niewielkim na razie stopniu w Polsce) proces odwrotny, tj. scalania gruntów ornych, kosztnej miedzy, zadrzewień, mokradeł itp., a tym samym ze spadkiem poziomu różnorodności biologicznej.

Literatura

- BALDI A. (2003): Using higher taxa as surrogates of species richness: a study based on 3700 Coleoptera, Diptera, and Acari species in Central-Hungarian reserves. *Basic and Applied Ecology* 4 (6): 589–593.
- BANASZAK J. red. (2002): Wyspy środowiskowe. Bioróżnorodność i próby typologii. Ss. 302. Wydawnictwo Akademii Bydgoskiej, Bydgoszcz.
- BUTCHART I. in. (2010): Global biodiversity: indicators of recent declines. *Science* 328 (5982): 1164–1168.
- FORMAN T. (1995): Land mosaics: the ecology of landscapes and regions. Ss. 656. Cambridge Univ. Press, Cambridge.
- GŁOWACIŃSKI Z. (2004): Teoria biogeografii wysp, jej założenia i zastosowania w ochronie przyrody. *Roczniki Bieszczadzkie* 12: 199–212.
- KREBS C.J. (2011): Ekologia: Eksperymentalna analiza rozmieszczenia i liczebności. Ss. 680. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa.
- KARG J., KUJAWA K. (2005): The importance of young shelterbelts for biodiversity in an agricultural landscape. *Annual Report 2005*: 74–76.
- KUJAWA K. (1998): Różnorodność awifauny lęgowej w krajobrazie rolniczym: porównanie między Wielkopolską a Bawarią. *Biul. Parków Krajob. Wielkop.* 5: 91–103.
- KUJAWA K. (1999): Wpływ przebiegu transektu na wyznaczanie zagęszczeń ptaków lęgowych na polach uprawnych. *Not. orn.* 40 (1–2): 81–87.
- KUJAWA K. (2006): Wpływ struktury zadrzewień oraz struktury krajobrazu rolniczego na zgrupowania ptaków lęgowych w zadrzewieniach. *Rozprawy Naukowe. Akademia Rolnicza im. Augusta Cieszkowskiego w Poznaniu* 381: 1–150.
- MAZUR S. (2001): Wpływ zróżnicowania gatunkowego i szerokości ekotonu polno-leśnego na zgrupowania mrówek epigeicznych. *Sywan* 145 (4): 33–41.
- MIREK Z., ZARZYCKI K., WOJEWODA W., SZEŁĄG Z. (2006): Czerwona lista roślin i grzybów Polski. Ss. 99. Instytut Botaniki PAN im. W. Szafera, Kraków.
- PIETRZAK M. (2010): Podstawy i zastosowania ekologii krajobrazu. Ss. 161. PWSZ, Leszno.
- RICHLING A., SOLON J. (2011): Ekologia krajobrazu. Ss. 464. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa.
- ROSENZWEIG M.L. (1995): Species diversity in space and time. Ss. 436. Cambridge Univ. Press, Cambridge.
- SŁAWSKI M. (2008): Wewnętrzna fragmentacja lasu i jej skutki przyrodnicze. *Studia i Materiały Centrum Edukacji Przyrodniczo-Leśnej* 10 (3): 55–60.
- TRYJANOWSKI P., KUŹNIAK S., KUJAWA K., JERZAK L. (2009): Ekologia ptaków krajobrazu rolniczego. Ss. 390. Bogucki Wydawnictwo Naukowe, Poznań.
- WILSON E.O. red. (1988): Biodiversity. Ss. 528. The National Academies Press, Washington.

PROJEKT: KRAJOBRAZ JAKO BOCIANIA „STOŁÓWKA”. CZY STRUKTURA KRAJOBRAZU WPŁYWA NA EFEKTYWNOŚĆ ŻEROWANIA I ZDOBYWANIA POKARMU PRZEZ MŁODYCH U BOCIANA BIAŁEGO?

CELE REALIZACJI PROJEKTU

- przyswojenie podstawowych informacji o zjawisku fragmentacji ekosystemów i heterogeniczności krajobrazu i ich konsekwencji dla danego gatunku na przykładzie bociana białego (*Ciconia ciconia*),
- zaznajomienie z biologią i ekologią rozrodu* bociana białego,
- kształcenie umiejętności korzystania z publicznych, dostępnych w Internecie zasobów ortofotomap (zwłaszcza Geoportal, ewentualnie GoogleMaps),
- kształcenie umiejętności wykorzystywania arkusza kalkulacyjnego MS Excel do analizy danych i prezentacji wyników,
- rozwijanie rozumienia istoty i etapów prowadzenia badań naukowych.

OPIS ZAGADNIENIA DO REALIZACJI NA LEKCJI I W PROJEKCIE

Efektywność rozrodu jest jednym z dwóch (obok śmiertelności) najważniejszych czynników wpływających na zmiany liczebności populacji danego gatunku. U ptaków największa śmiertelność dotyczy etapu karmienia młodych, gdyż zapotrzebowanie na pokarm szybko rosnącej grupy piskląt jest tak duże, że zwykle tylko część młodych przeżywa do wieku, w którym możliwy jest samodzielny wylot z gniazda. Bocian biały znosi zwykle 4–5 jaj, ale w danej populacji średnia liczba młodych, która opuszcza gniazdo to 2–3 osobniki, niekiedy nieco powyżej trzech. Przyczyną tego jest niewystarczająca ilość pokarmu w pobliżu gniazda, w wyniku czego część młodych głoduje i w rezultacie zdycha lub jest instynktownie wyrzucana z gniazda przez rodziców, by brakujący pokarm dzielić już tylko między pisklęta, które są silniejsze i „dobrze rokuja”. Bocian biały odżywia się bardzo różnorodnym pokarmem zwierzęcym (owadami, dżdżownicami, mięczakami, płazami, gadami, niewielkimi ssakami, a niekiedy nawet małym ptakami), ale na terenach rolniczych z intensywną gospodarką rolną i tak często pokarmu brakuje. To dlatego bocian w wielu krajach zanikł lub jego liczebność jest bardzo niska (zwłaszcza na zachodzie i północy Europy). Na podstawie wielu badań uważa się, że korzystna dla bociana białego jest obecność łąk lub mozaiki róż-

nych środowisk w pobliżu gniazda, gdyż daje możliwość wyboru miejsca do żerowania, w przeciwieństwie do jednolitych, wielkich pól upraw określonej odmiany roślin uprawnych. Temat ten dotyczy zatem także jednego z podstawowych w ekologii krajobrazu zagadnień, a mianowicie fragmentacji środowisk oraz związanej z nią cechy krajobrazu, czyli hetero- lub homogeniczności krajobrazu.

Zajęcia ujęte w niniejszym zagadnieniu umożliwią uczniom w dużym stopniu samodzielne poznanie pozytywnego znaczenia heterogeniczności terenów rolniczych na przykładzie wybranych aspektów biologii rozrodu bociana białego.

MATERIAŁY GRAFICZNE DO REALIZACJI NA LEKCJI I W PROJEKCIE

Tabele

- przykładowe wyniki badań nad pokarmem bociana białego, (np. TRYJANOWSKI i in. 2006, s. 175–177).

Ryciny

- dowolne przykłady ortofotomap terenów rolniczych (www.geoportal.gov.pl)
- wykresy przedstawiające zmiany w czasie wybranych parametrów demograficznych bociana białego:
 - zmiany demograficzne w latach 1973–2005 w Wielkopolsce (TRYJANOWSKI i in. 2006, s. 27, 38);
- wykresy zależności zagęszczenie i sukcesu lęgowego bociana białego od wybranych cech struktury krajobrazu rolniczego:
 - zależność zagęszczenie populacji od udziału łąk w krajobrazie (TRYJANOWSKI i in. 2006, s. 59);
 - wykresy przedstawiające wybiórczość pokarmową:
 - preferencje pokarmowe w warunkach sztucznych (TRYJANOWSKI i in. 2006, s. 189–190).

MATERIAŁY POMOCNICZE DO REALIZACJI TEMATU NA LEKCJI I W PROJEKCIE

Strony internetowe

- <http://www.bociany.pl>
<http://www.bocianyonline.pl/kamery.html>
<http://www.baza.bociany.pl>
https://pl.wikipedia.org/wiki/Bocian_biały#Bibliografia
<http://bocianopedia.pl/bociany-i-bocki>
<http://ecopress.pl/art/wymieraja-ptaki-krajobrazu-rolniczego-1420>

Literatura

- JAKUBIEC Z., SZYMOŃSKI P. (2000): Bociany i bocki. Ss. 143. PTPP „pro Natura”, Wrocław.
- TRYJANOWSKI P., KUŹNIAK S., KUJAWA K., JERZAK L. (2009): Ekologia ptaków krajobrazu rolniczego. Ss. 390. Bogucki Wydawnictwo Naukowe, Poznań.
- TRYJANOWSKI P., SPARKS T. H., JERZAK L. (2006): The White Stork in Poland: studies in biology, ecology and conservation. Ss. 492. Bogucki Wydawnictwo Naukowe, Poznań.

OPIS PROJEKTU

Wprowadzenie

Wpływ struktury przestrzennej krajobrazu (rozmieszczenia i wielkości poszczególnych elementów) na występowanie zwierząt jest jednym z częstszych zagadnień badawczych w ekologii krajobrazu. Rozmieszczenie oraz liczebność zwierząt i gatunków innych organizmów zależy od tego, jak struktura krajobrazu oddziałuje na dany gatunek. Podczas realizacji niniejszego projektu uczniowie mogą się przyjrzeć, jak struktura krajobrazu wpływa na przebieg rozrodu ptaków, na przykładzie bociana białego.

Problem badawczy

Jak struktura terenów uprawnych wpływa na efektywność karmienia młodych u bociana białego?

Wyznacznikiem efektywności żerowania będzie częstotliwość wizyt z pokarmem w gnieździe oraz ocena typu zdobyczy. Badania będzie można prowadzić w różnych wariantach różniących się wg następujących kryteriów:

- a. źródło danych: w wersji „łatwiejszej” – Internet (gniazda z kamerami internetowymi), w „trudniejszej” – obserwacje terenowe,
- b. długość i częstotliwość prowadzenia obserwacji: na przykład w wersji łatwiejszej po około trzy godziny w środku dnia, w czerwcu, codziennie lub co drugi dzień przy dobrej pogodzie, w wersji trudniejszej – ciągły monitoring gniazd od wyklucia do wylotu, od maja do lipca, po dwie godziny rano (przed szkołą) i cztery godziny po południu (po szkole). Częstotliwość wizyt można zmienić w zależności od uwarunkowań praktycznych; na przykład można obserwacje prowadzić tylko w weekendy, ale za to dłużej w ciągu dnia,
- c. liczba gniazd – w wersji łatwiejszej po dwa w obu rodzajach terenów (w krajobrazie jednolitym i mozaikowym), w wersji trudniejszej po 4–5 lub więcej (tu bardzo istotna może być odległość do gniazd itp.).

Przykładowe wyniki wcześniejszych badań z tego zakresu

W książce TRYJANOWSKIEGO i in. (2006) podano (s. 310), że liczba karmień wynosi do 16 na dzień, cytując kilka prac źródłowych, gdzie można znaleźć bardziej szczegółowe informacje na ten temat.

Wariant podstawowy

Zastosowane metody badawcze

1. Istota projektu badawczego: zbadanie efektywności żerowania i karmienia młodych bocianów w zależności od struktury terenów rolniczych.
2. Wybór gniazd do obserwacji
 - a. Najważniejszy będzie dobór odpowiednich gniazd. Należy obserwować gniazda znajdujące się przy łąkach oraz w monotonnym terenie rolniczym (z silną dominacją pól uprawnych o dużej powierzchni).
 - b. Jeśli obserwacje mają być prowadzone za pomocą kamer internetowych umieszczonych w gniazdach, wówczas trzeba wybrać takie z dobrą jakością obrazu, z wystarczającą częstotliwością odświeżania oraz dobrą widocznością, co umożliwi odróżnienie wizyt z pokarmem od innych. Po drugie na podstawie ortofotomap w Geoportalu należy dobrać gniazda położone w krajobrazach o różnej strukturze (zob. wyżej). Po trzecie wybrać dwukrotnie więcej gniazd niż planowana liczba, gdyż w części z nich w ogóle może nie być młodych.
 - c. Jeśli obserwacje mają być prowadzone w terenie (gdy w pobliżu miejsca zamieszkania lub pobytu uczniów lub szkoły znajdują się gniazda bociana białego), np. na zmianę przez wszystkich uczniów, wówczas trzeba także zadbać o spełnienie warunków wymienionych wyżej (odpowiednia widoczność, różniąca się struktura krajobrazu wokół gniazd, zapas gniazd).
3. Prowadzenie obserwacji
 - a. Obserwacje powinny być prowadzone w tych samych dniach i o tych samych godzinach we wszystkich wybranych gniazdach.
 - b. Należy prowadzić je w okresach trzygodzinnych (bez przerwy) mniej więcej w środku dnia (np. po szkole), w czerwcu, najlepiej codziennie (pomijając okresy burz i ulewnych deszczów).
 - c. Podczas prowadzenia obserwacji notujemy godziny przylotu do gniazda oraz – w razie możliwości – typy ofiar (ssak, gad, owad, itp.) i kierunek przylotu.
4. Analiza danych
 - a. Wyniki obserwacji należy wprowadzić do odpowiednio skonstruowanej tabeli lub tabel.
 - b. Gniazda mogą być porównane na podstawie następujących zmiennych: liczba przylotów na godzinę, liczba przylotów na godzinę w przeliczeniu na jedno pisklę, udział procentowy poszczególnych rodzajów pokarmu.

- c. Zebrane dane powinny pokazać, gdzie (w jakim typie krajobrazu) łatwiej znaleźć pokarm oraz czy skład ofiar różni się w zależności od struktury krajobrazu wokół gniazda.
 - d. Powierzchnie badawcze zostaną ilościowo scharakteryzowane za pomocą narzędzi dostępnych w Geoportalu.
5. Wymagany sprzęt i wyposażenie: lornetka, aparat fotograficzny.
 6. Najlepszy okres do wykonywania badań: okres przed wylotem młodych z gniazda, czyli czerwiec.
 7. Czas potrzebny do wykonania badań: około miesiąca obserwacji codziennych (w czerwcu – zob. wyżej) lub co dwa dni po trzy godziny (zawsze jednakowo we wszystkich gniazdach), czyli od 45 do 90 godzin na jedno gniazdo.

Zastosowana technologia informacyjna

- a. Internet:
 - wykorzystanie kamer internetowych przy gniazdach <http://www.bocianyonline.pl/kamery.html>,
 - wyszukiwanie gniazd w bazie danych o gniazdach: <http://www.baza.bociany.pl/>;
- b. Geoportal:
 - lokalizowanie gniazd,
 - analiza struktury krajobrazu wokół gniazd;
- c. Arkusz kalkulacyjny MS Excel:
 - tworzenie tabel z danymi,
 - analiza danych,
 - prezentacja wyników w formie wykresów i tabel.

Najważniejsze osiągnięcia – kompetencje ucznia

1. Wiedza: poznanie zmienności krajobrazu w zakresie homo- i heterogeniczności oraz technik pomiaru takiej cechy, zrozumienie znaczenia struktury krajobrazu dla rozrodu zasiedlających go ptaków poprzez poznanie biologii, ekologii oraz etologii rozrodu bociana białego, a także zakresu stosowania i znaczenia Geoportalu oraz podstaw, kilku elementarnych technik statystycznej analizy danych.
2. Umiejętności: interpretacja ortofotomap, wykorzystanie technik i narzędzi do pomiaru struktury krajobrazu, opartych na pomiarach długości i powierzchni środowisk, wykorzystywanie arkusza kalkulacyjnego MS Excel do analizy statystycznej (obliczanie średniej arytmetycznej, mediany, odchylenia standardowego, wyznaczanie zależności oraz sporządzanie ich wykresów), ćwiczenia w prowadzeniu badań naukowych: formułowania tematu badawczego, stawiania hipotez, weryfikowania prawdziwości hipotez.
3. Postawa: pogłębienie zrozumienia konsekwencji rozwoju wysokowydajnego, uprzemysłowionego rolnictwa dla przyrody, kształtowanie postawy zrozumienia potrzeby stosowania matematyki jako narzędzia wymiennie opisującego środowisko, kształtowanie postawy rozumienia potrzeby stosowania narzędzi statystycznych jako jedynych umożliwiających precyzyjne porozumiewanie się ludzi na temat złożonych zależności, obiektów itp. („liczby lepsze niż słowa”).

Wariant rozszerzony

Zastosowane metody badawcze

Istota projektu badawczego: zbadanie efektywności żerowania i karmienia młodych bocianów w zależności od struktury terenów rolniczych.

1. Wybór gniazd do obserwacji

Najważniejszy jest dobór odpowiednich gniazd. Gniazda powinny znajdować się w trzech rodzajach krajobrazu: (a) przy łąkach, (b) w mozaikowym terenie rolniczym oraz (c) w monotonnym terenie rolniczym z silną dominacją pól uprawnych o dużej powierzchni. Jeśli obserwacje będą mogły być prowadzone w terenie (czyli gdy w pobliżu miejsca zamieszkania lub pobytu uczniów albo szkoły znajdują się gniazda bociana białego), wówczas trzeba

także zwrócić uwagę, by była tam odpowiednia widoczność, różna struktura krajobrazu wokół gniazda oraz zapas gniazd.

Jeśli obserwacje będą musiały być prowadzone za pomocą Internetu, tam gdzie są kamery on-line, wówczas trzeba wybrać gniazda z wysoką jakością obrazu, z wystarczającą częstotliwością odświeżania oraz dobrą widocznością, co umożliwi odróżnienie wizyt z pokarmem od innych. Po drugie, na podstawie ortofotomap w Geoportalu trzeba dobrać takie gniazda, które różnią się pod względem struktury krajobrazu wokół (zob. wyżej). Po trzecie, należy wybrać dwukrotnie więcej gniazd niż planowana liczba, gdyż w części w ogóle może nie być młodych.

2. Prowadzenie obserwacji
 - a. Obserwacje powinny być prowadzone w tych samych dniach i o tych samych godzinach we wszystkich wybranych gniazdach.
 - b. Należy prowadzić je w okresach trzygodzinnych (bez przerwy) mniej więcej w środku dnia (np. po szkole), w czerwcu, najlepiej codziennie (pomijając okresy burz i ulewnych deszczów).
 - c. Podczas prowadzenia obserwacji trzeba notować godziny przylotu do gniazda oraz – w razie możliwości – typy ofiar (ssak, gad, owad, itp.), a także kierunek przylotu.

Analiza danych

1. Wyniki obserwacji należy wprowadzić do odpowiednio skonstruowanej tabeli lub tabel.
2. Gniazda mogą być porównane na podstawie następujących zmiennych: liczba przylotów na godzinę, liczba przylotów na godzinę w przeliczeniu na jedno pisklę, udział procentowy poszczególnych rodzajów pokarmu.
3. Zebrane dane powinny pokazać, gdzie (w jakim typie krajobrazu) łatwiej znaleźć pokarm oraz czy skład ofiar różni się w zależności od struktury krajobrazu wokół gniazda, a także jak zmienia się rodzaj pokarmu i częstość karmienia wraz ze wzrostem młodych.
4. Powierzchnie badawcze zostaną ilościowo scharakteryzowane za pomocą narzędzi dostępnych w Geoportalu.
5. Wymagany sprzęt i wyposażenie: lornetka, aparat fotograficzny.
6. Okres odpowiedni do wykonywania badań: od maja do lipca, czyli od wyklucia się młodych do wylotu z gniazda.
7. Czas potrzebny do wykonania badań: około trzech miesięcy obserwacji co drugi dzień po sześć godzin w dwóch porach dnia (zawsze jednakowo we wszystkich gniazdach), czyli 270 godzin na jedno gniazdo.

Zastosowana technologia informacyjna

- a. Internet
 - wykorzystanie kamer internetowych przy gniazdach <http://www.bocianyonline.pl/kamery.html>,
 - wyszukiwanie gniazd w bazie danych o gniazdach: <http://www.baza.bociany.pl/>
- b. Geoportal
 - lokalizowanie gniazd
 - analiza struktury krajobrazu wokół gniazd
- c. Arkusz kalkulacyjny MS Excel
 - tworzenie tabel z danymi
 - analiza danych
 - prezentacja wyników w formie wykresów i tabel

Najważniejsze osiągnięcia – kompetencje ucznia

1. Wiedza: poznanie zmienności krajobrazu w zakresie homo- i heterogeniczności oraz technik pomiaru takiej cechy, zrozumienie znaczenia struktury krajobrazu dla rozrodu zasiedlających go ptaków poprzez poznanie biologii, ekologii oraz etologii rozrodu bociana białego, a także zakresu stosowania i znaczenia Geoportalu oraz podstaw kilku elementarnych technik statystycznej analizy danych.

2. Umiejętności: interpretacja ortofotomap, wykorzystanie technik i narzędzi do pomiaru struktury krajobrazu, opartych na pomiarach długości i powierzchni środowisk, wykorzystywanie arkusza kalkulacyjnego MS Excel do analizy statystycznej (obliczanie średniej arytmetycznej, mediany, odchylenia standardowego, wyznaczanie zależności oraz sporządzanie ich wykresów), ćwiczenia w prowadzeniu badań naukowych: formułowania tematu badawczego, stawiania hipotez, weryfikowania ich prawdziwości.
3. Postawa: pogłębienie zrozumienia konsekwencji rozwoju wysokowydajnego, uprzemysłowionego rolnictwa dla przyrody, kształtowanie postawy zrozumienia potrzeby stosowania matematyki jako narzędzia wymiennie opisującego środowisko, kształtowanie postawy zrozumienia potrzeby stosowania narzędzi statystycznych jako jedynych umożliwiających precyzyjne porozumiewanie się ludzi na temat złożonych zależności, obiektów itp. („liczby lepsze niż słowa”).

PROJEKT: CZY ISTNIEJE ZALEŻNOŚĆ MIĘDZY TYPEM KRAJOBRAZU ROLNICZEGO A LICZBĄ I RÓŻNORODNOŚCIĄ OFIAR W SIECIACH PAJĘCZYCH?

Celem badań jest określenie zależności między typem krajobrazu rolniczego (urozmaicony – ujednolicony) a liczbą i różnorodnością ofiar w sieciach pajęczych. Pająki budują różnorodne rodzaje sieci łownych, które różnią się także pod względem składu łowionych ofiar. Uczniowie w zespołach 5–8- osobowych obserwują i liczą ofiary (także ich szczątki) we wszystkich zaobserwowanych sieciach z uwzględnieniem rodzaju budowy sieci (zob. niżej) na polu z danym gatunkiem uprawianej rośliny, ale w dwóch typach krajobrazu: urozmaiconym i ujednoliconym (w różnych odległościach od brzegu pola: 0 m, 10 m i 20 m). Następnie identyfikują zebrane owady do poziomu rzędu i opracowują wyniki komputerowo.

CELE REALIZACJI PROJEKTU

- analiza zależności między typem krajobrazu rolniczego (tj. urozmaiconym i ujednoliconym) a liczbą i różnorodnością ofiar w sieciach pajęczych,
- nabycie umiejętności rozpoznawania typów budowy sieci, a tym samym rodziny pająków – konstruktorów danej sieci,
- określenie zależności pomiędzy typem budowy sieci a różnorodnością ofiar pająków,
- zrozumienie znaczenia obecności zadrzewień i innych środowisk półnaturalnych w krajobrazie dla prawidłowego funkcjonowania ekosystemów pól uprawnych.

OPIS ZAGADNIENIA PRZEZNACZONEGO DO REALIZACJI NA LEKCJI I W PROJEKCIE

W krajobrazie urozmaiconym zadrzewieniami obserwuje się na ogół większą różnorodność rodzin i gatunków pająków niż w krajobrazie uproszczonym, w tym na polach uprawnych. Duża różnorodność oznacza w tym przypadku szerokie spektrum łowionych ofiar. Poszczególne rodziny pająków budują różne rodzaje sieci łownych. Na polach uprawnych i w zadrzewieniach spotyka się zwykle cztery rodzaje konstrukcyjne sieci. Różnią się one pod względem składu łowionych ofiar. Jest to związane z wysokością umocowania danej sieci (odległością od podłoża) oraz sposobami poruszania się owadów na danych wysokościach. Wraz ze wzrostem odległości od zadrzewienia zmniejsza się różnorodność taksonomiczna pająków oraz rodzajów sieci. Prawidłowość ta może nie występować w krajobrazie pozbawionym zadrzewień. Celem projektu jest wykrycie, czy typ krajobrazu wpływa na różnorodność rodzajów sieci pajęczych oraz na liczebność i różnorodność owadów, które w nie wpadają.

MATERIAŁY GRAFICZNE DO REALIZACJI NA LEKCJI I W PROJEKCIE**Tabele**Tab. 3.1. Względna częstość (%) ofiar łowionych przez pająka lejkowca z gatunku *Agelena limbata*

Typy ofiar	Krajobraz lesisty	Krajobraz otwarty
muchówki	73,2	10,5
mrówki	0	63,7
osy	0	0,4
pluskwiaki różnoskrzydłe	17,4	6,8
motyle	9,3	14,9
chrząszcze	0	3,1
pająki	0	0,6

ŹRÓDŁO: KOICHI T. 1991. Food consumption and diet composition of the web-building spider *Agelena limbata* in two habitats. *Oecologia* 86, s.11. (zmienione).

Ryciny

Wykresy przedstawiające zagęszczenie trzech typów budowy sieci pajęczych w zależności od brzegu lasu - Fig 4. i Fig. 6 w: OLESZCZUK M., ULIKOWSKA M., KUJAWA K. (2010): Effect of distance from forest edge on the distribution and diversity of spider webs in adjacent maize field. *Pol. J. Ecol.* 58 (4): 793-802.

MATERIAŁY POMOCNICZE DO REALIZACJI TEMATU NA LEKCJI I W PROJEKCIE**Strony internetowe**

<http://www.robale.pl/index/10>

<http://owady.zwierzeta.ekologia.pl/>

<http://www.spiderzrule.com/spiderweb.htm>

<http://www.spiderling.de/arages/Fotogalerie/Fotogalerie.htm>

Literatura – artykuły naukowe

HAJDAMOWICZ I., WILIMCZYK E. M., OLESZCZUK M. (2007): Pająki (Araneae) rezerwatu „Kalinowo” w Parku Krajobrazowym Doliny Narwi. W: Żabka M., Kowalski R., Stański T. (red.), *Materiały konferencji naukowej „Przyroda a turystyka we Wschodniej Polsce”*. S. 112-116. Wyd. Akademii Podlaskiej, Siedlce.

OLESZCZUK M. (2007): Znaczenie pajaków krajobrazie rolniczym. W: Bałazy S. i Gmiąt A. (red.), *Ochrona środowiska rolniczego w świetle programów rolno-środowiskowych Unii Europejskiej*. S. 112-116. Brzesko-Poznań-Turew.

OLESZCZUK M., ULIKOWSKA M., KUJAWA K. (2010): Effect of distance from forest edge on the distribution and diversity of spider webs in adjacent maize field. *Pol. J. Ecol.* 58 (4): 793-802.

RYSZKOWSKI L., KARG J., GLURA M. (2009): Influence of agricultural landscape structure on diversity of insect communities. *Pol. J. Ecol.* 57 (4): 697-713.

Literatura – artykuły popularnonaukowe

WOLAK M. (1999): Krajobraz mozaikowy. *Nowoczesne Rolnictwo* 12: 48.

WOLAK M. (2001): Osmionożni sprzymierzeńcy upraw. *Tygodnik Siedlecki* 26: 8.

Literatura – klucze i atlasy

MICHAEL R. (2001): *Spiders of Britain and Northern Europe*. Ss. 384. HarperCollins Publisher, New York.

ZAHRADNIK J. (2000): *Przewodnik OWADY*. Ss. 328. Mutico, Warszawa.

PLAWILSZCZIKOW N. (1968): *Klucz do oznaczania owadów*. Ss. 664. PWRiL, Warszawa.

Mapy

<http://maps.google.pl/maps>

<http://maps.geoportal.gov.pl/webclient/>

OPIS PROJEKTU**Problem badawczy**

Co wpada w pajęczę sieci, czyli w jaki sposób typ krajobrazu kształtuje konsumpcję ofiar przez pająki żyjące w uprawach?

Wariant podstawowy**Zastosowane metody badawcze****1. Metodyka badań**

- Wybór typów krajobrazu i powierzchni badawczych przy użyciu map zamieszczonych w Internecie.
- Gromadzenie informacji z literatury i Internetu dotyczących typów konstrukcyjnych sieci pajęczych oraz rodzin pajaków, które je budują (5 godzin).
- Wytyczenie czterometrowych odcinków badawczych w transekcie odległości od brzegu pola (I odległość – 0 m, II odległość – 10 m, III odległość – 20 m).
- Obserwacja i liczenie ofiar (także ich szczątków) we wszystkich zaobserwowanych sieciach z uwzględnieniem typu budowy sieci na odcinkach badawczych. Identyfikacja ofiar (będą to głównie owady) do poziomu rzędu w terenie. Wpisywanie wyników na bieżąco do przygotowanej wcześniej karty obserwacji. Zespół badawczy tworzy 6–8 osób na czterometrowy odcinek badawczy (po 1–2 osoby na odcinku 1 m). Łącznie pracują więc 18–24 osoby. Te same osoby porównują jeden wybrany odcinek badawczy w obu typach krajobrazu (5–6 godzin pracy w terenie).
- Opracowanie materiałów, analiza wyników i wyciągnięcie wniosków (do 20 godzin).

2. Wybór obszaru badań – stanowisk pomiarowych

Pola uprawne z takim samym typem uprawianej rośliny, np. zboża danego gatunku, w dwóch typach krajobrazu: mozaikowym (urozmaiconym zadrzewieniami) oraz ujednoliconym (złożonym głównie z pól uprawnych, z nielicznymi środowiskami półnaturalnym lub pozbawionym ich całkowicie). Obserwacji nie należy prowadzić na uprawie rzepaku ze względu na gęstą pokrywę roślinną i utrudnione poruszanie się, a także na wczesny zbiór plonów. Stanowiska badawcze w obu typach krajobrazu powinny być zlokalizowane w transekcie w następujących odległościach od brzegu pola: 0 m (granica pola z przyległym środowiskiem: w krajobrazie urozmaiconym – z zadrzewieniem i w ujednoliconym – np. z drogą), 10 m i 20 m. Każde stanowisko badawcze to odcinek o długości 4 m.

3. Wymagany sprzęt pomiarowy: lupa do obserwacji ofiar (powiększenie przynajmniej 5x), atlasy, klucze do identyfikacji owadów-ofiar w sieciach, paliki z taśmą do wyznaczania odcinków badawczych, notatnik lub przygotowana wcześniej karta obserwacji, pisak, aparat fotograficzny.**4. Najlepszy okres do wykonywania badań: od połowy maja do lipca (zakończenie przed zbiorem plonów) w przypadku zbóż: żyto, pszenica, pszenżyto oraz od połowy czerwca do września w innych uprawach, na przykład burak cukrowy, kukurydza.****5. Czas potrzebny do wykonania badań: 2 tygodnie.****Przykładowe wyniki wcześniejszych badań z tego zakresu**

Pająk lejkowiec z gatunku *Agelena limbata* łowił 342 ofiary/dzień w środowisku z terenami leśnymi. Najczęstszymi były (począwszy od najbardziej licznych): muchówki, mrówki, osy, motyle. W środowisku otwartym (pozbawionym terenów zalesionych) stwierdzano w sieciach 4,18 ofiary/dzień, a najliczniejszymi rzędami ofiar były kolejno: mrówki, motyle, muchówki, pluskwiaki różnoskrzydłe (KOICHI T. 1991).

Zastosowana technologia informacyjna**Strony internetowe**

www.geoportal.gov.pl
www.maps.google.com)

Arkusze kalkulacyjne MS Excel**Najważniejsze osiągnięcia – kompetencje ucznia****a. Wiedza:**

- określenie zależności pomiędzy typem krajobrazu a:
 - liczbą sieci pajęczych (pośrednio – ogólną liczebnością pająków w krajobrazie),
 - różnorodnością typów budowy sieci, a tym samym rodzin pająków,
 - liczebnością ofiar w sieciach (wnioski na temat wielkości konsumpcji ofiar przez pająki),
 - różnorodnością ofiar w sieciach,
- określenie zależności pomiędzy typem budowy sieci a różnorodnością ofiar pająków,
- określenie roli ekotonów (granic między środowiskami) dla różnorodności taksonomicznej pająków i owadów jako ofiar;

b. Umiejętności:

- umiejętność analizowania zależności między typem krajobrazu a różnorodnością ofiar łowionych przez pająki,
- rozpoznawanie typów budowy sieci, a tym samym rodziny pająków – konstruktorów danej sieci,
- rozpoznawanie typów ofiar (rzędów owadów) w terenie,
- umiejętność planowania i prowadzenia badań terenowych;

c. Postawa:

- zrozumienie znaczenia obecności zadrzewień i innych nieużytków w krajobrazie dla prawidłowego funkcjonowania ekosystemów pól uprawnych,
- zrozumienie znaczenia pająków jako drapieżców oraz czynników kontroli liczebności szkodników upraw, na przykład mszyc.

Wariant rozszerzony**Zastosowane metody badawcze****1. Metodyka badań**

- Wybór typów krajobrazu i powierzchni badawczych przy użyciu map w Internecie (2 godziny).
- Gromadzenie informacji z literatury i Internetu dotyczących typów konstrukcyjnych sieci pajęczych oraz rodzin pająków, które je budują.
- Wytyczenie czterometrowych odcinków badawczych w transekcie odległości od brzegu pola (I odległość – 0 m – styk dwóch środowisk, II odległość – 10 m, III odległość – 20 m).
- Obserwacja i liczenie ofiar (także ich szczątków) we wszystkich zaobserwowanych sieciach z uwzględnieniem typu budowy sieci. Identyfikacja ofiar (będą to głównie owady) do poziomu rzędów w terenie. Zespół badawczy: ok. 5 osób. Wpisywanie wyników na bieżąco do przygotowanej wcześniej karty obserwacji.
- Pobieranie z sieci do próbek owadów trudnych do zidentyfikowania, a następnie obserwacja oraz identyfikacja zebranych ofiar w warunkach laboratoryjnych pod binokulem.
- Pomiar wysokości (odległości od gleby), na której znajduje się sieć w celu jej powiązania z głównym sposobem poruszania się ofiar (owady latające, skaczące, kroczące).
- Obserwacja oraz dokumentacja fotograficzna gatunku pająka obecnego na sieci lub w jej pobliżu.
- Powtórzenie tej samej serii badań po dwóch tygodniach.
- Opracowanie materiałów, analiza wyników i wyciągnięcie wniosków.

2. Wybór obszaru badań – stanowisk pomiarowych

Pola uprawne z tym samym gatunkiem uprawianej rośliny, np. zboża danego gatunku, w dwóch typach krajobrazu: mozaikowym (urozmaiconym zadrzewieniami, nieużytkami itp.) oraz ujednoliconym (złożonym głównie z pól uprawnych, z nielicznymi nieużytkami lub pozbawionym ich całkowicie). Uprawa nie polecana: rzepak – ze względu na gęstą pokrywę

roślinną i utrudnione poruszanie się, a także na wczesny zbiór plonów. Stanowiska badawcze w obu typach krajobrazu zlokalizowane w transekcie w następujących odległościach od brzegu pola: 0 m (granica pola z przyległym środowiskiem: w krajobrazie urozmaiconym – z zadrzewieniem, w ujednoliconym – np. z drogą), 10 m i 20 m. Każde stanowisko badawcze to odcinek o długości 4 m.

3. Wymagany sprzęt pomiarowy

- lupa do obserwacji ofiar (powiększenie przynajmniej 5x),
 - atlas, klucze do identyfikacji owadów-ofiar,
 - paliki z taśmą do wyznaczania odcinków badawczych,
 - notatnik lub przygotowany wcześniej blankiet, pisak,
 - aparat fotograficzny,
 - taśma miernicza do pomiaru odległości sieci od podłoża,
 - binokular (mikroskop stereoskopowy),
 - sprzęt laboratoryjny: szalki Petriego, alkohol skażony, pęsety, igły preparacyjne, próbówki,
 - materiały do etykietowania: kalka techniczna, rapitografy, nożyczki.
4. Najlepszy okres do wykonywania badań: od połowy maja do lipca (zakonczenie przed zbiorami plonów) w przypadku zbóż: żyto, pszenica, pszenżyto oraz od połowy czerwca do września w innych uprawach, na przykład burak cukrowy, kukurydza.
6. Czas potrzebny do wykonania badań: 2 miesiące.

Przykładowe wyniki wcześniejszych badań z tego zakresu

Pająk lejkowiec z gatunku *Agelena limbata* łowił 342 ofiary/dzień w środowisku z terenami leśnymi. Najliczniej łowione były muchówki, mrówki, osy, motyle.

W środowisku otwartym (pozbawionym terenów zalesionych) stwierdzano w sieciach 4,18 ofiary/dzień, a najliczniejszymi rzędami ofiar były mrówki, motyle, muchówki, pluskwiaki różnoskrzydłe (KOICHI T. 1991).

Zastosowana technologia informacyjna**a. Internet**

www.geoportal.gov.pl
www.maps.google.com

b. Arkusze kalkulacyjne MS Excel**Najważniejsze osiągnięcia – kompetencje ucznia****a. Wiedza**

- określenie zależności pomiędzy typem krajobrazu a:
 - liczbą sieci pajęczych (pośrednio - ogólną liczebnością pająków w krajobrazie)
 - różnorodnością typów budowy sieci, a tym samym rodzin pająków
 - liczebnością ofiar w sieciach (wnioski na temat wielkości konsumpcji ofiar przez pająki)
 - różnorodnością ofiar w sieciach
- określenie zależności pomiędzy typem budowy sieci a różnorodnością ofiar pająków
- określenie roli ekotonów (granic między środowiskami) dla różnorodności taksonomicznej pająków i owadów (jako ofiar)

b. Umiejętności

- umiejętność analizowania zależności między typem krajobrazu a różnorodnością ofiar łowionych przez pająki
- rozpoznawanie typów budowy sieci, a tym samym rodziny pająków – konstruktorów danej sieci
- rozpoznawanie typów ofiar (rzędów owadów) w terenie
- umiejętność planowania i prowadzenia badań terenowych
- rozpoznawanie gatunków (rodzajów, rodzin) pająków na podstawie budowy zewnętrznej
- umiejętność obserwacji i rozpoznawania owadów pod binokulem

c. Postawa

- zrozumienie znaczenia obecności zadrzewień i innych nieużytków w krajobrazie dla prawidłowego funkcjonowania ekosystemów pól uprawnych
- zrozumienie znaczenia pająków jako drapieżców oraz czynników kontroli liczebności szkodników upraw, na przykład mszyc

PROJEKT: JAK WYKORZYSTAĆ PAJĄKI W OGRANICZANIU ZAGĘSZCZEŃ SZKODNIKÓW UPRAW? WPŁYW ZADRZEWIEŃ W KRAJOBRAZIE ROLNICZYM NA RÓŻNORODNOŚĆ I LICZEBNOŚĆ PAJĄKÓW SIECIOWYCH NA POLACH UPRAWNYCH

Zadrzewienia śródpolne charakteryzują się większym bogactwem gatunków pająków oraz wyższym zagęszczeniem osobników niż pola uprawne. Ponadto, wraz z innymi typami środowisk (np. z polami uprawnymi), tworzą one strefy ekotonowe zasiedlane przez znaczną liczbę gatunków pająków. Pewna liczba osobników różnych gatunków przemieszcza się z zadrzewień na pola oraz w kierunku odwrotnym. W krajobrazie bez zadrzewień zjawisko to nie występuje. Celem projektu jest zbadanie wpływu struktury krajobrazu na faunę pająków sieciowych pól uprawnych oraz ocena oddziaływania zadrzewień śródpolnych na liczebność oraz różnorodność pająków sieciowych (na podstawie typu budowy sieci można określić rodzinę pająków) na polach uprawnych.

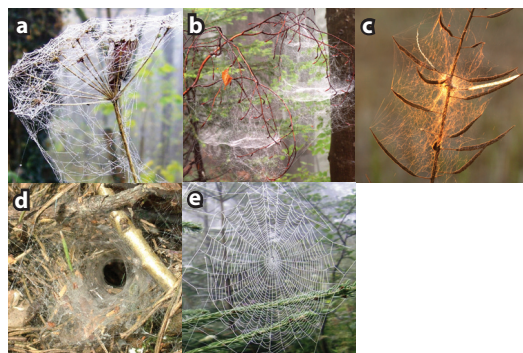
CELE REALIZACJI PROJEKTU

- analiza zależności między typem krajobrazu rolniczego (tj. urozmaiconym i ujednoliconym) a liczbą i różnorodnością rodzin pająków na podstawie sieci pajęczych o różnych typach konstrukcyjnych,
- nabycie umiejętności rozpoznawania typów budowy sieci, a tym samym rodziny pająków – konstruktorów danej sieci,
- nabycie umiejętności określania takiej struktury krajobrazu, przy której potencjał drapieżniczy pająków (rozumiany jako odpowiednia liczebność osobników oraz różnorodność rodzin) może przyczynić się do utrzymania niskiej liczebności szkodników upraw,
- zrozumienie znaczenia obecności zadrzewień i innych środowisk półnaturalnych w krajobrazie dla prawidłowego funkcjonowania ekosystemów pól uprawnych.

OPIS ZAGADNIENIA DO REALIZACJI NA LEKCJI I W PROJEKCIE

Pająki występują licznie we wszystkich ekosystemach lądowych. Większość z nich to niewyspecjalizowane drapieżniki, które mają szczególne znaczenie w krajobrazie rolniczym. Razem z drapieżnikami i pasożytniczymi owadami, pająki stanowią istotny element łańcucha pokarmowego, przyczyniając się do utrzymania niskich poziomów liczebności populacji szkodników upraw.

Pająki dla zdobycia ofiar stosują rozmaite strategie łowieckie, charakterystyczne dla danej rodziny (jednostki systematycznej). Bierne chwytanie ofiar w sieci łowne jest uważane za bardziej prymitywne od aktywnego polowania. Podczas polowania za pomocą sieci pająk po prostu siedzi i czeka na zdobycz, a główny wysiłek i zużycie energii są ukierunkowane na konstrukcję sieci. Przy polowaniu aktywnym pająk zużywa energię na przemieszczanie się (pogoń, skok) w kierunku ofiary w celu jej pochwylenia. Istnieje też sposób pośredni – wyczekiwanie na ofiarę bez użycia sieci. W danym ekosystemie poszczególne rodziny oraz gatunki pająków zasiedlają różne piętra roślinności – od powierzchni gleby aż po szczytowe partie roślin. Pająki budujące sieci można wykrywać w dwojaki sposób: odławiając je, na przykład za pomocą czerpaka entomologicznego lub pośrednio, poprzez wykrywanie zbudowanych przez nie sieci łownych. Poszczególne rodziny pająków budują różne typy sieci łownych. Na polach uprawnych i w zadrzewieniach spotyka się zwykle cztery typy konstrukcyjne sieci: spiralne, płachtowate, nieregularne i lejkwate (Ryc. 3.10).



Ryc. 3.10. Typy konstrukcyjne sieci łownych pająków z poszczególnych rodzin: a) sieć nieregularna ciemieńcowatych *Dictynidae*, b) sieć nieregularna omatnikowatych *Theridiidae*, c) sieć płachtowata osnuwиковatych *Linyphiidae*, d) sieć lejkwata lejkwowatych *Agelenidae*, e) sieć spiralna krzyżakowatych *Araneidae* i kwadratnikowatych *Tetragnathidae*.

Fot. Maria Oleszczuk i Krzysztof Kujawa

Rozróżnione na rycinie dwa typy sieci nieregularnych zaliczono tu do jednego typu: sieci nieregularne. Poszczególne rodzaje sieci różnią się typami łowionych ofiar. Zjawisko to jest związane z wysokością (odległością od podłoża) umocowania danej sieci oraz sposobami poruszania się owadów na danych wysokościach. W krajobrazie urozmaiconym zadrzewieniami obserwuje się na ogół wyższą różnorodność rodzin i gatunków pająków (w tym na polach uprawnych) niż w krajobrazie uproszczonym. Duża różnorodność oznacza w tym przypadku szerokie spektrum łowionych ofiar. Wraz ze wzrostem odległości od zadrzewienia zmniejsza się różnorodność taksonomiczna pająków oraz rodzajów sieci. Prawidłowość ta może nie występować w krajobrazie pozbawionym zadrzewień. Celem realizacji projektu jest odpowiedź na pytanie, czy typ krajobrazu wpływa na różnorodność oraz na liczebność sieci pajęczych na polach uprawnych.

MATERIAŁY GRAFICZNE DO REALIZACJI NA LEKCJI I W PROJEKCIE

Ryciny

Wykresy przedstawiające zagęszczenie trzech typów budowy sieci pajęczych w zależności od odległości od brzegu lasu – Fig. 4. i Fig. 6 w: OLESZCZUK M., ULIKOWSKA M., KUJAWA K. 2010.

MATERIAŁY POMOCNICZE DO REALIZACJI TEMATU NA LEKCJI I W PROJEKCIE

Strony internetowe

<http://www.spiderzrule.com/spiderweb.htm>

<http://www.spiderling.de/arages/Fotogalerie/Fotogalerie.htm>

Literatura – artykuły naukowe

HADAMOWICZ I., WILIMCZYK E. M., OLESZCZUK M. (2007): Pająki (Araneae) rezerwatu „Kalinowo” w Parku Krajobrazowym Doliny Narwi. W: Żabka M., Kowalski R., Stański T. (red.) Materiały konferencji naukowej „Przyroda a turystyka we Wschodniej Polsce”. S. 112-116. Wyd. Akademii Podlaskiej, Siedlce.

KAJAK A., OLESZCZUK M. (2004): Effect of shelterbelts on adjoining cultivated fields: patrolling intensity of carabid beetles (Carabidae) and spiders (Araneae). *Pol. J. Ecol.* 52 (2): 155-172.

OLESZCZUK M. (2007): Znaczenie pająków krajobrazie rolniczym. W: Bałazy S. i Gmiąg A. (red.), Ochrona środowiska rolniczego w świetle programów rolno-środowiskowych Unii Europejskiej. S. 112-116. Brzesko-Poznań-Turew.

OLESZCZUK M., ULIKOWSKA M., KUJAWA K. (2010): Effect of distance from forest edge on the distribution and diversity of spider webs in adjacent maize field. *Pol. J. Ecol.* 58 (4): 793-802.

Literatura – artykuły popularnonaukowe

WOLAK M. (1999): Krajobraz mozaikowy. *Nowoczesne Rolnictwo* 12:48.

WOLAK M. (2001): Ośmionożni sprzymierzeńcy upraw. *Tygodnik Siedlecki* 26: 8.

Literatura – klucze, atlasy

MICHAEL R. (2001): *Spiders of Britain and Northern Europe*. Ss. 384. HarperCollins Publisher, New York.

Mapy

<http://maps.google.pl/maps>

<http://maps.geoportal.gov.pl/webclient/>

OPIS PROJEKTU

Wariant podstawowy

Zastosowane metody badawcze

1. Metodyka badań

- a. Wybór typów krajobrazu i powierzchni badawczych przy użyciu map dostępnych w Internecie.

- b. Gromadzenie informacji z literatury i Internetu dotyczących typów konstrukcyjnych sieci pajęczych oraz rodzin pajaków, które je budują.
 - c. Praca w terenie: wytyczenie czterometrowych odcinków badawczych w transekcie odległości od brzegu pola (I odległość – 0 m – brzeg pola, II odległość – 10 m, III odległość – 20 m) w dwóch typach krajobrazu: urozmaiconym zadrzewieniami oraz ujednoliconym.
 - d. Wykrywanie (przy użyciu spryskiwacza z wodą) i liczenie sieci łownych pajaków o różnych typach budowy na odcinkach badawczych. Powierzchnia spryskiwana wodą powinna obejmować przestrzeń od powierzchni gleby po szczyty roślin (wyjątek: mglista lub wilgotna pogoda – wtedy sieci są na ogół dobrze widoczne). Identyfikacja rodzin pajaków na podstawie typu sieci. Wpisywanie wyników na bieżąco do przygotowanej wcześniej karty obserwacji. Zespół badawczy tworzą dwie osoby na czterometrowy odcinek badawczy. Te same osoby porównują jeden wybrany odcinek badawczy w obu typach krajobrazu. W przypadku zaangażowania większej ilości osób można zwiększyć ilość 4-metrowych odcinków badawczych i/lub przeprowadzić te same badania równolegle na innym typie uprawy.
 - e. Opracowanie materiałów, analiza wyników i wyciągnięcie wniosków.
2. Wybór obszaru badań – stanowisk pomiarowych
Pola uprawne z tym samym typem uprawianej rośliny, np. zboża danego gatunku, w dwóch typach krajobrazu: mozaikowym (urozmaiconym zadrzewieniami) oraz ujednoliconym (złożonym głównie z pól uprawnych, z nielicznymi środowiskami półnaturalnym lub pozbawionym ich całkowicie). Nie powinna być to uprawa rzepaku ze względu na gęstą pokrywę roślinną i utrudnione poruszanie się, a także na wczesny zbiór plonów. Stanowiska badawcze w obu typach krajobrazu zlokalizowane w transekcie w następujących odległościach od brzegu pola: 0 m (granica pola z przyległym środowiskiem: w krajobrazie urozmaiconym – z zadrzewieniem, w ujednoliconym – np. z drogą), 10 m i 20 m. Każde stanowisko badawcze to odcinek o długości 4 m.
 3. Wymagany sprzęt: paliki z taśmą do wyznaczania odcinków badawczych, spryskiwacz z wodą, atlasy do identyfikacji typu konstrukcyjnego sieci łownych, notatnik lub przygotowana wcześniej karta obserwacji, pisak, aparat fotograficzny dla dokumentacji oraz konsultacji w celu przyporządkowania określonych sieci do właściwego typu konstrukcyjnego (zwłaszcza w przypadku, gdy uczeń nie jest pewien identyfikacji).
 4. Najlepszy okres do wykonywania badań to czas od połowy maja do lipca (zakończenie przed zbiorem plonów) w przypadku zbóż: żyta, pszenicy, pszenżyta oraz od połowy czerwca do września w innych uprawach, na przykład buraka cukrowego, kukurydzy.
 5. Czas potrzebny do wykonania badań: 1 tydzień.

Przykładowe wyniki wcześniejszych badań z tego zakresu

Zobacz: zagęszczenie trzech typów budowy sieci pajęczych w zależności od odległości od brzegu lasu – Fig 4. i Fig. 6 (OLESZCZUK M., ULIKOWSKA M., KUJAWA K. 2010).

Zastosowana technologia informacyjna

Arkusz kalkulacyjny MS Excel.

Najważniejsze osiągnięcia – kompetencje ucznia

- a. Wiedza:
 - określenie zależności pomiędzy typem krajobrazu oraz odległością od brzegu pola w danym krajobrazie a:
 - liczbą sieci pajęczych (pośrednio – ogólną liczebnością pajaków sieciowych w krajobrazie),
 - różnorodnością typów budowy sieci, a tym samym rodzin pajaków;
 - określenie znaczenia ekotonów (granic między środowiskami) dla różnorodności taksonomicznej pajaków;
- b. Umiejętności:
 - rozpoznawanie typów budowy sieci, a tym samym rodziny pajaków – konstruktorów danej sieci,

- umiejętność analizowania zależności między typem krajobrazu a różnorodnością sieci łownych (i rodzin pajaków),
 - umiejętność planowania i prowadzenia badań terenowych;
- c. Postawa:
 - zrozumienie znaczenia obecności zadrzewień i innych środowisk półnaturalnych w krajobrazie dla prawidłowego funkcjonowania ekosystemów pól uprawnych,
 - zrozumienie znaczenia pajaków jako drapieżców oraz czynników kontroli liczebności szkodników upraw, na przykład mszyc.

Wariant rozszerzony

Zastosowane metody badawcze

1. Metodyka badań
 - a. Wybór typów krajobrazu i powierzchni badawczych przy użyciu map w Internecie.
 - b. Gromadzenie informacji z literatury i Internetu dotyczących typów konstrukcyjnych sieci pajęczych oraz rodzin pajaków, które je budują.
 - c. Praca w terenie – wytyczenie czterometrowych odcinków badawczych w transekcie odległości od brzegu pola (I odległość – 0 m – brzeg pola, II odległość – 10 m, III odległość – 20 m) w dwóch typach krajobrazu: urozmaiconym zadrzewieniami oraz ujednoliconym.
 - d. Wykrywanie (przy użyciu spryskiwacza do wody) i liczenie sieci łownych pajaków o różnych typach budowy na odcinkach badawczych. Powierzchnia spryskiwana wodą powinna być dwuwymiarowa (jak ekran) i powinna obejmować przestrzeń od powierzchni gleby po szczyty roślin (wyjątek: mglista lub wilgotna pogoda – wtedy sieci są na ogół dobrze widoczne, ale nie zaraz po deszczu – sieci mogą być zniszczone). Identyfikacja rodzin pajaków na podstawie typu sieci. Wpisywanie wyników na bieżąco do przygotowanej wcześniej karty pracy. Zespół badawczy tworzy 6 osób; po dwie osoby na czterometrowy odcinek badawczy.
 - e. Określenie substratu, na którym umocowana jest sieć: na powierzchni gleby, na roślinach uprawnych, na chwastach (roślinach innych niż uprawiane). Powiązanie typu sieci z typem substratu – w przypadku roślin rozróżnienie sieci na roślinach jedno- i dwuliściennych.
 - f. Obserwacja oraz dokumentacja fotograficzna gatunku pajaka obecnego na sieci lub w jej pobliżu.
 - g. Powtórzenie tej samej serii badań po dwóch tygodniach.
 - h. Opracowanie materiałów, analiza wyników i wyciągnięcie wniosków.
2. Wybór obszaru badań – stanowisk pomiarowych
Pola uprawne z tym samym gatunkiem uprawianej rośliny, np. zboża danego gatunku, w dwóch typach krajobrazu: mozaikowym (urozmaiconym zadrzewieniami, nieużytkami itp.) oraz ujednoliconym (złożonym głównie z pól uprawnych, z nielicznymi nieużytkami lub pozbawionym ich całkowicie). Nie powinna to być uprawa rzepaku ze względu na gęstą pokrywę roślinną i utrudnione poruszanie się, a także na wczesny zbiór plonów. Stanowiska badawcze w obu typach krajobrazu zlokalizowane w transekcie w następujących odległościach od brzegu pola: 0 m (granica pola z przyległym środowiskiem: w krajobrazie urozmaiconym – z zadrzewieniem, w ujednoliconym – np. z drogą), 10 m i 20 m. Każde stanowisko badawcze to odcinek o długości 4 m.
3. Wymagany sprzęt pomiarowy: paliki z taśmą do wyznaczania odcinków badawczych, spryskiwacz z wodą, atlasy do identyfikacji typu konstrukcyjnego sieci łownych, notatnik lub przygotowany wcześniej blankiet, pisak, aparat fotograficzny do dokumentacji oraz konsultacji w celu przyporządkowania określonych sieci do właściwego typu konstrukcyjnego (zwłaszcza w przypadku, gdy uczeń nie ma pewności co do identyfikacji).
4. Najlepszy okres do wykonywania badań to czas od połowy maja do lipca (zakończenie przed zbiorem plonów) w przypadku zbóż: żyto, pszenica, pszenżyto oraz od połowy czerwca do września w innych uprawach, na przykład burak cukrowy, kukurydza.
5. Czas potrzebny do wykonania badań: 1 miesiąc.

Przykładowe wyniki wcześniejszych badań z tego zakresu

Zobacz: Wykresy zagęszczenia trzech typów budowy sieci pajęczych w zależności od odległości od brzegu lasu w: OLESZCZUK M., ULIKOWSKA M., KUJAWA K. (2010): Effect of distance from forest edge on the distribution and diversity of spider webs in adjacent maize field. Pol. J. Ecol. 58 (4): 793-802.

Zastosowana technologia informacyjna

Arkusze kalkulacyjny MS Excel

Najważniejsze osiągnięcia – kompetencje ucznia

a. Wiedza:

- określenie zależności pomiędzy typem krajobrazu oraz odległością od brzegu pola w danym krajobrazie a:
 - liczbą sieci pajęczych (pośrednio – ogólną liczebnością pajaków sieciowych w krajobrazie),
 - różnorodnością typów budowy sieci, a tym samym rodzin pajaków,
- określenie zależności pomiędzy rodzajem substratu a typem budowy sieci,
- określenie roli ekotonów (granic między ekosystemami) dla różnorodności taksonomicznej pajaków;

b. Umiejętności:

- rozpoznawanie typów budowy sieci, a tym samym rodziny pajaków – konstruktorów danej sieci,
- umiejętność analizowania zależności między typem krajobrazu a różnorodnością sieci łożnych (i rodzin pajaków),
- umiejętność planowania i prowadzenia badań terenowych,
- rozpoznawanie gatunków (rodzajów, rodzin) pajaków na podstawie budowy zewnętrznej;

c. Postawa:

- zrozumienie znaczenia obecności zadrzewień i innych nieużytków w krajobrazie dla prawidłowego funkcjonowania ekosystemów pól uprawnych,
- zrozumienie znaczenia pajaków jako drapieżców oraz czynników kontroli liczebności szkodników upraw, na przykład mszyc.

PROJEKT: WPŁYW STRUKTURY TERENÓW UPRAWNYCH NA ZAGĘSZCZENIE PTAKÓW

CELE REALIZACJI PROJEKTU

- przyswojenie podstawowych informacji na temat zjawiska fragmentacji ekosystemów i heterogeniczności (niejednorodności) krajobrazu i ich konsekwencji dla różnorodności biologicznej,
- zaznajomienie z awifauną pól uprawnych (składem gatunkowym, zagęszczeniem itp.) oraz z jej zagrożeniami,
- zaznajomienie z pospolitymi gatunkami roślin uprawnych,
- kształcenie umiejętności korzystania z publicznych, dostępnych w Internecie zasobów ortofotomap (zwłaszcza Geoportal, ewentualnie GoogleMaps),
- kształcenie umiejętności rozpoznawania gatunków ptaków,
- kształcenie umiejętności rozpoznawania roślin,
- kształcenie umiejętności wykorzystywania arkusza kalkulacyjnego MS Excel do analizy danych i prezentacji wyników,
- rozwijanie zdolności rozumienia istoty i etapów prowadzenia badań naukowych.

OPIS ZAGADNIENIA DO REALIZACJI NA LEKCJI I W PROJEKCIE

Wpływ rozmieszczenia i wielkości poszczególnych elementów krajobrazu (czyli wpływ struktury przestrzennej) na występowanie zwierząt jest jednym z częściej podejmowanych zagadnień badawczych w ekologii krajobrazu. Rola człowieka jest szczególnie widoczna w krajobrazie rolniczym, gdzie zachodzą ciągłe zmiany w rozmieszczeniu i ilości poszczególnych roślin uprawnych. Wiele z nich negatywnie wpływa na przyrodę.

Temat ten dotyczy także fragmentacji środowisk (lub inaczej: siedlisk albo ekosystemów) oraz związanej z nią cechy krajobrazu, czyli hetero- lub homogeniczności krajobrazu. Ogólnie, uważa się, że fragmentacja obejmuje pięć rodzajów zmian ilościowych w strukturze krajobrazu:

- a. zmniejszenie całkowitej powierzchni środowiska,
- b. zmniejszenie stosunku powierzchni wnętrza środowiska do powierzchni jego strefy brzeżnej,
- c. zwiększanie się odległości pomiędzy fragmentami środowiska danego typu,
- d. zwiększanie się liczby fragmentów środowiska danego typu w wyniku rozdzielania dużych fragmentów na mniejsze,
- e. zmniejszanie się średniej wielkości fragmentu środowiska danego typu.

Konsekwencje przyrodnicze fragmentacji w takim klasycznym ujęciu, odnoszącym się najczęściej do lasów, opisano szerzej w rozdziale „SLOSS, czyli... duży może więcej” (s. 103), ale w tym miejscu skupimy się na szczególnym przykładzie fragmentacji środowisk i heterogeniczności krajobrazu, a mianowicie całkowicie sztucznym ekosystemie, jakim są pola roślin uprawnych. Niegdyś poszczególne pola uprawne były bardzo małe i liczyły do kilku hektarów powierzchni. Jednak od kilkadziesiątu już lat, od kiedy w gospodarce rolnej bardzo silnym czynnikiem jest opłacalność finansowa, obserwuje się tendencję do tzw. scalania gruntów, czyli powiększania powierzchni poszczególnych pól uprawnych, gdyż z reguły uprawa na polach większych (kilkadziesiąt lub nawet kilkaset hektarów) jest bardziej opłacalna niż na małych. Tendencję tę uważa się zwykle za zjawisko negatywne dla przyrody i to nawet wykluczając związaną z tym zjawiskiem intensyfikację rolnictwa. Jednolite, wielkoarealowe pola powodują zmniejszenie się różnorodności nisz ekologicznych (pola buraka, pszenicy, kukurydzy i rzepaku różnią się przecież znacznie) i dlatego „miejsca” dla wielu gatunków staje się w takich okolicznościach za mało. Tym samym liczba gatunków obniża się. Dodatkowo, gdy ujednolicaniu pól towarzyszy likwidacja miedz i innych środowisk półnaturalnych występujących zwykle na obrzeżach pól, wówczas ubożenie przyrody jest jeszcze szybsze i większe. To między innymi dlatego uważa się, że znacznie obniżyła się różnorodność biologiczna terenów rolniczych w Europie lub zmniejszyła się wielkość populacji wielu gatunków związanych z krajobrazem rolniczym. Zatem znaczenie fragmentacji pól oraz lasów jest – pod względem bilansu konsekwencji – zupełnie inne: negatywne dla lasów, pozytywne dla pól uprawnych. Obecnie w Polsce mamy do czynienia z dużą liczbą małych, silnie rozdrobnionych pól należących do gospodarzy indywidualnych oraz z obszarami pól o dużej powierzchni, należące kiedyś do PGR-ów, a obecnie do spółek lub „dużych” właścicieli ziemi. To stwarza dogodne warunki do badań nad wpływem wielkości (czyli stopnia rozdrobnienia) pól uprawnych na bogactwo przyrodnicze.

Zajęcia ujęte w niniejszym zagadnieniu pozwalają uczniom w dużym stopniu samodzielnie poznać praktyczne przykłady pozytywnego znaczenia heterogeniczności pól na podstawi awifauny polnej, dzięki porównaniu obu wymienionych wyżej typów krajobrazu.

MATERIAŁY GRAFICZNE DO REALIZACJI NA LEKCJI I W PROJEKCIE**Tabele**

- przykładowe wyniki pomiarów struktury krajobrazu rolniczego

Tab. 3.2. Struktura przestrzenna pięciu powierzchni krajobrazowych (wg Kujawa 1996, s. 34)

Lokalizacja	Rogaczewo	Turew W	Turew N	Łuszkowo	Błociszewo
Parametr					
Wielkość powierzchni [ha]	35	38	55	46	56
pola [%]	61,1	37,0	93,0	97,4	98,8
las [%]	13,7	14,5	7,0	0,2	0,0
łąki [%]	18,1	48,5	0,0	2,3	1,2
inne [%]	7,1	0,0	0,0	0,0	0,0
<hr/>					
Gęstość granic lasu [m/ha]	65	144	82	3	0
<hr/>					
Gęstość ekotonów w krajobrazie [m/ha]:					
a) las-pole	40	74	82	3	0
b) las-łąka	25	71	0	0	0
c) łąka-pole	38	22	0	29	30
d) pole-pole	0	4	0	245	59
e) suma wszystkich ekotonów z wyjątkiem pole-pole (a+b+c)	103	167	82	32	30

- skład gatunkowy i liczebność ptaków na terenach rolniczych – wiele tabel można znaleźć w książce TRYJANOWSKIEGO i in. (2009) – np. na str. 118, 122, 215, 221, 230.

Ryciny

- przykłady ortofotomap terenów rolniczych (z Internetu),
- wykresy porównujące awifaunę różnych terenów rolniczych,
 - porównanie awifauny terenów rolniczych pod względem udziału różnych grup gniazdowych (czyli dziuplaków, gatunków gniazdujących na ziemi itp), siedliskowych (ptaki pól, wodne itp.) - TRYJANOWSKI i in. (2009), str. 225,
- wykresy zależności awifauny od wybranych cech struktury krajobrazu rolniczego:
 - wykres zależności zagęszczenia ptaków i liczby gatunków od udziału środowisk marginalnych - TRYJANOWSKI i in. (2009), str. 239

MATERIAŁY POMOCNICZE DO REALIZACJI TEMATU NA LEKCJI I W PROJEKCIE**Strony internetowe**

<http://ptaki-rolnictwo.bocian.org.pl/wstep>
<http://ecopress.pl/art/wymieraja-ptaki-krajobrazu-rolniczego-1420/>
http://monitoringptakow.gios.gov.pl/115,farmland_bird_index.html
http://www.krzysztof.kujawa.org.pl/pdf/kujawa_ptzool_2009.pdf

Literatura

TRYJANOWSKI P., KUŹNIAK S., KUJAWA K., JERZAK L. (2009): Ekologia ptaków krajobrazu rolniczego. Ss. 390. Bogucki Wydawnictwo Naukowe, Poznań.
 KUJAWA K. (2009): Życie wśród zadrzewień i lasów śródpolnych: jak mozaika środowisk wpływa na zgrupowania gatunków, długoterminowe trendy liczebności populacji oraz behavior osobniczy. W: Wiącek J., Polak M., Kucharczyk M., Grzywaczewski G., Jerzak L. (red.), Ptaki – Środowisko – Zagrożenia – Ochrona. Wybrane aspekty ekologii ptaków. S. 11-41. LTO, Lublin.

KUJAWA K. (1996): Wpływ struktury przestrzennej krajobrazu na zgrupowania ptaków lęgowych Parku Krajobrazowego im. D. Chłapowskiego. Biul. Parków Krajoobr. 3: 83-90.

KUJAWA K. (1996): Wpływ struktury krajobrazu rolniczego na awifaunę lęgową. Ss. 96. Praca doktorska wykonana w Zakładzie Ekologii Ptaków Uniwersytetu Wrocławskiego, Wrocław.

OPIS PROJEKTU**Wprowadzenie**

Wpływ struktury przestrzennej krajobrazu (rozmieszczenia i wielkości poszczególnych elementów) na występowanie zwierząt jest jednym z częstszych zagadnień badawczych w ekologii krajobrazu. Rola człowieka w kształtowaniu struktury krajobrazu jest szczególnie wyraźnie widoczna w krajobrazie rolniczym, gdzie zwykle stopniowo ubywa środowisk półnaturalnych, a oprócz tego zachodzą ciągle zmiany w rozmieszczeniu i ilości poszczególnych roślin uprawnych, związane ze stosowaniem płodozmianu. Zmiany takie są na ogół niekorzystne dla dużej części gatunków. Celem realizacji projektu będzie sprawdzenie, jak struktura pól uprawnych (gatunek uprawianej rośliny, wielkość pól) wpływa na skład gatunkowy oraz zagęszczenie ptaków lub zagęszczenie populacji wybranych gatunków ptaków (np. skowronka i pliszki żółtej).

Etapy (zadania) realizacji projektu

- wybór terenu (za pomocą map zamieszczonych w Internecie),
- wyznaczenie transektów (tras przejścia) lub punktów,
- trening oceny odległości w terenie (umiejętność badawcza istotna dla tego projektu),
- liczenie ptaków (na transektach lub z punktów),
- wyznaczenie zagęszczeń (i rozmieszczenia) ptaków na podstawie danych z liczeń,
- analiza danych,
- podsumowanie i wnioski.

Efekty

Określenie znaczenia struktury upraw dla bogactwa awifauny pól uprawnych, nauka rozpoznawania pospolitych gatunków, sformułowanie wniosków dotyczących ochrony przyrody. Potrzebny sprzęt: lornetka, aparat GPS, notatnik terenowy.

Problem badawczy

Jak rozdrobnienie pól uprawnych (czyli heterogeniczność) wpływa na awifaunę lęgową?

Przykładowe wyniki wcześniejszych badań z tego zakresu:

W okolicach wsi Turew metodą punktową sprawdzono, czy stopień rozdrobnienia pól uprawnych wpływa na zagęszczenie i bogactwo gatunkowe ptaków. Zagęszczenie par lęgowych na polach uprawnych wynosiło od 1 do 11 na punkt, ale 75% wartości mieściło się w przedziale od 5 do 8 par na punkt. Średnie zagęszczenie wynosiło 6.4 pary na punkt, przy odchyleniu standardowym równym 2.05. W punktach z jedną lub dwiema uprawami średnia liczba par wynosiła 6.2, natomiast w punktach z trzema i więcej uprawami średnia liczba par wynosiła 7 (KUJAWA 1996).

Wariant podstawowy**Zastosowane metody badawcze**

- Istota projektu badawczego: porównanie dwóch typów krajobrazu rolniczego, czyli monotonnego (ujednoliczonego) oraz zróżnicowanego (heterogenicznego) pod względem awifauny lęgowej, czyli liczebności ptaków (ewentualnie także ich składu gatunkowego).
- Metoda oceny liczebności awifauny:
 - Do wyboru są dwie metody – liczenie na transektach lub liczenie z punktów. Obie wymagają wcześniejszego poznania podstawowych gatunków ptaków, które można zobaczyć lub usłyszeć na polach uprawnych, czyli skowronka, pliszki żółtej, potrzęsacza, przepiórki i kuropatwy. Konieczna jest znajomość zarówno wyglądu, jak i głosów wydawanych przez te gatunki.

- b. Metoda transektowa – polega na przemieszczaniu się piechotą wzdłuż wyznaczonej trasy (z prędkością ok. 1-2 km/godz.) i liczenia ptaków w pasie o określonej szerokości, zwykle 100-150 m, a w przypadku tego projektu długość jednego transektu będzie wynosiła 500 m.
 - c. Metoda punktowa – polega na liczeniu ptaków z określonego miejsca przez 10 minut w promieniu o określonej długości, zwykle do 100-200 m.
 - d. W obu przypadkach dane zapisuje się na przygotowanych wcześniej formularzach.
3. Wybór i charakterystyka powierzchni badawczych:
- a. Przede wszystkim należy zwrócić uwagę na to, by wybrane powierzchnie różniły się tylko stopniem rozczłonkowania (czyli wielkością) pól uprawnych, gdyż to właśnie ona jest tematem badań. Dlatego nie powinno być między nimi różnic, np. w obecności zadrzewień, bliskością terenów zabudowanych, ruchliwych dróg itp.
 - b. Kierując się powyższą zasadą, należy wybrać po kilkanaście (>15) fragmentów pól uprawnych w obu typach krajobrazu, w których będzie można zaplanować rozmieszczenie transektów (jeden na fragment) lub punktów (1–2 punkty na fragment). Należy pamiętać, aby transekty i punkty było położone tak, by dostęp do nich był łatwy. Dlatego na ogół wykorzystuje się do tego celu mało uczęszczane, słabo widoczne polne drogi. Jeżeli brakuje naturalnych i trwałych punktów orientacyjnych, do lokalizacji punktów oraz końców transektów należy użyć odbiornika GPS.
 - c. Powierzchnie badawcze zostaną scharakteryzowane ilościowo za pomocą narzędzi dostępnych w Geoportalu.
4. Wymagany sprzęt i wyposażenie:
- lornetka,
 - aparat fotograficzny,
 - odbiornik GPS,
 - klucze i przewodniki do oznaczania ptaków.
5. Najlepszy okres do wykonywania badań: szczyt okresu lęgowego, czyli maj-czerwiec.
6. Czas potrzebny do wykonania badań:
- a. Liczenia ptaków najlepiej prowadzić w godzinach porannych (w szczycie aktywności głosowej) czyli od 5.00, a nawet 4.30 (w czerwcu) do około 8.00–9.00, zatem około czterech godzin dziennie.
 - b. W ciągu jednego poranka będzie można zebrać dane z 6–8 punktów lub transektów, w zależności od odległości między nimi. Zakładając po 15 punktów lub transektów w każdym z dwóch typów krajobrazów, czyli łącznie 30, należy się spodziewać, że można je będzie skontrolować w ciągu maksymalnie 5–6 dni.
 - c. Liczenie ptaków należy przeprowadzić dwukrotnie w maju z przerwą co najmniej dwóch tygodni, czyli łączny czas to 10–12 dni.

Zastosowana technologia informacyjna

- a. Geoportal:
 - wybór powierzchni badawczych,
 - wyznaczenie punktów lub transektów,
 - sporządzenie charakterystyki powierzchni badawczych.
- b. Arkusz kalkulacyjny MS Excel:
 - tworzenie tabel z danymi,
 - analiza danych,
 - prezentacja wyników.

Najważniejsze osiągnięcia – kompetencje ucznia

- a. Wiedza:
 - poznanie zmienności krajobrazu w zakresie homo- i heterogeniczności oraz technik pomiaru takiej cechy,
 - poznanie znaczenia struktury krajobrazu dla zasiedlających go ptaków,
 - poznanie awifauny typowej dla terenów uprawnych,
 - poznanie kilku gatunków roślin uprawnych,
 - poznanie zakresu stosowania i znaczenia Geoportalu,
 - poznanie podstaw, sensu i kilku elementarnych technik statystycznej analizy danych.

- b. Umiejętności:
 - interpretacja ortofotomap,
 - wykorzystanie technik i narzędzi do pomiaru struktury krajobrazu, opartych na pomiarach długości i powierzchni środowisk,
 - sposoby rozpoznawania ptaków (po wyglądzie i głosach),
 - wykorzystywanie arkusza kalkulacyjnego MS Excel do analizy statystycznej (obliczanie średniej arytmetycznej, mediany, odchylenia standardowego, wyznaczanie zależności oraz sporządzanie ich wykresów),
 - ćwiczenia w prowadzeniu badań naukowych: formułowania tematu badawczego, stawiania hipotez, weryfikowania ich prawdziwości.
- c. Postawa:
 - pogłębienie zrozumienia konsekwencji rozwoju wysokowydajnego, uprzemysłowionego rolnictwa dla przyrody,
 - kształtowanie postawy zrozumienia potrzeby stosowania matematyki jako narzędzia opisującego wymiennie środowisko,
 - kształtowanie postawy zrozumienia potrzeby stosowania narzędzi statystycznych jako jedynych umożliwiających precyzyjne porozumiewanie się ludzi na temat złożonych zależności, obiektów itp. („liczby lepsze niż słowa”).

Wariant rozszerzony

Zastosowane metody badawcze

1. Istota projektu badawczego: porównanie dwóch typów krajobrazu rolniczego: czyli monotonnego (ujednoliczonego) oraz zróżnicowanego (heterogenicznego) pod względem awifauny lęgowej, czyli liczebności ptaków oraz ich składu gatunkowego.
2. Metoda oceny awifauny
 - a. Do wyboru są dwie metody – liczenie na transektach lub liczenie z punktów. Obie wymagają wcześniejszego poznania podstawowych gatunków ptaków, które można zobaczyć lub usłyszeć na polach uprawnych, czyli skowronka, pliszki żółtej, potrzęsacza, przepiórki i kuropatwy. Wymagana jest znajomość zarówno wyglądu, jak i głosów wydawanych przez te gatunki.
 - b. Metoda transektowa – polega na przemieszczaniu się piechotą wzdłuż wyznaczonej trasy (z prędkością ok. 1–2 km/godz.) i liczenia ptaków w pasie o określonej szerokości, zwykle 100-150 m, a w przypadku tego projektu długość jednego transektu będzie wynosiła 500 m.
 - c. Metoda punktowa – polega na liczeniu ptaków z określonego miejsca przez 10 minut w promieniu o określonej długości, zwykle do 100-200 m.
 - d. W obu przypadkach dane zapisuje się na przygotowanych wcześniej formularzach.
3. Wybór i charakterystyka powierzchni badawczych
 - a. Przede wszystkim należy zwrócić uwagę na to, by wybrane powierzchnie różniły się tylko stopniem rozczłonkowania (czyli wielkością) pól uprawnych, gdyż to właśnie ona jest tematem badań. Dlatego nie powinno być między nimi różnic np. w obecności zadrzewień, bliskości terenów zabudowanych, ruchliwych dróg itp.
 - b. Kierując się powyższą zasadą, należy wybrać po minimum 30 fragmentów pól uprawnych, w których będzie można zaplanować rozmieszczenie transektów (jeden na fragment) lub punktów (1–2 punkty na fragment). Trzeba pamiętać, aby transekty i punkty było położone tak, by dostęp do nich był łatwy, dlatego na ogół wykorzystuje się do tego celu mało uczęszczane, słabo widoczne polne drogi. Gdyby brakowało naturalnych i trwałych punktów orientacyjnych, do lokalizacji punktów oraz końców transektów należy użyć odbiornika GPS.
 - c. Tak duża liczba powierzchni umożliwi nie tylko porównanie typów terenów uprawnych (uproszczone i urozmaicone), ale także upraw, np. ozimych i jarych, kukurydzy i rzepaku itp.
 - d. Powierzchnie badawcze zostaną scharakteryzowane ilościowo za pomocą narzędzi dostępnych w Geoportalu.
 - e. Wymagany sprzęt i wyposażenie: lornetka, aparat fotograficzny, odbiornik GPS, klucze i przewodniki do oznaczania ptaków.

4. Najlepszy okres do wykonywania badań: okres lęgowy, czyli od kwietnia do maja.
5. Czas potrzebny do wykonania badań:
 - liczenia ptaków najlepiej prowadzić w godzinach porannych (w szczycie aktywności głosowej) czyli od 5.00, a nawet 4.30 (w czerwcu) do około 8.00–9.00, zatem około czterech godzin dziennie.
 - w ciągu jednego poranka można będzie zebrać dane z 6–8 punktów lub transektów, w zależności od odległości między nimi. Zakładając po 30 punktów lub transektów w każdym z dwóch typów krajobrazów, czyli łącznie 60, należy się spodziewać, że można je będzie skontrolować w ciągu maksymalnie 10–12 dni.
 - liczenie ptaków należy przeprowadzić trzykrotnie: w drugiej dekadzie kwietnia, w drugiej dekadzie maja oraz drugiej dekadzie czerwca.

Zastosowana technologia informacyjna

- a. Geoportal:
 - wybór powierzchni badawczych,
 - wyznaczenie punktów lub transektów,
 - sporządzenie charakterystyki powierzchni badawczych.
- b. Arkusz kalkulacyjny MS Excel:
 - utworzenie tabel z danymi,
 - analiza danych,
 - prezentacja wyników.

Najważniejsze osiągnięcia – kompetencje ucznia

- a. Wiedza:
 - poznanie zmienności krajobrazu w zakresie homo- i heterogeniczności oraz technik pomiaru takiej cechy,
 - poznanie znaczenia struktury krajobrazu dla zasiedlających go gatunków ptaków,
 - poznanie zmienności w rozmieszczeniu ptaków w czasie, w ciągu sezonu lęgowego,
 - poznanie awifauny typowej dla terenów uprawnych, rozróżnianie gatunków przelotnych oraz osiadłych,
 - poznanie kilku gatunków roślin uprawnych,
 - poznanie zakresu stosowania i znaczenia Geoportalu,
 - poznanie podstaw, roli i technik statystycznej analizy danych.
- b. Umiejętności:
 - interpretacja ortofotomap,
 - wykorzystanie technik i narzędzi do pomiaru struktury krajobrazu, opartych na pomiarach długości i powierzchni środowisk,
 - sposoby rozpoznawania ptaków (po wyglądzie i głosach),
 - wykorzystywanie arkusza kalkulacyjnego MS Excel do analizy statystycznej (obliczanie średniej arytmetycznej, mediany, odchylenia standardowego, wyznaczanie zależności oraz sporządzanie ich wykresów, testowanie statystyczne różnic i zależności),
 - ćwiczenia w prowadzeniu badań naukowych: formułowania tematu badawczego, stawiania hipotez, weryfikowania prawdziwości hipotez.
- c. Postawa:
 - pogłębienie zrozumienia konsekwencji rozwoju wysokowydajnego, uprzemysłowionego rolnictwa dla przyrody,
 - kształtowanie postawy zrozumienia potrzeby stosowania matematyki jako narzędzia opisu wymiennie środowiska,
 - kształtowanie postawy zrozumienia potrzeby stosowania narzędzi statystycznych jako pozwalających na precyzyjne porozumiewanie się ludzi na temat złożonych zależności, obiektów itp. („liczby lepsze niż słowa”).

PROJEKT: CZY ROZDROBNIEŃ ŚRODOWISK W KRAJOBRAZIE JEST KORZYSTNE DLA RÓŻNORODNOŚCI ROŚLIN? ANALIZA ZNACZENIA EKOTONÓW DLA LICZBY GATUNKÓW ROŚLIN NACZYNIOWYCH

CELE REALIZACJI PROJEKTU

- zdobycie przez ucznia podstawowych informacji o występowaniu i strukturze ekotonów oraz o ich tworzeniu się w krajobrazie w wyniku fragmentacji ekosystemów,
- poznanie znaczenia (pozytywnego i negatywnego) ekotonów dla rozmieszczenia gatunków i różnorodności biologicznej,
- poznanie grupy gatunków roślin charakterystycznych dla ekotonów,
- kształcenie umiejętności obserwacji i wyciągania wniosków na jej podstawie,
- kształcenie odpowiedzialnej postawy wobec środowiska i przyrody,
- kształcenie umiejętności posługiwania się kluczami i atlasami do identyfikacji gatunków,
- kształcenie umiejętności korzystania z publicznych, dostępnych w Internecie zasobów ortofotomap (Geoportal, GoogleMaps),
- kształcenie umiejętności rozpoznawania roślin (obserwacji cech kluczowych),
- kształcenie umiejętności wykorzystywania Excela do analizy danych i prezentacji wyników,
- kształcenie umiejętności rozumienia istoty i etapów prowadzenia badań naukowych.

OPIS ZAGADNIENIA DO REALIZACJI NA LEKCJI I W PROJEKCIE

Wpływ rozmieszczenia poszczególnych elementów krajobrazu (często nazywanego strukturą przestrzenną) na występowanie poszczególnych gatunków organizmów jest jednym z częstszych zagadnień badawczych ekologii krajobrazu. Ważne jest pojęcie ekotonów, czyli stref przejścia między sąsiadującymi ekosystemami. Zauważono już dawno, że jako miejsce styku dwóch, czasem bardzo silnie różniących się ekosystemów (np. lasów i pól uprawnych), ekotony charakteryzują się z jednej strony mieszaniną cech obu tych środowisk, a z drugiej stanowią środowisko o cechach odrębnych od tworzących je ekosystemów. Dzięki temu są miejscem występowania gatunków charakterystycznych dla obu tych ekosystemów, ale także gatunków występujących właśnie tylko w ekotonach. Można to zilustrować na przykładzie ptaków. Jeśli rozpatrujemy ekoton leśno-polny, to w strefie ekotonu znajdziemy zapewne ziembę (*Fringilla coelebs*), która żyje także wewnątrz lasu, ale również i np. ortolana (*Emberiza hortulana*), którego w głębi lasu nie znajdziemy, gdyż do żerowania i gniazdowania wymaga terenów niezadrzewionych. Tym samym ekotony są miejscem lokalnego skupienia gatunków i dlatego często uznaje się je za bogate pod względem przyrodniczym. Jednakże błędem byłoby uznać, że im bardziej „poszatkuje” krajobraz, jednocześnie zwiększając zagęszczenie ekotonów, to tym lepiej dla różnorodności biologicznej. Im więcej ekotonów, tym mniej fragmentów jednolitych pod względem struktury, a to oznacza z kolei zagrożenie dla gatunków wymagających obecności dużych, niepodzielonych fragmentów.

Ekotony mają też znaczenie dla przemieszczania się organizmów, gdyż dla jednych stanowią swoisty korytarz ekologiczny (np. dla roślin światłolubnych jest nim droga działowa w lesie), a dla drugich – barierę przejścia. Pod względem pojemności ekologicznej, czyli liczby nisz ekologicznych gatunków drapieżnych.

Jeszcze jedną ważną cechą ekotonów jest ich pochodzenie. Gdy kształtują się spontanicznie, bez ingerencji człowieka, wówczas granica między ekosystemami jest „rozmyta”, a strefa przejścia z jednego ekosystemu w drugi – szersza. Gdy granica jest wytworem człowieka (np. przez przekształcenie fragmentu lasu w pole uprawne, albo wycięcie w lesie korytarza do budowy sieci przesyłowej itp.), czyli utworzona jest przy ingerencji człowieka, to wówczas jest ona raczej „ostra”, bez szerokiej strefy przejścia. Pod względem pojemności ekologicznej, czyli liczby nisz ekologicznych dogodnych do zasiedlenia ich przez poszczególne gatunki, ekotony pochodzenia naturalnego są znacznie korzystniejsze niż ekotony sztuczne. W tych pierwszych zwykle występuje znacznie więcej gatunków niż w tych drugich.

Podsumujemy: obecność ekotonów faworyzuje jedne gatunki, ale dla innych jest niekorzystna i dlatego ma znaczny wpływ na funkcjonowanie zgrupowań organizmów w krajobrazie, a tym samym na różnorodność biologiczną. By zrozumieć, jaka jest rola ekotonów w krajobrazie, warto teraz sformułować następujące pytania:

1. Ile gatunków występuje w ekotonie w porównaniu z tworzącymi je ekosystemami?
2. W jaki sposób liczba gatunków w ekotonie zależy od różnic między sąsiadującymi ekotonami? Czy im większa różnica, tym więcej jest tam gatunków?
3. Czy gatunki ekotonowe mają jakieś biologiczne cechy wspólne?

MATERIAŁY GRAFICZNE DO REALIZACJI NA LEKCJI I W PROJEKCIE

Fotografie

Zdjęcia różnych typów ekotonów (dostępne w Internecie lub własne, wykonane przez nauczyciela lub uczniów).

Ryciny

Ryciny pokazujące liczbę gatunków lub skład gatunkowy w ekosystemach sąsiadujących ze sobą i w ekotonach, np:

<http://www.expertsmind.com/questions/characteristic-of-ecotone-30128822.aspx>

MATERIAŁY POMOCNICZE DO REALIZACJI TEMATU NA LEKCJI I W PROJEKCIE

Strony internetowe

<http://en.wikipedia.org/wiki/Ecotone>

http://www.pol.j.ecol.cbe-pan.pl/article/ar53_3_07.pdf

http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-204X2009000800018

Literatura

KREBS C.J. (2011): Ekologia: eksperymentalna analiza rozmieszczenia i liczebności. Ss. 680. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa.

RICHLING A. SOLON J. (2011): Ekologia krajobrazu. Ss. 464. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa.

PIETRZAK M. (2010): Podstawy i zastosowania ekologii krajobrazu. Ss. 161. PWSZ, Leszno.

MAZUR S. (2001): Wpływ zróżnicowania gatunkowego i szerokości ekotonu polno-leśnego na zgrupowania mrówek epigeicznych. Sylwan 145 (4): 33-41.

OPIS PROJEKTU

Wprowadzenie

Celem projektu lub projektów badawczych jest sprawdzenie przez uczniów na podstawie badań terenowych, jak obecność ekotonów wpływa na rozmieszczenie organizmów, ich skład gatunkowy oraz liczebność. Tu proponujemy badania nad roślinami, ale możliwe jest także objęcie nimi zwierząt lub grzybów, które jednak – ze względu na trudniejsze oznaczanie gatunków i efemeryczność* pojawów owocników – wymagałyby znacznie więcej zaangażowania i czasu.

Problem badawczy

Jak obecność styków ekosystemów (czyli ekotonów) wpływa na bogactwo gatunkowe roślin?

Przykładowe wyniki wcześniejszych badań

ORCZEWSKA A., GLISTA A. (2005): Floristic analysis of the two woodland-meadow ecotones differing in orientation of the forest edge. Polish Journal of Ecology 53 (3): 365-382.

Zastosowane metody badawcze

1. Istota projektu badawczego: porównanie bogactwa gatunkowego roślin w wybranych rodzajach ekotonów. Polegać to będzie na wyborze pary sąsiadujących ze sobą ekosystemów (np. lasu i łąk, lasu i pól, zbiornika wodnego i łąk itp.) i na sprawdzeniu liczby gatunków występujących w tych ekosystemach i w ekotonie między nimi.
 - a. Wariant podstawowy może objąć tylko ekotony prostsze (np. pole uprawne – las) i mniejszą liczbę ich rodzajów (1–2) oraz objąć grupy roślin łatwiejsze do oznaczania (np. tylko dwuliścienne), badane tylko w szczycie kwitnienia roślin, czyli np. w na początku maja, w czerwcu i lipcu.

- b. Wariant rozszerzony powinien objąć ekotony antropogeniczne i naturalne, większą liczbę ich rodzajów (np. 5–6) oraz całość roślin naczyniowych, czyli włącznie z paprotnikami i roślinami jednoliściennymi, a także cały sezon wegetacyjny, czyli od marca lub kwietnia do sierpnia.
2. Wybór powierzchni badawczych
 - a. Wybór miejsca do pobierania badań będzie się odbywał dwustopniowo. Po pierwsze należy zdecydować, jaki typ ekotonu będzie objęty badaniami. Następnie na podstawie map drukowanych (topograficznych) lub map zamieszczonych w Internecie znaleźć miejsca, które by ten wymóg spełniały. Ważne jest, by nie dobierać tych miejsc na podstawie oceny wizualnej, gdyż to nie spełnia wymogu losowego doboru prób. Następnie w wybranym fragmencie należy wylosować minimum pięć (ale im więcej, tym lepiej) miejsc, w których prostopadłe do granicy powierzchni zostanie poprowadzony transekt, na którym będzie zbierany materiał badawczy (rośliny).
 - b. Każdy transekt powinien mieć 40 m długości i 2 m szerokości, a jego środek powinien znajdować się na granicy między dwoma ekosystemami lub mniej więcej na środku strefy ekotonowej w przypadku znacznej jej szerokości (kilku lub kilkunastu metrów). Trzeba go podzielić na dwumetrowe odcinki, co pozwoli notować występowanie roślin w kolejnych kwadratach o boku 2x2 m.
 - c. Ważne, by tak zaplanować badania, by w przypadku każdego rodzaju ekotonu, był on reprezentowany przez co najmniej pięć transektów.
 - d. Ważne jest dobre oznakowanie transektów i kwadratów w ich obrębie, by powtarzane badania dotyczyły tych samych miejsc. Zatem konieczne będzie zastosowanie palików, sznurka z węzłami co 2 m itp. Uwaga: do tego celu nie nadają się odbiorniki GPS, gdyż ich błąd pomiarowy jest zbyt duży.
 3. Metodyka badań bogactwa gatunkowego roślin
 - a. Uczeń przegląda ustalone transekty kwadrat po kwadracie, notując i zbierając materiał roślinny potrzebny do oznaczenia gatunku do kopert lub rozpoznając gatunki w terenie.
 - b. Przydatne będzie fotografowanie roślin lub ich najważniejszych fragmentów (kwiatostanów, pojedynczych kwiatów, liści itp.).
 - c. Zebrany materiał (wraz z dokumentacją zdjęciową) posłuży do oznaczania gatunków, a ostatecznie do wyznaczenia: całkowitej liczby gatunków na transekcie, w ekosystemach i ekotonie oraz składu gatunkowego roślin. Zebranie danych z wielu kwadratów i z co najmniej pięciu transektów pozwoli na zweryfikowanie znalezionych różnic metodami statystycznymi.
 - d. Najlepszy okres do wykonywania badań to czas rozwoju ulistnienia, kwitnienia i owocowania roślin, czyli od kwietnia (ewentualnie marca, w przypadku łagodnej zimy i ciepłej wiosny) do sierpnia.
 4. Czas potrzebny do wykonania badań:
 - a. Jest zależny od bogactwa gatunkowego roślin, ale można się spodziewać, że kontrola całego transektu, zbiór roślin i wykonanie dokumentacji fotograficznej zajmie kilka godzin. Czas poświęcony na oznaczanie roślin zależy od umiejętności i wiedzy ucznia.
 - b. W przypadku wariantu podstawowego można analizować wyniki jednej kontroli (np. z czerwca) ale lepiej dwóch (w zależności od wybranych ekosystemów np. w przypadku łąki i łąki – początek maja i lipiec), natomiast wariant zaawansowany wymaga jednej wizyty w miesiącu.
 5. Wymagany sprzęt i wyposażenie: binokular, aparat fotograficzny, lupy, teczki zielnikowe, pęsety, szalki Petriego, igły preparacyjne, przewodniki/kłucze/atlas do oznaczania roślin.

Zastosowana technologia informacyjna

- a. Geoportal:
 - interpretacja ortofotomap,
 - użycie i wybór map internetowych,
 - wykorzystywanie narzędzi do pomiaru długości,

- b, Arkusz kalkulacyjny MS Excel:
- tworzenie tabel z danymi,
 - wyznaczenie zależności między liczbą gatunków a długością transektu oraz sporządzenie wykresów,
 - obliczenie średniej i mediany liczby gatunków krzewów w płatach leśnych wraz z miarą rozrzutu obserwacji, czyli odchylenia standardowego.

Najważniejsze osiągnięcia – kompetencje ucznia

- a. Wiedza:
- poznanie pojęcia „ekoton” oraz jego znaczenia dla różnorodności biologicznej,
 - poznanie zakresu stosowania i znaczenia Geoportalu,
 - poznanie części flory Polski,
 - poznanie podstaw, sensu i kilku elementarnych technik statystycznej analizy danych,
 - poznanie podstawowych „kroków” w konstruowaniu projektu badawczego.
- b) Umiejętności:
- interpretacja ortofotomap,
 - wykorzystanie prostych narzędzi do pomiaru struktury krajobrazu, opartych na pomiarach długości i powierzchni środowisk,
 - wykorzystywanie map topograficznych,
 - świadome prowadzenie obserwacji roślin pod względem uzyskania informacji potrzebnych do określenia gatunku,
 - wykorzystywanie klucza/atlasu/przewodnika do oznaczania gatunków roślin,
 - wykorzystywanie „ręcznych” ustawień aparatu fotograficznego dla osiągnięcia optymalnego rezultatu przy fotografowaniu,
 - przygotowanie dokumentacyjnego materiału zielnikowego,
 - umiejętność posługiwania się binokulem do obserwacji określonych cech diagnostycznych roślin,
 - planowanie i realizacja samodzielnych kontroli terenowych,
 - wykorzystywanie arkusza kalkulacyjnego MS Excel do analizy statystycznej (obliczanie średniej arytmetycznej, mediany, odchylenia standardowego, wyznaczanie zależności oraz sporządzanie ich wykresów).
- c. Postawa:
- pogłębienie i skonkretyzowanie zrozumienia konsekwencji oddziaływania rozwoju cywilizacyjnego (przekształcania krajobrazu) na przyrodę,
 - zrozumienie konsekwencji decyzji „zwykłego obywatela” na oddziaływanie ogólnoprzyrodnicze – kształtowanie postawy odpowiedzialności za rozwój zrównoważony,
 - zrozumienie potrzeby planowania przestrzennego dla celów ochrony przyrody,
 - kształtowanie postawy krytycznej wobec poglądów na temat świata, czyli „wierz danym, a nie autorytetom”,
 - kształtowanie pozytywnego stosunku do matematyki, jako narzędzia opisującego konkretne cechy otaczającego nas świata,
 - kształtowanie postawy aprobaty wobec narzędzi statystycznych, jako pozwalających na precyzyjne porozumiewanie się ludzi na temat złożonych zależności, obiektów itp. („liczby lepsze niż słowa”).

PROJEKT: JAK INWAZJE OBCYCH GATUNKÓW ROŚLIN WPŁYWAJĄ NA BIORÓŻNORODNOŚĆ?

CELE REALIZOWANEGO PROJEKTU

- ocena wpływu inwazji obcych gatunków roślin na bioróżnorodność w ekosystemie,
- poznanie inwazyjnych gatunków roślin, groźnych dla bioróżnorodności, ich historii i pochodzenia,
- ocena wartości przyrodniczej wybranych gatunków roślin na badanym terenie,
- zdobycie wiedzy na temat geograficzno-historycznych grup roślin tworzących florę Polski.

OPIS ZAGADNIENIA DO REALIZACJI NA LEKCJI I W PROJEKCIE

Inwazje są skutkiem masowego w naszych czasach przenoszenia i zawlekania obcych gatunków poza ich naturalne zasięgi. Są szkodliwe dla rodzimej różnorodności biologicznej, gospodarki i komfortu życia ludzi. Należą do najpoważniejszych problemów współczesnej ochrony przyrody i są uznawane za jedno z największych zagrożeń dla bioróżnorodności. Problem gatunków obcych pojawia się od dawna w dokumentach międzynarodowych konwencji, dyrektywach europejskich, a także w polskich aktach prawnych. W Rozporządzeniu Ministra Środowiska z 9 września 2011 roku opublikowana została lista 66 obcych gatunków roślin i zwierząt, które w przypadku uwolnienia do środowiska przyrodniczego mogą zagrozić gatunkom rodzimym* lub siedliskom przyrodniczym w Polsce. Na całym świecie na zwalczanie inwazji przeznaczane są olbrzymie nakłady finansowe.

Antropogeniczne przemiany środowiska wpływają na florę, powodując wymieranie gatunków rodzimych (miejscowych), a z drugiej strony wywołując ekspansję gatunków obcych (antropofitów*). Gatunki te mogą zupełnie zmieniać ekosystemy, doprowadzać do całkowitej eliminacji gatunków rodzimych i powstawania zupełnie nowych, obcych zespołów roślin. W skali globalnej może to doprowadzić do ujednoczenia i braku zróżnicowania pomiędzy biocenozami, gdyż te same gatunki atakują odległe regiony geograficzne.

Nie wszystkie gatunki obce są niebezpieczne. We florze Polski od dawna obecne są obce gatunki z grupy archeofitów*. Większość z nich to chwasty związane z roślinami uprawnymi, które razem z nimi pojawiły się już setki lat temu. Nie stanowią zagrożenia dla naszej flory, a niektóre nawet są obecnie zamieszczane na czerwonych listach jako gatunki wymierające. Groźne gatunki należą do grupy określanej w Polsce jako kenofity*. Przybyły one na nasze tereny z różnych stron świata, po okresie odkryć geograficznych. Tylko 10% spośród nich, po zdomowieniu się na nowym obszarze, wykazuje właściwości inwazyjne. Trudno jest jednak przewidzieć, czy nowy przybysz stanie się gatunkiem inwazyjnym czy nie, i dlatego każdy z nich w chwili pojawienia się stanowi potencjalne zagrożenie dla miejscowej flory. W polskiej florze znanych jest około 30 kenofitów* inwazyjnych.

Ogólna definicja gatunków inwazyjnych przyjęta w dokumentach UE mówi, że są to gatunki, których wprowadzenie do środowiska lub rozprzestrzenienie się może zagrażać różnorodności biologicznej lub pociąga za sobą inne nieprzewidziane konsekwencje. Oddziałują one negatywnie poprzez konkurencję, drapieżnictwo lub przekazywanie patogenów oraz zakłócanie funkcjonowania ekosystemów. Wydają liczne potomstwo rozprzestrzeniające się na duże odległości.

Obce, inwazyjne gatunki (IAS – Invasive Alien Species) wnikają gwałtownie do ekosystemów naturalnych i eliminują z nich gatunki rodzime. Zmieniają charakter zastanego środowiska (transformers – gatunki przekształcające), zagrażając rodzimym układom biologicznym i poprzez zmiany siedliska obniżają różnorodność gatunkową nie tylko roślin, ale także wszystkich innych organizmów żywych. Powodują straty bioróżnorodności w skali całych krajobrazów, szczególnie rolniczych, gdyż, wkraczając do najbardziej wrażliwych ekosystemów (tereny podmokłe, zbiorniki wodne i ich otoczenie), są powodem wymierania najrzadszych gatunków (w Polsce aż 50% gatunków roślin z czerwonych list to gatunki związane z obszarami podmokłymi).

W krajobrazach rolniczych, zdominowanych przez pola uprawne, wodne i bagienne ekosystemy zajmują niewielkie powierzchnie. Pomimo tego mają ogromne znaczenie w podnoszeniu bioróżnorodności całego krajobrazu. W wielu przypadkach są na tych terenach jedynymi miejscami z zachowanymi fragmentami naturalnej szaty roślinnej, która składa się prawie wyłącznie z gatunków rodzimych. Ich obecność wzbogaca krajobraz rolniczy w gatunki roślin nie występujące na terenach zamienionych w pola uprawne. Ochrona tych ekosystemów przed inwazjami obcych gatunków jest konieczna dla zachowania wysokiej bioróżnorodności w całym krajobrazie.

Systematyczny monitoring rozmieszczenia i stanu populacji, zawleczonych lub celowo wprowadzanych obcych gatunków roślin, pomaga ocenić charakter i stopień zagrożenia i tym samym umożliwia podjęcie racjonalnych działań zapobiegających lub ograniczających inwazje.

MATERIAŁY POMOCCNICZE DO REALIZACJI TEMATU NA LEKCJI I W PROJEKCIE

Strony internetowe

http://bip.gdos.gov.pl/doc/ftp/2013/Rosliny_obcego_pochodzenia_w_PL_poprawione.pdf

<http://bip.gdos.gov.pl/doc/ftp/2012/8.pdf>

<http://www.iop.krakow.pl/ias>
<http://www.europe-aliens.org/>
<http://www.europe-aliens.org/speciesTheWorst.do>
<http://www.issg.org/database/welcome/>

Literatura

- DAJDOK Z., PAWLACZYK P. (red.) (2009): Inwazyjne gatunki roślin ekosystemów mokradłowych Polski. Ss. 167. Wydawnictwo Klubu Przyrodników, Świebodzin.
- RUTKOWSKI L. (2004): Klucz do oznaczania roślin naczyniowych Polski niżowej. Ss. 814. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa.
- SUDNIK-WOJCIECHOWSKA B. (2011): Flora Polski. Rośliny synantropijne. Ss. 336. Multico Oficyna Wydawnicza, Warszawa.
- TOKARSKA-GUZIŁ B., DAJDOK Z., ZAJĄC M., URBISZ A., DANIELEWICZ W. (2011): Identyfikacja i kategoryzacja roślin obcego pochodzenia jako podstawa działań praktycznych. W: Z. Kaćki, E. Stefańska-Krzaczek (red.), Synantropizacja w dobie zmian różnorodności biologicznej. Acta Botanica Silesiaca 6: 23-53.
- ZAJĄC A., ZAJĄC M. (red.) (2001): Atlas rozmieszczenia roślin naczyniowych w Polsce. Ss. 714. Pracownia Chorologii Komputerowej Instytutu Botaniki Uniwersytetu Jagiellońskiego i Fundacja dla Uniwersytetu Jagiellońskiego, Kraków.

OPIS PROJEKTU

Wariant podstawowy

Problem badawczy

Drzewa i krzewy w naszej okolicy. Skąd pochodzą i kiedy przybyły?

Po zapoznaniu się z problemem na lekcji w szkole (bioróżnorodność a gatunki inwazyjne, grupy geograficzno-historyczne roślin w florze Polski, znajomość najbardziej niebezpiecznych gatunków obcych), uczniowie przeprowadzą obserwacje na wybranym obszarze zadrzewionym. Może to być park, teren osiedla mieszkaniowego, pobliski las, cmentarz, przydroże itp.

Zadanie będzie polegało na spisaniu wszystkich występujących tam gatunków drzew i krzewów (gatunki nieznanne mogą być zidentyfikowane za pomocą ilustracji w atlasach, które uczniowie zabiorą ze sobą w teren). W trakcie badań należy prowadzić ich dokumentację fotograficzną.

Druga część zadania to rejestracja stanowisk inwazyjnych gatunków drzew i krzewów przy użyciu odbiorników GPS. Z uwagi na czasowe ograniczenie możliwości realizowania projektu, w zależności od wielkości badanego terenu można do tej części wybrać jeden gatunek lub poszerzyć zajęcia o obce gatunki często występujące na badanym obszarze, które nie są wymienione w spisie roślin zalecanych do obserwacji, zamieszczonym poniżej.

Lista gatunków zarejestrowanych w terenie zostanie poddana analizie geograficzno-historycznej na lekcji w szkole. Dzięki temu uczniowie zdobędą wiedzę na temat pochodzenia drzew i krzewów składających się na florę zamieszkiwanych przez nich terenów. Ponadto na mapach zostaną zaznaczone stanowiska roślin inwazyjnych. Mapy osobne dla każdego gatunku, mogą być uzupełniane w następnych latach przez kolejne roczniki uczniów. W rezultacie powstanie atlas rozmieszczenia stanowisk inwazyjnych gatunków drzew i krzewów w całej okolicy (mieście). Kontrola tych stanowisk przez kolejne grupy uczniów pozwoli ocenić, jakie są tendencje dynamiczne śledzonych przez nich gatunków i jakie zmiany zachodzą we florze badanego obszaru.

Wariant rozszerzony

Problem badawczy

Flora* naszej okolicy. Skąd pochodzi i jaka jest jej historia?

Zadanie jest poszerzone w stosunku do wariantu podstawowego o badania obcych gatunków roślin zielnych. Po zdobyciu podstawowych wiadomości dotyczących problemu na lekcjach w szkole (bioróżnorodność a gatunki inwazyjne, grupy geograficzno-historyczne roślin w florze Polski, znajomość najbardziej niebezpiecznych gatunków obcych), uczniowie przeprowadzą obserwacje na wybranym obszarze. Może to być park, teren osiedla mieszkaniowego, pobliski las, cmentarz, przydroże itp. Zadanie będzie polegało na spisaniu wszystkich występujących tam gatunków drzew i krzewów oraz roślin zielnych. Gatunki, których nie uda się zidentyfikować na miejscu (możliwe użycie atlasów

z ilustracjami) trzeba zebrać w całości (razem z kwiatostanem, łodygą, liśćmi odziomkowymi i częścią podziemną) do woreczków foliowych i po przechowaniu w lodówce (czas przechowywania w lodówce nie dłuższy niż 3 dni) lub w zielniku, oznaczyć na lekcji. Pomocna może być dokumentacja fotograficzna, którą należy prowadzić w trakcie badań w terenie.

Druga część zadania to rejestracja stanowisk gatunków inwazyjnych przy użyciu odbiorników GPS. Z uwagi na czasowe ograniczenie możliwości realizowania projektu, w zależności od wielkości badanego terenu można ograniczyć tę część do gatunków roślin łatwych do rozpoznania w terenie, wybranych ze spisu zamieszczonego poniżej.

Lista gatunków zostanie zanalizowana na lekcji w szkole. Należy ocenić częstość występowania każdego notowanego gatunku we florze Polski (na podstawie informacji w atlasach i kluczach do oznaczania roślin) oraz przynależność do grup geograficzno-historycznych (informacje można zdobyć, korzystając z linków zamieszczonych w załączniku 2). Dzięki temu uczniowie zdobędą wiedzę na temat walorów flory (decyduje o niej udział rzadkich we florze Polski lub regionu gatunków rodzimych i archeofitów) oraz pochodzenia gatunków roślin składających się na florę zamieszkiwanych przez nich terenów. Ponadto na mapach zostaną zaznaczone stanowiska roślin inwazyjnych (na podstawie zapisów GPS). Mapy osobne dla każdego gatunku, mogą być uzupełniane w następnych latach przez kolejne roczniki uczniów, prowadzących obserwacje na nowych obszarach. Powstaną w ten sposób mapy rozmieszczenia stanowisk inwazyjnych gatunków drzew i krzewów oraz roślin zielnych w całej okolicy (mieście). Kontrola stanowisk już istniejących przez kolejne grupy uczniów pozwoli ocenić, jakie są tendencje dynamiczne śledzonych przez nich gatunków i jakie zmiany zachodzą we florze badanego obszaru.

Problem badawczy: Obcy na brzegu wody

Celem projektu jest sprawdzenie przez uczniów, na podstawie badań terenowych, jak inwazja* gatunków roślin obcych wpływa na bioróżnorodność w ekosystemie (przede wszystkim na liczbę gatunków i skład gatunkowy roślin). Zadanie będzie realizowane poprzez porównanie powierzchni badawczych opanowanych przez gatunki roślin inwazyjnych z powierzchniami wolnymi od tych gatunków, znajdującymi się w pobliżu, najlepiej w tym samym kompleksie przyrodniczym.

Badania najlepiej przeprowadzić w zbiorowiskach roślin związanych z ciekami wodnymi lub stawami. Są to zwykle szuwały* oraz rzadko nadrzeczne lasy łęgowe – na obszarach rolniczych, często jedyne zbiorowiska o naturalnym charakterze, składające się prawie wyłącznie z rodzimych gatunków. Niektóre z nich są identyfikatorami siedlisk chronionych Dyrektywą siedliskową NATURA 2000*.

Na wybranym odcinku brzegu rzeki (np. długości 1 km) lub na całym brzegu stawu przy użyciu odbiornika GPS należy zarejestrować wszystkie stanowiska inwazyjnych gatunków roślin i określić rozmiary tworzonych przez nie płatów. Do szczegółowych badań trzeba wybrać dwie powierzchnie badawcze o równej wielkości – jedną zdominowaną przez roślinę inwazyjną i drugą zajmowaną przez zbiorowisko bez jej udziału. Uczniowie mają za zadanie uzyskać listę wszystkich tworzących płat gatunków i określić ich procentowy udział w zbiorowisku (% pokrycia powierzchni płatu przez każdy gatunek). Gatunki, których nie uda się zidentyfikować na miejscu (możliwe użycie atlasów z ilustracjami), trzeba zebrać w całości (razem z kwiatostanem, łodygą, jeśli to możliwe z liśćmi odziomkowymi i częścią podziemną) do woreczków foliowych i po przechowaniu w lodówce (czas przechowywania w lodówce nie powinien przekroczyć 3 dni) lub w zielniku, oznaczyć na lekcji. Pomocna może być dokumentacja fotograficzna, którą należy prowadzić w trakcie badań w terenie.

Lista gatunków zostanie poddana analizie na lekcji w szkole. Należy ocenić różnice pomiędzy badanymi powierzchniami w liczbie gatunków roślin, procentowym pokryciu przez poszczególne gatunki, wartości przyrodniczej gatunków oraz w przynależności do grup geograficzno-historycznych. Wartość przyrodniczą każdego notowanego gatunku dla flory Polski trzeba ustalić na podstawie informacji o częstości ich występowania zawartych na czerwonych listach, w atlasach i kluczach do oznaczania roślin. Informacje o grupach geograficzno-historycznych można zdobyć korzystając z linków zamieszczonych wyżej. Dzięki analizie uczniowie zdobędą wiedzę na temat walorów flory (decyduje o niej udział rzadkich i zagrożonych we florze Polski lub regionu gatunków rodzimych oraz archeofitów), a także na temat pochodzenia i historii gatunków roślin składających się na florę zamieszkiwanych przez nich terenów. Porównanie wszystkich danych z dwóch powierzchni badawczych pozwoli uczniom ustalić, jak inwazyjne gatunki roślin wpływają na różnorodność roślin na poziomie zbiorowiska roślinnego, a także całego krajobrazu (o zmniejszeniu różnorodności na poziomie krajobrazu

świadczy ubywanie rodzimych gatunków i gatunków określonych, z powodu rzadkości występowania we florze Polski lub lokalnie, jako cenne przyrodniczo).

Ponadto na mapach zostaną zaznaczone stanowiska roślin inwazyjnych (na podstawie zapisów GPS). Mapy, osobne dla każdego gatunku, mogą być uzupełniane w następnych latach przez kolejne roczniki uczniów, prowadzących obserwacje na tych samych i nowych obszarach. Powstaną w ten sposób mapy rozmieszczenia stanowisk inwazyjnych gatunków roślin w ekosystemach wodnych i przybrzeżnych całej okolicy. Kontrola stanowisk już istniejących przez kolejne grupy uczniów pozwoli ocenić, jakie są tendencje dynamiczne śledzonych przez nich gatunków i jakie zmiany zachodzą we florze badanego obszaru.

Lista gatunków inwazyjnych łatwych do rozpoznania przez uczniów

Wymienione niżej gatunki stanowią zagrożenie dla bioróżnorodności w skali całego kraju. Są zalecane do objęcia badaniami w ramach projektu. O wyborze gatunków decydują uwarunkowania lokalne (można wybrać jeden lub kilka spośród nich w zależności od jego dostępności w najbliższej okolicy, lub uzupełnić tę listę o inne obce gatunki roślin, które często występują na badanym terenie).

Drzewa i krzewy

- klon jesionolistny (*Acer negundo*),
- jesion pensylwański (*Fraxinus pennsylvanica*),
- czeremcha amerykańska (*Padus serotina*, *Prunus serotina*),
- dąb czerwony (*Quercus rubra*),
- robinia akacjowa, grochodrzew (*Robinia pseudoacacia*).

Rośliny zielne

- barszcz Sosnowskiego (*Heracleum sosnowskyi*) – roślina niebezpieczna dla zdrowia człowieka (w przypadku bezpośredniego kontaktu). Badania należy ograniczyć do zapisu GPS. Nie można wybierać jej do szczegółowych badań w problemie badawczym „Obcy na brzegu wody”
- kolczurka klapowana (*Echinocystis lobata*)
- niecierpek gruczołowaty (*Impatiens glandulifera*)
- niecierpek drobnokwiatowy (*Impatiens parviflora*)
- rdestowiec japoński (*Reynoutria japonica*) i inne gatunki rdestowców
- szarłat szorstki (*Amaranthus retroflexus*)
- uczepek amerykański (*Bidens frondosa* = *B. melanocarpus*)
- konyza kanadyjska, przymiotno kanadyjskie (*Conyza canadensis*, *Erigeron canadensis*)
- moczarka kanadyjska (*Eloдея canadensis*)
- żóltlica owłosiona, żóltlica włochata (*Galinsoga ciliata*, *Galinsoga quadriradiata*)
- żóltlica drobnokwiatowa (*Galinsoga parviflora*)
- słonecznik bulwiasty, topinambur (*Helianthus tuberosus*)
- szczawik żółty (*Oxalis fontana*, *O. stricta*)
- nawłoc kanadyjska (*Solidago canadensis*)
- nawłoc późna, nawłoc olbrzymia (*Solidago gigantea*, *S. serotina*)
- rzepień włoski (*Xanthium albinum*, *X. riparium*)

Zastosowane metody badawcze

1. Metodyka badań
 - a. spisy gatunków roślin wykonane w terenie (z zaznaczeniem procentowego udziału w zbiorowisku w przypadku wariantu dla uczniów szczególnie zainteresowanych problemem),
 - b. analiza spisów – wyodrębnienie geograficzno-historycznych grup (i innych w wariantach dla uczniów zainteresowanych).
2. Wybór obszaru badań: pobliski zadrzewiony obszar (wariant dla całej klasy), ciek wodny lub staw (dla uczniów zainteresowanych).
3. Wymagany sprzęt pomiarowy: aparaty GPS.
4. Najlepszy okres do wykonywania badań: zależnie od wegetacji roślin od maja do końca czerwca lub wrzesień i pierwsza dekada października.

5. Czas potrzebny do wykonania zadań: 6 godzin w wariantach dla całej klasy (1 godzina lekcyjna na wprowadzenie w zagadnienie, 2 godziny na badania terenowe, 3 godziny na opracowanie wyników badań i sporządzenie map rozmieszczenia gatunków); 12 godzin dla wariantów 2 i 3 (2 godziny na wprowadzenie w zagadnienie, 6 godzin na badania terenowe, 4 godziny na opracowanie wyników badań i sporządzenie map rozmieszczenia gatunków).
6. Forma pracy: grupowa, grupy 4–5 osobowe.
7. Sprzęt i materiały: przewodniki do oznaczania roślin, binokulary, aparaty fotograficzne, aparaty GPS, notesy, teczki zielnikowe, woreczki do roślin, igły preparacyjne.

Zastosowana technologia informacyjna

Tworzenie map cyfrowych.

Arkusz kalkulacyjny MS Excel.

Najważniejsze osiągnięcia – kompetencje ucznia

a. Wiedza:

- poznanie mechanizmów inwazji,
- zapoznanie się z roślinami inwazyjnymi zagrażającymi bioróżnorodności w skali całego świata, Europy, Polski oraz na terenie w pobliżu miejsca zamieszkania,
- poznanie składników flory Polski oraz obszarów bliskich miejscu zamieszkania, ich wartości przyrodniczej, pochodzenia i historii.

b. Umiejętności:

- rozpoznawanie gatunków roślin oraz ich oznaczanie,
- posługiwanie się kluczami do oznaczania roślin,
- korzystanie z danych zawartych w literaturze,
- posługiwanie się i wykorzystywanie informacji uzyskanych przy użyciu aparatów GPS i przedstawianie ich na mapie.

c. Postawa:

- Zrozumienie znaczenia ochrony rodzimej flory dla bioróżnorodności i konieczności zwalczania obcych gatunków roślin w przypadku zawleczenia do naturalnych ekosystemów.

PROJEKT: MOTYLE JAKO WSKAŹNIK JAKOŚCI KRAJOBRAZU

CELE REALIZACJI PROJEKTU

- zapoznanie ucznia z metodami prowadzenia badań naukowych nad motylami dziennymi* w terenie,
- nabycie umiejętności rozpoznawania motyli dziennych,
- określenie wpływu różnicowania struktury krajobrazu na różnorodność i liczebność motyli dziennych.

OPIS ZAGADNIENIA DO REALIZACJI NA LEKCJI I W PROJEKCIE

Zasadniczym środowiskiem występowania motyli dziennych są lasy i łąki. W wyniku gospodarki człowieka doszło do fragmentacji tych dwóch środowisk i powstania środowisk stanowiących mozaikę tych dwóch typów środowisk i pól uprawnych, bądź do całkowitej ich eliminacji. W przypadkach skrajnych gospodarka człowieka zmierza do powstania bardzo ubogich środowisk np. wielkoarealowych pól uprawnych, które wywierają niekorzystny wpływ na występowanie motyli dziennych. Wiele gatunków przypisywanych do motyli leśnych, chętnie zasiedla antropogeniczne zadrzewienia śródpolne, które powiększają ich areał życiowy. Szczególnie cenny dla motyli dziennych na terenach rolnych stał się zatem krajobraz urozmaicony, charakteryzujący się bogatą, mozaikową strukturą. Obecność zadrzewień lub innych środowisk półnaturalnych i pozostałości środo-

wisk naturalnych wyraźnie poprawia ich warunki życiowe. Dostarczają one pożywienia postaciom larwalnym, a motyloom dorosłym – nektar. Ponadto środowiska te fizycznie chronią motyle przed wiatrem, który mógłby je porwać na mniej sprzyjające tereny, a motyloom leśnym zapewniają cień.

Celem projektu jest uzyskanie odpowiedzi na pytanie, jaka struktura krajobrazu wpływa najkorzystniej na liczebność i różnorodność motyli dziennych.

MATERIAŁY GRAFICZNE DO REALIZACJI NA LEKCJI I W PROJEKCIE

Tabele

Przykładowe wyniki badań nad liczebnością i różnorodnością motyli dziennych różnych typów środowisk, np. ARTEMIUK i in. (2001), s. 247-259.

Ryciny

Dowolne przykłady ortofotomap terenów rolniczych (www.geoportal.gov.pl):

- wykresy, tabele, mapy przedstawiające liczebności i różnorodność motyli dziennych w zależności od struktury krajobrazu, np. FLICK i in. (2012), s. 125, 129, 130),
- wykresy przedstawiające liczebność motyli dziennych zależnie od struktury wiekowej zadrzewień, np. SOBCZYK (2004), s. 451.

MATERIAŁY POMOCNICZE DO REALIZACJI TEMATU NA LEKCJI I W PROJEKCIE

Strony internetowe

<http://pl.wikipedia.org/wiki/Motyle>
<https://pl.wikipedia.org/wiki/Motyle#Bibliografia>
<http://www.motyle.com.pl/text4.htm>
www.lepidoptera.pl

Literatura

- Artemiuk A., Łopucki R. (2011): Fauna motyli dziennych (Lepidoptera: Rhopalocera) zbiorowisk łąkowych Obwodu Ochronnego Huta Krempeńska w Magurskim Parku Narodowym. *Roczniki Bieszczadzkie* 19: 247-259.
- POLLARD E. (1977): A method for assessing changes in the abundance of butterflies. *Biol. Conserv.* 12: 115-134.
- SOBCZYK D. (2004): Butterflies (Lepidoptera) of young midfield shelterbelts. *Polish Journal of Ecology* 52 (4): 449-453.
- FLICK T., FEAGAN S., FAHRIG L. (2012): Effects of landscape structure on butterfly species richness and abundance in agricultural landscapes in eastern Ontario, Canada. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 156: 123-133.

OPIS PROJEKTU

Wprowadzenie

Struktura krajobrazu wywiera wpływ na liczebność i różnorodność różnych grup zwierząt. Ostatnio coraz popularniejsze stają się badania różnych środowisk z uwzględnieniem motyli dziennych, traktowanych często jako wskaźnik jakości środowisk lub krajobrazu. Celem projektu jest sprawdzenie wpływu struktury krajobrazu na różnorodność gatunkową i zagęszczenie motyli dziennych.

Problem badawczy

Jaki typ krajobrazu preferują motyle dzienne?

Wyznacznikiem jakości krajobrazu będzie liczebność i różnorodność motyli dziennych. Krajobraz urozmaicony jest miejscem występowania większej liczby motyli niż uproszczony, np. w zadrzewieniach, będących elementem urozmaiconego krajobrazu rolniczego mogą żyć pospolite motyle leśne.

Badania będzie można prowadzić w dwóch wariantach różniących się według następujących kryteriów:

1. Źródło danych: zarówno w wersji „łatwiejszej” i „trudniejszej” będą prowadzone bezpośrednie obserwacje terenowe.
2. Długość i częstotliwość prowadzenia obserwacji terenowych: w wersji łatwiejszej raz na dwa tygodnie w godzinach 10.00–16.00, a w wersji trudniejszej raz w tygodniu w tych samych

godzinach. Przy wyborze transektów należy mierzyć siły na zamiary, aby uniknąć sytuacji, w których nie zdołamy wykonać liczeń wszystkich transektów w ciągu 3–4 dni terenowych, np. ze względu na zbyt duży teren. Poważnym utrudnieniem mogą być niekorzystne warunki pogodowe, deszcz lub zbyt silny wiatr. W czerwcu część obserwacji można prowadzić w weekendy, a pozostałe w dni robocze, np. po wcześniejszym zakończeniu zajęć szkolnych. Liczba wytypowanych transektów w wersji łatwiejszej wynosi łącznie ok. 4 km, a w wariantcie trudniejszym łącznie 6 km. Przy wyborze powierzchni badawczych istotny może być stopień zróżnicowania krajobrazu na poszczególnych transektach od skrajnie uproszczonych do najbardziej urozmaiconych.

Przykładowe wyniki badań z tego zakresu

FLICK i in. (2012): Effects of landscape structure on butterfly species richness and abundance in agricultural landscapes in eastern Ontario, Canada, *Agric. Ecos. Envir.* 156: 123-133. W opracowaniu tym pokazano, że na powierzchniach krajobrazowych z bogatszym udziałem siedlisk naturalnych różnorodność motyli dziennych była większa. W artykule tym można znaleźć bardziej szczegółowe dane na ten temat, jak również szeroki wykaz literatury.

Wariant podstawowy

Zastosowane metody badawcze

1. Istota projektu: zbadanie wpływu struktury krajobrazu na zagęszczenie i różnorodność motyli dziennych.
2. Wybór transektów do obserwacji:
Obserwacje będą prowadzone na dwustumetrowych transektach (łącznie 20 transektów). Należy odpowiednio wytypować je na mapie Geoportalu tak, aby różniły się między sobą. Najlepiej wybrać środowiska ubogie, np. przydroże w otoczeniu pól uprawnych, kolejny transekt to przydroże z udziałem zadrzewień.
3. Prowadzenie obserwacji
Obserwacje będą trwały od połowy czerwca do końca sierpnia. Powinny być prowadzone w godzinach między 10.00 a 16.00, raz na dwa tygodnie. Podczas prowadzenia obserwacji motyli niezwykle istotna jest temperatura powietrza i zachmurzenie nieba, ponieważ od czynników tych zależy aktywność wielu owadów. Dlatego obserwacje motyli będą prowadzone przy temperaturze powietrza od 17 °C wzwyż. Opad deszczu wyklucza możliwość prowadzenia badań.
4. Analiza danych
 - Wyniki obserwacji należy wprowadzić do odpowiednio skonstruowanej tabeli.
 - Powierzchnie badawcze mogą być porównane na podstawie następujących zmiennych: zagęszczenie, czyli liczba osobników (os/km) oraz liczba gatunków.
 - Powierzchnie badawcze zostaną ilościowo scharakteryzowane za pomocą narzędzi dostępnych w Geoportalu.
5. Wymagany sprzęt i wyposażenie
 - siatka entomologiczna
 - aparat fotograficzny
6. Najlepszy okres do wykonywania badań: od połowy czerwca do połowy sierpnia.
7. Czas potrzebny do wykonania badań
Przez dwa miesiące każdy transekt będzie badany cztery razy w ciągu sezonu badań (raz na dwa tygodnie). Szybkość przemaszania na transekcie będzie zależała od liczby napotkanych motyli i będzie wynosić ok. 1 km/h. Daje to łącznie około 14 godzin prowadzenia obserwacji w tygodniu łącznie z dojazdami (ok. 20 min dojazdu do transektu np. rowerem i 20 min liczenia motyli).

Zastosowana technologia informacyjna

- a. Geoportal.
- b. Arkusz kalkulacyjny MS Excel.

Najważniejsze osiągnięcia – kompetencje ucznia**Wiedza**

- poznanie zmienności krajobrazu
- poznanie znaczenia struktury krajobrazu dla liczebności i różnorodności motyli dziennych
- poznanie ekologii i preferencji środowiskowych motyli dziennych
- poznanie Geoportalu i jego zastosowanie w praktyce
- poznanie kilku technik statystycznej analizy danych

Umiejętności

- interpretacja ortofotomap
- wykorzystanie technik i narzędzi do pomiaru struktury krajobrazu, opartych na pomiarach długości i powierzchni środowisk oraz ich jakości
- wykorzystanie arkusza kalkulacyjnego MS Excel do analizy statystycznej oraz sporządzania wykresów)
- nabycie umiejętności w prowadzeniu badań naukowych: formułowania tematu badawczego, stawiania i weryfikowania prawdziwości hipotez

Postawa

- zrozumienie potrzeby stosowania narzędzi statystycznych jako uniwersalnych narzędzi precyzyjnego porozumiewania się i konfrontacji własnych wyników badań z innymi
- zrozumienie wpływu intensywnego rolnictwa na przyrodę

Wariant rozszerzony**Zastosowane metody badawcze**

Istota projektu badawczego: zbadanie wpływu struktury krajobrazu na liczebność i różnorodność motyli dziennych w zależności od struktury badanego krajobrazu.

1. Wybór powierzchni badawczych do obserwacji motyli dziennych Istotny będzie wybór odpowiednich powierzchni badawczych, na których zostaną wyznaczone transekty.
2. Prowadzenie obserwacji
 - a. Obserwacje będą prowadzone na wyznaczonych transektach od połowy czerwca do połowy sierpnia, w godzinach między 10.00 a 16.00, raz w tygodniu.
 - b. Obserwacje motyli będą prowadzone przy temperaturze powietrza od 17°C wzwyż. Przy temperaturze 13–17°C wymagana jest pogoda słoneczna. Opad deszczu wyklucza możliwość prowadzenia badań.
 - c. Podczas prowadzenia obserwacji notujemy w notesie godzinę rozpoczęcia i ukończenia pracy na transekcie oraz notujemy napotkane motyle w pasie o szerokości 5m. Przemarsz będzie się odbywał środkiem pasa. Notowane będą również motyle przelatujące 5 m przed obserwatorem i 5 m nad nim.
 - d. Badania będą planowane i wykonane samodzielnie przez ucznia pod nadzorem nauczyciela opiekuna, z którym uczniowie w miarę potrzeby konsultują swoją pracę. Obserwacje będą prowadzone na dwustumetrowych transektach (łącznie 30 transektów) podzielonych na dwudziestometrowe odcinki we fragmentach krajobrazu różniących się strukturą. Podział transektów na krótsze odcinki ułatwi interpretację rozmieszczenia motyli wewnątrz transektów.
4. Analiza danych
 - a. Wyniki obserwacji należy wprowadzić do odpowiednio skonstruowanej tabeli.
 - b. Powierzchnie mogą być porównane na podstawie:
 - całkowitej liczby różnych środowisk wchodzących w skład krajobrazu,
 - procentowego udziału np. lasów i różnego typu nieużytków tj. torowisk, skarp itp.,
 - zagęszczenia osobników motyli dziennych,
 - liczby gatunków motyli dziennych.
 - c. zebrane dane powinny pokazywać, w jakim krajobrazie liczebność i różnorodność motyli

- dziennych jest większa i jak ich liczebność i różnorodność jest zależna od struktury krajobrazu.
 - d. powierzchnie badawcze zostaną ilościowo scharakteryzowane za pomocą narzędzi dostępnych w Geoportalu.
5. Wymagany sprzęt i wyposażenie
 - siatka entomologiczna
 - aparat fotograficzny
 6. Przez dwa miesiące każdy transekt będzie badany osiem razy w ciągu sezonu badań (raz w tygodniu). Szybkość przemarszu po transekcie będzie zależała od liczby napotkanych motyli i będzie wynosić ok. 1 km/h. Daje to łącznie około 20 godzin prowadzenia obserwacji w tygodniu łącznie z dojazdami (ok. 20 min dojazd do transektu np. rowerem i 20 min liczenia motyli).

Zastosowana technologia informacyjna

- a. Geoportal:
 - lokalizowanie i liczenie udziału (np. %) różnych środowisk na wytypowanych powierzchniach badawczych,
 - analiza struktury krajobrazu wokół wytypowanych transektów.
- b. Arkusz kalkulacyjny MS Excel
 - tworzenie tabel z danymi,
 - analiza danych,
 - przedstawienie wyników w formie wykresów i tabel.

Najważniejsze osiągnięcia – kompetencje ucznia

- a. Wiedza:
 - poznanie zmienności krajobrazu,
 - poznanie znaczenia struktury krajobrazu dla liczebności i różnorodności motyli dziennych,
 - poznanie biologii, ekologii i preferencji środowiskowych motyli dziennych,
 - poznanie Geoportalu i jego zastosowanie w praktyce,
 - poznanie kilku technik statystycznej analizy danych.
- b. Umiejętności:
 - interpretacja ortofotomap,
 - wykorzystanie technik i narzędzi do pomiaru struktury krajobrazu, opartych na pomiarach długości i powierzchni środowisk oraz ich jakości,
 - wykorzystywanie Excela do analizy statystycznej oraz sporządzanie ich wykresów,
 - nabycie umiejętności w prowadzeniu badań naukowych: formułowania tematu badawczego, stawiania i weryfikowania prawdziwości hipotez.
- c. Postawa:
 - zrozumienie potrzeby stosowania narzędzi statystycznych jako uniwersalnych narzędzi służących do precyzyjnego porozumiewania się i konfrontacji własnych wyników badań z innymi,
 - zrozumienie wpływu intensywnego rolnictwa na przyrodę.

PROJEKT: JAKA STRUKTURA KRAJOBRAZU JEST NAJDOGODNIEJSZA DLA MOTYLI DZIENNYCH?**CELE REALIZACJI PROJEKTU**

- zapoznanie ucznia z metodami prowadzenia badań naukowych nad motylami dziennymi w terenie
- nabycie umiejętności rozpoznawania motyli dziennych
- nabycie umiejętności obserwacji motyli z wykorzystaniem techniki fotografowania
- określenie, jakie motyle dzienne występują w danej okolicy oraz w jakim typie krajobrazu żyje ich najwięcej

OPIS ZAGADNIENIA DO REALIZACJI NA LEKCJI I W PROJEKCIE

W Polsce od przeszło dwustu lat prowadzone są obserwacje nad rozmieszczeniem motyli dziennych*. Do dziś udało się stwierdzić występowanie ok. 159 gatunków. Inwentaryzacja motyli dziennych prowadzona w latach 1986–1995 potwierdziła występowanie 149 gatunków motyli dziennych, a 10 pozostałych gatunków aktualnie uznaje się za nieobecne w Polsce. W niewielu miejscach w kraju, np. w Puszczy Białowieskiej, lista ta przekracza 100 gatunków. Średnio w danej okolicy na powierzchni 100 km² można spotkać od 40 do ok. 60 gatunków motyli dziennych.

Mimo licznych badań nad motylami dziennymi nadal jest w Polsce dużo miejsc, których fauna tych owadów nie została do tej pory rozpoznana. Szczególnie mało wiadomo na temat występowania motyli dziennych w zwykle silnie uproszczonym krajobrazie rolniczym, gdzie obecność zadrzewień lub innych środowisk półnaturalnych i pozostałości dawnych środowisk naturalnych mogą jednak poprawiać warunki życiowe motyli dziennych. Na uwagę zasługują drobne nieużytki śródpolne, np. skarpy, turzycowiska i rowy melioracyjne. Jako środowiska bardziej stabilne oferują motyłom schronienia przed zabiegami rolniczymi, większe bogactwo roślin pokarmowych dla larw i motyli dorosłym, miejsca do rozrodu gatunkom o większych wymaganiach środowiskowych. Na przykład czerwończyk nieparek (*Lycaena dispar*) wykorzystuje rowy melioracyjne, przy których rośnie szczaw wodny – roślina pokarmowa larwy tego motyla.

Celem projektu jest sprawdzenie, jakie motyle dzienne występują w wybranym miejscu oraz w jakim typie krajobrazu żyje ich najwięcej.

MATERIAŁY GRAFICZNE DO REALIZACJI NA LEKCJI I W PROJEKCIE

Tabele

Przykładowe wyniki badań nad liczebnością i różnorodnością motyli dziennych różnych typów środowisk np. ŻURAWLEW i in. (2011): Nowe dane o rzadko spotykanych motylach dziennych (Lepidoptera: Hesperioidea, Papilionoidea). Przegląd Przyrodniczy 22(1), s. 48 – 49.

Ryciny

Dowolne przykłady ortofotomap terenów rolniczych (www.geoportal.gov.pl)

- wykresy, tabele, mapy przedstawiające liczebności i różnorodność motyli dziennych w zależności od struktury krajobrazu (FLICK i in., 2012)
- wykresy przedstawiające różnorodność motyli dziennych w różnych typach krajobrazu: (OCKINGER i in. (2007), Semi-natural grasslands as population sources for pollinating insects in agricultural landscapes. J. Appl. Ecol. 44 (1), Ss. 50-59).

MATERIAŁY GRAFICZNE DO REALIZACJI NA LEKCJI I W PROJEKCIE

Strony internetowe

<http://pl.wikipedia.org/wiki/Motyle>

<http://motyle.info>

<http://www.entomo.pl/>

Literatura

POLLARD E. (1977). A method for assessing changes in the abundance of butterflies. Biol. Conserv. 12:115-134.

OPIS PROJEKTU

Wprowadzenie

Struktura krajobrazu wywiera wpływ na różnorodność wielu grup bezkręgowców, w tym motyli dziennych. Udział różnych środowisk, tj. lasów, rowów melioracyjnych, przydroży, przytorzy, skarp decyduje o charakterze danego wycinka krajobrazu, a większa powierzchnia ekotonów* w stosunku do pól uprawnych jest wskaźnikiem urozmaicenia krajobrazu.

Celem realizacji projektu jest sprawdzenie wpływu urozmaicenia krajobrazu na różnorodność gatunkową motyli dziennych.

Problem badawczy

Jaki typ badanego krajobrazu preferują motyle dzienne?

Krajobraz urozmaicony jest miejscem występowania większej liczby gatunków motyl dziennych. Badania będzie można prowadzić w dwóch wariantach różniących się nakładem pracy:

1. Źródło danych: w wersji podstawowej i rozszerzonej – obserwacje terenowe.
2. Długość i częstotliwość prowadzenia obserwacji terenowych: w wersji podstawowej – raz na dwa tygodnie, w wersji rozszerzonej – raz w tygodniu. Badania na poszczególnych powierzchniach badawczych będą prowadzone na transektach o szerokości 5 m wzdłuż krawędzi różnych środowisk ekotonowych tj. obrzeża pól uprawnych, skraje lasów, przydroża.
3. Liczba powierzchni: w wersji podstawowej 4 powierzchnie badawcze, a w wersji rozszerzonej 6 powierzchni badawczych o wielkości 1x1 lub 2x2 km. Przy wyborze powierzchni badawczych istotny ma być stopień zróżnicowania środowisk na poszczególnych powierzchniach od skrajnie uproszczonych do najbardziej urozmaiconych.

Przykładowe wyniki badań z tego zakresu

W artykule FLICK i in. (2012). Effects of landscape structure on butterfly species richness and abundance in agricultural landscapes in eastern Ontario, Canada. Agric. Ecos., Envir. 156: 123-133, pokazano, że na powierzchniach krajobrazowych z bogatszym udziałem siedlisk naturalnych i półnaturalnych różnorodność motyli dziennych była większa. W artykule tym można znaleźć bardziej szczegółowe dane na ten temat, jak również szeroki wykaz literatury.

Wariant podstawowy

Zastosowane metody badawcze

1. Istota projektu: zbadanie, ile gatunków motyli dziennych żyje w okolicy badacza na wytypowanych powierzchniach badawczych w zależności od struktury krajobrazu.
2. Wybór powierzchni badawczych i transektów:
 - a. Badania na poszczególnych powierzchniach badawczych będą prowadzone wzdłuż krawędzi różnych środowisk ekotonowych, tj. pól uprawnych, lasów, przydroży itp.
 - b. Badania będą prowadzone na czterech powierzchniach badawczych. Łączna długość transektów będzie zależała od urozmaicenia powierzchni badawczej. Transekt powinien obejmować swoją szerokością dwa środowiska, np. pole i łąkę lub pole i las. Obserwator powinien poruszać się wzdłuż styku dwóch środowisk i obejmować wzrokiem pas 2,5 m po obu stronach, do 5 m przed oraz 5 m nad obserwatorem. Daje to łącznie pas obserwacyjny o szerokości 5 m. Na powierzchni ze 100% udziałem pól odcinki transektów należy wyznaczyć wzdłuż miedz i przydroży.
 - c. Należy odpowiednio wytypować powierzchnie na mapie Geoportalu tak, aby różniły się między sobą strukturą krajobrazu.
3. Prowadzenie obserwacji
 - a. Obserwacje będą trwały od połowy czerwca do końca sierpnia. Powinny być prowadzone między godz. 10.00 a godz. 16.00, najlepiej raz na dwa tygodnie. Podczas prowadzenia obserwacji motyli niezwykle istotną jest temperatura powietrza i zachmurzenie nieba, ponieważ od czynników tych zależy aktywność wielu owadów. Dlatego przy temperaturze powietrza od 17°C obserwacje można prowadzić nawet przy całkowitym zachmurzeniu, natomiast w chłodniejsze dni przy temperaturze 13–17°C wymagana jest pogoda słoneczna lub umiarkowane zachmurzenie.
 - b. Opad deszczu wyklucza możliwość prowadzenia badań.
4. Analiza danych
 - a. wyniki obserwacji należy wprowadzić do odpowiednio skonstruowanej tabeli,
 - b. powierzchnie badawcze mogą być porównane na podstawie następujących zmiennych: zagęszczenie ekotonów (km/100ha) i udział powierzchniowy środowisk,
 - c. powierzchnie badawcze zostaną ilościowo scharakteryzowane za pomocą narzędzi dostępnych w Geoportalu,
 - d. porównywana będzie liczba gatunków motyli i skład gatunkowy.

5. Wymagany sprzęt i wyposażenie
 - siatka na motyle,
 - aparat fotograficzny.
6. Najlepszy okres do wykonywania badań: od połowy czerwca do końca sierpnia.
7. Czas potrzebny do wykonania badań:
 - a. Przez 2,5 miesiąca obserwacje będą prowadzone na każdej powierzchni raz na dwa tygodnie, czyli każda powierzchnia będzie badana pięć razy w ciągu sezonu.
 - b. Czas obserwacji na każdej powierzchni badawczej będzie wynosił ok. 5–6 godzin. Daje to łącznie 20–24 godziny obserwacji na czterech powierzchniach badawczych raz na dwa tygodnie.

Zastosowana technologia informacyjna

- a. Atlasy internetowe do oznaczania motyli
 - http://przyrodniczo.udl.pl/?page_id=1146
 - <http://www.leps.it/>
- b. Geoportal
- c. Arkusz kalkulacyjny MS Excel
 - tworzenie tabel z danymi
 - analiza danych
 - prezentacja wyników w formie wykresów i tabel

Najważniejsze osiągnięcia – kompetencje ucznia

- a. Wiedza:
 - określenie składu gatunkowego motyli dziennych w danej okolicy,
 - pokazanie w jakim krajobrazie jest najwięcej motyli,
 - poznanie kilku technik statystycznej analizy danych,
 - poznanie Geoportalu i jego zastosowanie w praktyce.
- b. Umiejętności:
 - interpretacja ortofotomap,
 - typowanie najciekawszych i przyrodniczo cennych miejsc na podstawie występowania gatunków prawnie chronionych lub z czerwonej listy,
 - wykorzystywanie Excela do analizy statystycznej oraz sporządzanie wykresów,
 - nabycie umiejętności w prowadzeniu badań naukowych: formułowania tematu badawczego, stawiania hipotez i weryfikowania ich prawdziwości.
- c. Postawa:
 - zrozumienie potrzeby stosowania narzędzi statystycznych, jako uniwersalnych narzędzi precyzyjnego porozumiewania się i konfrontacji własnych wyników badań z innymi.

Wariant rozszerzony

Zastosowana metodyka badawcza

1. Istota projektu: zbadanie, ile gatunków motyli dziennych żyje w okolicy badacza na wytypowanych powierzchniach badawczych w zależności od struktury krajobrazu.
Wybór powierzchni badawczych i transektów: badania na poszczególnych powierzchniach badawczych będą prowadzone wzdłuż krawędzi różnych środowisk ekotonowych, tj. pól uprawnych, lasów, przydroży itp.
2. Wybór powierzchni badawczych i transektów
 - a. Badania na poszczególnych powierzchniach badawczych będą prowadzone wzdłuż krawędzi różnych środowisk ekotonowych tj. pól uprawnych, lasów, przydroży itp.
 - b. Badania będą prowadzone na sześciu powierzchniach badawczych. Łączna długość transektów będzie zależała od urozmaicenia powierzchni badawczej. Transekt powinien obejmować swoją szerokością dwa środowiska, np. pole i łąkę lub pole i las. Obserwator powinien poruszać się wzdłuż styku dwóch środowisk i obejmować wzrokiem pas 2,5 m po każdej swej stronie. Daje to łącznie pas obserwacyjny o szerokości 5 m. Na powierzchni ze 100% udziałem pól odcinki transektów należy wyznaczyć wzdłuż miedz i przydroży.

- c. Należy odpowiednio wytypować powierzchnie na mapie Geoportalu tak, aby różniły się między sobą zróżnicowaniem struktury krajobrazu.
3. Prowadzenie obserwacji
 - a. Obserwacje będą trwały od połowy czerwca do końca sierpnia. Powinny być prowadzone między godz. 10.00 a godz. 16.00, najlepiej raz na dwa tygodnie. Podczas prowadzenia obserwacji motyli niezwykle istotna jest temperatura powietrza i zachmurzenie nieba, ponieważ od czynników tych zależy aktywność wielu owadów. Dlatego przy temperaturze powietrza od 17°C obserwacje można prowadzić nawet przy całkowitym zachmurzeniu, natomiast w chłodniejsze dni, przy temperaturze 13–17°C wymagana jest pogoda słoneczna lub umiarkowane zachmurzenie.
 - b. Opad deszczu wyklucza możliwość prowadzenia badań.
4. Analiza danych
Wyniki obserwacji należy wprowadzić do odpowiednio skonstruowanej tabeli.
Powierzchnie badawcze mogą być porównane na podstawie następujących zmiennych: zagęszczenie ekotonów (km/100 ha) i udział powierzchniowy środowisk.
Powierzchnie badawcze zostaną ilościowo scharakteryzowane za pomocą narzędzi dostępnych w Geoportalu.
Porównywana będzie liczba gatunków motyli i skład gatunkowy.
5. Wymagany sprzęt i wyposażenie
 - siatka na motyle
 - aparat fotograficzny
6. Najlepszy okres do wykonywania badań: od połowy czerwca do końca sierpnia.
7. Czas potrzebny do wykonania badań:
 - a. Przez 2,5 miesiąca obserwacje będą prowadzone na każdej powierzchni raz na tydzień
 - b. Każda powierzchnia będzie badana około dziesięć razy w ciągu sezonu.
 - c. Czas obserwacji na każdej powierzchni badawczej będzie wynosił orientacyjnie ok. 5–6 godzin. Daje to łącznie 30–36 godzin obserwacji na sześciu powierzchniach badawczych raz na tydzień.
 - d. Obserwacje prowadzić należy podczas marszu wolnym krokiem ok. 2 km/h.

Zastosowana technologia informacyjna

- a. Atlasy internetowe do oznaczania motyli
 - http://przyrodniczo.udl.pl/?page_id=1146
 - <http://www.leps.it/>
- b. Geoportal
- c. arkusz kalkulacyjny MS Excel

Najważniejsze osiągnięcia – kompetencje ucznia

- a. Wiedza:
 - określenie składu gatunkowego motyli dziennych w danej okolicy,
 - stwierdzenie, w jakim krajobrazie jest najwięcej motyli,
 - poznanie preferencji środowiskowych motyli dziennych w stosunku do poszczególnych typów krajobrazu i środowisk,
 - poznanie znaczenia struktury krajobrazu dla różnorodności motyli dziennych,
 - poznanie kilku technik statystycznej analizy danych,
 - poznanie Geoportalu i jego zastosowanie w praktyce.
- b) Umiejętności:
 - interpretacja ortofotomap,
 - typowanie najciekawszych i przyrodniczo cennych miejsc na podstawie występowania gatunków prawnie chronionych i z czerwonej listy,
 - wykorzystywanie arkusza kalkulacyjnego MS Excel do analizy statystycznej oraz sporządzanie wykresów,
 - nabycie umiejętności w prowadzeniu badań naukowych: formułowania tematu badawczego, stawiania hipotez i weryfikowania ich prawdziwości.

c. Postawa:

- zrozumienie potrzeby stosowania narzędzi statystycznych jako uniwersalnych narzędzi precyzyjnego porozumiewania się i konfrontacji własnych wyników badań z innymi,
- zrozumienie wpływu intensywnego rolnictwa na przyrodę.

PROJEKT: SINGLE LARGE OR SEVERAL SMALL (SLOSS), CZYLI CZY DUŻY MOŻE WIĘCEJ?**CELE REALIZACJI PROJEKTU**

- zdobycie przez ucznia podstawowych informacji o zjawisku fragmentacji ekosystemów i jej konsekwencji dla populacji i biocenozy
- kształcenie umiejętności obserwacji i wyciągania wniosków na jej podstawie
- kształcenie odpowiedzialnej postawy wobec środowiska i przyrody
- kształcenie umiejętności posługiwania się kluczami i atlasami do identyfikacji gatunków
- kształcenie umiejętności korzystania z publicznych, dostępnych w Internecie zasobów ortofotomap (Geoportal, GoogleMaps)
- kształcenie umiejętności w rozpoznawaniu gatunków organizmów wybranych do badań, np. drzew i krzewów, roślin zielnych, motyli itp.,
- kształcenie umiejętności w wykorzystywaniu arkusza kalkulacyjnego MS Excel do analizy danych i prezentacji wyników
- rozumienie istoty i etapów prowadzenia badań naukowych

OPIS ZAGADNIENIA DO REALIZACJI NA LEKCJI I W PROJEKCIE

Pytanie postawione w temacie zajęć dotyczy jednego z podstawowych w ekologii krajobrazu zagadnień, a mianowicie fragmentacji środowisk (lub inaczej: siedlisk albo ekosystemów). Fragmentacja obejmuje pięć rodzajów ilościowych zmian w strukturze krajobrazu:

- zmniejszenie całkowitej powierzchni środowiska,
- zmniejszenie stosunku powierzchni wnętrza środowiska do powierzchni jego strefy brzeżnej,
- zwiększanie się odległości pomiędzy fragmentami środowiska danego typu,
- zwiększanie się liczby fragmentów środowiska danego typu w wyniku rozdzielania dużych fragmentów na mniejsze,
- zmniejszanie się średniej wielkości fragmentu środowiska danego typu.

Skutki przyrodnicze zjawiska fragmentacji zależą od stopnia jej intensywności. Największe konsekwencje odczuwają gatunki organizmów, które wymagają dużych jednolitych fragmentów środowiska z powodu np. określonych wymagań pokarmowych. Na przykład terytorium rysa (samców) wynosi aż około 200 km², i to praktycznie wyłącznie terenów leśnych. W przypadku gdy wielki fragment jednolitego krajobrazu leśnego będzie ulegał nieznacznej fragmentacji, np. w wyniku powstania kilku niewielkich polan śródleśnych, to wówczas bogactwo przyrodnicze wzrośnie, gdyż polany będą zasiedlone przez gatunki polne lub łąkowe. Wraz z postępującą fragmentacją bogactwo gatunkowe będzie coraz większe, aż do pewnego progu, po przekroczeniu którego rozpocznie się zanikanie gatunków, które wymagają dużych jednolitych środowisk (jak np. wspomniany ryś lub wilk). W przypadku gdy fragmentacja osiągnie stan „zaawansowany”, czyli np. z dawnych lasów zostanie 20%, dodatkowo podzielonych na małe fragmenty, to wówczas krajobraz taki będzie zasiedlony już tylko przez niewielką liczbę tzw. gatunków „plastycznych” (eurytopowych*), mających niewielkie wymagania środowiskowe, na ogół pospolitych i wszędybylskich (przykładem takich gatunków ptaków jest np. zięba i trznadel), natomiast gatunki wysoce wyspecjalizowane (często nazywamy je „konserwatywnymi*” lub stenotopowymi*) zanikną. Taki wzorzec zmian wywołanych fragmentacją wiąże się silnie z tym, że wyróżniamy trzy grupy gatunków: (a) gatunki „wnętrza ekosystemu”, dodatkowo różniące się wymaganiami co do tzw. arealu minimalnego – ubywa ich często skokowo przy zmniejszaniu się powierzchni płatu; (b) gatunki „strefy brzeżnej ekosystemu” które słabo reagują na zmiany wielkości płatu – ale mogą zniknąć w wyniku konkurencji z gatunkami grupy trzeciej, czyli (c) gatunki wkraczające z otoczenia

– których liczba wyraźnie wzrasta wraz ze spadkiem wielkości płatu i wzrostem stosunku obwodu do powierzchni. Należy także dodać, że małe fragmenty środowisk są bardziej narażone na wpływy z zewnątrz, niż duże, mające znaczny udział powierzchniowy tzw. wnętrza, które stanowią o jego swoistości i autonomii względem otaczającego środowiska. Kolejną niekorzystną dla wielu gatunków, zwłaszcza mniej mobilnych, konsekwencją fragmentacji, jest zwiększona izolacja siedlisk. W wyniku tego utrudnione jest przemieszczanie się osobników, co wpływa bezpośrednio na zwiększenie się prawdopodobieństwa zanikania gatunku w poszczególnych fragmentach środowiska. Ponadto przyczynia się także do zmniejszania różnorodności genetycznej (mniejsza wymiana genów pomiędzy grupami tego samego gatunku zasiedlającego poszczególne, izolowane fragmenty), co jest niekorzystne ze względu na gorsze możliwości adaptacji na drodze selekcji naturalnej w reagowaniu na negatywne czynniki środowiskowe.

Wiele problemów dotyczących fragmentacji środowisk ujętych jest właśnie w temacie niniejszych zajęć. Dotyczy on kwintesencji tego zagadnienia: porównania jednego fragmentu środowiska o dużej powierzchni, np. 100 ha ze zbiorem 100 małych fragmentów tego samego środowiska o łącznej powierzchni około 100 ha. Możemy tu postawić kilka pytań ważnych dla zrozumienia, jak działa fragmentacja:

1. Ile gatunków występuje w dużym fragmencie środowiska, a ile w wielu małych fragmentach (o łącznej powierzchni równej temu jednemu)?
2. Jak fragmentacja środowisk wpływa na skład gatunkowy organizmów? Czy skład gatunkowy w pojedynczym wielkim fragmencie jest taki sam jak w zbiorze wielu małych fragmentów?
3. Jakie znaczenie ma fragmentacja dla ochrony przyrody?

MATERIAŁY GRAFICZNE DO REALIZACJI NA LEKCJI I W PROJEKCIE**Tabele**

Skład gatunkowy roślin występujących w małych i wielkich kompleksach leśnych.

Ryciny

Z zależnościami pomiędzy między liczbą gatunków a powierzchnią lasów.

MATERIAŁY POMOCNICZE DO REALIZACJI TEMATU NA LEKCJI I W PROJEKCIE**Strony internetowe**

<http://www.pachnica.pl/wp-content/uploads/2011/07/Fragmentacja-terenów-leśnych-tryb-zgodności.pdf>

http://cepl.sggw.waw.pl/sim/pdf/sim19_pdf/6_Slawski.pdf

<http://blogs.radiopodlasie.pl/eko/?p=335>

http://www.eoearth.org/article/Habitat_fragmentation?topic=58074

Literatura

SŁAWSKI M. (2008). Wewnętrzna fragmentacja lasu i jej skutki przyrodnicze. Studia i Materiały Centrum Edukacji Przyrodniczo-Leśnej 10 (3): 55-60.

(http://cepl.sggw.waw.pl/sim/pdf/sim19_pdf/6_Slawski.pdf)

KREBS C. J. (2011). Ekologia. Eksperymentalna analiza rozmieszczenia i liczebności. Ss. 680. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa.

OPIS PROJEKTU**Wprowadzenie**

Celem projektu lub projektów badawczych w ramach tego tematu jest sprawdzenie przez uczniów na podstawie badań terenowych, jak „działa” fragmentacja, czyli jakie są skutki fragmentacji siedlisk dla biocenozy.

Problem badawczy

Jak fragmentacja lasów wpływa na bogactwo gatunkowe roślin?

Wariant podstawowy**Zastosowane metody badawcze**

1. Istota projektu: porównanie bogactwa gatunkowego roślin (na przykładzie krzewów) w środowisku leśnym na dwóch powierzchniach badawczych.
 - a. LAS – wyłącznie tereny leśne (czyli las niepodlegający fragmentacji),
 - b. WYSPY – teren z licznymi, małymi fragmentami lasów, zadrzewieniami kępowymi, tj. „wyspami leśnymi” (czyli lasy po silnej fragmentacji). Dla obu tych powierzchni badawczych zostanie określona liczba gatunków krzewów i dzięki temu będzie można odpowiedzieć na pytanie, jak różnorodność roślin leśnych zależy od fragmentacji tego środowiska.
2. Wybór powierzchni badawczych
 - a. Przy wyborze powierzchni badawczych należy pamiętać o tym, że chcemy sprawdzić wpływ fragmentacji, eliminując oddziaływanie innych czynników. Z tego względu trzeba zadbać o to, by obie powierzchnie badawcze były jak najbardziej zbliżone pod względem siedliskowym i składu gatunków. Błędem byłoby np. porównanie powierzchni LAS obejmującej łąkę, z powierzchnią WYSPY składającej się z borów sosnowych, albo jednolitej powierzchni LAS w bardzo młodym wieku z powierzchnią WYSPY z lasami w wieku pokaźnym (np. 100 lat).
 - b. Powierzchnie należy tak dobrać – przy użyciu Geoportalu i narzędzi pomiarowych tam dostępnych – by można było uzyskać podobną powierzchnię lasów na powierzchni LAS oraz WYSPY. Najlepiej z większego kompleksu leśnego „wykroić” powierzchnię badawczą (dbając o spełnienie warunków powyższych) o odpowiedniej powierzchni.
 - c. Powierzchnia leśna (jednakowa na obu powierzchniach) powinna wynosić nie mniej niż 50 ha, a liczba lasów na powierzchni „WYSPY” nie powinna być mniejsza niż 10.
 - d. Ze względu na większą różnorodność gatunkową roślin w lasach liściastych w porównaniu z innymi lepiej jest wybrać właśnie las liściasty.
 - e. Fragmenty leśne objęte badaniami powinny być jednoznacznie ponumerowane lub nazwane w celu ich późniejszego rozróżnienia.
3. Metodyka badań bogactwa gatunkowego roślin
 - a. Wybrane tereny leśne penetrujemy tak dokładnie, by obserwacjami objąć całą powierzchnię leśną. Ważne jest, by każdy z wybranych fragmentów leśnych obejść także wokół, gdyż zwykle to w strefie brzeżnej występuje więcej gatunków.
 - b. Gatunki krzewów rozpoznajemy bezpośrednio w terenie za pomocą atlasów i przewodników do oznaczania roślin albo w domu czy pracowni szkolnej. W tym drugim przypadku konieczne jest zebranie materiału zielnikowego (pędów z liśćmi i kwiatami, fakultatywnie owocami), oraz sfotografowanie danego krzewu dla utrwalenia jego pokroju, sposobu rozgałęziania się itp., co może być pomocne przy identyfikacji gatunku.
 - c. Najlepszy okres do wykonywania badań: okres rozwoju ulistnienia, kwitnienia i owocowania krzewów, czyli od kwietnia do lipca.
4. Czas potrzebny do wykonania badań
 - a. Zależny od wielkości powierzchni badawczych wybranych do porównań. W przypadku minimalnej zalecanej powierzchni, czyli 50 ha, można sądzić, że do dokładnego jednorazowego przeszukania i zebrania materiału obu porównywanych powierzchni wystarczy 4 dni (czyli ok. 25 ha/dzień). W przypadku wyboru większych powierzchni, czas będzie proporcjonalnie dłuższy, czyli o jeden dzień więcej na każde 25 ha.
 - b. Powierzchnie badawcze należy skontrolować 5 razy, czyli raz w miesiącu (od IV do VII).
5. Sprzęt i wyposażenie: binokular, aparat fotograficzny, lupy, teczki zielnikowe, pęsety, szalki Petriego, igły preparacyjne, przewodniki/klucze/atlasy do oznaczania roślin.

Zastosowana technologia informacyjna

Arkusze kalkulacyjny MS Excel

- utworzenie tabel z danymi
- wyznaczenie zależności między liczbą gatunków a powierzchnią lasu oraz sporządzenie wykresów
- obliczenie średniej i mediany liczby gatunków krzewów w płatach leśnych wraz z miarą rozrzutu obserwacji, czyli odchylenia standardowego

Najważniejsze osiągnięcia – kompetencje ucznia**a) Wiedza**

- poznanie zjawiska fragmentacji środowisk, jej aspektów oraz konsekwencji dla różnorodności biologicznej
- poznanie zakresu stosowania i znaczenia Geoportalu
- poznanie części flory polskiej w zakresie gatunków krzewów
- poznanie podstaw, sensu i kilku elementarnych technik statystycznej analizy danych
- poznanie podstawowych „kroków” w konstruowaniu projektu badawczego?

b) Umiejętności

- interpretacja ortofotomap
- wykorzystanie prostych narzędzi do pomiaru struktury krajobrazu, opartych na pomiarach długości i powierzchni środowisk
- wykorzystywanie map topograficznych oraz leśnych
- świadome prowadzenie obserwacji roślin pod względem uzyskania informacji potrzebnych do określenia gatunku
- wykorzystywanie klucza/atlasu/przewodnika do oznaczania gatunków roślin
- wykorzystywanie „ręcznych” ustawień aparatu fotograficznego dla osiągnięcia optymalnego rezultatu przy fotografowaniu
- przygotowanie materiału zielnikowego
- umiejętność posługiwania się binokulem do obserwacji określonych cech diagnostycznych roślin
- planowanie i realizacja samodzielnych kontroli terenowych
- wykorzystywanie arkusza kalkulacyjnego MS Excel do analizy statystycznej (obliczanie średniej arytmetycznej, mediany, odchylenia standardowego, wyznaczanie zależności oraz sporządzanie ich wykresów)

c) Postawa

- pogłębienie i skonkretyzowanie zrozumienia konsekwencji oddziaływania rozwoju cywilizacyjnego (przekształcania krajobrazu) na przyrodę
- zrozumienie konsekwencji decyzji „zwykłego obywatela” na oddziaływanie ogólnoprzyrodnicze – kształtowanie postawy odpowiedzialności za rozwój zrównoważony
- zrozumienie potrzeby planowania przestrzennego dla celów ochrony przyrody,
- kształtowanie postawy krytycznej wobec poglądów na temat świata, czyli „wierz danym, a nie autorytetom”
- kształtowanie pozytywnego stosunku do matematyki, jako narzędzia opisującego konkretne cechy otaczającego nas świata
- kształtowanie postawy aprobaty wobec narzędzi statystycznych, jako pozwalających na precyzyjne porozumiewanie się ludzi na temat złożonych zależności, obiektów itp. („liczby lepsze niż słowa”)

Wariant rozszerzony**Zastosowane metody badawcze**

1. Istota projektu: porównanie bogactwa gatunkowego roślin (na przykładzie krzewów oraz roślin zielnych) w środowisku leśnym na dwóch powierzchniach badawczych:
 - a. LAS – wyłącznie tereny leśne (czyli las niepodlegający fragmentacji),
 - b. WYSPY – teren z licznymi, małymi fragmentami lasów, zadrzewieniami kępowymi, tj. „wyspami leśnymi” (czyli lasy po silnej fragmentacji). Dla obu tych powierzchni badawczych zostanie określona liczba gatunków krzewów i roślin zielnych i dzięki temu będzie można odpowiedzieć na pytanie, jak różnorodność roślin leśnych zależy od fragmentacji tego środowiska. Aby sprawdzić powtarzalność odpowiedzi, podobne porównanie trzeba przeprowadzić w co najmniej dwóch typach lasów, np. typu łąkowego lub boru mieszanego itp. (mogłyby to robić oddzielne zespoły uczniowskie).
2. Wybór powierzchni badawczych
 - a. Przy wyborze powierzchni badawczych należy pamiętać o tym, że chcemy sprawdzić wpływ fragmentacji, eliminując działanie innych czynników. Z tego względu trzeba za-

- dbać o to, by obie powierzchnie badawcze były jak najbardziej zbliżone pod względem siedliskowym i składu gatunków. Błędem byłoby np. porównanie powierzchni LAS obejmującej łąkę, z powierzchnią WYSPY składającej się z borów sosnowych albo jednolitej powierzchni LAS w bardzo młodym wieku z powierzchnią WYSPY z lasami w wieku pokazanym (np. 100 lat).
- b. Powierzchnie należy tak dobrać – przy użyciu Geoportalu i dostępnych tam narzędzi pomiarowych – by można było uzyskać podobną powierzchnię lasów na powierzchni LAS oraz WYSPY. Jeśli jest to praktycznie niemożliwe, to wówczas można np. z większego kompleksu leśnego „wykroić” powierzchnię badawczą (dbając o spełnienie warunków powyższych) o odpowiedniej powierzchni).
 - c. Powierzchnia leśna (jednakowa na obu powierzchniach) powinna wynosić nie mniej niż 20 ha.
 - d. Fragmenty leśne powinny być jednoznacznie ponumerowane lub nazwane w celu ich późniejszego rozróżnienia.
3. Metodyka badań bogactwa gatunkowego roślin:
- a. Wybrane tereny leśne penetrujemy tak dokładnie, by obserwacjami objąć całą powierzchnię leśną. Ważne jest, by każdy z wybranych fragmentów leśnych obejść także wokół, gdyż zwykle to w strefie brzeżnej występuje więcej gatunków.
 - b. Gatunki krzewów i roślin zielnych rozpoznajemy bezpośrednio w terenie za pomocą atlasów i przewodników do oznaczania roślin albo w domu czy pracowni szkolnej. W tym drugim przypadku konieczne jest zebranie materiału zielnikowego (pędów z liśćmi i kwiatami), oraz sfotografowanie danego okazu dla utrwalenia jego pokroju, sposobu rozgałęziania się itp., co może być pomocne przy identyfikacji gatunku.
4. Najlepszy okres do wykonywania badań: okres rozwoju roślin (w tym rozwoju ulistnienia i kwitnienia), czyli od kwietnia do sierpnia.
5. Czas potrzebny do wykonania badań
- a. W zależności od wielkości wybranych do porównań powierzchni badawczych. W przypadku minimalnej zalecanej powierzchni, czyli 20 ha, można sądzić, że do dokładnego jedno-razowego przeszukania i zebrania materiału obu porównywanych powierzchni wystarczy około 8 dni (czyli ok. 5-10 ha/dzień). W przypadku wyboru większych powierzchni, czas będzie proporcjonalnie dłuższy, czyli o jeden dzień więcej na każde 5-10 ha.
 - b. Powierzchnie badawcze należy skontrolować 5 razy, czyli raz w miesiącu (od IV do VIII).

Zastosowana technologia informacyjna

Arkusze kalkulacyjny MS Excel

- utworzenie tabel z danymi
- wyznaczenie zależności między liczbą gatunków a powierzchnią lasu oraz sporządzenie wykresów
- obliczenie średniej i mediany liczby gatunków krzewów w płatach leśnych wraz z miarą rozrzutu obserwacji, czyli odchylenia standardowego
- wyznaczanie krzywych kumulowanych dla liczb gatunków w płatach leśnych
- porównywanie składu gatunkowego badanych powierzchni

Najważniejsze osiągnięcia – kompetencje ucznia

- a. Wiedza:
 - poznanie zjawiska fragmentacji środowisk, jej aspektów oraz konsekwencji dla różnorodności biologicznej,
 - poznanie zakresu stosowania i znaczenia Geoportalu,
 - poznanie części flory polskiej w zakresie gatunków krzewów i roślin zielnych,
 - poznanie podstaw, sensu i kilku elementarnych technik statystycznej analizy danych, w tym znaczenia pojęcia „istotności statystycznej”.
- b. Umiejętności:
 - interpretacja ortofotomap,
 - wykorzystanie prostych narzędzi do oceny struktury krajobrazu, opartych na pomiarach długości i powierzchni środowisk,

- wykorzystywanie map topograficznych oraz leśnych,
 - świadome prowadzenie obserwacji roślin pod względem uzyskania informacji potrzebnych do określenia gatunku,
 - wykorzystywanie klucza/atlasu/przewodnika do oznaczania gatunków roślin,
 - wykorzystywanie „ręcznych” ustawień aparatu fotograficznego dla osiągnięcia optymalnego rezultatu przy fotografowaniu,
 - przygotowanie materiału zielnikowego,
 - umiejętność posługiwania się binokulem do obserwacji określonych cech diagnostycznych roślin,
 - planowanie i realizacja samodzielnych kontroli terenowych,
 - wykorzystywanie arkusza kalkulacyjnego MS Excel do analizy statystycznej (obliczanie średniej arytmetycznej, mediany, odchylenia standardowego, wyznaczanie zależności oraz sporządzanie ich wykresów, testowanie istotności statystycznej różnic oraz zależności).
- c. Postawa:
- pogłębienie i skonkretyzowanie zrozumienia konsekwencji oddziaływania rozwoju cywilizacyjnego (przekształcania krajobrazu) na przyrodę,
 - zrozumienie konsekwencji decyzji „zwykłego obywatela” na oddziaływanie ogólnoprzyrodnicze – kształtowanie postawy odpowiedzialności za rozwój zrównoważony,
 - zrozumienie potrzeby planowania przestrzennego dla celów ochrony przyrody,
 - kształtowanie postawy krytycznej wobec poglądów na temat świata, czyli „wierzyć danym, a nie autorytetom”,
 - kształtowanie pozytywnego stosunku do matematyki, jako narzędzia opisującego konkretne cechy otaczającego nas świata,
 - kształtowanie postawy aprobaty wobec narzędzi statystycznych, jako pozwalających na precyzyjne porozumiewanie się ludzi na temat złożonych zależności, obiektów itp. („liczby lepsze niż słowa”).

PROJEKT: JEDNOLITY CZY MOZAIKOWY? POLNY CZY ŁĄKOWY? JAKI KRAJOBRAZ PREFERUJE SARNA?

CELE REALIZACJI PROJEKTU:

- określenie wpływu typu krajobrazu na występowanie sarny (*Capreolus capreolus*)
- zapoznanie ucznia z metodami planowania i prowadzenia badań naukowych
- nabycie umiejętności planowania pracy w terenie

OPIS ZAGADNIENIA DO REALIZACJI NA LEKCJI I W PROJEKCIE

Zasadniczym siedliskiem sarny są lasy różnego typu oraz zarośla, ale w wielu miejscach Europy występuje także na polach uprawnych i innych otwartych terenach rolniczych. Odpowiednim środowiskiem dla tego gatunku może być również krajobraz mozaikowaty. Uważa się, że można nawet wyróżniać ekotypy sarny polnej i leśnej (KULAK, WAJDZIK 2009). Sarna bywa często obserwowana na terenach otwartych, jednak, kiedy poczuje się zagrożona, często podejmuje ucieczkę w kierunku terenów zakrzewionych lub zadrzewionych, ze względu na możliwość ukrycia. Ucieczka jest w zasadzie jedyną formą obrony sarny w przypadku zagrożenia, np. przed drapieżnikiem. Jest gatunkiem łownym (wykorzystuje się jej mięso i skórę). W większych zagęszczeniach sarna może być szkodnikiem z gospodarczego punktu widzenia, szczególnie w uprawach leśnych. Zdara się tak nie tylko ze względu na zgryzanie młodych roślin, ale też charakterystyczne „czocharanie” samców (kozłów), które powoduje zdzieranie łyka i zamieranie młodych drzewek.

Prowadzone dotychczas badania nad wybiórczością środowiskową sarny koncentrowały się głównie na zagadnieniu wyboru typu środowiska leśnego. Niewiele jest jednak danych dotyczących wyboru pomiędzy środowiskami leśnymi a polnymi. Problematyka ta wydaje się ciekawa m.in. ze względu na to, że pierwsze doniesienia na temat pojawienia się ekotypu sarny polnej pojawiły się około stu lat temu, czyli z punktu widzenia ewolucyjnego jest to problem niezwykle „świeży”. Różnice w środowisku życia zapoczątkowały zmiany behawioru, ekologii, a nawet mor-

fologii sarny. Adaptacja do „nowego” środowiska posunęła się na tyle daleko, że koźleta urodzone w środowiskach polnych, po przeniesieniu do lasu, wracały do środowisk rolniczych. Oczywiście, podobne zjawisko zaobserwowano też „w drugą stronę”. Zmiana w środowisku występowania wpłynęła m.in. na zachowanie zwierząt, szczególnie w porze zimowej – o ile sarna „leśna” występuje wówczas pojedynczo lub w niewielkich stadkach, sarna „polna” zbiera się w znacznie większych grupach.

Istotnym źródłem pokarmu dla sarny polnej są rośliny uprawne. Może to rodzić obawy o niekorzystny wpływ tego gatunku na plony. Stwierdzono jednak, że uszczuplanie plonów przez sarny nie przekracza 1%, a żerujące sarny odżywiają się także chwastami, niepożądanymi w produkcji rolnej. Oprócz tego, dostarczają, w postaci kału, pewnej ilości naturalnego nawozu organicznego.

Celem projektu jest określenie, jaki typ krajobrazu jest preferowany przez sarnę. Wyniki obserwacji, prowadzonych w różnym terenie, będą stanowiły materiał porównawczy, dający odpowiedź na pytanie sformułowane w temacie projektu.

Prowadzone na Pomorzu badania dotyczące preferencji siedliskowych jeleniowatych (m.in. sarny) na terenie kilku nadleśnictw dotyczyły wybiórczości środowiskowej sarny ze względu na typ lasu. Według autorów opracowania, sarna występuje w następujących typach lasu: bór suchy, bór świeży, bór wilgotny, bór mieszany świeży, bór mieszany bagienny, las mieszany świeży, las świeży, las wilgotny, ols, ols jesionowy. Tropy saren znajdowano także na bagnach. Za pomocą analiz statystycznych wykazano, że środowiskami zdecydowanie preferowanymi przez ten gatunek są: bór mieszany świeży i las mieszany świeży. Odnotowano też, że sarny unikają drzewostanów bukowych, stosunkowo rzadko występują także w środowiskach wilgotnych i podmokłych. Generalnie można zauważyć, że sarna – podobnie jak wiele innych gatunków zwierząt – wybiera środowiska, w których jest możliwe zoptymalizowanie stosunku pomiędzy „zyskiem energetycznym” uzyskanym przez konsumpcję dostępnego pokarmu, a nakładem energii niezbędnym na jego zdobycie. Istotna jest również możliwość ukrycia przed wiatrem, szczególnie w chłodniejszych porach roku, ze względu na duży wydatek energii, niezbędnej do utrzymania stałej temperatury ciała, który zwiększany jest przez chłodny wiatr na terenach nieosłoniętych i słabo osłoniętych. Preferowane są też środowiska, dające możliwość schronienia przed drapieżnikami, ale także przed człowiekiem – ma to szczególne znaczenie w warunkach silnej antropopresji.

MATERIAŁY POMOCNICZE DO REALIZACJI TEMATU NA LEKCJI I W PROJEKCIE

Strony internetowe

<http://pl.wikipedia.org/wiki/Sarna>
<http://www.lowiecki.pl/biologia/sarna.php>
<http://www.biologia2005.republika.pl/wiadomosci/ssaki/sarna.htm>
<http://www.gdansk.lasy.gov.pl/rdlpgdansk/jednostki/wejherowo/artyku142y/wyznaczenie-ostoi-jeleniowatych-metoda-gis/>
<http://www.forumpodlaskie.pl/pdf/BORKOWSKI.pdf>

Literatura – artykuły naukowe

GENGHINI M., CAPIZZI D. (2005): Habitat improvement and effects on brown hare *Lepus europaeus* and roe deer *Capreolus capreolus*: a case study in northern Italy. *Wildlife Biol.* 11(4): 319–329.
 MIKOŚ J. (2007): Wyznaczenie stałych ostoi jeleniowatych metodą GIS. *Las Polski* 11: 22–23.
 PELLERIN M., CALENGE C., SAID S., GAILLARD J.M., FRITZ H., DUNCAN P., VAN LAERE G. (2010): Habitat use by female western roe deer (*Capreolus capreolus*): influence of resource availability on habitat selection in two contrasting years. *Can. J. Zool.* 88 (11): 1052–1062.
 KULAK D., WAJDZIK M. (2009): Klasyfikacja ekotypowa samców sarny europejskiej (*Capreolus capreolus* L.) na podstawie wybranych pomiarów ich ciała. *Sylwan* 153 (8): 563–574.

Wariant podstawowy

Problem badawczy

Jaki typ krajobrazu jest preferowany przez sarnę?

Zastosowane metody badawcze

1. Metodyka badań

Uczniowie pracują pod kierunkiem nauczyciela. Obserwacje będą wykonywane metodą transektową. Kilkakrotna kontrola każdego transektu (przejście piesze i bezpośrednia obserwacja zwierząt) pozwoli na określenie środowisk, w których sarny obserwowane są częściej niż w innych. Nauczyciel nadzoruje pracę uczniów, wraz z nimi planuje przebieg prac i kontroluje przebieg jego poszczególnych etapów.

2. Wybór obszaru badań – stanowisk pomiarowych

Transekty obserwacyjne wyznaczone będą w zróżnicowanych typach krajobrazu. Należy wyznaczyć jednakową liczbę transektów w każdym z typów badanego krajobrazu, transekty powinny mieć jednakową długość. Przy wyborze transektu należy również wziąć pod uwagę realność wykonania badań, tak, aby uniknąć sytuacji, w których przejście całego transektu nie będzie możliwe ze względu np. na istniejące przeszkody terenowe. Nauczyciel, na podstawie map topograficznych i ogólnodostępnych zdjęć satelitarnych (np. Geoportal, GoogleMaps), w porozumieniu z uczniami, wyznacza teren badań i wytycza transekty obserwacyjne.

3. Wymagany sprzęt: lornetka.

4. Najlepszy okres do wykonywania badań: cały rok.

5. Czas potrzebny do wykonania badań: 3 miesiące.

Najważniejsze osiągnięcia – kompetencje ucznia

a. Wiedza:

- określenie preferencji siedliskowych sarny.

b. Umiejętności:

- znajomość etapów badania naukowego,
- umiejętność prowadzenia obserwacji w terenie.

c. Postawa:

- zrozumienie znaczenia zadrzewień śródpolnych,
- zrozumienie znaczenia urozmaicenia krajobrazu dla występowania różnych gatunków zwierząt, a tym samym dla zwiększania różnorodności biologicznej.

Wariant rozszerzony

Problem badawczy

Jaki typ krajobrazu jest preferowany przez sarnę?

Zastosowane metody badawcze

1. Metodyka badań

Uczniowie planują badania i pracują samodzielnie, pod kontrolą nauczyciela, z którym konsultują swoją pracę w miarę potrzeby. Obserwacje będą wykonywane metodą transektową. Wielokrotna kontrola każdego transektu (przejście piesze i bezpośrednia obserwacja zwierząt) pozwoli na określenie środowisk, w których sarny obserwowane są częściej niż w innych. Wyniki odnoszone będą zarówno do przestrzeni (porównanie między typami krajobrazu), jak również do czasu (porównanie pomiędzy kolejnymi kontrolami). Badania terenowe prowadzone są przez sześć miesięcy, co pozwoli na zebranie danych wystarczających do przeprowadzenia prostej analizy statystycznej. Uzyskane wyniki będą poddane prostej obróbce matematycznej i statystycznej przy wykorzystaniu arkusza kalkulacyjnego (np. MS Excel).

2. Wybór obszaru badań – stanowisk pomiarowych

Transekty obserwacyjne wyznaczone będą w zróżnicowanych typach krajobrazu. Należy wyznaczyć jednakową liczbę transektów w każdym z typów badanego krajobrazu, transekty powinny mieć również porównywalną długość. Przy wyborze transektu należy również wziąć pod uwagę realność wykonania badań, tak, aby uniknąć sytuacji, w których przejście całego transektu nie będzie możliwe ze względu np. na istniejące przeszkody terenowe. Wstępną analizę terenu, niezbędną do wyznaczenia transektów, można przeprowadzić przy wykorzy-

staniu ogólnodostępnych map topograficznych, map i zdjęć satelitarnych dostępnych w Internecie (np. GoogleMaps, Geoportal i inne).

3. Wymagany sprzęt: lornetka.
4. Najlepszy okres do wykonywania badań: cały rok.
5. Czas potrzebny do wykonania badań: 6 miesięcy.

Zastosowana technologia informacyjna

Arkusze kalkulacyjne MS Excel

Najważniejsze osiągnięcia – kompetencje ucznia

- a. Wiedza:
 - określenie preferencji siedliskowych sarny
- b. Umiejętności:
 - znajomość etapów badania naukowego,
 - umiejętność prowadzenia obserwacji w terenie,
 - znajomość podstawowych metod obróbki danych.
- c. Postawa:
 - zrozumienie znaczenia zadrzewień śródpolnych,
 - zrozumienie znaczenia urozmaicenia krajobrazu dla występowania różnych gatunków zwierząt, a tym samym dla zwiększania różnorodności biologicznej.

ROZDZIAŁ 4

GOSPODARKA ZASOBAMI WODNYMI W KRAJOBRAZIE, W TYM NA TERENACH ZURBANIZOWANYCH

Wprowadzenie

Zasoby wodne świata

Na Ziemi znajduje się mniej więcej tyle samo wody, ile było jej w czasie tworzenia się planety. Woda nieustannie krąży w obiegu hydrologicznym Ziemi. Dinozaury piły kiedyś dokładnie te same cząsteczki, które mamy dzisiaj w naszych kranach. **Większość zasobów słodkiej wody na Ziemi stanowi woda zgromadzona w lodach i śniegach Antarktydy, Arktyki i Grenlandii oraz w głębokich warstwach wodonośnych.** Większość tych zasobów jest oddalona od miejsca, w którym mogłyby być wykorzystane, a eksploatacja współczesnymi metodami jest jeszcze zbyt kosztowna. Natomiast podstawowe źródła zaopatrzenia w wodę stanowią rzeki, jeziora oraz płytsze warstwy wodonośne (KAJAK, OKOŃSKA 1995). W produkcji rolnej i w utrzymaniu terenów zielonych dodatkowo wykorzystuje się zawartość wody w glebie. Dla zaspokojenia potrzeb ludzkich pozostaje zaledwie ok. 12,5 tys. km³ wody, co stanowi mniej niż 1% całkowitych zasobów wody słodkiej oraz 0,01% całych zasobów wodnych Ziemi. Całkowite zasoby wód znajdujących się w korytach rzecznych ocenia się na 2115 km³. Szczegółowo przedstawiono je w Tab. 4.1.

Tab. 4.1. Zasoby wodne Ziemi (SHILMANIKOV 1999)

Forma	Objętość [1000 km ³]
Morza	1 338 000
Słone/półsłone wody gruntowe	12 870
Jeziora słone	85
Wody gruntowe słodkie	10 530
Lód gruntowy, zmarzlina	300
Jeziora słodkowodne	91
Wilgoć glebowa	16,5
Para wodna atmosfery	12,9
Błota, obszary podmokłe	11,5
Rzeki	2,12
Woda zawarta we florze i faunie	1,12

Według *US Geological Survey* 96% zamrożonych zasobów słodkiej wody zlokalizowanych jest w sąsiedztwie biegunów: południowego i północnego. Wody podziemne stanowią jej najbardziej obfite i łatwo dostępne źródło, tj. ok. 90% światowych, łatwo dostępnych zasobów wodnych. Większość jezior słodkowodnych zlokalizowana jest w znacznej odległości od krajów posiadających ubogie zasoby wodne.

Natomiast jeziora położone w suchych regionach Ziemi są zwykle zbiornikami wody słonej (skutek intensywnego parowania). Występują tu duże problemy z bilansem wodnym tych zbiorników w przypadku ingerencji człowieka. Często skutkiem błędów w gospodarowaniu ich zasobami jest gwałtowny spadek stanów wody oraz zmniejszenie powierzchni jeziora (Jezioro Aralskie, Jezioro Czad, Morze Martwe), a w warunkach strefy umiarkowanej rosnące zanieczyszczenie i eutrofizacja.

Zasoby wodne świata, takie jak oceany i morza oraz wielkie jeziora, są „źródłem” wody pochodzącej np. z opadów w otaczającym nas krajobrazie. W cyklu hydrologicznym naturalnego obiegu wody na Ziemi obserwować możemy sezonowe zmiany ilości wody, które w krajobrazie przejawiają się wzrostem bądź spadkiem stanu wody w zbiornikach, ciekach wodnych i glebie.

Wody jezior i terenów podmokłych na świecie

Wody jezior stanowią jeden z podstawowych wskaźników stanu retencji*, czyli zdolności dorzecza do zatrzymywania wody. **Na świecie obserwuje się spadek stanów wód jezior, a w skrajnych przypadkach ich zanik.** Procesy te przebiegają bardzo szybko i stąd wniosek, że nie mają nic wspólnego z naturalnym procesem starzenia się jezior*. Znane są przykłady znikających jezior: Czad, Titicaca, Bałchasz, czy znacznego obniżenia się wód jezior: Genezaret, Balaton i Aralskiego oraz Morza Martwego. Bardzo alarmująco brzmi raport o stanie jezior Syberii (opracowany dla obszaru o powierzchni 305 766 km²). Wskazuje on, że w 1971 r. na tym obszarze były 10 882 jeziora o powierzchni przekraczającej 40 ha, a w 1997 r. było ich już 9712; pozostałe jeziora również zmniejszyły swoją powierzchnię (Guardian Unlimited 2005).

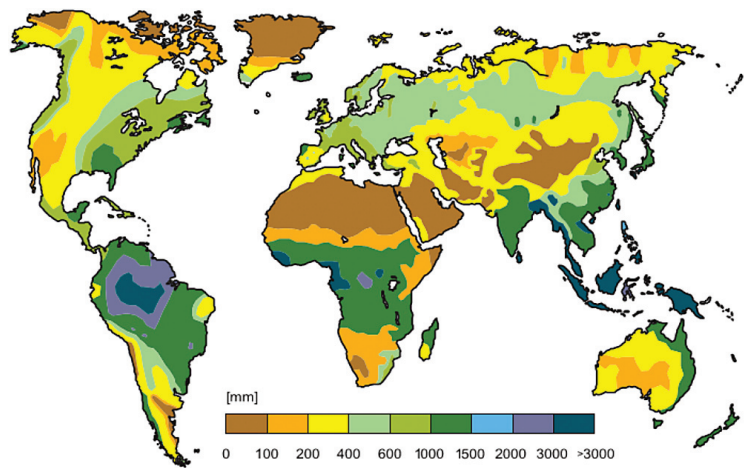
Również w Chinach obserwuje się proces zanikania jezior, np. w prowincji Haibei (Północna Równina Chin) – spośród 1052 jezior, które kiedyś (brak dat w źródle) występowały, pozostały tylko 83. Jest to efekt przeeksploatowania zasobów wodnych. Także w prowincji Qinghai wyschła ponad połowa jezior (powyżej 100). Wśród „lokalnych” strat jezior można wskazać okolice Mexico City, gdzie wszystkie jeziora wokół miasta zniknęły, co wynika z powstania olbrzymiego leja depresyjnego związanego z poborem wód podziemnych dla potrzeb miasta.

Jeziora uczestniczą w tzw. małym obiegu wody w krajobrazie, pozwalając na jej lokalną cyrkulację. Ich ochrona umożliwia retencjonowanie wody w krajobrazie. Kształtuje ona korzystne warunki dla jego biotycznych elementów (KASPRZAK 1983, KAJAK, OKOŃSKA 1995). Wyształcanie pokrywy roślinnej, np. roślin wodnych czy też pasów roślinności przybrzeżnej pozwala na wzbogacenie krajobrazu.

Bardzo istotnymi dla bilansu wodnego elementami sieci hydrograficznej są również obszary podmokłe (bagna, błota, laguny, obszary zalewowe). Całkowita powierzchnia obszarów podmokłych na świecie wynosi ok. 2,9 mln km². Przy głębokości od 0 do 2 m światowe zasoby wody na tych obszarach wynoszą ok. 2,5 tys. km³.

Wody pochodzące z opadów atmosferycznych

Rozkład opadów atmosferycznych na powierzchni Ziemi jest bardzo zróżnicowany pod względem czasu, jak i obszaru występowania. Bardzo istotne są też natężenia i wydajność największych opadów, gdyż wpływa to na sposoby i możliwości gospodarowania zasobami wodnymi. Pomimo wielkich opadów niektóre regiony Ziemi charakteryzują się deficytami wody*. Najczęstszą tego przyczyną są ograniczone możliwości retencjonowania, np. na przeważającej części subkontynentu indyjskiego. Rozbudowa retencji opartej na warunkach naturalnych jest również w wielu krajach, np. w Bangladeszu, niemożliwa ze względu na konfigurację terenu. Również słaba przepuszczalność podłoża ogranicza retencję naturalną, np. na obszarach Ameryki Południowej, na południe od dorzecza Amazonki.



Ryc. 4.1. Średnia roczna suma opadów atmosferycznych (w mm) na świecie (opracowano na podstawie Climate Research Unit of the University of the East Anglia)

Rozkład opadów atmosferycznych na Ziemi, zarówno obszarowy, jak i czasowy jest bardzo zróżnicowany (Ryc. 4.1). Największe opady atmosferyczne występują w strefie równikowej Ziemi – od południowej Azji, w poprzek Afryki i dalej na obszarze Ameryki Środkowej.

Do terenów o najwyższej sumie opadów należy dorzecze Amazonki, gdzie występuje ok. 20% średniego rocznego opadu atmosferycznego na Ziemi. W Afryce dorzecze rzeki Kongo otrzymuje ok. 30% całego opadu kontynentu, a jego ludność stanowi zaledwie 10% populacji Afryki.

Około trzech czwartych rocznego opadu atmosferycznego spada na obszary, gdzie żyje jedna trzecia światowej populacji, czyli dwóch trzecich ludzi świata żyje na obszarach, gdzie spada jedna czwarta rocznego opadu.

Dla przykładu 20% globalnego rocznego odpływu pochodzi z dorzecza Amazonki, wielkiego obszaru zamieszkałego przez około 10 mln ludzi. Amazonka prowadzi więcej wody, niż dziesięć kolejnych pod względem wielkości odpływu rzek świata.

Opady dostarczają wodę roślinom w krajobrazie, a ich ilość wpływa na różnorodność szaty roślinnej. Opady ekstremalne potrafią jednak doprowadzić do gwałtownych zmian w krajobrazie, począwszy od przekształcania przebiegu cieków, powstawania terenów stagnowania wody, a skończywszy na zmianach w pokrywie roślinnej, np. wskutek uszkodzeń mechanicznych lub zamierania mającego miejsce w czasie długotrwałego podtopiania systemów korzeniowych.

Perspektywy zasobów wodnych

W XX wieku pobór wody na świecie wzrósł ponad sześciokrotnie – jest to tempo dwa razy większe niż tempo wzrostu populacji (MWH Soft, Inc.). Ta różnica wynika głównie ze wzrostu stopy życiowej. Zapotrzebowanie świata na wodę podwaja się co 21 lat, w niektórych regionach nawet szybciej (dane Banku Światowego). Zapotrzebowanie wody na osobę rośnie, podczas gdy ilość wody dostępnej na osobę maleje ze względu na wzrost populacji i trendy rozwoju ekonomicznego (MWH Soft, Inc.) Każdego dnia populacja powiększa się o 211 tys. ludzi (WHO 2002). Dla oceny perspektyw rozwojowych poszczególnych państw niezbędne jest określenie wielkości ich potrzeb wodnych. W szczególności dotyczy to: prognozowanej liczby ludności, dalszej perspektywy rozwoju rolnictwa i przemysłu, analizy procesów urbanizacyjnych oraz oceny potrzeb wodnych wszystkich głównych dziedzin życia społeczno-gospodarczego kraju. Według World Resources Institute (1993), ilość odnawialnych zasobów wodnych* w 1990 r. kwalifikowała 20 krajów do grupy o zasobach wodnych *per capita* niższych od 1 tys. m³ na osobę na rok; 15 spośród nich charakteryzowało się gwałtownym przyrostem ludności. W 2025 r. do tej grupy dołączy 10–15 państw.

W okresie od 1990 r. do 2025 r. liczba ludności żyjąca w krajach o powyższych zasobach wodnych wzrosnie z 131 mln do 817 mln lub nawet 1,079 mld, w zależności od przyjętej symulacji. Powoduje to większe zużycie wody „słodkiej” i jej pobór w celach użytkowych. W krajobrazie skutkuje to też większą intensyfikacją działań człowieka – przekształcania krajobrazu, np. regulowanie cieków, wprowadzanie infrastruktury i pojawiających się wskutek tego zanieczyszczeń.

Deficyt wody

Deficyt wody wynika z następujących powodów, które mogą występować, niezależnie: brak wody w środowisku (deficyt absolutny) i brak odpowiedniej infrastruktury (deficyt ekonomiczny). W krajach rozwijających się stworzenie infrastruktury wodnej i sanitarnej jest najtrudniejsze ze względu na brak środków, woli politycznej, perspektywy korzystnej inwestycji etc. Istnienie sieci wodociągowej nie oznacza jednocześnie stałych dostaw wody o właściwym standardzie. W wielu stolicach świata i wielkich metropoliach (zwłaszcza afrykańskich i azjatyckich) woda z sieci wodociągowej bywa dostępna w określonej porze dnia i nocy (KOWALCZAK 2008). Z powodu błędnej lokalizacji miasto staje się zakładnikiem zależnym od jedynej, niezbyt pewnego źródła wody. Przyczyną takiej sytuacji jest gwałtowny, niekontrolowany przyrost ludności.

Obecny kryzys zaopatrzenia w wodę wymaga zmian w sposobie gospodarowania wodą. Zbyt często mamy do czynienia z wielkim marnotrawstwem (w wielu miastach straty wody z sieci wodociągowej przekraczają 50%). W przypadku miast są to najczęściej straty wody o najwyższej jakości. W rolnictwie, dominującym konsumencie wody na świecie, zaoszczędzenie tylko 10% wody zużywanej w produkcji pozwoliłoby podwoić zasoby wody pitnej dla całej ludzkości. Obecnie śred-

nia światowa efektywność zużycia wody w rolnictwie wynosi około 30%. Z drugiej strony, właściwe zarządzanie i dystrybucję wody uniemożliwiają braki finansowe poszczególnych krajów, regionów, społeczności. Problemy te, ze względu na koncentrację, ogniskują się w miastach. Wstrząsająca jest uwaga zamieszczona we wspólnym raporcie Banku Światowego i WWF (2003), stwierdzająca, że około 50 krajów rozwijających się, głównie afrykańskich, używa zaledwie 1% własnych dostępnych zasobów wodnych. Podstawową przyczyną takiego stanu rzeczy jest brak środków, oraz zjawiska ograniczające możliwość rozbudowy infrastruktury, takie jak korupcja, brak woli politycznej, spory wewnętrzne, niestabilna sytuacja polityczna i gospodarcza wewnątrz państw.

Ekstremalne zjawiska hydrologiczno*-meteorologiczne*

W gospodarowaniu wodą szczególne zagrożenie stanowią ekstremalne zjawiska hydrologiczno-meteorologiczne, a w szczególności **powódzie i susze** (KUNDZEWICZ, KOWALCZAK 2008). Wpływowi suszy na rolnictwo poświęcono mnóstwo publikacji, informacje na temat tego zjawiska stanowią znaczną część codziennych meteorologicznych serwisów internetowych. W odniesieniu do miast susze powodują obniżenie natężenia przepływu w ciekach lub wstrzymanie przepływu, w skrajnych przypadkach zanik wody w korycie rzeki, a także obniżanie się poziomu wód podziemnych zwykle wywołane zwiększonym poborem i brakiem naturalnego zasilania. Taka sytuacja znacznie pogarsza możliwości zaopatrzenia miast w wodę. Skutki suszy to między innymi brak lub ograniczenie dostaw wody dla zaopatrzenia ludności, zmniejszenie wielkości przepływu uniemożliwiającego rozcieńczenie odbieranych ścieków do właściwego poziomu, zniszczenia środowiska naturalnego, w tym powodujące fragmentację środowiska wodnego, wysychanie zbiorników i cieków, zniszczenie roślinności, a także zagrożenia dla rolnictwa miejskiego stanowiącego dla wielu rodzin podstawowe źródło żywności. Spada również zwierciadło wód podziemnych stanowiące istotne źródło zaopatrzenia w wodę dla miast. Susza negatywnie wpływa na dostawy żywności, zwłaszcza w krajach rozwijających się, gdzie obniża produkcję rolnictwa miejskiego dostarczającego znacznej liczbie miast ponad 60% produktów rolniczych, a w niektórych asortymentach ponad 80% dostaw. W miastach krajów rozwijających się, i nie tylko, cieki miejskie, stanowiące odbiorniki ścieków, stają się jeszcze bardziej uciążliwe dla mieszkańców miasta i środowiska naturalnego. Susze stanowią zagrożenie dla środowiska naturalnego w mieście – powodują one na całym świecie ograniczenia dostaw wody. Na przykład susza w Brazylii z 2000 roku ograniczyła dostawy wody dla mieszkańców miast, co spowodowało w trzymilionowym São Paulo dostarczanie w okresie pięciu miesięcy wody co drugi dzień (Wilmington News Journal, 2000). Oczywiście susze w tym okresie oddziaływały na wiele miast w innych regionach świata, ale tam, z powodu mniejszej koncentracji ludności, klęski osiągnęły mniejsze rozmiary. Susze, a szczególnie ich skutki, problemy z zaopatrzeniem w wodę, braki żywności i głód, są szczególnie niebezpieczne dla biednych, niedożywionych w długich okresach społeczności miejskich w krajach rozwijających się, które są bardziej podatne na choroby i mniej odporne na występujące deficyty wody i żywności. Głód, który często towarzyszy suszom w krajach rozwijających się, osłabia jeszcze w większym stopniu systemy odpornościowe permanentnie niedożywionych mieszkańców miast i powoduje wzrost zachorowań. Ograniczone działanie systemów zaopatrzenia w wodę zmusza do picia wody z niekontrolowanych, przypadkowych źródeł, co powoduje wzrost liczby zachorowań. W miastach europejskich, zwłaszcza na południu Europy, susze bywają również przyczyną drastycznych ograniczeń dostaw wody.

Drugim z ekstremalnych zjawisk związanych z gospodarowaniem wodą jest powódź. Obszarem o szczególnie dużej częstości występowania powodzi jest Azja południowo-wschodnia. W miastach Ameryki Południowej powódzie kojarzą się, poza intensywnością zjawiska, z występującymi lawinami błotnymi i problemem lokalizacji slumsów. Ameryka Północna, a właściwie miasta Stanów Zjednoczonych, w ostatnich latach były szczególnie dotknięte powodziami, które towarzyszyły huraganom.

Przewiduje się, że na kontynencie europejskim częstość powodzi będzie wzrastać. Pierwsza z przyczyn to skutki robót regulacyjnych na rzekach w końcu XIX i w pierwszej połowie XX wieku, w wyniku których zmniejszyła się powierzchnia obszarów wodno-błotnych, które stanowiły olbrzymie obszary retencyjne. Doliny rzek zostały zwężone wskutek budowy wałów powodziowych, równocześnie oddzielając rzeki od obszarów zalewowych. Wskutek wyprostowania koryt rzek wzrosła ich prędkość przepływu i gwałtowność wezbrań. Wśród współczesnych przykładów ilustrujących

omawiany problem wymienić można powódzie na Renie i miasto Kolonia, które poniosło szczególnie duże straty powodziowe w latach 1993 i 1995. Z powyższym wiąże się zabudowa obszarów zalewowych rzek, które winny stanowić obszary dostępne dla wód rzeki. Pierwotną przyczyną takiego stanu rzeczy jest traktowanie rzek wyłącznie jako kanałów przeciwpowodziowych, bez rozwiązywania problemu w zlewniach*. Głównymi ofiarami takich niewystarczających rozwiązań są miasta i ich mieszkańcy.

Druga ważna przyczyna, której rola będzie wzrastać wraz z rozwojem procesów urbanizacyjnych, to powiększanie się powierzchni nieprzepuszczalnych. Następstwem tego procesu jest nowa kategoria powodzi – powódzie miejskie, wywoływane opadami atmosferycznymi spadającymi na obszary o znacznym udziale powierzchni nieprzepuszczalnych.

Miejsca szczególnie wrażliwe w światowym gospodarowaniu wodą

Do regionów świata szczególnie zagrożonych deficytem wodnym należą:

1. Indie, z ludnością sięgającą 1,4 mld, w 2025 r. wejdą do grupy państw charakteryzujących się chronicznym brakiem wody (501–1000 m³/osobę/rok).
2. Chiny (najliczniejsze państwo świata) w 2025 r. osiągną 1,5 mld ludzi, będą posiadały zasoby wodne równe 1818 m³/osobę/rok, co przy znacznym zróżnicowaniu obszarowym zasobów wodnych, a zwłaszcza z występującymi już deficytami wody w północnej części kraju, może spowodować znaczne trudności w rozwoju gospodarczym niektórych regionów tego państwa.
3. Bogate kraje arabskie (Kuwejt, Katar, Bahrajn, Arabia Saudyjska i Zjednoczone Emiraty Arabskie) już znajdują się w grupie krajów o najmniejszych zasobach wodnych – jedynym rozwiązaniem w przyszłości będzie rozwój metod pozyskiwania wody, np. z odsalania. Bahrajn jest już całkowicie uzależniony od wody uzyskiwanej z odsalania.
4. Izrael i sąsiednie kraje arabskie – to miejsce największego konfliktu o wodę na świecie. Wszystkie państwa tego regionu odczuwają poważne trudności związane z zaopatrzeniem w wodę, a zwłaszcza Jordania i Izrael. Obydwa kraje planują znaczny przyrost liczby ludności przy już istniejących deficytach wodnych. Nawet bardzo udane próby Izraela z oszczędzonymi technologiami użytkowania wody w rolnictwie nie mogą poprawić sytuacji. Konieczne jest wprowadzenie nowych technik jej pozyskiwania lub rozpatrzenie propozycji realizacji któregoś z gigantycznych projektów, np. przerzut wody do Morza Martwego.
5. Kraje afrykańskie – wskutek gwałtownego wzrostu ludności bardzo szybko popadają w trudności związane z zaopatrzeniem w wodę. Dodatkowo sytuację pogarsza brak środków na inwestycje w tej dziedzinie, dotyczy to zwłaszcza krajów „Czarnej Afryki”.

Państwa rozwinięte mają zdecydowanie większe zasoby wodne oraz znacznie lepsze technologie ich wydobycia, transportu i ponownego oczyszczania. Na przykład zużycie wody w USA i innych krajach rozwiniętych wynosi ponad 500 l/osobę/dzień. Woda podana w obliczeniach statystycznych jest wielokrotnie użytkowana i w lepszym stanie oddawana do odbiorców. Niestety, nie ma obecnie możliwości transportu dużych ilości wody do krajów odczuwających jej brak.

Konflikty o wodę

Deficyty wody, zmiany gospodarowania wodą i inwestycje hydrotechniczne mogą stać się przyczyną konfliktów. Można tu wymienić istniejące i potencjalne miejsca konfliktów:

- o znaczeniu międzynarodowym, np. wody podziemne Sahary, wielkie rzeki świata – Mekong, Nil, Tygrys–Eufkrat, Jezioro Aralskie, Bliski Wschód, Jezioro Czad;
 - o znaczeniu krajowym: rzeka Klamath w Boliwii; zaopatrzenie w wodę miast np.: w Hiszpanii;
- W przyszłości:
- obiekty hydroenergetyczne realizowane w programach międzynarodowych, np.: Hidrovia, Lesotho lub przerzuty wody,
 - spory wynikające z programów narodowych, np. Indie i Thai Kanał (KOWALCZAK 2007).

Zagrożenia związane z niedostatkami żywności wynikające z braku wody

Na obszarach rolniczych konieczne będzie zachowanie stanu równowagi pomiędzy wodą na potrzeby produkcji roślinnej a wodą potrzebną dla zachowania ekosystemów naturalnych. Przewiduje się wzrost powierzchni obszarów nawadnianych o 29%, co będzie wiązało się ze zwiększonym zapotrzebowaniem na wodę do nawodnień o 17%, pod warunkiem określonego wzrostu efektywności wykorzystania zasobów wodnych (IWMI 2000). Z kolei FAO (2000) podaje, że konieczny będzie wzrost udziału powierzchni nawadnianych o 34% i 12% wzrost zużycia wody potrzebnej do nawadniania.

Niektórzy autorzy (ALCAMO i in. 2000) przewidują jednak obniżenie potrzeb wodnych rolnictwa do nawodnień. Przyjmując z prognoz nawet najmniejszy wzrost potrzeb wodnych do nawodnień (o 12%), należy wziąć pod uwagę skalę przedsięwzięć związanych z zagwarantowaniem dostawy 300 km³ wody, a przecież spodziewany jest wzrost spożycia wody u innych konsumentów np. w gospodarce komunalnej; należałoby również uwzględnić niezbędne ilości wody potrzebnej do utrzymania niezakłóconego życia w ciekach.

Już obecnie, wskutek przeeksplotowania zasobów wód powierzchniowych i podziemnych przez rolnictwo i innych użytkowników, stwierdza się występowanie braków wody powodujące spadek produkcji rolnej w Indiach, Pakistanie, Chinach i USA. Rolnicy chińscy uprawiający zboże czerpią wodę z głębokości 300 m, co wyraźnie zwiększa koszty produkcji.

Woda niezbędna do wyprodukowania żywności w wystarczającej ilości (nawet dla tego samego poziomu obliczonego w kcal/dzień/osobę) jest różna w różnych strefach naszego globu i poza czynnikami naturalnymi wpływ na zużycie wody mają tradycje kulinarne danego regionu czy też ich zmiany. Według obliczeń (CRIŻ) utrzymanie diety w wysokości 2800 kcal/osobę/dzień wymaga 1 tys. m³ wody/rok/osobę. Problem dostawy wody we właściwych ilościach do produkcji związany jest z warunkami hydrologiczno-meteorologicznymi danego obszaru. W warunkach strefy umiarkowanej możliwa jest uprawa roślin bez potrzeby nawadniania. Jednak na obszarach suchych i półsuchych lub tam, gdzie występuje duża zmienność sezonowa i roczna opadów atmosferycznych – konieczne są nawodnienia. Zastosowanie nawodnień gwarantuje stabilność plonów w każdej strefie klimatycznej.

Migracja spowodowana złym stanem środowiska

Analizy osadów dennych wielkich jezior afrykańskich wskazują na występowanie 75 tys. lat temu wielkich susz w Afryce Równikowej. Wśród skutków wymienia się zmiany powierzchni wielkich jezior. Być może ta właśnie susza była przyczyną wielkiej migracji *Homo sapiens* z Afryki na inne kontynenty. Migracje spowodowane trudnymi warunkami wynikającymi z degradacji środowiska naturalnego* lub wystąpieniem klęski żywiołowej* bardzo trudno ocenić, gdyż zwykle szacuje się tylko te wielkości i kierunki migracji, gdzie występuje pomoc międzynarodowa lub towarzyszy jej jakieś szczególne wydarzenie, np. walki etniczne, masowe zbrodnie, katastrofa ekologiczna itd. (Human Rights Watch 2005; www.hrw.org).

Kategoria „uchodźców środowiskowych”* określa ludzi, którzy przemieszczają się z powodu – naturalnych lub spowodowanych przez człowieka – katastrof lub degradacji środowiska.

Wyróżnia się różne typy uchodźców środowiskowych:

- czasowo zmieniających miejsce zamieszkania wskutek gwałtownych zmian środowiska, które jednakże są odwracalne (katastrofy naturalne i incydenty przemysłowe),
- stale zmieniających miejsce zamieszkania wskutek długotrwałych lub nieodwracalnych zmian środowiska (budowa zapory wodnej, podniesienie poziomu morza),
- opuszczających miejsce zamieszkania w celu poszukiwania lepszego życia, np. z powodu zniszczeń środowiska – zasolenia gleb lub wylesienia.

„Uchodźca środowiskowy” jest pojęciem politycznym, ekonomicznym i ekologicznym, gdyż w państwie, w którym dochodzi do migracji oraz w warunkach, w jakich się ona odbywa, migracja następuje często na skutek wielu czynników.

W odniesieniu do uchodźców środowiskowych są to:

- katastrofy naturalne,
- katastrofy spowodowane przez człowieka (od zanieczyszczenia wód biogenami, poprzez truczyny aż do skażenia radioaktywnego),
- degradacja środowiska,
- realizacja wielkich budowli wodnych.

Najlepiej rozpoznaną formą uchodźstwa środowiskowego jest to spowodowane realizacją wielkich budowli wodnych oraz systemów nawadniających wywierających ogromną presję na krajobraz poprzez zmianę reżimu hydrologicznego. Na podstawie dokumentacji każdej inwestycji można określić liczbę przesiedleńców, którzy w części mają gwarantowane miejsce przesiedlenia, ale znaczna jest ta część przesiedleńców, która z powodu pogorszenia warunków życia migruje dalej, najczęściej do miejskich slumsów.

Zagrożenie zmianą użytkowania zlewni

W obiegowej opinii największe znaczenie w gospodarce wodnej przywiązuje się do zmian zachodzących w korytach cieków, jednak w rzeczywistości decydujący jest sposób zagospodarowania zlewni. Zwykle plan zagospodarowania danego obszaru wskazuje na dominację określonego konsumenta wody na długo przed realizacją obiektu, a także na potencjalne zagrożenia związane ze zmianą użytkowania terenu. Takim sygnałem świadczącym o niebezpieczeństwie może być koncepcja rozwoju rolnictwa na określonym obszarze, zwłaszcza tego typu, który bazuje na uprawach wodochłonnych (zagrożenie dużym zużyciem wody) lub który preferuje przemysłowe metody hodowli zwierząt (zagrożenie zanieczyszczeniem zasobów wód powierzchniowych i podziemnych) albo planuje budowę lub rozbudowę zakładu przemysłowego o technologiach wymagających dużych ilości wody, czy budowę kopalni tworzących wielkie leje depresyjne.

Najpoważniejsze zmiany w obiegu wody i modyfikacji procesów towarzyszących w zlewni powodują wylesienia lub zmiany lokalizacji lasów. Las pełni następujące funkcje: zwiększa odpływ w okresie niskich i zmniejsza w okresie wysokich stanów wód w ciekach, zmniejsza spływ powierzchniowy, zmniejsza parowanie w porównaniu z polem, zmniejsza ilości opadu przedostającego się do gleby, zmniejsza amplitudy temperatur, wpływa na ilość i częstotliwość opadów, zmniejsza wiosenny spływ powierzchniowy z tajania śniegu, przedłuża czas trwania spływu wiosennego powierzchniowego oraz zamienia go na odpływ podziemny, zapobiega gwałtownym przyborom wody w ciekach i obniża kulminacje fal powodziowych, zapobiega nadmiernemu spadkowi poziomu wód w rzekach w okresie suszy, ogranicza erozję – funkcja glebochronna, zwiększa retencję podziemną w zależności od właściwości infiltracyjnych* podłoża i typu drzewostanu. Las ma znacznie większą niż inne środowiska zdolność zatrzymywania wody w glebie.

Zmiany reżimu hydrologicznego rzek, jezior i stawów mogą być spowodowane przez zmniejszenie powierzchni lasów, zróżnicowania ich składu gatunkowego oraz ich wieku.

Reżim hydrologiczny ulega zmianom na obszarach, na których znajdują się:

- użytki rolne – zła gospodarka wodna, a taka występuje na większości użytków rolnych świata. Przy udziale w całkowitym użytkowaniu wody w gospodarce kraju do 90% straty wody sięgają do 80%. W krajach rozwiniętych niewłaściwa struktura użytków rolnych, np. w Polsce zbyt mały udział użytków zielonych),
- urbanizacja – zupełna zmiana obiegu wody, niekorzystne zmiany w bilansie wodnym, zanieczyszczenie wody i powietrza, zniszczenia środowiska wodnego i od wody zależnego,
- kopalnie – leje depresyjne zmieniające stosunki wodne, powodujące zanik sieci hydrograficznej),
- przemysł – najgroźniejszym skutkiem oddziaływania tej gałęzi gospodarki jest zanieczyszczenie wód ograniczające lub uniemożliwiające korzystanie z istniejących zasobów. W przemyśle, zwłaszcza w ostatnich latach, dokonano szeregu usprawnień technologicznych, które znacznie zmniejszyły zapotrzebowanie na wodę oraz obniżyły emisję zanieczyszczeń; przemysł charakteryzuje się największym obniżeniem zużycia wody spośród głównych konsumentów wody na świecie,
- zmniejszanie lub likwidacja obszarów podmokłych, które stanowią niezwykle wysokoproduktywne ekosystemy, miejsca stanowiące bogate siedlisko flory i fauny oraz miejsce zasilania wód podziemnych. Straty obszarów wodno-błotnych w XX w. ocenia się na około 50% ich powierzchni (Environmental Con-cern, Inc., 2003). Podstawową przyczyną ich likwidacji jest rolnictwo, które ich kosztem powiększa powierzchnię upraw. Straty te można ocenić na 56–65% w Europie (ponad 50% strat obszarów wodno-błotnych zanotowano w Holandii, Niemczech, Grecji, Francji).

Urbanizacja – problemy wodne miast

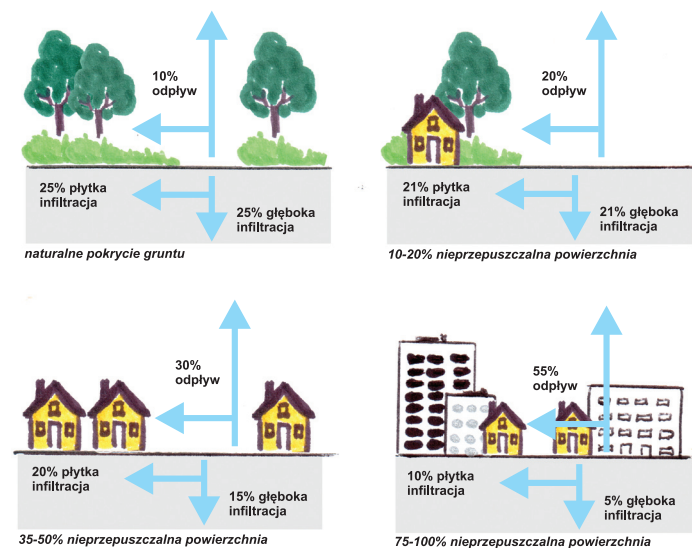
Najbardziej jaskrawym przykładem zmian wywoływanych przez człowieka w zlewniach jest postępująca urbanizacja. W 1800 roku tylko 3% światowej populacji żyło w miastach, w 1900 roku prawie

14%, ale tylko 12 miast posiadało 1 mln lub więcej mieszkańców. W 1950 roku 29% ludności świata mieszkało w miastach, ale istniały już 83 miasta z ponad milionową ludnością, a ponad 10 mln ludności przypadało tylko jedno miasto (Nowy Jork). W XX wieku liczba mieszkańców miast na świecie wzrosła z 220 milionów w 1900 roku do 2,84 miliardów w 2000 roku. W 2000 roku około 47% światowej populacji żyło w miastach, a 411 miast miało ponad 1 milion mieszkańców. Pomiędzy 2000 a 2030 rokiem populacja miast Azji wzrośnie z 1,36 miliarda do 2,64 miliarda, Afryki z 294 milionów do 742 milionów, Ameryki Łacińskiej i Karaibów z 394 milionów do 609 milionów. W 2030 roku siedmiu z dziesięciu mieszkańców miast żyć będzie w Azji lub Afryce (UNFPA, 2007). W miastach przybywa co roku 67 milionów mieszkańców, 1,3 miliona co tydzień. W 2030 roku około pięciu miliardów ludzi będzie żyło w miastach, tj. 60% spośród 8,3 miliarda mieszkańców Ziemi.

W wyniku urbanizacji (wzrostu udziału powierzchni nieprzepuszczalnych) opady o tej samej wielkości i natężeniu będą powodowały coraz wyższe wezbrania, natomiast przerwanie wałów będzie wiązać się z coraz większymi stratami.

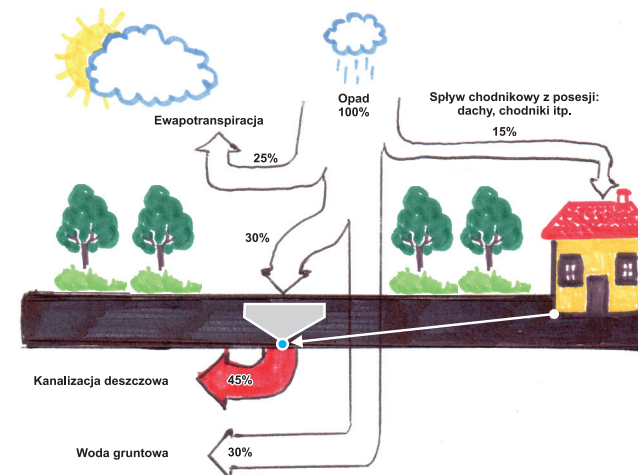
Miasta należą do obszarów najsilniej przeobrażonych w wyniku działalności gospodarczej człowieka. Na ich terenach przeobrażeniu ulegają praktycznie wszystkie elementy środowiska przyrodniczego, a więc wody, rzeźba terenu, gleby, topoklimat, szata roślinna oraz świat zwierzęcy. Szczególnie zmienia się środowisko wodne. Zmiany, które w największym stopniu wpływają na modyfikację cyklu hydrologicznego, to usunięcie naturalnej pokrywy roślinnej, usunięcie, zamiana lub przykrycie gleb posiadających większe zdolności retencji, utrata naturalnych zagłębień, tworzenie dużych powierzchni nieprzepuszczalnych (stanowiących dominującą część obszarów miasta), stosowanie systemów odwadniających służących do odprowadzania płytkich wód podziemnych i wód deszczowych. Konsekwencje presji człowieka (antropopresji*) na stosunki wodne przejawiają się w zanikaniu cieków, osuszaniu terenów podmokłych, zanieczyszczeniu wód, regulacji rzek oraz zmianie reżimu odpływu. Następuje zanik jezior i innych zbiorników wodnych. Rzeki miejskie, w większości o prostoliniowym przebiegu, o umocnionych płytami betonowymi korytach są odmienne od rzek naturalnych pod wieloma względami. Drastycznie zmieniają się warunki zasilania cieków. Sieć kanalizacyjna również silnie wpływa na warunki odpływu. Miarą oddziaływania miasta na obieg wody jest udział w jego całkowitej powierzchni terenów pokrytych materiałem nieprzepuszczalnym (asfalt, beton). Takie obszary ograniczają proces infiltracji, zwiększając jednocześnie wielkość spływu powierzchniowego, co jest niebezpiecznym zjawiskiem.

Gwałtowny proces urbanizacji wymaga ochrony wód. Podstawowym działaniem jest zagospodarowanie wód opadowych oraz utrzymanie sieci hydrograficznej na obszarach zurbanizowanych. Odpływy w zlewniach zurbanizowanych są bardzo zróżnicowane. Zmienność odpływu w zlewniach zurbanizowanych jest proporcjonalna do udziału obszarów nieprzepuszczalnych. Poniższy schemat prezentuje ewolucję niekorzystnych zmian składowych bilansu wodnego (Ryc. 4.2).



Ryc. 4.2. Zmiany wielkości składowych bilansu wodnego w zlewni urbanizowanej w zależności od udziału obszarów nieprzepuszczalnych (FISFRG 2001)

Wzrost udziału odpływu powierzchniowego kosztem infiltracji to zaledwie niewielka część większego problemu. Najbardziej istotny i szkodliwy dla środowiska miejskiego jest fakt, że odpływ nie odbywa się dalej poprzez sieć hydrograficzną*, ale zostaje on natychmiast (w przeważającej części) skierowany do systemu kanalizacyjnego, co zmienia jego charakter. Tym samym wody zostają wyprowadzone ze środowiska naturalnego – przestają być jego komponentem, a stają się ściekiem, utracona zostaje możliwość samooczyszczania się odpływających wód, a przeciwnie – po wpłynięciu wody w system kanalizacyjny rozpoczynają się procesy gnilne. Przyczyną zasadniczych zmian w bilansie wodnym zlewni miejskiej jest skierowanie znacznych ilości wód opadowych do kanalizacji deszczowej, co ilustruje poniższy schemat (Ryc. 4.3). Należy zwrócić uwagę na wielkość składową kanalizacji deszczowej (45%) – to tu znika woda, której brak stanowi o deficytach wodnych miast.



Ryc. 4.3. Bilans wodny* zlewni miejskiej z uwzględnieniem strat wody powodowanych wprowadzeniem znaczącej części wód opadowych do systemu kanalizacyjnego (OECD 1986)

Wpływ rolnictwa i jego zależność od wody

Rolnictwo, które jest największym użytkownikiem wody na świecie, wywołuje również istotne zmiany w kształtowaniu odpływu wody ze zlewni. Wskutek przeeksplotowania, głównie przez rolnictwo, zasobów wodnych dopływów zwykle spowodowanych błędną strategią ich wykorzystania, zniszczeniu ulegają duże, naturalne zbiorniki wodne na świecie, np. Jezioro Aralskie, Jezioro Czad.

Wśród rzek, których wody nie osiągną przekroju ujściowego w wyniku przeeksplotowania zasobów wodnych w zlewni można wymienić Colorado. Od lat sześćdziesiątych XX w. woda z Colorado była przechwytywana dla potrzeb nawodnień i zaopatrzenia w wodę miast w USA i Meksyku. Dotychczas nie ma żadnego porozumienia dotyczącego ochrony delty rzeki, która ulega degradacji wskutek zmniejszenia przepływów wody i transportu rumowiska.

Z powodu nadmiernych poborów wody z rzek, głównie dla potrzeb rolnictwa, wiele z nich nie dociera do morza, np. Huang He (Żółta Rzeka), druga pod względem długości rzeka w Chinach (5460 km), której przekrój ujściowy był suchy w ciągu ostatnich 10 lat przez około 70 dni w roku, a w 1995 r. był suchy przez 122 dni.

Rolnictwo będzie zmuszone do podniesienia produkcji nie tylko z powodu przyrostu liczby ludności, ale również z powodu konieczności zmiany diety wielu bogacących się narodów. Wymaga to wielkich ilości wody, np. wzbogacenie chińskiej diety o dania z wołowiny w skali porównywalnej z USA wymaga wody równej codziennym przepływom Nilu. Dieta amerykańska, bogata w produkty zwierzęce, wymaga zużycia 4 razy więcej zboża na osobę niż oparta na ryżu dieta mieszkańców np. Indii. Do wykorzystania zwiększonej ilości zboża zużywamy proporcjonalnie więcej wody.

Przeciętna ilość wody potrzebna do wyprodukowania 1 kg żywności to w przypadku ziemniaków 1000 l, kukurydzy 1400 l, pszenicy 1450 l, ryżu 3450 l, drobiu (kurczak) 4600 l, wołowiny 42 500 l (www.newint.org).

Amerikanin spożywa przeciętnie ok. 560 kg pożywienia rocznie; do wyprodukowania i przetworzenia kilograma tego pożywienia potrzebnych jest 3,785 m³ wody. Dlatego potrzeby wodne są olbrzymie. Nadzieja tkwi w nowych, bardziej efektywnych technologiach wykorzystania wody. Nasza cywilizacja nie jest pierwszą, która stanęła wobec wyzwania zachowania swoich nawodnień (POSTEL 2011).

Woda w planowaniu przestrzennym oraz jej powiązania ze światem biotycznym

Utrzymanie właściwej ilości wody dla potrzeb środowiska naturalnego, obok zaopatrzenia w wodę ludności, to podstawowe zadania gospodarki wodnej na obszarach zurbanizowanych.

Obszary zurbanizowane zmieniają reżim hydrologiczny cieków i zbiorników wodnych, dlatego zadaniem gospodarki wodnej na obszarach miejskich jest nie tylko zapewnienie właściwej ilości wody w wymaganej jakości niezbędnej dla utrzymania środowiska naturalnego, ale także zapewnienie naturalnej zmienności stanów i przepływów stymulujących życie ekosystemów związanych z siecią hydrograficzną i od nich zależnych. Obecność rzek i innych zbiorników wodnych w przestrzeni miejskiej często wpływa na charakter zabudowy położonej w pobliżu. Z funkcji korytarza ekologicznego na obszarze miasta, jaką pełnią koryta i dolina rzeki, wynika dodatkowa rola sieci hydrograficznej porównywanej do krwioobiegu naturalnego środowiska miasta. Zielone korytarze czyli doliny rzeczne w miastach, tworzą interesujący i ważny element krajobrazu z punktu widzenia zrównoważonego rozwoju. Powszechnie niedoceniana jest też rola sieci hydrograficznej w mieście jako wielkiej oczyszczalni wód, której parametry oczyszczania są znacznie wyższe niż niejednej oczyszczalni ścieków.

Ważne jest odtworzenie obszarów wodno-błotnych lub tworzenie sztucznych, które wspomogą zdolności retencyjne zlewni miejskich oraz wielokrotną efektywność samooczyszczania wody. **Występowanie wody w miastach związane jest z kształtowaniem zieleni miejskiej.**

Roślinność w miastach jest niezmiernie ważna dla świata zwierzęcego. W miastach istotną rolę odgrywają krajobrazy roślinne, a zwłaszcza zbiorowiska roślinności wodnej, jak i związane z nimi zbiorowiska roślinności torfowiskowej i bagiennej. Są one czynnikiem wywierającym ważny wpływ na stosunki hydrologiczne miasta. Istotny jest przede wszystkim wpływ roślinnych zbiorowisk przybrzeżnych wód stojących i płynących.

Torfowiska spełniają rolę filtrów biologicznych, wchłaniają pyły i zanieczyszczenia przemysłowe, ponadto przechwytyują z wody znacznie większy zestaw zanieczyszczeń niż oczyszczalnie ścieków.

Rola roślinności przybrzeżnej polega na przechwytywaniu licznych składników przemieszczanych w kierunku zbiornika bądź cieku. Zatem pełni ona funkcję filtra biologicznego, osłaniającego wody przed migracją dużych dawek nawozów mineralnych, pestycydów, zanieczyszczeń zmywanych z powierzchni miast, czyli ochrania te wody przed zanieczyszczeniem i przeżyźnieniem.

Roślinność w mieście, oprócz funkcji biologicznej, pełni też funkcję estetyczną. Stanowi element krajobrazu podkreślający piękno rozwiązań architektonicznych. Obszary zieleni bardzo pozytywnie wpływają na mikroklimat, poprawiają samopoczucie mieszkańców oraz są terenem odpoczynku i rekreacji.

Na świecie prowadzi się szereg działań mających na celu poprawę warunków (jakości) życia w mieście poprzez rozbudowę obszarów zielonych i rewitalizację miejskiej sieci hydrograficznej. Przykładem zastosowania idealnych rozwiązań w dziedzinie zagospodarowania miasta jest Singapur. Podstawą sukcesu są drakońskie i skutecznie egzekwowane kary za śmiecenie i związane z tym system gospodarowania wodą, ściekami i odpadami. Około 98% mieszkańców żyje we własnych domach i mieszkaniach, co stanowi rekord światowy. Pomimo znacznej gęstości zaludnienia metropolia sprawia wrażenie miasta-ogrodu z wielką ilością zieleni, z zarybionymi ciekami. Śmieci są zbierane wzorcowo. Miasto o powierzchni 647 km² posiada 2348 ha parków, 3000 ha rezerwatów natury oraz 2158 ha chronionych zlewni, w tym prawdopodobnie jedyny na świecie tropikalny las deszczowy w mieście, przechwytyjący i filtrujący wodę dla pokrycia ok. 50% potrzeb Singapuru.

Literatura

- ALCAMO J., HEINRICH T., ROOSCH T. (2000): World Water in 2025. Global modeling and scenario analysis for Water Commission of Water for 21st century. http://www.usf.uni-kassel.de/usf/archiv/dokumente/kw/ws/kw_ws.2.pdf
- BROWN L.R., HADDAD L. (1995): Time allocation patterns and time burdens: A gendered analysis of seven countries. International Food Policy Research Institute, Washington, DC, Mimeo.
- GOŁDYN R. i in. (2012): Rola zbiorników wodnych w krajobrazie rolniczym. Ss. 176. Fundacja Biblioteka Ekologiczna w Poznaniu, „Bonami” Wydawnictwo-Drukarnia, Poznań.
- KAJAK Z., OKONSKA (1995): Hydrobiologia. Ekosystemy wód śródlądowych. Ss. 326. Dział Wydawnictw Filii UW w Białymstoku, Białystok.

- KASPRZAK K. (1983): Wpływ małych zbiorników wodnych i drobnych cieków na faunę otaczających ekosystemów lądowych. W: Ekologiczne podstawy zagospodarowania Wisły i jej otoczenia. S. 223-247. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa-Lódź.
- KOWALCZAK P. (2007): Konflikty o wodę. Ss. 480. Wydawnictwo Kurpisz S.A., Przeźmierowo.
- KOWALCZAK P. (2008): Zagrożenia związane z deficytem wody. Ss. 356. Wydawnictwo Kurpisz S.A., Poznań.
- KUNDZEWICZ Z. W., KOWALCZAK P. (2008): Zmiany klimatu i ich skutki. Ss. 212. Wydawnictwo Kurpisz S.A., Poznań.
- POSTEL S. L. (2011): Getting more crop per drop. W: State of the world. Innovations that nourish the planet. The Worldwatch Institute, s.39-49.
- SHIKLOMANOV, I. A. 1993. World fresh water resources. Water in crisis. A guide to the world's fresh water resources. W: Gleick P. H. (red.) Ss: 13-24. Oxford Univ. Press, Oxford.

Strony internetowe

- Bank Światowy <http://www.worldbank.org/>
- Environmental Con-cern, INC, 2003 <http://www.wetland.org/whoweare.htm>
- Freshwater Society <http://freshwater.org/>
- Guardian Unlimited, 2005, <http://www.theguardian.com/tone/blog>
- IWMI, 2000, <http://www.iwmi.cgiar.org/>
- Managing Water for African Cities, 1999 http://www.unhabitat.org/content.asp?cid=2154&catid=460&typeid=24&subMenuId=MWH_Soft,Inc <http://www.mwhglobal.com/blog/mwh-soft-inc.-ships-groundbreaking-water-distribution-modeling-t/>
- OECD, 1986, <http://www.oecd.org>
- UNFPA, 2007, <http://unfpa.org/public/>
- WHO, 2002, <http://www.who.int/en/>
- Wilmington News Journal, 2000 <http://wnewsj.com/index.asp>
- World Resources Institute 1993 <http://www.wri.org/>

WideoWykład do wykorzystania na lekcjach pt. *Gospodarka zasobami wodnymi w krajobrazie, w tym na terenach zurbanizowanych*, <http://www.ekologia-krajobrazu.pl/index.php/baza-wiedzy>

PROJEKT: CIEKI I ZBIORNIKI WODNE JAKO ISTOTNY ELEMENT KRAJOBRAZU W GOSPODAROWANIU WODAMI POWIERZCHNIOWYMI

CELE REALIZACJI PROJEKTU

- wprowadzenie do podstaw hydrologii – zlewnie i interpretacja zdjęć lotniczych,
- zapoznanie z wybranymi elementami sieci hydrograficznej: ciekami i zbiornikami oraz ich usytuowaniem w krajobrazie,
- praca z ogólnie dostępnymi mapami i zdjęciami lotniczymi, nauka posługiwania się mapami hydrograficznymi i topograficznymi,
- rozpoznawanie rzędowości cieków i rodzaju zbiorników,
- określenie wpływu procesu zabudowy powierzchni na spływ powierzchniowy i infiltrację wody w glebie.

OPIS ZAGADNIENIA DO REALIZACJI NA LEKCJI I W PROJEKCIE

Cieki i zbiorniki wodne to najłatwiej zauważalne elementy wód powierzchniowych. Na ich przykładzie możliwe jest przedstawienie wybranych zagadnień dotyczących występowania wody w krajobrazie.

Zarówno na terenach miejskich, jak i wiejskich zauważyć można postępujący proces zabudowy terenu. Ograniczenie powierzchni przepuszczalnych powoduje wzrost spływu powierzchniowego.

MATERIAŁY GRAFICZNE DO REALIZACJI NA LEKCJI I W PROJEKCIE

Ogólnodostępne zdjęcia lotnicze, mapy hydrograficzne oraz topograficzne.

MATERIAŁY POMOCNICZE DO REALIZACJI TEMATU NA LEKCJI I W PROJEKCIE

Wstęp do obsługi portalu z danymi przestrzennymi na przykładzie Geoportalu został zawarty w prezentacji.

Strony internetowe

http://mapy.amzp.pl/tk25.cgi?23,48,60,80
 http://www.geoportal.gov.pl/

Literatura

BAJKIEWICZ-GRABOWSKA E., MIKULSKI Z. (2006): Hydrobiologia ogólna. Ss. 340. Wydawnictwo Naukowe PWN Wydanie IV, Warszawa.
 GOŁDYN R. i in. (2012): Rola zbiorników wodnych w krajobrazie rolniczym. Ss. 176. Fundacja Biblioteka Ekologiczna w Poznaniu, „Bonami” Wydawnictwo-Drukarnia, Poznań.
 KAJAK Z., OKOŃSKA (1995): Hydrobiologia. Ekosystemy wód śródlądowych. Ss. 326. Wdział wydawnictw Filii UW w Białymstoku ISBN 83-86423-12-9, Białystok.
 KASPRZAK K. (1983): Wpływ małych zbiorników wodnych i drobnych cieków na faunę otaczających ekosystemów lądowych. W: Ekologiczne podstawy zagospodarowania Wisły i jej otoczenia. s. 223-247. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa-Lódź.
 KRASKA M., KANIECKI A. (1995): Mała retencja wodna w Wielkopolsce i jej uwarunkowania przyrodnicze. W: Ekologiczne aspekty melioracji wodnych. s. 123-139. Instytut Ochrony Przyrody, Kraków.
 KRÓL C. (1999): Hydrologia. Podręcznik dla szkół kształcących w zawodzie technik inżynierii środowiska i melioracji. Ss. 272. Hortpress, Warszawa.
 NOWACKA-REJZNER U. (2001): Znaczenie małych cieków wodnych dla kształtowania środowiska miejskiego na przykładzie Krakowa. W: Architektura nr 45. Wyd. Politechniki Krakowskiej, Kraków.
 SIUDAK R., WALCZEWSKI P. (2010): Symulacja zmian odpływu powodowana procesami urbanizacyjnymi na obszarze Północnego Pasma Rozwojowego Poznania. Ss. 26. Ekostandard, Poznań.

OPIS PROJEKTU

Problem badawczy

Na obszarze jakiej gminy występuje więcej małych cieków i zbiorników wodnych?
 Na obszarze jakiej gminy występuje więcej powierzchni nieprzepuszczalnych – na terenie gminy miejskiej czy wiejskiej?

Wariant podstawowy

Obszarem badań powinna być jednostka administracyjna – gmina – w dwóch lokalizacjach: teren miejski i wiejski. Sugerowany jest wybór gminy, w której znajduje się szkoła i w celu porównania dopasowanie do niej gminy odpowiednio miejskiej lub wiejskiej.

Na podstawie map odnaleźć w terenie największy i najmniejszy zbiornik przepływowy i bezodpływowy; ciek o naturalnym i sztucznym pochodzeniu – zmierzyć prędkość przepływu wody metodą pływakową (czas, w którym pływak przepływa określony odcinek).

Wykazanie różnicy między różnymi ciekami wodnymi.

Wyznaczenie i pomiar powierzchni małych zbiorników oraz długości cieków wodnych za pomocą narzędzi geoprzestrzennych na ortofotomapie/mapach topograficznych/hydrograficznych w granicach wyznaczonego terenu.

Zadanie 1: Wybór dwóch gmin jako powierzchni poddanych analizie.

Zadanie 2: Wybór zbiorników – określenie ich połączenia lub braku z siecią cieków wodnych, wyznaczenie ich rzędowości według systemów pokazanych w prezentacji.

Zadanie 3: Przeprowadzenie pomiarów powierzchni zbiorników i określenie długości cieków wodnych i powierzchni zielonych, przez które przepływają.

Zadanie 4: Określenie różnic między liczbą a powierzchnią analizowanych obiektów w wybranych gminach.

Wariant rozszerzony

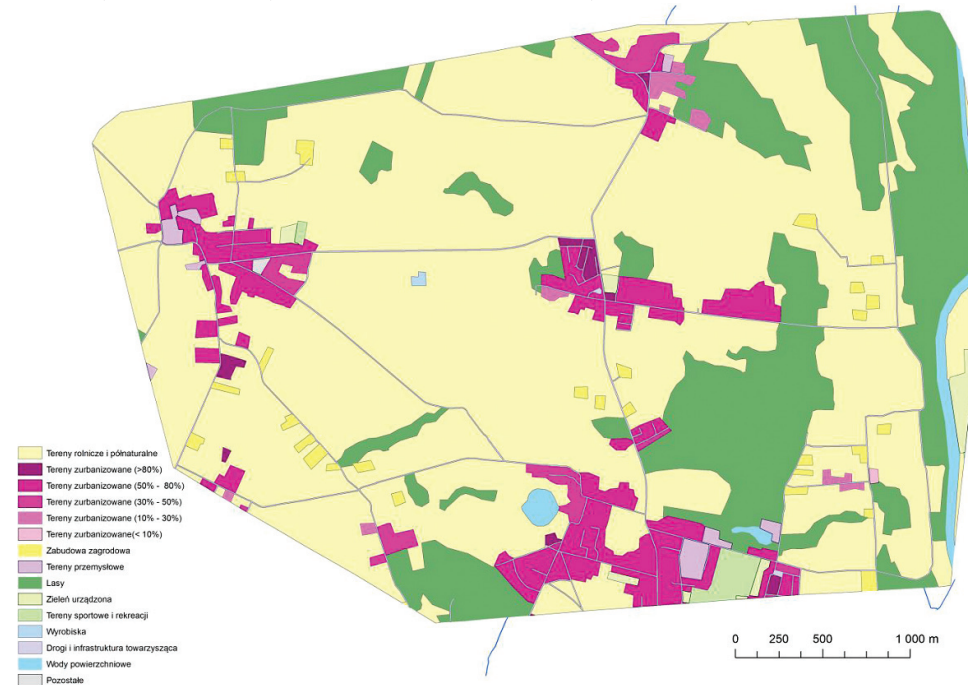
Na podstawie pomiarów z wykorzystaniem ogólnodostępnych map zagospodarowania terenu można:

- określić procentowy udział powierzchni zabudowanych na obszarze wybranej gminy miejskiej i gminy wiejskiej,
- porównać występowanie podobnych obiektów w krajobrazie w obu lokalizacjach,
- określić znaczenie cieków i zbiorników w danym krajobrazie (np. zurbanizowanym, rolniczym).

Zadanie 1: Pomiar powierzchni przepuszczalnych, nieprzepuszczalnych i półprzepuszczalnych za pomocą narzędzi geoprzestrzennych na wyznaczonym terenie.

Zadanie 2: Porównanie wyników i wskazanie różnic dotyczących znaczenia cieków i zbiorników wodnych na analizowanym obszarze.

Przykład zaznaczonych powierzchni na mapie gminy



Ryc. 4.4. Zagospodarowanie terenu (SIUDAK 2010)

Tab. 4.2. Aktualne użytkowanie terenu na badanym obszarze

Rodzaj zagospodarowania	Powierzchnia [m ²]
Drogi i obiekty towarzyszące	254844,60
Lasy	2956916,53
Obiekty sportowe i rekreacji	79114,08
Pozostałe	6461,62
Tereny przemysłowe	98153,71
Tereny rolnicze i półnaturalne	9505240,78
Tereny zieleni urządzonej	85886,38
Tereny zurbanizowane (<10%)	1254448
Wody powierzchniowe	172115,57
Wyrobiska	5374,90
Zabudowa zagrodowa	151883,20

Do pomiarów powinny być stosowane dane z portali udostępniających informacje geoprzestrzenne i umożliwiające ich obróbkę (np. Geoportal). Analizy w klasie mogą być przeprowadzone przez cały rok szkolny, badania terenowe – w okresie wiosennym i na początku IV kwartału. Po zakończeniu badań kameralnych należy odnaleźć sugerowane obiekty na opracowanym obszarze.

Zastosowana technologia informacyjna

Arkusze kalkulacyjny MS Excel.

Najważniejsze osiągnięcia – kompetencje ucznia

- Wiedza: zapoznanie z podstawami hydrologii
- Umiejętności: zastosowanie map i danych przestrzennych w odniesieniu do wybranych elementów hydrograficznych i interpretacja zdjęć lotniczych
- Postawa: kształtowanie nawyku oszczędzania wody

4.1. PROJEKT: ZASOBY WODY NA ŚWIECIE I ICH ZNACZENIE W KRAJOBRAZIE

CELE REALIZACJI PROJEKTU

- poznanie znaczenia wody w gospodarce i krajobrazie
- zapoznanie ze stanem zasobów wody słodkiej na świecie
- określenie dostępności wody w państwach na poszczególnych kontynentach
- określenie znaczenia wody w krajobrazie

OPIS ZAGADNIENIA DO REALIZACJI NA LEKCJI I W PROJEKCIE

Woda ma wartość porównywalną lub wyższą niż złoto. Umożliwia m.in. uprawę roślin i stanowi artykuł pierwszej potrzeby. Konieczność dostępu do niej prowadziła i prowadzi do groźnych konfliktów. Nadmiar i niedobór wody w krajobrazie niesie ze sobą groźne konsekwencje. Poznając obszary, w których występują jej zasoby, można przewidzieć, gdzie jej zabraknie lub gdzie może pojawić się w nadmiarze.

MATERIAŁY GRAFICZNE DO REALIZACJI NA LEKCJI I W PROJEKCIE

Ogólnodostępne dane z publikacji naukowych oraz źródeł rządowych i organizacji międzynarodowych.

MATERIAŁY POMOCNICZE DO REALIZACJI NA LEKCJI I W PROJEKCIE

Strony internetowe

<http://webworld.unesco.org/water/ihp/db/shiklomanov/>
<http://hydro.geo.uni.lodz.pl/index.php?page=zasoby-wodne>
<http://wmiis.up.poznan.pl/?q=node/3>
http://www.mos.gov.pl/artukul/2686_gospodarka_wodna/9462_gospodarka_wodna.html

Literatura

CHEŁMIŃSKI W. (2002): Woda, degradacja, ochrona. Ss. 306. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa.
 KOWALCZAK P. (2008): Zagrożenia związane z deficytem wody. Ss. 356. Wydawnictwo Kurpisz S.A., Poznań.
 KUNDZEWICZ Z. W., KOWALCZAK P. (2008): Zmiany klimatu i ich skutki. Ss. 216. Wydawnictwo Kurpisz S.A., Poznań.
 PAWŁOWSKA K., SŁYSZ K. (2002): Zagrożenia i ochrona przed powodzią w planowaniu przestrzennym. Poradnik metodyczny. Ss. 104. Instytut Gospodarki Przestrzennej i Komunalnej, Korel, Kraków.
 Siudak R. (2010): Symulacja zmian odpływu powodowana procesami urbanizacyjnymi na obszarze Północnego Pasma Rozwojowego Poznania. Ekostandard, Poznań.

OPIS PROJEKTU

Problem badawczy

Jakie konsekwencje w krajobrazie powoduje brak dostępu do zasobów wody wynikających z działalności człowieka i zjawisk naturalnych?

Wariant podstawowy

Określenie zasobów wody słodkiej dla kontynentów – wyznaczenie krajów najbardziej zasobnych i ubogich w wodę słodką na świecie i w zależności od kontynentu. Gdzie znajdują się największe zasoby wody słodkiej?

Stworzenie malejącego szeregu kontynentów pod względem dostępności do wody słodkiej. Przedstawienie konsekwencji w krajobrazie spowodowanych brakiem wody lub jej nadmiarem (przekształcanie środowiska).

Wariant rozszerzony

Stworzenie malejącego szeregu krajów należących do Unii Europejskiej pod względem dostępności do wody słodkiej. Porównanie procentowe zasobów wody w odniesieniu do powierzchni kraju oraz ilości przypadającej na jednego mieszkańca danego kraju. Określenie dostępności wody dla mieszkańców poszczególnych kontynentów. Podać przykłady „konfliktów o wodę” w skali lokalnej i światowej oraz podać przykład takiego konfliktu w Polsce.

Na przykładzie wybranego konfliktu między państwami przedstawić konsekwencje dla państw biorących w nim udział. Na podstawie przykładów odpowiedzieć na pytanie, czy konflikty o wodę mogą zostać rozwiązane i zakończone.

1. Analiza materiałów i źródeł danych, zasobności w wodę słodką i jej dostępności.
2. Obszar badań będzie rozpatrywany w skali lokalnej w zakresie zasobów wodnych.
3. Badania kameralne mogą być opracowywane przez cały rok szkolny.
4. W zależności od wariantu i zróżnicowania analizowanego obszaru 10h lekcyjnych + 2 dni terenowe.

Zastosowana technologia informacyjna

Arkusze kalkulacyjny MS Excel.

Najważniejsze osiągnięcia – kompetencje ucznia

- Wiedza: zapoznanie ze stanem zasobów wody słodkiej na świecie,
- Umiejętności: korzystanie z wiarygodnych źródeł informacji – danych naukowych, raportów ministerialnych, raportów organizacji światowych.
- Postawa: Kształtowanie odpowiedzialności za podejmowane decyzje (niewłaściwa urbanizacja terenów)

4.2. PROJEKT: RYZYKO POWODZIOWE – CO POWINNIŚMY WIEDZIEĆ?

CELE REALIZACJI PROJEKTU

- zapoznanie się z czynnikami wpływającymi na ryzyko powodziowe
- zapoznanie się z powodziami historycznymi
- wyjaśnienie i zapoznanie się z pojęciami stanów charakterystycznych oraz stanów: ostrzegawczego i alarmowego* na wodowskazie* oraz „rzędnej zera” wodowskazu*
- zrozumienie pojęcia powodzi stuletniej*
- zapoznanie się z bieżącymi zagrożeniami meteorologicznymi i hydrologicznymi z wykorzystaniem stron internetowych
- kształcenie umiejętności korzystania z danych hydrologicznych

OPIS ZAGADNIENIA DO REALIZACJI NA LEKCJI I W PROJEKCIE

Czynniki wpływające na ryzyko powodzi

Z powodziami mamy do czynienia wówczas, gdy wezbrane wody zalewają doliny rzeczne lub tereny nisko położone, a przez to powodują zniszczenia i wywołują straty finansowe czy społeczne. Na ryzyko powodzi wpływają:

- czynniki klimatyczne, takie jak: pojemność wodna atmosfery, intensywność opadów, topnienie śniegu, wielkoskalowe cyrkulacje atmosferyczne, temperatura, itp.
W ostatnich dekadach nastąpił wzrost temperatury, zmieniają się więc też opady. W cieplejszym klimacie pojemność wodna atmosfery wzrasta, a co za tym idzie, zwiększa się możliwość występowania intensywnych opadów. Ocenia się, że ociepleniu o 1°C odpowiada wzrost pojemności wodnej atmosfery o 7% (KUNDZEWICZ, KOWALCZAK 2008).
- czynniki środowiskowe takie jak: wielkość zlewni*, budowa geologiczna, użytkowanie powierzchni terenu, przekształcenie koryt rzecznych (obwałowania, prostowanie rzek itp.). Ogromną rolę w procesie transformacji opadu na przepływ ma użytkowanie terenu.
Im bardziej nieprzepuszczalne podłoże (np. w mieście), tym szybszy odpływ i większa fala powodziowa. Im obszar ma większą zdolność retencyjną (lasy, tereny podmokłe, wiejskie), tym odpływ jest wolniejszy i mniejsza fala powodziowa (KUNDZEWICZ i in. 2012).
- czynniki społeczno-ekonomiczne, takie jak liczba osób zamieszkujących obszary zagrożone powodziami, prowadzenie działalności ekonomicznej na terenach zagrożonych; rozwój infrastruktury na takich terenach, czy świadomość ryzyka. Kiedy dochodzi do dużych powodzi w krajach bogatych, nie da się uniknąć olbrzymich strat, jednak często udaje się uratować ludzkie życie. Inaczej jest w krajach ubogich, gęsto zaludnionych. Najwięcej ofiar śmiertelnych, liczonych w tysiącach, notuje się w Azji. Tam zazwyczaj straty materialne nie są aż takie wysokie jak np. w Europie (KUNDZEWICZ i in. 2012).

Rodzaje powodzi

Powodzie mogą mieć odmienną genezę i pojawiać się w różnych porach roku. Rozróżniamy:

- powodzie opadowe, które są wynikiem długotrwałego i intensywnego opadu deszczu. Powodzie takie zazwyczaj mają miejsce w miesiącach letnich. Jednymi z największych w Polsce były: powódź w lipcu 1997 roku, która dotknęła także Czechy i Niemcy oraz powódź w maju 2010 roku. Szczególnym rodzajem powodzi opadowych są powodzie miejskie, do których dochodzi w miastach pod wpływem intensywnych deszczy, gdy systemy kanalizacyjne nie nadążają z odbiorem wód opadowych, co prowadzi do podtopień;
- powodzie roztopowe są wynikiem topnienia pokrywy śnieżnej na znacznym obszarze (np. powódź w zlewni Warty w 1979 roku);
- powodzie zatorowe wywołane są zatorami lodowymi, powodującymi gwałtowny wzrost stanów wód (np. powódź w 1982 roku na Wiśle w okolicach Płocka);
- powodzie sztormowe, których przyczyną jest zjawisko „cofki” w rzekach na terenach nadmorskich. Wody morskie pod wpływem wiatru uniemożliwiają sływ wód rzecznych do morza, co powoduje ich spiętrzenie i zalewanie terenów przyległych. Powódź taka wystąpiła np. na Żuławach Gdańskich i Elbląskich w 1983 roku (CIEPIEŁOWSKI 1992).

Powodzie historyczne w Polsce

Do wielkich wezbrań w dorzeczu Odry doszło w latach: 1310, 1350, 1372, 1405, 1445, 1495, 1496, 1501, 1515, 1522, 1736, 1785, 1813, 1854 i 1897. W XX wieku powodzie wystąpiły w latach: 1902, 1903, 1958, 1965, 1970, 1972, 1977, 1981, 1985, 1997 i 1998. Powodzie w latach 1813, 1831, 1854, 1880, 1902 i 1903 uznane zostały za „powodzie stulecia”. Jednak powódź w lipcu 1997 roku przekroczyła rozmiarami wszystkie dotychczasowe (DUBICKI 1999).

W dorzeczu Wisły największe powodzie zdarzyły się między innymi w latach 988, 1118, 1253. Największa powódź w XIX wieku miała miejsce w 1813 roku, a inne znaczne wezbrania z tego wieku wystąpiły w 1839, 1844 i 1867 roku. W XX i XXI wieku do największych wezbrań doszło w latach 1903, 1934, 1960, 1962, 1970, 1972, 1997, 2001, 2004 i 2010 (BARCZYK i in. 1999).

W ostatnich dziesięcioleciach w Polsce najczęściej występują powodzie opadowe. Po wielkiej powodzi letniej w lipcu 1997 roku, obejmującej większą część dorzecza Odry i część dorzecza Wisły, która spowodowała ogromne straty materialne i śmierć 55 osób, kraj dotknęły powodzie w latach 1998, 2001 i 2004. Do kolejnej serii powodzi doszło w maju, czerwcu i sierpniu 2010 roku.

Pojęcia związane ze stanem wody na wodowskaziu

Do pomiarów stanów wody służy wodowskaz. Zwykle jest to pionowo ustawiona łąta z podziałem co 2 cm, na której stany wody odczytywane są z dokładnością do 1 cm. Na posterunkach wodowskazowych, gdzie istnieje potrzeba częstej rejestracji stanów wody, do pomiarów stosuje się urządzenia automatyczne – tzw. limnigrafy. Stan wody to wartość odczytana na wodowskaziu (najczęściej w cm). Nie jest tożsama z głębokością rzeki, gdyż rzędna „0” wodowskazu* (pionowa odległość punktu od przyjętego poziomu odniesienia) umieszczona jest zazwyczaj poniżej dna rzeki ze względu na przemieszczanie się materiału w obrębie koryta rzecznej, aby uniknąć wartości ujemnych. Rzędna każdego wodowskazu określona jest niwelacyjnie i podawana w m n.p.m. Jeśli odczyt stanu wody dodamy do rzędnej wodowskazu, wówczas otrzymamy poziom wody*.

Z pojęciem stanu wody wiążą się stany charakterystyczne*:

- roczne (z danego roku):
 - WW – stan maksymalny
 - SW – stan średni
 - NW – stan minimalny
- wieloletnie (np. z 30 lat):
 - SWW – średni stan z maksymalnych rocznych (średnia wielka woda)
 - SSW – średni stan ze średnich rocznych (woda normalna)
 - SNW – średni stan z minimalnych rocznych (średnia niska woda)
- stany ekstremalne (w całej historii pomiarów):
 - WWW – absolutne maksimum
 - NNW – absolutne minimum

Oprócz tych stanów wyznacza się także stany umowne:

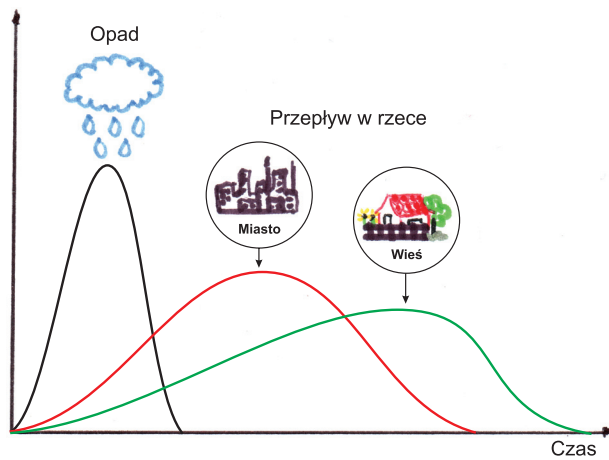
- ostrzegawczy* – zwraca uwagę na zagrożenie powodziowe. Najczęściej jako stan ostrzegawczy przyjmuje się ten o 10 cm niższy od poziomu wody brzegowej. Zwiększa się wtedy częstotliwość odczytu stanów na wodowskaziu oraz ogłasza się pogotowie przeciwpowodziowe;
- alarmowy* – oznacza groźbę powodzi. Najczęściej przekracza on poziom wody brzegowej. Jest to taki stan napelnienia koryta, przy którym woda zaczyna zagrażać sąsiednim obszarom zagospodarowanym i budowlom wodnym. Wystąpienie stanu alarmowego uruchamia alarm przeciwpowodziowy (CIEPIEŁOWSKI 1992).

Powodzie o określonym prawdopodobieństwie wystąpienia

Wielu ludzi słysząc np. o powodzi stulecia wyobraża sobie, że następna powódź pojawi się dopiero za sto lat. Nic bardziej mylnego. Termin „woda/powódź stulecia” oznacza jedynie wyjątkowość tego zjawiska, a nie określa, kiedy możemy się go spodziewać w przyszłości. W świetle zmian klimatu ocenia się, że obecna powódź „stulecia”, jak i obecna susza „stulecia” wyznaczone na podstawie przeszłego okresu kontrolnego, w przyszłości mogą występować częściej. Ponieważ projektowana infrastruktura przeciwpowodziowa oparta zazwyczaj jest o wielkość wody stulecia, powinna ona uwzględniać tę zmianę. Na obszarach, gdzie ryzyko powodzi jest duże, należy wziąć pod uwagę możliwość wycofania infrastruktury z takich terenów. Innym czynnikiem ograniczającym rozmiar powodzi jest „utrzymanie wody tam, gdzie ona spada”, czyli zachowanie jak największej powierzchni naturalnych zbiorników retencyjnych w postaci mokradeł, terenów zalewowych czy starorzeczy, by „dać rzece więcej przestrzeni”. Powodzie nie da się uniknąć, możemy jedynie próbować minimalizować straty. Jednym z czynników ograniczających ich powstawanie jest właściwy system informowania i ostrzegania społeczeństwa (PIŃSKWAR 2010).

MATERIAŁY GRAFICZNE DO REALIZACJI NA LEKCJI I W PROJEKCIE

Rycina



Ryc. 4.5. Przebieg wezbrania w zlewni rolniczej i miejskiej

Literatura

- BARCZYK A., BOGDANOWICZ E., DOBRZYŃSKA I., DREZIŃSKA B., FAL B., KRUSZEWSKI A., OŚRÓDKA K., SZTURC J. (1999): Przebieg wezbrania w dorzeczu Wisły. W: Grela J., Słota H., Zieliński J. (red.), Dorzecze Wisły: monografia powodzi lipiec 1997. Seria Atlasy i Monografie. S. 45-71. Wydawnictwo IMGW, Warszawa.
- CIEPIEŁOWSKI A. (1992): Charakterystyka zjawisk powodziowych w Polsce. W: Mosiej K., Ciepiewski A. (red.) Ochrona przed powodzią. S. 5-53. IMUZ, Falenty.
- DUBICKI A. (1999): Ocena rozmiaru powodzi 1997 roku na tle powodzi historycznych. W: Dubicki A., Słota H., Zieliński J. (red.), Dorzecze Odry: monografia powodzi lipiec 1997. Seria Atlasy i Monografie. S. 119-124. Wydawnictwo IMGW, Warszawa.
- KUNDZEWICZ Z.W., KOWALCZAK P. (2008): Zmiany klimatu i ich skutki. Ss 214. Wydawnictwo Kurpisz S.A., Poznań.
- KUNDZEWICZ Z.W., PLATE E.J., RODDA H.J.E., RODDA J.C., SCHELLHUBER H.J. i STRUPCZEWSKI, W.G. (2012): Changes in flood risk – setting the stage. W: Kundzewicz Z.W. (red.) Changes in flood risk in Europe. S. 11-26, IAHS Press CRC Press (Balkema), IAHS Special Publ. No. 10, Wallingford, Oxfordshire, UK.
- PIŃSKWAR I. (2010): Projekcje zmian w ekstremach opadowych w Polsce. Ss. 151. Monografie Komitetu Gospodarki Wodnej Polskiej Akademii Nauk, Zeszyt 32, Warszawa.

OPIS PROJEKTU

Problem badawczy

1. Jakie lata możemy zaliczyć do suchych, a jakie do mokrych?
2. Czy w danym momencie w Polsce występuje zagrożenie powodziowe?
3. Czy w danym momencie w Polsce występuje zagrożenie związane z silnymi opadami deszczu i wyładowaniami atmosferycznymi?

Zastosowane metody badawcze

Zajęcia będą się składały z dwóch części:

- a) teoretycznej, poświęconej zagadnieniom związanym z ryzykiem powodziowym oraz wyjaśnieniu ważnych pojęć stosowanych w hydrologii;
- b) praktycznej, polegającej na zapoznaniu się z platformą IMGW – MONITOR; odczytywaniu aktualnych stanów wód w rzekach dzięki niej; stronami internetowymi z radarami opadowymi i wyładowaniami atmosferycznymi; wykonaniu obliczeń przy użyciu arkuszy kalkulacyjnych: z danymi o miesięcznych sumach opadów atmosferycznych oraz z informacjami o maksymalnych miesięcznych stanach wód dla jednego wodowskazu. Dzięki tym zadaniom uczniowie

nauczą się pozyskiwania informacji o bieżących zagrożeniach meteorologicznych i hydrologicznych, a dzięki obliczeniom będą orientować się, kiedy w przeszłości występowały lata suche bądź mokre. Część praktyczna została podzielona na dwa warianty.

Wariant podstawowy

Dla całej klasy, 1–2 godziny lekcyjne. Projekt będzie się składał z dwóch części. Pierwszą można wykonać, dzieląc uczniów na pięć grup (dla każdej grupy po jednej stacji meteorologicznej). Dane o sumie opadów dla stacji z terenu Polski pochodzą z Roczników Statystycznych Głównego Urzędu Statystycznego. Nowsze dane miesięczne dla pięciu stacji można uzyskać z „Biuletynów Statystycznych”, wydawanych co miesiąc i udostępnianych na stronie: http://www.stat.gov.pl/gus/publikacje_a_z_PLK_HTML.htm Wybieramy publikacje o tytule na literę „B” i odnajdujemy np. Biuletyn Statystyczny nr 5/2013.

Część pierwsza będzie polegała na sporządzeniu wykresów średnich sum opadów w przebiegu rocznym dla poszczególnych stacji meteorologicznych, wyznaczeniu maksymalnych i minimalnych sum dla poszczególnych miesięcy oraz maksymalnych i minimalnych sum rocznych. Do obliczeń posłuży arkusz kalkulacyjny.

Zadanie 1: Obliczenie wartości średnich sum opadów dla poszczególnych miesięcy z okresu 1971–2000 na podstawie miesięcznych sum opadów dla pięciu stacji meteorologicznych. W tym celu sumujemy wartości dla poszczególnych miesięcy z lat 1971–2000 i dzielimy przez liczbę lat: 30.

Zadanie 2: Sporządzenie wykresów średnich sum opadów w przebiegu rocznym dla poszczególnych stacji.

Zadanie 3: Wyznaczenie dla poszczególnych miesięcy wartości minimalnych i maksymalnych sum opadów.

Zadanie 4: Obliczanie wartości sum rocznych na podstawie miesięcznych sum opadów dla pięciu stacji meteorologicznych. W tym celu sumujemy wartości miesięczne dla danego roku.

Zadanie 5: Wyznaczenie najbardziej suchych i najbardziej mokrych lat w badanej serii. W tym celu szeregujemy sumy roczne wraz z rokiem od wartości najmniejszej do największej lub odwrotnie.

Zadanie 6: Obliczenie na podstawie rocznych sum opadów dla pięciu stacji meteorologicznych wartości średnich sum rocznych z okresu 1971–2000. W tym celu sumujemy wartości sum rocznych z lat 1971–2000 i dzielimy przez liczbę lat: 30.

Druga część będzie polegała na zapoznaniu się ze stronami internetowymi, z radarami opadowymi i danymi dotyczącymi wyładowań atmosferycznych, danymi umieszczonymi na stronie internetowej IMGW, platformą IMGW – MONITOR oraz odczytywaniu aktualnych stanów wód w rzekach dzięki platformie MONITOR.

Zadanie 1: Zapoznanie się z ogólnodostępnymi danymi na temat opadów w czasie rzeczywistym. Dzięki obrazom z radarów opadowych możemy na bieżąco śledzić, jak przesuwały się opady na terenie Polski. Zarówno na portalu IMGW, <http://www.pogodynka.pl/polska/radary> jak i na <http://www.sat24.com> możemy obejrzeć animacje z przesuwanymi się opadami. O intensywności opadu świadczy nasycenie koloru: im bardziej czerwony, tym zjawisko intensywniejsze.

Zadanie 2: Zapoznanie się ze stronami internetowymi przedstawiającymi dane z detektorów wyładowań atmosferycznych. Na stronie <http://www.blitzortung.org/Webpages/index.php> możemy zaobserwować wyładowania atmosferyczne w czasie rzeczywistym w całej Europie. Po lewej stronie wybieramy zakładkę „Europa Wschodnia”. Tutaj również możemy zaobserwować kierunek przesuwania się obszaru wyładowań: im ciemniejszy kolor, tym starsze wyładowania, kolor biały oznacza wyładowania z ostatnich 20 minut.

Zadanie 3: Jak kształtowały się sumy opadów w Polsce dla poszczególnych miesięcy i pór roku od 2010 roku możemy dowiedzieć się z map na stronie IMGW <http://www.imgw.pl/>. Wybieramy zakładkę „Wiedza”, a po lewej stronie z zakładki „Wiedza dla wszystkich” – „Mapy klimatyczne dla Polski”. Szczególnie interesująca jest mapa z sumą opadów dla maja 2010 roku oraz mapa z anomalią sumy opadów w stosunku do średniej wieloletniej sumy opadów z lat 1971–2000. To właśnie te opady nawalne były przyczyną rozległej powodzi w 2010 roku. Najwyższe opady były skoncentrowane wokół obszaru Bielska-Białej. Jak wysoka to była suma opadów, możemy się dowiedzieć np. z Biuletynu Statystycznego nr 5/2010 (strona internetowa GUS, archiwum publikacji).

Zadanie 4: Dzięki platformie IMGW – MONITOR <http://monitor.pogodynka.pl/hydro/start> możemy sprawdzić aktualne stany wód w rzekach Polski. Po wybraniu na mapie zlewni, otwiera się strona z zaznaczonymi wodowskazami. Odpowiednie kolory oznaczają strefy stanów wód: od niskich do wysokich, przekroczenia stanów ostrzegawczego bądź alarmowego. Po kliknięciu w znaczek wodowskazu możemy odczytać aktualny stan wody*, wysokość stanu ostrzegawczego oraz alarmowego, a także trend zmian. Możemy również odczytać sumę opadów dla stacji znajdujących się w pobliżu wodowskazu. Zadanie to da nam orientacyjny obraz, gdzie w danej chwili w Polsce może wystąpić ryzyko podtopień czy powodzi.

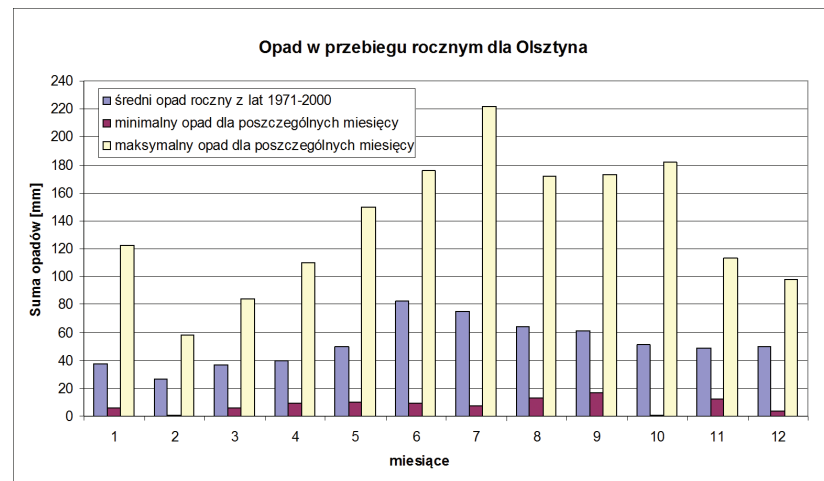
Wariant rozszerzony

W wariantcie rozszerzonym proponuje się rozwiązanie tych samych ćwiczeń co w wariantcie podstawowym, dodatkowo zaś można wykonać następujące ćwiczenia:

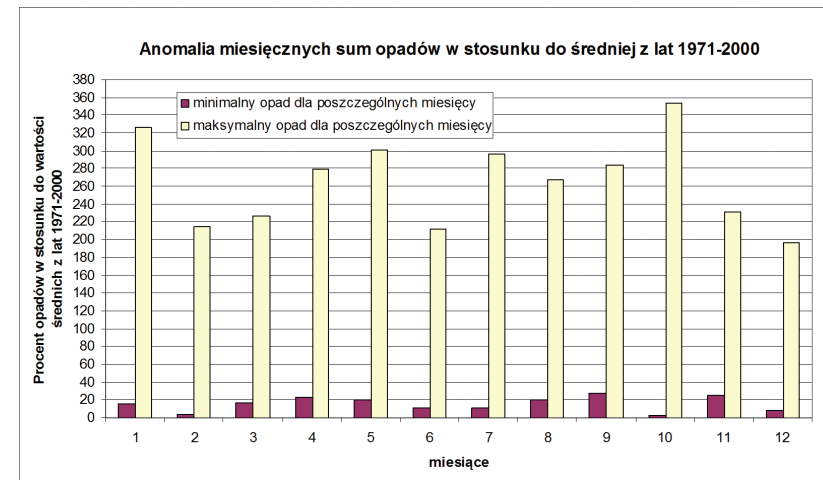
1. Sporządzenie wykresu maksymalnych miesięcznych stanów wód z lat 1984–2006 dla jednego posterunku wodowskazowego – Łądek-Zdrój na rzece Biała Łądecka (prawy dopływ Nysy Kłodzkiej, dorzecze Odry). Do obliczeń posłuży arkusz kalkulacyjny.
2. Wyznaczenie stanów WW dla każdego roku oraz stanów z wielolecia: WWW (absolutne maksimum) oraz SWW – średni stan z maksymalnych rocznych (średnia wielka woda).
3. Odnalezienie na platformie IMGW – MONITOR <http://monitor.pogodynka.pl/hydro/start> posterunku Łądek-Zdrój i odczytanie wartości stanów: ostrzegawczego i alarmowego.
4. Sprawdzenie na wykresie z zadania 1, ile razy w badanym okresie nastąpiło przekroczenie stanu ostrzegawczego, a ile stanu alarmowego. Zadanie to da podstawy do wnioskowania, kiedy w przeszłości wystąpiło ryzyko powodziowe.

Przykładowe wyniki wcześniejszych badań z tego zakresu

Poniżej przedstawiono wykresy wykonane na podstawie danych o miesięcznych sumach opadów z lat 1966–2012 oraz anomalii maksymalnych i minimalnych sum opadów dla poszczególnych miesięcy w stosunku do ich średnich wartości z lat 1971–2000.



Opis ryciny na s. 132.



Ryc. 4.6. Analiza opadów rocznych (źródło: opracowanie własne autora na podstawie danych z Roczników Głównego Urzędu Statystycznego oraz comiesięcznych Biuletynów Statystycznych GUS)

Na badanej stacji Olsztyn średnia roczna suma opadu z lat 1971–2000 wyniosła 624 mm. Najniższe roczne sumy opadów, zaobserwowane w latach 1966–2012, wyniosły:

- 404 mm w 1982 roku, co stanowiło 65% opadu średniego z lat 1971–2000
- 412 mm w 1996 roku
- 455 mm w 1969 roku
- 485 mm w 1976 roku
- 487 mm w 1971 roku

Najwyższe zaobserwowane sumy opadów w latach 1966–2012 to:

- 904 mm z roku 1967 (prawie 150% opadu średniego)
- 902 mm w 1970 roku
- 857 mm w 1978 roku
- 846 mm w 1966 roku
- 824 mm w 1974 roku

Możemy zaobserwować wystąpienie najwyższej sumy miesięcznych opadów w Olsztynie w lipcu 2011 roku: 222 mm. Była to ponad połowa opadów z całego suchego roku 1982 (404 mm) i ponad 1/3 opadów dla średniego roku z lat 1971–2000 (624 mm). Druga największa suma miesięczna wyniosła 182 mm i miała miejsce w październiku 1974 roku. Jeśli popatrzymy na anomalie miesięcznych sum opadów, to właśnie ta suma październikowa najbardziej odbiega od wartości średniej w całym roku – stanowiła aż 354 % średniego opadu w tym miesiącu. Kolejna bardzo widoczna anomalia, aż 326 %, to maksymalny opad styczniowy z 2007 roku: 122 mm, przy średniej dla tego miesiąca – 37 mm.

W przypadku najniższych sum miesięcznych warto przyjrzeć się miesiącom letnim: czerwiec, lipiec i sierpień. To właśnie wówczas jest największe zapotrzebowanie roślin na wodę opadową. Najniższe sumy opadów w tych miesiącach kształtowały się następująco:

- w czerwcu: 9 mm w 1969 roku, przy średniej dla tego miesiąca: 83 mm (11%)
- w lipcu: 8 mm w 2006 roku, przy średniej: 75 mm (11%)
- w sierpniu: 13 mm w 1997 roku, przy średniej: 64 mm (20%)

Wnioski

W 1982 roku, kiedy wystąpiła najniższa suma roczna opadów w Olsztynie (404 mm), w Polsce trwała bardzo dokuczliwa susza. Dla wielu polskich stacji (9 z 28 badanych) był to rok z najniższymi opadami (PIŃSKWAR 2010). W lipcu 2011 roku, kiedy zaobserwowano maksymalną sumę miesięczną opadów w Olsztynie, w wielu miejscach wskutek silnych opadów doszło do przekroczenia stanów alarmowych i wystąpienia podtopień. Bardzo niepokojące jest wystąpienie maksymalnej sumy opadów w styczniu 2007 roku. Biorąc pod uwagę, że nasz klimat się ociepla i opady zimowe będą coraz częściej

występowały w postaci deszczu, a nie śniegu, można przypuszczać, że bardzo to wpłynie na wzrost ryzyka powodziowego. Zaobserwowanym minimalnym sumom dla miesięcy letnich towarzyszyły miesiące bardzo wilgotne: bardzo wilgotny był sierpień 2006 roku z licznymi podtopieniami, a suchy sierpień 1997 roku, poprzedzony był bardzo wilgotnym okresem w końcu czerwca i w lipcu, kiedy doszło do tragicznej powodzi letniej. W przyszłości możemy się spodziewać wydłużenia okresów suchych, hamujących wzrost roślin, po których mogą następować intensywne opady, powodujące lokalne podtopienia, a nawet powodzie.

Zastosowana technologia informacyjna

- a) arkusz kalkulacyjny MS Excel
- b) portale internetowe

Najważniejsze osiągnięcia – kompetencje ucznia

- a) Wiedza
 - zapoznanie się z czynnikami wpływającymi na ryzyko powodziowe, z powodziami historycznymi, z pojęciami stanu ostrzegawczego i alarmowego na wodowskazie oraz „rzędnej zera” wodowskazu, zrozumienie pojęcia powodzi stulecia.
- b) Umiejętności
 - zastosowanie ogólnodostępnych danych meteorologicznych do rozwiązania problemu
 - powiązanie wysokości opadów z możliwością wystąpienia ryzyka powodziowego z jednej strony i wystąpienia zjawiska suszy z drugiej
- c) Postawa:
 - kształtowanie postawy świadomego wpływu działalności ludzkiej na wzrost ryzyka powodziowego poprzez np. niewłaściwe planowanie przestrzenne na terenach zalewowych.

ROZDZIAŁ 5

ZMIANY KLIMATU, EDUKACJA GLOBALNA

Wprowadzenie

Wstęp

Pojęcie „klimat” należy rozumieć jako kompleks złożonych procesów atmosferycznych, rozpatrywanych w różnych skalach przestrzennych i czasowych. W „Słowniku meteorologicznym IMGW” z 2003 roku klimat zdefiniowano jako „charakterystyczny dla danego obszaru zespół zjawisk i procesów atmosferycznych, kształtujących się pod wpływem właściwości fizycznych i geograficznych tego obszaru, określony na podstawie wieloletnich obserwacji” (NIEDŹWIEDŹ 2003). Najkrótszym okresem obserwacyjnym dla badań klimatycznych zalecanym przez Światową Organizację Meteorologiczną jest 30 lat. Chodzi o to, by uwzględnić istotną i naturalną zmienność klimatu. Gdyby rozważać tylko krótki okres, np. dziesięcioletni, to mogłoby się zdarzyć, że w nim będą dominować lata ciepłe, bądź zimne i suche, bądź wilgotne. W dłuższym okresie można oczekiwać większej różnorodności i lepszej charakterystyki.

W zależności od skali przestrzennej, dla której rozważa się klimat, wyróżnić można: makroklimat*, mezoklimat*, topoklimat* lub też klimat lokalny i mikroklimat*.

1. Makroklimat jest klimatem stref geograficznych, kontynentów, oceanów o względnie jednorodnych czynnikach geograficznych oraz ogólnej cyrkulacji atmosfery.
2. Mezoklimat jest klimatem niewielkiego regionu geograficznego, małego obszaru Ziemi o wymiarach liniowych rzędu 10–100 km, charakteryzującym się wewnętrzną jednorodnością oraz odrębnością w odniesieniu do warunków klimatycznych obszarów sąsiadujących z nim i kształtujących się pod wpływem rzeźby terenu, np. klimat Podhala.
3. Topoklimat jest klimatem miejsca lub stosunkowo niewielkiego terenu o powierzchni rzędu 1–100 km², którego cechy kształtują się pod wpływem czynników występujących na danym obszarze lub w jego najbliższym otoczeniu, takich jak np. rzeźba terenu, gleby, szata roślinna, czy zabudowa. Topoklimat jest więc miejscową modyfikacją mezoklimatu. Nieraz mówimy o nim: klimat lokalny. Przykładem może być klimat doliny czy miasta.
4. Mikroklimat jest klimatem niewielkiego obszaru o powierzchni od kilku do kilkuset m² o właściwościach odróżniających dany obszar od klimatu otaczającego środowiska, np. mikroklimat wąwozu, skraju lasu, brzegu jeziora czy nawet korony drzewa.

Efekt szklarniowy* – dobrodziejstwo czy zagrożenie?

Ziemia jest najbardziej uprzywilejowaną planetą w Układzie Słonecznym, o zakresie temperatur umożliwiającym życie. Jest jedyną planetą, na której woda występuje w dużych ilościach we wszystkich trzech stanach skupienia – jako ciecz, lód i para. Ziemia jest jednak znacznie cieplejsza niż wynika to z odległości od Słońca, a tłumaczy to efekt cieplarniany (szklarniowy).

W 1859 roku angielski uczone John Tyndall odkrył, że dwutlenek węgla i para wodna absorbują ciepło i sformułował hipotezę, że zmiany zawartości tych gazów w atmosferze mogą powodować zmiany klimatu. W 1896 roku szwedzki uczone Svante Arrhenius przedstawił istotę efektu cieplarnianego i znaczenie atmosferycznego stężenia gazów cieplarnianych dla ziemskiej temperatury. Mechanizm tego procesu przypomina cieplarnię, której szklany dach wpuszcza krótkofalowe promieniowanie słoneczne, a nie wypuszcza promieniowania długofalowego. Dach naszej ziemskiej „cieplarni” stanowi atmosfera, zawierająca tzw. gazy szklarniowe, zatrzymujące promieniowanie długofalowe, które zamiast uciec w przestrzeń kosmiczną, w części podlega absorpcji na cząsteczkach gazów cieplarnianych, wskutek czego dolne warstwy atmosfery i powierzchnia Ziemi podgrzewają się do średniej temperatury 14,5°C. Gdyby nie efekt cieplarniany, średnia temperatura na powierzchni globu byłaby ujemna, a woda byłaby w znacznie większym stopniu w fazie stałej.

O sile efektu cieplarnianego decydują więc zawartości gazów szklarniowych w atmosferze, które absorbują i emitują promieniowanie podczerwone. Są to przede wszystkim: dwutlenek węgla – CO₂ (najobfitszy gaz cieplarniany w składzie ziemskiej atmosfery); metan – CH₄; podtlenek azotu – N₂O i ozon – O₃ oraz gazy zsyntetyzowane przez człowieka. Choć tych gazów jest mało, łącznie mniej niż

0,1% wszystkich gazów w atmosferze, odgrywają one bardzo ważną rolę w kształtowaniu klimatu. Ponadto, atmosfera zawiera parę wodną – również silny gaz cieplarniany.

Roślinność pobiera z atmosfery dwutlenek węgla i wbudowuje węgiel w swoją masę, wydzielając tlen, niezbędny do oddychania, który umożliwia budowę warstwy ozonu w stratosferze, chroniącą życie na Ziemi przed promieniowaniem ultrafioletowym.

Efekt cieplarniany jest więc na pewno dobrodziejstwem, ale intensyfikacja tego efektu wywołuje zagrożenie galopującym wzrostem temperatury. Krótki przegląd konsekwencji zmian klimatu podano w jednym z kolejnych podrozdziałów. Tutaj, jako przykład niekorzystnych konsekwencji wzrostu temperatury, omówimy wzrost poziomu morza.

Generalnie, im wyższa temperatura, tym wyższy jest poziom wody w oceanach. Pomiarzy wskazują, że podczas okresu ocieplenia Eemskiego (gdy było cieplej o 2–3°C niż obecnie, przynajmniej na Antarktydzie) temperatury spowodowały podniesienie się poziomu oceanów o co najmniej 5 m. Na wzrost poziomu wody w oceanie światowym ma wpływ, oprócz wzrostu objętości wody wraz ze wzrastającą temperaturą, topnienie lądolodu znajdującego się na lądzie. Spływająca z niego woda podnosi poziom oceanów. Szacuje się, że samo stopnienie się lodów Grenlandii spowodowałoby podniesienie poziomu mórz i oceanów o 6–7 m.

Regularny i istotny spadek zasięgu pokrywy lodowej Arktyki i jej grubości już stał się faktem. Utrata masy lodu jest znacznie większa niż sama utrata powierzchni. Jeszcze kilkanaście lat temu twarde, stały lód stanowił ok. 80% lodu w Arktyce, w 2008 roku już tylko 3%. Co więcej, tempo tego procesu jest coraz szybsze. Rozpad pokrywy lodowej Arktyki postępuje z prędkością, której nie przewidzieli naukowcy zajmujący się badaniami Arktyki i zmian klimatu. Wszelkie prognozy, w tym IPCC (zob. http://www.ipcc.ch/publications_and_data/ar4/wg1/en/faq-5-1-figure-1.html, IPCC 2007), okazały się bardzo niedoszacowane. Wzrost poziomu wód w morzach i oceanach spowodować może w niedalekiej przyszłości zalanie wszystkich delt rzek, wysp koralowych i większości portów.

Wyspy koralowe są najbardziej zagrożonymi obszarami. Wynika to zarówno z ich małych rozmiarów, jak i niewielkiego wyniesienia nad poziom oceanu. Podnoszące się wody zmusiły ostatnio mieszkańców czterech takich grup wysp: Vanuatu, Kiribati (gdzie dwie niezamieszkane wyspy znikły ostatnio pod wodą), Tuvalu i Wysp Cantaret na Papui Nowej Gwinei do opuszczenia swoich miejsc zamieszkania. W 2007 roku ONZ oficjalnie uznała mieszkańców wyspy Tegua (wchodzącej w skład państwka Vanuatu) za uchodźców klimatycznych, i tym samym za pierwsze ofiary globalnego ocieplenia.

Warto w tym miejscu wspomnieć, że wyspy koralowe to nie tylko problem ludzi je zamieszkujących. Wyspy koralowe są wynurzoną częścią raf koralowych i to one są zagrożone w związku z rosnącymi temperaturami. Koralowce są wrażliwymi organizmami, ponieważ potrzebują kilku dekad na wzrost i rozwinięcie swoich struktur korzeniowych w oceanie, dlatego nie potrafią szybko przystosować się do zmian środowiska naturalnego. Gdy temperatura wody rośnie zbyt szybko, koralowce zaczynają obumierać – bledną, gdyż w ich organizmach giną glony niezbędne do ich odżywiania. Rify koralowe są centrum biologicznej różnorodności oceanicznej, więc ich redukcja wpływa i wpływać będzie na cały morski ekosystem, w tym na populację ryb.

Dodatkowym zagrożeniem dla terenów nadbrzeżnych są wzmoczone sztormy i huragany towarzyszące podnoszeniu się poziomu wody. Zagrożone są tereny nizinne leżące nad morzami i oceanami, a szczególnie delty i depresje. Delta Missisipi, delta Nilu, Bangladesz czy Holandia, a także Żuławy Wiślane mogą zostać zalane nagle, podczas sztormu przy wyższym stanie wody. Zalewająca ląd słońca woda powoduje równocześnie degradację potencjału rolniczego zalanych terenów, może trafić do studni i pokładów wodonośnych, powodując ich niezdatność dla ludzi. Wydaje się, że o ile kraje bogate, m.in. wspomniane wyżej USA czy Holandia, poradzą sobie z problemem i zalanie niektórych terenów będzie się tam łączyło z pojedynczymi ofiarami i stratami ekonomicznymi, to dla innych, biedniejszych państw następstwa mogą być katastrofalne. Przykładem rejonu szczególnie zagrożonego katastrofą jest Bangladesz, którego prawie połowę powierzchni stanowią delty takich rzek jak Brahmaputra, Ganges czy Meghna.

Obserwowane zmiany temperatury w Polsce, Europie i na świecie od 1850 roku

W świetle obiektywnego materiału obserwacyjnego nie ulega wątpliwości, że klimat ziemski ociepla się. Globalne dane dla lądu i oceanów zebrane przez GISS NASA (USA), wskazują, że w latach 1901–2012 liniowy wzrost temperatury wyniósł około 0,8°C (http://www.giss.nasa.gov/research/news/20110113/509983main_adjusted_annual_temperature_anomalies_final.gif).

Proces ocieplenia nie odbywa się jednak regularnie w czasie i przestrzeni. Większość ocieplenia, 0,5°C, przypada na lata 1979–2012. Począwszy od lat 60. XX wieku każde dziesięciolecie było cieplejsze od poprzedniego. Pierwsza dekada XXI wieku (2000–2009) jest zdecydowanie najcieplejszym dziesięcioleciem w całym okresie, dla którego jesteśmy w stanie względnie dokładnie i wiarygodnie odtworzyć temperaturę globalną z użyciem termometrów (a więc od 1880 roku). Jeszcze cieplejszy niż dekada lat 2000–2009 był okres ostatnich 10 lat kalendarzowych, od 2003 do 2012 roku.

Już od dawna każdy kolejny rok należy do najcieplejszych w historii bezpośrednich obserwacji temperatury. Według danych GISS NASA rok 2012 był 36. kolejnym rokiem o temperaturze globalnej przekraczającej średnią z okresu 1951–1980. Na liście 13 najcieplejszych lat znajdujemy każdy rok z dotychczas zakończonych 12 lat XXI wieku. Wystąpienie tak licznych skupienia globalnie najcieplejszych lat, jakie zaobserwowano w XXI wieku, byłoby bardzo mało prawdopodobne, gdyby klimat był niezmienny.

Ocieplenie w okresie 1901–2005 jest istotne statystycznie (a więc bardziej przekonujące) na około 80% powierzchni kuli ziemskiej (włącznie z wodami). Jednak jeśli ocieplenie nie jest statystycznie istotne, może to oznaczać brak wystarczającej serii danych (z uwagi na brak gęstej sieci pomiarowej z długimi seriami obserwacji), brak wyraźnej tendencji, czy też ocieplenie jest zbyt słabe na to, żeby spełnić rygory testu. W bardzo niewielu miejscach świata zaobserwowano ochłodzenie związane przede wszystkim ze zmianami cyrkulacji. Oziębienie nastąpiło np. blisko południowej Grenlandii.

Klimat ociepla się też w całej Europie i w Polsce. Najcieplejszy był 2000 rok, choć są stacje, na których w 2007 roku rekordy najwyższej temperatury zostały wyrównane, a nawet pobite. W Puławach, gdzie istnieje bardzo długi szereg czasowy pomiarów temperatury, najwyższą średnią temperaturę roczną zanotowano w 2010 roku. Natomiast w kategorii najcieplejszych okresów kolejnych 12 miesięcy natura ustanowiła rekord w bardzo wielu miejscach Polski od lipca 2006 do czerwca 2007 roku. „Dywanik” średnich temperatur miesięcznych, przedstawiający klasyfikację termiczną poszczególnych miesięcy od roku 1971 na stacji Warszawa-Okęcie, można znaleźć w Internecie na portalu www.imgw.pl (z menu trzeba wybrać „Wiedza”, a potem „Klimatologia”).

Jakie będą konsekwencje zmian klimatycznych?

W zależności od scenariusza rozwoju i emisji gazów cieplarnianych, w XXI wieku przewiduje się dalszy globalny wzrost temperatury o 2–4°C.

Przewidywane są następujące tendencje:

- dalszy wzrost temperatury, głównie w zimie, największy w strefie umiarkowanej i podbiegunowej;
- topnienie kriosfery* – lodów, lądolodów, lodowców i wiecznej zmarzliny i związane z tym podniesienie poziomu wody w oceanach;
- zmiany cyrkulacji atmosferycznej i rozkładu opadów (zmniejszenie opadów w strefie subtropikalnej i umiarkowanej, a wzrost w wyższych szerokościach geograficznych);
- ekstremalne anomalie pogodowe, w tym zwiększenie siły huraganów i wielkości towarzyszących im opadów, wzrost częstotliwości i natężenia fal upałów, długie okresy suszy.

Uczni obawiają się, że na skutek zmian temperatur i zasolenia wód na wyższych szerokościach geograficznych może dojść do zmian w oceanicznej cyrkulacji termohalinowej*, w tym do przerwania cyrkulacji Północnego Atlantyku i osłabienia m.in. ciepłego Prądu Zatokowego ogrzewającego Europę, co spowoduje dalsze zmiany klimatu.

Zanik pokrywy lodowej generuje też istotne zmiany ekosystemów. Przewiduje się, że nastąpi kres kultury i sposobu życia Eskimosów. Zagrożone są niektóre zwierzęta polarne, wśród nich niedźwiedź polarny (*Ursus maritimus*), który stopniowo traci miejsce do polowań na foki – lód skuwający morze. W efekcie niedźwiedzie głodują, osiągają mniejsze rozmiary, a młode rzadziej niż kiedyś dożywają dorosłości. Z kolei w Antarktyce, w wyniku zaburzenia ruchów prądów oceanicznych, bogate w związki odżywcze głębinowe wody nie przedostają się ku powierzchni. W rezultacie wszystkie gatunki żywiące się morskimi stworzeniami – od drobnego kryla (głównego pożywienia pingwinów), poprzez ryby i ptaki, aż po wieloryby i ludzi – mają zdecydowanie mniej pokarmu niż kiedyś.

Niektórzy wykazują, że zanik pokrywy lodowej Arktyki może mieć też korzystne następstwa ekonomiczne. Należą do nich: otwarcie północnej drogi wodnej (już obecnie latem i jesienią coraz więcej statków korzysta z trasy wzdłuż brzegów Rosji) i możliwość eksploatacji bogactw Arktyki, w tym złóż szacowanych na jedną czwartą nieodkrytych światowych zasobów gazu i ropy naftowej.

Podobnie do zaniku czap lodowych obserwuje się również zanik lodowców górskich i rozmrażanie wiecznej zmarzliny na Dalekiej Północy. Proces zaniku lodowców zaczął się ponad sto lat temu wraz ze wzrostem temperatury związanym ze wzrostem mocy promieniowania Słońca. Obecne ocieplenie wywoływane głównie przez zwiększoną ilość gazów cieplarnianych w atmosferze, powoduje dalsze, coraz szybsze topnienie lodowców.

Prawdopodobnie najgroźniejszą konsekwencją topnienia lodowców będzie katastrofalne w skutkach zachwianie dostępności do wody. Należy pamiętać, że w lodowcach znajduje się 75% światowych zasobów wody słodkiej, a na świecie ponad miliard ludzi czerpie wodę z rzek zasilanych z lodowców. Zanik lodowców to w wielu miejscach globu brak wody do picia, problemy z zapewnieniem wody na potrzeby rolnictwa, ale i wyłączenia elektrowni wodnych. Lodowce działają też stabilizująco na ekosystemy. Lodowce gromadzą wodę opadową w porze deszczowej, uwalniając ją w miarę równomiernie przez cały rok i działając stabilizująco na ilość wody w rzekach. Dzięki lodowcom, mimo braku opadów, poziom wody w rzekach nie spada zbyt nisko.

Obecnie wieczna zmarzlina zajmuje powierzchnię około 10 milionów km², czyli 20% powierzchni lądów, głównie tam, gdzie średnioroczna temperatura jest niższa od zera. Znaczna część wiecznej zmarzliny pozostaje w tym stanie od dziesiątków tysięcy, a nawet milionów lat. Ostatnio jednak jesteśmy świadkami jej stopniowego rozmrażania. Obszary od niepamiętnych czasów skute lodem rozmrażają się.

Szacuje się, że roztopienie wiecznej zmarzliny oznaczać może uwolnienie do atmosfery gazów cieplarnianych odpowiadających 10–100% emisji z paliw kopalnych, wzmagając tym samym spiralę efektu cieplarnianego. Jednak ten skutek jest bardziej odległy w czasie. Już dziś zmrożona wcześniej na beton zmarzlina zamienia się w bagno, powodując zniszczenia budynków, dróg, rurociągów. Zmiany dotyczą także ekosystemów – począwszy od przewracających się w bagnistej ziemi drzew (tzw. pijane drzewa), po zwierzęta spotykające się z drastyczną zmianą swojego otoczenia, które w krótkim czasie z tundry zmienia się w bagna lub stepowieje.

Przy tak poważnych konsekwencjach inne wydają się być tylko niedogodnościami. Wśród nich oczywistym skutkiem są problemy miejscowości turystycznych, których atrakcją są lodowce. Dotyczy to zarówno kurortów alpejskich, jak i amerykańskich. Już dziś w Szwajcarii banki odmawiają kredytów ośrodkom narciarskim położonym poniżej 1500 m n.p.m.

Polska nie jest izolowaną wyspą, choć i w takim przypadku doświadczyłaby zmian klimatu. Na terenie naszego kraju już dziś można zanotować wyraźne ocieplenie klimatu (wzrost temperatur średnich, minimalnych i maksymalnych). Według Lorenc (źródło: www.imgw.pl) istotne ocieplenie można zanotować dla wielu miesięcy w roku. Ostatni chłodny rok w Warszawie to 1996, a poprzednie chłodne lata zanotowano w latach siedemdziesiątych i osiemdziesiątych XX w.

Projekcje klimatyczne dla Polski przewidują do końca XXI w. wzrost średniej rocznej temperatury powietrza o co najmniej 3°C. Wzrost temperatury nie będzie równomierny w skali roku. Szacuje się znacznie wyższy wzrost temperatury w okresie zimowym: o 3,5–5 °C, podczas gdy dla lata o 3–3,5 °C.

Scenariusze zmian klimatu (PARRY 2000) wskazują na istotne różnice pomiędzy spodziewanymi zmianami opadu zimowego i letniego w Europie. Na całym kontynencie przewiduje się wzrost opadu zimowego oraz duże różnice w zmianach opadu w sezonie letnim (w północnej Europie wzrost opadu, a w południowej Europie jego spadek). Polska leży na pograniczu obu tych stref, niemniej o strefę zwiększonych opadów letnich zahaczać mają tylko północne krańce kraju. Już dziś, w części Europy Środkowej – w tym na terenie Polski – rośnie stosunek sumy opadów zimowych do sumy opadów letnich.

Prawdopodobnie w Polsce większym zmianom niż wartość średnia ulegną ekstrema opadowe. Wzrost opadu intensywnego prowadzić może do wzrostu niebezpieczeństwa powodzi w obszarach, gdzie zniszczenia powodowane są zwykle przez intensywny letni deszcz. Z drugiej strony powodzie zatorowe prawdopodobnie będą rzadsze i mniej groźne. Zmniejszy się też ryzyko powodzi wiosennych, skoro śnieg będzie mniej obfity (albo zastąpiony przez opad deszczu w związku ze wzrostem temperatur zimowych) i będzie topniał wcześniej.

W sezonie letnim możemy się spodziewać zaostrzenia zjawisk ekstremalnych typu „zbyt mało wody”, w tym wydłużenia okresów suchych i jednocześnie gorących, co z uwagi na spotęgowane parowanie jeszcze bardziej przyspieszy wystąpienie stresu wodnego. I tak, mimo że wzrost temperatur spowoduje wydłużenie okresu wegetacyjnego, co mogłoby mieć korzystny wpływ na produkcję rolną, jednak Polska może dołączyć do grona państw południowej Europy, w których produkcja rolna zostanie ograniczona na skutek zmniejszonej dostępności do wody (SZWED i in. 2010). Przewiduje

się także, że warunki klimatyczne pozwolą na wprowadzanie bardziej ciepłolubnych upraw, jednak kosztem zwiększonego nawadniania.

Opisane powyżej projekcje opadów i temperatur skłaniają do wniosku, że dotychczasowy schemat czterech pór roku może zostać zastąpiony nowym wzorcem pogodowym. Możemy mieć dwie pory roku: deszczową (zima), często z temperaturami powyżej zera i suchą (lato), podczas której długie okresy dotkliwej suszy przerywane będą ulewami. Temperatura sięgać może 40°C.

Zmiany klimatyczne pociągną za sobą zmiany krajobrazowe na obszarze naszego kraju. Spośród czterech podstawowych typów krajobrazu wyróżnionych dla Polski (KONDRACKI 2002) – krajobrazów nizin, krajobrazów wyżyn i niskich gór, krajobrazów gór średnich i wysokich oraz krajobrazów dolin i obniżen – pierwszy i ostatni są najbardziej wrażliwe na zmiany klimatu.

Zdawać by się mogło, że wybrzeża Bałtyku staną się wielkimi wygrzaniem (przynajmniej z ekonomicznego punktu widzenia) w zmieniającym się klimacie. Nadbałtyckie kurorty będą przeżywały najazd turystów, gdy nad Morzem Śródziemnym, obecnie popularnym kierunkiem turystycznym, będzie już za gorąco na wakacyjny relaks, a w Bałtyku panować będzie cieplejsza niż teraz, i bardziej przyjemna temperatura wody. Tereny nadmorskie należą jednak do bodaj najbardziej podatnych na zmiany klimatu. Przy podnoszeniu się poziomu wody może być zagrożona nie tylko cała infrastruktura nadbrzeżna, ale też wspaniałe plaże, wydmy i klify nadmorskie. Nagłe sztormy przy wyższym stanie oceanu światowego mogą doszczętnie zdegradować te obszary i doprowadzić do zalania innych nisko położonych terenów. Wysoce prawdopodobne zdaje się być zalanie Żuław Wiślanych, ale zagrożona jest i gdańska starówka.

Obecnie 880 ha powierzchni Gdańska leży zaledwie 1 metr powyżej poziomu morza, a 1020 ha od 1 do 2,5 m n.p.m., dlatego wiele historycznych budynków w nisko położonych częściach Starego Miasta jest bezpośrednio zagrożonych zalaniem. Dotyczy to też wielu ujęć wód gruntowych. Dodatkowo sytuację pogarsza fakt zapadania się miasta o około 1–2 mm na rok. W ostatnich latach zaobserwowano podnoszenie się poziomu wód gruntowych, które zalewały piwnice budynków, a także postępujące zasolenie zbiorników słodkowodnych. By temu przeciwdziałać, konieczne jest przeniesienie niektórych ujęć wody dla miasta w głąb lądu.

Z kolei region ujścia Odry i Zatoki Szczecińskiej stoi w obliczu dwóch niebezpieczeństw: z jednej strony podnoszącego się poziomu morza, a z drugiej wzrastającego zagrożenia powodzią, będącą skutkiem gwałtownych opadów deszczu i burz. Zalanie grozi zarówno terenom rolniczym w tym regionie, jak i samym miastom – Szczecinowi i Świnoujściu.

Prawdopodobnie będziemy musieli dużo bardziej chronić brzeg morski przed niszczącym działaniem fal sztormowych: wybrzeża klifowe betonowymi opaskami, mierzeje ostrogami palisadowymi, nisko położone tereny wałami przeciwpowodziowymi. Gdy zawiedzie ochrona biotechniczna, a refulacja (prace mające na celu poszerzenie oraz ochronę plaży, terenów brzegowych, wysp, portów i torów podejściowych) okaże się niewystarczająca, na naszych brzegach pojawią się budowle hydrotechniczne: ostrogi, falochrony, opaski brzegowe, a w ostateczności betonowe umocnienia, tzw. gwiazdobloki, które są wprawdzie skuteczną metodą ochrony brzegów, ale nie „wtapiają się” w naturalny krajobraz i zdecydowanie nie dodają wybrzeżom uroku.

W porównaniu z wybrzeżami w krajobrazie górskim zajdą stosunkowo małe zmiany. Granica lasów górskich przesunie się ku górze. W związku z tym w przyszłości zalesione mogą zostać hale wysokogórskie. To z kolei będzie miało niekorzystny wpływ na istnienie ekosystemów wysokogórskich, takich jak hale i górny regiel.

Zmniejszenie częstości występowania niskiej temperatury w zimie oznacza też brak opadów śniegu i pokrywy śnieżnej, co może doprowadzić do skrócenia zimowego okresu wypoczynkowego w górach i strat ekonomicznych, jakie poniosą lokalne społeczności, utrzymujące się z tej dziedziny turystyki i sportu.

Zjawiska ekstremalne

Choć globalne zmiany klimatu utożsamia się potocznie ze wzrostem temperatury, wszystkie elementy sprzężonych systemów klimatu i zasobów wodnych (np. opad, zachmurzenie, parowanie, szybkość wiatru), a w konsekwencji – także systemy fizyczne, biologiczne i ludzkie też ulegają zmianom.

Istnieją silne przesłanki do stwierdzenia, że w wielu regionach globu niektóre ekstrema związane z pogodą (np. fale upałów i susze, intensywne opady, powodzie i tropikalne cyklony) stają się częstsze i bardziej ekstremalne.

Zaobserwowano intensyfikację cyklu hydrologicznego*. Zgodnie z prawami fizyki cieplejsza atmosfera może pomieścić więcej wody. Wyższa zawartość pary wodnej w cieplejszej atmosferze prowadzi do wzrostu potencjału intensywnych opadów, które mogą spowodować powódź, erozję i osuwiska. Dodatkowo antropopresja ogranicza możliwość wsiąkania wody – nieprzepuszczalne są powierzchnie parkingów, dachów budynków, szos i chodników. Woda ma coraz mniej możliwości naturalnego magazynowania – wyeliminowano tereny podmokłe i retencję na terasach zalewowych. Ulewny opad odpływa do rzek, które też zostały zmodyfikowane przez człowieka – skrócone, wyprostowane i ograniczone obwałowaniami. Efektem zmian samych rzek i zmian użytkowania terenów w zlewni jest coraz wyższy odpływ oraz szybszy i wyższy szczyt fali powodziowej, będącej odpowiedzią systemu na intensywny opad. Straty ekonomiczne zależą od wielu czynników nie związanych z klimatem (np. wzrost liczby ludności, wzrost ekonomiczny, planowanie zagospodarowania przestrzennego, percepcja i świadomość ryzyka, kultura kompensacji, ubezpieczenia).

Analiza obserwacji pozwala na sformułowanie stwierdzenia, że szkody spowodowane ekstremami klimatycznymi wyraźnie rosną. Straty wywołane katastrofami naturalnymi związanymi z pogodą i wodą rosną szybciej niż liczba ludności czy zamożność społeczeństwa (MILLS 2005). Globalne straty spowodowane ekstremami klimatycznymi, po uwzględnieniu inflacji, wzrosły ośmiokrotnie między latami sześćdziesiątymi a dziewięćdziesiątymi XX wieku. Powodzie są problemem globalnym i człowiek nigdzie nie radzi sobie z nimi zadowalająco. W ostatnich dziesięcioleciach zaobserwowano znaczny wzrost materialnych strat powodziowych. Najbardziej dramatyczne kataklizmy, z tysiącami ofiar, zdarzają się poza Europą (szczególnie w Azji), ale i nasz kontynent też doświadczył licznych klęsk powodziowych, a ponad 9 tys. jej mieszkańców straciło życie w powodziach w XX w. W niektórych miejscach dokuczliwe powodzie zdarzają się dość często, np. podczas niemal każdego wiosennego roztopów. Wpływ klimatu na zaobserwowane zmiany w stratach jest prawdopodobny, jednak często czynnikiem dominującym jest fakt, iż to ludzie wkraczają na tereny zalewowe o dużym potencjale strat.

Obserwacje wskazują, że w ciągu 30 lat moc huraganów podwoiła się. Zaczęły one występować też w nowych miejscach – na południowym Atlantyku, blisko równika, docierają nawet do Europy. W ostatnich latach w Europie zdarzały się letnie fale upałów powodujące śmierć wielu ludzi. Wyższa temperatura to także szybsze wysychanie gleby, istotny spadek poziomu zwierciadła wód gruntowych przy zwiększonym parowaniu, wysychanie studni, małych zbiorników i cieków, a w konsekwencji wzrastające prawdopodobieństwo wystąpienia suszy, a w skrajnych przypadkach pożarów i wielkoobszarowych megapozarów.

Wichury i opady śniegu także powodują znaczne straty ekonomiczne w lasach Europy. Szacuje się, że w grudniu 1990 i w 1999 roku straty osiągnęły poziom, odpowiednio, 180 milionów i 200 milionów m³ drewna. Podczas wichury w styczniu 2004 roku potężny wiatr powalił 70 milionów m³ drewna w południowej Szwecji. Spowodowało to nie tylko wielkie straty zasobów drewna, ale też wysoki koszt usuwania wiatrołomów (z ofiarami w ludziach).

Na znacznym obszarze Europy częstość i amplituda intensywnych opadów oraz wywołanych przez nie powodzi mogą w przyszłości wzrosnąć. W wielu miejscach Europy modelowe projekcje kierunku zmian opadu średniego w lecie różnią się od projekcji zmian maksymalnego opadu 24-godzinnego. Nawet tam, gdzie maleje opad całkowity, projekcje wskazują na możliwość wzrostu zawartości pary wodnej w powietrzu i wzrost opadów intensywnych (KUNDZEWICZ i in., 2006). To może prowadzić do wzrostu zagrożenia powodziowego, erozji wodnej, osuwisk terenu, a także wzrostu presji na administrację i systemy osłony przeciwpowodziowej i ubezpieczeń. W ostatnich trzech dekadach zanotowano wzrost zakresu występowania susz, które stały się częstsze, bardziej intensywne i dłuższe na skutek zmniejszających się opadów na niektórych obszarach, a także powszechnego ocieplenia, które powoduje wzrost parowania i wysychanie. DAJ i in. (2004) pokazali, że globalna powierzchnia obszarów bardzo suchych wzrosła ponad dwukrotnie od lat siedemdziesiątych XX wieku. W ostatnich latach zanotowano szereg dotkliwych wielkoobszarowych susz meteorologicznych i hydrologicznych – okresów, w których opad był znacznie niższy niż wartość średnia, a dodatkowo występowały fale upałów, które powodowały silny wzrost parowania. Podczas gorącego i suchego lata w 2003 roku zanotowano w znacznej części Europy wyraźny spadek produkcji pierwotnej (CIAIS i in. 2005).

Spodziewać się także możemy, że w przyszłości deficyty wodne będą pojawiać się na znacznie większych obszarach i staną się bardziej intensywne. Według różnych projekcji klimatycznych na lata siedemdziesiąte XXI wieku susze, które dziś uznawane są za susze stulecia (prawdopodobieństwo wystąpienia suszy takiej lub ostrzejszej wynosi średnio raz na sto lat) mogą w przyszłości występować znacznie częściej.

Na podstawie projekcji klimatycznych w przyszłości należy się spodziewać zaostrzenia zjawisk związanych z niedostatkiem wody, w tym wydłużenia okresów suchych (bez opadów lub z opadami znacznie poniżej wartości średnich), czy wydłużenia okresów suchych i jednocześnie gorących, co – z uwagi na spotęgowane parowanie – jeszcze bardziej przyspieszy wystąpienie stresu wodnego. Przypuszczać także możemy, że w przyszłości deficyty wodne pojawiać się będą na znacznie większych obszarach i będą bardziej intensywne. Według modelowych projekcji globalna powierzchnia terenów objętych silną suszą zwiększy się znacznie: 10-, a nawet 30-krotnie do końca wieku. Wzrost ryzyka suszy prowadzić będzie do licznych negatywnych skutków, takich jak zmniejszenie plonów, wzrost ryzyka pożarów lasów, pogorszenie zaopatrzenia w wodę (ilościowe i jakościowe), szkody budowlane (wskutek kurczenia się i spękania gruntu). Nasilanie się susz szczególnie zaszkodzi gatunkom wrażliwym (np. buk jest bardziej wrażliwy niż dąb). Jeśli wzrośnie częstotliwość występowania stresu wodnego, zmieni się skład gatunkowy lasów.

Projekcje zmian klimatu na obszarze Polski wskazują, że istnieje szereg zagrożeń (fale upałów, opady intensywne, powodzie i osuwiska, susze w sezonie wegetacyjnym i zimowym, silne wiatry, rozwój patogenów związany z ociepleniem, wzrost poziomu morza), choć można dostrzec i korzystne zjawiska (wyższa temperatura wody w morzu i w jeziorach sprzyjająca kąpielom, mniejsza śmiertelność zimą, mniejsze zużycie opału na ogrzewanie pomieszczeń, por. STARKEL i KUNDZEWICZ 2008).

Zgodnie z przewidywaniami modelowymi nawet jeśli w Polsce wystąpią mniejsze opady w lecie, to jednak ilość opadów intensywnych, np. mierzonych przez maksymalny opad 24-godzinny, wzrośnie. Coraz większa część opadów w lecie może więc przypadać na opady o dużej intensywności. Ostatnie dziesięciolecie wyraźnie pokazały, że wzrost częstości opadów intensywnych przekłada się na wzrost zagrożenia powodziowego (powodzie w 1997, 1998, 2001, 2007 i 2010 roku), erozji wodnej i osuwisk. Projekcje wskazują także na wzrost zagrożenia suszą w sezonie wegetacyjnym (przykłady: 1992, 2003, 2006 rok). Wskutek redukcji pokrywy śnieżnej rośnie prawdopodobieństwo wystąpienia susz wiosennych (np. kwiecień i maj 2000 roku) i erozji wietrznej (gleby niepokrytej roślinnością). Im cieplejsze staną się zimy, tym dotkliwsze mogą być późne przymrozki (np. w maju 2007, czy 2011 roku), których jednak nie da się wykluczyć i w cieplejszym klimacie.

Rośnie częstość występowania opadów deszczu w zimie, a maleją opady śniegu. Projekcje wskazują na skrócenie okresu zalegania pokrywy śnieżnej oraz zmniejszenie jej grubości. Zmniejszenie częstości występowania pokrywy śnieżnej przewidywane jest nie tylko na nizinach, gdzie już teraz zdarzają się długie zimowe okresy bez śniegu, ale także w górach, zwłaszcza na mniejszych wysokościach.

Zmiana formy opadów zimowych ze śniegu na deszcz towarzysząca ociepleniu spowoduje zmniejszenie zimowej retencji w pokrywie śnieżnej i zmianę sezonowości przepływów w rzekach. Wzrośnie zimowy przepływ rzeczny, a pogłębią się niżówki (niskie przepływy w rzekach) w lecie i jesieni.

Jeśli jednak chodzi o opad i zmienne zależne od opadu, to projekcje uzyskane za pomocą różnych modeli klimatycznych są obciążone znacznie większą dozą niepewności niż projekcje temperatury. W znacznej części Europy, włącznie z Polską, modele nie zgadzają się nawet pod względem kierunku zmian. W niektórych modelach przewiduje się zwiększenie opadów letnich, a w innych spadek. W modelach pojawia się też przewidywanie, że roczne sumy opadów w Polsce nieco wzrosną, ale rozkład sezonowy zmian opadu nie będzie równomierny. Zgodnie z projekcją opady zimowe wzrosną najsilniej, a opady w sezonie wiosennym i jesiennym nieco słabiej. Projekcje klimatyczne dla Polski można, mimo nieuniknionej niepewności, podsumować następująco: projekcje ocieplenia dotyczą wszystkich pór roku, ale w zimie wzrost temperatury będzie najsilniejszy. Zimy będą bardziej wilgotne, lata bardziej gorące i suche (nawet gdyby nastąpił mały wzrost opadów, wody będzie mniej ze względu na wyższe parowanie potencjalne), a ekstrema klimatyczne – częstsze i bardziej ekstremalne. Zjawiska wcześniej nietypowe dla naszego klimatu, takie jak fale upałów, gwałtowne burze czy trąby powietrzne, które obecnie sporadycznie występują na obszarze kraju, w przyszłości mogą być o wiele częstsze i silniejsze. Nawet tak dotkliwe fale upałów, jak te w Polsce w 2006 roku, mogą stać się w przyszłości „normą”.

Przeciwdziałanie ociepleniu (mitygacja*), w tym planowanie przestrzenne

Skoro antropopresja jest główną przyczyną obecnego ocieplenia, to poprzez odpowiednie kształtowanie ludzkich działań można starać się ograniczyć dalsze ocieplenie. Jeśli globalna emisja gazów cieplarnianych będzie dalej rosła w sposób niekontrolowany, ocieplenie może przybrać niebezpieczny rozmiar. Globalny system klimatyczny cechuje się jednak znaczną bezwładnością, więc nie jesteśmy w stanie wpływać na klimat najbliższej przyszłości. W ciągu najbliższych 20 lat globalne

ocieplenie rzędu co najmniej 0,4°C jest przesądzone. Natomiast wielkość ocieplenia w następnych dekadach będzie można ograniczyć poprzez redukcję emisji gazów cieplarnianych i zwiększenie ich wzięcia (tzn. sekwestracji dwutlenku węgla przez roślinność, w szczególności lasy), jeśli te działania podjęte zostaną odpowiednio wcześniej.

Wielu niekorzystnych konsekwencji w niektórych sektorach i regionach będzie zatem można uniknąć, osłabić je czy też opóźnić poprzez implementację skutecznej polityki zapobiegania zmianom klimatu. Jeśli ocieplenia nie uda się ograniczyć, adaptacja do niekorzystnych skutków zmian klimatu może być bardzo trudna.

Do atmosfery dostaje się za dużo dwutlenku węgla, metanu i podtlenku azotu. Trzeba podjąć starania, żeby tych gazów było w atmosferze mniej, a nie coraz więcej. Trzeba wpłynąć na skład atmosfery, na dach „naszej ziemskiej cieplarni” w taki sposób, żeby efekt cieplarniany nie nasilał się. Potrzebne jest skoordynowane i globalne działanie w kierunku powstrzymania intensyfikacji efektu cieplarnianego spowodowanego w znacznej mierze zwiększeniem spalania węgla, ropy, i gazu, a także wylesieniem. Potrzebne są zharmonizowane działania globalne, mające na celu ograniczenie emisji gazów cieplarnianych do atmosfery, i to we wszystkich sektorach gospodarki, a w szczególności w tych, które są w wysokim stopniu odpowiedzialne za znaczne emisje, jak energetyka, rolnictwo i hodowla, transport, osadnictwo, sektor handlu i usług, gospodarka odpadami. Ważna jest także dbałość o wiązanie (sekwestrację) dwutlenku węgla poprzez odpowiednie użytkowanie terenu, w tym zapobieganie wylesianiu i zalesianiu (poprawiające bilans wiązania dwutlenku węgla przez rośliny).

Mimo intensywnych prób osiągnięcia porozumienia w sprawie redukcji emisji gazów cieplarnianych, globalne emisje tych gazów dalej rosną. Na globalny efekt cieplarniany składają się w 26% emisje gazów cieplarnianych w sektorze energetycznym, w 19% przemysł, w 17% wylesianie, w 14% rolnictwo, w 13% transport, w 8% osadnictwo oraz sektor handlu i usług, a w 3% gospodarka odpadami.

Usuwanie CO₂ ze skupionych źródeł emisji (np. zanim spaliny trafią do atmosfery przez komin elektrowni) – wychwytywanie dwutlenku węgla, jego transport i składowanie jest trudne i kosztowne. Natomiast „łapanie” dwutlenku węgla z atmosfery za pomocą instalacji technicznych nie wydaje się sensowne. Dlatego trzeba wykorzystywać fakt, że przyroda może wykonać tę pracę za ludzi. Z rozłożoną emisją CO₂ może sobie poradzić roślinność, wiążąc węgiel w procesie fotosyntezy.

Globalna powierzchnia lasów sięga 3952 mln ha, a więc ok. 30% światowej powierzchni lądów. Lasy świata odgrywają więc ważną rolę w globalnym bilansie i w cyklu obiegu węgla. Według ocen IPCC (2000), zawartość węgla w światowej roślinności wynosi 466 GtC, a w górnej warstwie gleby o jednowarstwowej grubości – ponad czterokrotnie więcej, 2011 GtC. Lasy stanowią najważniejszy magazyn węgla, w tym przede wszystkim lasy tropikalne pokrywające 17,67 milionów km², które mieszczą 212 GtC (a więc ponad 45% całej puli węgla zmagazynowanej w światowej roślinności). Dlatego globalna zdolność roślinności do wiązania węgla jest w znacznym stopniu zależna od lasów tropikalnych. Jednak również lasy poza tropikami zawierają wielkie ilości węgla. Ocenia się, że lasy klimatu umiarkowanego mieszczą 59 GtC w roślinności i 100 GtC w górnej warstwie gleby, a lasy borealne – odpowiednio 88 GtC i 476 GtC.

Opcje przeciwdziałania zmianom klimatu przez lasy obejmują: redukcję emisji z wylesienia i degradacji lasów, powiększenie wiązania węgla w istniejących i nowych lasach, wykorzystanie drewna jako opału zamiast paliw kopalnych i wykorzystanie produkcji drzewnej zamiast bardziej energochłonnych produktów. Warto zastanawiać się nad śladem węglowym wszelkich produktów. Celowe jest zastępowanie drewnem innych materiałów, których produkcja wymaga zużycia większych ilości energii (metale, beton, plastik). Wówczas pewna (potencjalnie znaczna) pula węgla zostanie wyłączona z obiegu.

Ochrona klimatu przez wiązanie węgla w roślinności może jednak prowadzić do zwiększenia problemów związanych ze spadkiem dyspozycyjnych zasobów wody (wysoka ewapotranspiracja lasu).

Jak klimat zmieniał świat?

Planeta Ziemia istnieje już 4,6 miliarda lat. Przez ten czas przeszła niezliczone transformacje od uformowania skorupy ziemskiej, przez powstanie atmosfery i hydrosfery, do pojawienia się ok. 3,5 miliarda lat temu pierwszych form życia. Badaniem dziejów Ziemi zajmuje się geologia historyczna, która analizuje między innymi rozmieszczenie dawnych lądów i mórz, zmiany klimatu i ewolucję życia na Ziemi. Wraz z rozwojem nauki i technologii z nauk o Ziemi wyodrębniły się bardziej szczegółowe działy (potem nauki) ukierunkowane na badanie konkretnego zjawiska czy procesu z przeszłości naszej planety, m.in. paleoklimatologia (gr. palaios – dawny).

Paleoklimatologia zajmuje się badaniem klimatów w różnych epokach geologicznych, a także ich zmian oraz przyczyn tych zmian w dziejach Ziemi. O klimacie w przeszłości wnioskuje się na podstawie charakterystycznych typów skał, szczątków organicznych, a także przez badanie zjawisk astronomicznych, od których zależy dopływ promieniowania słonecznego do Ziemi. Do badań klimatycznych wykorzystuje się zaawansowane metody chemiczne i izotopowe. Dzięki możliwości datowania osadów i substancji organicznych metodą radiowęglową mierzona jest np. szybkość zmian temperatury. Opisywanie wahań klimatu w czasach historycznych umożliwiają dodatkowo pomiary bezpośrednie, analiza słoju drzew, przyrostów koralowców, długości lodowców górskich i odwierty w lodowcach. Pomocne są także informacje pośrednie, pozostawione przez człowieka, jak np. rysunki naskalne ilustrujące dawny klimat na Saharze (i zwierzęta tam występujące), a przede wszystkim źródła pisane.

Klimat badany jest więc wieloma niezależnymi metodami. Często zdarza się, że pomiary wykonywane różnymi metodami i w różnych miejscach planety dają trudne do wyjaśnienia wyniki. Jednym z powodów jest to, że zmiany klimatyczne nie przebiegają synchronicznie na całym globie. W historii Ziemi globalne zmiany klimatu często powodowały różne skutki w różnych regionach, zależne choćby od zmieniającego się rozkładu kontynentów i położenia biegunów. Tutaj pomocnym narzędziem okazują się modele matematyczne do zastosowań klimatycznych, które rekonstruują klimat Ziemi w dawnych epokach.

Nie ulega wątpliwości, że klimat Ziemi od zawsze podlegał istotnym wahaniom. W neogenie pojawiły się pierwsze symptomy ochłodzenia klimatu, które nasilało się w czwartorzędzie, z wieloma fluktuacjami klimatycznymi mniejszego rzędu i spowodowało rozwój i zanik lądolodów w średnich szerokościach geograficznych. U schyłku ostatniego zlodowacenia parokrotnie zaznaczyły się szybkie zmiany temperatury, przy czym ocieplenia następowały szybciej niż ochłodzenia. Najwyraźniejsze ocieplenie stwierdzono u schyłku okresu zwanego młodszym dryasem (około 11,5–12,5 tysięcy lat temu). Rekonstrukcje wskazują, że wtedy w ciągu stu lat średnia roczna temperatura w Europie Środkowej wzrosła o około 4°C. Tak szybkie ocieplenie spowodowało przyspieszenie topnienia lądolodów i gwałtowną ekspansję szaty roślinnej. Był to proces znacznie bardziej intensywny niż dotychczasowe współczesne efekty ocieplenia.

W ciągu holocenu zaznaczyły się mniejsze, ale jednak istotne wahania klimatu. Ochłodzenie i uwilgotnienie zaznaczyło się w okresie borealnym (8500–8000 lat temu). Optimum klimatyczne holocenu (6000–5000 lat temu) charakteryzowało się w skali globalnej średnią roczną temperaturą o 1°C wyższą niż obecna. W trakcie ostatniego tysiąclecia można wydzielić trzy okresy wyraźnie odmienne pod względem panujących warunków klimatycznych (LAMB 1977):

- średniowieczny okres ciepły,
- mała epoka lodowa,
- współczesny okres ocieplenia.

Według MANN A i in. (2008) możliwymi przyczynami średniowiecznego okresu ciepłego były relatywnie wysoka aktywność słoneczna oraz mniejsza aktywność wulkaniczna w obszarach tropikalnych. Rekonstrukcje klimatyczne wskazują, że czas występowania średniowiecznego okresu ciepłego nie był jednakowy w różnych rejonach Europy, a pokrywał się tylko częściowo. W Europie wschodniej i Skandynawii okres ciepły rozpoczął się w połowie X wieku i trwał do końca XII wieku. W innych częściach Europy zaczął się później, bo nawet w połowie XII wieku i trwał do końca XIII wieku (LAMB 1977). W pracach dotyczących Europy Środkowej jako koniec średniowiecznego optimum klimatycznego podaje się nawet rok 1350 (GLASER, RIEMANN 2009). Szacuje się, że średnie roczne temperatury powietrza w wielu miejscach Europy były wtedy wyższe o 1–2°C od notowanych w początkach XX wieku.

To w trakcie średniowiecznego ocieplenia Wikingowie skolonizowali Grenlandię. Wybrzeża południowej i zachodniej Grenlandii były wówczas zielone i nadawały się do uprawy roli i hodowli zwierząt, a ich klimat był łagodniejszy niż w środkowej części wyspy. Kiedy temperatury zaczęły opadać, porty Grenlandii zaczęły zamarać, zamarł handel z Islandią i Norwegią. Wyjałowienie się uprawianej przez Wikingów ziemi i coraz krótszy sezon wegetacyjny przyczyniły się do zmniejszenia plonów, które nie wystarczały do żywienia kolonii. Populacja wyspy zaczęła wymierać z głodu. Kiedy John Cabot w 1497 roku dopłynął na Grenlandię, nikt już tam nie żył. Cabot zastał tam jedynie opustoszałe osady, a w kościele zapisy, że ostatni ślub odbył się tam kilkadziesiąt lat wcześniej.

Ostatnim wyraźnym epizodem klimatycznym holocenu była tzw. mała epoka lodowa – ochłodzenie zaznaczające się głównie w strefie klimatu umiarkowanego, które było zjawiskiem o charakterze globalnym (MANN 2002). Czas jej trwania jest najczęściej przyjmowany jako okres pomiędzy

XVI a XIX stuleciem, choć bywa on wydłużany dla Europy od końca XV aż do początku XX wieku (np. PRZYBYLAK 2008). W trakcie małej epoki lodowej zimy w Europie (z dwoma wyjątkami około 1530 i 1730 roku) były wyraźnie chłodniejsze niż obecnie. W najzimniejszych okresach, czyli pod koniec XVII i XIX wieku, zimy były mroźniejsze nawet o około 0,8°C w porównaniu ze średnią z lat 1901–1995 (LUTERBACHER i in. 2004).

W świetle obecnych badań za główne przyczyny wystąpienia Małej Epoki Lodowej uznaje się niższą aktywność słoneczną oraz zwiększoną aktywność wulkaniczną (CROWLEY 2000). W czasie małej epoki lodowej wystąpiły 3 minima aktywności słonecznej (MIYAHARA i in. 2006), a w XIX stuleciu miały miejsce co najmniej 3 duże erupcje wulkaniczne, z których najsłynniejszym był wybuch wulkanu Tambora w Indonezji w kwietniu 1815 roku. To on był głównym sprawcą wystąpienia anomalii klimatycznych w rok później. Rok 1816, ze względu na pojawiające się nawet w okresie letnim mrozy i opady śniegu w Europie i Ameryce Północnej, nazwany został „rokiem bez lata”. Ekstremalne warunki pogodowe wiosny i lata 1816 roku spowodowały niemal całkowite zniszczenie plonów na dużym obszarze i w konsekwencji klęskę głodu.

Od początku ery przemysłowej, tj. od połowy XIX wieku, trwa tzw. współczesny okres ocieplenia, zachodzący synchronicznie w skali całego globu, choć w różnym tempie. Trend wzrostowy temperatury jest bardzo zróżnicowany przestrzennie. Obok obszarów o bardzo silnym trendzie wzrostowym, np. w Azji środkowej i północno-zachodniej części Ameryki Północnej występują też obszary, na których nie stwierdzono trendu wzrostowego lub – jak np. w południowej Grenlandii – występuje trend spadkowy temperatur (TRENBERTH i in. 2007). Należy jednak podkreślić, że zdecydowanie przeważają obszary, na których występuje wzrost średniej rocznej temperatury powietrza.

W historii klimatu Polski wyróżnia się wyraźnie średniowieczne ocieplenie, tzw. średniowieczny okres ciepły, trwający od XI do XIV lub początku XV wieku. Istnieją oszacowania, że średnia roczna temperatura mogła być wówczas wyższa o 0,5–1°C niż obecnie, klimat miał poza tym wyraźne cechy oceaniczne, a największymi opadami charakteryzował się wiek XII. Na terenie Polski XII wiek mógł być najcieplejszy w ostatnim tysiącleciu (PRZYBYLAK 2008).

Mała epoka lodowa rozpoczęła się w Polsce w połowie XVI i trwała do połowy XIX wieku. Średnia roczna temperatura powietrza wg różnych szacunków była niższa o 0,5–1,5°C niż obecnie. Zimy były wówczas chłodniejsze niż współczesne, z temperaturą powietrza niższą o 1,5–3°C. Szacuje się, że dla obszaru Polski w najchłodniejszym dziesięcioleciu 1741–1750 anomalia temperatur liczona względem lat 1901–1960 wyniosła –3,7°C (PRZYBYLAK i in. 2005), a anomalie przekraczające –2°C lub sięgające nawet –3°C pojawiały się bardzo często.

W różnych publikacjach można przeczytać, że w czasie małej epoki lodowej z Polski do Szwecji jeździło się przez Bałtyk saniami, a na środku Bałtyku budowano sezonowe karczmy. Do takich informacji trzeba podchodzić z dużą rezerwą, bo inaczej przebiegały wówczas granice państw, a podróże po Bałtyku dotyczyły głównie wypraw przez zatoki i cieśniny Morza Bałtyckiego. Na przykład w 1323 roku zima była tak ciężka, że zarówno piesi, jak i konni podróżowali po lodzie pomiędzy Danią a Lubecką i Gdańskiem. Komunikacja trwała sześć tygodni i punkty odpoczynku dla podróżnych znajdowały się wzdłuż drogi (MILNER 1854, reprint 2005).

Od połowy XIX wieku trwa w Polsce tzw. współczesny okres ocieplenia, zaś przełom wieku XX i XXI w przyniósł duże wahania i anomalie pogodowe, zwiększenie częstotliwości występowania zjawisk ekstremalnych: powodzi, silnych wiatrów i suszy.

Literatura

- CHAIS PH., REICHSTEIN M., VIOVY N., GRANIER A., OGÉE J., ALLARD V., AUBINET M., BUCHMANN N., BERNHOFER CHR., CARRARA A., CHEVALLIER F., DE NOBLET N., FRIEND A. D., FRIEDLINGSTEIN P., GRÜNWALD T., HEINESCH B., KERONEN P., KNOHL A., KRINNER G., LOUSTAU D., MANCA G., MATTEUCCI G., MIGLIETTA F., OURCIVAL J. M., PAPAŁE D., PILEGAARD K., RAMBAL S., SEUFERT G., SOUSSANA J. F., SANZ M. J., SCHULZE E. D., VESALA T., VALENTINI R. (2005): Europe-wide reduction in primary productivity caused by the heat and drought in 2003. *Nature* 437: 529–533.
- CROWLEY T. J. (2000): Causes of climate change over the past 1000 years. *Science* 289 (5477): 270–277.
- DAI A., TRENBERTH K. E., QIAN T. (2004): A global dataset of palmer drought severity index for 1870–2002. Relationship with soil moisture and effects of surface warming. *J. Hydrometeorology* 5: 1117–1130.
- IPCC. (2007): Climate change 2007: Synthesis report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. (Pachauri, R.K., Reisinger, A. (red.)). p.104, IPCC, Genewa, Szwajcaria.
- GLASER R., RIEMANN D. (2009): A thousand-year record of temperature variations for Germany and Central Europe based on documentary data. *J. Quaternary Science* 24: 437–449.

- KONDRACKI J. 2002. Geografia regionalna Polski. Ss. 440, PWN, Warszawa.
- KUNDZEWICZ Z. W., RADZIEJEWSKI M., PIŃSKWAR I. (2006): Precipitation extremes in the changing climate of Europe. *Clim. Res.* 31: 51–58.
- LAMB H.H. (1977): Climate: present, past and future. Ss. 440, Methuen, London.
- LUTERBACHER J., DIETRICH D., XOPLAKI E., GROSJEAN M., WANNER H. (2004): European seasonal and annual temperature variability, trends and extremes since 1500. *Science* 303: 1499–1503.
- MANN M.E., ZHANG Z., HUGHES M.K., BRADLEY R.S., MILLER S.K., RUTHERFORD S., NI. F. (2008): Proxy-based reconstructions of hemispheric and global surface temperature variations over the past two Millennia. *Proceedings of the National Academy of Sciences.* 105 (36): 13252–13257.
- MANN M.E. (2002): Little Ice Age. W: Munn T. (red.) *Encyclopedia of Global Environmental Change.* p.514–516, John Wiley & Sons, Ltd, Chichester.
- MILNER T. (1855) (reprint 2005): *The Baltic, its gates, shores, and cities.* London.
- MILLS E. (2005): Insurance in a climate of change. *Science.* 309 (5737): 1040–1044.
- MIYAHARA H., SOKOLOFF D., USOSKIN I.G. (2006): The solar cycle at the Maunder Minimum Epoch. *Advances in Geosciences 2: Solar Terrestrial (ST).* p.1–20, World Scientific Co., Pte. Ltd., Singapore.
- NIEDZWIĘDŹ T. (red.) (2003): *Słownik meteorologiczny.* Ss. 496. IMGW, Warszawa.
- PARRY M.L. (red.) (2000): Assessment of the potential effects of climate change in Europe: The Europe ACACIA Project. Ss. 324, Norwich: University of East Anglia.
- PRZYBYLAK R., MAJOROWICZ J., WÓJCİK G., ZIELSKI A., CHORAŹYCEWSKI W., MARCINIĄK K., NOWOSAD W., OLIŃSKI P., SYTA K. (2005): Temperature changes in Poland from the 16th to the 20th centuries. *Int. J. of Climatology* 25: 773–791.
- PRZYBYLAK R. (2008): Zmiany klimatu Polski i Europy w ostatnich stuleciach. *Kosmos* 57(3–4): 195–208.
- STARKEL L., KUNDZEWICZ Z. W. (2008): Konsekwencje zmian klimatu dla zagospodarowania przestrzennego kraju. *Nauka* 1: 85–101.
- SZWED M., KARG G., PIŃSKWAR I., RADZIEJEWSKI M., GRACZYK D., KĘDZIORA A., KUNDZEWICZ Z. (2010): Climate change and its effect on agriculture, water resources and human health sectors in Poland. *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.*, 10: 1725–1737.
- TRENBERTH K.E., JONES P.D., AMBENJE P., BOJARIU R., EASTERLING D., KLEIN TANK A., PARKER D., RAHMIZADEH F., RENWICK J. A., RUSTICUCCI M., SODEN B., ZHAI P. (2007): Observations: surface and atmospheric climate change. W: SOLOMON S., QIN D., MANNING M., CHEN Z., MARQUIS M., AVERYT K.B., TIGNOR M., MILLER H.L. (red.), *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.* Cambridge Univ. Press, Cambridge.

Wideowykład do wykorzystania na lekcjach pt. Zmiany klimatu i ich skutki, <http://www.ekologia-krajobrazu.pl/index.php/baza-wiedzy>

PROJEKT: EFEKT SZKLARNIOWY*. DOBRODZIEJSTWO CZY ZAGROŻENIE?

CELE REALIZACJI PROJEKTU

- Wyjaśnienie pojęcia „efekt szklarniowy” i opis mechanizmu jego działania.
- Opis i oszacowanie wpływu poszczególnych czynników na intensywność efektu szklarniowego:
 - promieniowanie słoneczne i jego zmiany w atmosferze
 - bilans cieplny układu Ziemia-atmosfera
 - gazy szklarniowe
 - aerozole atmosferyczne
- Konsekwencje wzrostu intensywności efektu szklarniowego na klimat i środowisko:
 - temperatura powietrza
 - opady i zachmurzenie
 - wiatr i związane z nim gwałtowne zjawiska atmosferyczne
 - lodowce
 - poziom morza

OPIS ZAGADNIENIA DO REALIZACJI NA LEKCJI I W PROJEKCIE

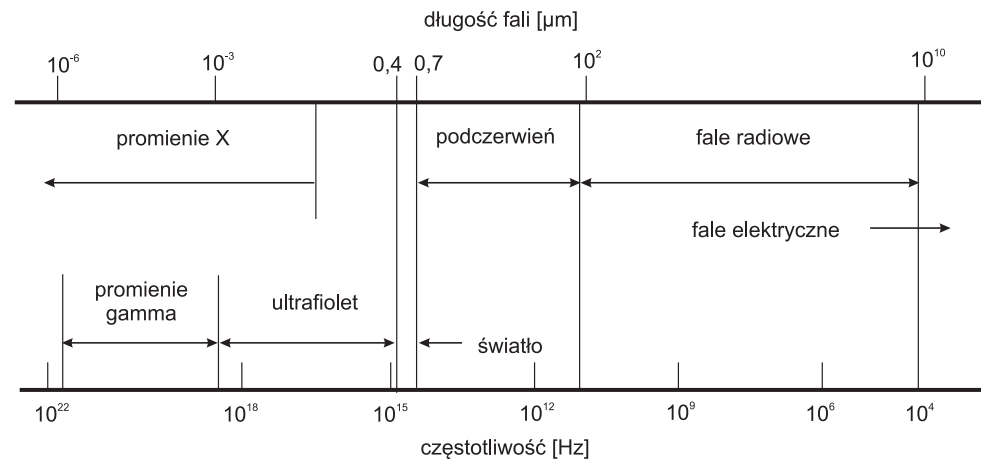
Wprowadzenie – co to jest efekt szklarniowy (cieplarniany)?

Efekt szklarniowy to kumulowanie się energii w atmosferze planety. Występuje więc zawsze, na każdej planecie, która posiada atmosferę zawierającą gazy szklarniowe. Polega na tym, że atmosfery otaczające planety są najczęściej znacznie bardziej przepuszczalne dla promieniowania gwiazdy ją ogrzewającej, które jest zwykle krótkofalowe, niż dla promieniowania własnego planety (długofalowego). W dużym uproszczeniu proces ten przypomina wzrost temperatury wewnątrz ciepłarni, której szklany dach wpuszcza bez przeszkód krótkofalowe promieniowanie słoneczne (światło), a nie wypuszcza pro-

mieniowania długofalowego (cieplnego). Dach naszej ziemskiej „cieplarni” stanowi atmosfera zawierająca tzw. gazy szklarniowe, zatrzymujące promieniowanie długofalowe, które zamiast uciec w przestrzeń kosmiczną zatrzymywane jest przez atmosferę jak przez szklany dach cieplarni. Nasza planeta jest więc podobna do szklarni przykrytej dachem atmosfery. Dzięki efektowi cieplarnianemu, na Ziemi istnieje bujne życie biologiczne, a wodę można znaleźć, w ogromnych ilościach, we wszystkich trzech stanach skupienia. Gdyby nie efekt szklarniowy, średnia temperatura na powierzchni globu byłaby znacznie niższa. Zjawisko to istnieje zawsze w sytuacji, gdy planeta jest otoczona atmosferą. Natomiast zmiana jego wielkości zależy od zmiany chemizmu atmosfery, a więc w przypadku Ziemi od działalności człowieka. Problemem nie jest więc sam efekt szklarniowy, lecz zmiany jego nasilenia.

Promieniowanie słoneczne

Jedynym źródłem energii napędzającej wszelkie procesy zachodzące na naszej planecie oraz podtrzymującej życie jest Słońce. Energia słoneczna albo dopływa ciągłym strumieniem ze Słońca, albo jest uwalniana w procesie spalania nośników energetycznych (węgiel, ropa, gaz, drewno), w których została zmagazynowana w procesie fotosyntezy. Są to olbrzymie ilości energii np. tylko w ciągu dziesięciu sekund Słońce wysyła ilość energii wystarczającą dla zmiany całej wody znajdującej się na kuli ziemskiej w parę. Energia jest przenoszona przez próżnię pomiędzy Słońcem a Ziemią w postaci promieniowania elektromagnetycznego, czyli światła. Falę elektromagnetyczną, jak każdą falę mechaniczną, charakteryzują częstotliwość oraz długość fali. Wielkości te są ze sobą związane: im większa częstotliwość, tym długość fali jest mniejsza. Nasze oczy widzą światło w zakresie, który zwyczajowo nazywamy zakresem widzialnym. Częstotliwości wyższe od tego zakresu to ultrafiolet (UV) oraz promieniowanie rentgenowskie (X). Światło UV powoduje między innymi oparzenia słoneczne. W wypadku długości fali większych niż światło widzialne mówimy o zakresie fal podczerwonych (Ryc. 5.1) Im dany obiekt jest cieplejszy, tym wytwarza światło o krótszej długości fali. Słońce, którego temperatura powierzchni jest bardzo wysoka, emituje głównie promieniowanie krótkofalowe, natomiast dużo chłodniejsza Ziemia głównie długofalowe. Jednostką promieniowania używaną w tym opracowaniu jest gęstość strumienia energii promienistej – R. Jest to stosunek strumienia energii promienistej (czyli ilość energii promienistej przepływającej w jednostce czasu) do jednostki przekroju prostopadłego do kierunku przepływu promieniowania. Gęstość strumienia wyrażana jest w $W \cdot m^{-2}$.



Ryc. 5.1. Zakresy promieniowania elektromagnetycznego

Zmiany promieniowania słonecznego w atmosferze (ciepło, światło)

W trakcie przechodzenia przez atmosferę promieniowanie słoneczne ulega różnym przemianom. Najczęstsze z nich to: pochłanianie, czyli absorpcja przez materię, rozpraszanie i odbicie od napotkanych przeszkód. Wskutek tych procesów gęstość strumienia energii promienistej Słońca przeni-

kającego przez atmosferę ulega osłabieniu. Proces pochłaniania powoduje zmianę jakościową energii słonecznej. Dzięki temu procesowi część z niej przekształca się w energię cieplną. Promienie słoneczne ulegają absorpcji selektywnej i nieselektywnej. Nieselektywna absorpcja polega na pochłanianiu wszystkich długości fal przez zawiesiny atmosferyczne (np. pyły, kryształki soli czy lodu) oraz parę wodną. Nasilenie tego zjawiska jest zależne od stopnia zanieczyszczenia atmosfery. Absorbpcja selektywna to pochłanianie przez dane gazy atmosferyczne tylko określonych długości fal. Na przykład azot nie pochłania ich prawie wcale, tlen – promienie widzialne w bardzo wąskim przedziale i promienie UV, ozon absorbuje promieniowanie ultrafioletowe o długości fali krótszej niż 0,3 μm i promieniowanie podczerwone o długości fali 9,6 μm , dwutlenek węgla przepuszcza promieniowanie krótkofalowe, natomiast silnie pochłania podczerwone. Atmosfera ziemską słabo pochłania promieniowanie widzialne i bliską podczerwień.

Tab. 5.1. Albedo różnych powierzchni

Rodzaj powierzchni	Albedo
Krajobrazy	
Trwała pokrywa śnieżna wysokich szerokości geograficznych ($p > 60^\circ$)	0,80
Trwała pokrywa śnieżna umiarkowanych szerokości geograficznych	0,70
Nietrwała pokrywa śnieżna	0,45
Lasy iglaste	0,15
Tundra, stepy, lasy liściaste i sawanny w wilgotnej porze roku	0,18
Sawanny w suchej porze roku i półpustynie	0,25
Pustynie	0,30
Powierzchnie naturalne	
Śnieg świeży	0,95
Śnieg stary	0,40–0,55
Lód morski	0,30–0,45
Lodowiec	0,20–0,40
Woda	0,03–0,10
Czarnoziem, gleba ciemna, wilgotna	0,05–0,10
Gleba jasna, wilgotna	0,15–0,20
Gleba jasna, sucha	0,20–0,25
Piasek	0,28–0,3,8
Łąka	0,23
Zielone uprawy polowe	0,20–0,25
Las liściasty, stan bezlistny	0,15
Las liściasty, stan ulistniony	0,20
Las iglasty	0,10–0,15
Bagna	0,10–0,15
Chmury wysokie	0,50–0,60
Chmury kłębiaste	0,50–0,65
Chmury warstwowe o grubości <100 m	0,13
Chmury warstwowe o grubości >500 m	0,75
Chmury deszczowe grube	0,80–0,90
Powierzchnie sztuczne	
Asfalt	0,05–0,20
Beton	0,10–0,35
Cegła	0,20–0,40
Kamień	0,20–0,35
Szyba w oknie, wysokość Słońca $> 50^\circ$	0,08
Szyba w oknie, wysokość Słońca $< 50^\circ$	0,09–0,52
Farba biała	0,50–0,90
Farba czerwona, brązowa, zielona	0,20–0,35
Farba czarna	0,02–0,15

Rozpraszanie powoduje znacznie większe osłabienie strumienia energii słonecznej podczas jego przenikania przez atmosferę, ale nie zmienia natury promieniowania, tylko kierunek rozchodzenia się fal. Promieniowanie słoneczne rozpraszane jest we wszystkich kierunkach. Wszystkie promienie ulegają temu procesowi, lecz im są krótsze, tym rozpraszają się silniej. Znaczący to, że promienie niebieskie są bardziej rozpraszane niż czerwone. To sprawia, że niebo jest niebieskie, bo rozproszone promienie niebieskie dochodzą do nas ze wszystkich kierunków.

Jednak nie cała energia padająca na daną powierzchnię jest przez nią pochłaniana. Tylko ciała doskonale czarne pochłania całkowicie padającą na nie energię promienistą. Ciała szare, a z takimi mamy do czynienia w przyrodzie, częściowo odbijają energię promienistą. Współczynnik odbicia promieniowania Słońca, o długości fali od 0,4 do 4 μm , nazywa się albedo* (łac. białość). Współczynnik ten przyjmuje wartości od 0 do 1. Wartość albedo określa, ile padającego na dany obiekt promieniowania słonecznego ulega odbiciu i informuje jednocześnie, jaka jest utrata ciepła. Powierzchnie jasne mają duże wartości albedo, ciemne natomiast małe wartości. Szczególnie dużym albedo wyróżniają się: pokrywa śnieżna oraz w wolnej atmosferze – górna powierzchnia chmur, zwłaszcza zwarta ich powłoka. Promieniowanie odbite od powierzchni Ziemi i jej atmosfery, w tym głównie od górnej powierzchni chmur, wraca w przestrzeń międzyplanetarną i jego stosunek do promieniowania otrzymywanego przez Ziemię nosi nazwę albedo Ziemi. W Tab. 5.1. przedstawiono wartości albedo dla wybranych powierzchni.

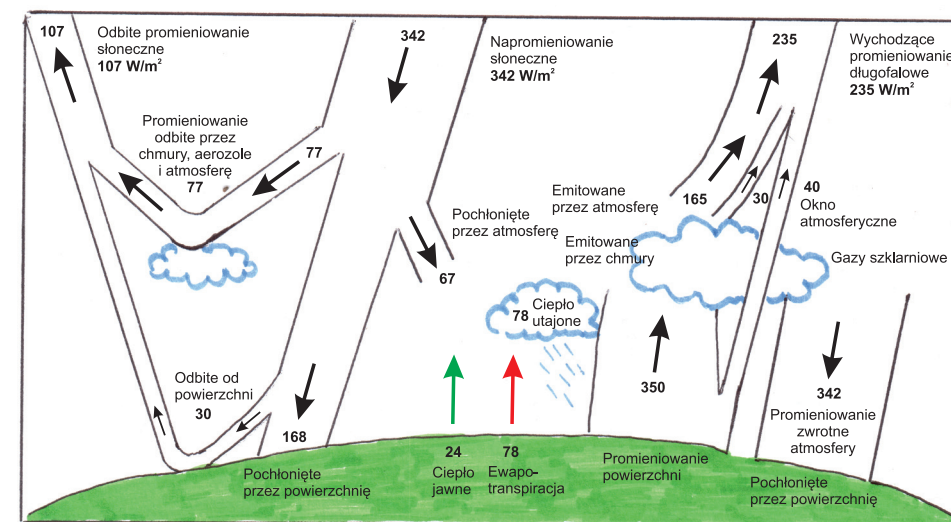
Mechanizm efektu szklarniowego

Promieniowanie krótkofalowe Słońca mieszczące się w zakresie od 0,15 do 4 μm jest w niewielkim stopniu pochłaniane przez atmosferę ziemską. Jedynie większość fal z zakresu ultrafioletu, którego nadmiar jest zabójczy dla żywych organizmów, zostaje pochłonięta w górnych warstwach atmosfery przez ozon. Pozostała część promieniowania słonecznego, podążając ku Ziemi, jest częściowo pochłaniana, odbijana i rozpraszana w kolejnych warstwach atmosfery. Promieniowanie to dociera do Ziemi w postaci bezpośredniej i rozproszonej. W dniu pochmurnym do powierzchni Ziemi dociera tylko promieniowanie rozproszone. Po dotarciu do powierzchni Ziemi promieniowanie częściowo jest od niej odbijane, a częściowo pochłaniane, ogrzewając ją. Energia promieniowania słonecznego (krótkofalowego) zmienia się w energię cieplną (promieniowanie długofalowe). Następnie Ziemia po ogrzaniu uwalnia ciepło na drodze wypromieniowania fal podczerwonych o długości fali od 4 do 100 μm . Promieniowanie cieplne Ziemi pochłaniane jest przez chmury i składniki atmosfery, powodując wzrost jej temperatury. Następnie ciepło to jest oddawane przez atmosferę równomiernie we wszystkich kierunkach, zarówno w stronę Ziemi, sąsiednich warstw atmosfery, jak i w przestrzeń kosmiczną. Oczywiście to, ile energii dopływa do powierzchni Ziemi z atmosfery w postaci niewidzialnego promieniowania długofalowego odczuwanego jako ciepło, zależy od temperatury atmosfery, a ta z kolei od tego, ile ciepła wysyłanego przez Ziemię pochłonie atmosfera. Należy bowiem pamiętać, że atmosfera ogrzewa się nie od bezpośredniego promieniowania Słońca, ale przez ciepło płynące od powierzchni Ziemi. Ilość energii, która dochodzi do powierzchni Ziemi od Słońca, zależy głównie od zachmurzenia. Natomiast ilość energii wysyłanej przez Ziemię i pochłoniętej przez atmosferę zależy głównie od zawartości w atmosferze pary wodnej, dwutlenku węgla i innych gazów silnie pochłaniających to ziemskie promieniowanie, a nazywanych gazami szklarniowymi. Pojawia się tutaj zjawisko noszące nazwę efektu szklarniowego, które – mówiąc potocznie – polega na tym, że energia słoneczna, przemieniona przez Ziemię z promieniowania krótkofalowego na promieniowanie długofalowe, jest gromadzona w atmosferze i staje się dodatkowym źródłem ciepła ogrzewającego powierzchnię Ziemi. Gdyby nie ten efekt, to średnia temperatura powierzchni Ziemi wynosiłaby -18°C , a nie jak obecnie $+15^{\circ}\text{C}$. Wynika z tego, że ilościowy efekt szklarniowy naszej planety wynosi 33°C . To oznacza, że dzięki przechwytywaniu części promieniowania długofalowego Ziemi przez atmosferę temperatura powierzchni Ziemi jest wyższa o 33°C niż byłaby ona, gdyby nasza planeta nie miała atmosfery.

Zjawisko efektu szklarniowego jest często, szczególnie w mediach, mylone ze zmianą jego intensywności. Często możemy usłyszeć, że w wyniku działalności człowieka powstał efekt szklarniowy, ale to błędne rozumienie tego zjawiska. Efekt szklarniowy istnieje zawsze w sytuacji, gdy planeta jest otoczona atmosferą. Natomiast zmiana jego wielkości zależy od składu chemicznego atmosfery, a więc w przypadku Ziemi od działalności człowieka.

Średni roczny bilans cieplny układu Ziemia – atmosfera

Najważniejszą charakterystyką energetyczną układu fizycznego jest równanie bilansu cieplnego. Na Ryc. 5.2 przedstawiony został szacunkowy roczny bilans cieplny Ziemi i atmosfery. Dla naszej planety zgodnie z zasadą stacjonarnego przepływu ilość energii, jaką otrzymuje planeta od Słońca (promieniowanie krótkofalowe), ilości energii, którą Ziemia oddaje na ogrzanie atmosfery i na wypromieniowanie w kosmos, musi być równa.



Ryc. 5.2. Bilans cieplny

Miarą ilości energii, jaka dochodzi do naszej planety ze Słońca, jest gęstość strumienia energii promienistej Słońca mierzona na orbicie ziemskiej (lub na powierzchni Ziemi przy założeniu, że nie ma ona atmosfery). Wartość ta nazywa się stałą słoneczną* (R_0) i wynosi $1368 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$.

Jednak atmosfera, chmury i powierzchnia Ziemi część tego promieniowania odbija. Nosi ona nazwę albedo planetarnego i wynosi około 0,30.

Gazy szklarniowe

Gazami szklarniowymi nazywamy te składniki atmosfery ziemskiej, które dzięki swoim własnościom fizykochemicznym zapobiegają wydostawaniu się promieniowania podczerwonego emitowanego przez powierzchnię Ziemi, pochłaniając je i oddając do atmosfery, w wyniku czego następuje wzrost temperatury powierzchni Ziemi.

Główne składniki czystej atmosfery ziemskiej, azot i tlen, w nieznacznym stopniu pochłaniają promieniowanie długofalowe Ziemi. W naszej atmosferze najważniejszymi gazami szklarniowymi są para wodna i dwutlenek węgla. Na ilość pary wodnej w atmosferze nie mamy bezpośredniego wpływu, gdyż zależy ona głównie od temperatury troposfery. W atmosferze ziemskiej są jeszcze, poza parą wodną i dwutlenkiem węgla, inne gazy szklarniowe, takie jak ozon, podtlenek azotu, metan, freony. Ich wpływ na efekt szklarniowy jest zróżnicowany. Większość z nich wywiera bardziej znaczący wpływ na zwiększenie efektu szklarniowego niż dwutlenek węgla. Wpływ jednej cząsteczki metanu jest taki jak 21 cząsteczek CO_2 , natomiast wpływ jednej cząsteczki freonu jest już kilkanaście tysięcy razy większy niż jednej cząsteczki CO_2 . Jednak koncentracja tych gazów w atmosferze jest znacznie mniejsza. W efekcie cieplarnianym biorą udział również aerozole, czyli drobne cząsteczki pyłów zawieszane w atmosferze, uwalniane w różnych procesach.

Emisja gazów szklarniowych, pochodząca z działalności człowieka, narusza obecnie bilans energetyczny naszej planety o około $2,5 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$. Stanowi to równowartość 1% energii słonecznej wnikającej

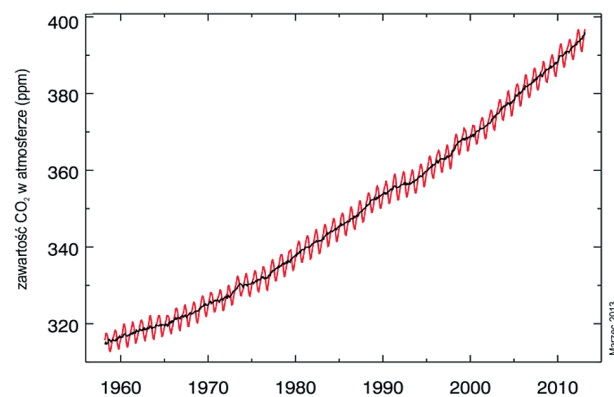
w ziemski system klimatyczny, energii, jaka uwolniłaby się w wyniku spalania 180 milionów ton oleju opałowego w każdej minucie lub energii przekraczającej stukrotnie wielkość energii wykorzystywanej na całym świecie w celach komercyjnych.

Para wodna

Para wodna jest najważniejszym gazem szklarniowym, który odpowiada za około dwie trzecie efektu szklarniowego. W atmosferze ziemskiej molekuly wody pochłaniają ciepło, które wypromieniowuje Ziemia, a następnie wysyłają je we wszystkich kierunkach, podnosząc temperaturę powierzchni Ziemi. Reemitując ciepło para wodna przyczynia się do zmniejszenia nocnych oziębień powierzchni Ziemi i dolnych warstw atmosfery. Większość gazów szklarniowych jest dobrze wymieszana w troposferze i stratosferze. Ich globalna koncentracja może być określana na podstawie pomiarów w kilku wybranych punktach. Nie odnosi się to, niestety do pary wodnej, ponieważ jej zawartość w atmosferze zmienia się w znacznym zakresie zarówno w poziomie jak i w pionie. Najwięcej pary wodnej występuje w pobliżu powierzchni Ziemi w tropikach, a najmniej w dolnej stratosferze. Jej rozkład przestrzenny w troposferze zależy od intensywności parowania wody z powierzchni Ziemi oraz od wielkości opadów. Zawartość pary wodnej w powietrzu limitowana jest przez temperaturę – wyższym temperaturą odpowiada większa „pojemność wilgotnościowa” powietrza. Szacuje się, że wzrost temperatury atmosfery o 1°C spowoduje przyrost masy pary wodnej o 6%. Wzrost ten z kolei będzie ocieplał troposferę i powierzchnię Ziemi dzięki powiększeniu się efektu szklarniowego atmosfery.

Dwutlenek węgla

Dwutlenek węgla jest bezbarwnym i bezwonny gazem, naturalnym składnikiem atmosfery. Zakres absorpcji promieniowania długofalowego przez dwutlenek węgla przypada w obszarze największego natężenia promieniowania ziemskiego. Dlatego, pomimo znacznie mniejszego stężenia w atmosferze, gaz ten może mieć duży wpływ na zwiększenie efektu cieplarnianego. Istnieją dwa największe antropogeniczne źródła dopływu CO₂ do atmosfery. Pierwsze jest związane z wylesieniem. Gęsty las magazynuje więcej węgla na jednostkę powierzchni niż pole orne. Większość lasów w strefie umiarkowanej znikła dawno temu. Współczesne wylesienie trwa głównie w strefie międzyzwrotnikowej, czego skutkiem jest uwalnianie do atmosfery ok. 2 Gt C rocznie. Drugim największym antropogenicznym źródłem CO₂ jest spalanie paliw kopalnych. Proces ten uwalnia 8 Gt C rocznie i rośnie wykładniczo, napędzany powiększającym się zaludnieniem i wzrostem gospodarczym. Po zsumowaniu ilości gazu pochodzącego z dwóch głównych antropogenicznych źródeł okazuje się, że ludzkość uwalnia do atmosfery rocznie ok. 9 Gt CO₂. Ilość tego gazu w atmosferze przyrasta o około 4 Gt rocznie. Co dzieje się z pozostałymi 4 Gt? Są one absorbowane naturalnie przez oceany oraz biosferę lądową. Ponad 200 lat temu sięgało około 280 ppm (ang. parts per million) W 1960 roku średnie roczne stężenie dwutlenku węgla w atmosferze wynosiło około 315 ppm. Obecnie wynosi ono już 400 ppm. Stacja badawcza Mauna Loa na Hawajach mierzy ilość dwutlenku węgla w powietrzu od 1958 roku. Ten najdłuższy ciągły zapis bezpośrednich pomiarów CO₂ wykazuje z roku na rok systematyczną tendencję wzrostową (Ryc. 5.3). Wzrost ilości CO₂ w atmosferze powoduje, że głównie jemu poświęcona jest uwaga społeczności międzynarodowej.



Ryc. 5.3. Wzrost zawartości CO₂ w atmosferze określony na podstawie pomiarów na Mauna Loa

Metan

Metan – inaczej gaz błotny lub kopalniany – to najprostszy węglowodór nasycony. Jest bezbarwny i bezwonny gazem palnym tworzącym mieszaniny wybuchowe z powietrzem. W atmosferze metan przechwytuje promieniowanie długofalowe 21 razy skuteczniej niż CO₂, jednak czas jego trwania jest krótszy i wynosi około 10 lat. W związku z tym zmiany stężenia metanu w atmosferze są bardziej uzależnione od wielkości jego emisji niż dłużej „żyjących” gazów, takich jak np. freony czy podtlenek azotu. Produkowany jest on głównie przez bakterie, które żywią się materią organiczną w warunkach niedoboru tlenu. Zmiany stężenia metanu w przeszłości (do okresu rewolucji przemysłowej) świadczą o tym, iż w tamtym czasie o jego zawartości decydowały czynniki naturalne (emisja z bagien i trzęsawisk, tundry, lasów tropikalnych). Gwałtowny wzrost stężenia metanu nastąpił w ciągu ostatnich 100–150 lat równocześnie ze znacznym przyrostem liczby ludności na Ziemi. Istniejące między tymi zjawiskami wzajemne powiązania sugerują, że wzrost zawartości metanu w troposferze jest najprawdopodobniej efektem nasilenia się działalności gospodarczej człowieka, przede wszystkim rolniczej. Przyrost liczby ludności pociągnął za sobą konieczność zwiększenia produkcji żywności. W wyniku tego wzrosła powierzchnia uprawy ryżu oraz hodowla przeżuwaczy (w tym przede wszystkim bydła). Jak się okazuje, są to dwa najpoważniejsze źródła emisji metanu do atmosfery. Innym ważnym antropogenicznym źródłem tego gazu może być spalanie biomasy, szczególnie w tropikach, gdzie w ostatnich latach najintensywniej przebiega proces wylesienia. Poza źródłami rolniczymi metan jest również uwalniany w procesach spalania paliw kopalnych.

Podtlenek azotu

Podtlenek azotu (N₂O) to bezbarwny gaz o słodkim zapachu oraz słabym działaniu odurzającym, zwany gazem rozweselającym. Koncentracja podtlenku azotu w atmosferze w ostatnim stuleciu rośnie wolniej niż metanu. Głównymi naturalnymi źródłami emitującymi N₂O do atmosfery są procesy mikrobiologiczne w glebach (szczególnie porośniętych lasami tropikalnymi i strefy umiarkowanej) i wodach (głównie oceanach), będące częścią obiegu azotu w przyrodzie. Antropogeniczne źródła podtlenku azotu to przede wszystkim spalanie paliw kopalnych i biomasy, wylesienie oraz stosowanie nawozów azotowych. Gaz ten jest usuwany z atmosfery głównie przez procesy fotochemiczne zachodzące w stratosferze. W ich wyniku powstaje tlenek azotu (NO), który odgrywa istotną rolę w regulowaniu koncentracji ozonu i jego przestrzennym rozmieszczeniu.

Freony

Freony są gazami śladowymi, których obecność w atmosferze ma prawie w całości pochodzenie antropogeniczne. Ich powszechne zastosowanie rozpoczęło się po zakończeniu II wojny światowej i trwało do połowy lat siedemdziesiątych XX wieku. Freony stosowane były przede wszystkim w urządzeniach chłodniczych oraz jako rozpylacze w gaśnicach i kosmetykach. Szkodliwe działanie freonów polega nie tylko na przechwytywaniu i zatrzymywaniu promieniowania ziemskiego w obrębie atmosfery, lecz również powoduje powstawanie dziury ozonowej, która umożliwia docieranie do Ziemi większej ilości promieniowania ultrafioletowego. Gdy w latach siedemdziesiątych zauważono niszczący wpływ freonów na ochronną warstwę ozonową, rozpoczęto na świecie działania (m.in. w ramach Programu Ochrony Środowiska Narodów Zjednoczonych UNEP), które doprowadziły do podpisania w 1987 r. Protokołu Montrealskiego, zakładającego znaczne ograniczenia w produkcji i użytkowaniu freonów przez wiele państw. Na spotkaniu w Helsinkach w 1989 r. przyjęto wniosek o całkowity zakaz produkcji tych związków. Długi okres życia freonów w atmosferze (od 60 do 400 lat) powoduje jednak, iż stężenie ich nie będzie szybko malało nawet przy całkowitym wycofaniu tych substancji z produkcji.

Ozon

Ozon to aktywna cząstka tlenu zbudowana z trzech atomów. Jest wytwarzany w stratosferze w wyniku rozbijania cząsteczek O₂ przez wysokoenergetyczne promieniowanie ultrafioletowe UV-C na dwa bardzo aktywne atomy tlenu. Każdy z nich może znaleźć cząsteczkę O₂, przyłączyć się do niej

i utworzyć ozon, czyli O_3 . Ozon stratosferyczny odfiltruje z promieniowania słonecznego promienie UV-B, które po dotarciu do powierzchni Ziemi szkodzą ludziom powodując raka skóry i oparzenia słoneczne. W stratosferze znajduje się około 90% całego ozonu atmosferycznego. Pozostałe 10% mieści się w troposferze. Ozon w troposferze pochodzi z dwóch źródeł. Pierwszym źródłem jest wytwarzanie ozonu w reakcji gazów pochodzących z działalności przemysłowej oraz ze spalin samochodowych zawartych w przypowierzchniowym miejskim smogu. W powietrzu miejskim ozon tworzy się pod wpływem światła słonecznego z resztek benzyny i tlenków azotu oraz naturalnych związków chemicznych wydzielanych przez rośliny. Powyżej pewnego stężenia ozon staje się toksyczny, co powoduje dolegliwości zdrowotne u ludzi oraz poparzenia na liściach roślin. Drugim źródłem ozonu w troposferze jest jego transport ze stratosfery. W stratosferze działa korzystnie (pochłania promieniowanie UV), a działalność człowieka go niszczy. W troposferze natomiast jest on szkodliwy, a działalność człowieka go tworzy.

Warstwa ozonu powoduje z jednej strony zmniejszenie strumienia promieniowania słonecznego docierającego do powierzchni Ziemi przez to, że pochłania promieniowanie ultrafioletowe. Jednak z drugiej strony, pochłanianie przez ozon promieniowania ultrafioletowego podnosi temperaturę stratosfery, co z kolei zwiększa natężenie długofalowego, zwrotnego promieniowania atmosferycznego. Spadek stężenia ozonu stratosferycznego spowoduje więc nie tylko wzrost bezpośredniego promieniowania słonecznego docierającego do powierzchni Ziemi, ale także zmniejsza promieniowanie zwrotne atmosfery. W efekcie spadek stężenia ozonu przeciwdziała efektowi szklarniowemu pozostałych gazów.

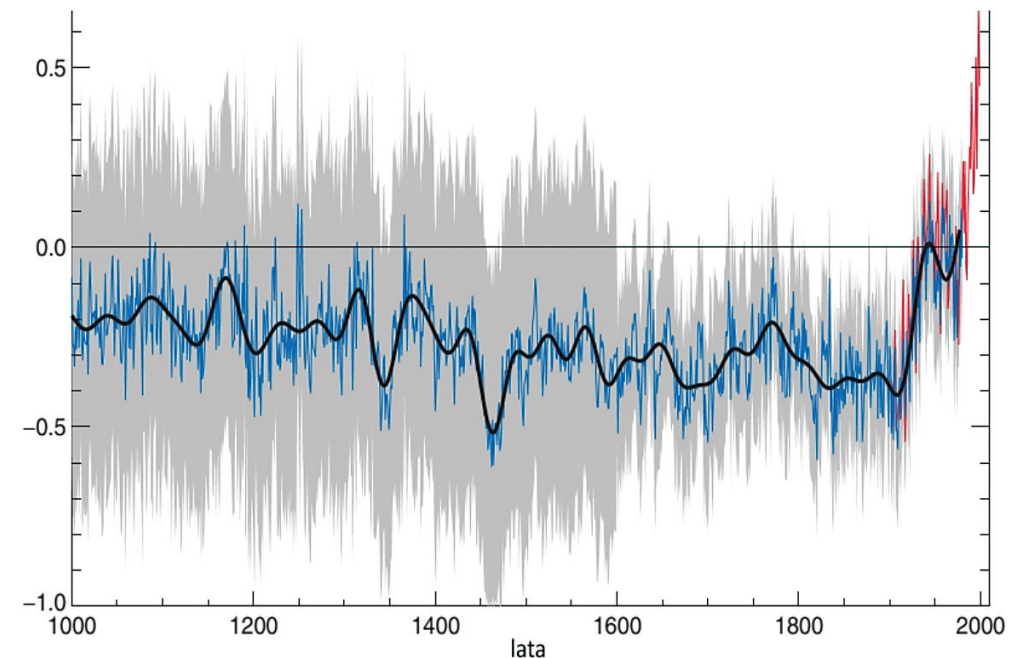
Aerозole atmosferyczne

Aerозole atmosferyczne to układy bardzo drobnych cząstek ciał stałych oraz cieczy w powietrzu. Rozmiary cząstek aerозoli atmosferycznych wynoszą od 0,01 μm do 100 μm . Przykładem aerозolu atmosferycznego jest mgła. Mgła jest zjawiskiem naturalnym w przyrodzie i nie jest związana z zanieczyszczeniem powietrza. Jednak w mikrokroplach wody mogą się absorbować różne zanieczyszczenia jak dwutlenek siarki czy tlenki azotu. Innym zanieczyszczeniem powietrza są dymy. Zawierają one cząstki stałe i ciekłe. Powstają we wszelkiego rodzaju procesach spalania. Cząstki ciekłe to przeważnie różne węglowodory jak benzyna, oleje lub smoła. Cząstki stałe to głównie sadza. Główne źródła aerозoli to: spalanie paliw kopalnych i biomasy, erupcje wulkanów, pożary lasów i stepów, burze piaskowe, rolnictwo. Wpływ aerозoli na klimat naszej planety jest bardzo złożony. Choć istnieje wiele odmian aerозoli okazuje się, że dwa ich rodzaje (aerозole siarczanowe i węglowe) odgrywają szczególnie istotną rolę w regulacji zmian klimatycznych. Oba są produktami działalności człowieka. Aerозole siarkowe, które pochodzą głównie ze spalania węgla i ropy naftowej, odbijają promieniowanie słoneczne z powrotem w przestrzeń kosmiczną, ale także wspomagają tworzenie się chmur. Oba procesy ograniczają ilość światła docierającego do Ziemi i tym samym chłodzą planetę. W ciągu ostatnich trzech dekad Stany Zjednoczone i kraje europejskie przyjęły szereg ustaw, które zredukowały emisję siarczanów o 50%. Poprawiło to jakość powietrza i zdrowie ludności, ale zmniejszyło chłodzące działanie siarczanów na klimat. Tym bardziej że w tym samym czasie stopniowo wzrastała ilość aerозoli węglowych (sadzy), głównie ze względu na zwiększenie emisji z Azji. Cząsteczki sadzy, wytwarzane w procesach przemysłowych oraz spalania oleju napędowego i biopaliw, pochłaniają promieniowanie słoneczne i mają silny wpływ ocieplający na atmosferę, i – co ważne w przypadku połączenia aerозoli siarczanowych i węglowych – aerозole węglowe potrafią „zdominować” aerозole siarczanowe, tym samym niwelując ich chłodzące działanie.

Wpływ wzrostu intensywności efektu szklarniowego na zmiany klimatu

Temperatura

Zmiany temperatury na powierzchni Ziemi są naturalnym zjawiskiem występującym w całej historii naszego globu. Problem dzisiejszy polega więc nie na występowaniu zmiany temperatury w ogóle, ale na szybkości tej zmiany. Dotychczas temperatura zmieniała się o ułamek stopnia na stulecie czy tysiąclecie. Obecnie przewiduje się wzrost w tempie ułamka stopnia na dziesięciolecie (Ryc. 5.4).



Ryc. 5.4. Zmiany temperatury na półkuli północnej w minionym tysiącleciu

Wiele modeli matematycznych prognozujących zmiany klimatu na kuli ziemskiej przewiduje wzrost średniej planetarnej temperatury powietrza do 2075 roku w granicach od 1,5 do 4,5°C. Spodziewana wielkość zmian temperatur jest najmniejsza w strefie tropikalnej, a największa na dużych szerokościach geograficznych. W Skandynawii może osiągnąć nawet ponad 10°C. W pozostałej części Europy największy przyrost latem może wynieść 4°C, a w zimie nawet 7°C. W Polsce wzrost temperatury będzie się wahał od 2°C latem do 6°C zimą. Zimowe i nocne temperatury wzrosną bardziej niż dzienne temperatury latem. Większe stężenie dwutlenku węgla zmniejszy bowiem utratę ciepła wypromieniowanego w przestrzeń z powierzchni Ziemi. Gazy szklarniowe nie tylko ogrzewają planetę, lecz także dłużej utrzymują ciepło w okresach zimowych. Wszystkie pory roku będą cieplejsze, ale chłodniejsze ocieplą się bardziej.

Przypuszcza się, że temperatura lądów wzrośnie bardziej niż temperatura wód, ponieważ parowanie z wody zabiera część ciepła, ale na lądzie wzmoczone parowanie skutkuje wyschnięciem. Z tego powodu niektóre modele przewidują wysychanie wewnątrz kontynentów. Okres wegetacyjny znacznie się wydłuży. Już teraz jest on o około tydzień dłuższy niż kilkadziesiąt lat temu.

Liczba skrajnie upalnych dni zwiększy się i jednocześnie będzie mniej wyjątkowo zimnych okresów. Statystyki śmiertelności z powodu fal upałów wskazują wzrost liczby zgonów spowodowanych gorącem, a liczba zgonów z powodu zimna spada. Ocenia się, że dwutygodniowa fala upałów w sierpniu 2003 r. zabiła w Europie co najmniej 35000 ludzi.

Opady i zachmurzenie

Globalna zmiana klimatu przyniesie również istotne zmiany w zachmurzeniu i opadach, jednak wszelkie prognozy tych zmian obarczone są znacznie większym błędem niż prognozy zmian temperatury. Zmiany opadów najprawdopodobniej spowodują wzrost sum rocznych w tych rejonach, w których opady są dzisiaj wysokie, a zmniejszenie tam, gdzie dzisiaj są już i tak niskie. Zmiany zachmurzenia na kuli ziemskiej, w najbliższej przyszłości, są trudne do przewidzenia i mało rozpoznawalne. Wzrost temperatury musi jednak wywołać zwiększoną pionową wymianę pary wodnej i zwiększenie turbulencyjności atmosfery. Zmieni to dotychczasowy układ ogólnej cyrkulacji atmosfery i wielkość oraz strukturę zachmurzenia. Jednak nie tylko rozmiar efektu, ale i kierunek zmiany nie jest dostatecznie rozpoznany.

Z tego względu scenariusze zmian opadów i ich rozkładu na powierzchni Ziemi przewidują w zależności od regionu zarówno wzrost, jak i spadek opadów. Prawdopodobnie opady zimowe wzrosną bardziej niż letnie. Wzrośnie częstość występowania deszczu zimą, a zmaleje śniegu. Zmniejszy to zarówno ilość śniegu, jak i ilość wody z wiosennych roztopów, nasilając potencjalne susze wiosenne i letnie. Zmiana opadów w Polsce może wynieść nawet do 20% opadów dzisiejszych. W skali planety opady mogą nieco wzrosnąć. Przewiduje się również, że wzrost opadów nastąpi w tych rejonach świata, gdzie dzisiaj są one duże np. na równiku, a zmaleją one w strefach o małych obecnie opadach, co może spowodować jeszcze większe wysuszenie rejonów pustynnych w pobliżu zwrotników.

Niekorzystną cechą tendencji klimatycznych jest nie tylko sama zmiana temperatury i opadów, ale zwiększenie się zmienności temperatur i opadów, a także amplitudy zmian. Oznacza to, że pomimo tendencji do wzrostu temperatury, mogą się pojawić bardzo chłodne zimy, tak jak coraz częściej pojawiają się okresy suszy i powódzie.

Lodowce

Los największych lądolodów zależy od równowagi między opadami śniegu a topnieniem lodu. Ocieplenie na Grenlandii o ok. 3°C względem dzisiejszych wartości temperatury jest uważane za wystarczające do zupełnego stopienia tamtejszego lądolodu. Przypomnijmy, że ocieplenie wywołane nasileniem efektu cieplarnianego jest w wysokich szerokościach geograficznych nie tylko silniejsze od średniej globalnej, lecz także intensywniejsze zimą niż latem. Pokrywa lodowa jest bardziej wrażliwa na temperatury letnie, bo wtedy zachodzi topnienie. Nie wiadomo, jak szybko może się stopić lądolód na Grenlandii. Gdyby do tego doszło, poziom morza mógłby się znacznie podnieść.

Pokrywa lodowa Antarktydy leży w zimniejszym klimacie niż lądolód Grenlandii, dlatego przewiduje się, że wzrost temperatury nie będzie miał na nią tak silnego wpływu. Prognozuje się, że we wnętrzu Antarktydy wzrosną opady śniegu, ponieważ cieplejsze powietrze będzie zawierać więcej pary wodnej. Pokrywa lodowa Antarktydy w ciągu następnego stulecia zwiększy więc swoją wielkość, co jest zgodne z bieżącymi obserwacjami.

Zmniejszy się powierzchnia pokrywy lodu morskiego na oceanach. Prognozy modeli przewidują, że lód morski na oceanie arktycznym może się stopić w najbliższym stuleciu i istnieć jedynie sezonowo. W konsekwencji oznacza to ogromną zmianę albedo i tym samym bilansu energetycznego wysokich szerokości geograficznych północnych.

Wraz z ociepleniem spodziewane jest stopienie się lodowców górskich, które jest obserwowane już obecnie (Ryc. 5.5). Szczególnym skutkiem zaniku lodowców może być zmniejszenie ilości wody w rzekach spływających z gór i problem z dostawą wody dla dużej liczby ludzi, dla których źródłem zaopatrzenia w nią są topniejące lodowce, szczególnie w okresie letnim.

Qori Kalis



Ryc. 5.5. Zanikanie lodowców (na przykładzie lodowca Qori Kalis w Andach)

Poziom morza

Wraz z globalnym ociepleniem spodziewane jest podniesienie poziomu morza. Stanie się tak z dwóch powodów. Po pierwsze, wody w oceanach ulegną rozszerzeniu termicznemu. Po drugie, poziom morza podniesie się wskutek topnienia lodowców i pokryw lodowych znajdujących się na lądach. Prognozy mówią o podniesieniu się poziomu Wszechoceanu w przyszłym stuleciu o 0,1–0,7 m, z czego połowa będzie skutkiem rozszerzenia termicznego wody, a druga połowa, topnienia lodowców i pokrywy lodowej. Podniesienie się poziomu morza o jeden metr prowadzi do zalania około 10 tys. km² lądu, czyli około 0,07% powierzchni lądowej na Ziemi. Prognozowanie podniesienia się poziomu morza o pół metra to niewiele w porównaniu z różnicą poziomu morza w wyniku występowania pływów, dlatego nie uznano by tego za katastrofę. Skutki mogłyby się jednak objawić w szczególnych warunkach, np. podczas sztormów, i w określonych miejscach, np. w Bangladeszu, delcie Nilu, delcie Missisipi, w Nowym Jorku, Miami i na wielu wyspach Oceanu Spokojnego. Jednak ostatnie wydarzenia (rozpad Lodowca Szelfowego Larsena) oraz dane geologiczne świadczą, że powolne topnienie pokryw lodowych może być założeniem zbyt optymistycznym.

Gwałtowne zjawiska atmosferyczne związane z wiatrem

Rosnąca temperatura powierzchni oceanów może zauważalnie zwiększyć liczbę i siłę tropikalnych cyklonów (zwanymi tajfunami lub huraganami), ponieważ ciepłe wody przypowierzchniowe są dla nich źródłem energii. Wraz ze wzrostem temperatury oceanu rośnie maksymalna siła huraganu. Częstość huraganów zaliczanych do kategorii 5 podwoiła się w ostatnich 30 latach. Ten fakt nie stanowi dowodu, że wraz z globalnym ociepleniem będzie występować więcej silnych cyklonów, ponieważ ich liczba naturalnie się zmienia. Bardziej przekonującym dowodem jest całkowita siła cyklonów w ostatnich 50 latach, ściśle skorelowana ze zmianami temperatury powierzchni oceanów. W warunkach obecnie postępującego ocieplenia cyklony stają się nawet silniejsze, niż przewidują to modele i teoria.

MATERIAŁY GRAFICZNE DO REALIZACJI NA LEKCJI I W PROJEKCIE:

Tabele:

Tab. 5.1. Albedo różnych powierzchni

Ryciny:

Ryc. 5.1. Zakresy promieniowania elektromagnetycznego

Ryc. 5.2. Bilans cieplny

Ryc. 5.3. Wzrost zawartości CO₂

Ryc. 5.4. Zmiany temperatury na półkuli północnej

Ryc. 5.5. Zanikanie lodowców

MATERIAŁY POMOCNICZE DO REALIZACJI TEMATU NA LEKCJI I W PROJEKCIE

Literatura

- ARCHER D. (2011): Globalne ocieplenie. Zrozumieć prognozę. Ss. 204. PWN, Warszawa.
 HÄCKEL H. (2009): Pogoda i klimat. Ss. 336. Oficyna wydawnicza MULTICO, Warszawa.
 KĘDZIORA A. (2008): Podstawy agrometeorologii. Ss. 380. PWRiL, Poznań.
 KOŻUCHOWSKI K., PRZYBYLAK R. (1995): Efekt cieplarniany. Ss. 219. Wydawnictwo „Wiedza Powszechna”, Warszawa.
 KUNDZEWICZ Z.W., KOWALCZAK P. (2008): Zmiany klimatu i ich skutki. Ss. 214. Wydawnictwo Kurpisz S.A., Poznań.
 SORBJAN Z. (2004): Pogoda dla koneserów. Ss. 243. Wydawnictwo Meteor, Warszawa.

Problem badawczy

- Mechanizm działania efektu szklarniowego, naturalne i antropogeniczne czynniki mające wpływ na jego intensywność.

- Zmiany intensywności efektu szklarniowego oraz ich wpływ na środowisko naturalne i życie człowieka.

ZASTOSOWANE METODY BADAWCZE

Główną częścią zajęć będzie wykład (1–2 godziny lekcyjne) poświęcony zagadnieniu efektu szklarniowego. Wykład przeprowadzony w formie prezentacji, będzie zawierał omówienie samego zjawiska, jak i głównych czynników mających wpływ na jego intensywność. Druga część wykładu opowie o konsekwencjach nasilenia efektu szklarniowego na klimat i środowisko, koncentrując się na:

- a) zmianach klimatu, których elementem są: globalny wzrost temperatury powietrza, zmiany opadów i zachmurzenia, gwałtowne zjawiska atmosferyczne,
- b) globalnych zmianach komponentów środowiska, takich jak: topnienie lodowców i zanik pokrywy lodowej, wzrost poziomu morza.

Wykład zostanie uzupełniony dwoma wariantami ćwiczeń, polegających na wykonaniu obliczeń przy pomocy załączonych arkuszy kalkulacyjnych. Dzięki tym obliczeniom uczniowie oszacują wielkość obecnie występującego efektu szklarniowego oraz „wkład” poszczególnych czynników w to zjawisko.

Wariant podstawowy

Część pierwsza będzie polegała na określeniu wielkości obecnie obserwowanego efektu szklarniowego za pomocą obliczenia temperatury efektywnej powierzchni Ziemi, rozumianej jako temperatura powierzchni planety pozbawionej atmosfery lub z atmosferą całkowicie przepuszczalną dla wszystkich zakresów promieniowania. Do obliczeń posłuży arkusz kalkulacyjny.

Zadanie 1. Zebranie na podstawie źródeł internetowych i literatury wartości stałych i zmiennych, niezbędnych do wykonania obliczeń temperatury efektywnej, według równania opartego na prawie Stephana-Boltzmana.

Zadanie 2. Podstawienie do równania znalezionych wartości średniego albedo Ziemi, stałej słonecznej i obliczenie temperatury efektywnej powierzchni Ziemi.

Zadanie 3. Porównanie otrzymanej z równania temperatury efektywnej ze średnią globalną temperaturą powietrza (literatura i źródła internetowe) i obliczenie, jaką wartość w [°C] ma obecnie efekt szklarniowy.

Zadanie 4. Powtórzenie tych samych obliczeń dla różnych wielkości albedo np. dla Ziemi całkowicie pokrytej oceanem, całkowicie pokrytej lodem, lądów całkowicie pokrytych lasami (przykładowe albedo różnych powierzchni naturalnych, sztucznych oraz krajobrazów zamieszczono w tabeli 1). Zadanie przeznaczone do wykonywania w małych grupach. Pożądanym efektem jest uzyskanie dużej liczby wyników zależnych od zmian albedo dla różnych rodzajów pokrycia powierzchni Ziemi.

Zadanie 5. Powtórzenie tych samych obliczeń dla różnych wartości stałej słonecznej. Można się w tym celu posłużyć wielkością irradiancji* (natężenia promieniowania słonecznego). Zadanie przeznaczone do wykonywania w małych grupach. Pożądanym efektem jest uzyskanie dużej liczby wyników dla różnych wartości irradiancji. Dane z ostatnich kilkuset lat można uzupełnić, zmniejszając stałą słoneczną o 5% (szacowana wartość sprzed 600 mln) lub 2,5–4%, dla epoki dinozaurów (200–65 mln lat temu).

W części drugiej wykonane zostaną obliczenia wpływu zmian stężenia wybranych gazów szklarniowych na zmiany w bilansie radiacyjnym. Należy je wykonać przy pomocy arkusza kalkulacyjnego.

Zadanie 1. Zebranie na podstawie źródeł internetowych i literatury stężeń wybranych gazów szklarniowych przed epoką industrialną (1750 rok). Zapoznanie się ze scenariuszami emisji tych gazów w przyszłości i możliwymi stężeniami do roku 2100, a następnie wybranie kilku wartości dla każdego z gazów do dalszych obliczeń. Przykładowe dane, obejmujące historyczne poziomy stężeń oraz możli-

we stężenia w przyszłości, znajdują się w tabeli 2, jednak ich samodzielne odnalezienie np. w internecie może być także elementem zadania dla uczniów zainteresowanych tematem.

Zadanie 2. To zadanie polega na wstawieniu w odpowiednie komórki arkusza kalkulacyjnego zebranych stężeń gazów cieplarnianych i obliczenie, jaki wpływ ma ich wzrost na zmiany bilansu promieniowania w atmosferze. Zmiany bilansu promieniowania są nazywane wymuszeniem radiacyjnym, a ich wielkość możemy odczytać z kolumny h. Pożądanym efektem tego zadania jest uzyskanie dużej liczby wyników, które można zestawić w tabeli lub przedstawić na wykresie. Będą one pomocne w realizacji zadania 3.

Podsumowanie obu części ćwiczeń będzie polegało na zebraniu wyników obliczeń przeprowadzonych przez uczniów i wyciągnięcie na tej podstawie wniosków dotyczących wpływu wybranych czynników na wielkość efektu szklarniowego oraz możliwych zmian temperatury w przyszłości. W sformułowaniu wniosków pomocne będą odpowiedzi na następujące pytania:

1. Dlaczego stałą słoneczną nazywamy stałą? Czy zmiany natężenia promieniowania słonecznego obserwowane za pomocą aparatury i zrekonstruowane (np. z ostatnich kilkuset lat) za pomocą danych pośrednich są duże?
2. Czy przed milionami lat podczas cieplejszych okresów w historii Ziemi, Słońce świeciło mocniej niż obecnie?
3. Czy zmiany na powierzchni Ziemi mogą istotnie wpływać na temperaturę efektywną planety?
4. Czy zmiany albedo wywołane przez naturalne czynniki np. wzrost lub spadek rozmiaru czap polarnych mogą wywoływać porównywalne lub większe zmiany temperatury efektywnej od naturalnych wahań natężenia promieniowania słonecznego?
5. Czy zmiany stężeń tzw. gazów cieplarnianych mają wpływ na zmianę bilansu promieniowania w atmosferze?
6. Czy zmiany w bilansie promieniowania wywołane wzrostem stężeń gazów cieplarnianych (wyrażone w W/m^2) są duże, czy małe, w porównaniu z naturalną zmiennością natężenia promieniowania słonecznego?

Wariant rozszerzony

W wariantcie rozszerzonym proponuje się rozwiązanie tych samych zadań badawczych, co w wariantcie podstawowym, jednak w rozszerzonej formie (do wyboru przez nauczyciela):

1. Samodzielne znalezienie i sprawdzenie poprawności danych potrzebnych do obliczeń w literaturze naukowej i popularno-naukowej oraz w źródłach internetowych.
2. Przeprowadzenie obliczeń dla wielu różnych poziomów badanych czynników (irradiancja, stężenia gazów cieplarnianych, albedo).
3. Zastanowienie się nad sprzężeniami zwrotnymi, powodującymi, że zmiana jednego z parametrów przyspiesza zmianę innego np. wzrost stężeń gazów cieplarnianych – wzrost temperatury – spadek powierzchni czap polarnych – spadek albedo – wzrost temperatury wyższy, niż wynikający ze zmiany stężeń gazów cieplarnianych.

Najważniejsze osiągnięcia – kompetencje ucznia

- a. Wiedza
 - identyfikowanie związków i zależności oraz wyjaśnianie zjawisk i procesów,
 - dostrzeganie prawidłowości dotyczących środowiska przyrodniczego;
- b. Umiejętności
 - zastosowanie ogólnodostępnych danych (np. stężeń gazów cieplarnianych obecnie i w przeszłości) do rozwiązania problemu,
 - korzystanie z różnych źródeł informacji, w tym: internetowych baz danych, danych statystycznych, tekstów źródłowych w celu gromadzenia, przetwarzania i prezentowania informacji geograficznych,

- posługiwanie się podstawowym słownictwem dotyczącym problemu w toku opisywania oraz wyjaśniania zjawisk i procesów zachodzących w środowisku;
- c. Postawa
zrozumienie mechanizmu powstawania efektu szklarniowego oraz wpływu działalności człowieka na intensywność tego procesu.

PROJEKT: MIEJSKA (URBANIZACYJNA) WYSPA CIEPŁA

CELE REALIZACJI PROJEKTU

1. Zapoznanie ucznia z pojęciami określającymi klimat w różnych skalach przestrzennych, takich jak: topoklimat*, mezoklimat*, mikroklimat*.
2. Poznanie czynników wpływających na klimat lokalny, w tym:
 - bilans radiacyjny
 - pojemność cieplna elementów krajobrazu np. zbiorniki wodne, budowle
 - parowanie i jego wpływ na temperaturę powietrza
 - kierunek i prędkość wiatru oraz ich wpływ na transport ciepła do i z analizowanego obszaru
 - antropogeniczny strumień ciepła
3. Określenie naturalnych i antropogenicznych form krajobrazu, które mają wpływ na warunki termiczne na danym obszarze.
4. Wyjaśnienie, jak urbanizacja wpływa na fizyczne parametry powierzchni terenu (albedo, szorstkość podłoża) i atmosferę (zanieczyszczenia powietrza, wilgotność powietrza, kierunek i siła wiatru).
5. Wyjaśnienie przyczyn i mechanizmów powstawania tzw. miejskiej wyspy ciepła.
6. Identyfikowanie związków i zależności pomiędzy elementami krajobrazu a procesami mającymi wpływ na kształtowanie klimatu lokalnego.

OPIS ZAGADNIENIA DO REALIZACJI NA LEKCJI I W PROJEKCIE

Klimat należy rozumieć jako kompleks złożonych procesów atmosferycznych, który można rozpatrywać w różnych skalach przestrzennych i czasowych.

Klimat mniejszego obszaru, obejmującego np. dolinę rzeczną, kotlinę górską lub region, charakteryzujący się występowaniem zbliżonych warunków klimatycznych, nazywa się mezoklimatem. Miejscową modyfikacją mezoklimatu, obejmującą np. obszar dużej aglomeracji miejskiej jest topoklimat.

Klimat charakterystyczny dla niewielkiego obszaru – nie przekraczającego 1 km, obejmującego mniejszą od omawianych wcześniej część środowiska, taką jak np. dolina, wąwóz, dzielnice miast lub nawet poszczególne budynki, jest często nazywany mikroklimatem.

Topoklimat, mezoklimat i mikroklimat można więc uznać za lokalne modyfikacje klimatu w różnych skalach przestrzennych. W skali makro do głównych czynników kształtujących klimat możemy zaliczyć: szerokość geograficzną, odległość od oceanu i wysokość nad poziomem morza. Lokalnie bardzo duży wpływ na klimat mogą mieć miejscowe czynniki takie jak: roślinność, ukształtowanie terenu, rodzaj i gęstość zabudowy, stosunki wodne. Wpływają one bezpośrednio na procesy fizyczne, których skutkiem są np. różnice temperatur, występujące często nawet na stosunkowo niewielkich obszarach. W przypadku miast najczęściej zwraca się uwagę na:

1. Zmiany w bilansie radiacyjnym. Na bilans radiacyjny wpływ mają zanieczyszczenia powietrza, które dzięki zwiększonemu pochłanianiu promieniowania emitowanego przez powierzchnię Ziemi mogą powodować wzrost temperatury. Zanieczyszczenia powietrza mogą także zwiększać ilość pochłanianego promieniowania krótkofalowego, co także prowadzi do wzrostu temperatury jednak wpływają także na zmniejszenie ilości energii słonecznej docierającej do powierzchni Ziemi. W specyficznych warunkach mogą powodować także powstawanie mgieł i smogu, co w bardzo dużym stopniu ogranicza ilość promieniowania słonecznego dochodzącego do powierzchni Ziemi i prowadzi do obniżenia temperatury powietrza. Zwarta zabudowa miejska złożona z wysokich budynków utrudnia także wypromieniowanie energii, która wypromieniowywana przez podłoże może być pochłaniana przez otaczające budynki. Ciemne powierzchnie, np. asfaltowych dróg i placów, zmniejszają także albedo, powodując

że większa ilość promieniowania krótkofalowego zostaje zaabsorbowana. Albedo zmniejsza się także dzięki temu, że zabudowa może powodować wielokrotne odbicia promieniowania krótkofalowego;

2. Zmiany pojemności cieplnej, spowodowane np. rodzajem zastosowanych materiałów, mogą prowadzić zarówno do obniżenia, jak i podniesienia temperatury w mieście. Ocieplone budynki nie pochłaniają zbyt wiele ciepła, więc w godzinach nocnych oddają go mało, nie podnosząc temperatury w porównaniu z otaczającymi obszarami lub nawet ją obniżając. Duża pojemność cieplna wody powoduje obniżenie temperatury powietrza podczas dnia przez zbiorniki wodne oraz jej podniesienie w nocy. Należy także pamiętać o dużej ilości terenów nieprzepuszczalnych oraz kanalizacji deszczowej na terenach zurbanizowanych przyspieszających odpływ wody;
3. Antropogeniczny strumień ciepła może, w pewnych warunkach, być znaczącym czynnikiem powodującym występowanie miejskiej wyspy ciepła. Za jego największy składnik możemy uznać wypromieniowanie energii przez budynki ogrzewane w okresie zimowym oraz urządzenia chłodzące i klimatyzacyjne w lecie. Dużą ilość ciepła mogą do środowiska emitować także instalacje przemysłowe oraz urządzenia techniczne, pojazdy i elementy sieci energetycznych;
4. Zmiany parowania zachodzą głównie przez wspomniane już wcześniej szybsze odprowadzanie wody z obszarów zurbanizowanych oraz mniejszy udział terenów zielonych. Prowadzi to do zmniejszenia strat energii w procesie parowania i tym samym podwyższenia temperatury w ciągu dnia;
5. Transport ciepła pomiędzy obszarem miejskim, a terenami otaczającymi zmniejsza się dzięki osłabieniu siły wiatru przez gęstą zabudowę i prowadzi do szybszego nagrzewania się powierzchni gruntu i budynków w ciągu dnia.

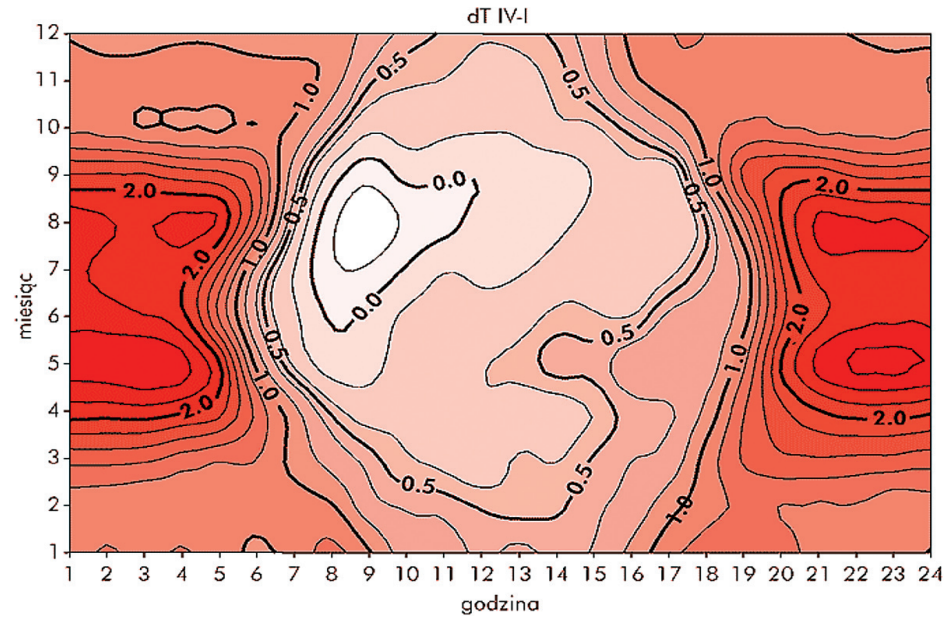
Zmiany opisywanych wcześniej parametrów fizycznych powodują, że niektóre elementy klimatu różnią się na terenach zurbanizowanych i poza nimi (Tab. 5.2).

Tab. 5.2. Wpływ obszarów zurbanizowanych na elementy klimatu (LANDSBERG 1981)

Element klimatu	Stopień zmienności
Promieniowanie słoneczne:	
- całkowite	o 0–20% mniejsze
- ultrafioletowe	o 5–30% mniejsze
Usłonecznienie	o 5–15% mniejsze
Zachmurzenie	o 5–10% większe
Opady:	
- suma roczna	o 5–15% więcej
- śniegu w centrum	o 5–10% mniejsze
- burze	o 10–15% więcej
Temperatura:	
- średnia roczna	o 0,5–3,0°C większa
Wilgotność względna:	
- średnia roczna	o 5–10% mniejsza
Prędkość wiatru:	
- średnia roczna	o 20–30% mniejsza

Mimo że za sprawą większego zachmurzenia oraz zanieczyszczeń powietrza zmniejsza się ilość energii słonecznej docierającej do powierzchni Ziemi, to średnia roczna temperatura w miastach jest średnio w roku o 0,5°C do 3°C wyższa od temperatury poza granicami miasta. Zjawisko to jest nazywane miejską wyspą ciepła (MWC). Nazwa pochodzi prawdopodobnie od obrazu izoterm, które możemy wyznaczyć na terenie miasta podczas występowania tego zjawiska. Przypominają one bardzo często wyspę cieplejszego powietrza otoczoną obszarami chłodniejszymi. Najwyższe różnice temperatury pomiędzy miastami a terenami do nich przyległymi mogą podczas pogodnych nocy dochodzić nawet 12°C w największych miastach, takich jak Nowy Jork czy Tokio. W warunkach polskich jest to najczęściej 5–8°C, choć w wypadku Warszawy i Łodzi notowa-

ne były wartości przekraczające 10°C. W ciągu doby najwyższe kontrasty temperatury występują zazwyczaj krótko po zachodzie słońca i są z reguły wyższe w ciągu nocy niż w ciągu dnia. Jednak w korzystnych warunkach podwyższoną temperaturę możemy obserwować o każdej porze dnia. W ciągu roku w dużych miastach Polski najmniejszą intensywność tego zjawiska obserwujemy w trakcie miesięcy zimowych. Cykl dobowy i roczny miejskiej wyspy ciepła we Wrocławiu przedstawiono na ryc. 5.6.

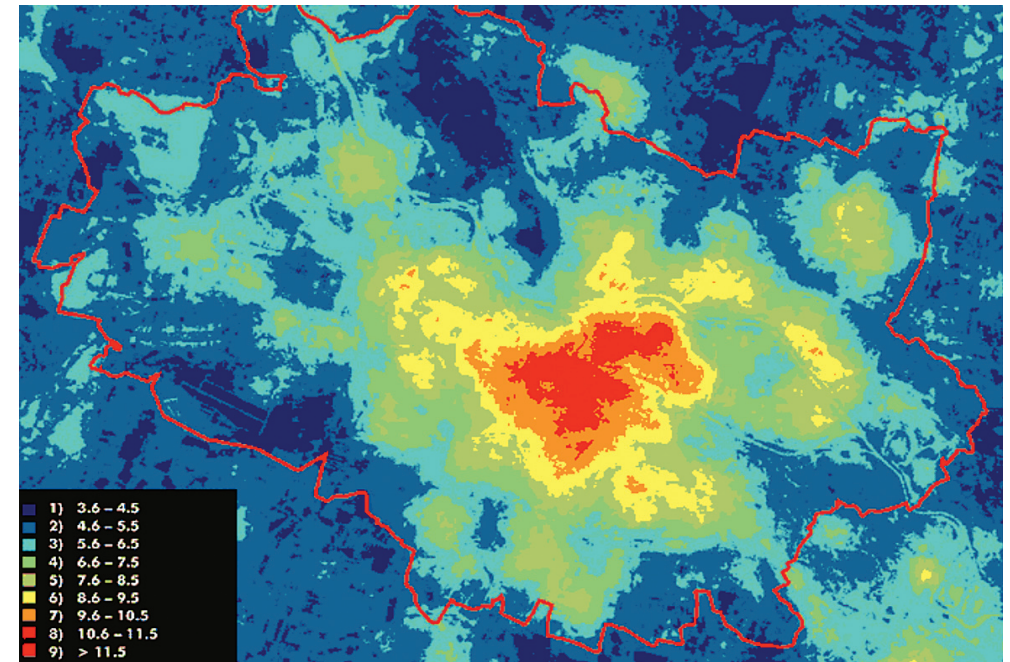


Ryc. 5.6. Cykl dobowy i roczny miejskiej wyspy ciepła we Wrocławiu w latach 1997–2000 (DUBICKI i in. 2002)

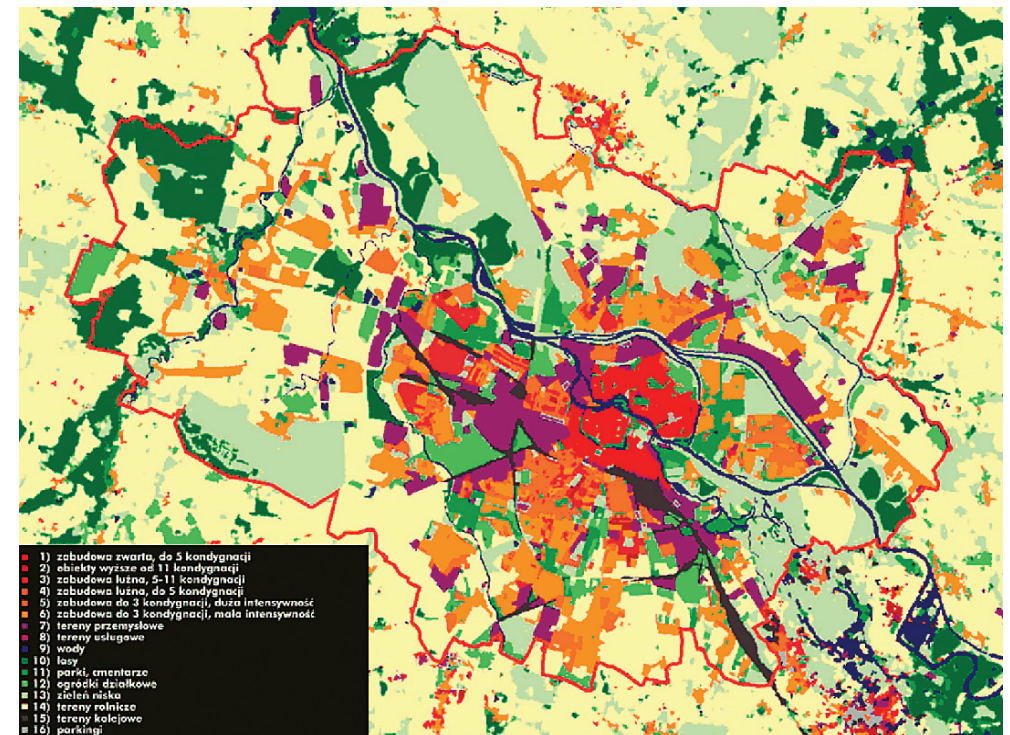
Warunki meteorologiczne mają także bezpośredni wpływ na powstawanie i intensywność MWC. Najbardziej na powstawanie różnic temperatur pomiędzy miastem, a jego peryferiami wpływają zachmurzenie i prędkość wiatru. Zachmurzenie decyduje o ilości energii (promieniowania), która dociera do powierzchni Ziemi i zostaje przetworzona lub zmagazynowana w krajobrazie. Wraz ze wzrostem zachmurzenia intensywność MWC spada, choć niewielkie podwyższenie temperatury możemy obserwować także w warunkach całkowitego zachmurzenia i może ono wtedy wynikać np. z antropogenicznych emisji ciepła.

Prędkość wiatru decyduje o wymianie ciepła z otoczeniem. Za warunki korzystne dla powstawania dużych kontrastów temperatury uznaje się niewielką prędkość wiatru, nieprzekraczającą 2 m/s. Wraz ze wzrostem prędkości wiatru, niezależnie od pory dnia, roku oraz zachmurzenia, natężenie miejskiej wyspy ciepła maleje i przy prędkości przekraczającej wartość graniczną, która np. dla Wrocławia wynosi 5 m/s, zjawisko zanika lub jest bardzo słabe.

Przestrzenny obraz miejskiej wyspy ciepła zależy w dużym stopniu od struktury użytkowania terenu wynikającego z układu urbanistycznego miasta. W zależności od wysokości oraz gęstości zabudowy, a także położenia i wielkości terenów zielonych, intensywność miejskiej wyspy ciepła może wzrastać stopniowo w kierunku centrum miasta, osiągając tam najwyższą wartość lub w przypadku bardziej urozmaiconego krajobrazu, np. przedzielenia obszarów gęsto zabudowanych choćby doliną rzeki, najwyższe temperatury mogą występować w dwóch lub więcej odizolowanych obszarach. Wpływ struktury użytkowania terenu na kształt i intensywność miejskiej wyspy ciepła w dużym mieście na przykładzie Wrocławia możemy prześledzić porównując mapę użytkowania terenu z poziomym rozkładem intensywności MWC (Ryc. 5.7. i 5.8). Przykład natężenia tego zjawiska dla różnych typów użytkowania terenu przedstawiono w Tab. 5.2.



Ryc. 5.7. Miejska wyspa ciepła [°C] we Wrocławiu w dniu 22 V 2001, godz. 23:00



Ryc. 5.8. Mapa użytkowania terenu we Wrocławiu (DUBICKI i in. 2002)

MATERIAŁY GRAFICZNE DO REALIZACJI NA LEKCJI I W PROJEKCI**Tabele:**

Tab. 5.2. Wpływ obszarów zurbanizowanych na elementy klimatu (LANDSBERG 1981).

Ryciny:

Ryc. 5.6. Cykl dobowy i roczny miejskiej wyspy ciepła we Wrocławiu w latach 1997-2000 (DUBICKI i in. 2002).

Ryc. 5.7. Miejska wyspa ciepła [°C] we Wrocławiu w dniu 22 V 2001, godz. 23:00.

Ryc. 5.8. Mapa użytkowania terenu we Wrocławiu (DUBICKI i in. 2002).

MATERIAŁY POMOCNICZE DO REALIZACJI TEMATU NA LEKCJI I W PROJEKCI**Literatura**

- DUBICKI A., DUBICKA M., SZYMANOWSKI M. (2002): Klimat Wrocławia, W: SMOLNICKI K., SZYKASIUŁ M. (red.), Informator o stanie środowiska Wrocławia. Dolnośląska Fundacja Ekorozwoju, Wrocław.
- FLEMING G. (1979): Klimat – środowisko – człowiek. Ss. 212. PWRL, Warszawa.
- LANDSBERG H.E. (1981): The Urban Climate. Ss. 285. Academic Press, New York.
- FORTUNIAK K. (2003): Miejska wyspa ciepła. Podstawy energetyczne, studia eksperymentalne, modele numeryczne i statystyczne. Ss. 233. Wyd. UŁ, Łódź.

OPIS PROJEKTU**Problem badawczy**

Jak naturalne i antropogeniczne formy krajobrazu wpływają na klimat lokalny?

Jakie antropogeniczne przekształcenia w miastach mają największy wpływ na temperaturę?

Jak i kiedy zabudowa wpływa na parametry powierzchni i atmosfery, zmieniając bilans ciepły i bilans promieniowania?

Wariant podstawowy

Zadanie 1: Zmierzenie różnic temperatur występujących w tym samym czasie na położonych blisko siebie obszarach o różnej strukturze użytkowania terenu. Sprawne przeprowadzenie pomiarów powinno umożliwić otrzymanie kilku wyników w miejscach takich jak:

- park miejski
- gęsto zabudowane osiedle wysokich budynków
- wybetonowany lub asfaltowy plac w centrum miasta
- pobocze ruchliwej drogi
- dolina rzeki lub okolica zbiornika wodnego

Zadanie 2: Opis stanowisk pomiarowych pod kątem dominujących na nich form użytkowania terenu oraz ich położenia względem kierunku wiatru, z uwzględnieniem sąsiedztwa rzeki, dużych terenów zielonych lub zbiorników wodnych.

Zadanie 3: Określenie, jakie cechy krajobrazu wpłynęły na różnice temperatur oraz w jakich miejscach otrzymywano podobne wyniki, a gdzie pomiary bardzo różniły się, i jakie były tego przyczyny.

Zadanie 4: Porównanie, jeśli istnieje taka możliwość, wyników otrzymanych na podstawie pomiarów z wynikami stacji meteorologicznej zlokalizowanej poza terenem miasta lub na jego peryferiach (efektem takiego porównania może być tabela przypominająca Tab. 5.2).

Wariant rozszerzony

W wariantcie rozszerzonym proponuje się rozwiązanie tych samych zadań badawczych, co w wariantcie podstawowym, jednak w rozszerzonej formie. Może to polegać na zwiększeniu liczby pomia-

arów, co pozwoli zbadać temperaturę w większej liczbie punktów pomiarowych reprezentujących różne formy użytkowania terenu. Inną możliwością jest przeprowadzenie pomiarów podczas różnych typów pogody, co umożliwi określenie np. granicznych warunków występowania miejskiej wyspy ciepła w zależności od zachmurzenia i prędkości wiatru. Możliwe jest także przeprowadzenie kilku pomiarów o różnych porach tego samego dnia lub podczas różnych pór roku, żeby określić natężenie MWC w cyklu rocznym i dobowym.

Zastosowane metody badawcze**1. Metodyka badań**

Terenowa część badań będzie polegała na pomiarach temperatury i wilgotności powietrza za pomocą termohigrometrów. Do wykonania pomiarów najlepiej użyć co najmniej dwóch urządzeń. Pomiarów należy dokonywać tak, by wskazania nie były zakłócane przez wystawienie na bezpośrednie działanie promieni słonecznych, a także ciepło wydzielane przez organizm ludzki lub urządzenia techniczne i zaparkowane pojazdy. Czujnik urządzenia nie powinien mieć także kontaktu z podłożem lub obiektami charakteryzującymi się dużą bezwładnością cieplną, takimi jak wielkie kamienie oraz masywne metalowe lub betonowe ogrodzenia.

2. Wybór obszaru badań – stanowisk pomiarowych

Terenem badań może być dowolny obszar, najlepiej niezbyt rozległy, zawierający możliwie dużo różnych form krajobrazu typowych dla obszarów zurbanizowanych, ale nie pozbawiony całkowicie terenów zielonych, takich jak skwery i parki. Może to być zarówno gęsto zabudowana dzielnica dużego miasta, jak i centrum mniejszej miejscowości ze zwartą zabudową mieszkaniową lub przemysłową. Pomiarów można dokonywać w wyznaczonym czasie w dwóch miejscach różniących się wyraźnie właściwościami fizycznymi. Przykładową parę może stanowić park miejski z bujną zielenią i wybetonowany skwer lub plac pozbawiony zieleni. Szybkie przeprowadzenie pomiarów może umożliwić zbadanie temperatury i wilgotności powietrza w większej ilości punktów pomiarowych.

3. Wymagany sprzęt pomiarowy

Do wykonania pomiarów niezbędne są przynajmniej dwa termohigrometry. Nie jest wymagana wysoka dokładność urządzeń. Pozytywnie na jakość obserwacji może wpłynąć natomiast możliwość ich kalibracji, by nie różniły się wskazaniami w porównywalnych warunkach.

4. Najlepszy okres do wykonywania badań

Najlepszym czasem wykonywania pomiarów są godziny wieczorne latem lub późną wiosną (maj – czerwiec). Pomiary można wykonać w ciągu dnia pomiędzy godziną 11 a 15, pod warunkiem że w czasie ich wykonywania zachmurzenie jest małe i niezmiennie, a prędkość wiatru niewielka. Przykładowe wyniki przedstawione poniżej wskazują, że także wtedy w pewnych warunkach można obserwować duże kontrasty temperatury.

5. Czas potrzebny do wykonania badań zależy od sprawności ich przeprowadzania i „bezwładności” stosowanych czujników temperatury, ale w trosce o porównywalność otrzymanych wyników wszystkie pomiary powinny się odbywać w ciągu 20 (maksymalnie 30) minut, jeśli panują w tym czasie zbliżone warunki. W razie np. zmiennego wiatru można porównywać ze sobą tylko wyniki pomiarów przeprowadzanych jednocześnie za pomocą dwóch termohigrometrów.

6. Przykładowe wyniki wcześniejszych badań z tego zakresu

16 maja 2013 roku około godziny 12:30 przeprowadzono cztery pomiary temperatury w promieniu 100 metrów od budynku Instytutu Środowiska Rolniczego i Leśnego PAN przy ulicy Bukowskiej 19 w Poznaniu. W Tab. 5.3 przedstawiono w formie opisu uproszczonej charakterystykę punktów pomiarowych, skupiając się na elementach krajobrazu miejskiego, mogących mieć wpływ na temperaturę powietrza. Tabela zawiera także wyniki pomiarów temperatury i wilgotności powietrza oraz wartość tych parametrów zmierzonych w tym samym czasie na położonej na peryferiach miasta lotniskowej stacji meteorologicznej Poznań Ławica.

Na podstawie wyników pomiarów przedstawionych w Tab. 5.3 można wyciągnąć następujące wnioski:

- temperatura powietrza jest w centrum miasta wyższa niż na jego peryferiach, nawet w godzinach południowych, gdy efekt miejskiej wyspy ciepła jest według opublikowanych wyników badań najslabszy,

- w zależności form zagospodarowania terenu różnica temperatur w stosunku do peryferyjnych obszarów miasta może wynosić w tym czasie od 0,5 do 4,5°C, cechując się bardzo dużą zmiennością na stosunkowo niewielkim obszarze,
- obserwowana różnica temperatur była najmniejsza (zaledwie 0,5°C) w dużym parku miejskim, a najwyższa (4,5°C) na poboczu asfaltowej drogi,
- tereny zielone obniżają temperaturę w miastach, a ciemne, np. asfaltowe powierzchnie bardzo ją podwyższają,
- tereny zielone mogą mieć korzystny wpływ także na najbliższe otoczenie, co potwierdzają wyniki w punktach pomiarowych 2 i 5 zlokalizowanych w pobliżu tej samej asfaltowej drogi – w punkcie nr 2 przylegającym do parku temperatura była o 1,9°C niższa niż w punkcie pomiarowym nr 5, który był oddzielony od parku dużym budynkiem.

Tab. 5.3. Opis punktów pomiarowych oraz wyniki pomiarów temperatury i wilgotności powietrza w tych punktach

Opis stanowiska pomiarowego	Temperatura powietrza [°C]	Wilgotność względna [%]
1. Stacja meteorologiczna Poznań Ławica położona na peryferiach miasta w terenie niezabudowanym z dużą przewagą roślinności trawiastej	24,0	41,0
2. Pobocze silnie nasłonecznionej, asfaltowej drogi w pobliżu dużego parku miejskiego	26,6	40,0
3. Duży park miejski z bujną roślinnością – pomiarów dokonano kilkanaście metrów od znajdującego się w nim stawu	24,5	44,5
4. Parking w cieniu dużego budynku znajdujący się w pobliżu asfaltowej drogi	26,1	39,6
5. Pobocze znajdujące się w bezpośredniej bliskości silnie nasłonecznionej asfaltowej drogi, przylegające do budynku Instytutu	28,5	33,3

Najważniejsze osiągnięcia – kompetencje ucznia

a. Wiedza

- identyfikowanie związków i zależności oraz wyjaśnianie zjawisk i procesów. Dostrzeganie prawidłowości dotyczących środowiska przyrodniczego oraz wzajemnych powiązań i zależności w systemie człowiek – środowisko,
- zrozumienie różnicy pomiędzy klimatem w przestrzeniach o różnych rozmiarach, wpływu form krajobrazu oraz zagospodarowania przestrzennego na lokalne warunki klimatyczne;

b. Umiejętności

- zastosowanie danych meteorologicznych, takich jak temperatura, zachmurzenie, prędkość wiatru, do opisu bieżących warunków pogodowych oraz klimatu,
- korzystanie z ogólnodostępnych baz danych w celu uzyskania potrzebnych informacji o panujących warunkach pogodowych i opisujących klimat w dłuższym czasie,
- umiejętność przeprowadzania prostych pomiarów meteorologicznych, polegająca na zaplanowaniu sieci punktów pomiarowych odpowiedniej dla założonych celów badawczych;

c. Postawa

- zrozumienie wpływu przekształceń środowiska na klimat i negatywnych skutków tych zmian oraz tego, jak sami możemy korzystnie wpływać na klimat lokalny, kształtując swoje otoczenie i decydując o planach zagospodarowania przestrzennego naszych miejscowości.

PROJEKT: KLIMAT IDEALNY DLA CIEBIE. GDZIE CHCIAŁBYŚ MIESZKAĆ?

CELE REALIZACJI PROJEKTU

1. Doskonalenie umiejętności korzystania z różnych źródeł informacji geograficznej, w tym:
 - korzystania z map, wykresów, danych statystycznych, tekstów źródłowych w celu gromadzenia, przetwarzania i prezentowania informacji geograficznych,
 - doboru odpowiedniego rodzaju mapy w celu uzyskania określonych informacji geograficznych,
 - analizy i interpretacji treści map ogólnogeograficznych i tematycznych,
 - interpretacji zjawisk geograficznych przedstawianych na wykresach, w tabelach, na schematach i modelach,
 - tworzenia i „czytania” diagramów klimatycznych, w tym diagramu klimatycznego Waltera;
2. Identyfikowanie związków i zależności oraz wyjaśnianie zjawisk i procesów. Dostrzeganie prawidłowości dotyczących środowiska przyrodniczego oraz wzajemnych powiązań i zależności w systemie człowiek – przyroda:
 - posługiwanie się podstawowym słownictwem geograficznym do opisywania oraz wyjaśniania zjawisk i procesów zachodzących w środowisku geograficznym,
 - wykazanie zróżnicowania klimatycznego Ziemi na podstawie analizy map temperatury powietrza i opadów atmosferycznych oraz map stref klimatycznych Ziemi,
 - wskazanie przyczyn nierównomiernego rozkładu temperatury powietrza i opadów;
3. Usystematyzowanie wiadomości dotyczących strefowych i astrefowych czynników klimatotwórczych, w tym: wpływ poszczególnych czynników na klimat oraz charakterystyka stref klimatycznych* i typów klimatu na Ziemi z uzasadnieniem ich zasięgów;
4. Czynniki klimatotwórcze w różnej skali badania i wyróżniania klimatu (od makro- do mikro-klimatu);
5. Przygotowanie do pracy z literaturą – klasyfikacje klimatu według różnych autorów.

OPIS ZAGADNIENIA DO REALIZACJI NA LEKCJI I W PROJEKCIE

Pojęcie „klimat” należy rozumieć jako kompleks złożonych procesów atmosferycznych, który można rozpatrywać w różnych skalach przestrzennych i czasowych. W „Słowniku meteorologicznym IMGW” z roku 2003 klimat zdefiniowano jako *charakterystyczny dla danego obszaru zespół zjawisk i procesów atmosferycznych, kształtujących się pod wpływem właściwości fizycznych i geograficznych tego obszaru, określony na podstawie wieloletnich obserwacji* (NIEDŹWIEDŹ 2003).

W skali globalnej mówimy o makroklimacie. Podstawowy podział kuli ziemskiej ze względu na klimat to strefy klimatyczne, czyli obszary, w obrębie których wybrane elementy klimatu (najczęściej temperatura powietrza, opad, ciśnienie atmosferyczne) mają podobny przebieg. Strefy przyjmują zazwyczaj postać równoleżnikowych pasów. Z kolei w strefach klimatycznych wydzielane są mniejsze (podrzędne) jednostki klimatyczne. Klimat badany jest w wtedy w skali mezo-. Mezo-klimat* jest klimatem niewielkiego regionu geograficznego, charakteryzującym się wewnętrzną jednorodnością oraz odrębnością w odniesieniu do warunków klimatycznych obszarów sąsiadujących z nim i kształtujących się pod wpływem przede wszystkim rzeźby terenu.

W badaniach nad klimatem wyróżnia się jeszcze niższe poziomy: mamy zatem topoklimat*, gdy rozpatrywany jest klimat miejsca (lub niewielkiego terenu), którego cechy kształtują się pod wpływem czynników występujących na danym obszarze lub w jego najbliższym otoczeniu, takich jak np. rzeźba terenu, gleby, szata roślinna czy zabudowa; czy wreszcie mikro-, gdy rozważany jest jeszcze mniejszy teren o mikroklimacie odróżniającym go od klimatu otaczającego środowiska, np. mikroklimat* wąwozu, skraju lasu, brzegu jeziora, czy nawet korony drzewa.

Zróżnicowanie klimatyczne Ziemi spowodowane jest przez szereg czynników geograficznych, na które w coraz większym stopniu nakładają się uwarunkowania antropogeniczne. Wśród czynników geograficznych wyróżnić można czynniki o charakterze strefowym, które decydują o zasięgu głównych stref klimatycznych oraz czynniki astrefowe (nie związane z szerokością geograficzną), które powodują zróżnicowanie warunków klimatycznych w obrębie poszczególnych stref, będących podstawą wydzielenia typów klimatu.

Jednym z najważniejszych uwarunkowań kształtujących klimat na Ziemi, a zarazem głównym strefowym czynnikiem kształtującym klimat jest szerokość geograficzna i związana z nią ilość promieniowania słonecznego docierająca do powierzchni Ziemi.

Szerokość geograficzna obejmuje cały zespół zjawisk strefowych, które dotyczą dopływu energii słonecznej do powierzchni kuli ziemskiej i jego czasoprzestrzennego zróżnicowania. Czynniki te można podzielić na dwie grupy: astrofizyczne i geofizyczne. Wśród tych pierwszych zasadniczą rolę klimatotwórczą odgrywa ilość energii promieniowania Słońca docierająca do Ziemi. Jest ona podstawowym czynnikiem warunkującym rozwój wszystkich procesów w atmosferze.

Czynnikiem geofizycznym są między innymi:

- kulisty kształt Ziemi (ilość energii dostarczanej do powierzchni planety jest nierównomierne na skutek zmiany kąta padania wiązki promieni słonecznych; im wyższe położenie Słońca nad horyzontem, tym korzystniejsze warunki do nagrzewania powierzchni Ziemi),
- ruch obrotowy Ziemi wokół własnej osi (występowanie dni i nocy, dobowy zmienność ilości dostarczanej energii słonecznej, występowanie tzw. siły Coriolisa*),
- ruch obiegowy Ziemi wokół Słońca i nachylenie osi kuli ziemskiej do płaszczyzny orbity tego ruchu (ekliptyki*) (w ciągu roku, w zależności od szerokości geograficznej, zmienia się wysokość Słońca nad horyzontem w południe oraz długość dnia i nocy, w następstwie czego występują pory roku),
- ruch Ziemi po eliptycznej orbicie wokół Słońca (w mniejszym stopniu różnicuje ilość energii słonecznej docierającej do Ziemi w ciągu roku).

Gdyby tylko ten jeden czynnik decydował o przebiegu warunków klimatycznych, to strefy zmieniałyby się równolegle od równika do biegunów. Jednak granice poszczególnych stref klimatycznych nie układają się idealnie wzdłuż równoleżników. Ich przebieg modyfikowany jest przede wszystkim przez czynniki astrefowe, do których zaliczamy: rozkład lądów i mórz (oddalenie od morza), prądy morskie, rzeźbę terenu, wysokość nad poziomem morza, pokrycie terenu (szata roślinna) etc.

Różnice w pochłanianiu promieniowania słonecznego przez powierzchnie lądowe i wodne są przyczyną kształtowania przez nie mas powietrza o odmiennych właściwościach. Obie te powierzchnie cechują inne wartości współczynnika odbicia (albedo*) oraz emisji promieniowania długofalowego. Ogromne powierzchnie wodne nagrzewają się dużo wolniej niż stały ląd. Potrafią jednak lepiej akumulować zgromadzone ciepło, w związku z czym stygną wolniej niż lądy. Wszystko to powoduje niejednakowe nagrzewanie się i ochładzanie lądów oraz wód. Z czynnikiem tym wiąże się bezpośrednio występowanie na ziemi klimatu morskiego oraz kontynentalnego (lądowego).

Wpływ prądów morskich na klimat jest ogromny, gdyż biorą one udział w transporcie ciepła na globie. Przenoszą prawie połowę ciepła z niskich, międzyzwrotnikowych szerokości geograficznych do wysokich. Pozostała część przemieszcza się w wyniku cyrkulacji powietrza. Powietrze zalegające nad prądami morskimi nabiera cech różniących je od mas powietrza występujących w otoczeniu. Ciepłe prądy morskie ogrzewają lądy, które opływają, podnosząc wyraźnie ich temperaturę i wilgotność. Prądy zimne oziębiają opływane lądy. Powietrze nad zimnymi prądami jest nie tylko chłodniejsze, ale i zawiera mniej wilgoci.

Innym czynnikiem astrefowym jest wysokość nad poziomem morza. Wraz z wysokością maleje oddziaływanie podłoża, a wzrasta wpływ Słońca. Spadają temperatura, ciśnienie i wilgotność powietrza. Specyfika klimatu obszarów górskich przejawia się też w piętrowym zróżnicowaniu jego elementów. Modyfikacje klimatu występują też z uwagi na ukształtowanie powierzchni terenu, a szczególnie przebieg łańcuchów górskich. Często stanowią one przeszkodę utrudniającą przemieszczanie się mas powietrza.

Przebieg wielu procesów wpływających na temperaturę i wilgotność powietrza zależy też od rodzaju podłoża (powierzchni czynnej). I tak np.:

- obszary o zwartej szacie roślinnej mają niższe temperatury w lecie niż obszary pozbawione roślinności, w zimie są cieplejsze i mają więcej opadów;
- pokrywa śnieżna i lodowa izoluje podłoże przed stratami ciepła, dzięki swojej barwie odbija znaczną część promieniowania słonecznego, stabilizuje stosunki klimatyczne obszarów chłodnych;
- jeziora i mokradła zwiększają intensywność parowania i wysokość opadów etc.

Klimat zmienia też człowiek. W zasadzie w ciągu ostatnich kilkuset lat człowiek w ogóle nie liczył się z warunkami klimatycznymi podczas gospodarowania. Doszło do wycięcia ogromnych połaci drzew, co doprowadziło do zaniku wielu zbiorników i cieków wodnych, obniżenia poziomu wód gruntowych etc. Nie bez konsekwencji pozostało uprzemysłowienie wielkich aglomeracji miejskich. Skutkiem tego procesu jest zauważalne dziś zanieczyszczenie przyziemnej warstwy atmosfery. Miasta zaczęły również tworzyć swoisty klimat. Przemysł i ciepłownictwo uwalniają do atmosfery duże ilości energii cieplnej. Na skutek tego temperatura w mieście może być o 1-2 stopnie wyższa niż na obszarach podmiejskich. Zabudowa miejska wywołuje silne transformacje siły i kierunku przemieszczających się wiatrów. Zwarta zabudowa osłabia siłę wiatru (efekt kurtynowy*), jednak w sprzyjających warunkach mogą także spowodować wzrost jego dynamiki (np. między wysokimi budynkami), powodując tzw. efekt tunelowy*.

Znając współzależności i mechanizmy oddziałujące między czynnikami klimatycznymi, człowiek stara się obecnie spowolnić/odwrócić niekorzystne procesy klimatyczne. Potrafi też w pewnym stopniu modyfikować klimat swojej najbliższej okolicy. W obszarze miast coraz częściej pojawiają się fontanny lub małe zbiorniki wodne, wprowadzana jest zieleń.

Zbiorniki wodne łagodzą klimat miejskiego ekosystemu, dają ochłodę w gorące dni, mogą stanowić miejsce rekreacji, równocześnie zmniejszają ilość szkodliwych dla człowieka alergenów i pyłów. Zbiorniki wodne w miastach to nie tylko stawy, ale coraz częściej fontanny. Przy tej formie zbiornika oprócz zwiększonego parowania z wolnej powierzchni, ma miejsce dodatkowe rozbijanie strumienia wody w dyszach, gdzie cząstki wody porywane są przez ruch wiatru zwiększając lokalnie wilgotność względną powietrza.

Chociaż oddziaływanie terenów miejskich na obszary zielone (parki, skwery, zieleńce) jest większy niż wpływ kompleksu zieleni na otaczającą go strefę miejską, to klimat „czystego” miasta bez zieleni zdecydowanie różni się od przeplatanego zielenią. Tereny zielone są fragmentami miasta, które zwłaszcza w zakresie warunków termiczno-wilgotnościowych zbliżone są do obszarów pozamiejskich, przy czym ważna jest wielkość powierzchni zielonej i charakter roślinności. Na kształtowanie warunków termicznych wpływa głównie roślinność wysoka. Warunki wilgotnościowe z kolei warunkowane są przez gęstość niskiej pokrywy roślinnej, stopień ocienienia i „zacisłość” terenu. Najlepiej sprawdzają się małe skwery i zieleńce. Kępy krzewów i drzewa powodują, iż łagodzący wpływ terenów zieleni jest znacznie silniejszy.

Pomysłem ostatnich lat są tzw. żywe ściany, w tym pionowe ogrody. W nowoczesnych zielonych miastach roślinność (zarówno pnącza, jak i zieleń systemowa) coraz częściej pokrywa ściany budynków i ekranów akustycznych. W takich miastach budynki przestają być traktowane jako przeszkody w cyrkulacji powietrza i emitory ciepła. Rośliny stanowią tam idealne połączenie konstrukcji i natury, dzięki czemu całość „wpisuje się” znacznie lepiej w krajobraz, wkomponowując się w środowisko.

MATERIAŁY GRAFICZNE DO REALIZACJI NA LEKCJI I W PROJEKCIE

- mapa świata z podziałem na strefy klimatyczne
- atlasy geograficzne
- diagramy klimatyczne

MATERIAŁY POMOCNICZE DO REALIZACJI NA LEKCJI I W PROJEKCIE

Literatura – artykuły naukowe

BARTNICKA M., ULLMAN I. (2009): Wykorzystać wszystkie atuty zieleni. *Architecturae et artibus* 2: 17-22.

KARG J., KARLIK B. (1993): Zadrzewienia na obszarach wiejskich. Ss. 46. ZBŚRIL PAN, Poznań.

ŁUKASIEWICZ S. (2006): Propozycja modyfikacji metody wykreślenia okresu wilgotnego, „humidowego”, w „diagramie klimatycznym Gaussena-Waltera”. *Badania Fizjograficzne nad Polską Zachodnią, Seria A – Geografia Fizyczna* 57: 95–99.

MARKUSZEWSKA I., CICHOCKI P. (2004): Rola hydrotopów w krajobrazie rolniczym południowo-wschodniej Wielkopolski. W: M. Kistowski (red.), *Studia ekologiczno-krajobrazowe w programowaniu rozwoju zrównoważonego. Przegląd polskich doświadczeń u progu integracji z Unią Europejską*. Ss. 211-214. Gdańsk.

RYSZKOWSKI L., BAŁAZY S. (1991): Strategia ochrony żywych zasobów przyrody w Polsce. Ss. 95. ZBŚRIL PAN, Poznań.

Literatura – pozostałe

FLEMMING G. (1979): Klimat – środowisko – człowiek. Ss. 212. PWRiL, Warszawa.
 KACZOROWSKA Z. (1986): Pogoda i klimat. Ss. 315. WSiP, Warszawa.
 KĘDZIORA A. (1999): Podstawy Agrometeorologii. Ss. 364. PWRiL, Poznań.
 LIBNER P., STEFANIAK G. (1998): Geografia od A do Z. Ss. 538. Kram, Warszawa.
 MARTYN D. (1995): Klimaty kuli ziemskiej. Ss. 667. PWN, Warszawa.
 NIEDZWIĘDŹ T. red. (2003): Słownik meteorologiczny. Ss. 496. IMGW, Warszawa.
 WIECKI W. (2002): Geografia środowiska przyrodniczego. Ss. 183. Operon, Rumia.

OPIS PROJEKTU

Problem badawczy

Klimat idealny dla Ciebie. Gdzie chciałbyś mieszkać?

Klimat określa się na podstawie wieloletnich szeregów (ciągów) obserwacji poszczególnych elementów i zjawisk meteorologicznych jak opady, temperatura powietrza, amplituda temperatur (roczna i dzienna), ciśnienie, siła i kierunek wiatru czy nasłonecznienie. Dla zobrazowania przebiegu elementów meteorologicznych (opisania klimatu) wykorzystuje się często wartości średnie dla danego miesiąca lub eksponuje okresy kontrastowe, tj. zimę i lato czy okres suchy i deszczowy. Pewne zjawiska obserwowane są tylko w określonych porach/sezonach roku, np. przymrozki czy pokrywa śnieżna, dlatego opracowania klimatyczne uzupełnia się o średnie i skrajne daty występowania tych zjawisk. Dla niektórych zjawisk, charakterystycznych w danym klimacie, podaje się zestawienia częstości i daty wystąpienia itd. Jednak podstawowy opis klimatu opiera się z reguły na rocznych przebiegach temperatury powietrza i sum opadów.

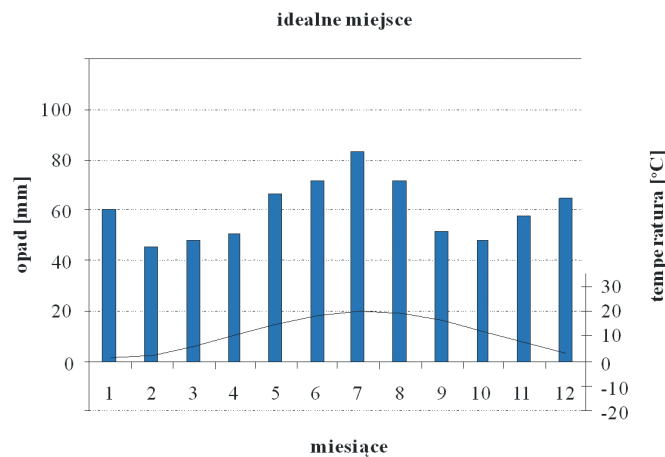
Wariant podstawowy

Proponuje się rozwiązanie tak postawionego zadania badawczego w trzech krokach/zadaniach.

Zadanie 1: Opisanie klimatu „idealnego” – określenie parametrów „idealnego” klimatu poprzez określenie rocznego przebiegu temperatury i opadów atmosferycznych.

Podstawowy opis powinien zawierać średnią temperaturę każdego miesiąca i średnią roczną temperaturę powietrza (suma średnich temperatur miesięcznych, podzielona przez 12) oraz wysokości opadów w każdym miesiącu wraz z sumą opadów rocznych (suma wszystkich opadów miesięcznych).

Opis klimatu można sprowadzić do wykreślenia hipotetycznego diagramu klimatycznego idealnego miejsca.



Ryc. 5.9. Hipotetyczny diagram klimatyczny idealnego miejsca. Linia oznacza rozkład temperatury powietrza w ciągu roku. Słupki oznaczają rozkład opadów w ciągu roku

Jak sporządzić prosty diagram klimatyczny?

1. Wykreślić oś X diagramu (oś czasu) – oś, który należy podzielić na 12 równych części odpowiadających poszczególnym miesiącom.
2. Wykreślić na obu końcach osi czasu dwie prostopadłe do osi Y. Jedna oś wskazywać będzie wartości temperatur (podpisujemy ją „temperatura [OC]”), zaś druga sumę opadów (podpisujemy ją „opad [mm]”). Jeśli w danych dotyczących temperatury pojawią się wartości ujemne, oś oznaczającą temperaturę należy przedłużyć w dół, poniżej osi X. Obie osie należy podzielić na jednostki oznaczające wartości temperatur i opadów.
3. Nanieść słupki opadowe zgodnie z wartościami na osi opadów (wysokość słupka zależy od ilości opadów w danym miesiącu).
4. Nanieść na wykres za pomocą kropek wartości temperatury dla każdego miesiąca zgodnie z wartościami na osi temperatur (kropkę stawia się w połowie szerokości słupka, na odpowiedniej wysokości). Połączyć linią kropki odpowiadające wartościom temperatury.

Diagram klimatyczny może zostać też wykreślony w dowolnym arkuszu kalkulacyjnym, np. MS Excel.

Zadanie 2: Rozpoznanie strefy klimatycznej/stref klimatycznych, w której mogą występować wcześniej zdefiniowane warunki termiczne i opadowe, tj. w której może pojawić się „idealny” klimat, w którym parametry przyjmują wartości z określonego zakresu – analiza klimatu na poziomie makro.

Zakłada się, że uczeń podczas wcześniejszej edukacji nauczył się rozpoznawać strefy klimatyczne i typy klimatu na podstawie rocznego przebiegu temperatury powietrza i sum opadów i na obecnym etapie tylko ugruntowuje wcześniej przyswojone wiadomości. Niemniej w odtworzeniu tychże informacji pomocne powinny być mapy klimatyczne z przebiegiem opisywanych parametrów i strefami klimatycznymi, diagramy czy wykresy. Uczeń powinien sprawnie korzystać z wszystkich dostępnych źródeł informacji geograficznej, przetwarzać i syntetyzować zawarte w nich informacje.

W zadaniu tym uczeń powinien w kilku zdaniach scharakteryzować wybraną strefę klimatyczną i wskazać, co zdecydowało o wyborze tej, a nie innej i równocześnie podać przyczyny pasowego rozkładu stref klimatycznych na Ziemi.

Zadanie 3: Znalezenie miejsca, które cechuje „idealny” klimat.

W zadaniu 3 analizy klimatu odbywają się w skali mezo. Wybrana w zadaniu 2 strefa klimatyczna (ew. strefy klimatyczne) nie jest monolitem, klimat strefy jest modyfikowany przez tzw. astrefowe (nie związane z szerokością geograficzną) geograficzne czynniki klimatotwórcze.

Na podstawie przebiegu temperatury i opadu „idealnego” miejsca należy ustalić, jakie czynniki astrefowe wpływają na jego klimat. W tym celu należy stwierdzić, czy wpływ, jaki „powinien wywierać” dany czynnik astrefowy klimatu, jest widoczny w przebiegu temperatury lub/i opadów atmosferycznych, np. jak na „miejsce o idealnym klimacie” wpływa rozkład lądów i mórz. Jak omówiono wcześniej, obszary pozostające pod wpływem mórz czy oceanów zazwyczaj cechują się większymi i w miarę równomiernymi opadami w ciągu roku oraz mniejszymi amplitudami temperatur powietrza, z kolei obszary oddalone od dużych zbiorników wodnych mają większe amplitudy temperatury i z reguły mniejsze opady. W miarę oddalania się od oceanu nasilają się cechy kontynentalne klimatu. I tak, przebieg temperatury i opadu w ciągu roku prawdopodobnie pozwoli na zawężenie obszaru poszukiwań „miejsca o idealnym klimacie”, w tym przypadku do wnętrza kontynentu lub bardziej w stronę wybrzeży.

Dla ułatwienia interpretacji proponuje się wypełnianie poniższej tabeli.

Tab. 5.4. Dane z obszarów położonych w różnych odległościach od mórz i oceanów

	Astrefowe czynniki klimatyczne	Wpływ na kształtowanie się klimatu	Potwierdzenie w przebiegu temperatury i opadów	Cechy „idealnego klimatu” wskazujące na wpływ czynnika	Obszary z wytypowanej strefy pasujące do wzorca
1	Odległość od mórz i oceanów				
2	Prądy morskie				

Analiza treści zawartych w ostatniej kolumnie tabeli powinna dać możliwość wytypowania hipotetycznego „idealnego miejsca” (lub miejsc).

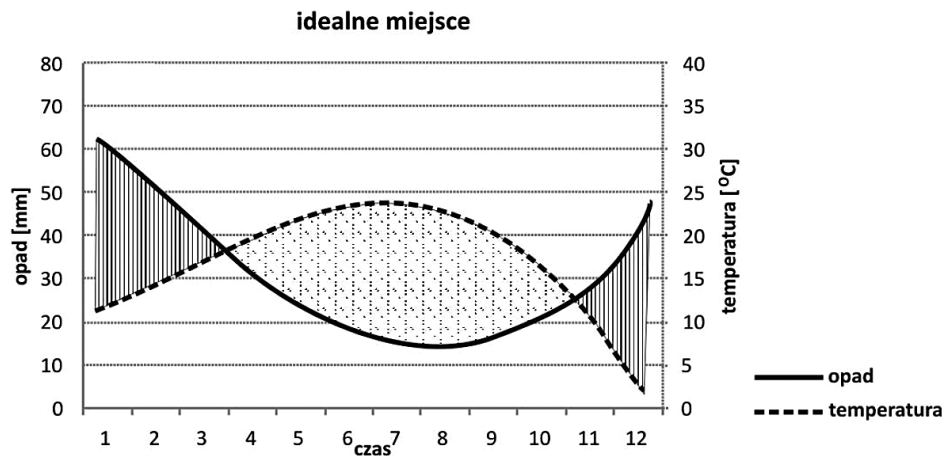
Wariant rozszerzony

W wariantcie rozszerzonym proponuje się rozwiązanie postawionego zadania badawczego, podobnie jak w wariantcie podstawowym) w trzech krokach/zadaniach, o nieco rozszerzonej formule lub/i dodanie kolejnych zadań (do decyzji nauczyciela).

Zadanie 1: Opis klimatu „idealnego”. Określenie parametrów „idealnego” klimatu

Opis idealnego klimatu powinien zawierać roczny przebieg temperatury i opadów (średnie temperatury każdego miesiąca i wysokości opadów wraz ze średnią roczną temperaturą powietrza i roczną sumą opadów), uzupełniony o dodatkowe szczegóły. Uczeń może doprecyzować „klimat idealnego miejsca” poprzez użycie innych niż średnia wartości parametrów, np. amplitudy dobowej temperatur, i/lub wskazać na występowanie charakterystycznych zjawisk (np. pokrywa śnieżna).

W celu wstępnej oceny warunków wilgotnościowych w miejscu występowania „idealnego klimatu” proponuje się wykreślenie przez uczniów diagramów klimatycznych Waltera.



Ryc. 5.10. Przykładowy diagram klimatyczny Waltera linie (ciągłe i przerywane) obrazują rozkład temperatury powietrza i opadów w ciągu roku, obszary zakropkowane oznaczają, że w danym miesiącu/okresie występują niedobory wilgoci (suche pory roku), obszary o pionowych pasach wskazują na wilgotne okresy/pory roku.

Jak wykreślić diagram Waltera – kolejne kroki:

1. Narysować oś X diagramu (oś czasu) – odcinek, który należy podzielić na 12 równych części, odpowiadających poszczególnym miesiącom.
2. Narysować na obu końcach osi X dwie prostokątne osie Y. Jedna oś wskazywać będzie wartości temperatur (temperatura [°C]), zaś druga sumę opadów (opady [mm]). Jeśli w danych dotyczących temperatury pojawią się wartości ujemne, oś oznaczającą temperaturę należy przedłużyć od osi X do dołu. Obie osie należy podzielić na jednostki, oznaczające wartości temperatur i opadów. Ważna jest skala osi pionowych. 10°C na skali temperatur powinno odpowiadać 20 mm na skali opadu.
3. Nanieść na wykres za pomocą kropek wartości temperatury dla każdego miesiąca zgodnie z wartościami na osi temperatur. Połączyć linią kropki z wartościami temperatury.
4. Analogicznie wykreślić krzywą opadów.

5. Jeśli krzywa opadowa znajduje się na wykresie ponad krzywą temperatur, obszar pomiędzy nimi zakreślić pionowymi liniami. Jeśli krzywa temperatur jest wyżej opadowej, obszar pomiędzy zakropkować.

Diagram klimatyczny może zostać też wykreślony w dowolnym arkuszu kalkulacyjnym, np. MS Excel.

Zadanie 2: Rozpoznanie strefy klimatycznej/stref klimatycznych, w której mogą występować wcześniej zdefiniowane warunki termiczne i opadowe tj. w której może pojawić się „idealny” klimat (parametry przyjmują wartości z określonego zakresu). Analiza klimatu na poziomie makro – jak w wariantcie podstawowym.

Zadanie 3: Znalazienie miejsca, które cechuje „idealny” klimat – jak w wariantcie podstawowym. Ewentualnie można uzupełnić analizę o odpowiedzi na pytania:

- Jakie są wady wybranego obszaru (czynniki, które mogą zakłócić przebieg krzywych temperatury i opadu)?
- Jaka jest stabilność klimatu w wybranym „idealnym miejscu” (średnie a zmienność)?

Zadanie 4: Zastosowanie różnych typologii podziału klimatu do zdefiniowania „miejsca o idealnym klimacie” wytypowanego w zadaniu 3.

Istnieje wiele klasyfikacji klimatu. Pierwsze podziały na strefy klimatyczne pojawiły się już w starożytnej Grecji. Nowsze klasyfikacje pochodzą z końca XIX wieku i z XX wieku. Najbardziej rozpowszechnionymi obecnie podziałami klimatu zdają się być klasyfikacje Köppena, Alisowa, a w Polsce Okołowicza. Uczeń, aby wykonać to zadanie, musi zapoznać się z różnymi klasyfikacjami klimatycznymi (studia literaturowe). Dopuszcza się dowolność w wyborze klasyfikacji przez ucznia.

W celu ułatwienia uczniowi zadania proponuje się wypełnienie tabeli.

Tab. 5.5. Klimat „miejsca idealnego” według różnych klasyfikacji

	Klasyfikacja klimatyczna	Główne czynniki klasyfikacyjne	„Klimat miejsca idealnego” wg klasyfikacji
1	Okołowicza		
2	...		
...	...		

Zadanie 5: Czy/jak możesz udoskonalić warunki lokalne twojego „idealnego miejsca”? Zakładając, że masz nieograniczone środki i możliwości, wykonaj pracę architekta krajobrazu, by zmienić klimat w swoim otoczeniu.

Jakie elementy krajobrazu wpływają na klimat lokalny? Zaproponuj wkomponowanie w środowisko co najmniej trzech elementów, które zmienią jego walory klimatyczne.

W celu ułatwienia uczniowi zadania proponuje się wypełnienie tabeli.

Tab. 5.6. Elementy udoskonalające klimat „miejsca idealnego”

	Element krajobrazu	Oddziaływanie na środowisko (w tym klimat)	Oczekiwane zmiany parametrów meteorologicznych
1	mały zbiorniczek wodny/ /fontanna		
2	...		
...	...		

Zastosowane metody badawcze:

1. Metodyka pracy: praca z mapami (w tym mapą świata z podziałem na strefy klimatyczne) i innymi źródłami informacji geograficznej, karty pracy, ew. arkusze kalkulacyjne.
2. Czas potrzebny do wykonania badań: 2 godziny lekcyjne (wariant podstawowy), 4 godziny lekcyjne (wariant rozszerzony).

Zastosowana technologia informacyjna

Arkusz kalkulacyjny MS Excel – może być wykorzystany do sporządzenia wykresu temperatury i opadów „idealnego” klimatu.

Najważniejsze osiągnięcia – kompetencje ucznia

- a. Wiedza:
 - identyfikowanie związków i zależności,
 - wyjaśnianie zjawisk i procesów, dostrzeganie prawidłowości dotyczących środowiska przyrodniczego oraz wzajemnych powiązań i zależności w systemie człowiek-środowisko;
- b. Umiejętności:
 - zastosowanie danych meteorologicznych do rozwiązania problemu
 - korzystanie z różnych źródeł informacji geograficznej, w tym z map, wykresów, danych statystycznych, tekstów źródłowych w celu gromadzenia, przetwarzania i prezentowania informacji geograficznych,
 - tworzenie i „czytanie” diagramów klimatycznych, w tym diagramu klimatycznego Waltera,
 - posługiwanie się podstawowym słownictwem geograficznym w toku opisywania oraz wyjaśniania zjawisk i procesów zachodzących w środowisku geograficznym,
 - wstęp do pracy literaturowej;
- c. Postawa:
 - zrozumienie znaczenia terenów zielonych czy wpływu człowieka na środowisko (w tym na klimat).

PROJEKT: PRZYSŁOWIA MĄDROŚCIĄ NARODU – SPRAWDZALNOŚĆ PRZYSŁÓW. CZY POGODA ZNA PRZYSŁOWIA?**CELE REALIZACJI PROJEKTU:**

- kształcenie umiejętności korzystania z ogólnodostępnych danych meteorologicznych,
- zapoznanie ucznia z metodami opisu stanu pogody za pomocą różnych parametrów klimatu, takich jak: średnia, maksymalna i minimalna dobowo temperatura powietrza oraz dobowo i miesięczna suma opadu atmosferycznego,
- obliczanie wartości średnich miesięcznych lub sezonowych (np. miesiące letnie) oraz ich porównanie ze średnimi wieloletnimi – przejście od pogody opisującej stan bieżący atmosfery do klimatu, który analizuje zjawiska pogodowe w okresie wieloletnim.

OPIS ZAGADNIENIA DO REALIZACJI NA LEKCJI I W PROJEKCIE

Przysłowia i powiedzenia ludowe stanowią ważną część spuścizny kulturowej narodu. Odnoszą się one zazwyczaj do każdej dziedziny życia, a duża ich grupa związana jest z pogodą i klimatem. Obserwując przyrodę, nasi przodkowie starali się dostrzec pewną cykliczność lub szukali związków pomiędzy różnymi zjawiskami i dzięki temu przewidywać pogodę z wyprzedzeniem sięgającym nawet pół roku. Przysłowia i powiedzenia były więc odpowiednikiem dzisiejszych prognoz średnio- i długoterminowych, dostarczając wskazówek na temat terminów rozpoczęcia lub końca prac polowych, takich jak siew czy zbiór plonów, a także zaspokajały ciekawość dotyczącą pogody w szczególnym dniu, np. w Wigilię Bożego Narodzenia. Nawet dzisiaj, mimo postępów w prognozowaniu pogody i zastosowaniu modeli matematycznych, prognozy średnioterminowe obciążone są dużym błędem, a prognozy długoterminowe (sezonowe) są jeszcze mniej pewne.

Powszechność występowania przysłów i powiedzeń ludowych dotyczących klimatu, która powodowała, że niemal każdy ze świętych patronów „coś zapowiadał” oraz ich duża popularność, utrzymująca się do dziś, może sugerować, że przynajmniej część z nich musiała się odznaczać zadowalającą

sprawdzalnością. Do dzisiaj przysłowia i powiedzenia odnoszące się do pogody i klimatu są bardzo często przytaczane w mediach, lecz raczej jako ciekawostki i nie determinują, jak kiedyś, określonych działań, np. czasu prac polowych. Nieliczne przeprowadzone analizy polskich przysłów i powiedzeń ludowych nie potwierdziły ich wartości w prognozowaniu pogody.

Może istnieć kilka przyczyn powodujących, że w dzisiejszych warunkach tylko bardzo niewielka część przysłów i powiedzeń sprawdza się na tyle, by stanowić prognozę.

1. Zmiany granic i przemieszczanie się rdzennej ludności w kierunku wschodnim od średniowiecza do rozbiorów, a następnie powrót na tzw. ziemię odzyskane po II wojnie światowej i utrata terenów na wschodzie.
2. Wielowiekowe zmiany klimatu w związku z nieznanym czasem powstania przysłów i powiedzeń mogą powodować ich niewielką skuteczność w innych warunkach klimatycznych niż te, w których powstawały. W trakcie ponad tysiącletniej historii Polski wystąpiły dwa okresy bardzo różniące od siebie pod względem panującego klimatu. Pierwszym z nich był tzw. Średniowieczny Okres Ciepły, trwający na terenie Polski od X do XIII wieku, w którym klimat był stosunkowo łagodny. Drugim charakterystycznym okresem była Mała Epoka Lodowa (XVI–XIX wiek). Panujący wtedy klimat można określić jako kontynentalny z surowymi zimami i ciepłymi latami, a średnia temperatura była najniższa w całym drugim tysiącleciu.
3. Obecnie, w zmieniającym się klimacie, temperatura jest wyraźnie wyższa niż w okresie przedindustrialnym. Można także zaobserwować wzrost częstotliwości występowania anomalii klimatycznych.
4. Wiele najpopularniejszych przysłów i powiedzeń ma charakter wróżby. Duża część przysłów, które przetrwały do czasów obecnych nie zawiera elementu obserwacji, np. „Ile słońca w Markarego, tyle ciepła wrześniowego”. Z punktu widzenia klimatologii nie ma związków pomiędzy pogodą w konkretnym dniu – w tym przypadku 2 stycznia, a warunkami podczas całego miesiąca około 9 miesięcy później.

MATERIAŁY POMOCNICZE DO REALIZACJI NA LEKCJI I W PROJEKCIE:**Strony internetowe**

- a. <http://polish.wunderground.com/history/>
Pod tym adresem można znaleźć informacje o pogodzie na całym świecie i wyniki pomiarów różnych elementów pogody w latach 1996–1999, w zależności od stacji.
- b. <http://www.tutiempo.net/en/Climate/>
Strona zawiera dane z ponad 9000 stacji, w różnym czasie, dla niektórych miejscowości nawet od 1929. Dla Polski znaleźć można krótsze szeregi czasowe danych z licznymi brakami, ale wystarczające do analizy wielu przysłów.
- c. <http://www.ogimet.com/index.phtml.en>
Stanowi bardzo dobre źródło danych klimatycznych od 2000 roku. Na stronie można też znaleźć link do danych NOAA, gdzie okres pomiarów jest dłuższy.
- d. <http://eca.knmi.nl/dailydata/index.php>
Strona zawiera dane z Europy, często nawet stuletnie okresy pomiarów. Dane z Polski są bardzo skromne.

Literatura

DYGACZ A. (2000): Cztery pory roku w przysłowia. Ss. 111. Fundacja Profesora Adolfa Dygacza, Katowice.

OPIS PROJEKTU**Problem badawczy**

Czy przysłowia i powiedzenia ludowe są dobrą metodą prognozowania pogody?

Wariant podstawowy

Zadanie 1: Zebranie ciekawych przysłów i powiedzeń związanych z klimatem i pogodą. Bogatym źródłem przysłów i powiedzeń odnoszących się do pogody i klimatu są liczne strony internetowe poświęcone tej tematyce. Do zebranych w ten sposób powiedzeń można dołączyć zasłyszane np. w rodzinie odnoszące się do regionu zamieszkania.

Zadanie 2: Spośród zebranych przysłów i powiedzeń wybranie kilku do dalszej analizy mającej wykazać ich przydatność (lub nie) w prognozowaniu pogody. Wyboru przysłów można dokonać kierując się następującymi kryteriami:

- popularność – popularność przysłowia lub powiedzenia może sugerować, że prognoza sporządzona na jego podstawie sprawdza się w zadowalającym stopniu;
- nieoczywistość – przysłowie lub powiedzenie powinno zawierać prognozę elementów klimatu, których nie jesteśmy pewni. Pomijamy te, które opisują rzeczywistość, nie mając charakteru prognozy takie jak: „W marcu jak w garncu”, „Kwiecień plecień, bo przeplata trochę zimy trochę lata”;
- możliwość przełożenia obu elementów prognozy, a więc zwiastuna i efektu, na konkrety dające się przedstawić za pomocą parametrów meteorologicznych;
- dostępność danych meteorologicznych – należy starać się uzyskać możliwie najdłuższe okresy pomiarów, najlepiej co najmniej 30 - letnie. W przypadku niektórych przysłów mogą wystarczyć krótsze serie, przy czym minimalna długość okresu pomiarów powinna przekraczać 10 lat.

Zadanie 3: Interpretacja parametryczna wybranego przysłowia – określenie zwiastuna i efektu i nadanie im wymiaru liczbowego. Elementy przysłów można wyznaczyć w sposób, w jaki zostało to zrobione w opisanych przykładach nr 1 i nr 2.

Zadanie 4: Pozyskanie potrzebnych danych meteorologicznych. Wyznaczenie procentowej sprawdzalności przysłowia w konkretnej lokalizacji (miejscowości). Praca w grupach – każdy z zespołów zajmujących się konkretnym przysłowiem, w wybranej lokalizacji.

Zadanie 5: Zebranie ocen sprawdzalności przysłowia/przysłów w różnych lokalizacjach, w sposób w jaki zrobiono to w przykładach 1 i 2, i odpowiedź czy konkretne przysłowie lub przysłowia mogą dawać wiarygodną prognozę pogody. Praca całej klasy.

Wariant rozszerzony

W wariantcie rozszerzonym proponuje się rozwiązanie tych samych zadań badawczych co w wariantcie podstawowym, jednak w rozszerzonej formie (do wyboru przez nauczyciela).

- Dobór takich przysłów, by ocena sprawdzalności wymagała dodatkowych obliczeń, takich jak np. średnie miesięczne wartości parametru meteorologicznego.
- Dobór przysłów, które wymagają interpretacji więcej niż jednego elementu meteo – temperatury i opadu. Uwaga! Analiza przysłów dotyczących opadu podnosi stopień trudności i pracochłonność ze względu na trudności w uzyskaniu danych o odpowiedniej jakości.
- W najtrudniejszym wariantcie lekcji – próba interpretacji liczbowej przysłowia na kilka sposobów, wraz z uzasadnieniem zastosowanego kryterium, np. „Świętą Barbarę po wodzie” możemy interpretować jako pogodę odwilżową, podczas której temperatura minimalna jest wyższa od 0°C, i/lub w łagodniejszej definicji średnia dobową temperatura jest wyższa niż 0°C, co może wskazywać na odwilż tylko w ciągu dnia. Po uzyskaniu wyników, sprawdzenie jak zmiany parametrów wpłynęły na wynik i próba interpretacji.

Zastosowane metody badawcze

- Metodyka badań (obserwacji, pomiarów, doświadczeń)
 - Dane
Badania będą polegały na wyciąganiu potrzebnych informacji z danych meteorologicznych dostępnych w źródłach internetowych oraz rocznikach statystycznych i meteorologicznych. Już na etapie wyboru przysłów należy pamiętać, że dane meteorologiczne,

szczególnie z terenu Polski, dotyczące dobowych i miesięcznych sum opadów są trudniej dostępne niż dane związane z temperaturą powietrza, zatem skompletowanie potrzebnych danych będzie wymagało korzystania z kilku źródeł i może zająć więcej czasu.

b. Analiza przysłów i powiedzeń ludowych

W analizowanych przysłowia i powiedzeniach można wyróżnić dwa elementy: zwiastun – będący najczęściej pierwszą częścią przysłowia, opisujący wystąpienie pewnego zjawiska (lub jego natężenie), mający poprzedzać wystąpienie efektu – określonego zjawiska (lub jego natężenia) w przyszłości.

Ocena sprawdzalności jest możliwa tylko wtedy, gdy zarówno zwiastun, jak i efekt mogą zostać opisane za pomocą wielkości fizycznych i nadany zostanie im wymiar liczbowy. Za przykład może posłużyć jedno z najpopularniejszych powiedzeń dotyczących okresu świąt Bożego Narodzenia: „Święta Barbara po wodzie, Boże Narodzenie po lodzie”.

Zwiastun znajduje się w pierwszej części przysłowia: „Święta Barbara po wodzie” i przywołuje konkretną datę – 4 grudnia. Opisuje panujące w tym dniu warunki meteorologiczne. „Woda” w tym przypadku może oznaczać pogodę odwilżową np. z minimalną dobową temperaturą powietrza >0 °C, lub średnią dobową temperaturę powietrza >0 °C, jeśli przyjmujemy łagodniejsze kryterium i do odwilży dochodzi tylko w ciągu dnia (nie całą dobę).

Efekt jest opisany w drugiej części przysłowia: „Boże Narodzenie po lodzie”. Podobnie jak zwiastun, efekt określa termin – 24 lub 25 grudnia (spotyka się dwie interpretacje) i warunki pogodowe: maksymalną dobową temperaturę powietrza <0 °C. I tutaj dopuszczalne są inne interpretacje liczbowe efektu. W łagodniejszej formie dopuszcza się lekką odwilż w południe, a ważne jest ogólne odczucie mrozu, który przy średniej temperaturze <0 °C także musiał wystąpić. Podczas interpretacji liczbowej przysłowia, należy jak najściślej trzymać się zawartych w nich określeń, starając się zrozumieć jego sens. Oczywiście, trzeba uwzględnić fakt, że indywidualne odczucia dotyczące pogody mogą się często różnić.

2. Czas potrzebny do wykonania badań

Czas potrzebny do wykonania obliczeń jest zależny od liczby analizowanych przysłów, stopnia złożoności zawartej w nich prognozy, oraz ilości lokalizacji, dla których chcemy zbadać trafność prognoz. Dwu-, trzyosobowe zespoły powinny podczas 2 godzin lekcyjnych zebrać potrzebne dane i przeprowadzić analizę sprawdzalności dla przynajmniej 2 przysłów w jednej lokalizacji (mieście).

3. Przykładowe wyniki wcześniejszych badań z tego zakresu

Poniżej przedstawiono dwa przykłady przeprowadzonej analizy przysłów i powiedzeń, z których jeden zaprzecza, a drugi potwierdza ich przydatność przy prognozowaniu pogody.

Przykład 1: „Święta Barbara po wodzie, Boże Narodzenie po lodzie”

Zwiastun (W1) – minimalna dobową temperatura powietrza 4 grudnia >0°C

Efekt (W2) maksymalna dobową temperatura powietrza 24 grudnia <0°C

Wyniki analizy sprawdzalności tego przysłowia przedstawiono w tabeli 5.7.

Tab. 5.7. Sprawdzalność prognozy pogody na 24 grudnia opartej na przysłowiu „Święta Barbara po wodzie, Boże Narodzenie po lodzie” dla najdłuższych dostępnych ciągów danych (minimum 56-letnich)

Miasto	Zwiastun (W1)	Efekt (W2)	Sprawdzalność
	[liczba wystąpień]	[liczba wystąpień]	[W2/W1]
Poznań	26	10	38,5%
Łódź	21	8	38,1%
Warszawa	24	9	37,5%
Toruń	24	11	45,8%
Kalisz	22	6	27,3%
Włodawa	16	6	37,5%
Katowice	18	5	27,8%

Suwałki	21	10	47,6%
Wilno	24	16	66,7%
Praga	62	17	27,4%
Poczdami	51	16	31,4%
Mińsk	20	12	60,0%
Lwów	23	13	56,5%
Koszyce	20	9	45,0%
Kijów	23	16	69,5%
ŁĄCZNIE	395	164	41,5%
ŚREDNIO	49,4	20,5	43,8%

Wnioski

Biorąc pod uwagę, że są możliwe tylko dwa wyniki – prognoza trafna lub chybiona, sprawdzalność w okolicach 50% nie daje żadnych podstaw do potwierdzenia prognostycznej wartości tego przysłowia. Co więcej, w przypadku niektórych miast, takich jak Kalisz czy Praga, sprawdzalność nie osiąga nawet 30%, co może sugerować, że prognoza powinna być odwrotna do tej, jaką sformułowano na podstawie tego przysłowia. Przedstawiona na Ryc. 5.11 mapa sprawdzalności tego przysłowia pokazuje, że w przypadku miast położonych najbardziej na wschód sprawdzalność jest wyższa, i choć nie osiąga zadowalającego poziomu, może świadczyć o tym, że przysłowie ma kresowy rodowód. Innym wnioskiem, jaki możemy wyciągnąć na podstawie wyższej sprawdzalności przysłowia na terenach położonych dalej na wschód (w bardziej kontynentalnym klimacie) jest to, że przysłowie powstało w okresie Małej Epoki Lodowej, kiedy na ziemiach polskich panował prawdopodobnie klimat bardziej kontynentalny od dzisiejszego.



Ryc. 5.11. Przestrzenny rozkład sprawdzalności przysłowia „Święta Barbara po wodzie, Boże Narodzenie po lodzie”

Przykład 2: „Zbigniew i Patryk mrozą ludziom uszy, zima jeszcze dwie niedziele mrozem i śniegiem prószy”

Przysłowie to może opisywać przypadek, w którym zima trwa wyjątkowo długo (do 17 marca). Zwiastun (W1) – maksymalna dobowa temperatura powietrza w dniu 17 marca $<0^{\circ}\text{C}$. Efekt (W2) – średnia dobowa temperatura powietrza w dniach 18–31 marca $<2^{\circ}\text{C}$.

Termiczna zima charakteryzuje się średnią dobową temperaturą powietrza $<0^{\circ}\text{C}$, ale ten warunek nieco złagodzone ze względu na to, że część stacji znajduje się w strefie, w której wystąpienie tak niskich temperatur w ostatnich dniach marca nie jest notowane, a przyjęty próg 2°C nie zdarza się często i także kojarzy się z warunkami zimowymi.

Tab. 5.8. Sprawdzalność przysłowia „Zbigniew i Patryk mrozą ludziom uszy, zima jeszcze dwie niedziele mrozem i śniegiem prószy”

Miasto	Zwiastun (W1) [liczba wystąpień]	Efekt (W2) [liczba wystąpień]	[W2/W1] Sprawdzalność
Poznań	5	3	60.0%
Łódź	4	3	75.0%
Warszawa	5	4	80.0%
Toruń	5	4	80.0%
Kalisz	4	4	100.0%
Włodawa	6	5	83.3%
Katowice	4	4	100.0%
Suwałki	9	8	88.9%
Wilno	27	27	100.0%
Praga	1	0	0.0%
Poczdami	1	1	100.0%
Mińsk	26	26	100.0%
Lwów	10	8	80.0%
Koszyce	1	1	100.0%
Kijów	10	9	90.0%
ŁĄCZNIE	118	107	90.7%
ŚREDNIO	14.8	13.4	82.5%

Wnioski

Sprawdzalność tego przysłowia jest bardzo wysoka niemal dla wszystkich miast, w których ją analizowano. Sto procent trafnych prognoz notowano zarówno w miastach położonych na wschodzie – Wilnie i Mińsku, gdzie zwiastun występował bardzo często (26 i 27 razy) w 60-letnim okresie pomiarów, jak i w polskich miastach – Kaliszu i Katowicach, gdzie przy podobnej długości pomiarów zwiastun obserwowano cztery razy. Genezą powstania tego powiedzenia mogły być obserwacje naszych przodków podczas okresu chłodniejszego niż obecnie, w którym opisywany zwiastun mógł zdarzać się nawet co drugą zimę na wschodzie i raz na 5–10 lat w cieplejszych zachodnich regionach kraju.

Zastosowana technologia informacyjna

arkusz kalkulacyjny MS Excel

Najważniejsze osiągnięcia – kompetencje ucznia

a. Wiedza:

- identyfikowanie związków i zależności oraz wyjaśnianie zjawisk i procesów, dostrzeganie prawidłowości dotyczących środowiska przyrodniczego.

b. Umiejętności:

- zastosowanie danych meteorologicznych do rozwiązania problemu,
- korzystanie z różnych źródeł informacji geograficznej, w tym z map, wykresów, danych statystycznych, tekstów źródłowych w celu gromadzenia, przetwarzania i prezentowania informacji geograficznych,
- posługiwanie się podstawowym słownictwem geograficznym w toku opisywania oraz wyjaśniania zjawisk i procesów zachodzących w środowisku geograficznym,
- wstęp do pracy literaturowej.

c. Postawa:

„inicjowanie zainteresowania dziedzictwem kulturowym, jakim są przysłowia ludowe.

PROJEKT: GDZIE JEST GLOBALNE OCIEPLENIE?

CELE REALIZACJI PROJEKTU

- Wyjaśnienie i zapoznanie się z czynnikami wpływającymi na klimat w ostatnim stuleciu:
 - intensywnością promieniowania słonecznego (mierzoną liczbą plam słonecznych)
 - zmianami stężeń atmosferycznych gazów cieplarnianych
 - zmianami sposobu użytkowania powierzchni Ziemi
 - wulkanicznym indeksem eksplozywności* (ang. Volcanic Explosivity Index, VEI)
 - wskaźnikami oscylacji w systemie ocean-atmosfera, określającymi zmiany procesów pobierania i oddawania ciepła, m.in.: Wielodekadowa Oscylacja Atlantycka AMO (ang. Atlantic Multidecadal Oscillation), Oscylacja Południowa ENSO (El Niño/ang. Southern Oscillation) i Oscylacja Północnoatlantycka NAO (ang. North Atlantic Oscillation).
- Zapoznanie się z zasadami obliczania anomalii temperatury globalnej.
- Zrozumienie różnicy pomiędzy temperaturą globalną, będącą średnią z bardzo wielu stacji umieszczonych na całym globie, a temperaturą odnotowaną w jednej miejscowości, bądź kraju.
- Kształcenie umiejętności korzystania z ogólnodostępnych danych meteorologicznych.
- Obliczanie wartości średnich rocznych temperatur, wykreślanie wykresów trendów temperatur dla jednej lub kilku stacji, sporządzanie wykresów anomalii temperatur dla poszczególnych stacji oraz anomalii temperatury globalnej, wyznaczanie wartości maksymalnych, minimalnych i średnich miesięcznych dla jednej lub kilku stacji z badanego okresu.
- Odczytanie rekordów poszczególnych stacji w Polsce: maksimum i minimum temperatury dobowej z okresu 1981–2010.

OPIS ZAGADNIENIA DO REALIZACJI NA LEKCJI I W PROJEKCIE

Wprowadzenie – skąd wziął się termin „globalne ocieplenie”?

Efekt szklarniowy polega na kumulowaniu energii w atmosferze planety. Już w XIX wieku tacy uczeni, jak Jean-Baptiste Fourier, John Tyndall i Svante Arrhenius zdawali sobie sprawę ze znaczenia atmosferycznego stężenia gazów cieplarnianych dla wzrostu temperatury. Zatem obserwowane coraz wyższe stężenia gazów szklarniowych w atmosferze musiały doprowadzić do wniosku, iż nasza planeta będzie się ocieplać. Termin: globalne ocieplenie (ang. *global warming*) został wprowadzony do literatury przedmiotu przez amerykańskiego oceanografa Wallace'a Smith Broecker, który w 1975 roku w magazynie „Science” opublikował artykuł pod tytułem „Zmiany klimatyczne – czy jesteśmy na krawędzi wyraźnego globalnego ocieplenia?” (Climatic Change: Are We on the Brink of a Pronounced Global Warming?). Przewidywał on, że ówczesna tendencja spadku temperatury, występująca po 1940 roku dzięki naturalnym czynnikom chłodzącym, niedługo ustąpi, a gwałtowny wzrost zawartości dwutlenku węgla w atmosferze stanie się istotnym czynnikiem powodującym wzrost średniej temperatury naszej planety poza granice naturalnej zmienności klimatycznej. Prognozę tę można było zweryfikować dzięki prowadzonym obserwacjom meteorologicznym. Do tego celu najlepiej nadawała się średnia temperatura powierzchni globu.

Zatem „globalne ocieplenie” to obserwowane od połowy XX wieku podwyższenie średniej temperatury atmosfery przy powierzchni ziemi i oceanów. Choć termin ten wskazuje głównie na wzrost temperatury, w istocie mamy do czynienia z wieloma innymi aspektami zmian klimatycznych (KUNDZEWICZ 2013; blog naukowy <http://doskonaleszare.blox.pl/html>).

Czynniki wpływające na klimat w ostatnim stuleciu

Klimat kształtowany jest przez wiele czynników, takich jak zmiany w orbicie naszej planety, intensywność promieniowania słonecznego (mierzona liczbą plam słonecznych), zmiany stężeń atmosferycznych gazów cieplarnianych (para wodna, dwutlenek węgla, metan, podtlenek azotu i freony),

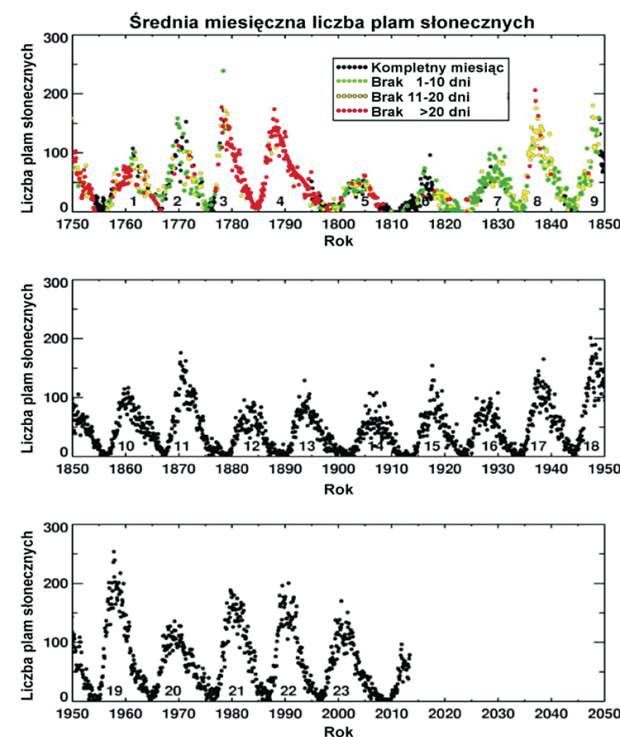
zmiany sposobu użytkowania powierzchni ziemi, wybuchy wulkanów, których intensywność mierzona jest wulkanicznym indeksem eksplozywności (ang. Volcanic Explosivity Index, VEI), a także wskaźniki oscylacji w systemie ocean-atmosfera, określające zmiany procesów pobierania i oddawania ciepła: Atlantic Multidecadal Oscillation (AMO), El Niño/Southern Oscillation (ENSO), North Atlantic Oscillation (NAO) i Arctic Oscillation (AO).

Zmiany orbitalne

Zmiany orbitalne, regulujące występowanie glacjałów* i interglacjałów*, opisuje teoria astronomiczna paleoklimatów* sformułowana przez serbskiego uczonego Milutina Milankovicia. Trzy cykle Milankovicia istotnie wpływają na wielkość promieniowania słonecznego dochodzącego do powierzchni Ziemi, jednak z uwagi na cykle tych zmian, które mają odpowiednio ok. 96 tys. lat, ok. 40 tys. lat oraz 21 tys. lat, tłumaczą występowanie ocieplenia i ochłodzenia w skali tysięcy lat, jednak nie wyjaśniają obecnego ocieplenia, które zachodzi znacznie szybciej (KUNDZEWICZ 2013).

Intensywność promieniowania słonecznego

Ilości energii dochodzącej do Ziemi waha się i również ma wpływ na zmiany klimatu. W okresach silnej aktywności plam słonecznych, tj. wybuchów na powierzchni Słońca, mamy do czynienia z ociepleniem. Jako pierwszy plamy na Słońcu zaobserwował Galileo Galilei w 1610 roku. Ciągłe obserwacje liczby plam słonecznych prowadzi się od 1849 roku w obserwatorium w Zurychu. Liczba ta waha się w średnim okresie ok. 11,1 lat (por. ryc. 5.12) (KUNDZEWICZ 2013). Mimo znacznych fluktuacji liczby plam na Słońcu strumień energii, jaki dociera do Ziemi, zmienia się nieznacznie. Znaczy to, że choć wpływa na temperaturę globalną, nie tłumaczy jej gwałtownego wzrostu, obserwowanego w ostatnich kilkudziesięciu latach.



Ryc. 5.12. Średnie miesięczne liczby plam słonecznych w latach 1750-2013

Atmosferyczne stężenie gazów cieplarnianych

W czasach sprzed epoki przemysłowej warunki klimatyczne na Ziemi kształtowane były przez uwarunkowania naturalne, jednak po tym okresie ważnym czynnikiem stała się działalność antropo-

geniczna. W ostatnich kilkudziesięciu latach człowiek znacznie zmienił chemizm atmosfery. Zmiany te są tak szybkie, iż naturalne mechanizmy przyrody nie mogą ich zneutralizować. Przejawiają się one głównie wzrostem w atmosferze zawartości:

- dwutlenku węgla: od poziomu ok. 280 ppm (części na milion) (ok. 1750 roku) do poziomu 400 ppm w maju 2013, a więc o 120 ppm więcej niż w okresie przedprzemysłowym (wzrost o 42,8%),
- metanu: od 360 ppb (części na miliard) (1774 rok) do 790 ppb w 2005, a więc ponad dwukrotny wzrost,
- podtlenku azotu: 270 ppb (1750 rok) do 325 ppb,
- freonów: CFC 11 od 0 do 0,238 ppb oraz CFC 12 od 0 do 0,531 ppb.

Dotychczas temperatura zmieniała się o ułamek (np. 0,1) stopnia na stulecia czy tysiąclecia.

Obecnie przewiduje się wzrost znacznie szybszy – w tempie 0,2°C na dziesięciolecie lub więcej (KUNDZEWICZ 2013).

Zmiany użytkowania powierzchni ziemi

Wpływ zmiany sposobu użytkowania ziemi na klimat wyraża się poprzez zmiany albedo i bilansu cieplnego (podział na jawny i utajony strumień ciepła). Kiedy na ciało pada promieniowanie słoneczne, to część tej energii zostaje przez nie pochłonięta, a część odbita. Albedo wyraża właśnie stosunek promieniowania odbitego przez ciało do całkowitego promieniowania, które na nie pada. Im ciało jest bardziej białe, tym albedo wyższe, a im bardziej czarne, tym współczynnik albedo jest niższy. Niskie albedo oznacza, że ciało pochłania więcej energii krótkofalowej, ogrzewa się i samo zaczyna emitować energię, tym razem ciepłą – długofalową, która zaczyna ogrzewać atmosferę. Albedo $A = 0,30$ to wielkość uśredniona dla całej powierzchni planety. Zmieniając powierzchnię Ziemi, wpływamy na zmianę współczynnika albedo, a co za tym idzie na ilość energii, jaką powierzchnia oddaje do atmosfery. Szczególnie niebezpieczne jest topnienie lodowców: tu dochodzi do ujawnienia sprzężeń zwrotnych – wyższa temperatura powoduje topnienie lodu, powierzchnia Ziemi staje się ciemniejsza i pochłania więcej energii i albedo maleje, a jako cieplejsza sama uwalnia energię do atmosfery, robi się cieplej i topią się kolejne obszary pokryte lodem. Do tej pory materia organiczna rozkładająca się w torfie pozostawała uwięziona w wiecznej zmarzlinie. W wyniku ogrzewania i topnienia dochodzi już do uwalniania nagromadzonego metanu – silnego gazu szklarniowego i głównego produktu rozkładu materii organicznej. Ponadto wraz ze wzrostem temperatury w rozmarzającej zmarzlinie rośnie aktywność bakterii, powodując dalsze wewnętrzne rozmarzanie i wydzielanie metanu.

Wulkaniczny indeks eksplozywności VEI (Volcanic Explosivity Index)

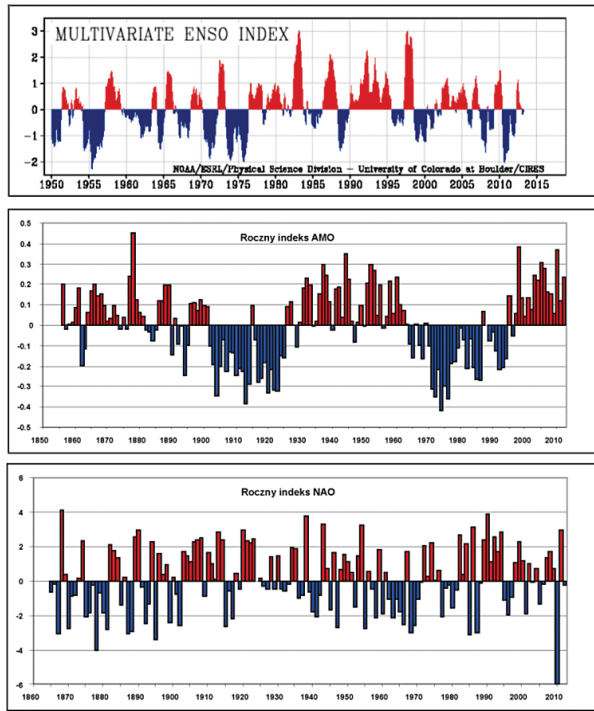
W celu oszacowania wielkości erupcji wulkanicznych opracowano Wulkaniczny Indeks Eksplozywności, w którym uwzględniono m.in. całkowitą masę wyrzuconego materiału oraz wysokość erupcji. Indeks zaczyna się od wartości 0, charakteryzującej erupcje wulkanów Islandii czy na Hawajach (dość spokojne wylewy lawy) i oparty jest o skalę logarytmiczną, co oznacza, że każdy kolejny punkt wskazuje erupcję 10 razy większą od poprzedniej. Dotychczas najwyższą wartość to 8, którą otrzymała m.in. supererupcja Toba na Sumatrze (73 tys. p.n.e.). Wielka erupcja Tambora w Indonezji w 1815 roku, oznaczona VEI 7 (10 razy słabszy niż Toba), spowodowała w 1816 roku w Ameryce Północnej i Europie Zachodniej „rok bez lata” wskutek ogromnej ilości wyrzuconych pyłów, które znacznie ograniczyły ilość docierającej do powierzchni Ziemi energii słonecznej, tym samym obniżając temperaturę. W momencie wybuchu zginęło 12 tys. ludzi, a dalszych 90 tys. zmarło na świecie z głodu z powodu złych plonów, do czego przyczyniła się zarówno niska temperatura, jak i niedostateczna ilość energii słonecznej (GRANICZNY, MIZERSKI 2009). Kolejne erupcje wulkanów z ostatnich 200 lat o silnym VEI to:

- VEI 5: Agung (Indonezja, 1963), Mount St. Helen (USA, 1980), El Chichón (Meksyk, 1982), Cerro Hudson (Chile, 1991),
- VEI 6: Krakatoa (Cieśnina Sundajska na zachód od Jawy, 1883), Santamaría (Gwatemala, 1902), Novarupta (Alaska, 1912), Pinatubo (Filipiny, 1991).

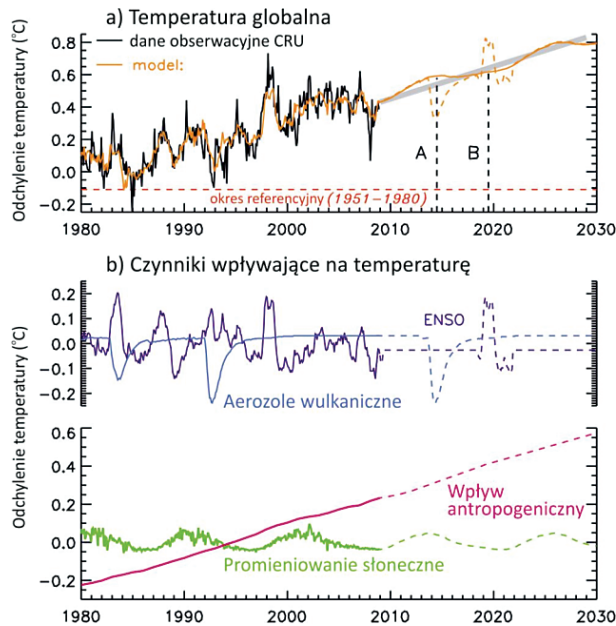
Erupcje wulkanów wpływają na klimat ochładzająco poprzez bezpośredni efekt aerozolowy – rozpraszanie i odbijanie w kosmos promieniowania słonecznego oraz pośredni efekt aerozolowy – wpływ na budowę chmur. Od ostatniej wielkiej erupcji wulkanu Pinatubo w 1991 grubość optyczna aerozolu (miara blokowania dopływu promieniowania słonecznego) maleje.

Wskaźniki oscylacji w systemie ocean-atmosfera

1. Wielodekadowa Oscylacja Atlantycka AMO (ang. Atlantic Multidecadal Oscillation)
AMO związana jest z anomaliami wieloletnich opadów atmosferycznych w całej Ameryce Północnej, prawdopodobnie wpływa też na inną oscylację – ENSO. Ta oscylacja na północnym Atlantyku odgrywa również rolę w formowaniu huraganów na Atlantyku. Z fazami AMO wiążą się także takie zjawiska, jak susze w Sahelu czy zmiany opadów na Karaibach (TRENBERTH i in., 2007).
2. Oscylacja Północnoatlantycka NAO (ang. North Atlantic Oscillation)
NAO odgrywa ważną rolę w naszej części kontynentu. Jest to fluktuacja różnicy ciśnienia atmosferycznego mierzonego na poziomie morza, pomiędzy Niżem Islandzkim a Wyżem Azorskim. Miara intensywności NAO jest tzw. indeks NAO. Dodatnia faza tego indeksu występuje, gdy wyższej wartości ciśnienia w Wyżu Azorskim towarzyszy niższa wartość ciśnienia w Niżu Islandzkim. Prowadzi to do generowania silnych, zimowych sztormów na północnym Atlantyku. W Europie panują wówczas ciepłe i wilgotne zimy. Wysokie wartości wskaźnika NAO wystąpiły w latach 1989, 1990 i 1995, na przełomie zimy i wiosny. Ujemna faza NAO występuje, gdy słabnie Wyż Azorski, a Niż Islandzki wypłyca się. Wilgotne powietrze napływa wówczas w rejon Morza Śródziemnego, a zimne – gwałtownie wdziera się nad Europę, przynosząc śnieżną zimę. Niskie wartości wskaźnika NAO wystąpiły w latach 1917, 1936, 1963 i 1969, na przełomie zimy i wiosny (KĘDZIORA 2008).
Zimą, gdy faza NAO jest dodatnia, w Europie obserwujemy temperatury powyżej wartości normalnych na prawie całym obszarze i poniżej w części południowej. Wzrasta także ilość opadów w Europie północnej, a spada w południowej. W czasie ujemnej fazy NAO temperatury zimowe spadają poniżej wartości normalnej w Europie środkowej i północnej, niższe są także sumy opadów.
3. Oscylacja Południowa ENSO (ang. El Niño Southern Oscillation)
Cykl ENSO szczególnie ważny jest z punktu widzenia temperatury globalnej. Składa się z dwóch faz: ciepłej El Niño (hiszp. chłopczyk) i chłodnej La Niña (hiszp. dziewczynka). Podczas każdej z nich następuje intensywne wymiana ciepła między oceanem a atmosferą, a to wpływa na temperaturę w skali kontynentalnej, a nawet globalnej, wyjaśniając znaczną część wahań klimatu.
Nazwa El Niño wiąże się z Bożym Narodzeniem (chłopczyk, Boże Dzieciątko). Niekiedy w tym okresie obserwuje się stan ocieplenia górnej strefy wód wschodniego Pacyfiku, u wybrzeży Ameryki Południowej zamieszkiwanych przez ludność hiszpańskojęzyczną. Stan ten obejmuje znaczny obszar równikowego Pacyfiku. Termin „oscylacje południowe” (SO) określa wahania ciśnienia atmosferycznego na poziomie morza między północną Australią a środkowym Pacyfikiem. Pobieranie ciepła z atmosfery przez ocean dominuje w fazie La Niña, a oddawanie ciepła z oceanu do atmosfery przeważa w fazie El Niño. W okresach El Niño (ciepłej fazy) obserwujemy wyższą, a w okresach La Niña (zimnej fazy) niższą temperaturę globalną.
Sir Gilbert Walker na początku XX wieku odkrył oscylacje, które wpływały na zróżnicowanie plonów rolnych w poszczególnych latach. ENSO było przyczyną słabego monsunu w Indiach, który z kolei niósł za sobą słabe zbiory i klęskę głodu. Oscylacje południowe także wpływają na zmienność połowów tuńczyka u zachodnich wybrzeży Ameryki Południowej (KUNDZEWICZ 2013).
W przebiegu liczby plam słonecznych można dostrzec dość regularną okresowość, natomiast erupcje wulkaniczne rozłożone są w czasie przypadkowo i nie ma tu żadnej zależności. Stałe zmiany wykazują stężenia gazów cieplarnianych. W przebiegach wskaźników oscylacji ENSO, AMO i NAO, zauważamy raczej silne fluktuacje (KUNDZEWICZ 2013; Ryc. 5.13). Wpływ różnych czynników na średnią miesięczną temperaturę powietrza przy powierzchni Ziemi w latach 1980-2008 przedstawia Ryc. 5.14 (LEAN, RIND 2009).



Ryc. 5.13. Przebieg wskaźników oscylacji ENSO, AMO i NAO



Ryc. 5.14. Wpływ różnych czynników na średnią miesięczną temperaturę powietrza przy powierzchni Ziemi w latach 1980–2008

Wyznaczanie anomalii temperatury globalnej

Określanie temperatury globalnej (powierzchni lądów i oceanów) zajmuje się kilka ośrodków naukowych. Najważniejsze z nich są dwie amerykańskie placówki, które bezpłatnie udostępniają wyniki swoich badań w Internecie: Instytut Badań Kosmicznych Goddarda w NASA (Goddard Institute for Space Studies, GISS NASA) i Narodowe Centrum Danych Klimatycznych w NOAA (National Climate Data Center, NCDC NOAA) oraz brytyjska Jednostka Badań Klimatycznych na Uniwersytecie Wschodniej Anglii (Climate Research Unit, CRU UEA) we współpracy z Centrum Hadleya Biura Meteorologicznego (Hadley Centre, Met Office – HadCRUT4). Analiza wyników zebranych przez te placówki umożliwia wnioskowanie na temat zmian temperatury globalnej. Aby łatwiej zaobserwować zmiany średniej temperatury globalnej, oblicza się odchylenie danej wartości od pewnej wartości średniej z okresu referencyjnego. Klimatolodzy chętniej posługują się pojęciem anomalii temperatury, która oznacza, o ile cieplej bądź zimniej jest w danym miejscu w stosunku do średniej wieloletniej, zwykle wynoszącej 30 lat. Różnice metodologiczne przy obliczaniu średniej temperatury globalnej sprawiają, że ciągi temperatury nieznacznie się różnią. Ponadto dwa wiodące ośrodki stosują inne okresy referencyjne, na podstawie których obliczana jest anomalia temperatury. I tak ośrodek amerykański stosuje średnią z lat 1951–1980, zaś ośrodek brytyjski 1961–1990. W pierwszym tygodniu każdego miesiąca stacje meteorologiczne z całego świata wysyłają dane do baz centralnych. Dla każdej stacji posiadającej wystarczającą ilość danych w okresie referencyjnym (1951–1980 lub 1961–1990) wyliczana jest 30-letnia średnia z temperatur miesięcznych dla każdego miesiąca. Następnie dla każdego miesiąca każdego roku wyliczana jest różnica („anomalie”) pomiędzy wartością temperatury w tym miesiącu a odpowiednią średnią. W przypadku, gdy pojawiają się wartości, które znacznie odbiegają od sąsiednich, np. są wysokie dodatnie temperatury przy typowej, ujemnej średniej, są one weryfikowane bądź odrzucane.

Powierzchnia Ziemi dzielona jest następnie na „oczka” siatki np. o wymiarach 5 na 5 stopni szerokości i długości geograficznej. Dla każdego oczka wyliczana jest średnia ich anomalii temperatur. Kolejnym krokiem jest podział na półkulę północną i południową – tak powstaje średnia temperatura dla półkul. Ze średnich hemisferycznych wyliczana jest średnia globalna (KUNDZEWICZ 2013; blog naukowy <http://doskonaleszare.blox.pl/html>).

Gdzie jest „globalne ocieplenie”?

Nasz klimat się zmienia, a na temperaturę globalną składa się temperatura obserwowana na lądzie i na oceanach. To, co możemy zaobserwować za naszymi oknami, mieści się często w zmienności klimatu. Gdy w naszym rejonie odnotowujemy okresy wyjątkowego chłodu, w innych rejonach świata panują temperatury anomalnie wysokie, czyli powyżej średniej dla danego okresu. Przykładem może być tutaj chociażby okres chłodu w maju 2013 roku w Europie Zachodniej, gdzie temperatury średnie były dużo niższe niż średnia dla tego miesiąca. Im bardziej przesuwalimy się na wschód, tym temperatury te były coraz wyższe. Anomalnie ciepło było w tym czasie za kołem podbiegunowym w Norwegii, gdzie temperatury sięgały prawie 30°C, a w Europie Zachodniej w tym czasie było ok. 20°C, we Francji 15°C, w Madrycie 17°C (www.ogimet.com; <http://meteomodel.pl/BLOG>).

Podczas czerwcowej fali upałów 2013 roku 17 i 19 czerwca pobite zostały rekordy odnotowane na Alasce w takich miejscowościach, jak:

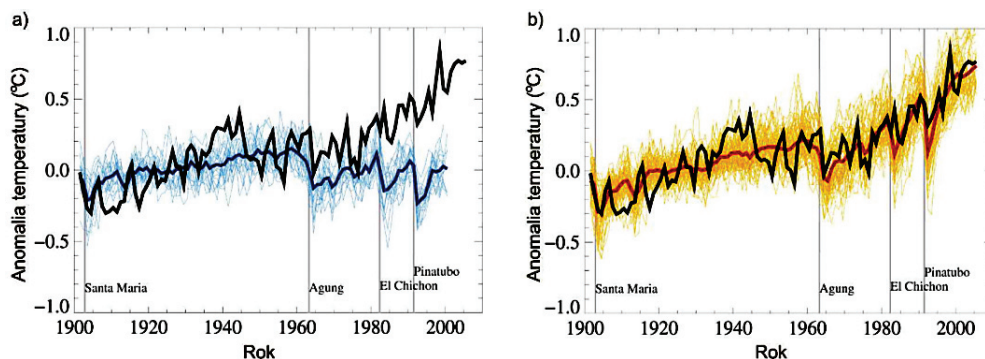
- Talkeetna, gdzie zanotowano 35,6°C, poprzedni rekord wynosił 32,8°C (14.06.1969 i 26.06.1953),
- McGrath (34,4°C, poprzedni rekord 32,2°C 15.06.1969),
- Skwenta (33,9°C, poprzedni rekord 32,2°C 21.07.1947),
- Cordova (32,2°C, poprzedni rekord 31,7°C 16.07.1995).

Na uwagę zasługuje fakt, że rekordy zostały pobite nie o dziesiąte części stopnia Celjusza, jak np. w stacjach polskich, ale o prawie 2 czy 3°C (blog naukowy <http://meteomodel.pl/BLOG>; <http://www.wunderground.com/blog/weatherhistorian/comment.html?entrynum=166>).

Nie ulega wątpliwości, że klimat ziemski ociepla się. Globalne dane, zebrane przez NASA GISS (USA), wskazują, że w latach 1901–2012 wzrost temperatury wyniósł około 0,8°C. Tempo ocieplenia nie jest jednak równomierne. Większość ocieplenia, o 0,5°C, przypada na okres ostatnich trzydziestu lat. Poczynając od lat sześćdziesiątych XX wieku każde dziesięciolecie było cieplejsze od poprzedniego.

Rekordowo ciepły rok 1998 związany był z silnym El Niño. Pierwsza dekada XXI wieku (2000–2009) jest zdecydowanie najcieplejszą dekadą w całym okresie, dla którego prowadzi się pomiary z użyciem termometrów, a więc od 1880 roku. Oczywiście są na Ziemi pewne bardzo liczne miejsca, w których nie odnotowujemy wzrostu temperatury globalnej, lecz wręcz przeciwnie – ochładza się tam (np. blisko południowej Grenlandii). Związane to jest przede wszystkim ze zmianami cyrkulacji. Jednak w skali globalnej od połowy XX wieku temperatura nieuchronnie rośnie, jedynie tempo jej wzrostu bywa hamowane np. przez wybuchy wulkanów czy ujemną fazę oscylacji południowej ENSO, czyli La Niña. Oznacza to, że nie każdy mijający rok jest cieplejszy niż poprzedni. Na długofalową tendencję wzrostową temperatury nakładają się bardzo silne wahania. Ocieplenie w ostatnim półwieczu było silniejsze nad lądem niż nad oceanem i silniejsze w zimie niż w lecie. O globalnym ociepleniu świadczy też masowe kurczenie się lądolodów, lodowców morskich i górskich, wiecznej zmarzliny, śniegu oraz wzrost poziomu oceanów, ponieważ cieplejsza woda zajmuje więcej miejsca wskutek rozszerzalności cieplnej. Ponadto do oceanów spływa woda z topniejących lodów i śniegów. Wiele zmian w przyrodzie wskazuje, że nasz świat jest cieplejszy: np. wcześniejsze pojawienie się liści, kwitnienie kwiatów, terminy przylotów ptaków wędrownych, składania jaj, pojawianie się gatunków ciepłolubnych w wyższych szerokościach geograficznych itp. (KUNDZEWICZ 2013).

Ostatnich 30 lat szybkiego ocieplania nie da się wyjaśnić bez odwoływania się do gazów cieplarnianych, których wymuszenie radiacyjne (czyli zmiana zaabsorbowanego przez układ Ziemia – atmosfera promieniowania słonecznego w stosunku do wypromieniowanego w przestrzeń kosmiczną promieniowania długofalowego - głównie w podczerwieni) dominowało w tym czasie (większa absorpcja niż wypromieniowanie, co w konsekwencji prowadzi do wzrostu temperatury). Rycina 5.15 przedstawia porównanie zmiany globalnej temperatury w stosunku do okresu 1901–1950 dla danych obserwacyjnych (linia czarna) oraz symulację globalnej temperatury z przeszłości (średnia z wielu modeli): a) z wymuszeniami tylko naturalnymi (linia niebieska); b) z wymuszeniami antropogenicznymi i naturalnymi (czerwona linia) (HEGERL i in. 2007). Jedynie wymuszenia naturalne i antropogeniczne tłumaczą wzrost temperatury w ostatnim stuleciu.



Ryc. 5.15. Porównanie zmiany globalnej temperatury w stosunku do okresu 1901–1950 dla danych obserwacyjnych (linia czarna) oraz symulacji globalnej temperatury z przeszłości (średnia z wielu modeli): a) z wymuszeniami tylko naturalnymi (linia niebieska); b) z wymuszeniami antropogenicznymi i naturalnymi (czerwona linia)

MATERIAŁY GRAFICZNE DO REALIZACJI TEMATU NA LEKCJI I W PROJEKCIE:

Ryciny

Ryc. 5.12. Średnie miesięczne liczby plam słonecznych w latach 1750–2013

Ryc. 5.13. Przebieg wskaźników oscylacji ENSO, AMO i NAO

Ryc. 5.14. Wpływ różnych czynników na średnią miesięczną temperaturę powietrza przy powierzchni Ziemi w latach 1980–2008

Ryc. 5.15. Porównanie zmiany globalnej temperatury w stosunku do okresu 1901–1950 dla danych obserwacyjnych (linia czarna) oraz symulacji globalnej temperatury z przeszłości

MATERIAŁY POMOCNICZE DO REALIZACJI TEMATU NA LEKCJI I W PROJEKCIE

Literatura

- BROECKER W.S. (1975): Climatic Change: Are We on the Brink of a Pronounced Global Warming? *Science* 189 (4201): 460–463.
- GRANICZNY M., MIZERSKI W. (2009): Katastrofy przyrodnicze. Ss. 198. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa.
- HEGERL G.C., ZWIERS F.W., BRACONNOT P., GILLET, N.P., LUO Y., MARENGO ORSINI J.A., NICHOLLS N., PENNER J.E., STOTT P.A. (2007): Understanding and attributing climate change. W: SOLOMON, S., QIN, D., MANNING, M., CHEN Z., MARQUIS M., AVERY, K.B., TIGNOR M. I MILLER H.L. (RED.), *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. 664–745. Cambridge University Press, Cambridge i New York.
- KUNDZEWICZ Z.W. (2013): Ciepłszy świat. Rzecz o zmianach klimatu. Ss. 159. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa.
- KĘDZIORA A. (2008): Podstawy agrometeorologii. Ss. 380. PWRiL, Poznań.
- TRENBERTH K.E., JONES P.D., AMBENJE P., BOJARIU R., EASTERLING D., KLEIN TANK A., PARKER D., RAHMIZADEH F., RENWICK J.A., RUSTICUCCI M., SODEN B., ZHAI P. (2007): Observations: surface and atmospheric climate change. W: Solomon, S., Qin, D., Manning, M., Chen, Z., Marquis, M., Avery, K.B., Tignor, M., Miller H.L. (red.), *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. 236–336. Cambridge University Press, Cambridge i New York.
- LEAN J.L., RIND, D.H. (2009): How will Earth's surface temperature change in future decades? *Geophys. Res. Lett.* 36: 1–5.

OPIS PROJEKTU

Przykładowe problemy badawcze

- Jak zmieniała się temperatura globalna w ciągu ostatniego stulecia?
- Jaki wpływ na temperaturę globalną miały duże wybuchy wulkanów i zjawisko El Niño?
- Jak zmieniała się temperatura w skali lokalnej w ciągu ostatnich 60 lat? Określ na podstawie danych z jednej stacji meteorologicznej bądź szerzej na podstawie wszystkich badanych stacji z terenu Polski.
- Dlaczego temperatura globalna i lokalna kolejnych lat nie jest wyższa niż poprzednie?
- Dlaczego w danym miesiącu w naszej miejscowości jest zimniej niż się spodziewamy?

Zastosowane metody badawcze

Zajęcia będą się składały z dwóch części (1–2 godziny lekcyjne):

a. teoretycznej

Zostanie poświęcona zagadnieniom związanym z globalnym ociepleniem – głównie czynnikom mającym wpływ na wzrost globalnej temperatury.

b. praktycznej

Będzie polegać na wykonaniu obliczeń przy pomocy załączonych arkuszy kalkulacyjnych. Dzięki tym obliczeniom uczniowie będą mogli wykazać trendy w temperaturze zmierzonej na jednej lub kilku stacjach i porównać z anomalią temperatury globalnej. Część praktyczna będzie podzielona na dwa warianty.

Wariant podstawowy

Wariant dla całej klasy, 1–2 godziny lekcyjne. Będzie się on składał z dwóch części. Pierwszą część można wykonać, dzieląc uczniów na pięć grup (dla każdej grupy po jednej stacji meteorologicznej). Dane meteorologiczne dla stacji z terenu Polski pochodzą z dwóch źródeł:

- <http://eca.knmi.nl/dailydata/index.php> jest ogólnodostępną stroną internetową, umożliwiającą pobieranie historycznych danych meteorologicznych. Zawiera ona dane z Europy, często nawet stuletnie ciągi pomiarów, choć dane z Polski są bardzo skromne.
- Z *Roczników Statystycznych „Ochrony Środowiska”* Głównego Urzędu Statystycznego. Dane miesięczne dla pięciu stacji mogą być przedłużone na podstawie „Biuletynów Statystycznych”, wydawanych co miesiąc i udostępnianych na stronie: http://www.stat.gov.pl/gus/publikacje_a_z_PLK_HTML.htm Wybieramy publikacje na literę „B” i odnajdujemy np. Biuletyn Statystyczny nr 5/2013.

Część pierwsza będzie polegała na wykreśleniu trendów temperatury dla danej stacji meteoro-

logicznej oraz wyznaczeniu najcieplejszych i najchłodniejszych lat w badanym okresie. Do obliczeń posłuży arkusz kalkulacyjny

Zadanie 1: Obliczenie na podstawie średnich miesięcznych temperatur dla pięciu stacji meteorologicznych wartości średnich rocznych. W tym celu sumujemy wartości miesięczne dla danego roku i dzielimy przez liczbę miesięcy, czyli 12.

Zadanie 2: Sporządzenie wykresów średnich rocznych temperatur dla poszczególnych stacji.

Zadanie 3: Wyznaczenie trendów zmian temperatury na podstawie wykresów z zadania 2. W arkuszu MS Excel funkcja jest dostępna w opcjach wykresu – dodaj liniową linię trendu. Trend liniowy przedstawia tendencję rozwojową danego procesu. Pokazuje, czy dane zjawisko (temperatura) w badanym okresie wzrastała (trend rosnący, pochylony ku górze) czy malała (trend malejący, pochylony ku dołowi).

Zadanie 4: Odczytanie rekordów dla poszczególnych stacji w Polsce: maksimum i minimum temperatury dobowej z okresu 1981–2010 na podstawie portalu Instytutu Meteorologii i Gospodarki Wodnej: <http://www.pogodynka.pl/polska/daneklimatyczne/>

Zadanie 5: Wyznaczenie najcieplejszych i najchłodniejszych lat w badanej serii. W tym celu szeregujemy dane roczne wraz z rokiem od wartości najmniejszej do największej lub odwrotnie. Wyznaczenie różnicy (amplitudy) między najcieplejszym i najchłodniejszym rokiem w badanej serii.

Druga część będzie odnosiła się do analizy anomalii temperatury globalnej. Istnieje możliwość przedłużenia danych dotyczących anomalii temperatury globalnej poprzez pobranie danych ze stron:

- dla danych GISS NASA: http://data.giss.nasa.gov/gistemp/tabledata_v3/GLB.Ts+dSST.txt. Należy pamiętać, iż w celu uzyskania zmiany w stopniach Celsjusza, należy daną liczbę miesięczną podzielić przez 100.
- dla danych CRU: <http://www.cru.uea.ac.uk/cru/data/temperature/CRUTEM4-gl.dat>

Zadanie 1: Wykreślenie anomalii temperatury globalnej.

Zadanie 2: Wyznaczenie trendu anomalii temperatury globalnej na podstawie wykresu z zadania 1.

Zadanie 3: Porównanie wahań anomalii temperatury globalnej na wykresie ze zjawiskami, takimi jak: wybuchy wulkanów i silny efekt El Niño.

Zadanie 4: Wyznaczenie najcieplejszych i najchłodniejszych lat w badanej serii. Wyznaczenie różnicy (amplitudy) między najcieplejszym i najchłodniejszym rokiem.

Podsumowanie obu części ćwiczeń będzie polegało na zebraniu wyników obliczeń przeprowadzonych przez uczniów i wyciągnięcie na tej podstawie wniosków dotyczących różnicy pomiędzy temperaturą globalną, będącą średnią z bardzo wielu stacji umieszczonych na całym globie, a temperaturą odnotowaną w jednym konkretnym punkcie bądź regionie. Wyznaczone najcieplejsze lata w badanych seriach niekoniecznie będą się pokrywały z najcieplejszymi latami wyznaczonymi dla stacji położonych na terenie Polski. Wahania temperatury są tym silniejsze, im mniejsza skala przestrzenna. Różnica między średnimi temperaturami rocznymi może być znacząco wyższa niż w przypadku temperatury globalnej.

Ponadto ćwiczenia powinny dać odpowiedź na pytanie, jak na globalną temperaturę wpływają takie zjawiska jak wybuchy wulkanów czy silna faza cyklu ENSO – El Niño. Na długofalową tendencję wzrostu temperatury nakładają się bardzo silne wahania. Oznacza to, że nie każdy mijający rok jest cieplejszy niż poprzedni. Temperatura globalna w konkretnym roku może się układać czasem znacznie powyżej (np. w latach 1998, 2005, 2010), a czasem znacznie poniżej (np. w latach 1996, 1999, 2000, 2008) długotrwałej tendencji. Bardzo ciepły rok 1998 to efekt silnej fazy ciepłej, tzn. El Niño cyklu ENSO.

Wariant rozszerzony

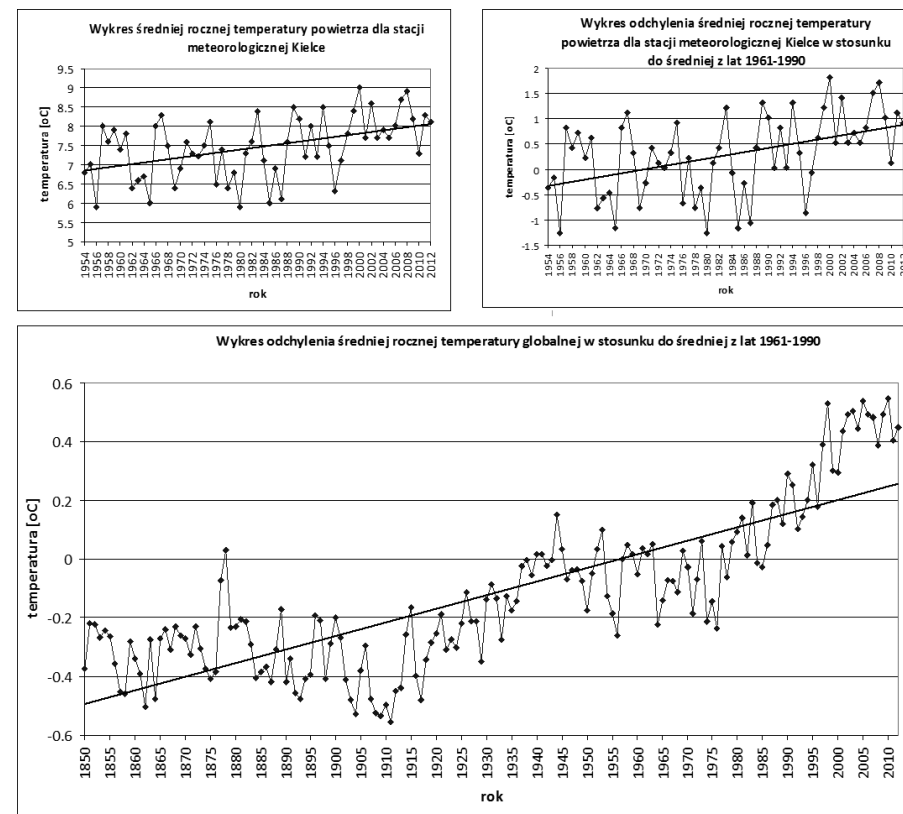
W wariantcie rozszerzonym proponuje się rozwiązanie tych samych zadań co w wariantcie podstawowym, dodatkowo zaś można wykonać następujące ćwiczenia:

- Obliczenie anomalii temperatur rocznych dla poszczególnych stacji, tj. różnicy pomiędzy wartością dla danego roku, a wartością średnią z lat 1951–1980 (jak dla serii GISS NASA) lub 1961–1990 (jak dla serii CRU), następnie sporządzenie wykresów tych anomalii i trendów.

- Na podstawie danych miesięcznych obliczenie wartości minimalnych, średnich i maksymalnych dla poszczególnych miesięcy na danej stacji, co da podstawę do wnioskowania o zmienności klimatu. W związku z globalnym ociepleniem nie należy spodziewać się jednostajnego wzrostu temperatury. Nie będzie więc dziwne, że w kategorii poszczególnych miesięcy najcieplejsze okażą się te z początku okresu badawczego bądź najchłodniejsze z końca badanego okresu (np. marzec 2013 roku).

Na podstawie danych rocznych obliczenie średnich temperatur dla poszczególnych dekad: 1951–1960, 1961–1970, 1971–1980, 1981–1990, 1991–2000, 2001–2010. Jeśli popatrzymy na dłuższe okresy, nie powinno być wątpliwości, że Ziemia się ociepla: średnia temperatur dla prawie każdej kolejnej dekady (poza chłodnymi latami sześćdziesiątymi XX w.) jest coraz wyższa.

Przykładowe wyniki wcześniejszych badań z tego zakresu:



Ryc. 5.16. Wykresy wykonane na podstawie danych dotyczących temperatury rocznej ze stacji meteorologicznej w Kielcach z lat 1954–2012 oraz anomalii temperatury globalnej na podstawie serii HadCRUT4 z lat 1850–2012

Na badanej stacji Kielce najcieplejszym rokiem okazał się 2000. Kolejnych 9 najcieplejszych lat to: 2008, 2007, 2002, 1989, 1994, 1983, 1999, 1967. Najzimniejszym rokiem był rok 1980. Amplituda (różnica) pomiędzy najcieplejszym rokiem 2008 a najzimniejszym 1980 wyniosła 3,1°C. Obliczono średnią temperaturę dekadową (dziesięcioletnią) dla lat: 1961–1970, 1971–1980, 1981–1990, 1991–2000 i 2001–2010. Każda kolejna dekada była cieplejsza od poprzedniej.

W przypadku anomalii temperatury globalnej HadCRUT4 najcieplejszym rokiem w serii jest rok 2010. Kolejne ciepłe lata wystąpiły w 2005, 1998, 2003, 2006, 2009, 2002, 2007, 2012 i 2004 roku.

Poza jednym wyjątkiem (rok 1998, kiedy to wystąpiło silne El Niño) wszystkie rekordy zaobserwowano w XXI wieku. Najchłodniejszym rokiem w okresie 1850–2012 był rok 1911, zaś amplituda pomiędzy najcieplejszym a najchłodniejszym rokiem w skali globalnej wyniosła 1,1°C.

Wnioski

W skali lokalnej i globalnej, odnotowujemy widoczny trend rosnący temperatury. Zarówno w przypadku serii lokalnej (Kielce), jak i globalnej nie każdy następny rok jest cieplejszy od poprzedniego. Dla Kielc najcieplejszym rokiem był 2000, zaś na świecie – 2010. Na globalne ocieplenie nakładają się wahania klimatu.

Najcieplejszy rok w skali lokalnej nie znalazł się w dziesięciu najcieplejszych latach w skali globalnej. I odwrotnie - najcieplejszy rok w skali globalnej nie znalazł się w dziesięciu najcieplejszych latach w skali lokalnej. Rok 2010 na stacji Kielce był mniej ciepły niż przeciętnie, zajął dopiero 37. miejsce wśród 59 lat.

Wahania temperatury są tym silniejsze, im mniejsza skala przestrzenna. Różnica między amplitudą najcieplejszego i najchłodniejszego roku w Kielcach a amplitudą w skali globalnej wyniosła aż 2°C. Średnia globalna temperatura, mierzona na lądzie i oceanach wzrasta. Gdy w naszym rejonie odnotowujemy okresy wyjątkowego chłodu, w innych rejonach świata panują temperatury anomalnie wysokie, czyli powyżej średniej dla danego okresu. Dlatego nie możemy patrzeć jedynie na temperaturę, jaką mamy na naszych termometrach. Ważniejsza jest średnia temperatura globalna.

Zastosowana technologia informacyjna

Arkusz kalkulacyjny MS Excel

Najważniejsze osiągnięcia – kompetencje ucznia

a. Wiedza

określenie wpływu poszczególnych czynników (intensywność promieniowania słonecznego, atmosferyczne stężenie gazów cieplarnianych, zmiany użytkowania powierzchni ziemi, wybuchów wulkanów, wskaźników oscylacji w systemie ocean-atmosfera: AMO, ENSO, NAO i AO) na temperaturę globalną,

b. Umiejętności

zastosowanie ogólnodostępnych danych meteorologicznych do rozwiązania problemu; korzystanie z arkusza kalkulacyjnego MS Excel,

c. Postawa

- zrozumienie różnicy pomiędzy temperaturą globalną, będącą średnią z bardzo wielu stacji umieszczonych na całym globie, a temperaturą odnotowaną w jednym konkretnym punkcie, bądź regionie,
- zrozumienie różnicy pomiędzy zmiennością klimatu w krótkim okresie np. 10–20 lat, a wieloletnim trendem, który możemy obserwować w dłuższym czasie, np. 50–60 lat.

ROZDZIAŁ 6

GOSPODAROWANIE KRAJOBRAZEM

GOSPODAROWANIE KRAJOBRAZEM: STRUKTURA, KSZTAŁTOWANIE, FUNKCJONOWANIE

Krajobraz okolic Turwi jako przykład celowego zagospodarowania przestrzennego obszarów wiejskich

W latach dwudziestych XIX wieku w okolicach Turwi (zachodnia Wielkopolska) na znacznym obszarze przekonstruowano krajobraz rolniczy głównie poprzez wprowadzenie szeregu elementów seminaturalnych (półnaturalnych) w postaci sieci różnego rodzaju zadrzewień i zakrzewień, pasm łąk, miedz i drobnych zbiorników wodnych, a także nowych systemów gospodarowania na roli i wielu nowych gatunków roślin uprawnych. Wzorem były urozmaicone, obfitujące w zadrzewienia krajobrazy Anglii i Szkocji, gdzie zdobywał doświadczenia rolnicze ówczesny gospodarz Turwi, generał Dezydery Adam Chłapowski – żołnierz napoleoński, później prekursor nowoczesnego rolnictwa w Polsce.

Na początku lat pięćdziesiątych XX wieku w Turwi utworzona została placówka badawcza, obecnie Instytut Środowiska Rolniczego i Leśnego PAN, której celem było zainicjowanie długoterminowych, interdyscyplinarnych badań unikatowego, mozaikowego krajobrazu rolniczego. W miarę upływu lat krystalizowała się holistyczna (całościowa) koncepcja oparta o badania wyjaśniające podstawowe procesy ekologiczne decydujące o prawidłowym funkcjonowaniu krajobrazu. W efekcie na przełomie lat sześćdziesiątych i siedemdziesiątych XX w. rozpoczęto realizację wieloletnich projektów badawczych, obejmujących szerokie spektrum dyscypliny nauki – począwszy od analizy zjawisk fizycznych i chemicznych, poprzez nauki biologiczne aż po nauki społeczne. W projektach uczestniczyli naukowcy z kilkudziesięciu ośrodków w Polsce, ściśle współpracując również z wieloma placówkami zagranicznymi, w tym przede wszystkim z Uniwersytetem w Athens (USA) – kuźnią nowoczesnych ekologów, inicjatorów i twórców światowego programu badań biologicznych (IBP).

Od początku działalności w centrum zainteresowania placówki znalazły się również oceny podstawowych parametrów ekologicznych, takich jak zagęszczenie, biomasa i, oczywiście, różnorodność gatunkowa grzybów, roślin i zwierząt.

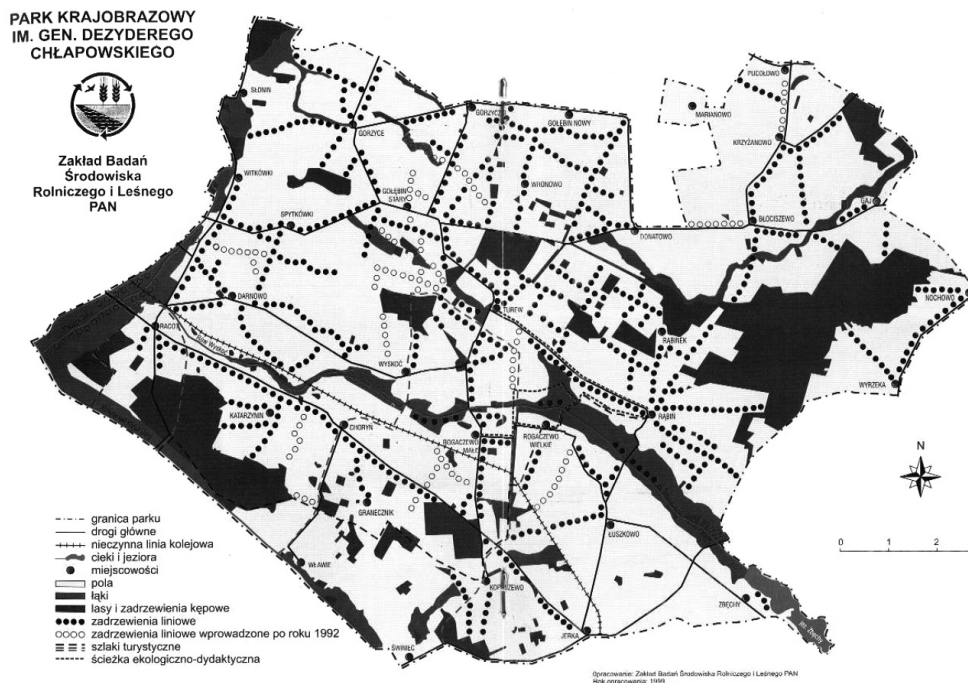
Obecnie Instytut dysponuje danymi dotyczącymi różnorodności gatunkowej (ale również zagęszczenia, biomasy itp.) dla niektórych grup (np. owadów) w skali dziesięcioleci. Dzięki temu dane te mogą stanowić doskonały punkt odniesienia dla wszelkich prowadzonych w dowolnych miejscach, nie tylko Polski, ale i Europy, ocen różnorodności biologicznej.

Nie bez kozery krajobraz okolic Turwi, budowany od niemal dwustu lat, aż po dzień dzisiejszy, teraz, na podstawie badań przeprowadzonych w ciągu ostatnich dziesięcioleci i konkretnych działań zmierzających do jego poprawy (utworzenie parku krajobrazowego, uzupełnienie sieci zadrzewień o niemal 50 kilometrów bieżących, tworzenie nowych oczek śródpolnych, działalność edukacyjna itp.), uznany został za optymalny wzorzec dla całej Europy i zarekomendowany przez Komisję Ekologiczną Rady Europy (Ryc. 6.1). Tak urządzony krajobraz rolniczy znajduje już naśladowców, często z innych, odległych kontynentów, np. Australii.

Przeływ energii to proces leżący u podstaw funkcjonowania każdego ekosystemu, także stworzonego sztucznie przez człowieka i niemającym kosztem utrzymywanego we wczesnym stadium sukcesji ekologicznej. Jak przebiega proces tej sukcesji (tzw. sukcesji wtórnej), można było zaobserwować na polach pozostawionych odłogiem w latach dziewięćdziesiątych ubiegłego wieku. Obecnie, po dwudziestu latach, znajdują się one w fazie późnej sukcesji, w momencie formowania się już ekosystemu leśnego. Mieszany las będzie w przyszłości ostatnim etapem rozwoju, etapem dojrzałości ekosystemu (klimaks) typowym dla naszej strefy geograficznej z jej warunkami klimatycznymi.

Ekosystem pola uprawnego (agroekosystem) jest utrzymywany we wczesnym stadium sukcesji po to, aby uzyskać jak najwyższy plon. Tylko taki młody ekosystem odznacza się wysoką produktywnością, w przeciwieństwie do ekosystemu w pełni dojrzałego. Ale coś za coś – ekosystemy wczesnych stadiów sukcesji z powodu słabo jeszcze rozwiniętych sieci troficznych (wzajemnych powiązań i zależności pomiędzy gatunkami budującymi biocenozę) charakteryzują się otwartymi cyklami krąże-

nia materii, przez co znaczna ilość biogenów jest bezpowrotnie tracona. Do nich należą właśnie pola uprawne. Ekosystemy te są również bardzo wrażliwe na wszelkie zagrożenia zewnętrzne. Dlatego na uprawach rolnych poważny problem stwarzają agrofagi (szkodniki), z którymi walczy się wszelkimi sposobami, głównie poprzez stosowanie chemicznych środków ochrony roślin. Jaskrawym przykładem są obce gatunki inwazyjne, na przykład ubiegłowieczna plaga stonki ziemniaczanej (*Leptinotarsa decemlineata*). Liczebność tego owada była jednak w znacznym stopniu ograniczana w wyniku redukcji powodowanej przez szereg gatunków drapieżnych egzystujących w krajobrazie mozaikowym.



Ryc. 6.1. Mapa Parku Krajobrazowego im. gen. Dezyderygo Chłapowskiego

Nie można uzyskać wysokiego plonu przy jednoczesnym zamknięciu cyklu obiegu materii i utrzymaniu wysokiego poziomu różnorodności biologicznej. Rozwiązaniem jest spojrzenie szersze, nieograniczone tylko do agroekosystemu, a więc rozpatrywanie problemu z perspektywy krajobrazu rolniczego, w którym pola uprawne stanowią, wprawdzie znaczną, ale tylko część mozaiki różnych ekosystemów mniej lub bardziej naturalnych. Te ostatnie pełnią wielorakie funkcje, poczynając od łagodzenia ekstremów klimatycznych, po niezwykle istotny udział w podnoszeniu poziomu różnorodności biologicznej. Przeciwdziałają też efektywnie zanieczyszczeniom obszarowym generowanym przez nowoczesne, intensywne rolnictwo. Można więc prowadzić intensywną towarową produkcję rolną dającą wysokie i zdrowe plony pod warunkiem, że prowadzona ona będzie w prawidłowo skonstruowanym krajobrazie. Równie istotnym elementem tej gospodarki jest dbałość o właściwy płodozmian.

Charakterystyczny, świadomie skonstruowany krajobraz wiejski okolic Turwi jest jednym z najstarszych w Europie, ale nie jedynym. Nie da się porównać wcielonego w życie projektu systemu zadrzewień na Powołżu w Rosji. Powstał on na początku XX wieku i miał głównie służyć powstrzymaniu erozji wietrznej szalejącej w tym rejonie po akcji tzw. oswojania calin, w ramach której ogromne obszary stepowe zamieniały się w pola orne. Dzięki wprowadzeniu zadrzewień plony wzrosły o 10–15%.

Wspomniany na początku Chłapowski, prekursor nowoczesnego rolnictwa nie tylko w Polsce, wprowadził w miejsce stosowanej w tamtych czasach trójpolówki (na tym samym polu uprawiano w kolejnych latach zboże, ziemniaki, a w trzecim roku pozostawiano ugór) płodozmiany trwające nawet kilkanaście lat (dopiero po takim czasie na dane pole wracała roślina uprawiana tam w pierwszym roku).

Niestety dzisiaj odchodzi się od długotrwałych płodozmianów na rzecz wymuszonego wszechogarniającej pogonią za doraźnym zyskiem systemu monokulturowego. Królują obecnie monokultury zbożowe, w niektórych rejonach przekraczające nawet 80% areалу gruntów ornych. Poza wszystkimi dobrze znanymi zagrożeniami, jakie niesie za sobą system monokulturowy, notuje się ostatnio gwałtowny wzrost liczebności wielu gatunków agrofagów na takich uprawach, zarówno rodzimych, jak i obcych.

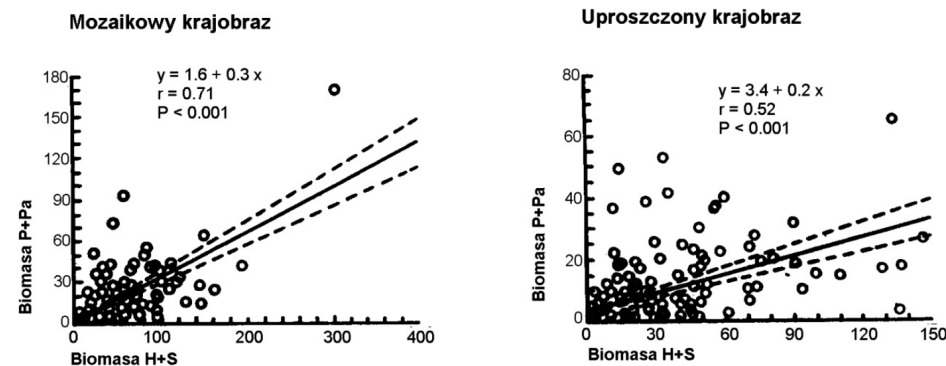
Postulowane od dawna, lecz ciągle dalekie od zaakceptowania zmiany w programach rolno-środowiskowych mogłyby znacznie poprawić sytuację zarówno w aspekcie przywrócenia prawidłowego zmianowania, jak i optymalizacji struktury krajobrazu rolniczego. Rozwiązaniem byłyby godziwe rekompensaty wspierające uprawę określonych roślin i promujące wprowadzanie do krajobrazu zadrzewień, zakrzewień i drobnych zbiorników wodnych (tzw. oczek wodnych).

Rola ekosystemów naturalnych i półnaturalnych w utrzymaniu różnorodności biologicznej

Dla lepszego zobrazowania biologicznego bogactwa mozaikowego krajobrazu rolniczego przedstawiono poniżej najważniejsze wyniki wieloletnich badań. Większość z nich to badania prowadzone w sposób ciągły i obejmujące okres przynajmniej ostatniego ćwierćwiecza.

Krajobraz rolniczy bogaty w różnego rodzaju środowiska refugialne (ostojowe) stwarza szansę na bytowanie w nim znacznej ilości gatunków. W zróżnicowanym krajobrazie okolic Turwi stwierdzono dotychczas ponad 800 gatunków roślin naczyniowych i około 600 gatunków grzybów tzw. wielkoowocnikowych. Zbliżoną liczbę gatunków roślin wykazano w Wielkopolskim Parku Narodowym, gdzie badania prowadzone są znacznie dłużej, a utworzono go ze względu na wyjątkowe walory przyrodnicze tego obszaru, przy czym intensywne badania przyrodnicze na jego terenie prowadzone były od drugiej połowy XIX wieku (BAŁAZY, BARANIAK 1985).

Badania nad rolą zadrzewień w utrzymaniu bogactwa i różnorodności fauny wykazały ich podstawowe znaczenie jako ostoi o charakterze półnaturalnym (RYSZKOWSKI, BAŁAZY 1991, 1998). W zadrzewieniach znajdują kryjówki zarówno bezkręgowce, jak i wiele kręgowców Są tam miejsca dogodnie do rozrodu, zimowania i często tylko tam znajduje się, specyficzny pokarm. Liczba osobników i liczba gatunków owadów zimujących w zadrzewieniach jest wielokrotnie wyższa niż na przyległych polach uprawnych. Badania prowadzone w zadrzewieniach młodych, świeżo wprowadzonych w strukturę krajobrazu wykazały, że bardzo szybko, w ciągu kilku pierwszych lat, zaczynają pełnić podstawowe funkcje (antyerozyjne, barierowe), ale przede wszystkim ostoi dla zwierząt. W zadrzewieniach zimuje szczególnie dużo gatunków drapieżnych i pasożytniczych, czyli tych, które latem są odpowiedzialne za utrzymanie równowagi biocenotycznej na uprawach rolnych. Ich liczebność jest zazwyczaj wyższa w partiach uprawy przyległej do zadrzewienia (tzw. strefa ekotonowa) niż na otwartym polu. Jak ważny jest proces regulacji biologicznej, ilustrują wyniki badań prowadzonych na uprawie pszenicy w dwóch typach krajobrazu: urozmaiconego (okolice Turwi) i uproszczonego (pozbawionego zadrzewień i innych środowisk refugialnych). W pierwszym przypadku stwierdzono bardzo silną korelację (zależność) pomiędzy biomasą gatunków drapieżnych i pasożytniczych a biomasą ich ofiar (gatunki roślinożerne – czyli potencjalne lub rzeczywiste szkodniki). W drugim przypadku (otwarte, duże pola) taka korelacja w ogóle nie zaistniała (Ryc. 6.2).



Ryc. 6.2. Korelacja pomiędzy biomasą owadów drapieżnych i pasożytniczych (P+Pa) a roślinożernych i saporogicznych (H+S)

Oznacza to, że w pierwszym przypadku biomasy (również liczby) gatunków roślinożernych powodował wzrost biomasy ich wrogów i na odwrót, spadek biomasy ofiar pociągał za sobą również spadek biomasy drapieżników i pasożytoidów. Na polu pszenicy utrzymywała się więc subtelna, chwiejna równowaga, a poziom liczebności szkodników był stosunkowo niski. W drugim przypadku reakcja taka nie zachodziła, drapieżników było bardzo mało, a fitofagi (gatunki roślinożerne) rozwijały się bez skrępowania. Oczywiście jest, że im większa różnorodność gatunkowa biocenozy, na co wpływa struktura krajobrazu, tym efektywniejsze będą procesy regulacyjne, a równowaga trwalsza.

Globalne zmiany klimatu oraz niekorzystne pod każdym względem przekształcenia w strukturze upraw (postępujący od wielu lat proces upraszczania struktury upraw w kierunku monokultury zbożowej) powodują istotne zmiany w entomofaunie (faunie owadów) agrocenoz. Pojawia się coraz więcej gatunków ciepło- i sucholubnych, związanych z ekosystemami trawiastymi, głównie pochodzenia południowo- i wschodnioeuropejskiego. Są to przede wszystkim roślinożerzy, a więc rzeczywiste lub potencjalne szkodniki. Należy tu wymienić chrząszcza żerującego na zbożach – łokasia garbatka (*Zabrus tenebrioides*), niektóre pluskwiaki oraz motyle i gatunki obce uznane za inwazyjne, na przykład stonka kukurydziana (*Diabrotica virgifera*). Opanowują one przede wszystkim uprawy położone na terenach otwartych, pozbawionych refugium, gdzie brak naturalnych wrogów. W krajobrazie urozmaiconym na przykład łokas garbatek i pluskwiaki z rodzaju *Eurygaster* są istotnie zredukowane między innymi przez gąsiorka (*Lanius collurio*), który w zadrzewieniach i zakrzewieniach znajduje dobre warunki do gniazdowania, a poluje na polach uprawnych. Paradoksalnie, ponieważ wciąż przybywa gatunków obcych, na polach położonych w krajobrazie uproszczonym obserwuje się ostatnio szybszy wzrost poziomu różnorodności biologicznej niż na uprawach usytuowanych w krajobrazie mozaikowym.

W zadrzewieniach śródpolnych gniazduje znaczna liczba gatunków ptaków, zajmując różne, właściwe im miejsca. Część buduje gniazda na ziemi wśród roślinności zielnej (np. trznadel), inne wykorzystują niższe partie drzew i krzewów (gąsiorok), a część gnieździ się w dziuplach drzew (sikory, wróble). Wszystkie one w okresie wychowu piskląt potrzebują dużo pokarmu, głównie owadów (nawet wróble karmią swe młode pokarmem owadzi). Jest on dostępny przede wszystkim na przyległych polach, a są nim głównie duże gatunki roślinożerne. Na przykład w pokarmie dzierzby gąsiorka znaczny udział mają pasikoniki, pluskwiaki i chrząszcze, będące w większości potencjalnymi szkodnikami roślin uprawnych (TRYJANOWSKI i in. 2003). Liczba par lęgowych ptaków jest wprost proporcjonalna do ilości zadrzewień w krajobrazie.

Obecność drobnych zbiorników wodnych, tzw. oczek wodnych, wzbogaca krajobraz o dużą liczbę tych gatunków, które rozwój przechodzą w środowisku wodnym, a zatem wiele owadów, takich jak niektóre muchówki, chrząszcze, pluskwiaki, ważki, jętki, motyle, a z kręgowców wszystkie płazy. Z wodą związane są ściśle również niektóre gady i wiele gatunków ptaków.

Wszelkie liniowe formy zadrzewień śródpolnych (zadrzewienia pasmowe, alejowe, a nawet jednorzędowe nasadzenia wzdłuż dróg) pełnią w krajobrazie bardzo istotną rolę korytarzy ekologicznych. Dzięki nim znacznie ułatwione są kontakty pomiędzy osobnikami należącymi do różnych populacji, często znacznie oddalonych od siebie. Szczególnie w przypadku gatunków rzadkich, żyjących na rozproszonych stanowiskach, ma to ogromne znaczenie dla utrzymania całej metapopulacji (kompleksu lokalnych, mniejszych populacji danego gatunku). W krajobrazie rolniczym dotyczy to przede wszystkim gatunków związanych ze środowiskiem leśnym, z natury rzeczy podlegającym tutaj silnej fragmentacji. W prowadzonych w okolicach Turwi badaniach nad kilkoma gatunkami motyli dziennych, polegających na indywidualnym znakowaniu osobników i ich powtórnych odłowach, stwierdzono, że mogą się one w stosunkowo krótkim czasie przemieszczać pomiędzy nawet znacznie oddalonymi od siebie, małymi laskami, korzystając z łączących te ekosystemy pasmowych zadrzewień. Badane motyle zazwyczaj latały wzdłuż ściany zadrzewienia, w strefie ekotonu, a nie w jego wnętrzu.

W urozmaiconym krajobrazie rolniczym w agroekosystemach, szczególnie tych, w których prowadzona jest gospodarka połączona z przestrzeganiem wskazań dobrej praktyki rolniczej (płodowozmianowa, z właściwym systemem uprawy, zminimalizowaną chemizacją itp.) wysoką różnorodność i zagęszczenie osiąga wiele grup organizmów glebowych. Większość z nich pełni bardzo ważną rolę w procesach mineralizacji materii organicznej i humifikacji. Część ma również istotny wpływ na kształtowanie warunków fizykochemicznych gleby (dżdżownice) poprzez poprawę aeracji, oddziaływanie na wilgotność i strukturę gleby oraz produkcję tzw. kopolitów, czyli gleby, która przeszła przez przewód pokarmowy dżdżownicy i została wydalona. Kopolity bardzo wzbogacają glebę w związki łatwo przyswajalne przez rośliny. Podobną rolę pełnią wazonkowce (pierścienice znacznie mniejsze niż

dżdżownice, ale za to dużo liczniejsze). Obie te grupy zwierząt uczestniczą przede wszystkim w procesach mineralizacji materii organicznej, a właściwie we wstępnej jej fazie polegającej na przygotowaniu substratu (rozdrobieniu martwych tkanek roślinnych) dla mikroorganizmów glebowych (bakterie i grzyby) odpowiedzialnych za mineralizację. Do tej grupy zwierząt glebowych zaliczyć należy również wiele gatunków stawonogów, głównie owadów, a właściwie ich saprofagicznych larw żyjących w glebie. Jest to największa grupa funkcjonalna wśród owadów i należą do niej głównie gatunki z rzędu muchówek oraz chrząszczy. Niektóre osiągają bardzo duże zagęszczenia, nawet do kilkuset osobników na metr kwadratowy, przez co mogą istotnie wpływać na jakość gleby i produkcję humusu.

Krajobraz mozaikowy sprzyja również występowaniu gatunków roślin i zwierząt rzadkich, często ginących, umieszczanych na specjalnie tworzonych listach gatunków objętych ochroną i w tzw. czerwonych księgach roślin, grzybów i zwierząt. W okolicach Turwi stwierdzono ich już kilkadziesiąt i wciąż odkrywa się nowe. Ich obecność pośrednio również potwierdza unikatowość tego krajobrazu, a część z nich może egzystować tylko dzięki istnieniu w nim odpowiednich środowisk ostojowych. Na przykład wieloletnie zadrzewienia (jeszcze z czasów Chłapowskiego), a także stare parki dworskie ofitują w wiekowe drzewa, często dziuplaste, obumierające lub martwe, bez których nie mogłyby istnieć całe rzesze gatunków owadów, niektóre nietoperze i wiele ptaków. Wśród owadów wyróżnia się jeden z największych naszych gatunków chrząszczy – kozioróg dębosz (*Cerambyx cerdo*), objęty ścisłą ochroną, a żyjący w obumierających starych dębach, w których jego larwy drążą chodniki. Kozioróg dębosz, podobnie jak inny bardzo rzadki i chroniony gatunek – pachnica dębowa (*Osmoderma eremita*) występowały w dużym, starym parku w Turwi (ostatnie obserwacje w latach siedemdziesiątych XX wieku) i prawdopodobnie są tam i dzisiaj. Ze starymi drzewami, wewnątrz próchnięjącymi, związanych jest również wiele innych gatunków, głównie chrabąszczowatych, a także ciołek (*Dorcus parallelipedus*) i duża kózka – dyląg garbarz (*Prionus coriarius*). Ich dziuple wykorzystywane są też często przez szerszenie i osy, które zakładają tam gniazda, a bez os nie może istnieć skrajnie rzadki chrząszcz sąsiad dziwaczek (*Metoecus paradoxus*), którego larwy wiodą pasożytniczy tryb życia właśnie w gniazdach os. Można go spotkać w zadrzewieniach śródpolnych w okolicy Turwi. Występuje w nich również, i to dość licznie, duża błonkówka z rodziny trzpiennikowatych (*Tremex magus*), której larwy żerują w obumierających pniach brzoź. Gatunek ten jest nowością w faunie Polski i jak dotąd nie stwierdzono go w innych częściach kraju. Do rodziny chrabąszczowatych należy koprofagiczny, duży chrząszcz bycznik (*Typhaeus typhoeus*), który zakłada komory lęgowe w ziemi na głębokości aż 1,5 m. Rozwijają się tam larwy na przygotowanym specjalnie pokarmie składającym się z odchodów określonych gatunków ssaków, w tym przypadku głównie dzikiego królika (*Oryctolagus cuniculus*), podobnie jak czynią to powszechnie znane skara-beusze. Gatunek ten jest ściśle związany z królikiem i tylko tam, gdzie jest królik, może egzystować. Między innymi z tego powodu, a także z uwagi na to, że przez Polskę przebiega wschodnia granica jego zasięgu, jest bardzo rzadki i uważany za zagrożony. W okolicach Turwi występuje dość licznie. Związane z urozmaiconym drzewostanem zadrzewień i niewielkich lasków i parków są również rzadko spotykane niektóre gatunki pięknie ubarwionych bogatków (np. bogatek lipowy – *Lampria rutilans*). Występują również owady (i nie tylko) na tyle plastyczne, że potrafiły się przystosować i wykorzystać warunki zmienione przez człowieka. Doskonałym przykładem jest, do niedawna rzadki, okazały chrząszcz rohatyniec nosorożec (*Oryctes nasicornis*), który niegdyś zamieszkiwał wyłącznie lasy, wykorzystując jako pokarm próchno starych drzew. Obecnie stał się dość pospolitym gatunkiem w krajobrazie rolniczym, gdzie do rozwoju wykorzystuje przyzmy kiszonek i zalegające na polach czasem kilka sezonów stogi tworzone ostatnio ze słomy prasowanej w tzw. baloty. Nastąpiła tu dość znaczna zmiana preferencji pokarmowej i o liczebności tego gatunku decyduje głównie czas, w jakim kiszonki i stogi są pozostawiane przez rolników na polach. Innym gatunkiem owada związanym z aktywnością człowieka w środowisku, a konkretnie zabudową wiejską, jest obecnie bardzo rzadka pszczoła samotnica – murarka (*Anthophora plagiata*). Pierwotnie budowała ona gniazda opatrzone charakterystyczną rurką zgiętą na kształt fajki w ścianach gliniastych i lessowych wawozów (występuje tam i dzisiaj). Tam, gdzie rozpowszechniło się budownictwo wiejskie oparte na ścianach o konstrukcji szachulcowej wypełnianej gliną (np. Wielkopolska), ściany te zostały zaadoptowane przez tę pszczołę jako doskonałe miejsce do budowy gniazd. Obecnie niemal wcale nie spotyka się już takich budynków, murarka stała się więc rzadkością w większości regionów.

Wiele rzadkich gatunków związanych jest ze środowiskiem drobnych zbiorników wodnych. Są one ważnym elementem mozaiki krajobrazowej. To przede wszystkim niektóre ważki, jętki, chrząszcze, pluskwiaki, muchówki, a nawet motyle (istnieje kilka gatunków motyli, których gąsienice żerują

pod powierzchnią wody wewnątrz łodyg i liści roślin wodnych). Oczka śródpolne to również środowisko, w którym rozwijają się kijanki wszystkich gatunków płazów. Mimo że od dłuższego czasu obserwowany jest proces ich ginięcia w skali globalnej, w krajobrazie okolic Turwi są one wciąż liczne, w tym również gatunki uważane w kraju za rzadkie, takie jak na przykład kumak nizinny (*Bombina bombina*), ropucha zielona (*Bufo viridis*) czy rzekotka drzewna (*Hyla arborea*).

Powyższy, krótki przegląd niektórych wyników badań prowadzonych w sposób ciągły przez ponad półwiecze w optymalnym, urozmaiconym krajobrazie rolniczym niezbiecie dowodzi jego wartości dla utrzymania wysokiego poziomu różnorodności biologicznej. Ponadto efektem ekonomicznym jest tańsza produkcja zdrowej żywności, a także jego niebagatelna wartość estetyczna i edukacyjna.

Heterogeniczny krajobraz wiejski jako krajobraz wielofunkcyjny

Poszczególne krajobrazy oraz ich części różnią się przydatnością do pełnienia określonych funkcji na rzecz społeczeństwa. Każda eksploatacja krajobrazu, a szczególnie eksploatacja jednostronna, powoduje zmiany w funkcjonowaniu ekosystemów, co w konsekwencji odbija się – najczęściej negatywnie – na jakości „funkcji usługowych”. Do głównych funkcji usługowych krajobrazu wiejskiego należą (w kolejności alfabetycznej):

- funkcja archiwum i dziedzictwa kulturowego,
- funkcja hydrologiczna,
- funkcja kontroli zanieczyszczeń,
- funkcja łącznikowa,
- funkcja magazynowa,
- funkcja produkcyjna,
- funkcja przestrzeni życiowej człowieka,
- funkcja przestrzeni życiowej roślin i zwierząt,
- funkcja regulacji topoklimatu.

W przypadku obszarów wiejskich o bardzo intensywnej produkcji rolniczej maksymalizuje się tylko jedna funkcja (produkcyjna), co odbywa się kosztem pozostałych i przejawia się m.in. uproszczeniem struktury przestrzennej (czyli powstawaniem pól wielkoobszarowych, zanikiem miedz i siedlisk nieprodukcyjnych), zanieczyszczeniem wód, degradacją i zatruciem gleb, obniżeniem poziomu wody gruntowej, wzmocnieniem erozji, gradacjami szkodników nieograniczanych przez naturalnych wrogów, spadkiem różnorodności biologicznej i innymi zjawiskami, które łącznie określamy jako degradację krajobrazu. Inaczej funkcjonuje tradycyjny, mozaikowy krajobraz wiejski, w którym stosunkowo małe pola są oddzielone miedzami, występują różnego rodzaju łąki oraz liczne, choć drobnopowierzchniowe ekosystemy leśne i zaroślowe oraz tzw. obszary nieprodukcyjne (nieużytki).

Optymalizacja struktury i funkcjonowania krajobrazu

Optymalna struktura przestrzenna krajobrazu użytkowanego przez człowieka powinna zapewnić – obok funkcji produkcyjnych – możliwość występowania gatunków z różnych grup ekologicznych i o odmiennych wymaganiach przestrzennych, umożliwić przemieszczanie się osobników przez krajobraz oraz zachować różnorodność biologiczną i inne zasoby krajobrazowe, w tym przede wszystkim jakość zasobów wodnych. Dla systematycznie użytkowanego i silnie przekształconego krajobrazu rolniczego w klimacie umiarkowanym takie warunki spełnia układ obejmujący:

- a. nieliczne, duże płyty ekosystemów o charakterze zbliżonym do naturalnego,
- b. intensywnie użytkowane i przekształcone tło krajobrazowe (czyli pola uprawne różnej wielkości) poprzecinane odpowiednimi korytarzami ekologicznymi,
- c. niewielkie obszary z roślinnością spontaniczną wzdłuż głównych granic krajobrazowych (topograficznych, hydrograficznych, geologicznych, siedliskowych).

Lokalizacja poszczególnych małych płatów pełniących rolę biocenotyczną powinna być rozpatrywana dwójako:

- a. w skali szczegółowej – na podstawie odpowiednich warunków siedliskowych w danym miejscu,
- b. w skali całego krajobrazu – na podstawie przewidywanej roli zgodnie z kontekstem przestrzennym procesów wielkoskalowych.

Jest to szczególnie ważne w przypadku zachowania zasobów wodnych, gdyż w obrębie zlewni kompozycja krajobrazu decyduje o fizycznych, chemicznych i hydrologicznych właściwościach wód płynących i jezior. Odpowiednio zagospodarowana strefa brzegowa może zmieniać wpływ użytkowania ziemi w zlewni na fizyczne i chemiczne właściwości wód powierzchniowych (RICHLING, SOLON 2011).

W praktyce, przy planowaniu optymalizacji struktury i użytkowania krajobrazu wiejskiego, na plan pierwszy wysuwają się trzy grupy zagadnień:

- a. które typy ekosystemów są przydatne do założenia elementów stabilizujących (zadrzewień i użytków trawiastych) oraz jakie zabiegi pielęgnacyjne są w tym celu niezbędne,
- b. jaka jest przydatność z punktu widzenia stabilności krajobrazu już istniejących elementów,
- c. jakie jest obecne znaczenie ekologiczne poszczególnych elementów i jaką pełnią one rolę w ochronie gleby, ujęć wody pitnej, fauny, flory i rzadkich typów roślinności.

Przede wszystkim należy przeanalizować istniejące elementy strukturalne pod kątem ich przyszłej roli i miejsca w planowanej sieci ekosystemów nierolniczych. Fragmenty zalesione, kępy drzew, zadrzewień, tzw. nieużytki, drobne zbiorniki wodne, istniejące jeszcze miedze i sieć dróg lokalnych powinny być traktowane jako węzłowe elementy, które zostaną z sobą połączone różnego typu zadrzewieniami o charakterze liniowym.

Odpowiednio ukształtowana struktura przestrzenna krajobrazu wiejskiego powinna zawierać – obok użytków rolnych, sieci osadniczej i sieci drogowej – także następujące elementy:

- a. zadrzewienia i zalesienia,
- b. mało- i średniopowierzchniowe ekosystemy o charakterze naturalnym i półnaturalnym,
- c. korytarze ekologiczne, łączące poszczególne nieprodukcyjne elementy krajobrazu,
- d. strefy buforowe, oddzielające poszczególne elementy krajobrazu i chroniące je przed niekorzystnymi oddziaływaniami gospodarki rolnej,
- e. ekotony na granicach między poszczególnymi ekosystemami (również agroekosystemami).

Należy podkreślić, że powyższy podział nie jest w pełni rozłączny; poszczególne obiekty można często zaliczyć do więcej niż jednej z wymienionych kategorii. Liczba i rozmieszczenie wymienionych wyżej elementów krajobrazu powinny być tak dobrane, aby zapewnić mozaikowy (lub pasmowo-mozaikowy) układ krajobrazu przy jednoczesnym zapewnieniu optymalnej ilości i maksymalnej jakości wód w granicach poszczególnych zlewni cząstkowych (tzw. przyjazna dla środowiska gospodarka zlewniowa). Każda wymieniona wyżej grupa elementów przestrzennych pełni w krajobrazie rolniczym specyficzną rolę.

Zadrzewienia i zalesienia są jednym z podstawowych elementów strukturalnych w różnicowaniu, mozaikowym krajobrazie rolniczym. Zasadniczą rolą zadrzewień śródpolnych jest kształtowanie warunków mikroklimatycznych i ograniczanie zanieczyszczeń obszarowych. Również niebagatelną rolę (szczególnie na glebach lekkich) spełniają zadrzewienia poprzez tworzenie barier hamujących erozję wietrzną. Takie zadrzewienia powinny w większości mieć przebieg poprzeczny w stosunku do dominującego kierunku wiatrów i kierunku spływu wód (powierzchniowych), ale przede wszystkim gruntowych. Dzięki temu już w kilka lat po posadzeniu pełnić będą rolę efektywnej bariery przeciwwietrznej, a nieco później, po wykształceniu trwałego systemu korzeniowego, również bardzo ważnej bariery biogeochemicznej. Zarówno w pierwszym, jak i w drugim przypadku efektywność działania zależy od właściwego składu gatunkowego planowanego zadrzewienia, przewiewności i kształtu linii koron drzew, obecności podszytu lub jego braku. Drzewa służą jako bariery antyerozyjne, przeciwwietrzne. Optymalne są zadrzewienia pasmowe, szerokie (kilku lub nawet kilkunastorzędowe) z przewagą gatunków liściastych, przez co uzyskuje się efekt ażurowości o nieregularnej linii koron. Podobne wymagania stawiane są zadrzewieniom mającym pełnić rolę bariery biogeochemicznej, czyli przechwytywać maksymalnie dużo biogenów odpowiedzialnych za eutrofizację wód „uciekających” z pól uprawnych z przesączem glebowym i wodami gruntowymi. Jest ich bardzo dużo z powodu „niedomykania” się cykli krążenia materii w agroekosystemach.

Bogactwo gatunkowe drzew i krzewów tworzących zadrzewienie, a także powstająca w wyniku sukcesji urozmaicona flora w warstwie runa ma ogromne znaczenie dla różnorodności fauny związanej z zadrzewieniami (zimowanie, rozród, pokarm uzupełniający itp.). Zadrzewienia o składzie wielogatunkowym (nawet bardzo młode) mają np. znacznie bogatszą faunę owadów niż stare, dobrze wykształcone zadrzewienia jednogatunkowe. Podstawową funkcją zalesień (niewielkich powierzchni leśnych) jest tworzenie siedlisk dla określonych gatunków roślin i zwierząt. Ponadto odgrywają one niebagatelną rolę w modyfikowaniu warunków topoklimatycznych i hydrologicznych terenu.

Mało- i średniopowierzchniowe ekosystemy o charakterze naturalnym i półnaturalnym obejmują układy traktowane najczęściej jako nieużytki lub też użytkowane ekstensywnie i sporadycznie. Są to między innymi wilgotne łąki (często już ginące w krajobrazie), oczka wodne, zabagnienia, torfowiska, ziołorośla na skraju lasu, szerokie miedze, suche murawy piaskowe, wrzosowiska, suche łąki i zarośla na stromych stokach, i wiele innych. Najczęściej tworzą one izolowane płaty (tzw. wyspy środowiskowe), niemające połączenia z podobnymi powierzchniami. Część z takich powierzchni (obejmujących najczęściej kompleksy zbiorowisk) jest rzadka w całej Polsce lub w poszczególnych regionach, przy czym niektóre z nich powinny być chronione na mocy przepisów o ochronie przyrody. Ich obecność w krajobrazie wiejskim bardzo podnosi różnorodność krajobrazu oraz bogactwo gatunkowe roślin i zwierząt.

Korytarze ekologiczne są elementami struktury krajobrazu istotnymi dla utrzymania bogactwa biologicznego, gdyż wiążą z sobą różne, w mniejszym lub większym stopniu izolowane, ekosystemy tworzące tzw. wyspy środowiskowe. Dzięki możliwości przemieszczania się osobników należących do populacji zasiedlających poszczególne wyspy zwiększa się trwałość występowania wielu gatunków, w tym gatunków rzadkich i zagrożonych. Korytarze ekologiczne powinny mieć ten sam charakter co łączone przez nie środowiska. Tak więc pas zadrzewień śródpolnych może przebiegać pomiędzy dwoma kompleksami leśnymi, a dla zbiorników wodnych łącznikiem będzie ciek w postaci kanału czy rowu melioracyjnego.

Strefy buforowe i bariery biogeochemiczne są niezbędne dla ochrony wód zlewni przed zanieczyszczeniami obszarowymi. Najczęściej system barier biogeochemicznych jest tworzony w postaci zadrzewień śródpolnych, środowisk trawiastych (pasma łąk) i szuwarowych wzdłuż drobnych cieków i rowów melioracyjnych. Strefy buforowe są doskonałą formą ochrony wszelkich środowisk trwałych, półnaturalnych, w miarę gęsto rozsianych w dobrze zorganizowanym krajobrazie. Powinny one przylegać do wszystkich takich ekosystemów, oddzielając je od gruntów uprawnych i stanowiąc barierę głównie dla zanieczyszczeń chemicznych generowanych przez intensywne rolnictwo. Jako strefy buforowe w ogólniejszym znaczeniu rozumieć można wszystkie bariery ochraniające ekosystemy przyrodniczo cenne i izolujące je od negatywnych wpływów agrotechnicznych. Mogą to być więc np. również zadrzewienia chroniące zbiorniki wodne.

Ekotony tworzą się na styku dwóch różnych ekosystemów i są zazwyczaj środowiskiem bardzo bogatym, gdzie różnorodność gatunkowa jest większa niż w obu graniczących z sobą ekosystemach. Mają ogromne znaczenie przede wszystkim dla zachowania wysokiej różnorodności biologicznej w krajobrazie. W ekotonie występuje cały szereg gatunków roślin i zwierząt charakterystycznych tylko dla tej strefy. Dla wielu innych gatunków ekoton stanowi barierę, dla innych natomiast najdogodniejsze miejsce dla przetrwania niekorzystnych okresów (np. zimowanie), rozmnażania się lub będące źródłem specyficznego pokarmu. Krajobraz rolniczy dostatecznie nasycony strefami ekotonowymi charakteryzuje się znacznie większym bogactwem i różnorodnością niż krajobraz niezróżnicowany. Jest także bardziej stabilny i odporny na działanie niekorzystnych czynników biotycznych – szkodników i chorób upraw. Wprowadzanie do struktury krajobrazu elementów o charakterze liniowym (zadrzewienia, miedze itp.) wydatnie zwiększa wielkość ekotonów różnego rodzaju (zadrzewienie – pole, zadrzewienie – łąka, łąka – pole, woda – łąd itp.).

Zmiany krajobrazu w czasie

Krajobrazy rolnicze należą do najtrwalszych w naszym kraju. W niektórych regionach znaczne fragmenty granicy leśno-polnej oraz lokalne szlaki komunikacyjne nie uległy zmianie w ciągu ostatnich 400 lat. Mimo tej generalnie trwałej struktury występowały jednak znaczne transformacje krajobrazu rolniczego, wywołane zasadniczo dwiema grupami przyczyn:

- zmianami ludnościowymi w wyniku wojen, epidemii, wysiedleń i innych działań. W rezultacie spadku gęstości zaludnienia na obszarach wiejskich spadał udział pól ornych, a na znacznej części arealu powstawał las (spontanicznie albo w wyniku sztucznych zalesień). Przykłady takich procesów możemy obserwować w Bieszczadach;
- zmianami ekonomicznymi i technicznymi. W ich wyniku w przeszłości zmniejszyło się wykorzystanie pól na glebach lekkich (łatwych do uprawy, ale mało żyznych i dających niskie plony), a stopniowo zwiększało wykorzystanie rolnicze gleb ciężkich, żyznych, ale wymagających bardziej zaawansowanego sprzętu. W wyniku tych procesów w wielu regionach kraju zmieniło się znacznie rozmieszczenie lasów, pól i łąk.

Obecnie podejmuje się nowe działania na rzecz rozwoju krajobrazów rolniczych Europy. Pierwsze to próba zachowania elementów półnaturalnych w krajobrazie rolnictwa intensywnego i tradycyjnego, co wiąże się z ogólną polityką ochrony różnorodności biologicznej i jest realizowane głównie za pomocą programów rolnośrodowiskowych. Celem jest utrzymanie lub odtworzenie mozaiki krajobrazowej. Drugi kierunek to ograniczenie powierzchni zajętej przez bardzo intensywne rolnictwo i minimalizacja szkód środowiskowych. Trzeci kierunek związany jest z propagowaniem tzw. rolnictwa ekologicznego, związanego z dużym nakładem pracy ludzkiej i przy minimalnym nakładzie środków chemicznych. Ostatnia tendencja to zanik gospodarki rolnej (nieopłacalnej) na dużych obszarach i przekształcanie jej w inne formy pokrycia terenu, co w rezultacie prowadzi do powstawania rozproszonej zabudowy albo przeciwnie – wielkopowierzchniowych zalesień. Takie przemiany powodują w konsekwencji uproszczenie struktury przestrzennej krajobrazu, a czasami też do spadku różnorodności biologicznej.

Analiza dotychczasowych trendów w krajobrazach rolniczych Polski, jakie zaszły w ciągu ostatnich 40–50 lat, wskazuje na postępujące wyrównywanie się różnic między małymi jednostkami przestrzennymi w obrębie regionów o mało zróżnicowanych warunkach abiotycznych. Dotyczy to udziałów powierzchniowych poszczególnych form pokrycia terenu, wyrównywanie się wskaźników różnorodności biologicznej i ujednolicania poziomu presji ludzkiej. Jednocześnie obserwuje się współcześnie pogłębianie się różnic między regionami mającymi odmienny potencjał przyrodniczy i ekonomiczny. Przejawia się to m.in. w tym, że w krajobrazach charakteryzujących się wysokimi wskaźnikami wartościami jeszcze wzrastają (m.in. dochód, produkcja, wielkość i liczba gospodarstw, obecność ugorów, pogłowie bydła, udział lasów itp.), a tam, gdzie wskaźniki są niskie, najczęściej obserwuje się powolny wzrost, stagnację albo nawet obniżanie się tych wskaźników. W konsekwencji efektem jest m.in. skontrastowanie struktury przestrzennej (odmienne kierunki zmian różnorodności powierzchniowej, wzrost dominacji określonych form pokrycia terenu) i wyraźna dywergencja rozwojowa prowadząca do powstania odrębnych regionów o przewadze określonych struktur i procesów rolniczych (RICHLING, SOLON 2011).

Literatura

- BAŁAZY S., BARANIAK E. (1985): Bibliografia Wielkopolskiego Parku Narodowego do roku 1982. Parki Narod. Rez. Przyr. 5 (2): 4-97.
- RICHLING A., SOLON J. (2011): Ekologia krajobrazu. Ss. 464. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa.
- RYSZKOWSKI L., BAŁAZY S. (1991): Strategia ochrony żywych zasobów przyrody w Polsce. Ss. 93. ZBŚRIL PAN, Poznań.
- RYSZKOWSKI L., BAŁAZY S. (1998): Kształtowanie środowiska rolniczego na przykładzie Parku Krajobrazowego im. gen. D. Chłapowskiego. Ss. 157. Poznań.
- TRYJANOWSKI P., KARG M. K., KARG J. (2003): Food of the Red-backed Shrike *Lanius collurio*: a comparison of three methods of diet analysis. Acta Ornithol. 38 (1): 59-64.

Polecana literatura dodatkowa

- CHŁAPOWSKI D. A. (1852): O rolnictwie. Wyd. J. K. Żupański; dostępny na stronie Wielkopolskiej Biblioteki Cyfrowej, http://www.wbc.poznan.pl/dlibra/docmetadata?id=44586&from=&dirids=1&ver_id=&lp=86&q1
- FLORKOWSKI H. (1994): Dezydery Chłapowski z Turwi (1788–1879). Generał – rolnik. Ziemiaństwo Wielkopolskie. Kościan.
- KARG J. (2007): Urozmaicony krajobraz rolniczy okolic Turwi: ekologiczne podstawy funkcjonowania i zasady kształtowania. W: S. Bałazy, A. Gmiąt (red.), Ochrona środowiska rolniczego w świetle programów rolno-środowiskowych Unii Europejskiej. S. 40-73. Cz. I. Materiały szkoleniowe. Małopolski Ośrodek Doradztwa Rolniczego w Karniowicach, Zakład Badań Środowiska Rolniczego i Leśnego PAN w Poznaniu, Instytut Nauk o Środowisku Uniwersytetu Jagiellońskiego w Krakowie. Brzesko – Poznań – Turów.

PROJEKT: JAK ZMIENIA SIĘ KRAJOBRAZ?

CELE REALIZACJI PROJEKTU:

- zdefiniowanie pojęcia krajobrazu jako syntezy elementarnych części świata,
- zobrazowanie uczniom problemu zagrożeń krajobrazu wywołanych antropogeniczną działalnością człowieka i potrzeby ochrony oraz kształtowania przestrzeni przyrodniczej zgodnie z zasadą zrównoważonego rozwoju,
- zapoznanie uczniów z komputerowym Systemem Informacji Geograficznej (GIS)*,
- zdobycie umiejętności pracy w terenie z urządzeniem nawigacyjnym GPS.

OPIS ZAGADNIENIA DO REALIZACJI NA LEKCJI I W PROJEKCIE

Intensywne i często niekontrolowane zagospodarowywanie przestrzeni życiowej człowieka przyczynia się do zmian w otaczającym nas krajobrazie. Przekształceniom ulegają obszary o charakterze naturalnym, jak również cenne przyrodniczo obszary rolnictwa tradycyjnego, stare aleje drzew, sady, układy wsi i miasteczek. Prowadzi to do degradacji krajobrazu, a tym samym wszystkich jego komponentów (fauna, flora, grzyby, zbiorniki wodne, łąki, lasy, ukształtowanie terenu, gleby).

MATERIAŁY POMOCNICZE DO REALIZACJI NA LEKCJI I W PROJEKCIE

- urządzenie GPS,
- oprogramowanie Quantum GIS (program darmowy dostępny w Internecie)
- komputery z dostępem do Internetu,
- zdjęcia lotnicze i ortofotomapa badanego terenu,
- archiwalna mapa topograficzna w skali 1 : 10 000 (forma analogowa i zeskanowana),
- dane przestrzenne w formie wektorowej (zabudowa, ciek i zbiorniki wodne, lasy, łąki i pastwiska, sady, zadrzewienia śródpolne, drogi i linie kolejowe, poziomic).

OPIS PROJEKTU

Aby przeciwdziałać negatywnym zmianom w różnorodnych typach krajobrazu, należy odpowiednio go chronić i kształtować, np. czynnie (w terenie), a także planując jego kształtowanie i ochronę poprzez obserwację na mapach i zdjęciach lotniczych oraz satelitarnych. Przydatnym narzędziem w analizach przekształceń krajobrazu wykorzystującym materiały kartograficzne jest System Informacji Geograficznej (GIS). Wykorzystując informacje przestrzenne w postaci elektronicznej (wektorowej), pozwala on na bardzo precyzyjne analizy i porównania, na przykład zmian zagospodarowania terenu w ostatnich 50 latach. Natomiast skojarzone z GIS-em narzędzia nawigacji GPS dają możliwość pozyskiwania informacji o lokalizacji interesujących nas obiektów w terenie i gromadzenia ich w programie komputerowym razem z innymi danymi przestrzennymi.

Wariant podstawowy

Zadanie rozpoczyna się w sali komputerowej wprowadzeniem do podstaw obsługi programu Quantum GIS i zdefiniowaniem pojęcia krajobraz. Następnie uczniowie, wykorzystując powyższe oprogramowanie, otwierają w nim archiwalną mapę topograficzną oraz zdjęcie lotnicze i obserwują stan zalesienia badanego terenu. Kolejnym krokiem jest nałożenie warstw wektorowych, m.in. z lasami, co pozwala na porównanie stanu obecnego z przeszłym.

Znając topografię, uczniowie udają się w teren z urządzeniem GPS. Celem zajęć terenowych jest pozyskanie informacji środowiskowej (inventaryzacja przyrodnicza) o cennych gatunkach roślin (stanowiska roślin chronionych, starych drzew i sadów) oraz miejscach żerowania i bytowania zwierząt (gniazda i dziuple ptaków, mrowiska, wszelkie ślady zwierząt). Zadanie polega na wpisywaniu do urządzenia GPS punktów orientacyjnych (ang. waypoints), czyli miejsc, w których istnieje interesujące nas zjawisko. W ten sposób obiekt taki otrzymuje współrzędne geograficzne, a w komentarzu do niego można opisać jego cechy szczególne, np. grubość pierśnicy drzewa, nazwę gatunku itp.

Po powrocie do pracowni komputerowej uczniowie przenoszą sieć punktów orientacyjnych (minimum 15 punktów) do oprogramowania Quantum GIS, zakładając w nim nową warstwę wektorową, na którą nanoszą punkty orientacyjne i określają na tej podstawie miejsca o większej atrakcyjności krajobrazu.

Wariant rozszerzony

Zadanie rozpoczyna się w sali komputerowej wprowadzeniem do podstaw obsługi programu Quantum GIS i zdefiniowaniem pojęcia krajobraz. Następnie uczniowie, wykorzystując powyższe oprogramowanie, otwierają w nim archiwalną mapę topograficzną oraz zdjęcie lotnicze i obserwują stan zalesienia badanego terenu. Kolejnym krokiem jest nałożenie warstw wektorowych, m.in. z lasami, co pozwala na porównanie stanu obecnego z przeszłym. Uczniowie zakładają nową warstwę wektorową, na której odrysowują kształty powierzchni leśnych z mapy archiwalnej, pozyskując w ten sposób tzw. poligony. Operacja ta pozwala na obliczenie łącznej powierzchni lasów w prze-

złości i porównanie ze stanem obecnym widocznym na dodanej wcześniej do programu warstwie wektorowej z lasami.

Znając topografię terenu, uczniowie udają się tam z urządzeniem GPS. Celem zajęć terenowych jest pozyskanie informacji środowiskowej (inventaryzacja przyrodnicza) o cennych gatunkach roślin (stanowiska roślin chronionych, starych drzew i sadów) oraz miejscach żerowania i bytowania zwierząt (gniazda i dziuple ptaków, mrowiska, wszelkie ślady zwierząt). Zadanie polega na wpisywaniu do urządzenia GPS punktów orientacyjnych (ang. waypoints), czyli miejsc, w których istnieje interesujące nas zjawisko. W ten sposób obiekt taki otrzymuje współrzędne geograficzne, a w komentarzu do niego można opisać jego cechy szczególne, np. grubość pierśnicy drzewa, nazwę gatunku itp.

Po powrocie do pracowni komputerowej uczniowie przenoszą sieć punktów orientacyjnych (minimum 20 punktów) do oprogramowania Quantum GIS, zakładając w nim nową warstwę wektorową, na którą wstawiają punkty orientacyjne i określają na tej podstawie miejsca o większej i mniejszej atrakcyjności krajobrazu. Analiza ta pozwala uczniom wyrysować na nowej warstwie wektorowej powierzchni o najwyższych i najniższych walorach krajobrazu. Oparta jest ona również o pozostałe warstwy wektorowe przygotowane do lekcji (wody, łąki, sady, zabudowa, drogi itp.).

Najważniejsze osiągnięcia – kompetencje ucznia

- uczeń zna pojęcie krajobrazu, jako syntezy elementarnych części Ziemi,
- uczeń rozumie potrzebę ochrony i odpowiedniego zagospodarowania przestrzeni przyrodniczej,
- uczeń potrafi myśleć przestrzennie (analizuje dane przestrzenne składające się z wielu warstw informacyjnych),
- uczeń potrafi korzystać z narzędzi GIS/GPS,
- uczeń rozumie cel odejścia od wykorzystywania papierowych materiałów kartograficznych na rzecz formy cyfrowej.

PROJEKT: ZAPROJEKTUJ ZADRZEWIENIE JAK NAJLEPIEJ CHRONIĄCE RÓŻNORODNOŚĆ BIOLOGICZNĄ I PEŁNIĄCE FUNKCJĘ PRZECIWWIETRZNA**CELE REALIZACJI PROJEKTU**

- zobrazowanie uczniom potrzeby projektowania przestrzeni przyrodniczej wykorzystywanej gospodarczo,
- przedstawienie funkcji zadrzewień w krajobrazie,
- przekazanie uczniom wiedzy na temat budowy pasa zadrzewień (przekrój poprzeczny, skład gatunkowy),
- zapoznanie uczniów z zależnościami środowiskowymi, które należy analizować przy wyborze typów zadrzewień (gleba, ukształtowanie terenu, warunki wodne),
- zapoznanie uczniów z funkcjonującym powszechnie komputerowym Systemem Informacji Geograficznej (GIS),
- zapoznanie uczniów z zasadami doboru gatunków drzew i krzewów do zadrzewień.

OPIS ZAGADNIENIA DO REALIZACJI NA LEKCJI I W PROJEKCIE

Zadrzewienia śródpolne są ważnym elementem krajobrazowym, za pomocą którego możemy wpływać na strukturę i funkcjonowanie przestrzeni, w której żyjemy. Do najważniejszych funkcji zadrzewień należą:

- przeciwwietrzna:
 - osłabienie siły wiatru,
 - przeciwdziałanie wysuszeniu pól,
 - zapobieganie erozji wietrznej i wodnej gleby,
 - zapobieganie wychładzaniu upraw i inwentarza,
 - funkcja wodochronna,
 - wychwytywanie zanieczyszczeń nawozowych,
 - ograniczanie erozji brzegowej;

b. magazynowanie wody:

- spowolnienie spływu wód gruntowych,
- zwiększenie nasiąkliwości gleby,
- ograniczanie parowania,
- zatrzymywanie i spowalnianie topnienia śniegu;

c. ochrona różnorodności biologicznej:

- siedlisko roślin, grzybów i zwierząt,
- ostoja gatunków cennych i pożytecznych,
- korytarze ekologiczne.

Analiza roli zadrzewień w ochronie różnorodności biologicznej

1. Zadrzewienia śródpolne wraz ze swym bogactwem przyrodniczym stanowią swoiste wyspy środowiskowe w monotonnym krajobrazie rolniczym. Może w nich występować nawet kilkanaście razy więcej gatunków ptaków niż na porównywalnych powierzchniach lasu.
2. Zadrzewienia stanowią siedliska (miejsca życia i przebywania) wielu gatunków roślin, grzybów i zwierząt. Niektóre z nich są prawnie chronione, z różnych względów cenne lub zagrożone wyginięciem. Zadrzewienia stanowią ich ostoje.
3. Wiele gatunków owadów i ptaków to sprzymierzeńcy w walce ze szkodnikami upraw. Na przykład w odległości do 10 m od granicy zadrzewienia redukcja stonki ziemniaczanej przez drapieżne owady związane z zadrzewieniami sięga 80%, a w odległości do 50 m do około 65%.
4. Liczne owady związane z zadrzewieniami to owady zapylające rośliny uprawne.
5. Dla ptaków pożytecznych zadrzewienia są miejscem gniazdowania, a z uwagi na obecność krzewów wydających owoce stanowią ptasią stołówkę w okresie zimowym.
6. Sieć zadrzewień pełni funkcję korytarzy ekologicznych – szlaków migracji zwierząt w cyklu sezonowym i dobowym.
7. W czasie niekorzystnych warunków meteorologicznych zadrzewienia stanowią miejsca schronienia (tzw. remizy) dla zwierzyny łownej.
8. Im zadrzewienie zasobniejsze w gatunki drzew i krzewów, tym bogatsze życie biologiczne innych organizmów i większa stabilność krajobrazu rolniczego.

Analiza przeciwwietrznej roli zadrzewień

1. Osłabianie siły wiatru przez zadrzewienia przeciwdziała wysuszeniu – erozji wietrznej i wodnej gleb. W czasie bezśnieżnych zim, a jeszcze częściej podczas upalnej i suchej pogody, na glebach lżejszych i pozbawionych okrywy roślinnej silne uderzenia wiatru powodują wybijanie i wywiewanie najdrobniejszych, mineralnych i organicznych frakcji gleby. Zjawisko to określamy mianem erozji wietrznej gleb. Erozja wietrzna i intensyfikacja upraw prowadzą do degradacji struktury gruzełkowatej, decydującej o nasiąkliwości gleby.
2. Osłabienie siły wiatru przez zadrzewienia przeciwdziała wyleganiu upraw.
3. Zadrzewienia chronią uprawy i inwentarz oraz przebywających w terenie ludzi przed wychładzającym działaniem wiatru.
4. Zadrzewienia na krawędziach i skarpach stoków uniemożliwiają zsuwanie się zimnych mas powietrza, zapobiegając powstawaniu zastoisk mrozowych w obniżeniach terenu.
5. Zadrzewienia przyzagrodowe chronią budynki przed mechanicznym i wychładzającym działaniem wiatru.
6. Zadrzewienia ograniczają rozprzestrzenianie się wraz z wiatrem odorów emitowanych przez gospodarstwa zajmujące się intensywnym chowem trzody chlewnej czy drobiu.
7. Działanie wiatrochronne zależy od wysokości zadrzewienia, a jego zasięg mierzy się wielokrotnością wysokości drzew.
8. W przypadku zadrzewienia jednorzędowego, od strony zawietrznej, w odległości zbliżonej do ośmiu wysokości, energia wiatru jest zredukowana do poziomu 50, a nawet 25%, a w odległości do 13 wysokości redukcja siły wiatru sięga 50–70%.
9. Ochrona przeciwwietrzna przestaje działać w odległości przekraczającej dwudziestu wysokości zadrzewienia.
10. Od strony nawietrznej, w odległości zbliżonej do pięciu wysokości, redukcja siły wiatru wynosi do 25–50%.

11. Znaczenie wiatrochronne zadrzewień wzrasta, jeżeli sadi się je na wzniesieniach terenu.
12. W miarę możliwości, pasma zadrzewień wiatrochronnych powinny być sadzone prostopadłe do dominujących kierunków wiatrów.
13. W obrębie pasów przeciwwietrznych poszczególne gatunki powinny być sadzone w zależności od siły wzrostu oraz kierunku dominujących wiatrów.

Planując sadzenie zadrzewień, należy wziąć pod uwagę następujące warunki środowiskowe:

- rodzaj gleby (żywność i wilgotność),
- dominujący kierunek wiatru,
- sąsiedztwo planowanych nasadzeń (użytki rolne i infrastruktura).

Dobór gatunków do zadrzewień powinien spełnić następujące kryteria:

- dostosowanie gatunków do danych warunków środowiskowych,
- użycie gatunków rodzimych.

MATERIAŁY POMOCNICZE DO REALIZACJI NA LEKCJI I W PROJEKCIE

- urządzenie GPS,
- oprogramowanie Quantum GIS (program darmowy dostępny w Internecie),
- komputery z dostępem do Internetu,
- zdjęcia lotnicze i ortofotomapa badanego terenu,
- archiwalna mapa topograficzna w skali 1 : 10 000 (forma analogowa i zeskanowana),
- dane przestrzenne w formie wektorowej (zabudowa, ciek i zbiorniki wodne, lasy, łąki i pastwiska, sady, zadrzewienia śródpolne, drogi i linie kolejowe, poziomic),
- materiały kartograficzne: <http://www.codgik.gov.pl/>.

OPIS PROJEKTU

1. Wybór terenu badań i jego analiza.
2. Wybór lokalizacji nowego nasadzenia bądź istniejącego zadrzewienia planowanego do uzupełnień. Podstawowym zadaniem jest analiza możliwości wykorzystania istniejących elementów topograficznych. W przypadku praktycznego sadzenia wskazane są konsultacje w urzędzie gminy (kwestie przebiegu granic i własności działek geodezyjnych).
3. Określenie, jakie funkcje ma pełnić istniejące, planowane do uzupełnienia lub projektowane zadrzewienie. Ważne jest np. jego położenie względem dominującego kierunku wiatrów.
4. Określenie warunków siedliskowych na podstawie użytkowania w obrębie bezpośrednio sąsiadujących działek. Podstawowe rodzaje użytkowania to:
 - grunty orne,
 - łąki i pastwiska, brzegi zbiorników wodnych oraz cieków, względnie terenów podmokłych,
 - żwirownie, miejsca nieurodzajne (suche i piaszczyste).
5. Zalecany dobór rodzimych gatunków drzew do nasadzeń w zależności od siedliska:
 - a. grunty orne: lipa drobnolistna (*Tilia cordata*), dąb szypułkowy (*Quercus robur*), klon jawor (*Acer pseudoplatanus*), klon zwyczajny (*Acer platanoides*), jarzab zwyczajny – jarzębina (*Sorbus aucuparia*), jarzab szwedzki (*Sorbus intermedia*), grusza polna (*Pyrus communis*), stare odmiany drzew owocowych (np. jabłonie, czereśnie). Spośród krzewów zaleca się dziką różę (*Rosa canina*), śliwę tarninę (*Prunus spinosa*), kruszynę pospolitą (*Frangula alnina*), trzmielinę zwyczajną (*Euonymus europaeus*), głóg jednoszyjkowy (*Crataegus monogyna*), szakłak zwyczajny (*Rhamnus cathartica*) i leszczynę pospolitą (*Coryllus avellana*);
 - b. łąki i pastwiska, brzegi zbiorników wodnych oraz cieków, względnie terenów podmokłych: wierzba biała (*Salix alba*) i krucha (*Salix fragilis*) – w tym nasadzenia z tzw. żywokołów, olsza czarna (*Alnus glutinosa*), jesion wyniosły (*Fraxinus excelsior*). Spośród krzewów zaleca się dziki bez czarny (*Sambucus nigra*), wierzbę szarą (*Salix cinerea*), trzmielinę zwyczajną (*Euonymus europaeus*), kruszynę pospolitą (*Frangula arnus*) i czeremchę zwyczajną (*Padus avium*);
 - c. żwirownie, miejsca nieurodzajne (suche i piaszczyste): brzoza brodawkowata (*Betula pendula*), sosna zwyczajna (*Pinus sylvestris*), dąb bezszypułkowy (*Quercus petraea*), grusza po-

Ina, wierzba iwa (*Salix caprea*). Spośród krzewów zaleca się głóg dwuszyjkowy (*Crataegus laevigata*), dziką różę (*Rosa canina*) i kruszynę pospolitą (*Frangula arnus*).

6. Zasady sadzenia:
 - a. Rozmieszczenie – od strony nawietrznej (i generalnie od zewnętrznej strony) w zadrzewieniach pasowych i powierzchniowych pierwszy rząd stanowią krzewy, drugi rząd to duże drzewy (np. głóg czy leszczyna) i małe drzewa (np. jarzębina). W kolejnych rzędach powinny być sadzone wysokie drzewa.
 - b. Rozstawa – w alejach rozstawa drzew co 10 m, w zadrzewieniach pasowych i powierzchniowych rozstawa w rzędach co 2,5–5 m, rozstawa między rzędami – co 2 m (po zwarciu się korony drzewa będą przycinane (przerzedzane).
7. Zasady zabezpieczenia sadzonek:
 - a. W przypadku zadrzewień pasowych i powierzchniowych należy zaprojektować ogrodzenie całości siatką leśną, przy rozmieszczeniu słupków co 5 m.
 - b. W przypadku nasadzeń liniowych należy zaprojektować użycie palików i osłonek indywidualnych – spirali ażurowych lub siatek, względnie rękawów siatkowych oraz taśmy mocującej drzewko do palika.
 - c. Wokół szyjki korzeniowej należy uformować misę do podlewania.

Wariant podstawowy

Uczniowie projektują jeden pas, aleję albo jedno zadrzewienie liniowe. Z użyciem GIS dokonują pomiarów i na tej podstawie obliczają zapotrzebowanie na liczbę sadzonek. Po wstępnym rozpoznaniu kartograficznym i w GIS udają się w teren (1–2 godziny lekcyjne). W terenie sporządzają dokumentację opisową i fotograficzną, weryfikują ustalenia kartograficzne i pochodzące z GIS. Określają warunki siedliskowe (jak w p. 4. opisu projektu). Wstępnie ustalają dobór gatunków do sadzenia. Efektem projektu w wariantcie podstawowym jest sporządzenie projektu nasadzeń. Projekt taki obejmował będzie:

- a. opis lokalizacji,
- b. opis warunków siedliskowych,
- c. opis ewentualnych istniejących elementów dendroflory (gatunki drzew i krzewów),
- d. rysunek prezentujący rozplanowanie sadzonek,
- e. wykaz gatunków i zapotrzebowanie ilościowe na sadzonki i elementy zabezpieczające (paliki osłonki, słupki siatka itp.).

W zależności od czasu przeznaczanego na realizację projektu, można go zrealizować w zmniejszonym zakresie, np. od a. do c. albo od a. do d.

Wariant rozszerzony

Uczniowie realizują projekt jak w wariantcie podstawowym, lecz projektują co najmniej pięć pasów zadrzewień oraz w miarę możliwości poszerzają działania o praktyczną realizację nasadzenia. W tym wariantcie konieczny jest kontakt z władzami samorządowymi w celu uzgodnienia kwestii własności działek, na których realizowane będzie nasadzenie oraz czy nie będzie ono kolidować z planowanymi inwestycjami, np. remontem drogi czy budową sieci wodociągowej/kanalizacyjnej itp. Zaleca się tworzenie podzespołów roboczych.

Najważniejsze osiągnięcia – kompetencje ucznia

- a. Uczeń rozumie potrzebę odpowiedniego zagospodarowania przestrzeni przyrodniczej poprzez jej uzasadnione zaprojektowanie.
- b. Uczeń zna budowę i typy pasów zadrzewień jako form zwiększających wartość krajobrazową przestrzeni przyrodniczej.
- c. Uczeń potrafi myśleć przestrzennie (analizuje dane przestrzenne składające się z wielu warstw informacyjnych).
- d. Uczeń rozumie cel odejścia od wykorzystywania papierowych materiałów kartograficznych na rzecz formy cyfrowej.

- e. Uczeń potrafi dobrać gatunki do zadrzewień i wyliczyć zapotrzebowanie na materiał nasadzeniowy.
- f. Uczeń zna podstawowe zasady projektowania zadrzewień chroniących różnorodność biologiczną oraz pełniących funkcje przeciwwietrzne.

Literatura

GOLIS A., SZYSZKIEWICZ-GOLIS M. (2012): Zadrzewienia śródpolne. Aleje i tradycyjne sady. Broszura dla rolników, Wyd. 23 str., dostępna na stronie: <http://www.ekologia-krajobrazu.pl/> oraz <http://www.zpkww.pl/download/138.pdf>.

PROJEKT: TWORZENIE SIĘ NOWEGO EKOSYSTEMU WODNEGO NA PRZYKŁADZIE ZBIORNIKA RYDZYNA. MAŁA RETENCJA WODNA W KRAJOBRAZIE ROLNICZYM*

CELE REALIZACJI PROJEKTU

- zapoznanie uczniów z wybranymi elementami Ramowej Dyrektywy Wodnej,
- uświadomienie uczniom roli drobnych zbiorników wodnych oraz małej retencji* w krajobrazie,
- budowanie świadomości ekologicznej młodzieży poprzez zwrócenie uwagi na problem zanieczyszczenia bezpośredniego otoczenia zbiornika w związku z nieuregulowaną gospodarkę odpadami,
- zapoznanie uczniów z podstawowymi parametrami fizykochemicznymi wody oraz metodami ich oceny,
- przeprowadzanie w ramach ćwiczeń terenowych pomiarów istotnych parametrów fizykochemicznych wody w badanych ekosystemach wodnych,
- wyjaśnienie istoty sukcesji roślinności wodnej w nowym zbiorniku wodnym oraz jej obserwacja i archiwizacja.

OPIS ZAGADNIENIA DO REALIZACJI NA LEKCJI I W PROJEKCIE

Projekt dotyczy przekazania uczniom wiedzy teoretycznej i umiejętności praktycznych dotyczących zjawisk i procesów jakie toczą się w nowo utworzonym zbiorniku wodnym Rydzyna. Istotnym celem lekcji będzie nabycie umiejętności przeprowadzania badań terenowych, wnioskowania i opracowania wyników.

MATERIAŁY GRAFICZNE DO REALIZACJI NA LEKCJI I W PROJEKCIE

Mapy i zdjęcia przedstawiające zbiornik wodny Rydzyna oraz najbliższe cieki. Protokoły z pomiarów.

MATERIAŁY POMOCNICZE DO REALIZACJI TEMATU NA LEKCJI I W PROJEKCIE

Literatura

KŁOSOWSKI S., KŁOSOWSKI G. (2001): Flora Polski. Rośliny wodne i bagienne. MULTICO Oficyna Wydawnicza, Warszawa.
 STAŃCZYKOWSKA A. (1997): Ekologia naszych wód. Wydawnictwa Szkolne i Pedagogiczne, Warszawa.

Strona internetowa

<http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=DD:15:05:32000L0060:PL:PDF>

OPIS PROJEKTU

Problem badawczy

Jak utworzenie nowego zbiornika retencyjnego wpływa na lokalny krajobraz?

Małą retencję można określić jako zadanie mające na celu wydłużenie czasu obiegu wody poprzez zwiększenie zdolności do zatrzymywania wód opadowych (spowolnienie odpływu), zatrzymywanie zanieczyszczeń oraz ograniczenie strat energii wody i ruchu rumowiska.

Z punktu widzenia ekologii krajobrazu ważne jest, aby jak najwięcej wody zatrzymać i to na jak najdłuższy czas, czemu właśnie służą małe, lokalne zbiorniki retencyjne. Utworzenie nowego zbiornika wodnego na cieku niesie za sobą wiele zmian w krajobrazie. Powstaje nowy element ekosystemu wodnego, zupełnie odmienny od cieku macierzystego, na którym został utworzony. Zmieniają się warunki termiczno-tlenowe, tworzą się nowe siedliska umożliwiające wzrost bioróżnorodności w krajobrazie. Istotnie zmienia się poziom pierwiastków biogennych*. Ważny jest też aspekt antropopresji na tego typu zbiorniki, szczególnie te położone w pobliżu większych miast. Powstaje zabudowa mieszkaniowa, często o nieuregulowanej gospodarce ściekowej.

Projekt zakłada zainteresowanie uczniów nowo powstałym ekosystemem wodnym „Zbiornik Rydzyna”. Po wprowadzeniu teoretycznym uczniowie będą prowadzić obserwacje i badania na różnych elementach zbiornika, a także analizować uzyskane wyniki i wyciągać z nich wnioski. Z uwagi na specyfikę oraz tempo zmian w nowo utworzonych zbiornikach wodnych, projekt powinien być kontynuowany przez kilka lat, a wyniki uzyskane przez uczniów w jednym roku będą cennym materiałem dla następnych roczników uczniów kontynuujących badania. Po kilku latach badań taki tok postępowania wskaże, w jakim kierunku postępują zmiany w badanym ekosystemie wodnym.

Wariant podstawowy

Zadanie 1. Część teoretyczna, 2–3 godziny lekcyjne.

Zapoznanie uczniów z podstawowymi terminami związanymi z ekologią krajobrazu i ekosystemem wodnym. Korzystając z dostępnych źródeł, uczniowie opisują takie terminy jak sukcesja*, ekosystem, biotop*, biocenoza*.

Omówienie podstawowych wskaźników określających jakość wody oraz metod ich analizy.

Wyjaśnienie uczniom istoty i celu retencji wody oraz jakie korzyści niesie ona w krajobrazie. Uczniowie korzystając z dostępnych źródeł wyszukują istniejące zbiorniki retencyjne w Polsce.

Zadanie 2. Czas realizacji: 2–3 godziny lekcyjne, jeden raz w miesiącu (w zależności od warunków atmosferycznych, ale należy starać się, aby przerwy między badaniami były w miarę równe).

Pobór prób wody z wyznaczonych miejsc. Uczniowie za pomocą zestawu testów kolorymetrycznych dokonują pomiaru takich wskaźników, jak: azotany, azotyny, amoniak, fosforany i twardość wody.

Następnie grupa wykonuje pomiar tlenu rozpuszczonego, temperatury, przewodności elektrolitycznej właściwej oraz odczynu wody za pomocą cyfrowych mierników

Wyniki wykonanych pomiarów uczniowie wpisują do właściwego formularza.

Zadanie 3. Czas realizacji: 2–4 godzin, dwa razy w roku (czerwiec i wrzesień)

Podczas badań terenowych zbiornika Rydzyna uczniowie kartują roślinność wynurzoną i nanoszą wyniki na mapę. W przypadku niewielkich zbiorowisk roślinności dla dokładnego pozycjonowania można posłużyć się odbiornikiem GPS. Zadanie to wymagało będzie obejrzenia całego zbiornika wzdłuż linii brzegowej.

Zadanie 4. Wykonywane podczas realizacji zadania 3

Obserwacja zmian zachodzących w bezpośrednim otoczeniu zbiornika. Uczniowie nanoszą na mapę zbiornika i otoczenia wszelkie negatywne i pozytywne przejawy działalności człowieka (dzikie składowiska śmieci, ale też nowe kosze na śmieci, elementy małej architektury, zagospodarowane miejsca rekreacji, pomosty itp.). Wskazane byłoby też zaznaczanie na mapie roślinności rozwijającej się na brzegach zbiornika (drzewa, krzewy).

Zadanie 5. Analiza wyników uzyskanych podczas badań i obserwacji w ciągu roku szkolnego. Na podstawie zebranych materiałów uczniowie przygotowują raport z badań. Za pomocą arkusza kalkulacyjnego uczniowie wykonują wykresy, na których na osi czasu naniesione będą wyniki analiz wskaźników fizykochemicznych wody. Dzięki sukcesywnemu zebraniu tych danych, następne roczniki uczniów będą mogły poszerzyć obserwacje i określić, w jakim kierunku postępują zmiany w badanym zbiorniku wodnym.

Wariant rozszerzony

Wariant 2 zawiera wszystkie elementy wariantu 1 rozszerzone o następujące zadania:

1. Uczniowie oznaczają skład gatunkowy roślinności zasiedlającej zbiornik Rydzyna (w czasie wykonywania zadania 3).
2. Inwentaryzacja i pozycjonowanie za pomocą odbiornika GPS nowych rozcięć erozyjnych wokół zbiornika (dla uczniów chętnych, po większych opadach deszczu).
3. Obserwacja ptaków przylatujących w okolice zbiornika Rydzyna, a w późniejszym czasie liczenie gniazd oraz nanoszenie ich na mapę.
4. Podczas opracowywania wyników (zadanie 5), uczniowie bardziej zainteresowani, korzystając z arkusza kalkulacyjnego, obliczają współczynnik korelacji pomiędzy wybranymi wskaźnikami fizyko – chemicznymi wody.

Zastosowane metody badawcze

1. Metodyka badań

Badania prowadzone będą w następujących obszarach:

- ocena parametrów fizykochemicznych wody na podstawie gotowych testów kolorymetrycznych za pomocą mierników cyfrowych,
- ocena stopnia sukcesji roślinności wodnej w badanym zbiorniku. Wyniki uzyskane zostaną z obserwacji terenowych, a następnie pojawiające się płyty roślinności wodnej zostaną naniesione na mapę. Zasiedlanie nowego zbiornika wodnego przez rośliny to proces wieloletni, dlatego wskazana jest kontynuacja projektu przez co najmniej kilka lat,
- obserwacja zmieniającego się otoczenia zbiornika, śledzenie presji człowieka, notowanie sprostżeń, wyciąganie wniosków.

2. Wybór obszaru badań – stanowisk pomiarowych

Terenem badań będzie nowo powstały zbiornik retencyjny Rydzyna. Jest to zbiornik zaporowy utworzony na miejscowym cieku niedaleko Leszna.

Stanowiska poboru prób do analizy fizykochemicznej wody usytuowane będą w następujących miejscach :

- stanowisko na cieku przed wpływem do zbiornika lub za jazem wpustowym,
- stanowisko w zbiorniku Rydzyna,
- stanowisko na cieku wypływającym ze zbiornika lub przed jazem wypustowym.

Głównym celem badań będzie obserwacja stopniowego zasiedlania zbiornika przez zbiorowiska roślinności wynurzanej. Obserwowana będzie cała linia brzegowa zbiornika oraz jego otoczenie.

3. Wymagany sprzęt pomiarowy

- Zestaw walizkowy – testy kolorymetryczne umożliwiające pomiar takich parametrów, jak: jony azotanowe NO_3 (0–80 mg/l), jony amonowe NH_4 (0,05–10,0 mg/l), jony azotynowe NO_2 (0,02–1,0 mg/l), jony fosforanowe PO_4 (0–6,0 mg/l). Służy do szybkiego pomiaru jakości wody; przeznaczony jest do celów edukacyjnych, szczególnie przydaje się do zajęć z biologii i ochrony środowiska. W zestawie znajdują się odczynniki do pomiaru poszczególnych związków, próbówki do wykonywania testów oraz strzykawka do pobierania prób wody; zbadane próbki porównuje się z wzorami barw w tabeli dołączonej do zestawu; jeden zestaw odczynników wystarcza na około 50 prób. Po wyczerpaniu się odczynników, jest możliwość dokupienia zestawu uzupełniającego AQ+.
- Tester pozwalający na przeprowadzenie czterech różnych pomiarów: pH, temperatury i dwóch różnych wartości konduktywności (EC i TDS).
- Tlenomierz. Prosty, niedrogi miernik tlenu rozpuszczonego [mg O_2 /l] z możliwością odczytu procentu nasycenia wody tlenem.

4. Najlepszy okres do wykonywania badań

Badania fizykochemiczne wody oraz obserwacje zmian w otoczeniu zbiornika mogą się odbywać przez cały rok. Podczas pobierania prób wody spod pokrywy lodowej w zimie należy zachować szczególną ostrożność!

Obserwacja roślinności powinna odbywać się w okresie wegetacji. Z uwagi na to, że szczyt

wegetacji przypada na miesiące wakacyjne, badania te prowadzone będą w czerwcu i wrześniu kolejnego roku kalendarzowego.

5. Czas potrzebny do wykonania badań

Z uwagi na tempo zmian w nowym ekosystemie wodnym badania powinny być prowadzone przez co najmniej kilka lat. Dane przekazywane uczniom przez kolegów ze starszych roczników stanowiąc będą cenną podstawę porównań i analiz statystycznych.

Zastosowana technologia informacyjna

Arkusz kalkulacyjny MS Excel

Najważniejsze osiągnięcia – kompetencje ucznia

- a. Wiedza
 - poznanie i zrozumienie podstawowych zależności, jakimi rządzi się ekosystem wodny
- b. Umiejętności
 - umiejętność badania podstawowych parametrów fizykochemicznych wody, obsługa cyfrowych przyrządów pomiarowych i szybkich, terenowych testów kolorymetrycznych
 - umiejętność korzystania ze źródeł literaturowych
 - umiejętność obserwacji terenowych, praca z mapą
- c. Postawa
 - zrozumienie znaczenia małej retencji wodnej w ekologii krajobrazu.

MATERIAŁY DODATKOWE

prof. dr hab. Maciej Pietrzak
Laboratorium Ekologii Krajobrazu
Państwowa Wyższa Szkoła Zawodowa im. J. A. Komeńskiego, Leszno

Wprowadzenie do ekologii krajobrazu – istota krajobrazu i rozwój badań

Krajobraz to obiekt, który podziwiamy, malujemy i fotografujemy, w którym pracujemy, mieszkamy i wypoczywamy. Warto więc dowiedzieć się o nim nieco więcej, aby lepiej i rozumniej go wykorzystywać, ale też skuteczniej chronić i kształtować. Nie ulega bowiem wątpliwości, iż człowiek i krajobraz stanowią jedność powiązaną bezpośrednio i pośrednio, a nasz dobrobyt i dobrostan zależą w dużym stopniu od jego jakości i kondycji.

W naukach przyrodniczych krajobraz traktuje się najczęściej jako niezwykle skomplikowany, wielowymiarowy i wielocechowy system składający się z geokomponentów i tworzonych przez nie (krajobrazowych) jednostek przestrzennych, za które tradycyjnie uważa się tak zwane geokompleksy lub – coraz częściej – tkwiące w krajobrazowym tle płaty i korytarze (FORMAN, GODRON, 1986). Jego struktura, funkcjonowanie i zmiany stanowią przedmiot zainteresowania stosunkowo młodej, choć korzeniami tkwiącej w dziewiętnastowiecznym przyrodoznawstwie oraz późniejszych geografii i ekologii, dyscypliny naukowej, określanej współcześnie mianem ekologii krajobrazu. Przyjrzenie się bliżej jej przedmiotowi, zadaniom badawczym i wybranym zastosowaniom warto jednak poprzedzić przypomnieniem istoty „krajobrazu”, pomimo (a może właśnie dlatego) iż termin ten to pojęcie, które – jak pisze STEINHARDT i in. (2005) – każdy zna lub przynajmniej tak mu się wydaje a jego istota jest *często łatwiejsza do objęcia zmysłowo niż pojęciowo* (BOBEK, SCHMITHÜSEN, 1949:119). Właśnie zapewne z tego powodu, choć termin ten ma długą historię, jego stosowanie i interpretacja stwarzają problemy wynikające głównie z faktu, iż zarówno przypisuje mu się znaczenie potoczne, jak i podnosi do rangi terminu naukowego. W pierwszym przypadku krajobraz traktuje się najczęściej jako zewnętrzny wygląd fragmentu powierzchni Ziemi (ujęcie fizjonomiczne „pejzażowe”), w drugim natomiast (jak wspomniano wyżej) – określa jako swoistą, przestrzenną jednostkę strukturalno-materialno-energetyczną, którą ujmować można typologicznie, regionalnie lub traktować jako pojęcie ogólne (ryc. 1a i b). HARD (1970), rozróżniając krajobraz języka i krajobraz geografów pisze, iż najczęściej pojęcie to oznacza: (1) pewną okolicę lub widok, (2) obszar lub rejon czy też (3) wizerunek malarski. Dodatkowe problemy interpretacyjne stwarza jednak coraz częstsze odchodzenie od pierwotnych konotacji pojęcia, co w efekcie sprawia, że zgodzić trzeba się ze stwierdzeniem KNOXA I MARSTONA (2001), iż termin krajobraz *przez każdego jest rozumiany inaczej* oraz wcześniejszą opinią CAROLA (1956) o krajobrazie *jako nierozwiązanym pytaniu geografii*.



Ryc. 1. Widok krajobrazu wysokogórskiego (a – Wysokie Taury, Austria) i młodoglacjalnego (b - Pojezierze Krzywińskie) – fot. autor

W języku polskim termin „krajobraz” (sięgający korzeniami do sanskrytu, gdzie rāya to królestwo) użyty został najprawdopodobniej po raz pierwszy przez Joachima Lelewela (1786–1861) w po-

czątkach XIX wieku w znaczeniu „historia kraju”, zaś spopularyzowany w połowie tegoż wieku przez Wincentego Pola (1807–1872), który nadawał mu przede wszystkim znaczenie fizjonomiczne, bliskie dzisiejszemu potocznemu. Bywa także uważany za pioniera koncepcji krajobrazu dźwiękowego (HARASIMIUK, 2008).



Ryc. 2. a – „Krajobraz zimowy z pułapką na ptaki” – Pieter Bruegel (starszy) (1525–1569), olej, 1565, Wiltshire, Wilton House; b – „Krajobraz z Karkonoszy” – Caspar David Friedrich (1774–1840), olej na płótnie, 1810, Państwowe Muzeum Puszkina w Moskwie

Mniej więcej w tym samym okresie w języku niemieckim pojawiają się całkiem współcześnie brzmiące definicje HUMBOLDTA (1807), według którego krajobraz to *całościowy charakter jakiegoś obszaru (regionu) Ziemi* i ROSENKRANZA (1850), piszącego o krajobrazach jako *hierarchicznie zintegrowanych lokalnych systemach i relatywnych całościach*. HETTNER (1923:49) pod pojęciem tym rozumie *ograniczoną według określonych zasad przestrzeni ziemską ze swym całościowym rzeczowym wypełnieniem lub uosobienie bezpośrednio wyczuwalnego zmysłowo dowolnego kawałka powierzchni ziemi*. Jak podaje SCHMITHÜSEN (1976) najstarszy zapis terminu „krajobraz” w języku niemieckim (*lantscaf – regio, territorium*) znaleźć można w tłumaczeniach tekstów ewangelicznych Hrabanusa Maurusa z Fuldy pochodzących z 830 roku. Warto zauważyć, iż w języku tym przyrostek *-scap (-schaft)* używany bywa do tworzenia rzeczowników posiadających wspólne cechy (np. *die Bruderschaft* – braterstwo, *die Ritterschaft* – rycerstwo). Krajobraz (*die Landschaft*) zatem to w tym sensie *kraina stanowiąca całość ze względu na swoje cechy*. Niekiedy – zwłaszcza w kontekście tzw. krajobrazotwórczej roli człowieka (por. PIETRZAK, 1998) – wywodzi się interesujący nas termin od czasownika *schaffen* (zrobić, stworzyć – *durch Schaffen gestaltetes Land*, HABER, 1996). Istotne jest także to, iż używając terminów *Landschaft* i *Landschaftsbild* na określenie krajobrazu i jego strony fizjonomicznej (NEEF, 1967) język niemiecki unika częściowo wspomnianej we wstępie dwuznaczności pomiędzy „naukowym” a potocznym (głównie fizjonomicznym) sensem terminu. W latach dwudziestych ubiegłego stulecia Siegfried Passarge (1867–1958) wprowadza do literatury pojęcie *Landschaftskunde* – „nauki o krajobrazie” (PASSARGE 1919).

W języku duńskim słowo *landschap* pojawia się w roku 1598, w niderlandzkim – użyte w przewodniku turystycznym Niderlandów Seppa (za ZONNEVELDEM, 1995) – w 1773, a angielskie *landscape* wywodzi się od łacińskiego *landscipi* i wiąże ze słowem *shape* (*scipe* w staroangielskim, *skipi* w starosaksońskim i *skapr* w staronorweskim), a także opiera się na indoeuropejskim *londh* – (krajobraz – kształtowanie krainy, por. INGEGNOLI, 2002). Do języka angielskiego termin zaadoptowany został z języka duńskiego jako pojęcie malarskie szkoły duńskiej i flamandzkiej, używane w XVI i XVII wieku (a także później – ryc. 2a i b) na określenie obrazu przedstawiającego naturalne wnętrze kraju.

W języku tym spotykamy dodatkowo takie określenia jak *sea-*, *town-* a nawet *sky-* czy *cloudscape* (ryc. 3), zaś na gruncie geografii turystyki – termin *vacationscape* (GUNN, 1988).

Z łacińskiego, o sanskryckich korzeniach (*pac*) pagus (wieś, okręg) wyprowadzić można z kolei włoski, francuski, hiszpański i portugalski pejzaż (*paese* → *paesaggio*; *pays* → *paysage*; *pais* → *paisaje*, *païse* → *paisagem*) a dyscyplina, którą się zajmujemy, to odpowiednio: *ecologia del paesaggio*, *écologie du paysage*, *ecologia del paisaje*, *ecologia da paisagem*. Rosyjski *landszaft* natomiast jest kalką językową terminu niemieckiego, a *landszaftowiedienije* synonimem nauki o krajobrazie. Podobnie rzecz ma się w języku ukraińskim i bułgarskim. W języku czeskim i słowackim spotykamy termin *krajina*, a w sło-

weńskim – *pokrajina*. Jak podaje STEINHARDT i in. (2005), w języku japońskim na określenie interesującego nas terminu istnieje wiele wyrazów, takich jak np. *keikann* (widok, sceneria), *kesbou* (piękno krajobrazu) czy *keisbouchi* (krajobraz malowniczy).



Ryc. 3. Townscape (Melbourne, Australia) - fot. Maciej Pietrzak.

Według NAVEHA i LIBERMANN (1984) najstarszy zapis omawianego terminu znajdujemy w Księdze Psalmów (48.2), gdzie w języku hebrajskim brzmi *noff* (co wywodzi się od *yafe* – piękny) a użyty został do opisu pięknego widoku Jerozolimy ze świątynią Salomona, pałacami i zamkami. Warto tu zauważyć, iż takie ujęcie stanowić może dobre przesłanie dla współczesnych działań w zakresie gospodarki krajobrazem, efektem których winien być w tym sensie krajobraz z naturo- i antropocentrycznego punktu widzenia nie tylko właściwie funkcjonujący ale i po prostu... piękny.

W efekcie krajobraz ujmować można (BUWAL, 2001) jako:

- obszar naturalny,
- przestrzeń życiową,
- obszar kulturowy,
- obszar ekonomiczny,
- miejsce doświadczania (przyrody, przygód, rekreacji),
- obszar identyfikacji,
- świadectwo dziejów Ziemi,
- wspólną własność.

W tak szerokim ujęciu krajobraz jest zatem z jednej strony przestrzenią tworzoną przez przyrodę i człowieka (jego fizycznym otoczeniem), z drugiej zaś – rezultatem naszej percepcji (specyficznym artefaktem funkcjonującym w wyobraźni człowieka). Europejska Konwencja Krajobrazowa ujmuje to w definicji mówiącej, iż krajobraz jest obszarem postrzeganym przez ludzi, którego charakter jest rezultatem akcji i interakcji czynników przyrodniczych i/lub ludzkich. Podobnie BERLEANT (1997) określa krajobraz jako wzajemnie powiązany i uwarunkowany związek ludzi i miejsca. Tego typu ujęcie znajduje odbicie w badaniach tzw. percepcji krajobrazu i w szerokim rozumieniu terminu „krajobraz kulturowy”, o których mowa będzie w kolejnym opracowaniu.

Jak rozwijały się zatem tzw. badania krajobrazowe, określane współcześnie jako ekologia krajobrazu?

Zdaniem DRDOŚA (1999) można dokonać ich periodyzacji, wyróżniając:

- etap „tradycyjnej syntezy”,
- etap „końca geografii krajobrazu”,
- etap „posttradycyjnej syntezy” („geograficznej” ekologii krajobrazu),
- etap „ekologicznej” ekologii krajobrazu.

W pierwszym przypadku mamy do czynienia z istnieniem idiograficznej „geografii krajobrazu”, która opierała się o paradygmat „jedności krajobrazu i człowieka w przestrzeni” i była swego rodzaju syntezą geografii (fizycznej i społecznej), a krajobraz jej podstawowym, integrującym pojęciem (DRDOŚ, 1999), uznawanym nie tylko za *właściwe geograficzne pojęcie podstawowe* (HETTNER, 1918:173) ale i takie, do którego przynależność zjawiska *rozstrzyga, czy jest ono przedmiotem geografii* (HETTNER, 1919:12). Stan taki, trwający zdaniem DRDOŚA (1999) do około 1960 roku, mija pod wpływem między innymi tzw. rewolucji ilościowej (BURTON, 1970) w nauce. Podejście „krajobrazowo-fizjonomiczno-morfogenetyczne” zostaje zastąpione podejściem „funkcjonalnym” (RUPPERT, SCHAFFER, 1970). Powyższe, a także odrzucenie „podejścia przestrzennego” prowadzą w efekcie do końca tak rozumianej geografii krajobrazu.

Próby syntetycznego ujęcia otaczającej człowieka przyrody prowadzą do powstania ekologii krajobrazu rozumianej jednak zdecydowanie przez jej „ojców-założycieli” (TROLLA, 1939; SCHMITHÜSENA, 1963, 1976; NEEFA, 1967) jako działu geografii fizycznej. Termin „ekologia krajobrazu” wprowadzony został do literatury przez Carla Trolla (1939), który jako pierwszy zestawiał dwa funkcjonujące dotąd niezależnie pojęcia „ekologia” (HAECKEL, 1866) i „krajobraz”, a swoje poglądy rozwinął później w opracowaniu *Die geographische Landschaft und ihre Erforschung* (TROLL, 1950), wydanym w 1965 roku, także w języku polskim.

Jak podają BUCHWALDT i ENGELHARDT (1975), Troll uważał wówczas jeszcze za sprawę otwartą (a co dziś nie budzi wątpliwości), czy w ekologii krajobrazu będzie chodziło tylko o zależności funkcjonalne krajobrazu naturalnego, czy też włączyć należy tu funkcjonalne powiązanie dzieł ludzkich w krajobrazie kulturowym. Wprowadził także określenie „ekotop” na najmniejszą, elementarną jednostkę „krajobrazową”, a pod koniec życia – bez powodzenia zresztą – lansował termin „geoekologia” jako międzynarodowy odpowiednik nazwy ekologia krajobrazu. W ujęciu TROLLA (1968) ekologia krajobrazu jest *studium całkowitego, panującego w określonym wycinku krajobrazu kompleksowego zespołu oddziaływań pomiędzy biocenozami i ich warunkami środowiskowymi*.

Dla wielu badaczy nie ulega zatem wątpliwości, iż korzenie ekologii krajobrazu tkwią w Europie Środkowej, a wśród jej ojców-założycieli, obok wspomnianego wyżej Carla Trolla, wymienia się najczęściej (LESER, 1997) Josefa Schmithüsen (1909–1984) i Ernsta Neefa (1908–1984).

Josef Schmithüsen z Saarbrücken był czołowym przedstawicielem tradycyjnej, niemieckiej nauki o krajobrazie (*Landschaftskunde, Landschaftslehre*) i zajmował się głównie „naturalnym podziałem przestrzennym” (*Naturräumliche Gliederung*). Znany był także jako twórca „synergetycznej” propozycji uporządkowania terminologii używanej w badaniach krajobrazowych, najpełniej wyartykułowanej w jego fundamentalnym dziele *Allgemeine Geosynergetik – Grundlagen der Landschaftskunde* (1976).

Ernest Neef, czołowy przedstawiciel i twórca „enerdowskiej” szkoły ekologii krajobrazu, sprecyzował między innymi tzw. zakresy wielkościowe (*Dimensionen*) badań krajobrazowych (tematyczny, chorologiczny, regionalny i planetarny) i zasłynął jako twórca propozycji aksjomatyki krajobrazowej, wprowadzając w swym sztandarowym dziele *Die theoretischen Grundlagen der Landschaftslehre* (1967) aksjomaty: planetarny, krajobrazowy i chorologiczny oraz wynikające z nich tezy: o geograficznym kontinuum, o geograficznych granicach i geograficznym przedmiocie. Dodać należy, iż zarówno Schmithüsen, jak i Neef dostrzegali konieczność uwzględniania w badaniach krajobrazu jego aspektu fizjonomicznego, co dziś – w dobie intensywnego rozwoju badań nad percepcją krajobrazu – wydaje się oczywiste, a co wówczas wcale oczywiste i powszechnie akceptowane nie było.

Pełna analiza dorobku niemieckiej ekologii krajobrazu wymagałaby rzecz jasna przeglądu osiągnięć także wielu innych przedstawicieli tej dyscypliny (m.in. H. Lesera, W. Habera, T. Mosimanna, G. Haase czy K.-F. Schreiber), co oczywiście znacznie wykracza poza ramy niniejszego opracowania.

Ten szczególnie intensywnie rozwijający się po 1960 roku etap określić można jako okres „geograficznej” ekologii krajobrazu, a obszerne omówienie jego dorobku znaleźć można m.in. w opracowaniach LESERA (1978) i RICHLINGA (1992). Dla omawianego etapu reprezentatywna jest definicja krajobrazu podawana przez PRZEWOŹNIAKA (1987:11), traktująca go jako *dowolnej wielkości system powiązanych funkcjonalnie komponentów abiotycznych i biotycznych oraz tworzonych przez nie realnie istniejących jednostek przestrzennych różnej rangi taksonomicznej, hierarchicznie sobie podporządkowanych, również powiązanych funkcjonalnie, wraz z efektami wpływu na niego działalności człowieka*. W tak ujmowanych badaniach krajobrazowo-ekologicznych (zwanych także kompleksową geografją fizyczną a w byłym Związku Radzieckim – krajobrazoznawstwem), krajobraz traktuje się zatem – jak wspomniano we wstępie – jako niezwykle skomplikowany, wielowymiarowy i wielocechowy system,

składający się z geokomponentów i tworzonych przez nie krajobrazowych jednostek przestrzennych (zwanych wówczas najczęściej geokompleksami lub kompleksami przyrodniczo-terytorialnymi). Złożoność ta wyraża się poprzez: wieloelementowość, polistrukturalność i heterogeniczność elementów składowych, różnorodność związków zewnętrznych i wewnętrznych, różnorodność stanów, hierarchiczność, różnorodność typologiczną i indywidualną niepowtarzalność każdego krajobrazu (PRIE-OBRAŻENSKIJ i in., 1988).

Uważany za twórcę rosyjskiego „krajobrazoznawstwa” Lew Berg (1945) ujmował krajobraz niejednoznacznie, traktując go zarówno jako pojęcie ogólne, jak również typologiczne i regionalne. Wśród zwolenników pojmowania krajobrazu jako jednostki regionalnej (indywiduum geograficznego) wśród badaczy rosyjskich wymienić należy m.in. Grigoriewa, Kalesnika, Isaczenkę, Sołncewa czy Giereńczuka, typologiczne podejście preferowali m.in. Połynow, Nieustrujew, Markow, Fiedina i Gwoźdieckij, a za traktowaniem krajobrazu jako pojęcia ogólnego optowali m.in. Milkow, Prokajew czy D. L. Armand (por. GWOZDIECKIJ, 1979). Do bogatego, a praktycznie nieznanego badaczom anglosaskim dorobku rosyjskich badań krajobrazowych zaliczyć należy m.in. wprowadzenie do literatury pojęć: *uroczysko* (RAMIENSKI, 1938), *facja* (BERG, 1945) i *geosystem* (SOCZAWA, 1978), koncepcji *kompleksów paragenetycznych i paradynamicznych* (GWOZDIECKIJ, 1979) czy *rysunku krajobrazu* (WIKTOROW, 1986). Zdaniem Prieobrażeńskiego i in. (1988) za najważniejsze (i chyba nadal aktualne, nie tylko dla badaczy rosyjskich), uznać należy następujące pytania-problemy:

- Jak przestrzennie zorganizowany jest krajobraz?
- Jakie prawa rządzą jego funkcjonowaniem i rozwojem?
- Jak jest zorganizowany czasowo?
- Jak krajobraz związany jest z innymi obiektami rzeczywistości przyrodniczej?

Warto dodać, iż początkowo autorzy rosyjscy krytycznie odnosili się do terminów „ekologia krajobrazu” czy „geoekologia”, twierdząc iż niepotrzebnie „biologizują” one istotę badań krajobrazowych (ISACZENKO, 1991). Obecnie terminy te występują zarówno w literaturze (np. WINOGRADOW, 1988), jak i w nazwach placówek naukowych (np. Instytut Geoekologii Rosyjskiej Akademii Nauk w Moskwie czy Katedra Ekologii Krajobrazu Uniwersytetu w Kazaniu).

Umowną cezurą kolejnego etapu („ekologicznej” ekologii krajobrazu) jest 1982 rok, w którym doszło do utworzenia Międzynarodowej Asocjacji Ekologii Krajobrazu (IALE). Byłoby oczywiście dużym uproszczeniem, gdyby wspomnianą datę przyjmować za narodziny tak rozumianej ekologii krajobrazu. Początków tej dyscypliny (a raczej zawartych w niej kompleksowych, holistycznych idei) można bowiem dopatrywać się przecież już we wspomnianych wcześniej pracach Berga, Ramienskiego, Dokuczajewa, Hettnera, Passarge’a, a także Robbinsa, Milnego, Unsteada, Bournego czy Humboldta, na gruncie polskim wskazując chociażby na przedwojenne i późniejsze prace WODZICZKI (1946, 1948). Na dobrą sprawę jednak wówczas ekologia krajobrazu stała się w miarę autonomicznym i intensywnie rozwijającym się kierunkiem badawczym, czego dowodem mogą być choćby ukazujące się licznie podręczniki i monografie tej dyscypliny. Z czasem termin „ekologia krajobrazu” zdobył sobie dużą popularność, a w latach dziewięćdziesiątych ubiegłego stulecia prawie całkowicie wyparł stosowane wcześniej terminy (patrz PIETRZAK, 1998).

Jednocześnie niejako równolegle rozwija się także (szczególnie w Polsce) wspomniana wyżej „geograficzna” ekologia krajobrazu, choć symptomatyczne jest to, iż stosowany często wcześniej zamiennie termin *kompleksowa geografia fizyczna* praktycznie nie występuje już w języku naukowym. Polscy geografowie fizyczni kompleksowi (w tym i piszący te słowa) coraz częściej określają się jako „ekolodzy krajobrazu” lub „geoekolodzy”, są autorami podręczników tej dyscypliny (Richling, Solon, 1993, 2011; Pietrzak, 2010), tworzą poświęcone jej towarzystwo naukowe (Polska Asocjacja Ekologii Krajobrazu), wydają biuletyn, serię wydawniczą, a od niedawna czasopismo naukowe („Problemy Ekologii Krajobrazu”). To właśnie utworzona w 1993 roku Polska Asocjacja Ekologii Krajobrazu (PAEK), kontynuująca działalność Klubu Ekologii Krajobrazu Polskiego Towarzystwa Geograficznego stała się najważniejszym (choć nie jedynym) krajowym forum dyskusji nad istotą i celami badawczymi ekologii krajobrazu. Jej głównym dorobkiem – poza trudno wymiernymi, lecz jakże istotnymi zacytowanym i inspiracją do wszechstronnej wymiany poglądów – jest przeszło trzydzieści tomów serii wydawniczej *Problemy ekologii krajobrazu*, będących w początkowym okresie pokłosiem konferencji i sympozjów naukowych organizowanych przez Asocjację. Wymienione niżej tytuły opublikowanych tomów stanowią zarazem dobry przegląd problemów nurtujących polskich ekologów krajobrazu skupionych w PAEK, między innymi:

- zastosowania ekologii krajobrazu w ekorozwoju,
- badania ekologiczno-krajobrazowe na obszarach chronionych,
- transformacja krajobrazu w Europie,
- systemy informacji geograficznej w badaniach środowiska przyrodniczego,
- geoekologiczne podstawy badania i planowania krajobrazu rekreacyjnego,
- teoria i zastosowania ekologii krajobrazu w praktyce,
- granice krajobrazowe – podstawy teoretyczne i znaczenie praktyczne,
- ekologia krajobrazu i ekorozwój,
- park krajobrazowy i co dalej?,
- przemiany środowiska przyrodniczego Polski i jego funkcjonowanie,
- krajobraz – turystyka – ekologia,
- perspektywy rozwoju regionu w świetle badań krajobrazowych,
- studia ekologiczno-krajobrazowe w programowaniu rozwoju zrównoważonego,
- płaty i korytarze jako elementy struktury krajobrazu – możliwości i ograniczenia koncepcji,
- struktura przestrzenno-funkcjonalna krajobrazu,
- regionalne studia krajobrazowo-ekologiczne,
- krajobraz kulturowy – cechy, walory, ochrona,
- waloryzacja środowiska przyrodniczego w planowaniu przestrzennym,
- klasyfikacja krajobrazu: teoria i praktyka,
- struktura i funkcjonowanie systemów krajobrazowych: metaanalizy, modele, teorie i ich zastosowania,
- ekologia krajobrazu – perspektywy badawcze i użytkowe,
- problemy środowiska przyrodniczego miast i terenów przemysłowych,
- turystyka a ochrona środowiska przyrodniczego.

Północnoamerykańska ekologia krajobrazu (FORMAN, GODRON, 1986) definiuje krajobraz jako *heterogeniczny obszar ziemi złożony ze skupienia oddziaływujących wzajemnie na siebie ekosystemów, które powtarzają się w podobnej formie na danym terytorium* i wywodząc się z biologii, rozumiana jest jako przestrzennie ukierunkowany nurt badawczy ekologii, koncentrujący się na uporządkowaniu przestrzennym krajobrazów (*pattern*) i jego ekologicznych konsekwencjach (np. RISSER I in., 1984).

WU I HOBBS (2007) przedstawiają następującą listę głównych problemów badawczych tak ujmowanej ekologii krajobrazu, sformułowanych przez grupę *17 najważniejszych ekologów krajobrazu* podczas sympozjum amerykańskiego oddziału Międzynarodowej Asocjacji Ekologii Krajobrazu w Tempe (USA) w kwietniu 2001 roku:

- rozwój teorii i zasad (mozaika krajobrazowa i potoki ekologiczne, transformacja terenu, zrównoważenie krajobrazu, kompleksowość krajobrazu),
- metryki krajobrazowe (normy lub standardy wyboru metryk, wykrywanie zmian itp.; integracja metryk z holistycznymi właściwościami krajobrazu, odniesienie metryk do procesów ekologicznych, wrażliwość na zmianę skali),
- potoki ekologiczne w mozaice krajobrazowej (potoki organizmów, materii, energii i informacji; efekty związków funkcjonalnych, skraje i granice; różnorodność przestrzenna i procesy ekosystemowe; zaburzenia i dynamika płatów),
- optymalizacja wzorca krajobrazu (optymalizacja wzorca użytkowania ziemi, optymalne zarządzanie, optymalne kształtowanie i planowanie, nowe metody optymalizacji przestrzennej),
- teoria metapopulacji (integracja wizji mozaiki krajobrazowej, integracja teorii ekonomicznej zmian użytkowania ziemi i automatów komórkowych),
- skalowanie (ekstrapolacja informacji poprzez krajobrazy heterogeniczne; rozwój teorii i metod skalowania; wyliczenia empirycznych związków skalowania dla mozaiki i procesów krajobrazowych),
- kompleksowość i nieliniarne dynamiki krajobrazów (krajobrazy jako przestrzennie rozległe systemy kompleksowe, krajobrazy jako kompleksowe systemy adaptacyjne; prognozy, krytyczność i zmiany fazowe; samoorganizacja w strukturze i dynamice krajobrazu),
- zmiana użytkowania i pokrycia terenu (biofizyczne i socjoekonomiczne czynniki i mechani-

- zmy; konsekwencje i efekty ekologiczne, długofalowe zmiany krajobrazu powodowane zmianami ekonomicznymi i klimatycznymi),
- przestrzenna heterogeniczność w systemach akwaticznych (relacje między mozaiką przestrzenną a procesami ekologicznymi w jeziorach rzekach i oceanach; porównania tery- i akwatoriów),
- eksperymenty w skali krajobrazowej (eksperymentalne systemy krajobrazowe, studia terenowe, efekty skali w studiach eksperymentalnych),
- nowe metodologie (integracja poprzez obserwację, eksperyment i modelowanie; nowe metody statystyczne i modelowania w studiach przestrzennych; podejścia inter- i transdyscyplinarne),
- zbieranie danych i ocena dopasowania (różnoskalowe dane krajobrazowe, nacisk na zbieranie danych o organizmach i procesach, kontrola jakości danych, metadane i ocena dopasowania),
- szybkie zmieniające się i chaotyczne krajobrazy (krajobrazy gwałtownie urbanizowane, stref wojny, inne wysoce dynamiczne krajobrazy),
- zrównoważenie krajobrazu (rozwój definicji operacyjnych i miar integrujących komponenty ekologiczne, społeczne, kulturowe, ekonomiczne i estetyczne; praktyczne strategie tworzenia i utrzymania zrównoważenia krajobrazu),
- ludzka aktywność w krajobrazach (rola człowieka w kształtowaniu mozaiki i procesów krajobrazowych; wpływ procesów społeczno-ekonomicznych i kulturowych na strukturę i funkcjonowanie krajobrazu),
- holistyczna ekologia krajobrazu (ekologia krajobrazu jako antycypatoryjna i preskryptywna nauka o środowisku, rozwój podejść holistycznych i systemowych).

Cytowani autorzy (WU, HOBBS, 2002) identyfikują sześć podstawowych zagadnień wymagających rozwiązania:

- inter- lub transdyscyplinarność,
- integracja badań podstawowych i zastosowań,
- rozwój konceptualny i teoretyczny,
- edukacja i szkolenia,
- międzynarodowa komunikacja i współpraca akademicka,
- związki ze społeczeństwem i decydentami.

Do podstawowych, związanych z wymienionymi zagadnieniami obszarów badawczych Wu i Hobbs (2002) zaliczają:

- potoki ekologiczne w mozaice krajobrazowej,
- przyczyny, procesy i konsekwencje zmian użytkowania i pokrycia terenu,
- nieliniarną dynamikę i kompleksowość krajobrazu,
- skalowanie,
- rozwój metodologiczny,
- odniesienie metryk krajobrazowych do procesów ekologicznych,
- włączenie człowieka i jego działalności w obręb ekologii krajobrazu,
- optymalizację wzorca krajobrazu,
- ochronę krajobrazu i zrównoważoność,
- pozyskiwanie danych i ocena ich dopasowania.

Literatura

- BERG L. S. (1945): Facii, geograficzkeskoje aspikety i gieograficzkeskije zony, Izv. Wsiesiojuzn. Geograf. Obszczestwa, t.77, wyp. 3.
- BERLEANT A. (1997): Living in the landscape: toward an aesthetics of environment, University Press of Kansas, USA. Ss. 212.
- BOBEK H., SCHMITHÜSEN J. (1949): Die Landschaft im logischen System der Geographie, Erdkunde, Bd. 3, 112-120.
- BUCHWALDT K., ENGELHARDT W. (1975): Kształtowanie krajobrazu a ochrona przyrody, Państwowe Wydawnictwo Rolnicze i Leśne, Warszawa, Ss. 824.
- BUWAL – Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft, 2001: Landschaft ist . . . , w; Umwelt, 4, 34-47.
- CAROL H. (1956): Zur Diskussion um Landschaft und Geographie, Geographica Helvetica, 11: 111-131.
- DRDOŠ J. (1999): Geoekologija a environmentalistika, I. Čast, Prešovska Univerzita, Prešov, Ss. 152.
- FORMAN R.T.T. GODRON M. (1986): Landscape ecology, J. Wiley & Sons, Ss. 619.
- GUNN C.A. (1988): Vacationscape: designing tourist regions, 2nd Ed., New York, Van Nostrand, Reinhold.
- GWOZDIECKI N. A. (1979): Osnownyje problemy fizicheskoj geografii.
- HABER W. (1996): Die Landschaftsökologie und die Landschaft, Ber. D. Reinh Tüxen-Ges., 8: 297-309.

- HAECKEL E. (1866): *Generelle Morphologie der Organismen*, Bd. 1: Allgemeine Anatomie der Organismen, Ss. 574, Bd. 2: Allgemeine Entwicklungsgeschichte der Organismen, Berlin, Ss. 462 s.
- HARASIMIUK K. (2008): Dźwięk w opisach krajoznawczych Wincentego Pola, w: S. Bernat (red.), *Dźwięk w krajoznawstwie jako przedmiot badań interdyscyplinarnych*, Prace Komisji Krajoznawstwa Kulturowego PTG nr 11, Lublin, 29-35.
- HARD G. (1970): „Die Landschaft“ der Sprache und „die Landschaft“ der Geographen, *Coll. Geogr.*, 11, Bonn.
- HETTNER A. (1918): Die allgemeine Geographie und ihre Stellung im Unterricht, *GZ* 24, s. 172-178.
- HETTNER A. (1919): Die Einheit der Geographie in Wissenschaft und Unterricht, *Geogr. Abende im Zentralinst. f. Erziehung und Unterricht*, Heft 1, Berlin.
- HETTNER A. (1923): Methodische Zeit- und Streitfragen, *Geograph. Zeitschrift*, Bd. 29, s. 49-50.
- HUMBOLDT A. VON. (1807): *Ideen zu einer Geographie der Pflanzen nebst einem Naturgemälde*, Tübingen.
- INGEGNOLI V. (2002): *Landscape ecology: a widening foundation*, Springer, Berlin – Tokyo, Ss. 357.
- KNOX P. L., MARSTON S. (2001): *Humangeographie*, Spectrum Akademischer Verlag GmbH, Heidelberg-Berlin.
- LESER H. (1978): *Landschaftsökologie*, 2 Auflage, UTB 521, Verlag Eugen Ulmer, Stuttgart, Ss. 433.
- LINTON D. L. (1951): *The Delimitation of Morphological Regions*, London Essays In Geography, London.
- MILNE G., (1936): A Provisional Soil map of East Africa, *Geogr. Rev.*, 26: 522-523.
- NAVEH Z., LIEBERMANN A. S. (1984): *Landscape Ecology: Theory and Application*, Springer-Verlag, New York-Berlin-Heidelberg, Ss. 356.
- NEEF E. (1967): *Die theoretischen Grundlagen der Landschaftslehre*, Gotha/Leipzig, Ss. 152.
- PASSARGE S. (1919): *Die Grundlagen der Landschaftskunde*, Band I, Beschreibende Landschaftskunde, Hamburg, 210 s.
- PIETRZAK M. (1998): *Syntezy krajoznawcze – założenia, problemy, zastosowania*, Bogucki Wyd. Nauk., Poznań, Ss. 168.
- PIETRZAK M. (2010): *Podstawy i zastosowania ekologii krajoznawstwa – teoria i metodologia*, Leszno, Ss. 167.
- PRIEORBAŻENSKIJ W. S., ALEKSANDROWA T. D., KUPRIANOWA T. L. (1988): *Osnovy landsaftnogo analiza. „Nauka”*, Moskwa, Ss. 192.
- PRZEWOŹNIAK M. (1987): *Podstawy geografii fizycznej kompleksowej*, Wyd. UG, Gdańsk, 209 s.
- RAMIENSKIJ Ł. G. (1938): *Wwiedienije w kompleksoje poczwienno-gebotaniczeskoje issledowanije ziemel*, Moskwa.
- RICHLING A. (1992): *Kompleksowa geografia fizyczna*, PWN, Warszawa, Ss. 375.
- RICHLING A., SOLON J. (1994): *Ekologia krajoznawstwa*. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa, Ss. 226.
- RICHLING A., SOLON J. 2011. *Ekologia krajoznawstwa*. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa, Ss. 464
- RISSER P. G., KARR J. R., FORMAN R. T. T. (1984): *Landscape Ecology: Directions and Approaches*, Champaign, Il; Illinois Natural History Survey Special Publication Number 2.
- ROSENKRANZ J. K. F. (1850): *System der Wissenschaft. Ein philosophisches Encheiridion*, Königsberg.
- RUPPERT K., SCHAFFER F. (1971): *Zur Konzeption der Sozialgeographie*, w: A. Schultze (red.), *Dreissig Texte zur Didaktik der Geographie*, Braunschweig, 179-199.
- SCHMITHÜSEN J. (1963): *Der Wissenschaftliche Landschaftsbegriff*, *Mit. D. Flor.-soziol. Arbeitsgemeinschaft*, N.F. Heft 10, 9-19.
- SCHMITHÜSEN J. (1976): *Allgemeine Geosynnetik. Grundlagen der Landschaftskunde*, Walter de Gruyter, Berlin-New York, Ss. 349.
- SOCZAWA W. S. (1978): *Wwiedienije w uczenije o geosistiemach*, Nauka, Nowosibirsk, Ss. 320.
- STEINHARDT U., BLUMENSTEIN O., BARSCH H. (2005): *Lehrbuch der Landschaftsökologie*, Elsevier, Spektrum Akademischer Verlag, Heidelberg, Ss. 294.
- TROLL C. (1939): *Luftbildplan und ökologische Bodenforschung*, *Zeit. der Ges. f. Erdkunde*, Berlin, H. 7/8:241-298.
- TROLL C. (1950): *Die geographische Landschaft und ihre Erforschung*, [w:] *Studium Generale*, III, H. 4/5, Bonn, 163-181.
- TROLL C. (1968): *Landschaftsökologie*, w: R. Tuxen (Hrsg.): *Pflanzensoziologie und Landschaftsökologie*, 7 Int. Symp., Stolzenau/Weser 1963, Int. Vereinigung für Vegetationskunde, Junk, den Haag: 1-21.
- UNSTEAD J. F. (1935): *The British Isles*, U. of L.P., London.
- WIKTOROW A. S. (1986): *Risunok landszafta, „Mysł”*, Moskwa, Ss. 179.
- WODZICZKO A. (1946): *Z zagadnień biologii krajoznawstwa*, *Sprawozd. PTPN*, t. 13, nr 1, Poznań.
- WODZICZKO A. (1948): *Pojęcie krajoznawstwa w geobiologii*, *Sprawozd. PTPN* za I i II kw. 1948, nr 1, Poznań.
- WU J., HOBBS R. J. (2002): *Key issues and research priorities in landscape ecology: an idiosyncratic synthesis*. *Landscape Ecology*, 17: 355-365.
- WU J., HOBBS R. J. (red.) (2007): *Key topics in landscape ecology*, *Cambridge Studies in Landscape Ecology*, Cambridge University Press, Cambridge, São Paulo, Ss. 297.
- ZONNEVELD I. S. (1995): *Land Ecology. An Introduction to Landscape Ecology as a Base for Land Evaluation, Land Management and Conservation*, SPB Academic Publishing, Amsterdam, Ss. 199.

prof. dr hab. Maciej Pietrzak
 Laboratorium Ekologii Krajoznawstwa
 Państwowa Wyższa Szkoła Zawodowa im. J. A. Komeńskiego, Leszno

Percepcja krajoznawstwa – krajoznawstwo multisensoryczne

Wspaniałe widoki, urokliwe panoramy czy piękne krajoznawstwa to częste motywy wyjazdów i wakacyjnych wspomnień. Obecne w nich fizjonomiczne pojmowanie krajoznawstwa jest zupełnie oczywiste, a na dodatek dobrze współgra ze wspomnianą w poprzednim artykule etymologią terminu „krajoznawstwo”. Dziwne może więc się wydawać, że przez wiele lat takie traktowanie krajoznawstwa uznawano za zdecydowanie „nienaukowe” i pomijano je w badaniach, choć czołowi teoretycy badań ekologiczno-krajoznawczych (SCHMITHÜSEN 1976:14; NEEF 1967:32) już wówczas podkreślali absurdalność takiego podejścia i istnienie aspektu fizjonomicznego.

Dostrzeżone szerzej po latach możliwości ujmowania krajoznawstwa także w kategoriach estetycznych znalazły odbicie w badaniach prowadzonych na gruncie tzw. geografii humanistycznej i jej gałęziach: geografii percepcji (zajmującej się procesem postrzegania środowiska przez człowieka i powstającym w jego wyniku wyobrażeniom) oraz geografii behawioralnej (analizującej przestrzenne aspekty zachowań ludzkich – BARTNICKA, 1989). Rozwijają się też specyficznie na gruncie tzw. geografii rekreacyjnej (PRIEORBAŻENSKIJ I IN., 1975), gdzie wychodzi się z założenia, iż krajoznawstwo pełni funkcje turystyczne nie tylko przyciągając turystów (co opisuje termin „atrakcyjność”) i stwarzając „fizyczne” podstawy lokalizacji różnych form turystyki (a więc „przydatności” dla nich), ale mają także walory estetyczne (tzw. *scenic quality*, por. VAN DER ZEE, 1990; LINTON, 1968). Za swego rodzaju prekursora rekreacyjnego postrzegania krajoznawstwa uznać można Francesco Petrarke (1304–1374), który bodaj jako pierwszy opisał tego typu wrażenia podczas zdobywania 26 kwietnia 1336 roku szczytu Mt. Ventoux (1912 m n.p.m.) w grupie górskiej Barronnies we francuskich Prealpech Południowych (STIERLE, 2003).

Ocena estetyczna krajoznawstwa, ze względu na trudność obiektywnego i skwantyfikowanego pomiaru jego „piękna” jest jednak z punktu widzenia metodycznego złożone i trudne, z drugiej zaś strony estetyka krajoznawstwa wpływa niewątpliwie na podejmowane w nim aktywności, szczególnie turystyczne i rekreacyjne (por. KOWALCZYK, 1992; GRAHN, 1991). Dlatego w dotychczasowej literaturze najczęściej podejmowano właśnie badania atrakcyjności wizualnej (por. RICHLING, 1992), uznając ją za ważną również dla innych form aktywności człowieka. Na uwagę zasługuje indywidualny wymiar percepcji, który sprawia, iż obserwator postrzega krajoznawstwo nie takim, jakim on jest, ale takim, jakim mu się wydaje na podstawie dotychczasowych doświadczeń i indywidualnej wrażliwości. Zdaniem BELLA (1999) charakterystyczne jest to, iż różni ludzie, patrząc na ten sam (kraj)obraz, postrzegają różne kształty i wzory, zależne od ich wiedzy, doświadczenia, kultury itd., a zatem percepcja jest nie tylko *subiektywna*, ale i *selektywna* (WEISS, 1987:141) i prowadzi do tworzenia „własnego” (indywidualnego, kognitywnego) krajoznawstwa. Podkreślić należy też, iż coraz częściej kryteria estetyczne przyjmowane są za ważne przesłanki kształtowania krajoznawstwa (zwłaszcza rekreacyjnego) – tzw. *visual landscape design*, formułowane w postaci konkretnych zaleceń dla służb drogowych czy leśnych (por. np. VISUAL LANDSCAPE, 1994).

Badania nad percepcją krajoznawstwa stały się w ostatnich latach bardzo intensywnie rozwijającym się, interdyscyplinarnym nurtem badawczym. Istotną rolę odegrała tutaj koncepcja krajoznawstwa widzialnego (*paysage visible, viewscape*) opracowana przez BROSSARDA i in. (1980) oraz WIEBERA (1981). Fakt istnienia tzw. postrzegania pozaoptycznego, a więc dostarczania przez krajoznawstwo nie tylko bodźców wzrokowych, ale oddziaływania (poprzez zapachy, smaki, dźwięki i dotknięcia) na pozostałe zmysły spowodował rozwinięcie tej koncepcji i wprowadzenie przez BARTKOWSKIEGO (1985) pojęć krajoznawstwa i percepcji „multisensorycznych” (wielobodźcowych, wielozmysłowych). Jak się bowiem ocenia (VISUAL LANDSCAPE ..., 1994), wzrok odbiera przeciętnie około 87% bodźców płynących z krajoznawstwa, słuch 7%, węch 3–5%, dotyk 1–5%, a smak 1%.

W literaturze polskiej koncepcja krajoznawstwa multisensorycznego znalazła zastosowanie między innymi w charakterystyce i planowaniu obszarów turystyczno-wypoczynkowych w strefie podmiejskiej Bydgoszczy (KOWALCZYK A., 1992), opracowaniu syntezy krajoznawczej fragmentu środkowej Wielkopolski (Pietrzak, 1998) oraz badaniach Pszczewskiego Parku Krajoznawczego (PIECHOTA, 2006). W literaturze dominują jednak głównie opracowania dotyczące bodźców wzrokowych i powstających w ich efekcie wrażeń estetycznych (np. BOURASSA, 1991). Bodźcom dźwiękowym (CARLES i in., 1992;

ANDERSON i in., 1983; AYLOR, MARKS 1976), zapachowym, dotykowym i smakowym (PORTEROUS, 1985; PORTEROUS, MARTIN 1985; ASSEBURG I IN. 1981) poświęcano w badaniach stosunkowo niewiele uwagi, chociaż w literaturze anglosaskiej funkcjonują takie pojęcia jak *sound-*, *smell-*, *touch-* czy *tastescape* (tj. krajobraz dźwiękowy, zapachowy i dotykowy – SELBY, 2004), prawie całkowicie zaś pomijając niezwykle istotny w percepcji krajobrazu problem synestezji, czyli równoczesnego odbierania jednego bodźca wieloma zmysłami (na przykład tzw. słyszenie barw czy smakowanie kolorów – WÖBSE 2002). Dodatkowo wpływy poszczególnych bodźców rozpatrywano najczęściej niezależnie od siebie, nie uwzględniając ich „synergicznego” współdziałania, które decyduje właśnie o ocenie walorów krajobrazu. Przykładem opracowania ujmującego współdziałanie bodźców wzrokowych i dźwiękowych jest eksperymentalne opracowanie autorów hiszpańskich (CARLES i in. 1992), w którym przedmiotem badań były preferencje dźwiękowe i interakcje w odbiorze bodźców wizualno-sonicznych, badane za pomocą wyświetlanych ankietowanym fotografii różnych typów krajobrazu i odtwarzanych jednocześnie typowych dźwięków (w obu przypadkach o różnym stopniu „naturalności”). Zbliżoną metodykę znajdujemy w opracowaniu PIECHOTY (2006). Wydaje się, iż problem relacji pomiędzy odbiorem różnego rodzaju bodźców i ich wzajemnego „wzmacniania” lub „osłabiania się” – ze względu na swoją wagę – powinien być przedmiotem badań w większym niż dotychczas stopniu. Wspomniany wcześniej, wywodzący się z muzykologii (SCHAFER, 1976) termin „krajobraz dźwiękowy”, został spopularyzowany w literaturze geograficznej przez PORTEOUSA i in. (1985). Zdaniem wielu autorów krajobrazy dźwiękowe (w ujęciu wspomnianego SCHAFERA (1976) określane jako *landscapes portrayed in sound* są indywidualne dla każdego regionu i stanowią część jego *genius loci*, a ich przemiany mogą być nawet interesującym, choć trudno mierzalnym wskaźnikiem przekształceń antropogenicznych krajobrazu (por. BERNAT, 2001). Coraz częściej pojawiają się w związku z tym postulaty konieczności ochrony wartości krajobrazów dźwiękowych, zwłaszcza na obszarach objętych już różnymi formami prawnej ochrony przyrody (szerzej patrz – *Dźwięk w krajobrazie...*, 2008). Podkreśla się także znaczenie dźwięku jako waloru krajobrazu (LEWANDOWSKI, SZUMACHER, 2008), także użytkowanego turystycznie (ROGOWSKI, 2008).

Do metod i technik najczęściej stosowanych w badaniach percepcji krajobrazu należą badania kwestionariuszowe, badanie preferencji krajobrazowych przy zastosowaniu fotografii czy mapy mentalne (ULRICH, 1977; SHAFER, BRUSH, 1977; AMINZADEH, GHORASHI, 2007). Niektóre z tych ujęć znaleźć można w opracowaniu autora (PIETRZAK, 1998), PIETRZAKA I IN. (2000) i PIECHOTY (2006), w których – z pewnymi zmianami – wykorzystano metodykę opracowaną przez Institut für Landschaftspflege Landschaftspflege und Naturschutz w Hanowerze (ASSEBURG I IN., 1983).

Zaproponowana metodyka umożliwiła badania percepcji krajobrazu w makroskali (tj. przeżywania krajobrazu w perspektywie geograficzno-turystycznej podczas wyboru trasy spaceru) i mezoskali (przeżywania tzw. scenarii krajobrazowej) oraz percepcji pozaoptycznej.

W badaniach makroskalowych przedmiotem dociekań są wyobrażenia i „życzenia” respondentów względem „wyglądu” krajobrazu, będące podstawą podejmowania przez nich decyzji o wyborze potencjalnego miejsca wypoczynku. Bada się je za pomocą specjalnie przygotowanych schematów i zdjęć, umożliwiających zaplanowanie wyimaginowanego, godzinnego spaceru, składającego się z 12 pięciominutowych „epizodów”. Postawione pytania dotyczą wyboru przebiegu drogi (np. kręta czy prostoliniowa) i jej nawierzchni (asfalt, tłuczeń itd.), rodzaju roślinności porastającej skraj drogi (np. niska trawa, rzędy krzewów), rodzaju krajobrazu, przez który „spacer” prowadzi oraz jakich widoków dostarcza (np. krajobraz otwarty czy jeziorny).

Uzyskane w efekcie przeprowadzonych badań „uśrednione” dane dotyczące preferowanych dróg można z powodzeniem wykorzystać podczas planowania ciągów pieszych i tras spacerowych na obszarach użytkowanych turystycznie. Na przykład w okolicach Biskupic (środkowa Wielkopolska – PIETRZAK, 1998), zdaniem respondentów, winny być one trawiaste, lekko lub bardzo kręte, ze skrajami porośniętymi drzewami, kwiatami i trawą oraz dostarczać widoków na krajobraz leśny, bagienny i jeziorny.

Odmiana wspomnianej metody, służąca uzyskaniu informacji o postrzeganej przez poszukujących wypoczynku na szlaku turystycznym „rzeczywistej” atrakcyjności wizualnej krajobrazu (ASSEBURG I IN., 1983), została, po modyfikacji, zastosowana przez PIETRZAKA I IN. (2000) na terenie Wielkopolskiego Parku Narodowego oraz przez PIECHOTĘ (2006) w obrębie Pszczewskiego Parku Krajobrazowego. Polega ona na wyposażeniu osób biorących udział w badaniach w aparat fotograficzny i mapę w skali 1:25 000 i polecenia wykonania 5–10 zdjęć wycinków krajobrazu ocenianych przez nich pozytywnie i negatywnie, oraz naniesienia lokalizacji i kierunku zdjęcia na mapę. Uzyskane wyniki można przedstawić na zbior-

czej mapie miejsc oraz kierunków zdjęć pozytywnie i negatywnie ocenianych fragmentów krajobrazu (Ryc. 1), jak też w postaci wykazu tak ocenianych elementów i cech krajobrazu.

Zakłada się przy tym, iż uzyskane w przedstawiony sposób informacje winny być traktowane jako ważne przesłanki kształtowania krajobrazu rekreacyjnego (PIETRZAK, 1999), służące zwiększeniu jego atrakcyjności (np. poprzez eliminację lub zmniejszenie widoczności elementów niepożądanych, ale także przez ochronę elementów cennych wizualnie – tzw. *scenic viewshed protection*). Ograniczeniem tej metody są jej wymogi „techniczne” i organizacyjne.

Badania przeżywania scenarii krajobrazowej prowadzi się na podstawie skalowania (rangowania) przez respondentów przygotowanego zestawu zdjęć (przykłady – patrz PIETRZAK 1989; PIECHOTA 2006), przedstawiających konkretne, w dużym stopniu typowe dla badanego obszaru i dające się zlokalizować fragmenty krajobrazu, w zależności od wyzwalanych przez nie odczuć i opinii na temat możliwości ich funkcjonalnego wykorzystania. Pozwala to w efekcie na uszeregowanie „krajobrazów” pod względem ich piękna, różnorodności i urozmaicenia, naturalności, możliwości orientacji, bodźcowości oraz bezpieczeństwa i rodzinności lub innych, dodatkowych cech wynikających ze specyfiki badanego obszaru.

Interpretację uzyskanych wyników w zakresie rangowania i oceny zdjęć przeprowadzić można na dwa sposoby (PIETRZAK 1998). Pierwszy, najczęściej spotykany w literaturze, a – zdaniem autora – w istocie swej dość trywialny i oczywisty, polega na poszukiwaniu i podkreślaniu różnic w percepcji krajobrazu przez badane grupy respondentów i uzasadnianiu ich specyfiką wieku, wykształcenia czy przygotowania zawodowego badanych. Inny, zaproponowany przez PIETRZAKA (1998) i wykorzystany przez PIECHOTĘ (2006), sposób spożytkowania uzyskanych wyników sprowadza się do ich interpretacji i oceny kartograficznej. Wówczas opinie dotyczące zdjęć poszczególnych typów krajobrazu można nanieść na wykonaną wcześniej mapę ich rozmieszczenia, otrzymując w efekcie oceny badanego terenu w zakresie jego „mentalnej” przydatności dla określonych sposobów wykorzystania czy atrakcyjności turystycznej.

Wydaje się, iż tak wykonana ocena atrakcyjności oddaje uśrednioną, ale w miarę rzeczywistą „siłę przyciągania” potencjalnych turystów przez dany teren i ich opinie na ten temat znacznie lepiej niż tradycyjnie wykonywane oceny, bazujące na bonitowaniu występowania wód, lasów i urozmaiconej rzeźby terenu. Uzyskane w ten sposób mapy, przedstawiające rzeczywiste preferencje przestrzenne i wymogi dotyczące krajobrazu rekreacyjnego, nie tylko mogą, ale wręcz powinny stanowić podstawę rozwiązań planistyczno-przestrzennych dotyczących zagospodarowania turystycznego (PIETRZAK, 1999).

Poznanie roli niewizualnego przeżywania krajobrazu osiąga się w omawianej metodzie drogą rangowania płynących bodźców przez respondentów, w zależności od uznania ich za nieważne (1), ważne (2), dość ważne (3) lub bardzo ważne (4). Pytania dotyczyć mogą przy tym:

- możliwości wykorzystania krajobrazu (np. dla gier ruchowych czy wędkowania),
- dotykania i poruszania różnych obiektów (np. kory drzew, kwiatów)
- zapachów (ziół, siana) i odgłosów (np. śpiewu ptaków czy szumu liści),
- regulowania gospodarki cieplnej organizmu (np. wygrzewania się na słońcu),
- spożywania owoców leśnych.

Istotne mogą być także wrażenia wywołane poruszaniem się po określonym podłożu (piasku, asfalcie itp.), oceniane w skali siedmiostopniowej (od 1 – bardzo przyjemne do 7 – bardzo nieprzyjemne) oraz rola czynników zakłócających percepcję (np. zapach ścieków, muchy czy odgłosy pojazdów), oceniana w skali czterostopniowej (1 – nie zakłóca, 2 – nieco zakłóca, 3 – dość zakłóca, 4 – bardzo zakłóca). Tak więc w efekcie identyfikacji podlegają elementy składające się na krajobrazy: smakowy, zapachowy, dźwiękowy i dotykowy.

Nie ulega wątpliwości, iż dalszy postęp w badaniach nad percepcją krajobrazu osiągnięty może być jedynie dzięki ich zobiektywizowaniu i sformalizowaniu. Możliwości takie wiązać należy np. z techniką zwaną *eye tracking*⁹, stosowaną m.in. w psychologii, medycynie czy marketingu. Za pomocą odpowiedniego sprzętu (tzw. eyetrackera) i oprogramowania rejestruje się w niej aktywność wzroku, uzyskując w efekcie zapis zmian skupienia wzroku w czasie. Na podstawie analizy tzw. fiksacji (skupień wzroku) i sakkad (skoków wzroku) istnieje możliwość definiowania obszarów istotnych dla odbiorcy bodźców (modelu indywidualnej subiektywnej percepcji – tzw. *attentional landscape*) i w efekcie konstruowania „map” (tzw. *heatmaps*) pokazujących, co rzeczywiście przyciągało wzrok patrzących (np. na dany wycinek krajobrazu, DE LUCIO I IN. 1996).



Ryc. 1. Rozmieszczenie i kierunki zdjęć pozytywnie i negatywnie ocenianych fragmentów krajobrazu na planowanym szlaku turystycznym w Pszczewskim Parku Krajobrazowym (Piechota, 2006).

Literatura

- AMINZADEH B., GORASHI S., (2007): Scenic landscape quality and recreational activities in natural forest parks, Iran, *Int. J. Environ. Res.* 1(1), s. 5-13.
- ANDERSON L. M., MULLIGAN B. E., GOODMAN L. S., REGAN H. Z., (1983): Effects of sounds on preference for outdoor setting, *Environ. Behav.*, 15 (5), s. 539-556.
- BARTKOWSKI T. (1985): Nowy etap dyskusji nad pojęciem krajobrazu. *Czas. Geogr.* LVI. 73-79.
- BARTNICKA M. (1989): Percepcja środowiska w badaniach geograficznych, *PZLG, IGI PZ PAN, Warszawa*, z. 2, s. 5-27.
- BELL S. (1999): *Landscape. Pattern, Perception and Process*, E & FN Spon, London, Ss. 344.
- BERNAT S. (2001): Ochrona krajobrazów dźwiękowych w parkach krajobrazowych, w: *Bezowska G. (red.) (2001): Park krajobrazowy i co dalej?*, Problemy Ekologii Krajobrazu, tom IX, Łódź, s. 113-120.
- BOURASSA S. C. (1991): *The Aesthetics of Landscape*, Belhaven. London & New York, 168 s.
- BROSSARD TH. (1991): *Pratique des paysages en Baie du Roi et sa region (Svalbard)*, Annales Littéraires de L'Universite de Franche-Comte No 428, Cahiers de Geographie, vol. 31, Paris, s. 397.
- BROSSARD TH., JOLY D., WIEBER J. C. (1980): Des objets aux images (analyse des flux du systeme „paysage visible“), *Séminaires et Notes de Recherche des Cahiers de Geographie de Besançon*, nr 22.
- CARLES J., BERNALDEZ F., DE LUCIO J. (1992): Audio-visual interactions and soundscape preferences, *Landscape Research* 17, 2, s. 52-56.
- CARLSON A. (1977): On the possibility of quantifying scenic beauty, *Landscape Planning*, 4 (2), 131-172.
- DE LUCIO J.V., MOHAMADIAN M., RUIZ J.P., BNAYAS J., BERNALDEZ F. G., (1996): Visual landscape exploration as revealed by eye movement tracking, *Landscape and Urban Planning*, 2 (34), 135-142.
- GRAHN P. (1991): Landscapes in our minds: people's choice of recreative places in towns, *Land. Res.*, 1 (16), 11-20.
- HARASIMIUK K. (2008): Dźwięk w opisach krajoznawczych Wincentego Pola, w: *S. Bernat (red.), Dźwięk w krajobrazie jako przedmiot badań interdyscyplinarnych*, Prace Komisji Krajobrazu Kulturowego PTG nr 11, Lublin, 29-35.

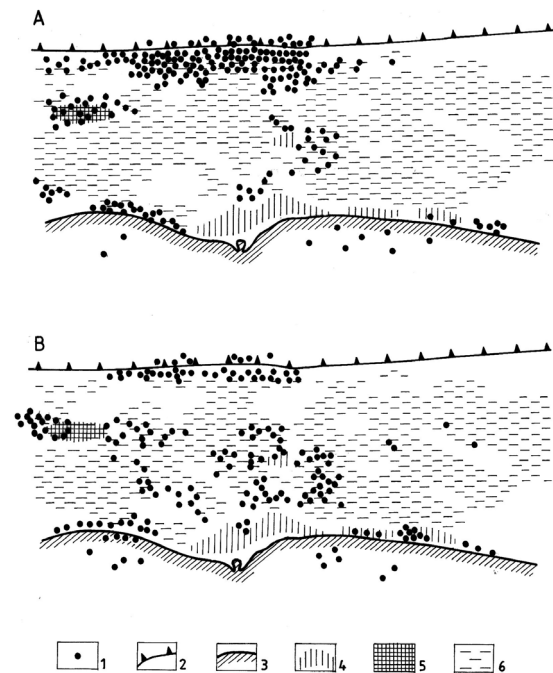
- KOWALCZYK A. (1992*): *Badanie spostrzegania krajobrazu multisensorycznego podstawą kształtowania obszarów rekreacyjnych*, WSP, Bydgoszcz, Ss. 126.
- KOWALCZYK A. (1992): Metodologia i metodyka badań percepcji krajobrazu z punktu widzenia potrzeb turystyczno-wypoczynkowych, *Gea*, nr 2, Metody oceny środowiska przyrodniczego, 25-33.
- LEWANDOWSKI W., SCHUMACHER I., (2008): Dźwięk jako walor krajobrazu, w: *Dźwięk w krajobrazie jako przedmiot badań interdyscyplinarnych*, Prace Komisji Krajobrazu Kulturowego PTG, nr 11, Lublin, 54-62.
- LINTON D. (1968): The assessment of scenery as a recreation resource, *Scottish Geographical Magazine*, 84 (3), 219-238.
- NEEF E. (1967): *Die theoretischen Grundlagen der Landschaftslehre*, Gotha/Leipzig.
- PIECHOTA S. (2005): Percepcja krajobrazu rekreacyjnego Pszczewskiego Parku Krajobrazowego, *Bogucki Wydawnictwo Naukowe, Poznań*, Ss. 104 +15.
- PIETRZAK M. (1999): Knowledge about landscape perception as a tool for tourism management, *Ekologia (Bratislava)*, 1(18), 75-81.
- PIETRZAK M. (1998): Syntezy krajobrazowe – założenia, problem, zastosowania, *Bogucki Wydawnictwo Naukowe, Poznań*, Ss. 168.
- PIETRZAK M., MIEDZIŃSKA I., STYPEREK J. (2000): „Rzeczywista” atrakcyjność wizualna krajobrazu szlaków turystycznych (na przykładzie szlaku im. Cyryla Ratajskiego w Wielkopolskim Parku Narodowym), w: *Geoekologiczne podstawy badania i planowania krajobrazu rekreacyjnego*, w: M. Pietrzak (red.), *Problemy Ekologii Krajobrazu*, t. 5, s. 114-121.
- PIETRZAK M. (2010): *Podstawy i zastosowania ekologii krajobrazu – teoria i metodologia*, PWSZ Leszno, Ss. 161.
- PORTEROUS J. D. (1985): Smellscape, *Progress in Human Geogr.*, 9(3), 356 – 378.
- PORTEROUS J. D., MARTIN J. F., 1985. Soundscape, *J. of Arch. and Plan. Research*, 2 (3), 169 – 186.
- PRIEBRAŻENSKI W. S. (red.), (1975): *Teoreticzeskije osnovy rekreacjonnoj geografii*, Izd. „Nauka”, Moskwa.
- RICHLING A. (1992): Podstawy metodyczne oceny wizualnej atrakcyjności krajobrazu, *Gea*, 2, Warszawa – Płock – Murzynowo, 9-18.
- ROGOWSKI M. (2008): Próba określenia kryteriów do mapy krajobrazów dźwiękowych szlaku turystycznego, w: *Dźwięk w krajobrazie jako przedmiot badań interdyscyplinarnych*, Prace Komisji Krajobrazu Kulturowego PTG nr 11, Lublin, s. 63-73.
- SCHMITHÜSEN J. (1976): *Allgemeine Geosynergetik. Grundlagen der Landschaftskunde*, Walter de Gruyter, Berlin-New York, Ss. 349.
- SCHAFFER E. L., BRUSH R. O. (1977): How to measure preferences for photographs of natural landscapes, *Land. Plan.*, 4 (3), 237-256.
- SELBY M. (2004): *Understanding Urban Tourism, Culture and Experience*, L. B. Taurus, Ss. 169.
- STIERLE K. (2003): *Francesco Petrarca. Ein intellektueller im Europa des 14. Jahrhunderts*, Carl Hanser Verlag, München, Ss. 973.
- STYPEREK J. (2002): *Linearne systemy penetracji rekreacyjnej*, Bogucki Wydawnictwo Naukowe, Poznań, Ss. 221.
- WEISS H. (1987): Die unteilbare Landschaft, w: *Zu Begriff und Wahrnehmung von Landschaft*, Forschungsschwerpunkt Kulturlandschaft, 6, BMWfW, Wien, 141-155.
- WIEBER J. C. (1981): Etude du paysage et (ou?) analyse ecologique, *Travaux de l'Institut de Geographie de Reims*, 45-46.
- WÖBSE H. H. (1981): Landschaftsästhetik – Gedanken zu einem zu einseitig verwendeten Begriff, *Landschaft und Stadt*, 13 (4), 152-160.
- WÖBSE H. H. (2002): *Landschaftsästhetik – Über das Wesen, die Bedeutung und den Umgang mit landschaftlicher Schönheit*, Verlag Eugen Ulmer, Stuttgart, Ss. 303.
- VAN DER ZEE D. (1990): The complex relationship between landscape ecology and recreation, *Landscape Ecology*, 4 (4), 225-236.
- VISUAL LANDSCAPE DESIGN TRAINING MANUAL, Recreation Branch, Ministry of Forests, British Columbia, 1994, Ss. 166.

Prof.dr hab. Maciej Pietrzak
 Laboratorium Ekologii Krajobrazu
 Państwowa Wyższa Szkoła Zawodowa im. J. A. Komeńskiego, Leszno

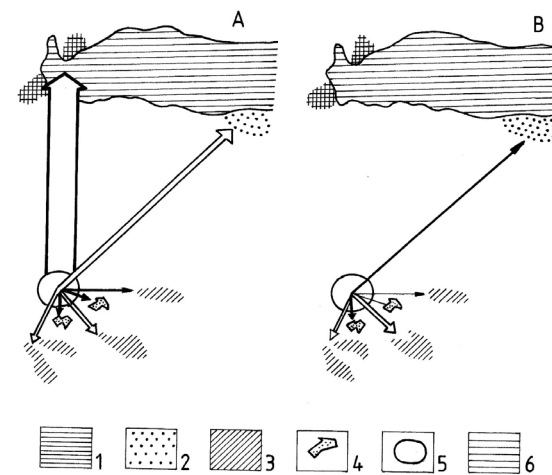
Krajobraz i potencjał rekreacyjny

Jak zauważono w poprzednich artykułach, wspaniałe widoki, urokliwe panoramy czy piękne pejzaże to częste motywy naszych wyjazdów i wakacyjnych wypraw, które potem wspominamy, utrwalamy na fotografiach czy obrazach. Krajobraz więc to obiekt, w którym nie tylko mieszkamy i pracujemy ale także wypoczywamy. Dlatego warto przyrzeć się bliżej pojęciu *krajobrazu rekreacyjnego* i sprecyzować jego istotę, zakres oraz treść.

Punktem wyjścia jest zwrócenie uwagi na różny charakter czasowo-przestrzenny składowych tego terminu. Krajobraz uznaje się bowiem za zjawisko przyrodnicze, mające jednak ważne uwarunkowania i konsekwencje społeczno-gospodarcze, które jest ciągłe w czasie i w przestrzeni. Tak więc – w pewnym tylko uproszczeniu – krajobraz jest „zawsze” i „wszędzie”. Określenie „wszędzie” oznacza, iż nie ma na kuli ziemskiej miejsca, które nie byłoby „krajobrazem”. Określenie „zawsze” odnosimy natomiast przede wszystkim do czasu biologicznego i historycznego człowieka, a częściowo i geologicznego, gdyż zgodnie z koncepcją „krajobrazotwórczej” roli człowieka (por. PIETRZAK, 1998), punktem wyjścia w historii rozwoju krajobrazu jest pojawienie się w nim i początki działalności gatunku ludzkiego. Warto przy okazji zauważyć, iż konsekwencją takiego ujęcia jest względność podziału krajobrazów na „naturalne” i „kulturowe”. Są jednak także autorzy, którzy „początki” krajobrazu wiążą z ustaniem wielkich procesów morfotwórczych, pisząc iż *krajobrazy zaczynają się formować w czasie, gdy następuje oswobodzenie skorupy ziemskiej od wód lub pokryw lodowcowych* (SOŁNCEW, 1987, 15). Rekreacja natomiast jest zjawiskiem biologicznym i społecznym, które ma wyraźne uwarunkowania i konsekwencje przyrodnicze i społeczno-gospodarcze, a które nie jest ciągłe ani w czasie ani w przestrzeni, bowiem nie cały nasz czas, a nawet nie cały tzw. czas wolny możemy, chcemy czy potrafimy poświęcić na realizację tzw. zachowań turystyczno-rekreacyjnych. Dodatkowo nie możemy ich też realizować „wszędzie”, lecz w wybranych (atrakcyjnych, przydatnych, przystosowanych, zagospodarowanych lub dostępnych) miejscach (powierzchniach, punktach lub liniach). Cechy te – podobnie jak i same zachowania turystyczno-rekreacyjne mają przy tym przebieg zarówno dobowy, jak i sezonowy (Ryc. 1 i 2).



Ryc. 1. Przykład zmienności dobowej zachowań turystyczno-rekreacyjnych – schemat rozmieszczenia wypoczywających na Mierzei Kurońskiej (WIEDIENIN, 1982); A – dzień słoneczny, godz. 10 – 13, B – dzień słoneczny, godz. 17 – 19; 1 – ludzie wypoczywający (1 kropka – 10 osób), 2 – brzeg morza, 3 – brzeg zalewu, 4 – planowana strefa rekreacji, 5 – kemping, 6 – las.



Ryc. 2. Przykład zmienności sezonowej zachowań turystyczno-rekreacyjnych – rozkład potoków wypoczywających wokół Ałmaty (WIEDIENIN, 1982); A – lato, B - zima; 1 – miejsca wypoczynku nad wodą, 2 – walory myśliwskie i rybackie, 3 – górskie kompleksy rekreacyjne, 4 – sady I drugie domy, 5 – miasto, 6 – zbiornik wodny.

Związek czasu i przestrzeni w wykorzystaniu rekreacyjnym krajobrazu wyraźny jest w różnych cyklach podejmowanych zajęć rekreacyjnych: dobowym, tygodniowym i rocznym (tab. 1).

Tab. 1. Parametry przestrzenno-czasowej lokalizacji zajęć rekreacyjnych (źródło: WIEDIENIN, 1982)

Cykl [kilometry]	Czas [doby]	Przestrzeń
dobowy	0,1–0,2	(0,5–1) x 10
tygodniowy	1,0–2,0	(1–2) x 102
roczny	20,0–30,0	(2–3) x 103

Jakie elementy konstytuują zatem pojęcie *krajobrazu rekreacyjnego* i które fragmenty „krajobrazu w ogóle” za takowy możemy uznać? Czy te, które charakteryzują się:

- dużą atrakcyjnością i przydatnością dla określonych form rekreacji?
- dużym potencjałem rekreacyjnym (rekreacyjno-balneologicznym, krajoznawczym i percepcyjno-behawioralnym)?
- licznymi i zróżnicowanymi walorami turystycznymi?
- właściwym i atrakcyjnym zagospodarowaniem turystycznym?
- dużym oporem i stabilnością wobec oddziaływania rekreacyjnego?
- niskim stopniem przekształcenia (hemerobii) i dużą naturalnością?
- obecnością rekreantów?

Pojawia się też pytanie, czy wspomniane cechy muszą wystąpić łącznie czy też w określonym (jakim?) zestawie a także – czy mogą być podstawą delimitacji krajobrazu rekreacyjnego? Odpowiedź nie jest tu wcale łatwa ani jednoznaczna, bowiem monitoring ruchu turystycznego a zapewne i nasze własne obserwacje dostarczają często zaskakujących przykładów wyboru miejsc wypoczynku i rekreacji. Przeprowadzona przez autora (PIETRZAK, 2010) ankieta wśród ekspertów wykazała (tab. 2), iż odpowiednio 84 i 88% respondentów skłania się ku opinii, iż krajobraz rekreacyjny powinien cechować się dużą atrakcyjnością i przydatnością dla różnych form rekreacji oraz dużym potencjałem rekreacyjnym (rekreacyjno-balneologicznym), krajoznawczym i percepcyjno-behawioralnym, zaś mniejszy odsetek (odpowiednio 68 i 72%) uznaje za istotne występowanie licznym i zróżnicowanym walorów turystycznych oraz właściwego i atrakcyjnego zagospodarowania turystycznego. Zdaniem ankietowanych mniej istotne (56% odpowiedzi) są duży opór i stabilność krajobrazu wobec oddziaływania rekreacyjnego oraz jego duża pojemność rekreacyjna, a zaledwie 20% uznało za istotny niski stopień przekształcenia i dużą naturalność krajobrazu. Dodatkowo wśród istotnych cech *krajobrazu rekreacyjnego* respondenci wymieniali m.in.:

- dostępność,
- unikatowość,
- oryginalność,
- odmienność.

Tab. 2. Podstawowe cechy krajobrazu rekreacyjnego w opinii ankietowanych ekspertów (PIETRZAK, 2010; cechy 1–7, objaśnienia w tekście).

Odpowiedzi (%)	Cechy						
	1	2	3	4	5	6	7
tak	84	88	68	72	56	28	40
nie	16	12	28	24	40	68	48
nie mam zdania	0	0	4	4	4	4	12

Można zatem uznać, iż *krajobraz rekreacyjny* to część krajobrazu wykorzystywana dla potrzeb rekreacji, formująca się i funkcjonująca pod jej wpływem, o dużej atrakcyjności i przydatności oraz potencjale rekreacyjnym, posiadająca liczne walory turystyczne, właściwie i atrakcyjnie zagospodarowana. Podstawowym jednak czynnikiem decydującym o uznaniu fragmentu krajobrazu za *krajobraz rekreacyjny* jest obecność w nim podejmujących zachowania turystyczno-rekreacyjne rekreantów. W takim ujęciu *krajobraz rekreacyjny* jest formą krajobrazu antropogenicznego i może być tym samym uznany za specyficzny Terytorialny System Rekreacyjny, mający nie tylko walory przyrodnicze i antropogeniczne, infrastrukturę techniczną, osoby zatrudnione w obsłudze ruchu turystycznego i organami zarządzający ale – i to przede wszystkim – uczestników wypoczynku (rekreantów).

W efekcie wymienić można następujące kategorie *krajobrazów rekreacyjnych*:

- całoroczne i sezonowe (permanentne i okresowe),
- zagospodarowane i niezagospodarowane,
- „naturalne” i „sztuczne”,
- „docelowe” i „tranzytowe”,
- aktualne i potencjalne.

Jak wykazano wyżej, większość ekspertów uznaje istnienie wysokiego potencjału rekreacyjnego za podstawowy wyznacznik tzw. krajobrazu rekreacyjnego, stąd pojęcie to pełni ważną rolę w badaniach nad turystyką i rekreacją prowadzonych na gruncie ekologii krajobrazu. W ujęciu encyklopedycznym, wywodzący się z języka łacińskiego termin (*potentia* – moc, siła; *potentialis* – możliwy) definiuje się najczęściej jako czyjeś możliwości w jakiejś dziedzinie, sprawność czy wydajność czegoś czy też określony zasób pewnych możliwości, zaś w fizyce potencjał stanowi wielkość określającą stan pola w danym punkcie. Na gruncie ekologii krajobrazu za twórców koncepcji potencjału uważa się powszechnie PIETRZAKA (1998) NEEFA (1966) i HAASEGO (1976, 1978), choć termin ten już wcześniej używany był przez BOBKA i SCHMITHÜSENA (1949) w znaczeniu przestrzennego uporządkowania stworzonych przez przyrodę możliwości rozwojowych społeczności ludzkich. NEEF (1966) definiował potencjał jako sposobność przestrzeni przyrodniczej do zaspokajania potrzeb społecznych lub też zdolność obszaru do dostarczania człowiekowi niezbędnych mu surowców i energii. Natomiast HAASE (1978) dodatkowo podkreślał, iż potencjał krajobrazu wynika z cech jego struktury i dynamiki. W celu sprecyzowania tego dość ogólnego i nie poddającego się łatwo praktycznej aplikacji i kwantyfikacji terminu wprowadzono pojęcie potencjałów częściowych (HAASE, 1976, 1978; JAEGER, HRABOWSKI, 1976, MANNSFELD, 1978, 1979), rozróżniając potencjały:

- produktywności biotycznej,
- samooczyszczania,
- zaopatrzenia w wodę,
- surowcowy,
- zdolności do zabudowy,
- rekreacyjny,
- biotycznej zdolności regeneracyjnej,
- atmosferyczny (RICHLING, 1992).

PRZEWOŹNIAK (1991), chcąc podkreślić w dużej części „niematerialny” charakter eksploatowanych przez człowieka zasobów i użytków przyrodniczych, wyróżnił potencjały:

- samoregulacyjno-odpornościowy, wyrażający zdolność krajobrazu do przeciwdziałania i neutralizacji zmian jego struktury i funkcjonowania jako efektu oddziaływania bodźców przyrodniczych i antropogenicznych;
- zasobowo-użytkowy, rozumiany jako zdolność do zaspokajania potrzeb energetyczno-materiałnych człowieka w aspekcie produktywności biotycznej, wodnym, surowcowym, atmosferycznym, transurbacyjnym i rekreacyjno-balneologicznym,

- percepcyjno-behawioralny, wyrażający się w oddziaływaniu krajobrazu na zmysły człowieka i wpływający na jego zachowania oraz podejmowane aktywności.

Zdaniem PIETRZAKA (1998) zawarte w literaturze próby konkretyzacji koncepcji (m.in. JAGER, HRABOWSKI, 1976; MANNSFELD, 1979, 1983; OTAHEL, POLACIK, 1987; LEHOTSKY, 1991) prowadzone były głównie drogą subiektywnego rangowania istotnych dla danego potencjału częściowego cech diagnostycznych, prowadzonego najczęściej metodą bonitacji punktowej w odniesieniu do naturalnych bądź sztucznych pól podstawowych, co powoduje, iż uzyskane w efekcie określenie wielkości potencjału ma w związku z tym bardziej charakter jego względnej oceny niż określenia rzeczywistej, obiektywnej wartości. Obniża to niewątpliwie wartość teoretyczną tego typu opracowań, nie podkreślając jednak sensowności ich stosowania w praktyce planistycznej. Najbardziej kompleksowe propozycje metodyczne oceny potencjałów cząstkowych zawarte są w obszernym opracowaniu MARKSA I IN. (1989) oraz w artykule KISTOWSKIEGO (1996), a próbę ich aplikacji dla powierzchni modelowej Biskupice w środkowej Wielkopolsce zawiera praca PIETRZAKA (1998).

Warto przypomnieć, iż w literaturze pojawiły się także sugestie (MARKS I IN., 1989), aby zrezygnować z pojęcia *potencjału* na rzecz terminu *funkcje krajobrazu* lub stosować oba terminy komplementarnie (BASTIAN, 1991). Pojęcie *funkcji* wiązałoby się wówczas bardziej z „ekologiczną” wydajnością (sprawnością) krajobrazu, podczas gdy termin *potencjał* odzwierciedlałby warunki (gospodarczego) wykorzystania krajobrazu (PIETRZAK, 1998).

Do najważniejszych funkcji i potencjałów krajobrazu MARKS I IN. (1989) zaliczyli:

1. funkcję „gleba/rzeźba”:
 - funkcję przeciwdziałania erozji,
 - funkcję filtra, buforu i transformacyjną,
2. funkcję „woda”:
 - funkcję ochrony wód gruntowych,
 - funkcję odtwarzania wód gruntowych,
 - funkcję regulacji odpływu,
3. funkcję „klimat/powietrze”:
 - funkcję ochrony przed imisjami,
 - funkcję melioracyjną i bioklimatyczną,
4. funkcję biotyczną:
 - funkcję ekotopotwórczą i ochrony przyrody,
5. funkcję rekreacyjną,
6. potencjał zaopatrzenia w wodę,
7. potencjał wydajności biotycznej,
8. potencjał krajoznawczy.

Dodatkowo cytowani autorzy wyróżniają także funkcję wyrównawczą, zastępczą, rozwojową i ochronną krajobrazu. Podstawowym źródłem danych służących ocenie wymienionych funkcji i potencjałów powinna być ich zdaniem – wykonywana na podstawie specjalnej instrukcji (LESER, KLINK, 1988) – mapa geoekologiczna w skali 1:25 000. Warto zauważyć, iż już BASTIAN (1991) wśród najważniejszych funkcji krajobrazu wymieniał:

- funkcje produkcyjne (ekonomiczne) – tu m.in. produkcja biomasy, pozyskiwanie wody i surowców nieodnawialnych (minerałów, kopaliny);
- funkcje regulacyjne (ekologiczne) – m.in. funkcje pedologiczne (np. ochrona gleb przed erozją), hydrologiczne (np. odnowa wód gruntowych, wyrównywanie odpływu), meteorologiczne (np. wyrównywanie temperatur i podwyższanie wilgotności powietrza);
- funkcje dla przestrzeni życiowej (społeczne) – m.in. funkcje psychologiczne (estetyczne, etyczne) czy informacyjne (dla nauki i kształcenia), co uznać można za swego rodzaju antycypację koncepcji tzw. *usług ekosystemowych* (CONSTANZA I IN., 1997).

Tak więc na gruncie badań nad turystyką i rekreacją zastosowanie znajdują następujące z przedstawionych wyżej pojęć:

- potencjał rekreacyjny,
- potencjał rekreacyjno-balneologiczny,
- potencjał krajoznawczy,
- potencjał percepcyjno-behawioralny.

Potencjał rekreacyjny określa się jako zdolność krajobrazu do tworzenia warunków zapewniają-

cych człowiekowi odpoczynek i regenerację sił fizycznych i psychicznych, a pojęcie to często (chyba nie całkiem słusznie) stosuje zamiennie z pojęciem „funkcji rekreacyjnej”. Wprowadzone przez PRZEWOŹNIAKA (1991) pojęcie *potencjału rekreacyjno-balneologicznego* definiowane jest jako zdolność do zaspokajania potrzeb człowieka w zakresie wypoczynku, regeneracji psychofizycznej i zdrowia. Potencjał krajoznawczy natomiast wyraża się w zdolności krajobrazu do tworzenia i udostępniania cennych – z punktu widzenia krajo- i przyrodoznawczego – obiektów i obszarów.

Autor (PIETRZAK, 1998), dokonując ogólnego opisu wspomnianych potencjałów w obrębie powierzchni modelowej Biskupce, za cechujące się wysokim potencjałem rekreacyjno-balneologicznym uznał w nawiązaniu do cytowanych opracowań MARKSA i in. (1989) i KISTOWSKIEGO (1996) obszary o dużych deniwelacjach i spadkach, ze znaczną długością linearnych elementów strukturalnych krajobrazu (np. skraju lasu, miedz, linii brzegowych, cieków), użytkowane w sposób możliwie „naturalny”. Za wyznaczniki wysokiego potencjału krajoznawczego uznano natomiast wartości ochrony ekotopy, wieloprzestrzenne typowe struktury geomorfologiczne, cenne skupiska roślinności, wydmy, jaskinie, torfowiska, skałki itp.

Jak wcześniej wykazał autor (PIETRZAK, 1998), nie tylko różne typy krajobrazu oddziałują na człowieka w różnicowany sposób, motywując go do podejmowania (lub przynajmniej deklarowania) określonych zachowań i decyzji, ale i postrzeganie tych samych krajobrazów może być dość odmienne przez różne populacje. I tak np. w warunkach krajobrazu młodogłacjalnego środkowej Wielkopolski za obszary o najwyższym potencjale percepcyjno-behawioralnym uznano (PIETRZAK, 1998) przede wszystkim – rynny jeziorne i doliny rzeczne z mozaikowatym, leśno-polno-łąkowym typem użytkowania i o urozmaiconej rzeźbie terenu, cechującej się znacznymi spadkami i deniwelacjami. Bódźcowość tego typu krajobrazu wynika bowiem głównie z jego mozaikowatości, będącej efektem dużej z reguły kontrastowości form rzeźby i typów użytkowania terenu, prowadzących między innymi do:

- zróżnicowanego oddziaływania biotopoklimatycznego i dużej zmienności stanów pogody,
- często utrudnionej (lub „skanalizowanej”) penetracji terenu,
- nakładania się i współistnienia elementów i oddziaływań przyrodniczych (seminaturalnych) i antropogenicznych (zwłaszcza w zakresie bodźców wzrokowych, dźwięków i zapachów),
- znacznej zmienności perspektyw, planów i wewnątrz krajobrazowych (PIETRZAK, 1998).

Na koniec warto przedstawić popularną w literaturze niemieckiej, opartą na zasadzie bonitacji punktowej metodę oceny naturalnego potencjału rekreacyjnego (funkcji rekreacyjnej) autorstwa MARKSA i in. (1989), w której doskonale ogniskują się sformułowane wcześniej zastrzeżenia dotyczące „obliczania” wielkości potencjałów krajoznawczych, a która może pomimo tego (po modyfikacji i dostosowaniu do konkretnych warunków lokalnych) znaleźć zastosowanie we wstępnej analizie potencjału rekreacyjnego np. naszej gminy.

We wspomnianej metodzie bierze się pod uwagę:

- tzw. efekt skraju roślinności i wód (tab. 3),
- rzeźbę terenu (tab. 4),
- użytkowanie powierzchni (tab. 5).

Tab. 3. Ocena „efektu skraju” (MARKS I IN., 1989).

Roślinność	Wykształcenie	Punkty
- skraj lasu	bardzo ubogie <50	1
- skraje zakrzewień	ubogie 50–150 m	2
- żywopłoty	średnie 150–300 m	3
	wysokie 300–500 m	4
	bardzo wysokie >500 m	5

Wody	Wykształcenie	Punkty
- brzegi zbiorników	bardzo ubogie	1
- biegi strumieni	ubogie	2
	średnie	3
	wysokie	4
	bardzo wysokie	5

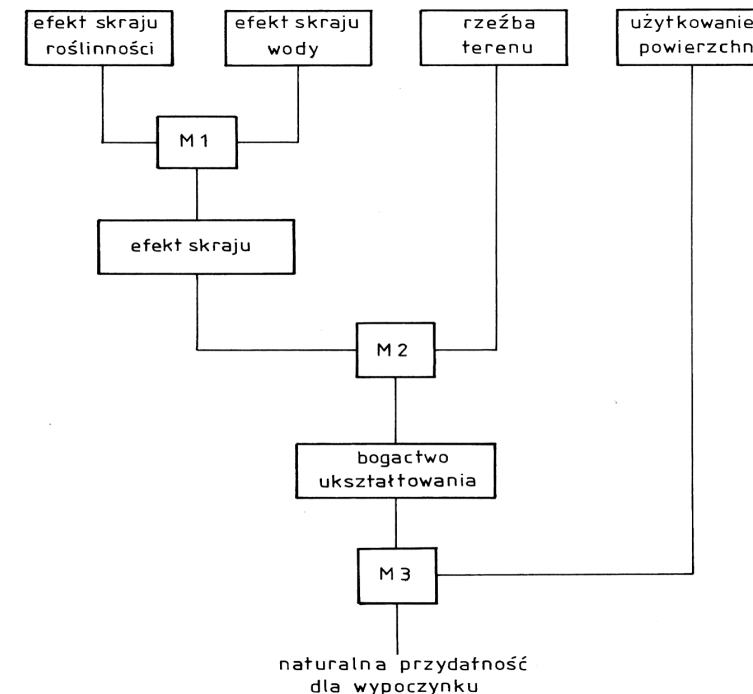
Tab. 4. Ocena rzeźby terenu (MARKS I IN., 1989).

Nachylenie terenu (lub deniwelacje)	Wykształcenie	Punkty
	0–20/0–10 m	1
	2–40/10–20 m	2
	4–70/20–35 m	3
	7–150/35–80 m	4
	>150/>80 m	5

Tab. 5. Ocena użytkowania powierzchni (MARKS i in., 1989).

Użytkowanie terenu	Punkty
Obszary zabudowane	0
Pola uprawne	1
Tereny zielone, łąki, sady, winnice, zielen urządzona, parki	2,5
Odłogi (polne lub łąkowe)	3
Las, las parkowy	4
Las mieszany (lub wielopiętrowy las liściasty lub iglasty), zbliżone do naturalnych pozostałości starodrzewów	4,5
Wody powierzchniowe	5
„Nieużytki”: bagna, roślinność wydymowa i nadbrzeżna, plaże piaszczyste, wrzosowiska, suche murawy	5

Autorzy proponują tu (w przeciwieństwie do oceny innych potencjałów) zastosowanie w ocenie geometrycznych pól podstawowych – kwadratów o boku 250x250 metrów. Wyliczone oceny cząstkowe są następnie integrowane zgodnie z przyjętym sposobem postępowania (Ryc. 3) w oparciu o specjalnie zestawione macierze (Tab. 6).



Ryc. 3. Sposób postępowania przy ocenie naturalnego potencjału rekreacyjnego (MARKS I IN., 1989)

Tab. 6. Macierze dla integracji danych do określenia naturalnej przydatności dla wypoczynku; Rg – efekt skraju wody, Rv – efekt skraju roślinność, R – rzeźba terenu, RE – efekt skraju, G – bogactwo ukształtowania, F – użytkowanie powierzchni (MARKS I in. 1989).

Macierz 1					
Rg					
Rv	5	4	3	2	1
5	5	5	5	5	5
4	5	5	4	4	4
3	5	4	4	3	3
2	5	4	3	3	2
1	5	4	3	2	1

Macierz 2					
2R					
RE	5	4	3	2	1
5	5	5	4,5	4	3,5
4	5	4	4	3,5	3
3	4,5	4	3	3	2,5
2	4	3,5	3	2	2
1	3,5	3	2,5	2	1

Macierz 3									
G									
F	5	4,5	4	3,5	3	2,5	2	1,5	1
5	5	5	5	5	4,5	4,5	4	4	4
4,5	5	4,5	4,5	4,5	4	4	4	4	3,5
4	5	4,5	4	4	4	4	3,5	3,5	3
3,5	4,5	4	4	3,5	3,5	3,5	3,5	3	3
3	4,5	4	4	3,5	3	3	3	2,5	2,5
2,5	4	4	3,5	3	3	2,5	2,5	2,5	2
2	3,5	3,5	3	3	2,5	2,5	2	2	1,5
1,5	3,5	3	3	2,5	2,5	2	2	1,5	1,5
1	3	3	2,5	2,5	2	2	1,5	1,5	1

Jak łatwo zauważyć, mimo nieco skomplikowanego algorytmu przedstawioną metodę trudno uznać za precyzyjną kwantyfikację nieprecyzyjnego w istocie pojęcia potencjału rekreacyjnego. Uwaga ta dotyczy także nowszych ujęć omawianego zagadnienia (np. CZHETRI, ARROWSMITHS, 2008).

Dlatego dalsze prace nad metodyką określania potencjału rekreacyjnego zmierzać winny w kierunku:

- bardziej precyzyjnej kwantyfikacji,
- wykorzystania do oceny naturalnych jednostek przestrzennych,
- większej uniwersalności, ponadlokalności i ponadregionalności stosowanych kryteriów.

Literatura

- BASTIAN O. (1991): Biotische Komponenten in Landschaftsforschung und -planung. Probleme ihrer Erfassung und Bewertung, Dresden, Ss. 240.
- BOBEK H., SCHMITHÜSEN J. (1949): Die Landschaft im logischen System der Geographie, Erdkunde, 3, s. 112-120.
- CONSTANZA R. I IN., (1997): The Value of the World's Ecosystem Services and Natural Capital. Nature, 38, s. 253-260.
- CZHETRI P., ARROWSMITHS C. (2008): GIS-based modelling of recreational potential of natur-based tourist destinations, Tourism Geographies: An International Journal of Tourism Space, Place and Environment, 2(10), s. 233-257.
- HAASE G. (1976): Zur Bestimmung und Erkundung von Naturraumpotentialen, Geogr. Ges.DDR, Mittlungsbl, 13, s. 5-8.
- HAASE G. (1978): Zur Ableitung und Kennzeichnung von Naturraumpotentialen, Peterm. Geogr. Mitt., 2 (122), s. 113-125.
- JÄGER K.-D., HRABOWSKI K. (1976): Zur Strukturanalyse von Anforderungen der Gesellschaft an den Naturraum, dargestellt am Beispiel des Bebaugungspotentialen, Peterm. Geogr. Mitt. 120, s. 29-37.

- KISTOWSKI M. (1996): Metoda oceny potencjału krajobrazu obszarów młodoglacjalnych, Przegł. Geogr., 3-4 (68), s. 367-386.
- LEHOTSKY M. (1991): Funkcne struktury krajiny (Stiavnice vrchy), VEDA, Bratislava, 150 s.
- LESER H., KLINK H.-J., (red.), (1988): Handbuch und Kartieranleitung Geoökologische Karte 1:25000 (KA GÖK 25), Forschungen zur Deutsch. Landeskunde, Bd. 228, Trier, 349 s.
- MANNFELD K. (1978): Zur Kennzeichnung von Gebietseinheiten nach ihren Potentialeigenschaften, Peterm. Geogr. Mitt., 122, s. 17-27.
- MANNFELD K. (1979): Die Beurteilung von Naturraumpotentialen als Aufgabe der geographischen Landschaftsforschung, Peterm. Geogr. Mitt., 1 (123), s. 2-6.
- MARKS R. I IN. (1989): Anleitung zur Bewertung des Leistungsvermögens des Landschaftshaushaltes (BA LVL), Z. f. deutsche Landeskunde, Selbstverlag, Trier.
- NEEF E. (1966): Zur Frage des gebietswirtschaftlichen Potentials, Forsch. u. Fortsch., 3(40), s. 65-70.
- OTÁHEL J., POLÁČIK S. (1987): Krajinná syntéza Liptovskej kotliny, VEDA, Bratislava, 120 s.
- PIETRZAK M. (1998): Syntezy krajobrazowe – założenia, problemy, zastosowania, Bogucki Wydawnictwo Naukowe, Poznań, Ss. 168.
- PIETRZAK M. (2010): Krajobraz rekreacyjny – istota, treść i zakres pojęcia, Probl. Ekol. Kraj., t. XXVII, s. 321-326.
- PIETRZAK M. (2012): Potencjał rekreacyjny – istota, treść i zakres pojęcia, Probl. Ekol. Kraj., t. XXXIV, s. 211-217.
- PIETRZAK M., w druku. Podstawy i zastosowania ekologii krajobrazu – teoria, metodologia, praktyka.
- PRZEWOŹNIAK M. (1991): Krajobrazowy system interakcyjny strefy nadmorskiej w Polsce, Uniwersytet Gdański, Gdańsk, Ss. 150.
- RICHLING A. (1992): Kompleksowa geografia fizyczna, PWN, Warszawa, Ss. 375.
- SOŁNCEW N. A. (1987): Problemy ustojczowości landszaftów, Wiestnik MGU, Ser. 5, Geogr. No 1, s. 14-19.
- WIEDIENIN J. A. (1982): Dynamika Territorialnych Riekreacyjnych Sistem, Izd. Nauka, Moskwa, Ss. 190.

RYCINY

Ryc. 1. Przykład zmienności dobowej zachowań turystyczno-rekreacyjnych – schemat rozmieszczenia wypoczywających na Mierzei Kurońskiej (WIEDIENIN, 1982); A – dzień słoneczny, godz. 10 – 13, B – dzień słoneczny, godz. 17 – 19; 1 – ludzie wypoczywający (1 kropka – 10 osób), 2 – brzeg morza, 3 – brzeg zalewu, 4 – planowana strefa rekreacji, 5 – kemping, 6 – las.

Ryc. 2. Przykład zmienności sezonowej zachowań turystyczno-rekreacyjnych – rozkład potoków wypoczywających wokół Almaty (WIEDIENIN, 1982); A – lato, B - zima; 1 – miejsca wypoczynku nad wodą, 2 – walory myśliwskie i rybne, 3 - górskie kompleksy rekreacyjne, 4 – sady I drugie domy, 5 – miasto, 6 – zbiornik wodny.

Ryc. 3. Sposób postępowania przy ocenie naturalnego potencjału rekreacyjnego (MARKS I in., 1989).

Jarosław Balon
Instytut Geografii i Gospodarki Przestrzennej
Uniwersytet Jagielloński, Kraków

Organizacja krajobrazu w skali globalnej, regionalnej i lokalnej

Wprowadzenie

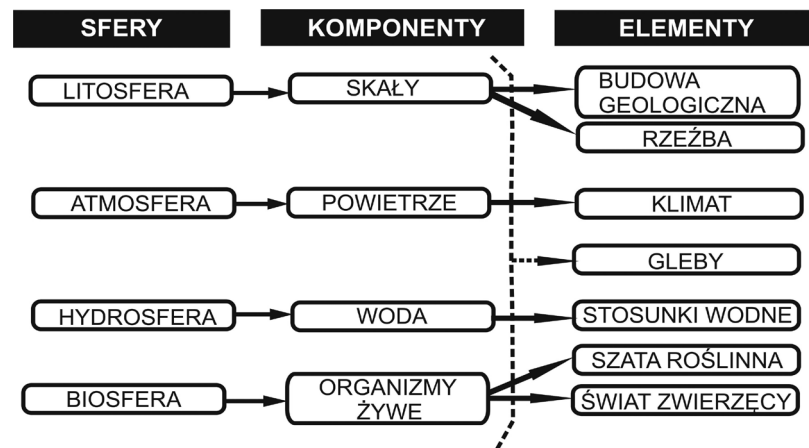
Krajobraz stanowi wielowymiarowy i wielocephowy system, który zmienia się w czasie i przestrzeni (PIETRZAK 1998, 2010). Jego zróżnicowanie przestrzenne określa się najczęściej terminem „struktura krajobrazu” (RICHLING 1992), choć niektórzy badacze rozszerzają ten termin także na zróżnicowanie funkcjonalne (etostruktura krajobrazu) i zmienność czasową (chronostruktura krajobrazu) (PIETRZAK 1998). Niniejsze rozważania dotyczą wyłącznie zróżnicowania przestrzennego, a zatem organizacji krajobrazu. Będziemy je starali się ujmować w trzech skalach przestrzennych: globalnej, regionalnej i lokalnej.

Struktura pionowa krajobrazu

Struktura pionowa krajobrazu, zwana też strukturą wertykalną, określa charakter, współwystępowanie oraz układ poszczególnych jego części składowych na pewnym obszarze (PRZEWOŹNIAK 1987, LÖFFLER 2002). Zróżnicowanie to powstaje w wyniku oddziaływania różnorodnych procesów przyrodniczych w różnych miejscach na Ziemi, zwykle z udziałem działalności człowieka. Części składowe krajobrazu w ujęciu wertykalnym to sfery, komponenty, elementy i cechy krajobrazu.

W najbardziej ogólnym ujęciu krajobraz zbudowany jest ze sfer krajobrazowych. Najczęściej wyróżnia się cztery podstawowe sfery (RICHLING 1992): litosferę, atmosferę, hydrosferę i biosferę. Dość należy, że niektórzy badacze wyróżniają także inne sfery, np. pedosferę (sfera glebowa), kriosferę (strefę lodową), fitosferę (sferę roślinną), zoosferę (sferę zwierzęcą), antroposferę (sferę działalności człowieka) i inne. Wyróżnienia te wprowadzają niewątpliwie pewien chaos, gdyż pojawiają się trudności z określeniem zasięgu niektórych sfer, sfery nakładają się też siebie lub stanowią „podsferę” innych sfer: na przykład kriosfera zawiera się z hydrosferze, a podział biosfery na fitosferę i zoosferę rodzi pytanie, do jakiej sfery zaliczyć na przykład grzyby, które nie są ani roślinami ani też zwierzętami. W tej sytuacji jak najbardziej zasadny wydaje się postulat D.L. Armanda (1980): *Jak najmniej sfer!*

Poszczególne sfery (bez względu na to, ile ich wydzielimy) wzajemnie przenikają się i oddziałują na siebie (RICHLING 1992), tworząc krajobraz. Dodać należy, że choć zasadniczo sfery występują powszechnie, zwykle rozpatrujemy je w skali globalnej ewentualnie regionalnej krajobrazu. W skali lokalnej stosujemy zwykle podział na komponenty krajobrazu (inaczej geokomponenty).



Ryc. 1. Wzajemne relacje pomiędzy sferami, komponentami i elementami krajobrazu wg J. Balona, W. Maciejowskiego (2012).

Komponenty krajobrazu to materialna, podstawowa część przyrody, jednorodna pod względem składu agregacyjnego, a także ze względu na istnienie albo brak przejawów życia (wg GERMAN, w: JACKOWSKI 2004). Należą do nich: powietrze, skały, woda oraz organizmy żywe (Ryc. 1).

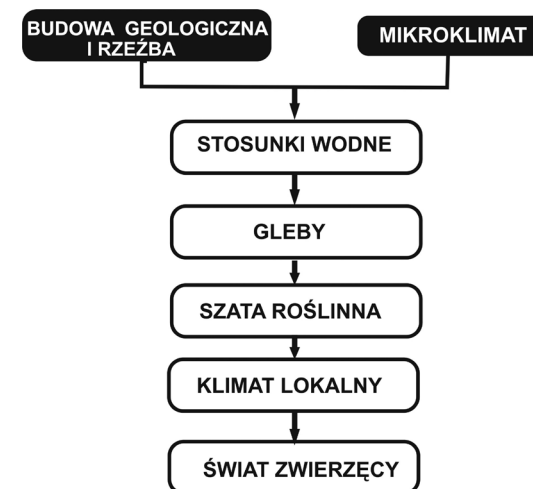
Nieco innym pojęciem są elementy krajobrazu (choć w niektórych opracowaniach komponenty i elementy utożsamia się ze sobą). A. RICHLING (1992) definiuje elementy krajobrazu jako części składowe krajobrazu, będące przedmiotem cząstkowych badań fizycznogeograficznych. Tradycyjny podział wyróżnia siedem podstawowych elementów krajobrazu: budowę geologiczną, rzeźbę terenu, klimat, stosunki wodne, gleby, szatę roślinną i świat zwierzęcy. Jak widać, w odróżnieniu od komponentów krajobrazu, elementy nie muszą mieć charakteru ściśle materialnego, rzeźba terenu to po prostu powierzchnia, nie posiadająca wymiaru przestrzennego, zaś klimat czy stosunki wodne to po prostu w pewien sposób zdefiniowane pojęcia, a nie byty materialne (Ryc. 1).

W niektórych ujęciach, szczególnie w pracach dotyczących oddziaływania człowieka na środowisko, jako osobny element krajobrazu wyróżniane jest użytkowanie ziemi (STARKEŁ 1978, RICHLING 1992). Wynika to z przekonania, iż długotrwałe i intensywne oddziaływania człowieka na przyrodę zmienia ją na tyle istotnie, że generuje zupełnie nowe właściwości krajobrazu.

Pojęciem podrzędnym w stosunku do elementu krajobrazu jest cecha krajobrazu. Cechy charakteryzują element i równocześnie go tworzą, wpływając na jego fizjonomię i charakter funkcjonowania. Dlatego badania krajobrazu najczęściej bazują na dokładnym opisie jego cech. Cechy krajobrazu są bardzo liczne, przy czym każdemu elementowi krajobrazu można przypisać swoiste cechy. Są nimi na przykład:

- litologia skał, tektonika, odporność skał (budowa geologiczna),
- spadek terenu, ekspozycja, wysokość n.p.m., geneza formy (rzeźba terenu),
- temperatura powietrza, wilgotność, opady (klimat),
- chemizm wód, odpływ, jeziorność (stosunki wodne),
- typ gleby, żyzność gleby, klasa bonitacyjna (gleby),
- gatunki, zbiorowiska roślinne, biomasa (szata roślinna),
- gatunki, szlaki migracyjne (świat zwierzęcy).

Wpływ poszczególnych elementów krajobrazu na pozostałe jest zróżnicowany, co pozwala wyróżnić wśród nich elementy przewodnie czyli kierujące oraz elementy podporządkowane czyli kierowane. Na tej podstawie tworzone są hierarchie elementów krajobrazu, autorem jednej z nich jest A. RICHLING (1992). Warto zwrócić uwagę na rozpatrywanie klimatu jako elementu krajobrazu w dwóch różnych skalach. W skali globalnej (jako makroklimat) jest on czynnikiem nadrzędnym (kierującym), wpływającym razem z budową geologiczną i rzeźbą terenu na stosunki wodne, gleby i szatę roślinną. Z kolei klimat w skali lokalnej (jako mikroklimat) pojawia się w hierarchii bardzo nisko, jako kształtowany prawie przez wszystkie elementy krajobrazu z wyjątkiem świata zwierzęcego.



Ryc. 2. Hierarchia elementów krajobrazu wg A. Richlinga (1992).

Ogromna różnorodność krajobrazu sprawia, iż jego struktura pionowa jest różna w praktycznie każdym miejscu na kuli ziemskiej. Nawet nieznaczne przemieszczenie się w dowolnym kierunku sprawia, że pewne cechy krajobrazu zmieniają się; nawet w najbardziej jednolitym wewnątrz obszarze nieznaczne przesunięcie na północ lub południe zmienia np. wielkość energii promienistej Słońca, docierającej do powierzchni Ziemi. A zatem nie ma dwóch identycznych miejsc na kuli ziemskiej. Dlatego badania struktury pionowej krajobrazu mają zwykle charakter punktowy czy też małoobszarowy, co zresztą wynika z definicji podanej na początku. Warto zatem zwrócić uwagę na fakt, że struktura pionowa krajobrazu może być rozpatrywana w różnych skalach przestrzennych, jednak najczęściej badamy ją w skali lokalnej. Natomiast hierarchie elementów tworzymy zwykle dla większych obszarów, w skali regionalnej, a nawet globalnej.

Struktura pozioma krajobrazu

Z poprzednich rozważań wynika, że krajobraz w każdym miejscu kuli ziemskiej jest inny. Różnicowanie to można obserwować w trakcie przemieszczania się w dowolnym kierunku po powierzchni Ziemi. Dostrzeżemy wtedy, że zmiany te wcale NIE przebiegają jednostajnie. Przemierzając się z danego miejsca w kierunku innego, obserwujemy raz wolniejszą, w innym przypadku szybszą (skokową) zmianę krajobrazu. Wynika z tego, że w krajobrazie występują mniej lub bardziej widoczne granice. Oddzielają one od siebie obszary o bardzo różnej strukturze pionowej krajobrazu. Obszary te możemy ogólnie określić jako przyrodnicze jednostki przestrzenne. Podział krajobrazu na przyrodnicze jednostki przestrzenne określamy mianem struktury poziomej albo – inaczej – horyzontalnej krajobrazu.

Wyróżniamy kilka rodzajów przyrodniczych jednostek przestrzennych. Jednymi z nich są zlewnie, czyli obszary, z których wody spływają do jednego określonego miejsca, stanowiącego najczęściej poprzeczny przekrój cieku (np. zlewnia Warty powyżej mostu w Koninie). Podział krajobrazu na zlewnie stosowany jest często w badaniach dynamiki krajobrazu. Podział krajobrazu na zlewnie może być przydatny w różnych skalach przestrzennych, od lokalnej po globalną, gdyż zlewnie cechują się strukturą hierarchiczną – zlewnie małych cieków, łączą się w większe (czyli dorzecza), a te łączą się, tworząc bardzo duże zlewnie czyli zlewiska mórz i oceanów.

Znacznie częściej w badaniach geologicznych krajobraz dzielimy na geokompleksy. Definiujemy je jako relatywnie zamknięte wycinki przyrody, stanowiące całość, dzięki zachodzącym w nim procesom i współzależności budujących go elementów (BARTSCH 1979). Pojęcie geokompleksu dotyczy całości krajobrazu, a zatem jego sfer, komponentów, elementów i cech, oraz obejmuje zarówno naturalną, ale i antropogeniczną, „część” krajobrazu, bez względu na stopień jego przekształcenia przez człowieka.

Geokompleksy mają bardzo różne rozmiary, od kilkudziesięciu metrów kwadratowych po miliony kilometrów kwadratowych. Jest możliwe dzięki temu, że geokompleksy tworzą układy hierarchiczne, gdzie jednostki wyższego szczebla składają się z jednostek niższego szczebla. Najmniejsze geokompleksy homogeniczne są jednorodne z punktu widzenia wszystkich cech środowiska. Większe geokompleksy są heterogeniczne; ponieważ składają się z mniejszych geokompleksów są niejednorodne wewnątrz, a raczej względnie jednorodne (na pewnym poziomie uogólnienia). Bez względu na stopień wewnętrznej niejednorodności rośnie idąc w górę hierarchii geokompleksów (RICHLING 1992).

Z geologicznego punktu widzenia cały świat składa się z geokompleksów i jest podzielony na geokompleksy. Podstawowymi cechami wszystkich geokompleksów są (WIDACKI 1989) jednorodność względna, jedność terytorialna, wspólna geneza, określona fizjonomia i specyficzny typ funkcjonowania.

Każdy szczebel taksonomiczny geokompleksów nosi swoją nazwę. Łącznie występuje jedenaście kolejnych szczebli taksonomicznych (KONDRACKI 1976):

- facja (jedyne geokompleks homogeniczny),
- uroczysko,
- teren (ekochora),
- mikroregion fizycznogeograficzny,
- mezoregion fizycznogeograficzny,
- makroregion fizycznogeograficzny,
- podprowincja fizycznogeograficzna,
- prowincja fizycznogeograficzna,
- podobszar fizycznogeograficzny,
- obszar fizycznogeograficzny,
- część świata.

Jednostki niższego rzędu, czyli facje, uroczyska i tereny, są charakterystyczne dla lokalnej skali krajobrazu. Wyróżniamy je zazwyczaj w czasie badań terenowych, stosując metodę kartowania fizycznogeograficznego. Jednostki wyższych rang taksonomicznych to regiony. Wyróżniamy je w skali regionalnej, a największe z nich, rozpatrując krajobraz w skali globalnej. Aby odróżnić jednostki krajobrazowe od innych, na przykład florystycznych, do nazwy każdej jednostki dodaje się dookreślenie „fizycznogeograficzny”. Wszystkie regiony mają nazwy własne, pozwalające zlokalizować je na mapie. Nazwy te zwykle składają się z dwóch członów (KONDRACKI 1976): jeden określa charakter regionu, drugi wskazuje na jego lokalizację np. Góry Kaczawskie, Pojezierze Wielkopolskie, Pustynia Rub-al-Chali.

Przy wyróżnianiu geokompleksów często łączymy lub dzielimy istniejące już (wyróżnione wcześniej) jednostki sąsiedniego szczebla taksonomicznego. Procedury te noszą nazwę klasyfikacji geokompleksów. Wyróżniamy dwie podstawowe klasyfikacje geokompleksów: typologię i regionalizację.

Typologia to klasyfikacja geokompleksów prowadzona ze względu na podobieństwa (RICHLING 1992). Polega ona na odnajdowaniu i grupowaniu w typy geokompleksów podobnych do siebie, bez względu na ich miejsce występowania. Podobieństwo jednostek określamy na podstawie przyjętego kryterium (na przykład w jeden typ łączymy wszystkie geokompleksy pokryte lasem sosnowym). Efektem procedury tego rodzaju jest mapa typów geokompleksów. Charakterystyczną cechą map typologicznych jest to, że jednostki tego samego typu występują w różnych miejscach terenu badań, tworząc mozaikę (BALON, MACIEJOWSKI 2012).

Regionalizacja to klasyfikacja geokompleksów prowadzona ze względu na różnice (RICHLING 1992), a zatem regionalizując, określamy cechy indywidualne jednostki, które różnią ją od otoczenia. W praktyce sąsiadujące ze sobą geokompleksy tego samego szczebla taksonomicznego łączy się w jedną jednostkę wyższego rzędu, poszukując znaczących różnic pomiędzy nią a obszarami otaczającymi. Efektem regionalizacji jest mapa jednostek indywidualnych, w pewnym sensie niepowtarzalnych – każda z nich na mapie występuje tylko jeden raz.

Podział krajobrazu na geokompleksy ma też swoich krytyków, zwracających przede wszystkim uwagę na problem subiektywizmu oraz pracowitości ich wydzielenia jednak bez względu na to, w jakim stopniu zarzuty te są zasadne, geokompleksy uznaje się na ogół za dobre narzędzie badań ekologiczno-krajobrazowych (BALON 2007). Poza tym koncepcja geokompleksów dobrze sprawdza się w różnych skalach opracowań, od lokalnej (gdzie analizujemy małe jednostki), przez regionalną (gdzie wyróżniamy i badamy mniejsze regiony), po globalną (gdzie analizujemy regiony najwyższych rang taksonomicznych).

Innym sposobem badania struktury poziomej krajobrazu jest zastosowanie modelu: tło – płyty – korytarze, wprowadzonego do badań krajobrazowych przez R.T.T. FORMANA i M. GODRONA (1986). Koncepcja ta zakłada, że w zróżnicowanym przestrzennie krajobrazie tylko pewne jego fragmenty, odróżniają się znacząco od jednolitego tła; są to tzw. płyty oraz łączące je korytarze. Koncepcja ta została zaproponowana przede wszystkim do badań czysto ekologicznych, z czasem zaczęto ją stosować szerzej, m.in. w ujęciu krajobrazowym, zmierzającym do optymalizacji wykorzystania środowiska przyrodniczego dla potrzeb działalności człowieka (CIESZEWSKA 2004).

Tło, zwane niekiedy również matrycą, definiowane jest jako rozległy obszar o znacznym stopniu jednorodności, stanowiący rodzaj podkładu dla pozostałych składowych krajobrazu. Przykładem tła może być rozległa powierzchnia leśna lub rolnicza, rzecz oczywista w terenie o niezbyt urozmaiconej rzeźbie. Z kolei płytą nazywa się każdą nieliniową powierzchnię, która różni się wyglądem od tła. Podstawową cechą płyt jest ich wzajemna izolacja. Wyróżnia się pięć typów płyt (FORMAN, GODRON 1986) o różnej genezie. Są to:

- płyty reliktove, np. zagajnik w krajobrazie rolniczym, będący pozostałością pokrywającego wcześniej teren lasu,
- płyty siedliskowe albo zasobowe, np. torfowisko w obrębie równiny pokrytej roślinnością trawiastą,
- płyty zaburzeniowe albo dewastacyjne, np. wiatrołom będący efektem silnego wiatru lub zrab zupełny (poręba) wśród zachowanego lasu,
- płyty wprowadzone, np. płat zabudowy w obszarze rolniczym,
- płyty efemeryczne, np. stado bydła wypasane na pastwisku, bądź wędrujące przez sawannę stado antylop.

Prócz płyt od matrycy odróżniają się charakterem formy wyraźnie wydłużone korytarze. Podobnie jak płyty, korytarze również dzielimy na kilka typów genetycznych (FORMAN, GODRON 1986):

zaburzeniowe, reliktywne, zasobowe, wprowadzone oraz regenerowane. Z punktu widzenia funkcjonowania krajobrazu korytarze pełnią rolę (BALON, MACIEJOWSKI 2012):

- drogi migracji materii i energii przemieszczającej się między płacami,
- bariery dla materii i energii przemieszczającej się w obrębie tła,
- miejsca skąd następuje kolonizacja tła,
- miejsca siedliskowego.

Zasygnalizowana powyżej koncepcja stosowana jest głównie w skali lokalnej, rzadziej w skali regionalnej, prawie nigdy zaś – w globalnej.

Kończąc rozważania o strukturze horyzontalnej krajobrazu, warto zaznaczyć, że niekiedy badamy krajobraz używając pól pozaprzyrodniczych – jednostek administracyjnych, np. gmin, powiatów oraz pól geometrycznych (najczęściej kwadratów). Jednostki te traktujemy wtedy jako badawcze pola podstawowe, służące do zbierania danych o krajobrazie. Szczegółowe omówienie wad i zalet poszczególnych rodzajów pól podstawowych, zawiera praca D. SOŁOWIEJ (1992). Nie ma żadnych przeciwskażeń, by tego typu pola podstawowe stosować w każdej ze skal przestrzennych: od lokalnej, przez regionalną po globalną.

Niekiedy dla zbadania struktury horyzontalnej krajobrazu prowadzimy też badania punktowe, czyli w odpowiednio dobranych, możliwie reprezentatywnych miejscach. Niezbędna jest wtedy sieć punktów, która pozwala na interpolację danych na obszary położone pomiędzy punktami. Badania tego typu mogą być prowadzone w różnych skalach przestrzennych, przy czym poszczególne punkty zwykle reprezentują skalę lokalną.

Porządki przestrzenne

Zasygnalizowane wcześniej podejścia badawcze opierają się zwykle na szczegółowej analizie cech krajobrazu, dokonywanej w trakcie badań w skalach lokalnych, następnie różnymi metodami syntetyzowanych w celu uzyskania obrazu bardziej całościowego. Zdaniem K. OSTASZEWSKIEJ (2002) w badaniach krajobrazowych winniśmy kłaść nacisk przede wszystkim na rozpoznawanie pewnych „krajobrazowych całości”, cechujących się nie tylko określoną strukturą, ale i dynamiką. Pewną propozycją kompleksowego spojrzenia na krajobraz, które spełnia powyższy postulat, jest wyróżnienie w nim porządków przestrzennych. Są to główne prawidłowości „uporządkowania” środowiska przyrodniczego w przestrzeni, a zatem jego przestrzennego zróżnicowania, rozpatrywanego w sposób całościowy (BALON 1993, 2005). Występowanie porządków przestrzennych wyraża się poprzez zróżnicowanie zarówno elementów, jak i cech środowiska. Podstawą wyróżnienia poszczególnych porządków przestrzennych są określone cechy przewodnie, wpływające na znaczącą ilość innych cech, czego skutkiem jest całościowe zróżnicowanie całokształtu środowiska przyrodniczego w nawiązaniu do cechy przewodniej (BALON 2009). Podstawowymi porządkami przestrzennymi krajobrazu są strefowość, pasowość, stopień kontynentalizmu/oceanizmu, piętrowość i sekwencja morfologiczna.

STREFOWOŚĆ. Najczęściej wyróżnia się siedem stref krajobrazowych: równikową, podrównikową, zwrotnikową, podzwrotnikową, umiarkowaną ciepłą, umiarkowaną chłodną i polarną, przy czym sześć z nich (poza równikową) występuje po obu stronach równika. Regularny układ stref jest modyfikowany przez układ mórz i oceanów, wzniesienie nad poziom morza, występowanie pasm górskich, rodzaje cyrkulacji barycznych, prądy morskie i in. W niektórych opracowaniach wyróżnia się mniejszą lub większą liczbę stref, np. łącząc strefę podrównikową z równikową i umiarkowaną ciepłą z umiarkowaną chłodną (OKOŁOWICZ, 1969, MARTYN 1985) lub rozdzielając strefę polarną na dwie: polarną i subpolarną (PODBIELKOWSKI 1975). Strefowość jest oczywiście porządkiem przestrzennym określającym zróżnicowanie krajobrazu w skali globalnej, ale jej modyfikacje mają charakter regionalny a konsekwencje zaznaczają się również w skali lokalnej (np. w przebiegu zmian pogody, występowaniu konkretnych zbiorowisk roślinnych i in.).

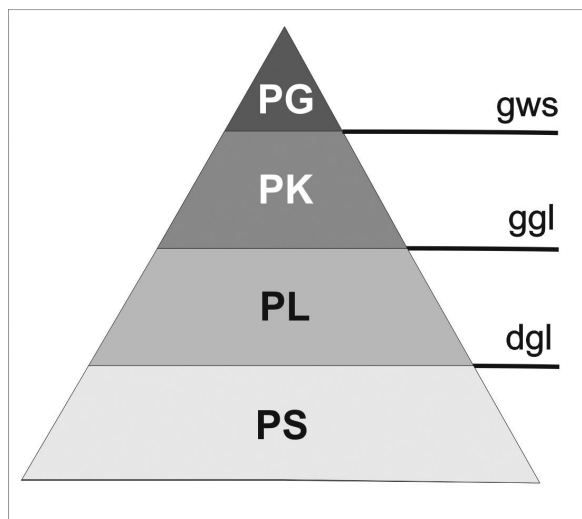
PASOWOŚĆ jest porządkiem przestrzennym dobrze zaznaczającym się przede wszystkim w skali globalnej i regionalnej, bowiem można wyróżniać pasy krajobrazowe o różnym stopniu ogólności. W skali globalnej jest to podział na obszary nizinne, wyżynne i góry. W skali regionalnej, przykładowo w Polsce wyróżnia się sześć pasów krajobrazowych: pobrzeża, pojezierza (niziny młodoglacjalne), niziny staroglacjalne, „stare” góry i wyżyny, młode obniżenia podgórskie, „młode” góry. Pasowość zaznacza się też w skali lokalnej, choćby poprzez różnice w wysokości bezwzględnej, typach rzeźby i in.

Tabela 1. Porządki przestrzenne

PORZĄDEK PRZESTRZENNY	PRZYCZYNA	CZYNNIK PRZEWODNI	ZMIENNOŚĆ	EFEKT	UKŁAD	SKALE PRZESTRZENNE	UWAGI
STREFOWOŚĆ	czynniki astronomiczne, w efekcie różna dostawa energii	zróżnicowanie klimatu w różnych szerokościach geograficznych	pozioma, w układzie północ-południe, z lokalnymi modyfikacjami	równoległe do siebie strefy o szerokiach przejściowych granicach	regularny, symetryczny względem równika	globalna, regionalna, lokalna	równoleżnikowe bariery górskie często stanowią ostre granice pomiędzy strefami krajobrazowymi w obszarach górskich pasy są znacznie węższe niż w obszarach nizinnych
PASOWOŚĆ	współwystępowanie oddziaływania czynników endogenicznych (ruchy podnoszące powierzchni Ziemi) i egzogenicznych (obniżanie, degradacja powierzchni Ziemi)	występowanie jednostek tektoniczno-morfologicznych – gór, wyżyn i nizin.	pozioma, w różnych kierunkach	równoległe do siebie pasy (miejscami nieregularne płaty) o ostro wyrażonych granicach	nieregularny, często naprzemienne pasów wyżej i niżej położonych	globalna, regionalna, lokalna	w obszarach górskich pasy są znacznie węższe niż w obszarach nizinnych
STOPIEŃ KONTYNENTALIZMU / OCEANIZMU	występowanie oceanów i mórz	siła i zasięg klimatycznego oddziaływania oceanów i mórz	pozioma, w kierunku brzeg oceanu (morza) – wnętrza lądu	obszary o kontynentalnych, przejściowych i oceanicznych cechach środowiska; zwykle szerokie, przejściowe granice	regularny, w obrębie lądu koncentryczny.	globalna, regionalna	bariery górskie równoległe do wybrzeża często stanowią ostre granice pomiędzy środowiskiem kontynentalnym i oceanicznym
PIĘTROWOŚĆ	występowanie gór, w efekcie zmiany klimatu wraz z wysokością	wysokość względna	pionowa, w nawiązaniu do poziomu morza	piętra, o wyraźnych, ale często strefowych granicach	regularny, zależny od wysokości gór i lokalizacji podstawy gór	globalna, regionalna, lokalna	podstawą układu piętrowego (najniższym piętrem) jest strefa krajobrazowa, w której leży dane pasmo górskie
SEKWENCJA MORFOLOGICZNA	występowanie lokalnych różnic wysokości, przez to powstawanie różnic potencjałów i w efekcie zróżnicowanie procesów	wysokość względna	pionowa, w nawiązaniu do podłoża stoku	kateny stokowe (wierzchowina – stok – podłoże stoku); granice w przypadku stoków młodych ostre, w stokach dojrzających bardziej zatarte.	regularny, ale wewnętrznie zróżnicowany (różny układ odcinków stoku)	regionalna, lokalna	sekwencja morfologiczna w górach jest rozwinęta najpełniej; układy długie i najbardziej zróżnicowane

STOPIEŃ KONTYNTENTALIZMU/OCEANIZMU KRAJOBRAZU jest porządkiem przestrzennym najczęściej rozpatrywanym (MARTYN 1985) w kontekście klimatycznym (wysokość i rodzaj opadów, roczne amplitudy temperatury, długość okresu wegetacyjnego, rodzaj i ilość pór roku), jednak zmienność ta dotyczy nie tylko klimatu, ale ma wpływ na inne cechy krajobrazu, takie jak procesy morfogenetyczne czy zbiorowiska roślinne. Efektem oddziaływania mórz i oceanów jest powstawanie obszarów o oceanicznych i kontynentalnych, a pomiędzy nimi – przejściowych, cechach krajobrazu. Należy przy tym pamiętać, że omywające wybrzeża prądy chłodne istotnie redukują lub nawet likwidują oceaniczne cechy środowiska. Wtedy w pobliżu wybrzeży morskich powstają krajobrazy o cechach kontynentalnych. Podobnie jak strefowość, omawiany porządek przestrzenny określa przede wszystkim zróżnicowanie krajobrazu w skali globalnej, ale jego modyfikacje mają charakter regionalny. W skali lokalnej mamy do czynienia z konkretnymi konsekwencjami, m.in. związanymi z wielkością i rozkładem opadów, „bujnością” lub „skąpością” szaty roślinnej i in.

PIĘTROWOŚĆ jest jedynym porządkiem przestrzennym o ograniczonym zasięgu – występuje tylko w obszarach górskich (BALON 2009). Pomimo to ma charakter globalny. W klasycznym ujęciu C. TROLLA (1973) w górach świata występują cztery podstawowe piętra: stepowo-pustynne, leśne, peryglacjalne (krioniwalne) i glacialne (niwalne), oddzielone od siebie trzema granicami tzw. istotnymi: dolną granicą lasu zwaną też górną granicą suchości, górną granicą lasu i granicą wieloletnich śniegów (Ryc. 3).



Ryc. 3. Główne piętra krajobrazowe (na podstawie C. Trolla 1973, zmienione)

Objaśnienia: PG – piętro glacialne (niwalne), PK – piętro krioniwalne (peryglacjalne), PL – piętro leśne, PS – piętro stepowe (pustynne), gws – granica wiecznego śniegu, ggl – górna granica lasu, dgl – dolna granica lasu (górną granicą suchości)

Układ ten jest modyfikowany w skali regionalnej: przykładowo w obszarach wilgotnych nie występuje najniższe piętro stepowo-pustynne, a najniższym piętrem jest piętro leśne. Z kolei na obszarach skrajnie suchych nie ma piętra leśnego – piętro stepowo-pustynne przychodzi bezpośrednio w piętro peryglacjalne. Poza tym wskazane wyżej piętra dzielą się na części: przykładowo w europejskich górach strefy umiarkowanej wyróżnia się dwa, a w amerykańskich górach strefy gorącej – cztery piętra leśne. W skali lokalnej modyfikacje są największe, przykładowo najwyższe piętro zależy od wysokości bezwzględnej danego pasma górskiego (niektóre góry nie „sięgają” do najwyższych pięter). Podstawową kwestią jest również wysokość granic między piętrami, zależne od szeregu czynników lokalnych, np. ekspozycji stoków, przeważających kierunków wiatrów, masowności obszaru, układu dolin itp. W obszarach górskich stanowiących bariery pomiędzy strefami klimatycznymi lub obszarami o oceanicznych i kontynentalnych cechach środowiska, pojawia się asymetria piętrowości; na poszczególnych skłonach gór występuje różny układ pięter.

SEKWENCJA MORFOLOGICZNA, czyli zróżnicowanie krajobrazu wzdłuż kateny stokowej: wierzchowina grzbietu – stok – podnóże stoku, jest porządkiem przestrzennym rozpatrywanym najczęściej w skali regionalnej lub lokalnej. W skali regionalnej zauważamy różnice pomiędzy obszarami górskimi (kateny długie i najbardziej zróżnicowane) a obszarami wyżynnymi i nizinnymi; w tych ostatnich często wyróżnia się tylko dwie części: wierzchowina (obszar litogeniczny) – dolina (obszar hydrogeniczny). W skali lokalnej układy sekwencji zależą od różnych czynników, m.in. wysokości względnej, odległości osi doliny od linii grzbietu, historii rzeźby obszaru i in. W niektórych obszarach na wewnętrzne zróżnicowanie układów sekwencji ma istotny wpływ działalność gospodarcza człowieka, która przede wszystkim zmierza do dalszej fragmentacji poszczególnych elementów sekwencji na skutek zmian użytkowania ziemi (na przykład dzieli jednolicie nachylony stok na dwa odcinki: pokryty lasem i uprawiany).

Warto zauważyć, że bez względu na przyjętą skalę, krajobraz w każdym miejscu kuli ziemskiej jest efektem nakładania się na siebie porządków przestrzennych. Porządki przestrzenne można zatem traktować jako rodzaj „współrzędnych krajobrazowych” (BALON 2009), za pomocą których można opisać każdy lądowy obszar kuli ziemskiej przy użyciu pięciu parametrów: strefowości, pasowości, stopnia kontynentalizmu/oceanizmu, piętrowości i sekwencji morfologicznej. Zestawienie tych parametrów daje nam syntetyczną informację o krajobrazie, zarówno w skali globalnej, regionalnej jak i lokalnej.

Literatura

- ARMAND D.L. (1980): Nauka o krajobrazie, PWN, Warszawa.
- BALON J. (2007): Unifikacja typów geokompleksów w skali kraju podstawą waloryzacji krajobrazu, *Problemy Ekologii Krajobrazu*, 19, 25-33.
- BALON J. (2009): Porządki przestrzenne - syntetyczna wizja krajobrazu, *Problemy Ekologii Krajobrazu* 23, 61-70.
- BALON J. (2005): Spatial order in the natural environment of the Polish Tatra Mts., *Prace Geograficzne IGI GP UJ*, 115, 19-29.
- BALON J., MACIEJOWSKI W. (2012): Geoeologia dla architektów krajobrazu, Instytut Architektury Krajobrazu, Politechnika Krakowska, Kraków.
- BARTSCH H., (1979): W sprawie pojęć dotyczących powłoki ziemskiej i jej przestrzennego rozczłonkowania w terminologii nauki o krajobrazie, *Przegląd Zagr. Liter. Geogr.* 2.
- CIESZEWSKA A. (2004): Model płatów i korytarzy – dyskusja pojęć, *Problemy Ekologii Krajobrazu* 14, 13-16.
- FORMAN R.T.T., GODRON M. (1986): *Landscape Ecology*, J. Wiley & Sons.
- JACKOWSKI A. (red.) (2004): *Geografia. Encyklopedia szkolna*, Zielona Sowa, Kraków.
- KONDRACKI J. (1976): *Postawy regionalizacji fizycznogeograficznej*, PWN, Warszawa.
- LÖFFLER J. (2002): *Vertical landscape structure and functioning*, [w:] Bastian O. Steinhart U. (red.), *Development and Perspectives of Landscape Ecology*, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht.
- MARTYN D. (1985): *Klimaty kuli ziemskiej*, PWN, Warszawa.
- OKOŁOWICZ W. (1969): *Klimatologia ogólna*, PWN, Warszawa.
- OSTASZEWSKA K. (2002): *Geografia krajobrazu*, Wyd. Nauk. PWN, Warszawa.
- PIETRZAK M. (1998): *Syntezy krajobrazowe. Założenia, problemy, zastosowania*, Bogucki Wydawnictwo Naukowe, Poznań.
- PIETRZAK M. (2010): *Podstawy i zastosowania ekologii krajobrazu. Teoria i metodologia*, PWSZ im. J. Komeńskiego, Leszno.
- PODBIELKOWSKI Z. (1975): *Roślinność kuli ziemskiej*, WSiP, Warszawa.
- PRZEWOŹNIAK M. (1987): *Podstawy geografii fizycznej kompleksowej*, Wyd. Uniw. Gdańskiego, Gdańsk 1987.
- RICHLING A. (1992): *Kompleksowa geografia fizyczna*, PWN, Warszawa.
- STARKEL L. (red.) 1978, *Studia nad typologią i oceną środowiska geograficznego Karpat i Kotliny Sandomierskiej*, *Prace Geograficzne IGIPZ PAN*, 125.
- SOŁOWIEJ D. (1987): *Podstawy metodyki oceny środowiska przyrodniczego człowieka*, Wyd. UAM, Poznań.
- TROLL C. (1973): High mountain belts between the polar caps and the equator, their definition and lower limit, *Arc. Alp. Res.* 5, 2, 19-27.
- WIDACKI W. (1989): *System relacyjny środowiska przyrodniczego Beskidów na przykładzie zlewni potoku Jaszczurowa w Beskidzie Małym*, UJ, *Rozprawy Habil.* 162, Kraków.

Przemiany krajobrazu jako efekt antropopresji

Wprowadzenie

Interakcja krajobraz – człowiek jest przedmiotem zainteresowania badaczy z kręgu szeregu dyscyplin naukowych, zarówno przyrodniczych, jak i społecznych oraz technicznych. Badanie wspomnianej interakcji jest jednak poważnie utrudnione: dzieje się tak w każdej sytuacji, gdy podmiot badawczy (człowiek) jest równocześnie przedmiotem (część interakcji) badań. W efekcie (BALON, MACIEJOWSKI 2012) trudno o zachowanie pełnego obiektywizmu wśród badaczy, gdyż często pojawia się u nich (szkodzący obiektywizmowi) emocjonalny stosunek do zagadnienia. Wiąże się to z pojawiającymi się konfliktami interesów, w skrajnych przypadkach nawet „wewnętrznych”. Przykładowo, jeśli badacz Tatr jest równocześnie zapalonym narciarzem, jako naukowiec może być przeciwny inwestycjom narciarskim w rejonie Kasprowego Wierchu, zaś jako narciarz – być ich zwolennikiem. Innym problemem jest szeroki krąg ludzi, którzy mają swój pogląd w sprawie miejsca i roli człowieka w krajobrazie (na przykład na temat prowadzenia autostrady przez rezerwat przyrody). Głosy prawdziwych specjalistów są często zagłuszane przez „szum informacyjny”. W efekcie problemy, które powinny być rozwiązywane na bazie naukowej, stają się przedmiotem dyskusji i sporów społecznych, często nadmiernie nagłaśnianych przez media.

Specyfiką ekologii krajobrazu jest holistyczne (całościowe) podejście do zagadnienia. Przejawia się ono próbą zachowania równego dystansu od planistyczno-gospodarczego spojrzenia na krajobraz, nastawionego głównie na wykorzystanie krajobrazu i osiągania z niego zysków, jak i od spojrzenia ochroniarskiego, które traktuje zwykle jakąkolwiek działalność człowieka jako zło konieczne (BALON, MACIEJOWSKI 2012). Zdaniem A.S. KOSTROWICKIEGO (1977) związki pomiędzy krajobrazem a człowiekiem są tak ścisłe, że wszelkie zmiany w systemie krajobrazowym muszą wywoływać zmiany w systemie społeczno-ekonomicznym i na odwrot. Dlatego przemiany krajobrazu zachodzące pod wpływem działalności człowieka stanowią jedno z podstawowych pól badawczych ekologii krajobrazu.

Należy zaznaczyć, że nie wszystkie przemiany krajobrazu mają charakter antropogeniczny. Krajobraz zmienia się bowiem – i to niekiedy bardzo intensywnie – pod wpływem czynników naturalnych. Bywa też, że konkretne przemiany są efektem nakładania się na siebie czynników naturalnych i tych wywołanych przez człowieka.

Antropopresja

Ogólnie można powiedzieć, że wszelkie przemiany krajobrazu wywołane przez działalność człowieka, są efektem antropopresji. Dla określenia tego wpływu używa się też określeń: „wpływ człowieka”, „presja człowieka”, „antropizacja” i innych. Z racji wielości terminów niezbędne jest uporządkowanie i możliwie jednolite stosowanie związanych z tym pojęć. Szczególnie rozdzielenie pojęcia „antropopresja” i „antropizacja” wydaje się – także pod względem etymologicznym – konieczne. Najbardziej logicznym rozwiązaniem jest określanie terminem „antropopresja” wpływu człowieka na krajobraz, zaś terminem „antropizacja” – efektów tego oddziaływania (BALON, MACIEJOWSKI 2012).

Tak rozumiana antropopresja może zachodzić na dwa główne sposoby (MALINOWSKA, LEWANDOWSKI, HARASIMIUK 2004):

- a. jako bezpośrednie działania fizyczne, chemiczne i biologiczne w krajobrazie,
- b. jako fizyczna, chemiczna lub biologiczna ingerencja w procesy fizycznogeograficzne.

Dalsze porządkowanie terminów, związanych z presją człowieka na krajobraz, pozwala wyróżnić (BALON, MALARA 1993) czynniki antropopresji, rodzaje antropopresji i antropogeniczne przemiany krajobrazu.

Czynniki antropopresji to wszelkie formy działalności człowieka w krajobrazie, zmierzające do wykorzystania zasobów krajobrazu dla potrzeb człowieka. Należą do nich m.in.:

- rolnictwo (uprawa i hodowla),
- leśnictwo,
- łowiectwo i rybołówstwo,
- przemysł (w tym górnictwo),
- zabudowa,
- komunikacja (zarówno transport jak i łączność),
- regulacja wód,
- działalność militarna,
- turystyka.

Powodują one szereg określonych oddziaływań na krajobraz, które określamy mianem rodzajów antropopresji (opisanych poniżej).

Należy zauważyć, że wszelkie przeciwdziałanie ukierunkowane na zwalczanie czynników antropopresji w określonym terenie (jak to czynią niekiedy np. różne organizacje ekologiczne) jest zwykle przedsięwzięciem mało skutecznym i często też mało sensownym. Dzieje się tak dlatego, że człowiek poprzez czynniki antropopresji realizuje – spełnia swoje potrzeby, w tym potrzeby podstawowe: zdobycia pożywienia, narzędzi, potrzebę zamieszkania, bezpieczeństwa, rozwijania osobowości itp. Można oczywiście zmierzać w kierunku ograniczenia niektórych czynników antropopresji, na przykład budownictwa czy turystyki w obszarach chronionych, ale w wielu sytuacjach jest to przysłowiowa walka z wiatrakami. Znacznie bardziej racjonalne jest natomiast ograniczanie wielkości i zakresu oddziaływania człowieka na krajobraz, a zatem rodzajów antropopresji.

Rodzaje antropopresji możemy zdefiniować (BALON, MALARA 1993) jako konkretne oddziaływania człowieka na środowisko, wywołane przez czynniki antropopresji. Należą do nich m.in.:

- emisja zanieczyszczeń powietrza,
- zanieczyszczanie wody, m.in. poprzez zrzuty ścieków,
- zaśmiecanie,
- zmienianie stosunków wodnych,
- erodowanie zwietrzliny i pokrywy glebowej,
- mechaniczne oddziaływanie na skały i pokrywy (np. przy wyrównywaniu terenu),
- hałas,
- niszczenie pokrywy roślinnej,
- eliminacja zwierząt.

Warto zauważyć, że wielkość i intensywność poszczególnych rodzajów antropopresji zależy od:

- zróżnicowania czynników antropopresji – przykładowo emisja zanieczyszczeń powietrza będzie typowa dla obszarów przemysłowych, a erozja gleb dla obszarów rolniczych,
- cech środowiska przyrodniczego – przykładowo intensywniej zachodzi wodna erozja gleb w górach niż na terenie równinnym,
- okresu i związanego z nim stopnia zaawansowania cywilizacyjnego społeczeństwa; w przeszłości przeważało niszczenie pokrywy roślinnej (celem uzyskania pól uprawnych, terenów osiedleńczych, drewna opałowego) i eliminacja dzikich zwierząt (zagrożających życiu i gospodarowaniu człowiekiem). Współcześnie wielką rolę odgrywa emisja zanieczyszczeń powietrza, zanieczyszczanie wody, zaśmiecenie i inne,
- stopnia świadomości społeczeństw ludzkich, szczególnie w zakresie szkodliwości poszczególnych rodzajów antropopresji, np. zaśmiecienia czy hałasu.

Antropogeniczne przemiany krajobrazu

Pod wpływem różnych rodzajów antropopresji zachodzą przemiany krajobrazu o charakterze antropogenicznym. Przemiany te mogą być trojakiemu rodzaju.

Pierwsze z nich to przemiany prowadzące do obniżenia jakości krajobrazu, czyli jego degradacji. Przykładami tego typu przemian są m.in. (BALON, MACIEJOWSKI 2012):

- zanieczyszczenie powietrza,
- zanieczyszczenie wód podziemnych i powierzchniowych,

- degradacja fizyczna, chemiczna i biologiczna gleb,
- zniszczenie pokrywy roślinnej,
- zagłada konkretnego gatunku roślin lub zwierząt,
- przekształcenie rzeźby,
- dekompozycja krajobrazu.

Przemiany tego typu można podzielić na (KOSTROWICKI 1970):

- destrukcyjne – powodujące całkowite zaburzenie elementów krajobrazu,
- redukcyjne – ograniczające do minimum rolę niektórych elementów krajobrazu.

Warto zauważyć, że wielkość i intensywność zachodzących przemian zależy nie tylko od siły oddziaływania poszczególnych rodzajów antropopresji, ale i od podatności obszaru, gdzie owe oddziaływania zachodzą (Ryc. 1). Bodziec o tej samej sile (A1, B1) może wywołać inne skutki w obszarach o różnej podatności (A2, B2). Z kolei bodziec słaby (C1) może wywołać w obszarze podatnym podobne skutki (C2) jak bodziec silny (B1) w obszarze mniej podatnym (B2).

Druga grupa przemian krajobrazu jest efektem celowych działań człowieka, których przyczyną jest wzrastająca świadomość negatywnych skutków antropopresji, prowadzących do degradacji krajobrazu. Tego typu zmiany zmierzają do ochrony krajobrazu, a zatem powstrzymania degradacji lub przywrócenia krajobrazu do stanu poprzedniego. Przykładowo należą do nich (BALON, MACIEJOWSKI 2012):

- polepszanie jakości powietrza, np. poprzez redukcję szkodliwych emisji gazów i pyłów,
- polepszanie jakości wody np. poprzez oczyszczanie ścieków,
- zabiegi przeciwozyjne, np. zakładanie pasów wiatrochronnych, terasowanie pól,
- zachowanie rzadkich i zagrożonych gatunków, np. przez prawną ochronę wybranych gatunków roślin i zwierząt,
- powstrzymywanie degradacji krajobrazu, np. poprzez tworzenie form ochrony przyrody (m.in. parki narodowe, parki krajobrazowe, rezerваты przyrody, obszary chronionego krajobrazu czy pomniki przyrody, obszary NATURA 2000, rezerваты biosfery i in.).

Warto zauważyć, że tego typu przemiany stanowią zwykle „odpowiedź” na konkretne przemiany degradacyjne, np. odpowiedzią na zanieczyszczenie wód jest ich oczyszczanie, odpowiedzią na zagrożenie gatunku jest poddanie go prawnej ochronie itp.

Inaczej wygląda sytuacja z trzecią grupą przemian, która wiąże się z takim wykorzystaniem krajobrazu, który nie prowadzi do jego degradacji czyli obniżenia jego jakości. Tę grupę przemian można określić ogólnie jako gospodarowanie krajobrazem.

Przykładami tego typu przemian mogą być m.in. (BALON, MACIEJOWSKI 2012):

- wprowadzenie właściwej struktury użytkowania ziemi,
- stosowanie racjonalnego użytkowania gleb,
- wykonywanie melioracji,
- dokonywanie zadrzewień i zakrzewień śródpolnych,
- racjonalna gospodarka wodno-ściekowa,
- racjonalne wykorzystanie przestrzeni.

A.S. KOSTROWICKI (1970) przemiany tego typu określa jako:

- supletyczne, czyli wzbogacające krajobraz i powodujące wzrost jego produktywności,
- kompensacyjne, czyli wyrównujące braki w przydatności krajobrazu dla określonego typu gospodarowania.

Nieco inaczej do zagadnienia gospodarowania krajobrazem podchodzi M. PRZEWOŹNIAK (1987), wyróżniając w zależności od stopnia przekształcenia krajobrazu i jego wartości:

- ochronę krajobrazów – utrwalanie aktualnych właściwości krajobrazu i zapobieganiu jego degradacji oraz wszelkim przekształceniom, nawet uzasadnionym społecznie czy gospodarczo; chronimy krajobrazy najbardziej cenne,
- pielęgnację krajobrazów – utrwalanie aktualnych właściwości krajobrazu i zapobieganiu jego degradacji, jednak z akceptacją jego przekształceń uzasadnionych społecznie lub gospodarczo;
- rewaloryzację, czyli podwyższanie wartości krajobrazów nie wykorzystywanych optymalnie;
- restytucję, czyli przywracanie krajobrazów przekształconych przez człowieka do stanu naturalnego;
- rekultywację, czyli przywracanie krajobrazom zdegradowanym zdolności produkcyjnej.

Krajobrazy naturalne i kulturowe

W powszechnej świadomości wpływ człowieka na krajobraz dotyczy przede wszystkim pewnych jego składowych (elementów czy cech krajobrazu), na przykład szaty roślinnej, wód czy gleb. W rzeczywistości krajobraz stanowi system, w którym przedmioty i zjawiska pozostają w nierozdzielnej od siebie zależności i wzajemnie się warunkują (KALEŚNIK 1969), przez to zmiana jednego elementu powoduje zmianę pozostałych elementów. Dlatego oddziaływanie człowieka dotyczy krajobrazu jako całości. Jeśli zatem krajobraz zmienia się jako całość, można mówić o krajobrazach w różnym stopniu przekształconych przez działalność człowieka. W najprostszym podziale wyróżnia się (MALINOWSKA, LEWANDOWSKI, HARASIMIUK 2004):

- krajobraz naturalny – krajobraz, w którym antropopresja nie naruszyła jego struktury i funkcjonowania,
 - krajobraz kulturowy – krajobraz zmieniony przez człowieka w wyniku antropopresji.
- Bardziej złożonego podziału dokonał A.G. ISACZENKO (1976), wyróżniając:

- krajobrazy nie zmienione (pierwotne),
- krajobrazy zmienione w niewielkim stopniu,
- krajobrazy zmienione silnie czyli naruszone,
- krajobrazy zmienione w różnym stopniu, jednak racjonalnie.

Z kolei F. KELE i P. MARRIOT (1986), analizując krajobrazy w skali globalnej, wyróżnili sześć grup krajobrazu:

- krajobrazy naturalne nie wykorzystane gospodarczo (na przykład wysokogórskie, polarne, pustynne),
- krajobrazy naturalne o potencjalnych możliwościach wykorzystania (krajobrazy tajgi, wilgotnych lasów równikowych),
- krajobrazy naturalne, ekstensywnie wykorzystywane przez człowieka (krajobrazy tundry, łąk alpejskich),
- krajobrazy przejściowe, ekstensywnie wykorzystywane przez człowieka (krajobrazy sawann, lasów liściastych),
- krajobrazy kulturowe wiejskie (krajobrazy rolnicze, rekreacyjne),
- krajobrazy kulturowe miejskie.

Warto zauważyć, że rozróżnienie krajobrazów na naturalne i kulturowe nie wynika z samej ich materialnej istoty, lecz ma charakter wyłącznie epistemologiczny (PIETRZAK 2006). A. RICHLING (2006) zauważa, że każdy realnie istniejący krajobraz zawiera w swej strukturze elementy naturalne oraz nosi piętno wpływu człowieka. Można zatem powiedzieć, że kulturowość i naturalność krajobrazu są jedynie jego istotnymi właściwościami, współistniejącymi w każdym krajobrazie (BALON 2006).

Nie wnikając głębiej w dyskusje metodologiczne, należy zwrócić uwagę, że wyróżnianie i badanie krajobrazów o różnym stopniu naturalności i kulturowości, stwarza istotne możliwości aplikacyjne.

Koncepcja rozwoju zrównoważonego

Dla określenia optymalnego sposobu gospodarowania krajobrazem celowe jest wskazanie stanu pożądanego, czyli takiego modelu relacji pomiędzy człowiekiem a krajobrazem, który można uznać za idealny, w pełni odpowiadający naszym oczekiwaniom. W tej materii przydatne są wizje futurystyczne, które potencjalnie mogą spełnić się w przyszłości, a zatem możliwe wizje przyszłego świata (BALON, MACIEJOWSKI 2012). Warto zasygnalizować trzy takie wizje obecne w literaturze futurystycznej.

Pierwsza z nich, stanowiąca groźne ostrzeżenie, a nie stan pożądaný, to świat technokratów, inaczej betonowa dżungla. Jest to świat pozbawiony wszelkiej naturalności, wypełniony za to urządzeniami technicznymi, od których człowiek jest całkowicie uzależniony – dzięki niej oddycha, odżywia się, przemieszcza, zaspokaja wszelkie potrzeby. Awaria techniczna grozi śmiercią człowieka, a może i zagładą całej cywilizacji. Tak nakreślona wizja świata nie jest w rzeczywistości całkowicie abstrakcyjna – obecny rozwój techniki zdaje się stopniowo zmierzać w kierunku automatyzacji wszystkiego, a od różnych udogodnień coraz trudniej nam się oderwać. Dobrym przykładem są wakacje, które zasadniczo powinny być spędzane w oderwaniu od codziennej rzeczywistości, jednak dla wielu ludzi są nieudane, jeśli spędzają je bez komputera z dostępem do Internetu i telewizora, o telefonie komórkowym

nie wspominając. Realizacja wizji betonowej dżungli jest wbrew pozorom całkiem możliwa we wcale nieodległej przyszłości.

Wizją przeciwną jest świat ekologów, czyli powrót do natury. Zgodnie z tą wizją człowiek winien powrócić do swoich początków, żyć zgodnie z rytmem i prawami natury, odrzucając wszelkie urządzenia techniczne. Wizja ta pozornie jest bardzo atrakcyjna. Jednak w rzeczywistości, rezygnując z wytworów cywilizacji, człowiek odrzuca nie tylko zło, które one niosą, ale też wszelkie dobro, a zatem m.in. dostęp do edukacji, opieki medycznej, różnych dóbr kultury, wiedzy i informacji, nie mówiąc już o rozrywce czy możliwości poznawania świata. Jest to zatem wizja nie tylko mało realna (chyba że uda nam się zniszczyć naszą cywilizację przypadkowo i będziemy musieli „zaczynać od nowa”), ale też w rzeczywistości bardzo nieatrakcyjna.

Zatem obie zasygnalizowane powyżej futurystyczne wizje świata na pewno nie stanowią dobrej odpowiedzi na pytanie o idealny świat przyszłości. Potrzebne jest spojrzenie, które „ustawi” przyszły świat mniej więcej w równej odległości pomiędzy betonową dżunglą a powrotem do natury.

W tych poszukiwaniach pomocny może być postulat tzw. zrównoważonego rozwoju, zwanego też niekiedy ekorozwojem (WOJCIECHOWSKI 1997). Pod tym pojęciem rozumiemy taką formę eksploatacji szeroko rozumianych zasobów przyrody, która pozwala na zaspokojenie obecnych i przyszłych potrzeb społecznych, ale równocześnie nie prowadzi do degradacji krajobrazu (RICHLING 1997). Koncepcja zrównoważonego rozwoju zrodziła się w latach sześćdziesiątych ubiegłego wieku. Podstawą tej koncepcji była stopniowo wzrastająca świadomość tego, że zasoby naszej planety się wyczerpują, skonfrontowana z powiększającą się, często rabunkową ich eksploatacją. Owa eksploatacja, pobudzana przez mechanizmy lawinowo wzrastającej konsumpcji, może prowadzić do wyczerpania większości zasobów i w efekcie – katastrofy globalnej.

Najprościej można powiedzieć, że rozwój może być zrównoważony tylko w przypadku zachowania materialnej (a także społecznej) bazy służącej rozwojowi przyszłych pokoleń (KISTOWSKI 2006). Przyjęcie w gospodarowaniu koncepcji rozwoju zrównoważonego prowadzi do ograniczenia wykorzystywania zasobów przyrodniczych. Świadomość ograniczenia zasobów skłania do ich bardziej planowego wykorzystywania, z poszanowaniem praw rządzących krajobrazem.

Chodzi zatem o racjonalne gospodarowanie krajobrazem, uwarunkowane m.in. rodzajem obszaru, którym gospodarujemy (KISTOWSKI, STASZEK 1999). Inaczej należy gospodarować w krajobrazie rolniczym, inaczej wielkomięskim, a jeszcze inaczej w różnego rodzaju krajobrazach cennych przyrodniczo, objętych ochroną prawną. Jak jednak zauważa J. SOLON (2004), nie w każdym przypadku celowe jest dążenie do pełnej renaturyzacji krajobrazu kosztem aktualnego sposobu gospodarowania. Krajobraz bowiem może być zrównoważony niezależnie od stopnia jego naturalności. Jednakże bez względu na rodzaj obszaru zawsze można nim gospodarować zgodnie z zasadami rozwoju zrównoważonego.

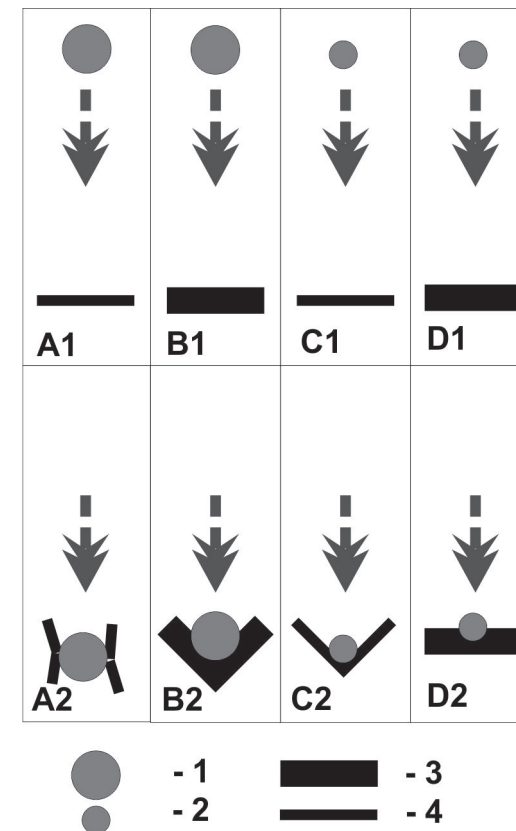
Dzięki prowadzeniu gospodarki zgodnie z postulatem rozwoju zrównoważonego, bardziej realny staje jeszcze jeden model futurystyczny – wizja świata-ogrodu, inaczej Edenu. Dodać trzeba, że owego Edenu nie należy utożsamiać z biblijnym rajem, w którym wszystko ma być „podane człowiekowi na talerzu”. W koncepcji Edenu człowiek jest ogrodnikiem świata (dziś może powiedzielibyśmy: działkowiczem). Oznacza to, że jest dobrym gospodarzem świata, jak każdy gospodarz korzysta z dóbr pochodzących ze swojego gospodarstwa zgodnie ze swoją wolą i potrzebami, ale równocześnie czuje się odpowiedzialny za swoje gospodarstwo – dba o to, by świat-ogród funkcjonował w niezmiennej postaci, by nie był nadmiernie eksploatowany i przez to degradowany. Człowiek-ogrodnik świata, jak każdy mądry ogrodnik traktuje swój ogród jako wartość nieprzemijającą, który ma służyć nie tylko jemu, ale i kolejnym pokoleniom, które przyjdą po nim.

Literatura

- BALON J. (2006): Krajobrazy kulturowe w wysokich górach – problemy metodologiczne, *Problemy Ekologii Krajobrazu* 18, 27-36.
 BALON J. (2007): Stabilność środowiska przyrodniczego Karpat Zachodnich powyżej górnej granicy lasu, IGI GP UJ, Kraków.
 BALON J., MACIEJOWSKI W. (2012): Geoeologia dla architektów krajobrazu, Instytut Architektury Krajobrazu, Politechnika Krakowska, Kraków.
 BALON J., MALARA H. (1993): Wpływ człowieka na środowisko przyrodnicze ziemi myślenickiej, W: German K. (red.) *Monografia Ziemi Myślenickiej t. 3, Geografia, Universitas, Kraków*, 117-128.
 ISACZENKO A. G. (1976): *Príkladnoje landszaftowiedienije*, Leningrad 1976.
 KALESNIK S. (1969): *Geografia fizyczna ogólna*, PWN, Warszawa 1969.

- KELE F., MARRIOT P. (1986): *Krajobraz. Człowiek. Środowisko*, Ossolineum, Wrocław 1986.
 KISTOWSKI M. (2006): Propozycja metody identyfikacji, waloryzacji i formułowania zaleceń ochronnych zasobów krajobrazu przyrodniczego i kulturowego, „*Problemy Ekologii Krajobrazu*” 18, 75-86.
 KISTOWSKI M., Staszek W. (1999): *Poradnik do opracowywania gminnego i powiatowego programu zrównoważonego rozwoju i ochrony środowiska*, Pomorski Urząd Wojewódzki, Gdańsk.
 KOSTROWICKI A.S. (1970): Z problematyki badawczej systemu „człowiek-środowisko”, *Przeegl. Geogr.* 42, 1.
 KOSTROWICKI A.S. (1977): Teoretyczne problemy badań interakcji „człowiek-środowisko” w kontekście potrzeb gospodarki przestrzennej, *Przeegl. Geogr.* 49, 2.
 MALINOWSKA E., LEWANDOWSKI W., HARASIMIUK M. (red.) (2004): *Geoeologia i ochrona krajobrazu*. Leksykon, Uniw. Warsz., Warszawa.
 PIETRZAK M. (2006): Krajobraz – między naturą i kulturą (czy istnieją krajobrazy kulturowe?), „*Problemy Ekologii Krajobrazu*” 18, 115-118.
 PRZEWOŹNIAK M. (1987): *Podstawy geografii fizycznej kompleksowej*, Wyd. Uniw. Gdańskiego, Gdańsk 1987.
 RICHLING A. (1997): Rozwój zrównoważony – utopijna idea czy realna szansa?, „*Problemy Ekologii Krajobrazu*”.
 RICHLING A. (2006): Czy istnieją krajobrazy naturalne i kulturowe?, „*Problemy Ekologii Krajobrazu*” 18, 119-122.
 SOLON J. (2004): Ocena zrównoważonego krajobrazu – w poszukiwaniu nowych wskaźników, „*Problemy Ekologii Krajobrazu*” 13, 49-58.
 WOJCIECHOWSKI K. (1997): Harmonia krajobrazu jako cel ekorozwoju, „*Problemy Ekologii Krajobrazu*” 1, 11-17.

Ryciny



Ryc. 1. Model relacji siła bodźca – podatność obszaru

Objaśnienia: 1 – bodziec silny, 2 – bodziec słaby, 3 – podatność mała, 4 – podatność duża, A1, B1, C1, D1 – sytuacja przed zadziałaniem bodźca, A2, B2, C2, D2 – sytuacja po zadziałaniu bodźca (Źródło: Balon J., 2007).

Prof. dr hab. Andrzej Kędziora
Instytut Środowiska Rolniczego i Leśnego PAN, Poznań

Wpływ zmian klimatycznych i użytkowania ziemi na bilans wodny zlewni i przepływy w ciekach

Wstęp

Od zarania państwa polskiego ustrój hydrograficzny kraju ulega niekorzystnym zmianom polegającym na zmniejszaniu się powierzchni zajętej przez wody powierzchniowe. Powierzchnia jezior spadła z 2% powierzchni kraju do 1%, a długości rzek znacznie się zmniejszyły w wyniku nadmiernych prac regulacyjnych. Procesy te przyspieszyły w miarę rosnącej liczby mieszkańców kraju wymuszającej przekształcenie stabilnych elementów krajobrazu, takich jak lasy, łąki, mokradła, zadrzewienia, zakrzaczenia w niestabilne, niezbędne dla wzrostu produkcji rolniczej pola uprawne. Funkcjonowania systemu hydrograficznego jest podobne do funkcjonowania układu elektrycznego. Najprostszy system elektryczny musi się składać ze źródła prądu (np. bateria), przewodnika, którym płynie prąd, opornika pozwalającego na kontrolowanie natężenia prądu i kondensatora gromadzącego nadmiar prądu, gdy źródło produkuje go za dużo, lub zasilającego układ, gdy ze źródła płynie za słaby prąd. Układ hydrograficzny musi mieć źródło wody (źródła naturalne lub mokradła), przewod, czyli rzekę, którą płynie woda, opornik, czyli meandry spowalniające szybkość przepływu, oraz kondensator, czyli rozlewiska. Od koryt rzecznych przez ich obwałowanie odcięto wiele rozlewisk, zlikwidowano też meandry. Ustrój rzeczny został pozbawiony elementów, które natura wykorzystywała do kontrolowania stanów wody i natężenia przepływu w rzekach.

Pogorszenie się struktury gleby, wzrost obszaru zlewni pokrytej elementami nieprzepuszczalnym (szosy, zabudowania, obszary utwardzone oraz zlikwidowanie elementów terenowych, np. miedz) spowodowało zmniejszenie ilości wody opadowej wsiąkającej w glebę i w niej gromadzonej oraz zwiększenie spływu powierzchniowego i skrócenie czasu, jaki mija od wystąpienia opadu do wezbrania. Sytuacja pogorszyła się w ostatnich dziesiętkach lat w wyniku szybkich zmian klimatycznych, które przejawiają się między innymi zwiększeniem częstotliwości i natężenia zjawisk ekstremalnych. Z jednej strony wzrasta częstotliwość deszczów nawalnych i częstotliwość okresów suchy, z drugiej strony, co prowadzi do pojawienia się albo niezwykle dużych przepływów w ciekach, albo głębokich niżówek lub w ogóle zaniku przepływu w małych ciekach. Naprawy funkcjonowania systemu hydrograficznego nie można dokonać, ograniczając się do działań prowadzonych tylko w dolinie rzecznej. Trzeba poprawić strukturę i funkcje całej zlewni poprzez wykorzystanie jej naturalnych mechanizmów kontrolujących funkcjonowanie systemu hydrograficznego.

Zmiany klimatyczne i zmiany użytkowania ziemi

Od kilkudziesięciu lat obserwuje się przyspieszenie tempa zmian klimatycznych na świecie, w tym także w Wielkopolsce. Zmiany te przejawiają się głównie wzrostem temperatury, zmianą rozkładu rocznego opadów i wzrostem częstotliwości występowania ekstremów klimatycznych. Prawdopodobne zmiany temperatury i opadów będą różniły się w różnych regionach świata. Temperatura wzrośnie wszędzie, ale najbardziej w wysokich szerokościach geograficznych a najmniej w tropikach. Opady wzrosną w tych regionach, gdzie już dzisiaj są wysokie, a zmniejszą się tam, gdzie dzisiaj są niskie.

Jest to oczywiste z punktu widzenia praw fizyki, gdyż wzrost temperatury zintensyfikuje procesy parowania, a w konsekwencji wielkości opadów tam, gdzie zasoby wody są wysokie. Natomiast tam, gdzie wody nie ma, wzrost temperatury może tylko pogorszyć sytuację, gdyż wyparowana woda w wyniku globalnej cyrkulacji odpłynie w inne regiony.

Pomimo ciągle kontrowersyjnych wyników badań dotyczących przestrzennego rozkładu tych zmian jedno wydaje się bezsporne: oczekuje nas wzrost temperatury powietrza na całym globie, w Polsce najprawdopodobniej około 2°C w lecie i do 6°C w zimie. Nie ma zgodności w sprawie zmian w opadach. Uznaje się za prawdopodobny wzrost opadów nawet o 20% w skali roku, ale prognozuje się także możliwość ich zmniejszenia w tym samym stopniu. Zmiany te muszą spowodować istotne zmiany w strukturze bilansu wodnego i niestety zmiany te będą przeważnie niekorzystne dla rolnictwa.

W Wielkopolsce wzrost temperatury powietrza jest obserwowany od roku 1980 i przyspiesza wyraźnie w ostatnim piętnastoletniu (Ryc. 1). W ciągu 25 lat (1981–2006) temperatura wzrosła z 8°C do 10°C. W tym samym okresie nie ma wzrostu opadów (Ryc. 2).

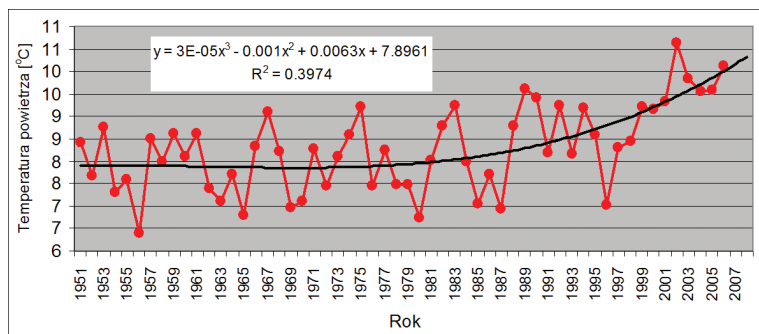
Bardzo dobrym przykładem struktury zmian temperatury powietrza i opadów w okresie 2003–2014 jest proporcja pomiędzy liczbą miesięcy, w których średnia wartość przewyższa wartość wieloletnią, a tymi, w których jest ona mniejsza (Tab. 1). Spośród 144 miesięcy 101 miało temperaturę wyższą od normy, co stanowi 70% przypadków. Liczba miesięcy z temperatura niższą od normy wyniosła 26

(18%). W przypadku opadów obraz jest zupełnie inny. Praktycznie tyle samo było miesięcy z opadami wyższymi od normy jak i z opadami niższymi.

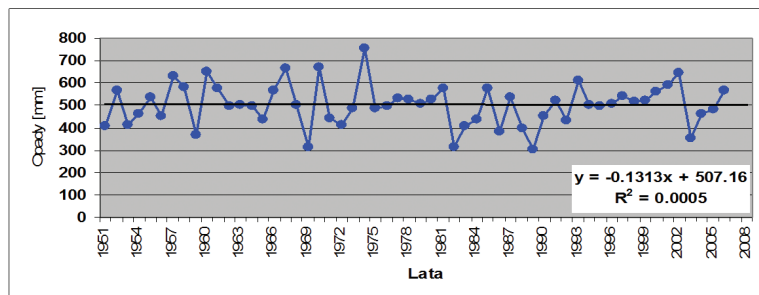
Tab. 1. Temperatura i opady w okresie 2003–2014

	Norma	2003		2004		2005		2006		2007		2008		2009		2010		2011		2012		2013		2014								
		T	Op	T	Op	T	Op	T	Op	T	Op	T	Op	T	Op	T	Op	T	Op	T	Op	T	Op	T	Op							
I	-2,4	39	-1,83	50	-3,46	58	1,34	39	16	-6,38	34	1,31	35	2,42	38	1,39	35	3,21	22	0,11	43	-3,6	26	25	0,3	24	0,6	80	-2,4	79	-0,8	51
II	-2,1	32	-3,42	6	1,39	35	2,42	38	1,96	34	1,31	35	2,42	38	1,39	35	3,21	22	0,11	43	-3,6	26	25	0,3	24	0,6	80	-2,4	79	-0,8	51	
III	1,7	35	3,12	18	4,21	28	0,87	18	0,19	26	5,27	51	3,76	56	3,67	49	3,67	49	3,67	49	3,67	49	3,67	49	3,67	49	3,67	49	3,67	49	3,67	49
IV	7,8	43	8,05	20	8,83	31	8,65	35	9,05	49	9,33	9	7,7	72	10,3	15	9,06	45	11,7	15	9,2	33	8,6	31	8,6	31	8,6	31	8,6	31	8,6	31
V	12,6	56	15,8	55	12,3	89	13,2	89	13,4	41	14,62	66	12,6	32	11,8	97	12,2	99	14,4	46	15,5	57	15,2	121	15,2	121	15,2	121	15,2	121	15,2	121
VI	16,8	62	19,2	35	16,1	48	16,5	36	18,1	28	18,70	51	18	22	14,6	116	17,7	29	18,7	81	17,7	136	17	113	17,7	136	17,7	136	17,7	136	17,7	136
VII	18	82	19,7	98	18,3	62	19,9	89	23,5	24	18,72	120	19,4	58	19,8	78	22,5	135	18,6	191	21,0	147	20,9	68	20,9	68	20,9	68	20,9	68	20,9	68
VIII	17,1	71	19,8	47	19,7	114	17,7	50	17,3	171	18,40	92	17,6	107	18,8	41	19,5	141	19,5	110	19,8	74	19,3	60	19,3	60	19,3	60	19,3	60	19,3	60
IX	13,5	51	14,3	23	14,1	38	15,5	36	16,1	36	12,58	37	12,8	23	15,3	69	12,9	83	15,4	27	15,3	53	12,8	103	12,8	103	12,8	103	12,8	103	12,8	103
X	9	43	5,28	34	10	49	9,82	11	9,94	61	7,33	27	8,82	62	7,2	75	7,1	12	9,7	18	8,3	24	10,7	21	10,7	21	10,7	21	10,7	21	10,7	21
XI	3,8	42	5,28	20	3,75	64	2,69	23	5,61	49	1,81	36	4,79	29	6,49	49	6,3	112,0	3,6	6	5,3	55	5,1	55	5,1	55	5,1	55	5,1	55	5,1	55
XII	-0,4	38	1,17	43	1,57	56	0,26	87	3,45	44	0,81	31	0,94	24	-0,7	63	-6,6	48	3,5	40	-1,1	48	3,1	33	3,1	33	3,1	33	3,1	33	3,1	33
Rok	8,0	594	8,86	449	8,9	672	8,66	551	9,03	579	9,39	649	9,24	593	8,62	723	8,02	802	9,7	609	9,5	769	9,1	767	9,1	767	9,1	767	9,1	767	9,1	767
Amp	20,4	50	23,2	92	23,20	86	22,3	78	29,9	155	17,9	111	18,4	85	23,4	101	29,2	129	22,5	185	25,1	128	23,3	100	23,3	100	23,3	100	23,3	100	23,3	100

Ciepłsze – 70%, zimniejsze – 18%, w normie – 12%, Wilgotniejsze – 46.5%, suchsze – 44.5%, w normie – 9%.

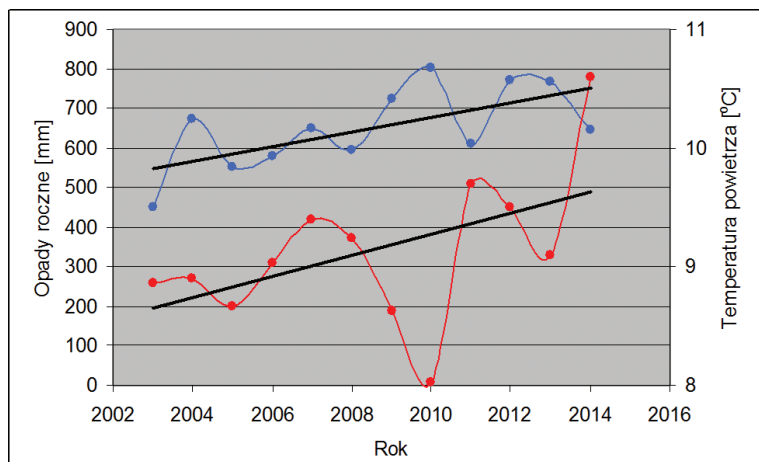


Ryc. 1. Bieg średniej rocznej temperatury powietrza w Turwi. Okres 1951-2006.



Ryc. 2. Bieg rocznych sum opadów zmierzonych w Kole. Okres 1951-2006.

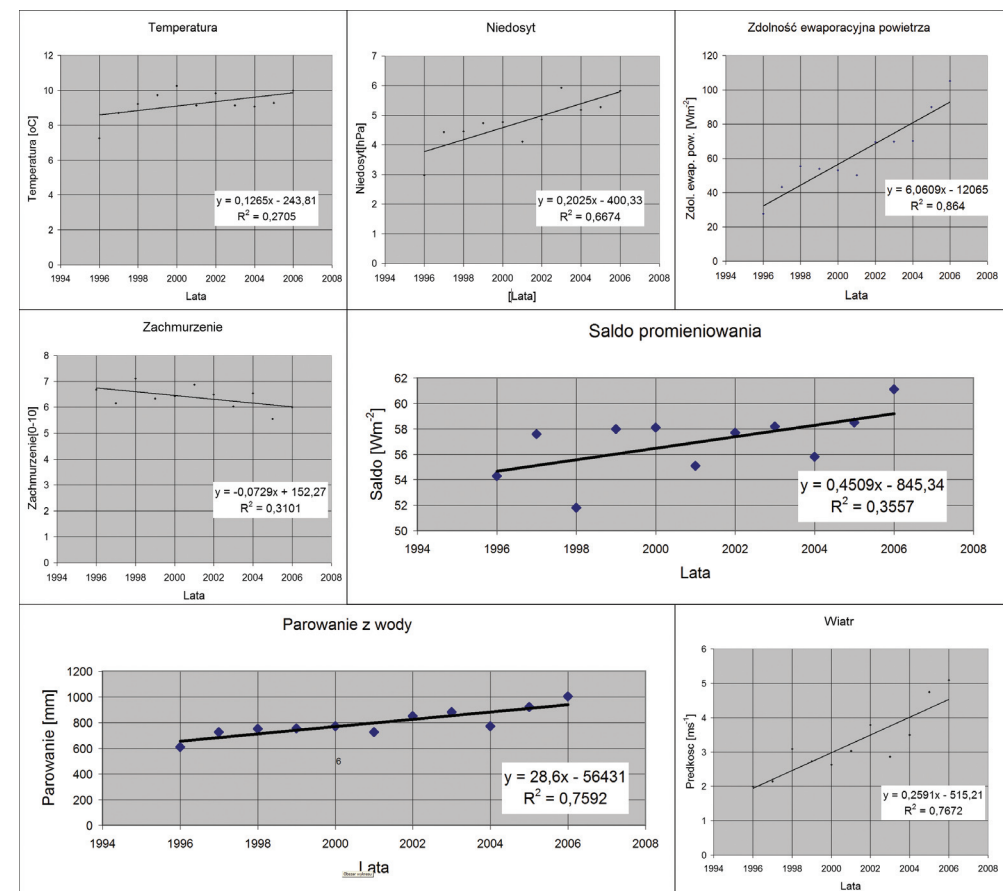
Jednak w ostatnim okresie (2003–2014) temperatura powietrza i opady wzrastały (Ryc. 3) Temperatura powietrza wzrosła o 1°C, a opady o 200 mm. Są to bardzo duże zmiany, lecz należy pamiętać, że okres tych zmian jest krótki – tylko 12 lat.



Ryc. 3. Zmiana średniej rocznej temperatury powietrza (czerwona linia) i rocznych sum opadów (niebieska linia) w Turwi w okresie 2003-2014.

Zmiany klimatyczne ostatnich dziesiątków lat nie ograniczają się tylko do wzrostu temperatury. Wystąpiła zmiana wielu elementów meteorologicznych prowadząca w ostateczności do poważnych zmian w strukturze bilansu wodnego. Przede wszystkim bardzo mocno wzrosło parowanie z po-

wierzchni wodnej i z ekosystemów, które mają możliwość korzystania z zasobów wody: mokradła, wilgotnych lasów i łąk. Najlepszym przykładem tego, co może wystąpić w wyniku zmian klimatycznych prognozowanych na XXI wiek jest okres od 1996 do 2006 roku (Ryc. 4). W tym jedenastoletnim okresie temperatura powietrza wzrosła o prawie 2°C. Jednocześnie niedosyt wilgotności powietrza wzrósł z 4 do 6 hPa, a prędkość wiatru z 2 do 4,5 m/s. Ten wzrost prędkości wiatru jest wynikiem zwiększenia się energii kinetycznej atmosfery w wyniku zmian proporcji podziału energii słonecznej na energię kinetyczną i potencjalną atmosfery, czego przyczyną jest zmniejszenie się energii utajonej parowania w wyniku zubożenia szaty roślinnej globu. Wzrost prędkości wiatru i niedosytu wilgotności powietrza prowadzi do silnego (trzykrotnego) wzrostu zdolności ewaporacyjnej powietrza (wielkości określającej możliwości atmosfery do pomieszczenia pary wodnej). Jednocześnie spadek zachmurzenia i związany z tym wzrost osłonecznienia (Ryc. 4) prowadzi do wzrostu napromieniowania słonecznego i w efekcie wzrostu salda promieniowania. Te dwa czynniki w ostatecznym efekcie wymuszają wzrost parowania z powierzchni wodnej (a także powierzchni lądowej, chociaż nieco mniejszy), który w okresie 1996–2006 wyniósł 60%.



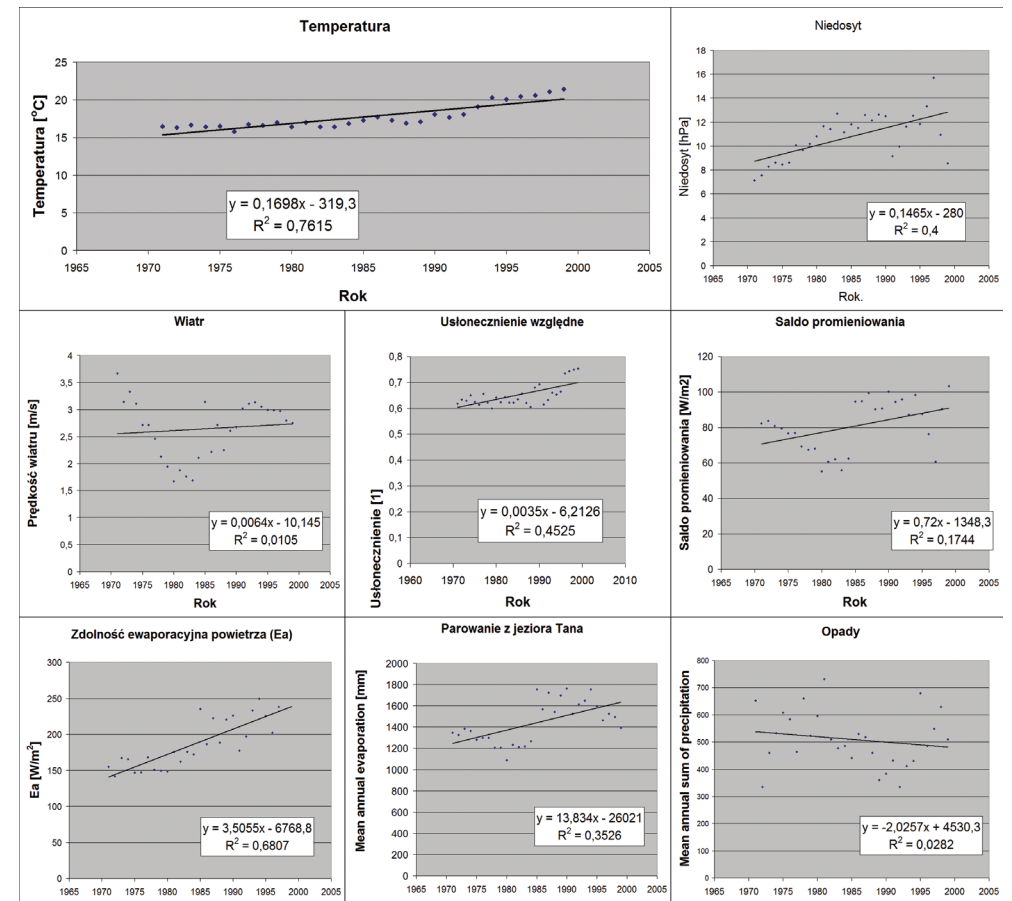
Ryc. 4. Zmiany średnich rocznych wartości elementów meteorologicznych i parowania z powierzchni wodnej w okresie 1996 do 2006 roku w Turwi. Przy wzroście temperatury o 1,2°C parowanie wzrosło o 40%.

Zjawisko zmian klimatycznych (zmiana wielu elementów meteorologicznych) ma charakter globalny. Na przykład zmiany elementów meteorologicznych w Etiopii mają ten sam kierunek

co w Polsce. W rejonie jeziora Tana (z tego jeziora wypływa Nil Błękitny) i zlewni Gumara wystąpił wzrost temperatury (Ryc. 5), niedosyt wilgotności powietrza i usłonecznienia względnego. To spowodowało zwiększenie salda promieniowania i zdolności ewaporacyjnej powietrza (Ryc. 5). Wzrost salda promieniowania i zdolności ewaporacyjnej doprowadził do zwiększenia parowania z powierzchni jeziora o 30% w okresie 1971–2000. Jednocześnie wystąpił niewielki spadek opadów. Liczba ludności kraju zwiększyła się dwukrotnie, co spowodowało niespotykany wzrost antropopresji i w rezultacie wylesienie kraju z około 50% powierzchni po II wojnie światowej do około 3% obecnie i degradację gleb w wyniku niespotykanego wzrostu erozji wodnej. Te dwa zjawiska powodują niekorzystne zmiany w bilansie wodnym. Powodują one zwiększenie intensywności spływu i skrócenie czasu infiltracji wody do gruntu. Intensywny spływ powierzchniowy powoduje erozję strukturalnej, górnej warstwy gleby (Fot. 1) i zmniejszenie retencji wody w glebie oraz skrócenie czasu stabilnego zasilania jeziora przez zlewnię. Intensywne parowanie jeziora powoduje spadek temperatury powierzchni wody. Brak wody na parowanie terenowe z sąsiedniego obszaru prowadzi do wzrostu temperatury powierzchni ziemi. To powoduje wzrost poziomego gradientu temperatury powietrza, co z kolei generuje adwekcyjny napływ ciepła nad jezioro i dodatkowy wzrost parowanie wody. Ten wzrost może sięgać nawet 30–40% parowania obserwowanego w warunkach braku adwekcji. Przy wzroście temperatury o 5°C w okresie od 1971 do 2000 roku parowanie z jeziora Tana wzrosło z 1245 mm do 1645 mm, czyli o 30%.



Fot. 1. Erozja wązozowa w Etiopii



Ryc. 5. Bieg średnich rocznych wartości elementów meteorologicznych i parowania z powierzchni wodnej jeziora Tana w Etiopii w okresie 1971–2003.

Zmiany bilansu wodnego zlewni i zmiany przepływów w ciekach

Struktura bilansu wodnego zlewni zależy od dwóch grup czynników:

- warunków meteorologicznych decydujących o parowaniu oraz zmienności i rozkładu w czasie oraz przestrzeni opadów atmosferycznych, które są elementem nieciągłym w czasie i przestrzeni,
- cech fizjograficznych zlewni (nachylenie powierzchni, gęstość i rodzaj pokrywy roślinnej, przepuszczalność i chłonność pokrywy glebowej), które decydują o wielkości odpływu i jego podziale na odpływ gruntowy i powierzchniowy, i które wpływają także na proces parowania.

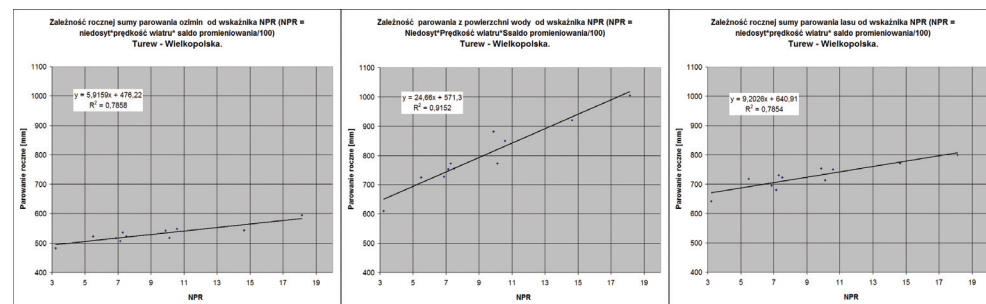
Tab. 2. Charakterystyka hydrologiczna cieków w parku w Turwi

Średnie natężenie przepływu w ciekach w parku w Turwi [m ³ /godz.]										
Okres	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	Średnia
I kwartał	21,2	60,1	21,4	11,6	1	8,8	12,3	69,0	30,1	14,6
II kwartał	13,7	13,8	4,5	2,6	9,5	8,2	20,9	18,4	21,8	16,6
III kwartał	7,8	0,1	0	0	0	0	0	0,1	14,0	2
IV kwartał	11,9	7,4	0,1	0	0,2	9,4	3,4	2,0	17,9	5
Rok	13,2	19,0	6,4	3,5	7,1	7,5	23,1	12,7	17,1	14,9

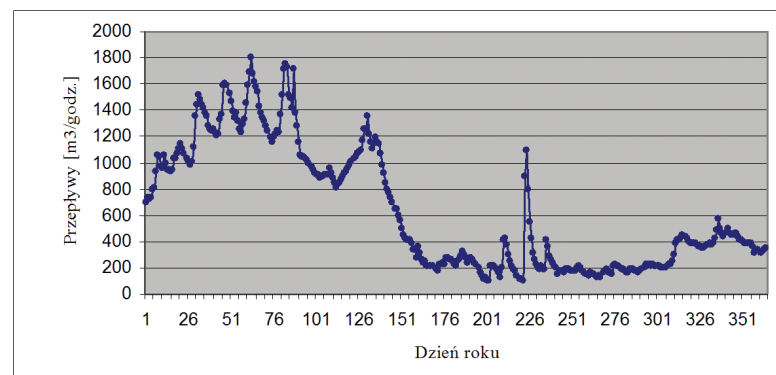
Przepływ całkowity w okresie [m ³]										
Okres	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	Średnia
I kwartał	45972	129816	46276	25056	41050	26568	149040	65077	31595	62272
II kwartał	29921	30139	9900	5741	20841	17909	45646	40285	47618	27556
III kwartał	17222	221	0	0	164	468	0	266	30898	5471
IV kwartał	26275	16339	158	0	426	20755	7507	4483	39437	12820
Rok	119210	176515	56334	30797	61891	65700	202193	110111	149547	108033

Z elementów meteorologicznych wpływających na wielkość ewapotranspiracji najważniejsze są te, które decydują o ilości energii dostępnej na parowanie (saldo promieniowania) i te, które określają zdolność ewaporacyjną powietrza, czyli zdolność atmosfery do pochłaniania pary wodnej (prędkość wiatru i niedosyt). Elementy te oddziałują na proces parowania synergicznie, a ilościowym wskaźnikiem ich oddziaływania jest ich iloczyn (NPR = niedosyt·prędkość wiatru · saldo promieniowania). Zależność rocznych sum parowania od tego wskaźnika (Ryc. 6) wykazuje silną korelację. Ponieważ zmiany klimatyczne wskazują na wzrost prędkości wiatru, niedosytu wilgotności powietrza i salda promieniowania oraz niezmienności opadów (Ryc. 4), należy się spodziewać pogarszania się struktury bilansu wodnego małych zlewni i wydłużenia okresów z małymi przepływami, a nawet ich zanikiem (Tab. 2, Ryc. 7 i 8).

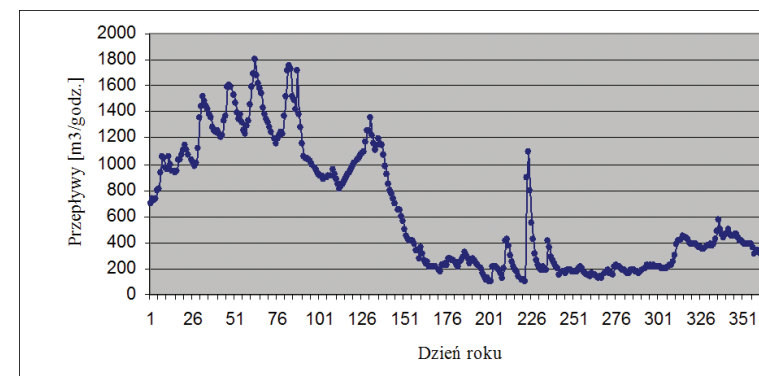
Na małym cieku (kilkanaście kilometrów długości) przepływającym przez park w Turwi przeważnie w III kwartale zanikają przepływy. Na nieco większym cieku (Kanał Wysoko o długości kilkudziesięciu kilometrów) następuje bardzo silne zmniejszenie przepływu (Ryc. 7 i 8).



Ryc. 6. Zależność rocznych sum parowania wody, lasu i oziminy od wskaźnika NPR w Wielkopolsce dla okresu 1996–2006

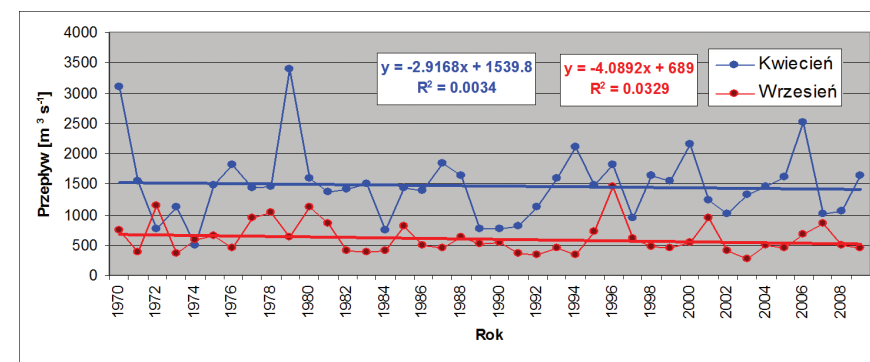


Ryc. 7. Przepływy w cieku w parku w Turwi w roku 2007



Ryc. 8. Przepływy na Wyskoci w roku 2007

Wpływ zmian klimatycznych i zmian w użytkowaniu terenu na przepływy w ciekach jest także widoczny w skali regionalnej (Ryc. 9). Na Wiśle we Włocławku w okresie 1970–2009 we wszystkich porach roku obserwuje się ujemny trend przepływów. Największy występuje latem i jesienią. Średni spadek wartości przepływów rocznych wynosi około 5 m³/s, natomiast latem i jesienią wynosi on ponad 7 m³/s. Ten ujemny trend obserwuje się tak w miesiącach o zwykle wysokich, jak i niskich przepływach (Ryc. 10).



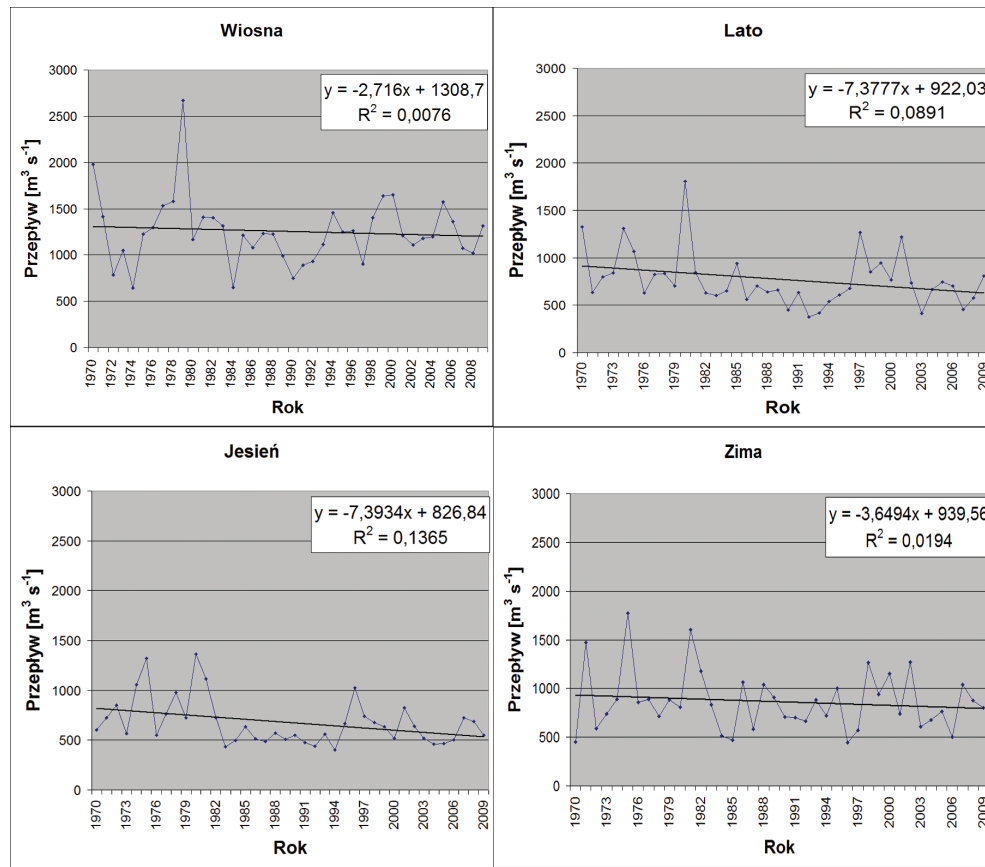
Ryc. 9. Bieg średnich miesięcznych przepływów Wisły we Włocławku w kwietniu i wrześniu w okresie 1970-2009.

W równaniach regresji za wartość X należy przyjąć rok 1970.

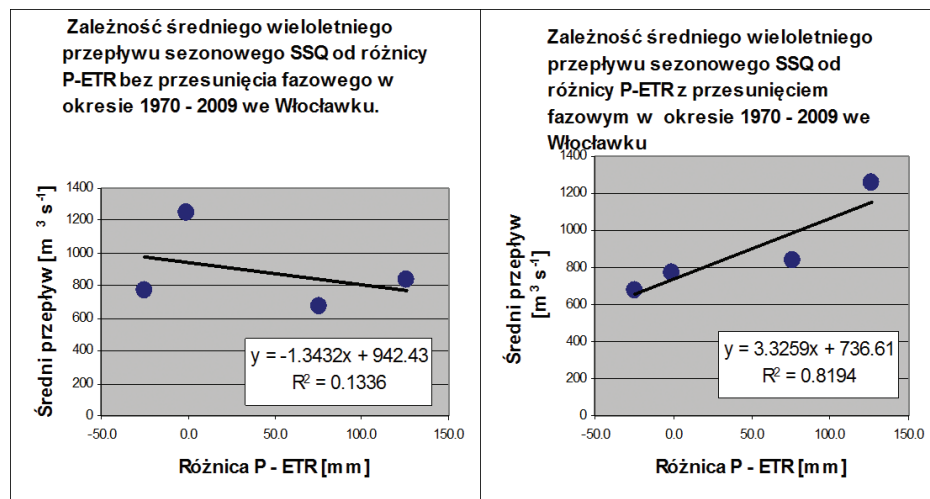
Wielkość przepływu jest skorelowana z saldem bilansu wodnego (opad – parowanie) sezonu poprzedzającego (Ryc. 11), a nie sezonu, w którym występuje dana wartość przepływu. Bardzo wysoka wartość współczynnika determinacji ($R^2 = 0,8194$) pozwala na wykorzystanie tej zależności do prognozowania wielkości przepływu na Wiśle na podstawie projekcji elementów meteorologicznych pozwalających na oszacowanie salda bilansu wodnego (Ryc. 11).

W skali roku należy się spodziewać niewielkiego zmniejszenia przepływu. Jest to wynikiem wzrostu parowania, ale złagodzonego niewielkim wzrostem opadów, szczególnie zimą. Największy spadek przepływu spodziewany jest jesienią, co jest wynikiem intensywnego parowania w okresie lata i prawdopodobnego zmniejszenia się opadów w tym sezonie (Ryc. 12).

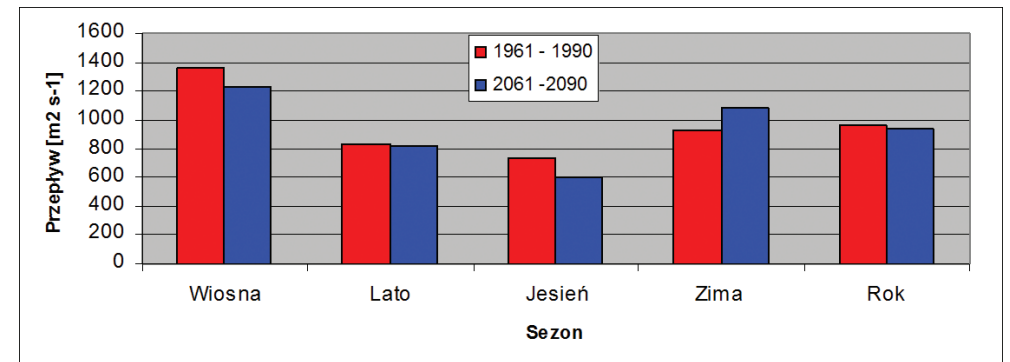
Przesunięcie fazowe relacji „saldo bilansu wodnego – przepływy w rzece” jest wyraźnie widoczne na przykładzie zależności pomiędzy wielkością obszaru Wielkopolski objętego suszą a średnim rocznym przepływem Warty (Ryc. 13).



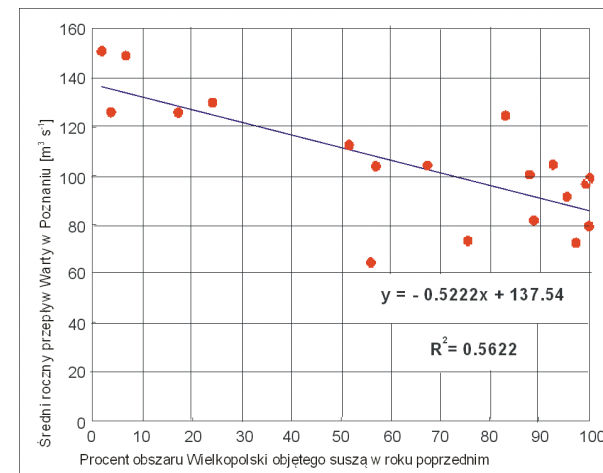
Ryc. 10. Przebieg średnich sezonowych i rocznych przepływów Wisły we Włocławku w okresie 1970–2009: wiosna (marzec–maj), lato (czerwiec–sierpień), jesień (wrzesień–listopad), zima (grudzień–luty)



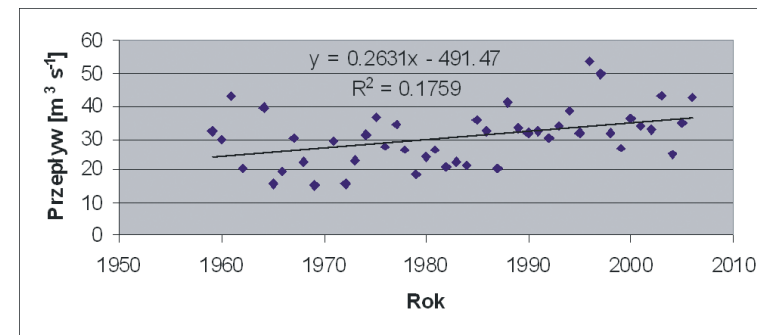
Ryc. 11. Zależność przepływu na Wiśle we Włocławku od salda bilansu wodnego



Ryc. 12. Średnie sezonowe i roczne przepływy na Wiśle w dwóch okresach



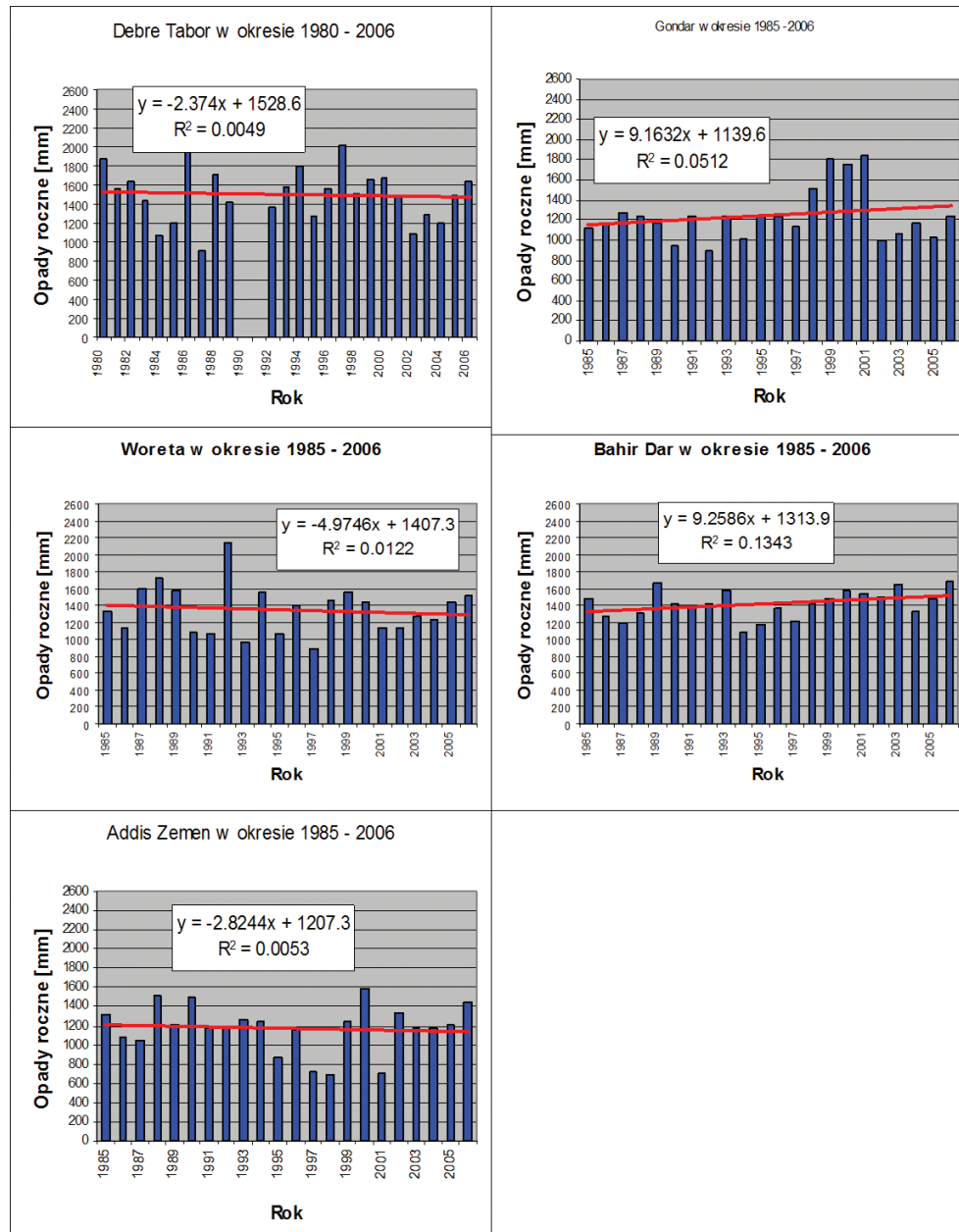
Ryc. 13. Zależność średniego rocznego przepływu na Warcie od wielkości obszaru Wielkopolski objętego suszą w roku poprzednim



Ryc. 14. Bieg średnich rocznych przepływów Gumary w okresie 1959-2006

Bardzo dobrym przykładem wpływu zmian klimatycznych i użytkowania terenu na bilans wodny i przepływy w ciekach jest przykład zmian zaobserwowany w zlewni Gumary, dopływu jeziora Tana w północnej Etiopii.

W okresie 1959–2006 obserwuje się dodatni trend przepływów rocznych (Ryc. 14). Nie jest to wynikiem wzrostu opadów atmosferycznych. Nie wykazują one wyraźnego trendu. Z pięciu stacji zlokalizowanych na terenie zlewni (Ryc. 15) żadna nie wykazuje istotnego trendu.



Ryc. 15. Wieloletni bieg rocznych sum opadów w pięciu miejscowościach w Etiopii w okresie 1985–2006 (w Debre Tabor w okresie 1980–2006) oraz ich trend (czerwona linia)

Niezwykle szybkie zmiany struktury użytkowania ziemi, a szczególnie intensywne zamiana terenów leśnych na pola uprawne doprowadziły do dużych i szybkich zmian w strukturze bilansu cieplnego i wodnego całego kraju. Zubożenie szaty roślinnej spowodowało (w strukturze bilansu cieplnego) spadek natężenia strumienia ciepła utajonego z obszarów ziemnych, co spowodowało duży wzrost temperatury powietrza, a to z kolei silną adwekcję ciepła nad obszary wodne. Nadmiar ciepła wzmógł parowanie z jeziora. Wywołany zubożeniem szaty roślinnej spadek parowania terenowego spowodował nie tylko generalny wzrost odpływu z terenu zlewni, ale także zmianę struktury czasowej przepływu na rzece. Porównując dwa okresy: 1959–1983 i 1984–2006 stwierdza się, że w drugim okresie w porównaniu z pierwszym spadła liczba dni z bardzo małymi przepływami: ze 100 do 55, ale wzrosła liczba dni z bardzo wysokimi, rodzącymi silną erozję przepływami: z 36 do 47.

Średni roczny przepływ jednostkowy Gumary wynosi $30 \text{ m}^3/\text{s}$. Z powierzchni dorzecza wynoszącej 1464 km^2 odpływa więc w ciągu roku $946,7 \text{ mln m}^3$, czyli warstwa wody o miąższości 647 mm . Średni opad dla całego dorzecza wynosi 1376 mm . Parowanie roczne z dorzecza wynosi $1376 - 647 \text{ mm} = 729 \text{ mm}$. Współczynnik odpływu (stosunek odpływu do opadów) wynosi $0,47$ a współczynnik parowania wynosi $0,53$. Parowanie z powierzchni jeziora wynosi 1400 mm , a więc przewyższa sumę opadów. Dla porównania z zamkniętym przepływem w Poznaniu dorzecza Warty o powierzchni $25\,000 \text{ km}^2$, przy opadach wynoszących 595 mm , odpływ wynosi 105 mm , a ewapotranspiracja 490 mm . Współczynniki odpływu i ewapotranspiracji wynoszą odpowiednio $0,18$ i $0,82$. Te dwa przykłady bardzo dobrze odzwierciedlają wpływ klimatu i użytkowania terenu na strukturę bilansu wodnego zlewni. W gorącym klimacie Gumary prawie tyle samo wody odpływa, co wyparowuje z dorzecza ubożego w szatę roślinną. W przypadku dorzecza Warty, z umiarkowanym klimatem i o bogatej szacie roślinnej, jest odwrotnie. Prawie pięciokrotnie więcej wody wyparowuje niż odpływa.

Wnioski

Przedstawiona powyżej analiza istniejących i przyszłych, zmienionych niekorzystnie w wyniku prawdopodobnych zmian klimatu warunków wodnych w Polsce, a szczególnie w Wielkopolsce, prowadzi do następujących wniosków:

1. Struktura bilansu wodnego zlewni jest kształtowana głównie przez warunki klimatyczne, szczególnie wielkość i rozkład czasowy opadów, oraz przez strukturę krajobrazu, a szczególnie przez szatę roślinną.
2. Zmiany klimatu, głównie wzrost temperatury i zmiany opadów (prawdopodobne obniżenie w okresie letnim, a zwiększenie opadów zimowych) przy bogatej szacie roślinnej doprowadzi do zmniejszenia przepływów w ciekach. Ale w regionach, w których następuje pogorszenie struktury pokrywy roślinnej, przepływy w ciekach będą wykazywały trend dodatni.
3. Problemów związanych z nadmiernymi i szybkimi wezbrzeniami w rzekach, grożącymi powodzią jak również problemów głębokich niżówek nie da się rozwiązać działaniami ograniczonymi do koryt rzecznych. Muszą być stosowane rozwiązania systemowe na terenie całego dorzecza.
3. Potrzebna jest zintegrowana strategia gospodarowania wodą wykorzystująca środki techniczne oraz naturalne możliwości środowiska przyrodniczego.
4. Strategia gospodarowania wodą na obszarach rolniczych wymaga podjęcia następujących działań, które mogą zwiększyć ilość wody w krajobrazie, wydłużyć czas jej przebywania, i zwiększyć intensywność jej obiegu:
 - a. zwiększyć małą retencję, poprzez odbudowę zniszczonych małych zbiorników wodnych i poprawę struktury gleby,
 - b. zwiększyć zawartość materii organicznej w glebach dla zwiększenia ich zdolności retencyjnych,
 - c. odpowiednio kształtować szatę roślinną prowadząc do zwiększenia infiltracji, a zmniejszenia splywu powierzchniowego i parowania potencjalnego,

Krzysztof Janku
Mostefa Mana
Joanna Andrusiak-Chermuła
Instytut Środowiska Rolniczego i Leśnego Polskiej Akademii Nauk, Poznań

Niekorzystny wpływ procesów urbanizacji i intensywnej gospodarki rolniczej w krajobrazie na przykładzie cieków i towarzyszących im zbiorników

Oddziaływanie antropogeniczne na zasoby wodne ma wymiar zarówno ilościowy (zmiana stężeń wódnych), jak i jakościowy (zanieczyszczenia wód, zmiany chemizmu) oraz morfologiczny (przekształcenia kształtu koryt cieków czy mis zbiorników). Oddziaływania te mają w konsekwencji skutki ekologiczne, polegające na zmianie warunków siedliskowych, ustępowaniu określonych gatunków lub pojawianiu się nowych, często niepożądanych powodujących zmniejszenie się bioróżnorodności itd. Zagrożenia, jakim podlegają obecnie środowiska wodne, podzielić można na troficzne, to jest zwiększające trofę (żywność) wód i niefitoficzne - wpływające m.in. na ilość zasobów wodnych (BAŃKOWSKA 2007).

W Polsce dla Wisły i Odry jako najczęstsze i najważniejsze zdiagnozowano następujące problemy:

- a. ilościowe:
 - nadmierne rozdysponowanie zasobów wód powierzchniowych i podziemnych,
 - odprowadzanie nieczyszczonych i niedostatecznie oczyszczonych ścieków komunalnych i przemysłowych oraz wód pochodniczych,
 - niedostateczna sanitacja obszarów wiejskich i rekreacyjnych, zanieczyszczenia pochodzące ze źródeł rolniczych,
 - odprowadzanie zanieczyszczeń ze stawów rybnych,
- b. jakościowe:

stan jakościowy wód:

 - zaśmiecanie koryt rzek i potoków,
 - zabezpieczenie zapotrzebowania na wodę podziemną odpowiedniej jakości w strefie przybrzeżnej,
 - zaburzenie ciągłości biologicznej rzek i potoków,
 - zmiana naturalnych warunków hydromorfologicznych wód powierzchniowych poprzez zabudowę hydrotechniczną i regulację rzek i potoków,
 - morfologia i użytkowanie zlewni:
 - utrata naturalnej retencyjności zlewni,
 - zjawiska ekstremalne:
 - ochrona przed powodzią,
 - przeciwdziałanie skutkom suszy (MIERZWIŃSKI I IN. 2013).

Zbiorniki i ciek posiadają swoje zlewnie. To od nich uzależniona jest ilość i jakość wody, która znajduje się w łatwiej zauważalnych dla nas elementach wód powierzchniowych, np. zbiornikach i ciekach, w których zaobserwować można skutki działalności człowieka w całej zlewni. W zależności od warunków występujących na danym terenie inaczej będą się kształtować właściwości retencyjne danego obszaru. W wyniku antropopresji bardzo często dochodzi do przekształcenia panujących na danym obszarze warunków wodnych. Zmiany te mają w wielu wypadkach niekorzystny charakter.

Zmiany jakości wód powierzchniowych

Analizy stanu wód dokonuje się na podstawie wybranych wskaźników fizycznych, chemicznych i bakteriologicznych. Do określenia ich wartości niezbędna jest specjalistyczna aparatura oraz wykwalifikowany personel (KOŁWZAN 2009). Czynniki mające wpływ na wody powierzchniowe można podzielić na: fizyczne, chemiczne i biologiczne.

Wskaźniki chemiczne to m.in.: odczyn pH (Ryc. 1), natlenienie, twardość wody, zasadowość, kwasowość poziom substancji biogennych (zwłaszcza związków azotu i fosforu), chlorków, siarczanów, żelaza, manganu, rozpuszczonego tlenu, ChZT, dwutlenku węgla, metali ciężkich, obecność specyficznych zanieczyszczeń.

Wskaźniki fizyczne to temperatura, konduktywność (Ryc. 2), zapach, smak, mętność, przezroczystość i barwa wody.

Wskaźniki biologiczne stosowane w monitoringu wód dawniej stosowane były przede wszystkim do określania warunków sanitarnych – np. miano *E. coli*, wskaźnik saprobowości, indeks saprobów, BZT czy analiza ilościowa i jakościowa struktury fitoplanktonu z uwzględnieniem potencjalnie toksycznych gatunków sinic (Ryc. 3 i 4). Obserwowane w ostatnich latach zakwity sinic stanowią jeden z ważniejszych czynników obniżających jakość wód. Poza takimi negatywnymi zjawiskami towarzyszącymi zakwitom jak spadek stężenia tlenu czy niższa bioróżnorodność, masowy rozwój sinic związany jest z produkcją i uwalnianiem do wód toksycznych substancji.

Dla celów naukowych opracowano wskaźniki trofii, odczynu, zasolenia i inne, np. współczynniki fitoplanktonowe czy polski indeks biotyczny.

W polskim prawie (Dz. U. z 2008 r. Nr 162, poz. 1008, Dz. U. z 2002 r. Nr 204, poz. 1728) wskaźniki biologiczne wyznaczone do oceny stanu ekologicznego wód (jezior i rzek) to:

- makrofitowy Indeks Rzeczny,
- makrofitowy Indeks Stanu Ekologicznego Jezior (Ryc. 5 i 6),
- fitoplankton:
 - chlorofil „a”,
 - multimetriks fitoplanktonowy,
- fitobentos:
 - wskaźnik okrzemkowy.

Wskaźniki biologiczne stosowane do określania warunków sanitarnych np.:

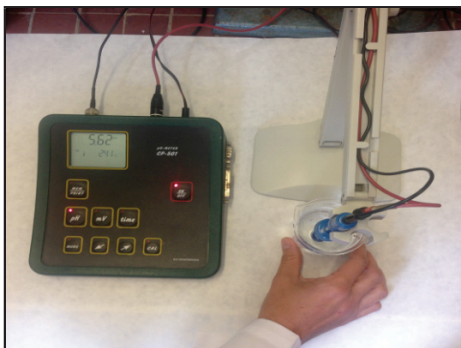
- miano *E. coli*,
- wskaźnik saprobowości,
- indeks saprobów,
- BZT.

Dla celów naukowych opracowano wskaźniki:

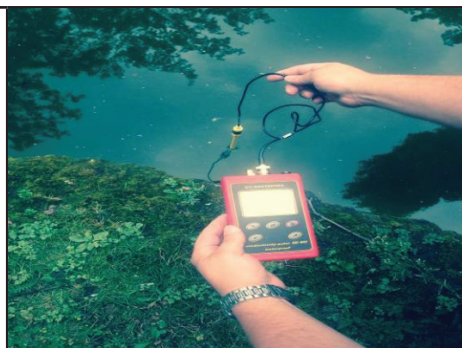
- trofii,
- odczynu,
- zasolenia,
- współczynniki fitoplanktonowe,
- polski indeks biotyczny,
- i wiele innych.

Elementy fizykochemiczne:

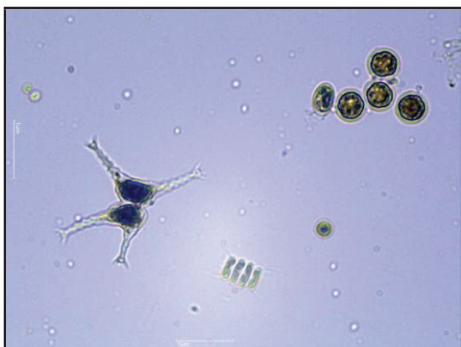
- temperatura [°C],
- przezroczystość [m],
- tlen rozpuszczony (latem nad dnem) [mg O₂/l],
- przewodność [μS/cm], - azot ogólny [mg N/l],
- fosfor ogólny [mg P/l].



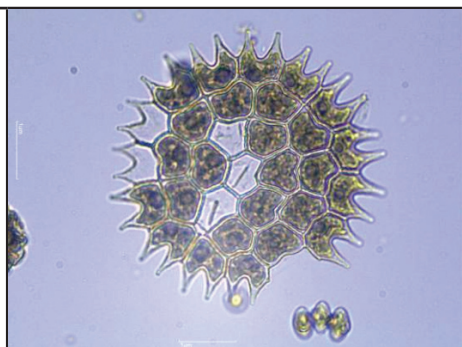
Ryc.1. Pomiar pH próbki wody (Joanna Andrusiak-Chermuła)



Ryc. 2. Pomiar konduktometrem w zbiorniku (Joanna Andrusiak-Chermuła)



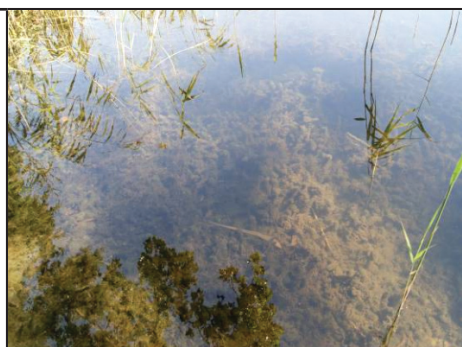
Ryc. 3. Zdjęcie mikroskopowe fitoplanktonu (Joanna Andrusiak-Chermuła)



Ryc. 4. Zdjęcie mikroskopowe gatunku Pediatrum boryanum (Joanna Andrusiak-Chermuła)



Ryc. 5. Wyławianie kotwiczką roślinności wodnej



Ryc. 6. Roślinność wodna w zbiorniku (Joanna Andrusiak-Chermuła)

Wybrane zmiany spowodowane przez procesy związane z urbanizacją

Potrzeby mieszkańców powodują pojawienie się nowej infrastruktury co może wiązać się np. z niszczeniem walorów krajobrazowych (Ryc. 7). Wraz ze zmianą zagospodarowania przestrzennego na obszarze zabudowy miejskiej następuje często przekształcenie sieci hydrograficznej. W jej miejsce wprowadzony zostaje system odprowadzania wody pochodzącej z opadów lub doprowadzenie jej z nowych „źródeł” (Ryc. 8) w celu zabezpieczenia budynków przed niszcze-

niem. Źle przeprowadzone inwestycje (Ryc. 9), budowlane doprowadzają do zaburzenia reżimu hydrologicznego. Konsekwencje takiej działalności są widoczne nie tylko na terenach miejskich, bezpośrednio w miejscu przeprowadzanych prac. Przyroda nie uznaje granic wyznaczonych przez człowieka i dokładny monitoring wykazuje zmiany, które w takich wypadkach można było przewidzieć (Ryc. 10). Osiedla powstające wokół miast wymagają połączeń komunikacyjnych, które krzyżują się z naturalną siecią hydrograficzną, powodując utrudnienie spływu wody w okresach o zwiększonej ilości opadu (Ryc. 11). Próby ujarznienia wody związane są ze zmianą (upraszczaniem) przebiegu cieków i geometrii ich koryt, a także z likwidacją towarzyszącej im roślinności wodnej i w strefie przybrzeżnej – krzewiastej i drzewiastej (Ryc. 12). Zmiana stosunków własnościowych powoduje utrudnienie w dotarciu do nich faunie (Ryc. 13). Zwiększona penetracja przez człowieka odcinków położonych przy szlakach komunikacyjnych wiąże się z zaśmiecaniem koryt cieków (Ryc. 14).



Ryc. 7. Zaburzenie morfologii ciek (Krzysztof Janku)



Ryc. 8. Odprowadzanie wody burzowej do ciek (Krzysztof Janku)



Ryc. 9. Ciek zanieczyszczony piaskiem (Krzysztof Janku)



Ryc.10. Piasek naniesiony wskutek przemieszczania wody w małym ciek (Krzysztof Janku)



Ryc.11. Blokowanie przebiegu koryta ciekłu nasypem drogowym (Krzysztof Janku)



Ryc.12. Usuwanie pokrywy roślinnej towarzyszącej ciekowi (Krzysztof Janku)



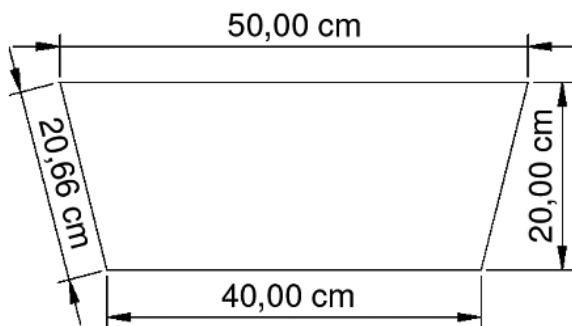
Ryc.13. Zamykanie zwierzętom dostępu do zbiornika przepływowego (Krzysztof Janku)



Ryc.14. Zanieczyszczenie ciekłu śmieciami (Krzysztof Janku)

Wybrane zmiany krajobrazu spowodowane prowadzeniem gospodarki rolnej

Gospodarowanie na obszarach rolniczych jest związane z przeprowadzaniem działań agrotechnicznych, które prowadzą do stworzenia charakterystycznego dla danych regionów krajobrazu rolniczego. Stworzenie korzystnych warunków dla upraw rolnych wiąże się z wieloma zmianami w sieci hydrograficznej, w tym zmianami morfologii koryt cieków i zbiorników wodnych. Na obszarach tych można wyróżnić ciekły o pochodzeniu naturalnym, np. potoki, i antropogenicznym, np. rowy melioracyjne służące regulowaniu stosunków wodnych na tych obszarach. Ciekły tego typu charakteryzują się uproszczonym przebiegiem koryta (Ryc. 16) i kształcie przekroju poprzecznego zbliżonym do trapezu (Ryc. 15).



Ryc. 15. Przykładowy przekrój poprzeczny małego ciekłu wodnego (materiały własne)

Odprowadzana nimi woda oraz transport spływał powierzchniowy powoduje często nadmierną eutrofizację – związkami N, P, K, wód zbiorników (Ryc. 17), które nawet zabezpieczone przez towarzyszące im zadrzewienia nie ulegają wychwyceniu (Ryc.18). Powodowane jest to nawożeniem pól w celu uzyskania wyższych plonów oraz lokalizowaniem przy nich niezabezpieczonych przyrzeczki lub obornika (Ryc. 18).

Źródłem zanieczyszczeń wód powierzchniowych są też zrzuty do sieci hydrograficznej ze zbiorników hodowlanych ryb (Ryc. 20) lub ferm ptasich (Ryc. 21). Niestety nagminnie jest też wykorzystywanie śródpolnych i leśnych zbiorników jako składowiska śmieci, np. butelek pochodzących z lokali gastronomicznych (Ryc. 22) bądź odpadów pozostałych po pracach budowlanych czy porządkach w gospodarstwach domowych. Rzadszym zjawiskiem jest zasypywanie zbiorników wypełnianych ziemią odpadami organicznymi (Ryc. 23), niebezpiecznymi jak np. pojemnikami z resztkami oleju napędowego, farb i pokryw eternitowych.

Zbiorniki położone we wsiach stają się w wypadku niedostatecznej izolacji odbiornikami ścieków pochodzących z hodowli bydła lub trzody chlewnej (Ryc. 25). Nasilający się trend obsadzenia stawów wiejskich mało urozmaiconymi nasadzeniami z całkowitym lub ponad 90% dominacją gatunków iglastych doprowadza do wytworzenia mało urozmaiconego krajobrazu kulturowego (Ryc. 26).

Dużym obciążeniem dla jakości wód powierzchniowych są zrzuty ścieków z zakładów produkcji rolnej (Ryc. 26 i 27) transportowanych z innych zlewni.

Zaburzenie reżimu hydrologicznego i doprowadzenie do powstania leja depresyjnego występuje wszędzie tam gdzie dochodzi do eksploatacji kopaliny użytecznych np. piasku (Ryc. 28). W wyniku tych prac powstają często bardzo głębokie zbiorniki o uproszczonej linii brzegowej i niekorzystnym dla wielu grup zwierząt nachyleniu skarp stawu (Ryc. 29).



Ryc. 16. Zmiana morfologii ciekłu przy polu (Krzysztof Janku)



Ryc. 17. Zmiana morfologii ciekłu przy polu (Krzysztof Janku)



Ryc.18. Składowanie balotów w bezpośrednim sąsiedztwie zbiornika (Krzysztof Janku)



Ryc.19. Zbiornik otoczony zadrzewieniem (Damian Józefczyk)



Ryc. 20. Staw rybny (Krzysztof Janku)



Ryc. 21. Ferma drobiu i zanieczyszczanie odchodami zbiornika (Krzysztof Janku)



Ryc. 22. Zaśmiecony butelkami zbiornik śródpolny (Krzysztof Janku)



Ryc. 23. Składowanie odpadów organicznych w zbiorniku (Krzysztof Janku)



Ryc. 24. Zbiornik przy hodowli zwierząt (Damian Józefczyk)



Ryc. 25. Jednolite nasadzenie iglaste wokół zbiornika wiejskiego (Krzysztof Janku)



Ryc. 26. Ciek śródpolny (Joanna Andrusiak-Chermuła)



Ryc. 27. Zrzut zanieczyszczeń do ciek (Joanna Andrusiak-Chermuła)



Ryc. 28. Zbiornik powstały w wyniku działania piaskowni (Mostefa Mana)



Ryc. 29. Strome skarpy zbiornika (Mostefa Mana)

Zagospodarowanie przestrzeni wzdłuż cieków i zbiorników wodnych

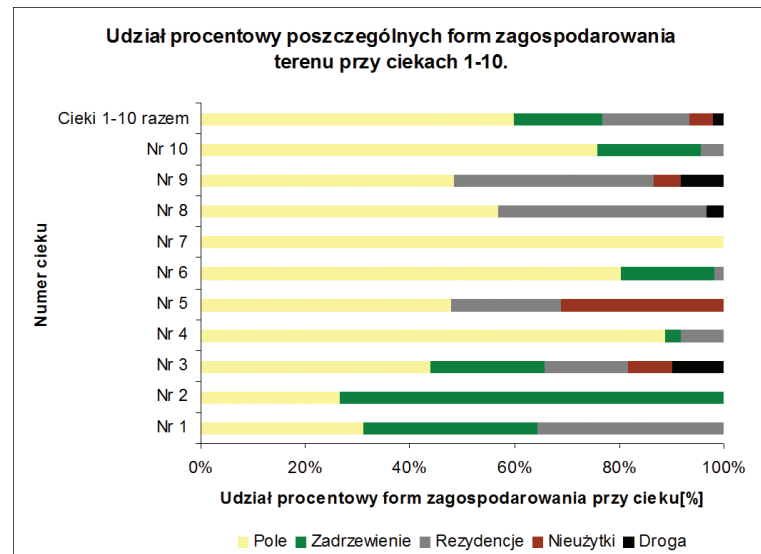
Najczęściej obserwowanymi formami zagospodarowania terenu wzdłuż cieków wodnych są pola, zadrzewienia, rezydencje, nieużytki, łąki i drogi. Pola na obszarach zagospodarowanych rolniczo to najczęstsze powierzchniowe formy otoczenia sieci hydrograficznej. W zależności od położenia geograficznego i kultury rolnej, przepisów prawa danego państwa, tradycji panującej w danym regionie lub np. przyjętego przez dane przedsiębiorstwo modelu zagospodarowania terenu mogą im towarzyszyć np. zadrzewienia, łąki, trawiaste miedze lub inna roślinność o przebiegu liniowym lub powierzchniowym. W najniższych położeniach rzeźby terenu, w których najczęściej przebiegają cieki lub zlokalizowane są zbiorniki, odnaleźć można (często ze względu na utrudnione wykorzystanie tych terenów do celów rolniczych) towarzyszące im obszary podmokłe.

Ze względu na duży udział pól w krajobrazie (Ryc. 30) ogromne znaczenie mają zanieczyszczenia obszarowe wód powierzchniowych.

Na obszarach, w których następuje stopniowe wkraczanie zabudowy, następują coraz większe uszczelniania terenu. Powoduje to wzrost spływu powierzchniowego i dostarczenie nowego typu i zwiększonej ilości zanieczyszczeń do cieków.

Procesy urbanizacji mają wpływ na całą sieć hydrograficzną. Sieć ta rozumiana jest jako ekosystem wodny – korytarz rzeczny (doliny rzek i potoków) z całym bogactwem form przyrodniczych. Rodzaj i zakres powiązania użytkowania terenu zlewni z jakością ekosystemu wodnego jest oczywiście złożony i uzależniony od wielu czynników. Niemniej jednak wypracowano już metody oceny aktualnych skutków wpływu zagospodarowania przestrzennego na jakość ekosystemów wodnych, a także ich prognozy, opartej na planowanym użytkowaniu terenu. Metoda ta opiera się na analizie podatności zlewni (*Land Cover Metod – LCM lub Imprevius Cover Metod – ICM*), wykorzystując kwantyfikację użytkowania terenu przez stopień uszczelnienia jego powierzchni, który przekłada się na stan ekologiczny, w tym również morfologię wód. W metodzie tej stosuje się tak zwany współczynnik (wartości)

pokrywy nieprzepuszczalnej, rozumiany jako stosunek powierzchni nieprzepuszczalnej (uszczelnionej) do całkowitej powierzchni zlewni (BARTNIK 2009).



Ryc. 30. Przykład form zagospodarowania terenu towarzyszących ciekom (źródło: Krzysztof Janku)

Przegląd istotnych problemów gospodarki wodnej w Polsce

Termin „istotne problemy gospodarki wodnej” (w skrócie: IP) nie został nigdzie zdefiniowany. Używany jest jednakże na określenie najważniejszych problemów, będących zarówno negatywnymi skutkami działania człowieka w przyrodzie, które utrudniają osiągnięcie „dobrego stanu wód”, czyli stanu najbardziej zbliżonego do naturalnego, jak i przyczynami, które warunkują istnienie owych skutków. Istotnym problemem gospodarki wodnej może być także znalezienie rozwiązań (prawnych, organizacyjnych, finansowych i/lub techniczno-technologicznych), które wyeliminują (a jeśli to nie- możliwe, ograniczą) negatywne skutki bądź też pozwolą wyeliminować lub ograniczyć przyczyny (BARTNIK 2009).

Do podstawowych czynników odpowiedzialnych za głębokie zaburzenie reżimu hydrologicznego małych cieków zaliczyć można: zmiany użytkowania powierzchni zlewni, zmiany przebiegu działań wodnych, działalność górnictwa, kanalizację zlewni, zrzuty ścieków (MOLENDĄ 2006), utratę naturalnej retencji zlewni, zmiany ekosystemów wodnych, morfologii zlewni i cieku.

Zwiększony pobór wody do celów komunalnych i przemysłowych, przekraczający często naturalne, lokalne zasoby wodne, a także zjawiska występujące na skutek pojawienia się nieprzepuszczalnych powierzchni budynków i ulic oraz sztucznej sieci drenażowej, odprowadzającej ścieki miejskie i przemysłowe. W efekcie, prowadzi to do zmian reżimu odpływu, zmniejszenia infiltracji oraz obniżenia się poziomu wód podziemnych (UCHNAST-NOWICKA 1981).

Dla każdego dorzecza w Polsce wyznaczono inne IP, a wśród nich charakterystyczne dla wszystkich są (Ministerstwo Środowiska 2008):

- występujące konflikty interesów użytkowników,
- niedostateczna edukacja i świadomość ekologiczna społeczeństwa,
- nieodpowiedni system opłat i dopłat,
- brak dostatecznego finansowania gospodarki wodnej,
- brak współdziałania instytucji w zakresie wydawania pozwoleń wodnoprawnych i kontroli

- gospodarowania wodami, problemy organizacyjno-kompetencyjne utrudniające sprawne zarządzanie zasobami wodnymi, rozproszona struktura zarządzania zasobami wodnymi,
- brak systemu przekazywania i udostępnienia danych dot. gospodarki wodnej, utrudniony obieg informacji, brak spójności pomiędzy bazami danych o środowisku w różnych instytucjach,
- brak organizacji odbioru segregowanych odpadów, punktów skupu butelek itp.,
- niespójność i niejednoznaczność przepisów prawnych,
- brak legislacyjnych rozwiązań promujących proekologiczne kierunki w zagospodarowaniu przestrzennym.

Literatura

- BARTNIK W., BONENBERG J., FLOREK J. (2009): Wpływ utraty naturalnej retencji zlewni na charakterystykę morfologiczną zlewni i cieku, Polska Akademia Nauk, Komisja Infrastruktury Wsi, Kraków, s. 71.
- BANKOWSKA (2007): Materiały opracowane przez Ośrodek Działań Ekologicznych Źródła 19 Filia w Warszawie przy finansowym wsparciu Narodowego Funduszu Ochrony Środowiska i Gospodarki Wodnej, Warszawa, s. 19-27.
- KOŁWZAN B. (2009): Zakład Biologii i Ekologii, „Ochrona Środowiska” 31(4), Wrocław, s. 3-14
- MIERZWIŃSKI A., FERENC M., SZAWARA A. (2013): Przegląd istotnych problemów gospodarki wodnej dla obszarów dorzeczy (Dokument uwzględniający wyniki konsultacji społecznych), Narodowy Fundusz Ochrony Środowiska i Gospodarki Wodnej na zamówienie Prezesa Krajowego Zarządu Gospodarki Wodnej, Warszawa, s. 61.
- MINISTERSTWO ŚRODOWISKA (2008): Opracowanie przeglądu istotnych problemów gospodarki wodnej dla obszarów dorzeczy uwzględniający wyniki konsultacji społecznych
- MOLENDĄ T. (2006): Wybrane problemy renaturyzacji cieków w zlewniach zurbanizowanych i uprzemysłowionych, Infrastruktura i ekologia terenów wiejskich Nr 4/3/2006 Oddział w Krakowie, Komisja Technicznej Infrastruktury Wsi, Kraków, s. 125-132.
- Rozporządzenie ministra Środowiska z dnia 20 sierpnia 2008 r. w sprawie sposobu klasyfikacji stanu jednolitych części wód powierzchniowych, Dz. U. z 2008 r. Nr 162, poz. 1008./
- Rozporządzenie ministra Środowiska z dnia 27 listopada 2002 r. w sprawie wymagań, jakim powinny odpowiadać wody powierzchniowe wykorzystywane do zaopatrzenia ludności w wodę przeznaczoną do spożycia. Dz. U. z 2002 r. Nr 204, poz. 1728.
- UCHNAST-NOWICKA (1981): Wpływ urbanizacji na stosunki wodne na przykładzie zlewni Brzeźnicy, Notatki Płockie 26 (3-108), s. 46-48.

Hanna Weysenhoff
Instytut Środowiska Rolniczego i Leśnego
Polskiej Akademii Nauk, Poznań

Wprowadzanie zadrzewień do krajobrazów rolniczych

Zadrzewienia są jednym z podstawowych czynników kształtujących przyrodnicze środowisko człowieka, a na terenach wylesionych, intensywnie użytkowanych rolniczo są w połączeniu z innymi marginalnymi środowiskami roślinnymi najskuteczniejszym sposobem przywrócenia względnej równowagi przyrodniczej. W zależności od lokalizacji, konstrukcji, składu gatunkowego, połączenia z innymi elementami krajobrazu zadrzewienia mogą pełnić bardzo wiele funkcji. Mogą stanowić różnego rodzaju bariery chroniące pola uprawne przed niekorzystnym wpływem warunków atmosferycznych, pełnią jednocześnie rolę refugium, są ważnym elementem ciągów ekologicznych, zwiększają mozaikowość i różnorodność ekosystemów, wpływają na atrakcyjność krajobrazową terenu. To, czy planowane przez nas zadrzewienia będą spełniać szereg dobroczynnych funkcji, zależy od dobrej znajomości warunków i potrzeb dotyczących wybranego terenu oraz od rozpoznania powiązań z terenami sąsiednimi. Podstawowym krokiem przy planowaniu zadrzewień jest ustalenie zgodności z miejscowym planem zagospodarowania przestrzennego. Jeżeli w planie nie przewidziano posadzenia zadrzewień, a jesteśmy przekonani o konieczności ich wprowadzenia, możemy wnioskować o wprowadzenie zmian w tym dokumencie. Właściciel gruntu ma prawo w dowolny sposób korzystać ze swojej własności pod warunkiem, że jest to zgodne z prawem – w tym wypadku z miejscowym planem zagospodarowania przestrzennego. Po uzyskaniu zgody na posadzenie zadrzewienia należy dokonać zmiany wpisu w ewidencji gruntów i budynków na podstawie wydzielenia geodezyjnego – nowa działka będzie miała symbol Lz. Na gruntach wyłączonych z produkcji powstają przede wszystkim zadrzewienia ochronne (przeciwozyjne, izolacyjne, przeciwwietrzne, wodochronne itp.), ale także pożytkowe (np. nektarowe) przynoszące właścicielowi, w stosunkowo krótkim czasie, wymierne korzyści. Tego typu zadrzewienia najczęściej zakładane są w rejonach o dużym udziale gospodarstw ekologicznych i nadal stanowią znikomą część wszystkich zadrzewień.

Najczęściej spotykanymi zadrzewieniami sadzonymi przez człowieka są zadrzewienia przydrożne. Wymagania formalne wobec zadrzewień przydrożnych są różne w zależności od kategorii drogi, przy której są sadzone. Można podzielić drogi na lokalne – gminne, którymi zajmuje się gmina oraz drogi o wyższych kategoriach użytkowania – powiatowe, wojewódzkie i krajowe oraz drogi ekspresowe i autostrady. Według obowiązujących przepisów drogi powinny mieć obudowę roślinną, pod warunkiem, że szerokość pobocza przekracza 3 m. Sadzenie zadrzewień w odległości od jezdni mniejszej niż 3 m jest niezgodne z przepisami, jest też niebezpieczne dla sadzonych roślin i dla użytkowników drogi.

Pobocza dróg gminnych i śródpolnych dróg wewnętrznych są często bardzo wąskie i pobawione jakiegokolwiek roślinności drzewiastej i krzewiastej, co najczęściej jest spowodowane wieloletnim podorywaniem poboczy podczas uprawy przyległych pól. Przed podjęciem jakichkolwiek decyzji dotyczących zadrzewienia poboczy należy na podstawie pomiarów geodezyjnych ustalić rzeczywistą szerokość wydzielenia drogowego, w tym szerokość poboczy. Trzeba pamiętać także, że po drogach lokalnych poruszają się nie tylko samochody, ale także duże maszyny rolnicze zajmujące często całą szerokość drogi, dlatego przyjmuje się, że przy drogach, których szerokość jest mniejsza niż 10 m, zadrzewienie może rosnąć jedynie jednostronnie, najlepiej naprzemiennie na obydwóch poboczach. Ważną sprawą jest też zachowanie odpowiedniej odległości zadrzewienia od linii energetycznej. Według polskiej normy zadrzewienie sąsiadujące z linią energetyczną powinno być od niej oddalone o minimum 3,5 m, a od słupa energetycznego o 4 m. W pobliżu linii nie należy sadzić wysokich drzew wykształcających szerokie korony oraz mało odpornych na złamania i wywroty. Najlepiej w pobliżu linii energetycznych sadzić niskie drzewa oraz krzewy, co najczęściej wiąże się też z dużą wartością biocenotyczną takiego zadrzewienia.

Na poboczach lokalnych dróg rosną też często pozostałości starych alei owocowych, wierzbowych, dębowych czy lipowych oraz bardzo cenne przyrodniczo samosiewne zakrzaczenia z niewielkim udziałem drzew wysokopiennych. Wszystkie te obiekty są doskonałą bazą do działań zadrzewieniowych. Stare, nawet obumierające zadrzewienia owocowe czy wierzbowe należy zachować ze wzglę-

du na ich ogromną wartość biocenotyczną, a dosadzenia czy przebudowa tych zadrzewień wymaga dobrej analizy sytuacji i przewidywania wpływu wprowadzanych zmian na dotychczasowy układ zadrzewienia. Stare, często zabytkowe aleje dębowe, lipowe, wiązowe itp. powinny być uzupełniane materiałem sadzeniowym bardzo dobrej jakości, najlepiej wyhodowanym z nasion drzew rosnących w zadrzewieniu. Praktykuje się też odnawianie siewem, co wymaga zaangażowania, ale daje większą gwarancję uzyskania zdrowego i silnego młodego pokolenia drzew.

Zupełnie inną kategorią są zadrzewienia zakładane i utrzymywane przy drogach publicznych pozostające w gestii Zarządu Dróg Publicznych. Sposób sadzenia, jakość sadzonek, zestaw gatunków, sposób ochrony określają tu normy branżowe. Trzeba zaznaczyć, że zadrzewienia tego rodzaju stanowią nadal niemal połowę wszystkich (zarejestrowanych) zadrzewień w Polsce, pomimo wielu błędów popełnianych przy nasadzeniach i pielęgnacji drzew.

Dobór drzew i krzewów do zadrzewień wymaga wiedzy o wymaganiach glebowych, wodnych i świetlnych poszczególnych gatunków, ale także o wpływie danego gatunku na otoczenie (szybkość wzrostu i starzenia się, łatwość rozprzestrzeniania się, wartość biocenotyczna itp.). W zależności od rodzaju i nadrzędnego celu, dla którego zadrzewienie powstaje, jego skład gatunkowy i konstrukcja powinny być inne. Inaczej powinno wyglądać zadrzewienie przeciwwietrzne, inaczej wodochronne, a jeszcze inaczej zadrzewienie przeciwdziałające erozji wodnej (stokowej).

Generalną zasadą przy planowaniu **zadrzewienia przeciwwietrznego** jest wyznaczenie południkowego przebiegu bariery, co wiąże się z przewagą wiatrów wiejących z kierunków zachodnich. Szerokość zadrzewienia jest mniej istotna, ponieważ nawet zadrzewienie liniowe składające się z jednego rzędu drzew i dwóch rzędów krzewów pełni już rolę bariery. W szerszych zadrzewieniach należy pamiętać o luźnym rozmieszczeniu drzew, aby uniknąć niekorzystnego efektu ściany – zadrzewienie powinno być przewiewne. Bardzo ważny jest dobór odpowiednich gatunków do zadrzewienia przeciwwietrznego – powinny to być głównie gatunki głęboko zakorzeniające się, o dużej odporności na wiatr (mało lamliwe) takie jak modrzew, rodzime topole, brzoza, dąb, klony, wiąz, sosny czarna i zwyczajna, lipa, jarząb, głogi, i inne. Trzeba zaznaczyć, że skuteczne są przede wszystkim systemy barier przeciwwietrznych rozmieszczonych na większym obszarze, co od wielu lat potwierdzają na przykład zadrzewienia belgijskie.

Zadrzewienia wodochronne powinny działać jak filtr pochłaniający dużą część biogenów spływających do cieków i zbiorników wodnych z pól uprawnych. Efektywność bariery uzależniona jest najbardziej od jej szerokości oraz składu gatunkowego. Zadrzewienie o szerokości około 10 m, składające się z różnorodnych krzewów i drzew o głębokim i rozległym systemie korzeniowym, rosnące w niewielkim oddaleniu (3–5 m) od brzegów cieku czy zbiornika wodnego jest w stanie w znacznym stopniu pochłoniąć zanieczyszczenia spływowe. Różnorodność gatunkowa w wypadku zadrzewień wodochronnych ma szczególnie istotne znaczenie, ponieważ gatunki różnią się właściwościami sorpcyjnymi i preferencjami pokarmowymi, więc różnorodny skład zadrzewienia zapewni wydajniejsze pochłanianie biogenów. Gatunkami pożądanymi w zadrzewieniu przywodnych są te, których unika się w zadrzewieniach sąsiadujących bezpośrednio z polami uprawnymi – tak zwane „ogładzające”, należą do nich topole, siasiony, wierzby, olsze, brzozy, derenie, czarny bez i inne. Wielogatunkowe, bogate zadrzewienia przywodne są też bardzo cennymi refugiami i doskonale pełnią rolę korytarzy ekologicznych.

Zadrzewienia wodochronne nie mogą być sadzone bezpośrednio przy brzegach rowów i najczęściej wymagane jest obsadzanie jednostronne, wynika to przede wszystkim z zapewnienia swobodnego dostępu do rowu podczas prac konserwatorskich (czyszczenie, pogłębianie, prace melioracyjne). Trzeba zwracać też uwagę na wypusty melioracyjne, przy których nie wolno sadzić gatunków, których korzenie zapychają sączki – np. wierzby.

Na terenach o urozmaiconej rzeźbie, intensywnie użytkowanych rolniczo powinny być zakładane zadrzewienia przeciwdziałające erozji wodnej, zwłaszcza że gwałtowność opadów po długich okresach bezdeszczowych w ostatnich latach jest coraz większa. Podstawowym sposobem ograniczenia spływu żyznej gleby z pochyłości zboczy jest odpowiednia agrotechnika, ale trwałym sposobem ograniczenia niekorzystnego zjawiska jest posadzenie systemu żywoplotów przebiegających po warstwicach. System ten prowadzi z czasem do powstania układu tarasowo – schodkowego i praktycznie eliminuje całkowicie spływ gleby w dół zbocza. W wypadku powstania głębokich rynien spływowych najlepszym rozwiązaniem jest ich zakrzewienie, co przede wszystkim przeciwdziała pogłębianiu się

szczelin. Do zadrzewień przeciwerozyjnych najlepiej nadają się gatunki krzewów i niskich drzew szybko wykształcające silne i rozległe systemy korzeniowe. Gatunkami wykorzystywanymi do utrwalania zboczy od wielu lat są śliwa tarnina, dereń, świdwa, leszczyna czy głogi. Żywopłoty przeciwerozyjne są ponadto bardzo cennym przyrodniczo elementem krajobrazu jako miejsce schronienia i żerowania wielu gatunków zwłaszcza mniejszych zwierząt.

Warunki udanych zadrzewień sadzonych na terenach użytkowanych rolniczo

Potrzeba sadzenia zadrzewień na wylesionych terenach, intensywnie użytkowanych rolniczo związana jest z koniecznością poprawy warunków produkcji żywności oraz z powstrzymaniem degradacji środowiska – ubożenia zasobów przyrody. Różnorodność form i bardzo szeroki zakres oddziaływania umieszcza zadrzewienia na czele elementów najistotniejszych, wręcz uniwersalnych w renaturalizacji zdegradowanych krajobrazów rolniczych. Trzeba jednak uświadomić sobie, że aby zadrzewienia spełniły nasze oczekiwania, muszą być spełnione warunki umożliwiające ich pomyślny wzrost i rozwój. Jednym z podstawowych problemów przy sadzeniu zadrzewień na terenach rolniczych jest zmniejszenie fizycznie i chemicznie gleba. Cechą charakterystyczną gleb rolniczych jest zmieniony układ warstw, mały udział próchnicy, występowanie tak zwanej podeszwy płuźnej, czyli silnie zgęszczonej, zanieczyszczonej warstwy, utrudniającej przenikanie wody, powietrza oraz rozwój korzeni roślin, wpływającej bardzo niekorzystnie na rozwój fauny i flory glebowej, która decyduje o warunkach środowiska glebowego. Przed posadzeniem zadrzewienia gleba powinna być głęboko uprawiona, najlepiej przezorana pługiem z pogłębiaczem. Nie powinno się przygotowywać gleby tuż przed sadzeniem drzewek, ale kilka miesięcy wcześniej – najlepiej jesienią poprzedzając wiosenne nasadzenia.

Innym istotnym problemem jest niekorzystny wpływ otwartych przestrzeni, czyli narażenie młodych drzew i krzewów na duże różnice temperatur, zwiększoną transpirację, niedobór wody, działanie silnych wiatrów, a także uszkodzenia przez różnego rodzaju szkodniki. Zarówno warunki glebowe jak i klimatyczne otwartych przestrzeni pól odbiegają znacznie od warunków sprzyjających wzrostowi gatunków leśnych, dlatego przy ustalaniu składu zadrzewienia należy pamiętać, że warunki te najbardziej odpowiadają gatunkom pionierskim o większej tolerancji i zdolności przystosowania się. Gatunki bardziej wytrzymałe powinny chronić i stwarzać lepsze warunki wzrostu tym, które wymagają w młodym wieku osłony i które w przyszłości staną się trzonem zadrzewienia. Ważną rolę w łagodzeniu warunków otwartych pól mogą pełnić krzewy i niskie drzewa owocowe sadzone na brzegach, pod warunkiem, że nie będą zbyt dużą konkurencją dla gatunków głównych posadzonych wewnątrz zadrzewienia.

Powodzenie wprowadzania zadrzewień w bardzo dużym stopniu zależy od jakości sadzonek i staranności sadzenia. Jak wspomniano wyżej, warunki glebowe na terenach rolniczych odbiegają znacznie od naturalnych warunków leśnych, a jednym z bardzo niekorzystnych aspektów jest biologiczne wyjąłowanie gleb rolniczych. Wiadomo, że gatunki leśne są uzależnione od występowania w podłożu grzybów mikoryzowych niezbędnych do prawidłowego wzrostu sadzonek. Mikoryzy mają ogromny wpływ na wydolność systemu korzeniowego i odporność drzew i krzewów, dlatego materiał używany do nasadzeń nieleśnych musi być mikoryzowany w szkółkach produkujących sadzonki na potrzeby zadrzewień.

O jakości sadzonki świadczy przede wszystkim rozwinięty korzeń i proporcjonalna część nadziemna. System korzeniowy sadzonek powinien być zwarty, z dużą ilością młodych, drobnych korzeni, co w znacznym stopniu ułatwia sadzenie, umożliwia szybkie pobieranie wody z gleby i dostarczanie jej roślinie tuż po posadzeniu. Niedorozwój korzeni lub ich uszkodzenie (np. przesuszenie) może spowodować śmierć fizjologiczną rośliny lub w najlepszym razie obumieranie części nadziemnej.

Proporcje między częścią nadziemną i korzeniem powinny w przybliżeniu wynosić 3:1, chociaż jest to proporcja bardzo przybliżona i zależy od wieku i gatunku sadzonki.

Sadzonki zbyt wybujałe należy eliminować lub ewentualnie redukować pęd, ale nie więcej niż o 30%. Ważnym elementem oceny sadzonki jest też grubość szyjki korzeniowej – zbyt cienka świadczy o małym potencjale wzrostu. Do nasadzeń na otwartej przestrzeni należy używać wyłącznie sadzonek trzy- lub czteroletnich, szkółkowanych, o najwyższych parametrach zdrowotności, pochodzących z rejonu, w którym zostaną posadzone.

Dobre przyjęcie się sadzonek zależy nie tylko od ich jakości, ale także od transportu, prawidłowego sadzenia, przygotowania i uwilgotnienia gleby, warunków atmosferycznych oraz skutecznej ochrony przed zwierzyną i konkurencją chwastów.

Jakość zadrzewień, a w konsekwencji ich wpływ na otoczenie zależy w dużej mierze od uwagi, jaką się im poświęci przez bardzo wiele lat ich istnienia.

Literatura

- BAŁAZY S., RYSZKOWSKI L. (2003): Znaczenie zadrzewień śródpolnych dla zrównoważonego rozwoju obszarów wiejskich, W: Zalesienia w Europie, doświadczenia i zamierzenia, IBL, Warszawa.
- BUDZYŃSKI O. (1996): Zakładanie zadrzewień, Wydział Ochrony Środowiska UW, Toruń.
- BUDZYŃSKI O. (2002): Dylematy ekologizacji gmin wiejskich – taktyka ekorozwoju gminy. Wyd. Zielone Brygady, Kraków.
- WOLSKI P. (2002): Przyrodnicze podstawy kształtowania krajobrazu. Wyd. SGGW, Warszawa.
- ŻARSKA B. (2006): Modele ekologiczno- przestrzenne i zasady kształtowania krajobrazu gmin wiejskich, Wyd. SGGW, Warszawa.

Hanna Gołdyn
Instytut Środowiska Rolniczego i Leśnego
Polskiej Akademii Nauk, Poznań
Artur Golis
Zespół Parków Krajobrazowych
Województwa Wielkopolskiego, Poznań

Inwazje roślin – przyczyny, przebieg i skutki

Inwazje są skutkiem masowego w naszych czasach przenoszenia i zawlekania obcych gatunków poza ich naturalne zasięgi. Inwazje wpływają na funkcjonowanie ekosystemów i są szkodliwe dla rodzimej różnorodności biologicznej, gospodarki i komfortu życia ludzi.

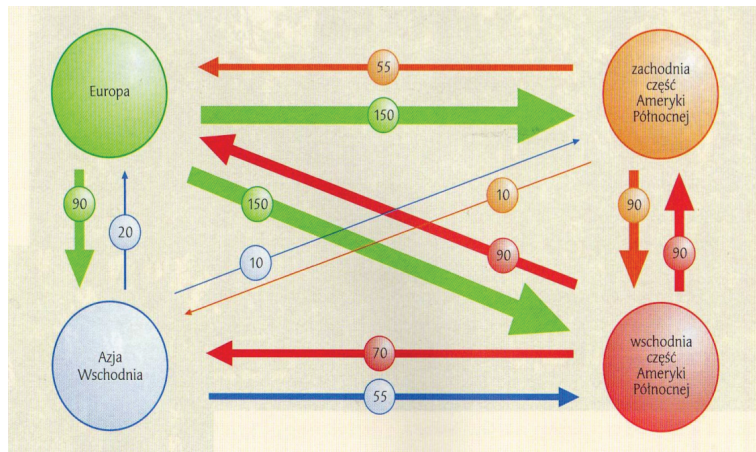
Należą do najpoważniejszych problemów współczesnej ochrony przyrody i są uznawane za jedno z największych zagrożeń dla bioróżnorodności.

Problem gatunków obcych pojawia się od dawna w dokumentach międzynarodowych konwencji, dyrektywach europejskich, a także w polskich aktach prawnych. Na całym świecie na zwalczanie inwazji przeznaczane są olbrzymie nakłady finansowe. Straty ekonomiczne szacuje się w Europie na co najmniej 12 mld dolarów.

Polskie prawo zakazuje wprowadzania obcych gatunków inwazyjnych do środowiska przyrodniczego. W Rozporządzeniu Ministra Środowiska z 9 września 2011 roku zawarta jest lista 52 obcych gatunków roślin i zwierząt, które w przypadku uwolnienia do środowiska przyrodniczego mogą zagrozić gatunkom rodzimym lub siedliskom przyrodniczym w Polsce. Jest wśród nich 16 gatunków roślin.

Inwazje roślin obcych gatunków

Inwazja obcych gatunków roślin jest rodzajem ekspansji terytorialnej gatunków przebiegającej gwałtownie i masowo w wyniku pośredniego lub bezpośredniego udziału człowieka. Różne formy ekspansji zawsze występowały w przyrodzie, ich częstota i zasięg wzrastała jednak wraz z różnorodnością sposobów działalności człowieka. Rozwój rolnictwa, a następnie komunikacji i transportu spowodował całkowicie niekontrolowaną wymianę gatunków pomiędzy regionami geograficznymi oraz rozdzielonymi od dawna kontynentami.



Ryc. 1. Kierunki i rozmiary wymiany gatunków roślin między wybranymi regionami świata (za: Jackowiak 2008)

Gatunki inwazyjne to gatunki obcego pochodzenia wnikające gwałtownie do ekosystemów naturalnych i eliminujące z nich gatunki rodzime.

OGólna definicja gatunków inwazyjnych przyjęta w dokumentach Wspólnoty Europejskiej mówi, że są to gatunki, których wprowadzenie do środowiska lub rozprzestrzenienie się może zagrażać różnorodności biologicznej lub pociąga za sobą inne nieprzewidziane konsekwencje. Oddziałują nega-

tywnie poprzez konkurencję, drapieżnictwo, przekazywanie patogenów oraz zakłócanie funkcjonowania ekosystemów. Wydają liczne potomstwo rozprzestrzeniające się na duże odległości.

Inwazyjne obce gatunki roślin (IAS – *Invasive Alien Species*), wnikają gwałtownie do ekosystemów naturalnych i eliminują z nich gatunki rodzime. Bardzo szybko zajmują nowe tereny, dzięki szybkiemu rozrastaniu się (orientacyjnie >100 m w czasie <50 lat w przypadku roślin rozmnażających się za pomocą nasion i innych propagul; >6 m w czasie 3 lat w przypadku roślin rozprzestrzeniających się poprzez rozrost korzeni, kłaczy, rozłogów czy pędów pnących).

Gatunki te zmieniają charakter zastanego środowiska (*transformers* – gatunki przekształcające), zagrażając rodzimym układom biologicznym i poprzez zmiany siedliska obniżają różnorodność gatunkową nie tylko roślin, ale także wszystkich innych organizmów żywych. Powodują straty bioróżnorodności w skali całych krajobrazów, także w krajobrazach rolniczych, gdyż wkraczając do najbardziej wrażliwych ekosystemów (tereny podmokłe, zbiorniki wodne i ich otoczenie) są powodem wymierania najrzadszych gatunków (w Polsce aż 50% gatunków roślin z czerwonych list to gatunki związane z obszarami podmokłymi).

Antropogeniczne przemiany szaty roślinnej

Kierunkowy proces przemian, jaki zachodzi w przyrodzie pod wpływem działalności człowieka jest określany terminem synantropizacji. Dotyczy on świata organizmów żywych: roślin, zwierząt i grzybów. Gatunki synantropijne to rodzime i obce gatunki towarzyszące człowiekowi, odporne na presję antropogeniczną. Szczegółowy podział roślin synantropijnych przedstawiony jest w Tab. 1.

Tab. 1. Klasyfikacja roślin synantropijnych według różnych kryteriów podziału oraz wybrane przykłady z Europy Środkowej (za: SUDNIK-WOJCIECHOWSKA, 2011)

Definicja grupy gatunków	Grupa synantropów	Przykłady gatunków
POCHODZENIE		
Synantropijne gatunki rodzime	apofity	babka zwyczajna <i>Plantago major</i> , jaskier rozłogowy <i>Ranunculus repens</i>
Gatunki obce	antropofity	zob. niżej
TRWAŁOŚĆ ZADOMOWIENIA ANTROPOFITÓW		
Trwale zadomowione na danym terenie	metafity	zob. niżej
Pojawiające się na danym terenie jedynie przejściowo	diafity	zob. niżej
CZAS PRZYBYCIA DO EUROPY ŚRODKOWEJ TRWALE ZADOMOWIENIENI GATUNKÓW OBCEGO POCHODZENIA (METAFITÓW)		
Gatunki przybyłe przed końcem XV w. i trwale zadomowione na siedliskach ruderalnych lub segetalnych	archofity	psianka czarna <i>Solanum nigrum</i> , mak polny <i>Papaver rhoeas</i>
Gatunki przybyłe po XV w. trwale zadomowione w różnych typach siedlisk	kenofity	zob. niżej
ETAP ZADOMOWIENIA KENOFITÓW (WKRA CZANIE NA SIEDLISKA RÓŻNEGO TYPU)		
Gatunki zadomowione na siedliskach ruderalnych i segetalnych	epekofity	stullsz pannoński <i>Sisymbrium altissimum</i> , szariat szorstki <i>Amaranthus retroflexus</i>
Gatunki zadomowione na siedliskach półnaturalnych	hemiagriofity	kolcowój pospolity <i>Lycium barbarum</i> , sit chudy <i>Juncus tenuis</i>
Gatunki zadomowione na siedliskach naturalnych	holoagriofity	nawłoc późna <i>Solidago gigantea</i> , czeremcha amerykańska <i>Padus serotina</i>
SPOSÓB PRZYBYCIA (I ŹRÓDŁO) GATUNKÓW OBCEGO NIEZADOMOWIENIENI TRWALE (DIAFITÓW)		
Gatunki wprowadzone celowo, uprawiane i przejściowo dziczejące z uprawy	ergazjofity	nagletek lekarski <i>Calendula officinalis</i> , pomidor zwyczajny <i>Lycopersicon esculentum</i>
Gatunki przypadkowo zawlekanie i przejściowo dziczejące	efemerofity	chaber welnisty <i>Centaurea solstitialis</i> , siwiec pomarszczony <i>Glaucium corniculatum</i>

Antropogeniczne przekształcenia środowiska wpływają na florę, powodując wymieranie niesynantropijnych gatunków rodzimych (miejscowych) a z drugiej wywołując ekspansję gatunków obcych (antropofitów), które pochodzą z odległych terenów.

W zależności od czasu przybycia zdomowione obce gatunki roślin (metafity) dzieli się na archeofity oraz kenofity. Archeofity to gatunki, które są od dawna obecne we florze Polski. Większość z nich to chwasty segetalne związane z roślinami uprawnymi, które pojawiły się razem z roślinami uprawnymi już setki lat temu. Zdomowione w naszej florze gatunki obce, które przybyły na polskie ziemie po okresie odkryć geograficznych, czyli później niż w XV wieku, należą do grupy kenofitów. Kenofity występujące w Polsce pochodzą z pięciu kontynentów, większość jednak z południowej Europy oraz Ameryki Północnej. Wiele z nich pojawiło się przypadkowo na nowym terenie, a wiele w efekcie celowej działalności człowieka. Na przykład niektóre obecnie zdomowione gatunki obce były kiedyś w Polsce sadzone w celach dekoracyjnych. Także teraz wiele gatunków obcych uprawia się w ogrodach przydomowych. Inne rozprzestrzeniły się z kolekcji ogrodów botanicznych i arboretów. Tatarak zwyczajny, zdomowiony w Polsce od kilku stuleci na siedliskach nadwodnych i podmokłych, został zawleczony lub wprowadzony celowo jako roślina lecznicza oraz spożywcza. Słonecznik bulwiasty (topinambur), który rozprzestrzenił się w dolinach rzecznych, dawniej uprawiany był w celach spożywczych i ozdobnych a obecnie wykorzystywany jest na poletkach łowieckich. Przegorzalan kulisty i rdestowiec ostrokończysty to gatunki wprowadzone kiedyś jako rośliny miododajne i ozdobne. Źródłem diaspor gatunków obcych bywa także karma dla ptaków.

Czy wszystkie obce gatunki są niebezpieczne?

We florze Polski od bardzo dawna obecne są obce gatunki z grupy archeofitów. Są to przede wszystkim chwasty związane ze zbiorowiskami roślinnymi pól uprawnych. Nie stanowią zagrożenia dla naszej flory, a niektóre z nich są nawet zamieszczane na czerwonych listach jako gatunki wymierające. Są to gatunki związane z tradycyjnymi sposobami gospodarowania, które giną z powodu zintensyfikacji rolnictwa. Największe zagrożenia wynikają ze stosowania herbicydów, wysokich dawek nawozów mineralnych i kwalifikowanego materiału siewnego a także z rezygnacji z niektórych upraw (na przykład upraw lnu), zanikania siedlisk bogatych w węglan wapnia i siedlisk oligotroficznych (ubogich w składniki odżywcze).

Groźne gatunki obce należą do grupy kenofitów. Tylko niektóre z nich są przyczyną inwazji. Spośród wszystkich gatunków pojawiających się poza granicą zasięgu tylko 10% pozostaje, pozostałe giną. Właściwości inwazyjne wykazuje zaledwie 10% spośród wszystkich kenofitów zdomowionych na nowym terenie. Trudno jest jednak przewidzieć czy nowy przybysz stanie się gatunkiem inwazyjnym czy nie, i dlatego każdy z nich w chwili pojawienia się stanowi potencjalne zagrożenie dla miejscowej flory. We florze Polski znanych jest około 30 inwazyjnych kenofitów.

Właściwości gatunków roślin sprzyjające ich inwazyjności

Obce gatunki inwazyjne cechuje często bardzo szybki wzrost, wysoka płodność, trwałość nasion, przedłużona zdolność kiełkowania, zdolność do tworzenia mieszańców w nowej ojczyźnie, duże rozmiary, zdolność do zacieniania i wydzielania substancji szkodzących innym gatunkom.

Na przykład czeremcha amerykańska, robinia akacja, rdestowiec sachaliński i barszcz Sosnowskiego konkurują z innymi gatunkami wzrostem, tempem odtwarzania uszkodzonych organów oraz produkcją substancji allelopatycznych (allelapatia – wzajemne oddziaływanie, stymulujące lub hamujące, poprzez związki chemiczne wydzielane przez żywe lub martwe rośliny). Klon jesionolistny i rdestowiec japoński charakteryzuje przyspieszony wzrost w młodości, plastyczność morfologiczna, wczesne przystępowanie do reprodukcji i znaczna alokacja biomasy w część podziemną.

Dzięki takim cechom inwazyjne gatunki opanowują teren zajmowany dotąd przez rodzime fitocenozy i tworząc zwarte jednogatunkowe łany uniemożliwiają rozwój jakichkolwiek innych roślin. W ten sposób dochodzi do eliminacji rodzimych gatunków i drastycznego zubożenia flory a także innych grup organizmów. Zdarza się na przykład, że w zbiorowiskach łąkowych zamiast kilkudziesięciu gatunków, pozostaje tylko jednogatunkowy łąk roślino inwazyjnej.

Jakie są konsekwencje inwazji w świecie roślin?

Obce inwazyjne gatunki roślin mogą zupełnie zmieniać ekosystemy, zaburzając skład zbiorowisk roślinnych i proporcje pomiędzy ich komponentami. Mogą doprowadzić do całkowitej eliminacji gatunków rodzimych i powstania zupełnie nowych, obcych zespołów. W skali globalnej, prowadzi do

ujednolicenia i braku zróżnicowania pomiędzy biocenozami zwłaszcza, że te same gatunki roślin atakują odległe regiony geograficzne.

W konsekwencji inwazji dochodzi do zaniku lokalnych zasobów genowych oraz do powiększania się zasięgów inwazyjnych gatunków obcych przy zmniejszaniu się zasięgów taksonów rodzimych. Zmieniają się całe zbiorowiska roślinne. Zanikają w nich gatunki o węższej skali ekologicznej, co staje się przyczyną ubożenia florystycznego i uproszczenia struktury fitocenozy a nawet powstawania jednogatunkowych zbiorowisk kadłubowych lub zbiorowisk złożonych głównie z gatunków obcych. Konsekwencje inwazji są widoczne też na poziomie biotopu, gdzie w ich wyniku zmieniają się stosunki wodne, chemizm i struktura fizyczna gleby, bilans świetlny.

Szkody powodowane przez inwazje obcych gatunków roślin

Gatunki inwazyjne roślin są przyczyną strat w gospodarce. Na przykład rdestowiec japoński może rozsadzać i niszczyć betonowe konstrukcje. Inwazyjne gatunki roślin wodnych zajmując całą toń utrudniają żeglugę. Zmiany w łańcuchach pokarmowych razem z rozkładem ogromnej masy roślin są powodem pogarszania jakości wody a tym samym ograniczenia możliwości rekreacyjnego wykorzystywania zbiorników. Gatunki opanowujące brzegi wód mogą przyczyniać się do podtopień lub nawet powodzi, a w konsekwencji do powstania siedlisk komarów.

Niektóre gatunki mogą być niebezpieczne dla zdrowia ludzi i zwierząt. Na przykład barszcz Sosnowskiego powoduje groźne i bardzo trudne do wyleczenia oparzenia II i III stopnia. Jego olejki eteryczne wydzielane w upalne dni wykazują działanie neurotoksyczne i mogą powodować silne zatrucia.

Przykłady inwazyjnych gatunków roślin z listy stu najgorszych na świecie

Do najgroźniejszych gatunków inwazyjnych na świecie zaliczany jest najbardziej znany chwast wodny – hiacynt wodny (*Eichhornia crassipes*), gatunek rodzimy dla Brazylii i Amazonii. Jako gatunek obcy występuje w ponad 50 krajach na pięciu kontynentach. Cechuje go bardzo szybki wzrost – już w ciągu 12 dni podwaja swoją biomasę. Zacieniając toń wodną, uniemożliwia rozwój innym gatunkom roślin. Jego zwarte płyty blokują szlaki wodne i uniemożliwiają żeglugę.

Do grupy tej należy też lasecznicza trzciniowata (*Arundo donax*), z rodziny traw. Jej sztywne źdźbła mogą osiągać 6 m wysokości i średnicę do 4 cm. Jest to gatunek rodzimy dla południowej i wschodniej Azji, południowej Afryki i południowo-wschodniej Europy. Inwazyjny w Ameryce, Australii oraz w innych częściach Afryki i Europy. Występuje na brzegach rzek i kanałów i jako gatunek inwazyjny rośnie 3–5 razy szybciej niż rodzime gatunki. Rozmnaża się wegetatywnie w bardzo szybkim tempie i całkowicie zmienia ekosystem, eliminując z niego wszystkie inne gatunki. Jednogatunkowe płyty laseczniczy mogą zakłócać kontrolowanie powodzi a także pożarów, gdyż jest ekstremalnie łatwopalna a po pożarach regeneruje się 3–4 razy szybciej niż rodzime gatunki. Może zatrzymywać rumowiska przed mostami i przepustami wodnymi i przez to zakłócać ich funkcjonowanie. To z kolei prowadzi często do zaburzeń w całych ekosystemach wodnych.

Występujący w Polsce kenofit – rdestowiec ostrokończysty (*Reynoutria japonica* syn. *Fallopia japonica*) to jeszcze jeden przykład gatunku z listy stu najgorszych na świecie roślin inwazyjnych. Należy do rodziny rdestowatych. Jest gatunkiem rodzimym dla wschodniej Azji, gdzie rośnie nawet na glebach wulkanicznych. Jako gatunek obcy występuje w Europie, Kanadzie, USA, Nowej Zelandii i Australii. Do Europy sprowadzono go jako roślinę ozdobną w 1823 roku. Obecnie jego inwazje powodują zmiany w środowisku i ogromne straty w różnorodności roślin i zwierząt, a także straty ekonomiczne. Silnymi rozłogami i łodygami roślina ta może przebijać się przez żwir, asphalt, a nawet beton, uszkadzać fundamenty, ściany, nawierzchnie, urządzenia odwadniające i zabezpieczenia przeciwpowodziowe. Ogranicza dostęp do brzegów wód a obumieranie przed zimą powoduje odsłonięcie brzegów oraz wzrost ryzyka powodzi i erozji. Wkracza do chronionych ekosystemów na brzegach wód. W Polsce należy do gatunków inwazyjnych występujących w obrębie siedlisk przyrodniczych NATURA 2000, które są chronione na mocy Dyrektywy Siedliskowej. Opanowuje doliny rzeczne i tworzy w nich zwarte jednogatunkowe płyty, w których żadnych szans na przetrwanie nie mają składniki dawnych rodzimych fitocenoz.

Gatunki inwazyjne w granicach naturalnego zasięgu nie stwarzają problemów, które powstają po przedostaniu się na tereny kolonizowane. Na przykład barszcz Sosnowskiego, który osiąga u nas 5 m wysokości, w rejonie ojczystego dla niego Kaukazu dorasta tylko do 1,5 m wysokości.

Rodzimy dla Polski gatunek, występujący na brzegach wód krwawnica pospolita, zaliczana jest do stu najbardziej groźnych gatunków inwazyjnych na świecie i uznawana za najbardziej szkodliwy

gatunek roślinny w USA. Jest gatunkiem rodzimym w Europie i Azji. Została przypadkowo sprowadzona na tereny USA, jako balast na statku w 1800 roku. Obecnie tworzy tam łąny zagrażające bioróżnorodności w jeziorach, stawach, ciekach wodnych oraz na podmokłych łąkach i pastwiskach. Koszty związane z obecnością tego gatunku wynoszą co najmniej 28 mln dolarów rocznie.

Gdzie występują inwazje?

Obce gatunki roślin wkraczają zwykle najpierw do układów niestabilnych, gdzie opór środowiska jest najmniejszy. Do takich należą fitocenozy synantropijne, np. zbiorowiska roślinne porastające ugory, przydroża, przyplócia, przychacia, nasypy kolejowe.

O ile opanowanie przez gatunki obce zbiorowisk półnaturalnych (łąk, pastwisk, wrzosowisk itp.), a szczególnie naturalnych (lasów łągowych, torfowisk, olsów, środowisk wodnych itp.) staje się znacznie trudniejsze, ponieważ wymaga przełamania silniejszych powiązań biocenotycznych, ukształtowanych w toku ewolucji trwającej tysiące lat. Liczba obcych gatunków w zbiorowiskach naturalnych jest dzięki temu mniejsza, ale są to z reguły gatunki o większym potencjale inwazyjnym.

Biologiczne inwazje mogą być uznane za syndrom cech, które charakteryzują zdegradowane ekosystemy wodne. W środowiskach wodnych gatunki inwazyjne spotykają najlepsze warunki rozwoju w zaburzonych ekosystemach z wysokim albo wahającym się poziomem biogenów, zmieniającym się reżimem wody i zanieczyszczeniami przemysłowymi. Ramowa Dyrektywa Wodna UE nakazuje poprawę stanu ekologicznego w takich zbiornikach. Działania związane z jej realizacją, prowadzone w ekosystemach wodnych i na terenie ich zlewni, zapobiegają zatem inwazji gatunków obcych.

W krajobrazach rolniczych ekosystemy wodne i bagienne zajmują niewielkie powierzchnie. Pomimo tego mają ogromne znaczenie w podnoszeniu bioróżnorodności całego krajobrazu. W wielu przypadkach są na tych terenach jedynymi miejscami z zachowanymi fragmentami naturalnej szaty roślinnej, która składa się prawie wyłącznie z gatunków rodzimych (roślinność wodna, szuwały, zabagnione łąki, skrawki lasów łągowych i olsów). Ochrona tych ekosystemów przed inwazjami obcych gatunków jest konieczna dla zachowania wysokiej bioróżnorodności w całym krajobrazie.

Najbardziej widoczne zagrożenia związane z roślinami inwazyjnymi występują na zachodzie i południu Polski. Jednak w ciągu ostatnich kilkunastu lat obserwuje się ich stopniową ekspansję także w Polsce wschodniej, a w związku z ocieplaniem klimatu należy się spodziewać, że proces ten będzie się nasilał. Na Suwalszczyźnie istotnym czynnikiem hamującym inwazje gatunków obcych był ostry klimat regionu. Obecnie powstrzymanie ich ekspansji jest zależne od samych ludzi. Przede wszystkim konieczne jest wyeliminowanie gatunków inwazyjnych z hodowli oraz niszczenie ich stanowisk na siedliskach półnaturalnych i naturalnych. Gatunki te stanowią szczególne zagrożenie na terenach chronionych, gdzie powinny być bezwzględnie zwalczane.

Systematyczny monitoring rozmieszczenia i stanu populacji, zawleczonych lub celowo introdukowanych obcych gatunków roślin, pomaga ocenić charakter i stopień zagrożenia i tym samym umożliwia podjęcie racjonalnych działań zapobiegających lub ograniczających inwazje.

Literatura uzupełniająca

- DAISIE – 100 of the worst <http://www.europe-aliens.org/speciesTheWorst.do>
- DAJDOK Z., KRZYSZTOFIAK A., KRZYSZTOFIAK L., ROMAŃSKI M., ŚLIWIŃSKI M. (2007): Rośliny inwazyjne w Wigierskim Parku Narodowym, Krzywe.
- DAJDOK Z., PAWLACZYK P. (red.) (2009): Inwazyjne gatunki roślin ekosystemów mokradłowych Polski, Wydawnictwo Klubu Przyrodników, Świebodzin.
- FALIŃSKA K. (2004): Ekologia roślin, Wyd. Nauk. PWN, Warszawa.
- FALIŃSKI J.B. (2004): Inwazje w świecie roślin: mechanizmy, zagrożenia, projekt badań, *Phytocoenosis (N.S.)*, 16, *Seminarium Geobotanicum* 10, s. 3-31.
- Gatunki obce w Polsce <http://www.iop.krakow.pl/ias/>
- GLOBAL INVASIVE DATABASE <http://www.issg.org/database/welcome/>
- Invasive alien species – Environment – European Commission <http://ec.europa.eu/environment/nature/invasivealien>
- JACKOWIAK B. (2008): Ekologia, biogeografia i ochrona przyrody. W: *Biologia. Jedność i różnorodność*, Wydawnictwo Szkolne PWN, Warszawa, s. 862-957.
- KOŁACZKOWSKA E. (2008): Inwazje obcych gatunków roślin – problem naukowy i praktyczny, *Przegląd Geograficzny* 80, 1, s. 55-73.
- KORNAŚ J. (1981): Oddziaływanie człowieka na florę: mechanizmy i konsekwencje. *Wiad. Bot.* 25 (3), s. 165-182.
- PYSEK P., RICHARDSON D.M., REJMÁNEK M., WEBSTER G.L., WILLIAMSON M., KIRSCHNER J. (2004): Alien plants in checklists and floras: towards better communication between taxonomists and ecologists, *Taxon* 53 (1), s. 131-143.

RICHARDSON D.M., PYSEK P., REJMÁNEK M., BARBOUR M.G., PANETTA F.D., WEST C.J. (2000): Naturalization and invasion of alien plants: concepts and definitions. *Diversity and Distributions*, 6, s. 93-107.

Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 9 września 2011 roku w sprawie listy roślin i zwierząt gatunków obcych, które w przypadku uwolnienia do środowiska przyrodniczego mogą zagrozić gatunkom rodzimym lub siedliskom przyrodniczym. Dz.U. 2011 nr 210 poz. 1260.

SUDNIK-WOJCIECHOWSKA B. (2011): Flora Polski. Rośliny synantropijne, Multico Oficyna Wydawnicza, Warszawa.

TOKARSKA-GUZIK B., DAJDOK Z., ZAJĄC M., ZAJĄC A., URBISZ A., DANIELEWICZ W., HOŁDYŃSKI C. (2012): Rośliny obcego pochodzenia w Polsce ze szczególnym uwzględnieniem gatunków inwazyjnych, Generalna Dyrekcja Ochrony Środowiska, Warszawa.

Daria Zarabska-Bozejewicz
Instytut Środowiska Rolniczego i Leśnego
Polskiej Akademii Nauk, Poznań

Wpływ fragmentacji siedlisk na stan zachowania bioty porostów

Ogólna charakterystyka porostów

Porosty, których naukowa nazwa brzmi „grzyby lichenizowane”, to organizmy symbiotyczne, będące jednymi z bardziej wrażliwych komponentów środowiska przyrodniczego. Jeszcze do niedawna, bo niemal do końca ubiegłego wieku porosty traktowano jako rośliny. Obecnie organizmy te klasyfikuje się jako przedstawicieli królestwa grzybów „Fungi”. Sformułowana przez Hawskewortha (1988, za: CZARNOTA 2009) definicja opisuje porosty jako „stabilną, samowystarczalną asocjację mikobionta i fotobionta, w której mikobiont jest partnerem zewnętrznym”. Terminem „mikobiont” określa się grzyby lichenizujące, natomiast fotobiontem nazywa się autotroficzny komponent zielony, reprezentowany przez glona, w tym przede wszystkim zielenicę Chlorophyceae lub sinicę Cyanophyta (por. CZARNOTA 2009). Przeważająca część grzybów (ponad 98%) współżyjących w symbiozach porostowych to grzyby workowe Ascomycota; zdecydowanie mniejszy udział mają grzyby podstawkowe Basidiomycota. Dla procesu powstawania związków pomiędzy wyróżnionymi wyżej komponentami przyjęto nazwę „lichenizacja”. Obecnie zakłada się, iż zasadnicze korzyści ze współżycia komponentów porostowych odnosi grzyb, który zyskuje przyswajalne alkohole cukrowe (sorbitol, mannitol i erytrol) powstałe wskutek wiązania węgla i jego transformacji przez fotobionta (por. FAŁTYNOWICZ I IN. 2004; CZARNOTA 2009). Sam dostarcza natomiast autotroficznemu partnerowi wodę wraz z solami mineralnymi.

Grzyby lichenizowane wykazują dużą zmienność, a ich niewielkie rozmiary często utrudniają ich dostrzeżenie czy też identyfikację systematyczną. Wyróżnia się cztery podstawowe formy morfologiczne plechy porostowej: skorupiastą, łuseczkowatą, listkowatą i krzaczkowatą. Najbardziej okazałe formy przybierają porosty krzaczkowate. Grupę tę reprezentują m.in. brodaczkki *Usnea* o bardzo cienkich, nitkowatych gałązkach, zwisających, odstających lub wznoszących się ponad podłoże, do którego są przyłączone (TOBOLEWSKI 1972). Jako ciekawostkę można podać fakt osiągnięcia przez niektórych przedstawicieli tego rodzaju imponujących rozmiarów, nawet do kilku metrów długości (np. współcześnie wymarła w Polsce brodaczka najdłuższa *Usnea longissima*). Niejednokrotnie podkreśla się długowieczność porostów. Wiek niektórych z nich, jak np. naskalnego wzorca geograficznego *Rhizocarpon geographicum*, mierzony jest w tysiącach lat (FAŁTYNOWICZ I IN. 2004).

Porosty znane są jako organizmy tolerujące skrajne warunki siedliskowe, w tym charakteryzujące się wyjątkowo niskimi temperaturami czy okresami długotrwałej suszy (FAŁTYNOWICZ I IN. 2004). Zasadlają podłoża skalne pochodzenia naturalnego i antropogenicznego, glebę, murszejące drewno, korowinę drzew, a nawet liście (Fot. 1). Spotkać je można m.in. w zbiorowiskach leśnych, psammofilnych, na wydmach i wrzosowiskach, w zadrzewieniach śródpolnych, alejach przydrożnych i sadach. Wzrost przyciągają kolorowe plechy porostowe obecne w bezpośrednim sąsiedztwie człowieka, np. na murach budynków mieszkalnych, nagrobkach, mostach, a nawet na starych oponach samochodowych.



Fot. 1. Porosty porastają różnego rodzaju podłoża np. drzewa i skały

Wśród wszystkich znanych gatunków grzybów na Ziemi piątą część stanowią porosty. Jak dotąd na świecie opisano ok. 15 tysięcy gatunków grzybów lichenizowanych, wśród których ok. 1600 gatunków stwierdzono w Polsce. Aż 866 taksonów zostało uwzględnionych na aktualnej krajowej „Czerwonej liście” porostów zagrożonych i wymarłych (CIEŚLIŃSKI I IN. 2006). Wiele z nich, w tym głównie porosty listkowate i krzaczkowate, objętych jest także prawną ochroną w myśl Rozporządzenia Ministra Środowiska z 9 października 2014 r.

Wskaźniki stanu jakości środowiska

Grzyby lichenizowane są szczególnie wrażliwe na zaburzenia ekosystemów. Uwarunkowane jest to m.in. ich długim okresem życia, specyficzną biologią, funkcjami życiowymi i ściśle określonymi wymaganiami ekologicznymi (por. CIEŚLIŃSKI I IN. 2006). Pierwsze doniesienia wskazujące na negatywne oddziaływanie działalności człowieka na występowanie porostów pojawiły się pod koniec XIX wieku. Wówczas to francuski botanik Wiliam Nylander powiązał zanikanie wielu porostów w Ogrodzie Luksemburskim w Paryżu z obecnymi w powietrzu pyłami i dymami (MATWIEJUK 2007). Od tego momentu notuje się szereg obserwacji poświadczających ubożenie lichenobioty epifitycznej (nadrzewnej) wskutek postępującego zanieczyszczenia powietrza, w tym głównie dwutlenkiem siarki, a w okresie ostatnich trzech dekad także związkami azotu, zwłaszcza w krajobrazie rolniczym (ZARABSKA 2011 i lit. tam cyt.). Bogactwo gatunkowe, obfitość oraz rozmieszczenie porostów epifitycznych jako organizmów poikilohydrycznych, czyli takich, których uwodnienie determinują panujące warunki środowiskowe oraz u których obserwuje się ściśle uzależnienie procesów metabolicznych od warunków atmosferycznych, powiązane jest z oddziaływaniem czynników makro- i mikrośrodowiskowych (GIORDANI 2006 i lit. tam cyt.). Porosty są powszechnie wykorzystywane jako wskaźniki jakości środowiska. Do popularnych metod bioindykacyjnych należy wykreślanie map lichenoindykacyjnych na podstawie obserwacji wybranych grup morfologicznych porostów, stopnia ich zróżnicowania lub wykazywanych preferencji względem określonych parametrów środowiskowych. Mapy te pozwalają zobrazować stopień zanieczyszczenia powietrza wybranymi związkami na badanym obszarze.

Do innych czynników negatywnie wpływających na porosty można także zaliczyć m.in. działalność gospodarczą w lasach, chemizację rolnictwa, usuwanie starych drzew liściastych (np. przydrożnych, w sadach), urbanizację, zanieczyszczenie wód, zbieractwo, eksploatację gładów narzutowych i złóż wapiennych (FAŁTYNOWICZ 1997; FAŁTYNOWICZ I IN. 2004). Proces ustępowania porostów dostrzegaliśmy przede wszystkim w lasach. Zachodzi on wskutek zmniejszenia się ich powierzchni, obniżania wieku drzewostanów, uproszczenia struktury i wewnętrznego zróżnicowania naturalnych zbiorowisk, fragmentacji lasów i powiązanej z nią izolacji lokalnych populacji gatunków (KUBIAK 2013 i lit. tam cyt.).

Fragmentacja siedlisk

Fragmentacja, zgodnie z propozycją PULLINA (2004), jest procesem, w wyniku którego rozmiary siedliska zmniejszają się, a ono samo dzieli się na przynajmniej dwa fragmenty. Towarzyszące jej ilościowe zmiany w strukturze krajobrazu to (za: KUJAWA 2013):

- zmniejszenie całkowitej powierzchni środowiska,
- zwiększanie się liczby fragmentów środowiska danego typu w wyniku rozdzielenia dużych fragmentów na mniejsze,
- zmniejszenie się średniej wielkości fragmentu środowiska danego typu, a często także dodatkowo
- zmniejszenie stosunku powierzchni wnętrza środowiska do powierzchni jego strefy brzeżnej i
- zwiększenie się odległości pomiędzy fragmentami środowiska danego typu.

Zagadnienia dotyczące wpływu fragmentacji na lichenobiotę nie zyskało jak dotąd większego zainteresowania wśród badaczy. Może to być związane z trudnościami metodycznymi wiążącymi się z prowadzeniem analiz w tym zakresie. Przykładem mogą tu być ograniczenia zarówno sprzętowe, jak i czasowe pozwalające na dość precyzyjne określanie dystansu pokonywanego przez diaspory porostowe i tym samym śledzenie rozprzestrzeniania się porostów. Zdobyte informacje na temat tego procesu mogłyby zostać wykorzystane do określenia stopnia wpływu zjawiska fragmentacji na porosty. Jak dotąd przebieg i skutki powyższego procesu na stan zachowania lichenobioty analizowano głównie w odniesieniu do lasów (np. HILMO 2005; KUBIAK 2013), natomiast grupą siedliskową szczególnie reagującą na zmiany powstałe w wyniku fragmentacji zdają się być porosty epifityczne (np. OTÁLORA i in. 2011). Fragmentacja lasów wymieniana jest jako jeden z głównych czynników przyczyniających się do zmniejszenia różnorodności porostów w lasach (KUBIAK 2013 i lit. tam cyt., SVOBODA I IN. 2010). Odminną sytuację można obserwować w krajobrazie rolniczym o zachowanej heterogenicznej strukturze użytkowania. Obecność zadrzewień śródpolnych, sadów oraz zbiorowisk murawowych wykształcających się na gruntach leżących odłogiem sprzyja występowaniu porostów związanych z terenami otwartymi. Wielkopowierzchniowe monokultury to jedne z nielicznych miejsc, w których udział grzybów lichenizowanych jest praktycznie znikomy.

Jednym z następstw procesu fragmentacji, który zdaje się szczególnie negatywnie oddziaływać na porosty, jest izolacja siedlisk, wpływająca na ograniczenie możliwości dyspersyjnych oraz zmniejszenie różnorodności siedlisk. Dodatkowo OTÁLORA I IN. (2011 i lit. tam cyt.) wymieniają wśród zagrożeń zmiany warunków biotycznych i abiotycznych zachodzących wewnątrz płatów. Niemniej badacze ci podkreślają (OTÁLORA I IN. l.c.), że stopień oddziaływania fragmentacji na organizmy zależy od ich właściwości oraz powiązań ze zmianami środowiskowymi będącymi skutkiem rozdrobnienia siedlisk. Istotne w odniesieniu do poikilhydrycznych porostów wydają się być także panujące w danym miejscu warunki klimatyczne. Obserwacje SVOBODY I IN. (2010) dowiodły, że skutki fragmentacji mogą być bardziej odczuwalne przez grzyby lichenizowane na obszarach o niższym poziomie opadów. Zmniejszanie powierzchni zajmowanej przez lasy, często wiążące się z zapotrzebowaniem rolniczym, prowadzi do znaczących zmian w systemie wodnym w krajobrazie (SVOBODA I IN., l.c.).

Jakość płatu siedliskowego

Jakość płatu siedliskowego może określać m.in. jego typ, kształt, wielkość. W przypadku zbiorowisk leśnych w powyższym zestawieniu można także wyróżnić wiek i strukturę drzewostanu, rozmiar i rodzaj miejsc porębowych, jak również rozmieszczenie tych fragmentów w czasie i przestrzeni (np. HILMO 2005). KUBIAK (2013), prowadząc badania w wybranych rezerwach, wskazał na ograniczający wpływ małej powierzchni siedliskowej oraz zbliżonego do prostokąta jej kształtu na zachowanie bioty porostów. Jest to konsekwencją braku możliwości wytworzenia mikroklimatu specyficznego dla wnętrza naturalnego lasu. KUBIAK (2013 i lit. tam cyt.) powołuje się na przeprowadzone w Szwecji obserwacje, zgodnie z którymi powierzchnie leśne o wielkości 0,01–0,5 ha nie wystarczają na potrzeby utrzymania porostów w dłuższym okresie. Co więcej, wielkość powierzchni jest o tyle istotna, iż zbyt małej nie rekompensuje występowanie charakterystycznej dla lasów naturalnej struktury drzewostanu oraz zróżnicowanych siedlisk i substratów.



Fot. 2. Prześwietlone miejsca w zbiorowiskach borowych, będące konsekwencją prowadzonych prac wycinkowych mogą zostać zajęte przez naziemne porosty

Wraz z wiekiem drzewa zmieniają się właściwości jego kory. Szereg gatunków, w tym tzw. stenotopowych (mających niewielkie wymagania siedliskowe) preferuje korę drzew starszych i bardziej dojrziałych (por. KUBIAK 2013). Tym samym większe zróżnicowanie porostów i/lub obecność bardziej interesujących gatunków mogą zostać stwierdzone w płatach siedliskowych tworzonych przez starsze drzewostany. Postulat pozostawiania starych drzew podczas podejmowania zabiegów gospodarczych w lasach (np. w trakcie wycinki drzew) wysuwają BERRYMAN i MCCUNE (2006). Występujące na tych drzewach porosty stają się źródłem diaspor, które na drodze naturalnego rozprzestrzeniania się mogą zająć kolejne, młodsze osobniki forofitów. Ponadto obecność sędziwych drzew stwarza bardziej sprzyjające warunki mikroklimatyczne i mikrosiedliskowe dla utrzymania różnorodności porostów i ich biomasy (BERRYMAN, MCCUNE 2006). Wiek siedliska może również istotnie determinować zróżnicowanie genetyczne porostów epifitycznych, np. puszczańskiego gatunku granicznika płucnika *Lobaria pulmonaria* (OTÁLORA i in. 2011). Warto podkreślić, iż jakość płatów leśnych może oddziaływać nie tylko na pojedyncze osobniki, ale również determinować rozmiary populacji i wzorce rozmieszczenia zarówno poszczególnych gatunków, jak i powiązanych z nimi zbiorowisk porostowych (np. OTÁLORA I IN. 2011). W tym miejscu warto zaznaczyć, że o ile prowadzenie prac wycinkowych w zbiorowiskach leśnych mogą prowadzić do zaniku przynajmniej części porostów epifitycznych, to już w odniesieniu do innych grup siedliskowych obecność luk w odpowiednich zbiorowiskach sprzyja ich pojawianiu się. Przykład mogą stanowić bory sosnowe, w których nasłonecznione polany powstałe wskutek wycinki drzewa mogą zajmować porosty naziemne (Fot. 2).

Izolacja siedliska i ograniczenia dyspersji

Stopień wpływu fragmentacji uzależniony jest od zdolności gatunku do rozprzestrzeniania się, w tym pokonywania zwiększonego dystansu pomiędzy odpowiednimi dla organizmu siedliskami (SVOBODA I IN. 2010; OTÁLORA I IN. 2011 i lit. tam cyt.). Negatywne skutki fragmentacji wiążą się z ograniczoną zasięgiem rozprzestrzeniania się diaspor (KUBIAK 2013), co może uniemożliwiać lub utrudniać zajmowanie nowych siedlisk, a wcześniej pokonywanie barier środowiskowych. Procesowi rozprzestrzeniania się porostów mogą sprzyjać działania podejmowane np. w gospodarce leśnej, których celem jest pozostawienie w stanie nienaruszonym potencjalnych źródeł porostowych diaspor takich jak sędziwe drzewa porośnięte plechami porostowymi (BERRYMAN, MCCUNE 2006 i lit. tam cyt.).

Zmniejszenie różnorodności genetycznej

Typowym następstwem fragmentacji jest zmniejszenie poziomu migracji i zmienności genetycznej (FREELAND 2008). Fragmentacja prowadząca do izolacji subpopulacji może skutkować dryfem genetycznym, zwiększającym różnice pomiędzy subpopulacjami oraz zmniejszeniem genetycznej różnorodności wewnątrz subpopulacji (OTÁLORA I IN. 2011). Niemniej oddziaływanie fragmentacji na różnorodność porostów na poziomie gatunkowym nie wydaje się już być taka ewidentna. OTÁLORA I IN. (2011) analizowali wpływ procesu rozdrobnienia siedlisk na genetyczną strukturę populacji oraz różnorodność granicznika płucnika *Lobaria pulmonaria* – porostu związanego siedliskowo ze starymi puszczańskimi lasami. Zgodnie z wynikami przeprowadzonych przez nich badań (OTÁLORA I IN. 2011, l.c.) wielkość płatów oraz łączność pomiędzy nimi nie wykazują istotnego oddziaływania na różnorodność genetyczną tego porostu. Odmienną rolę zdaje się natomiast odgrywać jakość siedliska określana wiekiem płatów – im starsze lasy, tym wyraźnie wyższe zróżnicowanie. Stare drzewa w wysoko ustrukturyzowanym zbiorowisku leśnym nadają kształt rozmiarom populacji i wzorcowi rozmieszczenia tego gatunku i związanych z nim, bogatych zbiorowisk porostowych. Uzyskane wyniki skłoniły badaczy do uznania (OTÁLORA I IN. 2011), iż proces fragmentacji zdaje się najpierw uwyrażać w ekologicznym wymiarze poprzez zmiany w występowaniu i pokryciu niż w genetycznym komponencie populacji. Co więcej, FREELAND (2008) wskazuje na odmienny stopień przepływu genów wskutek fragmentacji lub rozdrobnienia środowiska; u części gatunków może on być wysoki, podczas gdy u innych – niski. W kontekście ochrony przyrody niezwykle ważne staje się zatem wykorzystanie danych dot. przepływu genów i zróżnicowania populacji pozwalających określić stopień wpływu fragmentacji na badane organizmy.

Efekt krawędzi

Z postępującym procesem fragmentacji siedlisk powiązany jest zwiększający się udział ogólnej długości ich krawędzi i tym samym rozwój zbiorowisk z nimi związanych (np. ESSEEN, RENHORN 1997, HILMO I IN. 2005). Poznanie reakcji organizmów na efekt krawędzi może sprzyjać podjęciu względem

nich odpowiednich działań ochronnych, np. zwiększanie pasów ochronnych wzdłuż płątów leśnych celem utrzymania typowych dla wnętrza lasów warunków siedliskowych. Do szczególnie zagrożonych porostów wskutek pojawienia się efektu krawędzi należą młode plechy porostowe (por. HILMO I IN. 2005) oraz te związane substratowo z drzewami. Zmiana warunków środowiskowych zdaje się negatywnie oddziaływać na młode plechy w związku zachodzącymi w nich inicjalnymi procesami cyklu życiowego. Wraz z odsłonięciem korony i pnia forofita następuje zmiana warunków mikroklimatycznych. Nowe warunki siedliskowe charakteryzuje zwiększony dopływ związków odżywczych i zintensyfikowana depozycja substancji zanieczyszczających powietrze, wzmożona prędkość wiatru, wyższy stopień nasłonecznienia stanowiska, większe zróżnicowanie temperatury powietrza i niższa wilgotność w porównaniu z wcześniej panującymi, typowymi dla wnętrza lasu (ESSEEN, RENHORN 1997; HILMO I IN. 2005). Pośrednio znaczącym ograniczeniem może być także zmniejszenie ilości dostępnego podłoża wskutek redukcji i uszkodzeń gałęzi. Tak istotne zmiany warunków siedliskowych mogą doprowadzić do zaniku plech porostów związanych ze zbiorowiskami leśnymi. Sytuacja ta wynika z reakcji części gatunków, bardziej wrażliwych na zmiany. Jako przykład można nadmienić fakt, iż zwiększona siła wiatru, niższa wilgotność i zwiększona radiacja słoneczna na obrzeżu zbiorowiska leśnego może przyczynić się do intensyfikacji wysychania plechy i w ten sposób zredukować vitalność porostu (HILMO I IN. 2005). Surowe warunki pogodowe panujące w tych miejscach, przejawiające się zwiększoną ilością śniegu mogą naruszyć stabilność luźno przyklepionej do gałęzi plechy porostowej np. *Platismatia glauca* (HILMO I IN. 2005, l.c.). Inną konsekwencją efektu krawędzi może być zmniejszenie biomasy w związku z fragmentacją plechy wskutek wzmożonej działalności wiatru, zwłaszcza u porostów posiadających długie, zwisające plechy np. z rodzaju *Alectoria*, *Bryoria*, *Usnea* (ESSEEN, RENHORN 1997) (Fot. 3). Zmniejszona liczba plech porostowych na obrzeżach może być też spowodowana ograniczeniem poziomu dostarczania diaspor lub też ich nieefektywnym procesem przytwierdzenia i rozwoju (HILMO I IN. 2005). Stopień oddziaływania efektu krawędzi na zbiorowiska epifityczne może determinować m.in. orientacja krawędzi, topografia, rozmiary obszarów porębowych i porastającą je roślinność, struktura leśna i inicjalna kompozycja zbiorowisk epifitycznych (ESSEEN, RENHORN 1997). Określony przez ESSEEN I RENHORN (1997) zasięg efektu krawędziowego na porosty o plechach zwisających wyniósł od 1 do 2 wysokości drzew (25–50 m) w głąb lasu świerkowego w umiarkowanie eksponowanych miejscach z orientacją SE-SW. Co więcej, badacze ci (ESSEEN i RENHORN 1997, l.c.) zaproponowali żyłecznik zwisający (*Alectoria sarmentosa*) jako indykator zasięgu efektu krawędzi na zbiorowiska porostowe, w odniesieniu do którego rolę wskaźnikową miałyby odgrywać długość jego plechy. HILMO I IN. (2005) zasugerowali natomiast wykorzystanie w podobnym celu parametru określającego liczbę plech, która lepiej odzwierciedla wpływ efektu krawędzi na porosty w porównaniu np. ze stopniem pokrycia pnia przez plechy.



Fot. 3. Porosty o plechach krzaczkowatych, zwłaszcza posiadających długie zwisające plechy są szczególnie narażone na wzmożoną działalność wiatru fragmentującą ich plechy

Heterogeniczność krajobrazu rolniczego



Fot. 4. Urozmaicona struktura w krajobrazie rolniczym sprzyja zwiększeniu różnorodności porostów, praktycznie nieobecnych w wielkopowierzchniowych monokulturach



Fot. 5. Podłoża pochodzenia antropogenicznego np. studnie na polach uprawnych mogą stanowić jedno z nielicznych miejsc występowania porostów w krajobrazie rolniczym

O ile rozdrobnienie siedlisk w zbiorowiskach leśnych może negatywnie oddziaływać na stan zachowania lichenobioty, o tyle urozmaicona struktura krajobrazu rolniczego zdaje się wspierać zróżnicowanie gatunkowe grzybów lichenizowanych. Zadrzewienia śródpolne i miedze, sady oraz pastwiska, jak również grunty leżące odłogiem mogą stanowić miejsce występowania porostów, nieobecnych w obrębie wielkopowierzchniowych monokultur (Fot. 4). Warto zaznaczyć, iż w przypadku tak małych organizmów, z których część wykazuje tolerancję na szerokie spektrum uwarunkowań ekologicznych obecność podłoża nawet o niewielkich rozmiarach sprzyja jego zajęciu przez grzyby lichenizowane. Dlatego ważne zdaje się być zachowanie istotnych w krajobrazie rolniczym siedlisk i podłoży, m.in. starych drzew rosnących w sadach, przy drogach polnych lub wchodzących w skład zadrzewień śródpolnych, konstrukcji drewnianych, głazów i mniejszych kamieni (por. BYSTREK, FLISIŃSKA 1981, CIEŚLIŃSKI, CZYZEWSKA 1992). Co więcej, nie tylko zachowanie, ale i wprowadzanie podłoży pochodzenia antropogenicznego, np. betonowych studni, ogrodzeń, słupów pozwala na rozprzestrzenianie się porostów hemerofilnych, czyli związanych z działalnością człowieka (Fot. 5).

Wśród skutecznych zabiegów mających na celu utrzymanie lichenobioty w krajobrazie rolniczym mogłoby się znaleźć nie tylko dążenie do zachowania zadrzewień śródpolnych czy alei, ale i częściowe rozluźnienie warstwy krzewów im towarzyszących celem zwiększenia dostępności światła docierającego do pni drzew budujących te siedliska. Zabieg ten sprzyjałby rozwojowi porostów światłolubnych i kserofilnych stanowiących o specyfice lichenobioty krajobrazu rolniczego. Na odlesionych obszarach wiejskich stare sady to kolejne siedliska pozwalające przetrwać wielu rzadkim, chronionym i zagrożonym w skali kraju porostom (LIPNICKI 2003, KOŚCIELNIAK 2004). W związku z coraz częściej stosowaną praktyką wycinania starych i obumierających drzew wskazane byłoby zakładanie w pobliżu tych siedlisk nowych plantacji. Lichenobiota starych drzew owocowych mogłaby być źródłem diaspor i porostów zasiedlających korowinę młodszych forofitów (Fot. 6).



Fot. 6. Zakładanie nowych plantacji w sąsiedztwie starych sadów może sprzyjać rozprzestrzenianiu się porostów związanych z drzewami owocowymi

Literatura

- BERRYMAN S., MCCUNE B. (2006): Estimating epiphytic macrolichen biomass from topography, stand structure and lichen community data. *Journal of Vegetation Science* 17, s. 157-170.
- BYSTREK J., FLISIŃSKA Z. (1981): Porosty Wyżyny Lubelskiej. *Fragmenta Floristica et Geobotanica* 27, s. 239-260.
- CIEŚLIŃSKI S., CZYZEWSKA K. (1992): Problemy zagrożenia porostów w Polsce. *Wiadomości Botaniczne* 36, s. 5-17.
- CIEŚLIŃSKI S., CZYZEWSKA K., FABISZEWSKI J. (2006): Red list of the lichens in Poland. W: Mirek Z., Zarzycki K., Wojewoda W., Szeląg Z. (red.) *Red list of plants and fungi in Poland*, W. Szafer Institute of Botany, PASC, Kraków, s. 71-89.
- CZARNOTA P. (2009): Symbiozy porostowe w świetle interakcji pomiędzy grzybami i fotobiontami. *Kosmos. Problemy Nauk Biologicznych* 58 (1-2), s. 229-248.
- ESSEEN P.-A., RENHORN K.-E. (1997): Edge effects on a pendulous epiphytic lichen in fragmented forest. W: Renhorn K.-E. (red.), *Effects of forestry on biomass and growth of epiphytic macrolichens in boreal forests*, Department of Ecological Botany, Umeå University, Dissertation, s. 1-24.
- FAŁTYNOWICZ W. (1997): Zagrożenia porostów i problemy ich ochrony. *Przegląd Przyrodniczy* 8 (3), s. 35-46.

- FAŁTYNOWICZ W., KRZYSZTOFIAK A., KRZYSZTOFIAK L. (2004): Porosty północno-wschodniej Polski – przewodnik terenowy, Wyd. Stowarzyszenie „Człowiek i Przyroda”, Suwałki.
- FREELAND J.R. (2008): *Ekologia molekularna*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa, ss. 358.
- GIORDANI P. (2006): Variables influencing the distribution of epiphytic lichens in heterogenous areas: A case study for Liguria, NW Italy. *Journal of Vegetation Science* 17, s. 195-206.
- HILMO O., HYTTEBORN H., HOLLIEN H. (2005): Do different logging strategies influence the abundance of epiphytic chlorolichens? *Lichenologist* 37(6), s. 543-553.
- KOŚCIELNIAK R. (2004): Porosty (Lichenes) Bieszczadów Niskich. *Fragmenta Floristica et Geobotanica Polonica*, Suppl. 5, s. 1-164.
- KUBIAK D. (2013): Znaczenie starodrzewu dla zachowania różnorodności porostów w lasach na przykładzie pozostałości Puszczy Mazowieckiej. *Leśne Prace Badawcze* 74 (3), s. 245-255.
- KUJAWA K. (2013): Różnorodność biologiczna – zależności krajobrazowe, wpływ człowieka. W: SZYSZKIEWICZ-GOLIS M. (red.), *Akademia talentów przyrodniczych – podwyższenie jakości kształcenia kompetencji naukowych i przyrodniczych w szkołach ponadgimnazjalnych w ramach przedmiotu Ekologia Krajobrazu. Program nauczania przedmiotu dodatkowego dla szkół ponadgimnazjalnych Ekologia Krajobrazu oraz „nakładka” dla ucznia zdolnego*, s. 98-116. Wyd. ISRL PAN, Poznań.
- LIPNICKI L. (2003): Porosty nadrzewne w starych sadach przydomowych. W: Sobieralska R. (red.) *Poradnik sadowniczy starych odmian drzew owocowych*, Towarzystwo Przyjaciół Dolnej Wisły, Świecie, s. 77-82.
- MATWIEJUK A. (2007): Porosty Białegostoku jako wskaźniki zanieczyszczenia atmosfery. *Wyd. Ekonomia i Środowisko, Białystok*, T. 2, ss. 102.
- OTÁLORA M.G., MARTÍNEZ I., BELINCHÓN R., WIDMER I., ARAGÓN G., ESCUDERO A., SCHEIDEGGER CH. (2011): Remnants fragments preserve genetic diversity of the old forest lichen *Lobaria pulmonaria* in a fragmented Mediterranean forest. *Biodiversity Conservation* 20, s. 1239-1254.
- PULLIN A.S. (2004): *Biologiczne podstawy ochrony przyrody*. Wyd. Naukowe PWN, Warszawa.
- Rozporządzenie Ministra Środowiska z dn. 9 października 2014 r. w sprawie ochrony gatunkowej grzybów (Dz.U. 2014, Nr 0, poz. 1408).
- SVOBODA D., PEKSA O., VESELÁ J. 2010. Epiphytic lichen diversity in central European oak forests: Assessment of the effects of natural environmental factors and human influences. *Environmental Pollution* 158, s. 812-819.
- TOBOLEWSKI Z. (1972): *Porosty. Klucz do oznaczania gatunków krajowych*, Wyd. PWN, Warszawa, ss. 251.
- ZARABSKA D. (2011), *Porosty w krajobrazie rolniczym Sandru Nowotomyskiego*. Praca doktorska napisana w Zbiorach Przyrodniczych WB UAM, Poznań.

SŁOWNIK

Abiotyczne elementy środowiska (ang. *abiotic components of the environment*)

Wszystkie elementy środowiska z wyjątkiem organizmów żywych.

Absorpcja aktywna (ang. *active absorption*)

Proces pobierania przez rośliny wody z gleby dzięki mechanizmowi osmotycznemu, woda dyfunduje z gleby (niższe stężenie soli) do wnętrza rośliny (wyższe stężenie soli). Woda może być też pobierana z gleby wbrew gradientowi stężeń, wówczas proces ten wymaga nakładów energetycznych. Ten mechanizm jest istotny w początkowym okresie wegetacji, gdy nie ma liści i w niskich temperaturach oraz przy braku procesu transpiracji.

Absorpcja pasywna (ang. *passive absorption*)

Proces pobierania przez rośliny wody z gleby dzięki mechanizmowi transpiracyjnemu. Intensywne parowanie wody z liści powoduje spadek potencjału wody w ich tkankach, powodując przepływ wody z korzeni do liści. Nie wymaga nakładu energetycznego przez roślinę.

Adwekcja ciepła (ang. *heat, thermal advection*)

Proces poziomego napływu energii cieplnej z miejsc cieplejszych, (np. terenów bez roślin: ściernisko, ugor) nad miejsca chłodniejsze (np. silnie transpirujące pole uprawne, zadrzewienia, las wilgotny), którego intensywność zależy od poziomego gradientu temperatury powietrza i od prędkości wiatru.

Agroekosystem (ang. *agroecosystem*)

Ekosystem sztuczny lub półnaturalny, kształtowany przez człowieka i służący produkcji rolniczej. Do agroekosystemów należą: pola uprawne, łąki, pastwiska.

Albedo (ang. *albedo*, od łac. *biel*)

Stosunek natężenia promieniowania słonecznego odbitego od danej powierzchni do natężenia promieniowania na nią padającego.

Antropofit (ang. *anthropophyte*)

Gatunek obcy naturalnej florze badanego terenu, zawleczony przez człowieka.

Aparat asymilacyjny (ang. *assimilation apparatus*)

Liście i igły roślin, a precyzyjnie – tkanki roślin zawierające chlorofil, który absorbuje promieniowanie słoneczne, aktywne fotosyntetycznie.

Antropopresja (ang. *anthropopression*)

Ogół działań człowieka (zarówno planowych, jak i przypadkowych) mających wpływ na środowisko przyrodnicze.

Archeofity (ang. *archaeophyte*)

Gatunki roślin obcego pochodzenia, zawleczone przez człowieka na dany obszar przed końcem XV wieku i trwale zadomowione.

Bilans cieplny (ang. *heat balance*)

Równanie zestawiające wszystkie strumienie energii dopływające do danego systemu i z niego odpływające. Strumienie dopływające mają znak dodatni (przychody), a odpływające znak ujemny (rozchody).

Bilans promieniowania (ang. *radiation balance*)

Równanie zestawiające wszystkie strumienie promieniowania dopływające do danego systemu (np. ekosystemu – pole, las, jezioro itp.). Są to strumienie krótkofalowego promienia słonecznego dochodzące do danego systemu i od niego odbite, jak również długofalowe promieniowanie atmosfery i powierzchni ekosystemu.

Bilans wodny (ang. *water balance*)

Równanie zestawiające wszystkie strumienie wody dopływające do danego systemu i z niego odpływające. Strumienie dopływające mają znak dodatni (przychody), a odpływające mają znak ujemny (rozchody).

Biocenoza (ang. *biocenosis*)

Ukształtowany zespół organizmów żywych określonego biotopu, wraz z którym składa się na ekosystem, stanowiący zwartą jednostkę ekologiczną będącą w stanie równowagi dynamicznej. Charakteryzuje się ona swoistym składem gatunkowym oraz określonymi stosunkami ilościowymi i ma zdolność do odtwarzania swej struktury. W skład biocenozy wchodzi zarówno zespoły roślinne, składające się na fitocenozę, jak i zwierzęce, tworzące zoocenozę.

Bioróżnorodność, różnorodność biologiczna (ang. *biodiversity, biological diversity*)

Zróżnicowanie wszystkich żywych organizmów (w skali całej Ziemi lub niższych jednostek biogeograficznych) na poziomie genów, gatunków i ekosystemów.

Biosfera (ang. *biosphere*)

Strefa Ziemi zasiedlona przez organizmy żywe; przenika litosferę, hydrosferę i atmosferę.

Biotop (ang. *biotope*)

Całokształt warunków abiotycznych na względnie jednolitym fizycznie obszarze, zasiedlony przez określoną biocenozę, wraz z którą tworzy ekosystem.

Biotyczne elementy ekosystemu (ang. *biotic components of ecosystem*)

Wszystkie żywe organizmy zasiedlające ekosystem.

Bory (ang. *coniferous forests*)

Lasy iglaste w strefie umiarkowanej rosnące zwykle na kwaśnych, ubogich glebach bielicowych.

Całkowita produkcja pierwotna netto – NPP (ang. *net primary production*)

Całość materii organicznej wytworzona przez producentów w danym ekosystemie w ciągu sezonu wegetacyjnego. Do całkowitej produkcji pierwotnej netto nie wliczamy materii organicznej zsyntetyzowanej przez roślinę, ale wykorzystanej na własne potrzeby życiowe i uwolnionej w procesie respiracji, zaliczamy natomiast biomasę roślin obumierającą i rozkładającą się w trakcie sezonu wegetacyjnego.

Ciepło odczuwalne (jawne) (ang. *sensible, apparent heat*)

Strumień energii cieplnej; składnik bilansu cieplnego, który płynie z powierzchni czynnej w głąb gleby i do atmosfery, powodując zmiany temperatury tych ośrodków.

Ciepło utajone (ang. *latent heat*)

Strumień energii cieplnej transportowany w procesie ewapotranspiracji przez parę wodną, przepływający z powierzchni czynnej do atmosfery, nie powodujący zmiany temperatury powietrza do wysokości, na której zajdzie proces kondensacji i uwolnienie ciepła utajonego.

Cykl Hatcha-Slacka – fotosynteza typu C₄ (ang. *Hatch-Slack pathway*)

Alternatywny cykl asymilacji CO₂, polegający na przyłączeniu CO₂ przez fosfoenolopirogronian w komórkach mezofilu i przetransportowaniu go w postaci jabłczanu do komórek pochwy okołowiązkowej, gdzie włączany jest do cyklu Calvina. W ten sposób w komórkach pochwy okołowiązkowej utrzymywane jest stałe, wysokie stężenie CO₂, a ponadto dzięki odizolowaniu fazy jasnej, w której powstaje tlen, od cyklu Calvina nie zachodzi zjawisko fotooddychania, powodujące straty materii organicznej. Fotosynteza C₄ jest szczególnie efektywna w wysokich temperaturach i przy niskim poziomie CO₂.

Cykl hydrologiczny (ang. *hydrological cycle*)

Naturalny obieg wody na Ziemi. Obejmuje on procesy zachodzące zarówno w atmosferze (parowanie, kondensacja, opady, transport wilgoci), w biosferze (pobieranie wody i jej oddawanie w procesie transpiracji), jak i w litosferze (wsiąkanie, spływ podziemny i powierzchniowy).

Czerwone listy (ang. *red lists*)

Listy rzadkich lub zagrożonych gatunków wraz z określeniem stopnia ich zagrożenia (wg przyjętej skali).

Deficyt wody (ang. *water deficit*)

Niedobór wody nie pozwalający na pokrycie potrzeb na danym obszarze.

Degradacja środowiska (ang. *environmental degradation*)

Pogarszanie się stanu poszczególnych elementów środowiska naturalnego (powietrza, wód, gleb, rzeźby terenu, krajobrazu i innych) wskutek wzrostu liczby ludności, osadnictwa i urbanizacji oraz rozwoju działalności gospodarczej, powodujących wzrost zanieczyszczeń w stopniu przekraczającym możliwości samokompensacji przez środowisko.

Diafity (łac. *diaphytes*)

Gatunki obcego pochodzenia, przejściowo zawlekane, niezadomowione trwale.

Digitalizacja – wektoryzacja (ang. *vectorization*)

Zabieg polegający na przerysowaniu w programie typu GIS obiektów (rzeki, lasy, stacje kolejowe itp.) znajdujących się na zeskanowanej wcześniej mapie papierowej, która wyświetlona jest w tym programie. Proces ten pozwala otrzymać tę samą treść na tzw. warstwach wektorowych, dzięki którym można w jednym momencie wyliczyć m.in. powierzchnię obiektów, ich długość czy też przypisać im określone cechy.

Duży obieg wody (ang. *global water cycle*)

Krażenie wody w skali globalnej między lądem i oceanami poprzez powierzchnię Ziemi i atmosferę.

Efekt kurzynowy (ang. *wind curtain effect*)

Zmniejszenie prędkości wiatru przez przeszkodę położoną prostopadle do kierunku wiatru, np. zwartą zabudowę miejską.

Efekt szklarniowy (ang. *greenhouse effect*)

Zjawisko podwyższenia się temperatury planety powodowane obecnością gazów cieplarnianych w atmosferze. Efekt szklarniowy polega na absorpcji promieniowania cieplnego Ziemi przez „gazy szklarniowe” w atmosferze i wypromieniowania części tej energii w kierunku powierzchni Ziemi i do atmosfery.

Efekt tunelowy (ang. *tunnel effect*)

Polega na zmianie siły i kierunku wiatru w wyniku przejścia przez wydłużone, położone równoległe do kierunku wiatru formy terenu. W warunkach naturalnych może to być np. długa, wąska dolina, a w warunkach miejskich przestrzeń pomiędzy wysoką zabudową przypominającą kanion.

Ekliptyka (ang. *ecliptic*)

Wielkie koło na sferze niebieskiej, po którym w ciągu roku pozornie porusza się Słońce obserwowane z Ziemi.

Ekologia (ang. *ecology*)

Nauka zajmująca się badaniem oddziaływań pomiędzy organizmami a ich środowiskiem oraz między tymi organizmami wzajemnie.

Ekologia rozrodu (ang. *breeding ecology*)

Zbiór informacji i twierdzeń dotyczących rozrodu, najczęściej danego gatunku. Obejmuje zazwyczaj ilościowe informacje o przebiegu rozrodu, liczbie znoszonych jaj, młodych, śmiertelności młodych, systemie kojarzenia się osobników (mono- lub poligamicznym) itp.

Ekosystem (ang. *ecosystem*)

Fragment przyrody stanowiący funkcjonalną całość, w którym zachodzi wymiana materii i energii między częścią żywą – biocenozą a nieożywioną – biotopem.

Ekoton (ang. *ecotone*)

Strefa przejściowa pomiędzy sąsiadującymi ekosystemami lub biomami (np. tajgą i tundrą). Występują w nim gatunki z obu sąsiadujących biocenoz, a także gatunki charakterystyczne tylko dla danego ekotonu, dlatego różnorodność gatunkowa w ekotonie jest większa niż na obszarach, które dany ekoton rozdziela.

Energia (ang. *energy*)

Jest to zdolność do oddziaływania między dwoma układami fizycznymi, najczęściej rozumiana jako zdolność do wykonania pracy.

Energia cieplna (ang. *thermal energy*)

Suma energii ruchu wszystkich elementów układu z wyłączeniem ruchu układu jako całości. Średnia energia ruchu cząstek układu jest wielkością decydującą o temperaturze układu.

Energia kinetyczna (ang. *kinetic energy*)

Energia związana z masą i prędkością poruszającego się ciała.

Energia masy (ang. *mass energy*)

Energia związana z masą danego ciała, szczególnie energia kinetyczna i potencjalna.

Energia potencjalna (ang. *potential energy*)

Energia związana z położeniem rozpatrywanego układu względem układu odniesienia oraz energia zgromadzona w układzie fizycznym, np. energia sprężyny lub energia wiązań chemicznych.

Eutrofizacja (ang. *eutrophication*)

Proces wzrostu żyzności zbiorników wodnych, w wyniku którego następuje masowy rozwój fitoplanktonu, roślinności wynurzonej i zanurzonej. Prowadzi to do nagromadzenia się osadów dennych w postaci mułu. Nadmierna eutrofizacja traktowana jest jako zanieczyszczenie, ponieważ jest przyczyną niekorzystnych zmian w ekosystemie (np. jeziorze), takich jak ubytki tlenu umożliwiające rozwój bakterii beztlenowych, które wytwarzają siarkowodor niszczący życie na dnie zbiorników wodnych. Główną rolę w eutrofizacji wód odgrywają fosforany.

Ewapotranspiracja (ang. *evapotranspiration*)

Proces jednoczesnego parowania fizycznego i transpiracji, np. parowanie pola uprawnego.

Flora (ang. *flora*)

Ogół gatunków roślin zamieszkujących w określonym czasie dany obszar. Może to być flora współczesna, np. obecna flora Polski, jej poszczególnych regionów, Europy itp. albo flora dawnych okresów geologicznych, np. flora okresu lodowcowego.

Fotosynteza (ang. *photosynthesis*)

Proces przekształcenia materii nieorganicznej w biomasę przy udziale energii słonecznej, którego efektem jest synteza związków organicznych (w pierwszym rzędzie węglowodanów) ze związków nieorganicznych – dwutlenku węgla i wody. Przeprowadzające go organizmy nazywamy fotoautotrofami.

Fragmentacja środowisk lub ekosystemów (ang. *habitat or ecosystem fragmentation*)

Zmiana polegająca na tym, że powierzchnia danego fragmentu środowiska (ekosystemu) zmniejsza się, a ponadto zostaje ono podzielone na dwa lub kilka fragmentów (płatów), które są rozdzielone powierzchniami użytkowymi przez człowieka lub zajęte przez towarzyszące mu zbiorowiska gatunków synantropijnych. Fragmentacja obejmuje zatem następujące ilościowe zmiany w strukturze krajobrazu: zmniejszenie całkowitej powierzchni danego środowiska, zwiększanie się liczby jego frag-

mentów w wyniku rozdzielania dużych obszarów na mniejsze i zmniejszanie się średniej powierzchni fragmentu środowiska danego typu.

Gatunki efemeryczne (ang. *ephemeral species*)

Gatunki, które mogą być obserwowane przez krótki czas, np. postać dorosła jętki lub owocniki niektórych grzybów występujące tylko w ciągu kilku dni lub nawet godzin.

Gatunki eurytopowe (ang. *eurytopics species*)

Gatunki niewyspecjalizowane w zakresie tolerowanych warunków środowiska (np. sosna zwyczajna, zięba, muchomor czerwony).

Gatunki inwazyjne (ang. *invasive species*)

Gatunki, których wprowadzenie do środowiska i rozprzestrzenienie się może zagrażać różnorodności biologicznej lub pociąga za sobą inne nieprzewidziane konsekwencje. Oddziałują negatywnie poprzez konkurencję, drapieżnictwo lub przekazywanie patogenów oraz zakłócanie funkcjonowania ekosystemów. Wydają liczne potomstwo rozprzestrzeniające się na duże odległości. Wnikają gwałtownie do ekosystemów naturalnych i eliminują z nich gatunki rodzime (np. nawłoc kanadyjska, czeremcha amerykańska, norka amerykańska, żółw czerwonolicy).

Gatunki konserwatywne (ang. *conservative species*)

Gatunki o małej zdolności do adaptacji (przystosowania się) do zmian w środowisku (np. drop, orzeł przedni, mikołajek nadmorski).

Gatunki kosmopolityczne (ang. *ubiquistic species*)

Gatunki, których zasięg geograficzny obejmuje cały świat (np. wróbel).

Gatunki plastyczne (ang. *plastic species*)

Gatunki o dużej zdolności do adaptacji (przystosowania się) do zmiennych warunków środowiska (np. wróbel, lis, jenot, pokrywa zwyczajna).

Gatunki rodzime (ang. *native species*)

Gatunki miejscowego pochodzenia; w polskich opracowaniach dotyczących flory określane jako spontaneofity. Wyróżnia się wśród nich spontaneofity niesynantropijne – gatunki rodzime, niezajmujące trwale siedlisk antropogenicznie przekształconych (np. buławnik wielkokwiatowy), oraz spontaneofity synantropijne, czyli apofity – gatunki rodzime, zajmujące trwale takie siedliska (np. fiołek wonny).

Gatunki stenotopowe (ang. *stenotypic species*)

Gatunki o wąskim zakresie tolerowanych warunków środowiska (np. szarotka alpejska, bagno zwyczajne, dzięcioł trójpalczasty).

Georóżnorodność (ang. *geodiversity*)

Różnicowanie powierzchni Ziemi obejmujące aspekty geologiczne, geomorfologiczne, glebowe, wody powierzchniowe oraz systemy ukształtowane w wyniku naturalnych procesów (endo- i egzogenicznych) oraz działalności człowieka.

GIS (ang. *Geographical Information System*)

Zbiór narzędzi informatycznych służący prowadzeniu analiz wybranego fragmentu powierzchni Ziemi przy wykorzystaniu szeregu danych przestrzennych. System służy również budowaniu zasobów danych przestrzennych. GIS pozwala na opracowywanie różnego rodzaju map prezentujących zebrane wcześniej i magazynowane w oprogramowaniu dane przestrzenne.

Glacjał (ang. *glacial period*)

Lodowacenie. Okres, w czasie którego znaczne obszary Ziemi pokryte są lądolodem.

Gradient temperatury (ang. *temperature gradient*)

Pionowa lub pozioma zmiana temperatury w jednostce odległości.

Gutacja (ang. *guttation*)

Zjawisko wydzielania przez roślinę kropel wodnych roztworów soli mineralnych i związków organicznych w warunkach silnego parcia korzeniowego i słabej transpiracji.

Heterogeniczność krajobrazu (ang. *landscape heterogeneity*)

Urozmaicona struktura krajobrazu polegająca na obecności wielu różnorodnych pod względem rodzaju, wielkości i kształtu elementów.

Homogeniczność krajobrazu (ang. *landscape homogeneity*)

Monotonna, ujednolicona struktura krajobrazu polegająca na obecności wielkoarealowych fragmentów danego typu środowiska oraz małym zróżnicowaniu środowisk występujących w danym fragmencie krajobrazu.

Homogenizacja przyrody (ang. *biotic homogenization*)

Zmniejszanie się różnic w składzie gatunkowym regionów i środowisk na skutek zanikania gatunków rzadkich, wyspecjalizowanych na rzecz gatunków wszędobylskich, mało wyspecjalizowanych, zwykle bardzo plastycznych.

Hydrologiczne zjawiska ekstremalne (ang. *hydrological extreme events*)

Zjawiska obejmujące gwałtowne wezbrania wód, powodzie itp.

Hydrosfera (ang. *hydrosphere*)

Wodna powłoka ziemi przenikająca litosferę i atmosferę. Występuje w trzech stanach skupienia: ciekłym stałym i gazowym.

Infiltracja (ang. *infiltration*)

Grawitacyjne przemieszczanie wód powierzchniowych oraz opadowych w głąb skorupy ziemskiej. Zależy od przepuszczalności gruntów, morfologii terenu, szaty roślinnej, wilgotności powietrza, nasycenia wodą środowiska skalnego, przemarzania gruntu, działalności człowieka i klimatu. Odgrywa decydującą rolę w odnawianiu zasobów wód podziemnych.

Intercepcja (ang. *interception*)

Przechwytywanie wody opadowej przez rośliny.

Interglacjał (ang. *interglacial*)

Interglacjał (okres międzylodowcowy lub okres interglacjalny) to okres między dwoma glacjałami, w którym wskutek wzrostu temperatury, powierzchnia lodowca cofa się lub ustępuje z danego obszaru. Charakteryzuje się on również wzrostem poziomu oceanu światowego i przesuwaniem się stref roślinnych ku biegunom.

Inwazja biologiczna (ang. *biological invasion*)

Liczne lub masowe pojawianie się gatunków nowych dla danego obszaru, często na skutek przenoszenia i zawlekania obcych gatunków poza ich naturalne zasięgi; zwykle szkodliwe dla rodzimej różnorodności biologicznej, gospodarki i komfortu życia ludzi.

Irradiancja (ang. *irradiance*)

Strumień promieniowania na jednostkę powierzchni. W odniesieniu do promieniowania słonecznego irradiancja jest często nazywana natężeniem lub intensywnością. Jednostką w układzie SI jest wat na metr kwadratowy (W/m²).

Kenofity (łac. *kenophytes*)

Gatunki obcego pochodzenia, które przybyły i zadomowiły się trwale po XV wieku.

Klasyfikacja geograficzno-historyczna (ang. *flora classification*)

Klasyfikacja powszechnie stosowana w Polsce do analizy flory wyodrębniająca w niej grupy na podstawie pochodzenia, sposobu i czasu przybycia oraz stopnia zadomowienia roślin.

Kłęska żywiołowa (ang. *disaster*)

Ekstremalne zjawisko naturalne powodujące znaczne szkody na terenie nim objętym, pozostawiające po sobie często zmieniony obraz powierzchni Ziemi. Wyrządza ono również wysokie straty w gospodarce człowieka, może przemodelować stan przyrody, a nawet zagrażać życiu ludzkiemu. Do kłesk żywiołowych zaliczamy: powódzie, susze, rozległe pożary, trzęsienia ziemi, wybuchy wulkanu, tsunami, huragany, tornada, obfite opady śniegu oraz lawiny śnieżne, ekstremalny upał lub mróz, szczególnie w dłuższym okresie, osuwiska ziemi, katastrofy kosmiczne – upadek meteorytu, eksplozja meteoru, wybuch bliskiej supernowej.

Klimat (ang. *climate*)

Charakterystyczny dla danego obszaru zespół zjawisk i procesów atmosferycznych kształtujących się pod wpływem właściwości fizycznych i geograficznych tego obszaru, określony na podstawie wieloletnich obserwacji.

Kompensacja wielkości produkcji pierwotnej (ang. *compensation depth of primary production*)

Zjawisko wyrównywania się wielkości produkcji pierwotnej w obrębie określonej strefy klimatycznej. Spowodowane jest tym, że w dłuższych okresach w obrębie danej strefy klimatycznej, w większości ekosystemów, produkcję ograniczają te same czynniki środowiska, z podobnym nasileniem.

Kontekst krajobrazowy (ang. *landscape context*)

W żargonie ekologii krajobrazu: struktura krajobrazu wokół danego rozpatrywanego elementu lub typu środowiska.

Konwekcja (ang. *convection*)

Proces pionowego przenoszenia energii i masy przez poruszające się masy cieczy lub gazu.

Korytarz ekologiczny (ang. *ecological corridor*)

Element krajobrazu umożliwiający przemieszczanie się gatunków pomiędzy odległymi fragmentami środowisk lub osobników między rozproszonymi fragmentami danej populacji (np. doliny rzeczne, zadrzewienia śródpolne).

Krajobraz rolniczy (ang. *agricultural landscape*)

Typ krajobrazu kulturowego ukształtowany pod wpływem działalności rolniczej. To krajobraz m.in. pól uprawnych powstałych w wyniku wypalania lub karczowania lasów w celu uprawy zbóż, roślin okopowych itp. oraz ukształtowany w skutek wieloletniego użytkowania rolniczego. Krajobrazy rolnicze charakteryzują się fauną i florą w znacznym stopniu zorganizowaną i kontrolowaną przez człowieka. Wpływ na gleby jest tu również bardzo silny poprzez melioracje, nawożenie i stosowanie środków ochrony roślin.

Kriosfera (ang. *cryosphere*)

Część hydrosfery obejmująca wodę w stanie stałym.

Kutikula (ang. *cuticle*)

Zewnętrzna cienka warstwa pokrywająca wszystkie organy rośliny (z wyjątkiem organów drewniejących), której głównym zadaniem jest ochrona przed nadmierną transpiracją.

Lasy grądowe – grądy (ang. *oak-hornbeam forests*)

Wielogatunkowe lasy liściaste nizin i pogórza. Dominują w nich grab zwyczajny i dęby, a domieszkę tworzą klony, wiązy, lipa drobnolistna i jesion zwyczajny.

Lasy łęgowe – łęgi (ang. *ash-alder forests*)

Lasy występujące w dolinach rzek; w dolinach małych rzek olszowe, jesionowe i wiązowe; w dolinach dużych rzek wierzbowo-topolowe. Obszary przez nie dawniej zajmowane zostały przeważnie odlesione i zagospodarowane jako tzw. użytki zielone.

Makroklimat (ang. *macroclimate*)

Klimat stref geograficznych, kontynentów, oceanów o względnie jednorodnych czynnikach geograficznych oraz ogólnej cyrkulacji atmosfery.

Mała retencja wodna (ang. *small water retention*)

Całokształt antropogenicznych działań prowadzących do okresowego gromadzenia i przetrzymywania wody w całej zlewni, nie obniżając jej jakości, co chroni przed skutkami nadmiaru i niedoboru wody, zapewniając większą dyspozycyjność zasobów wodnych. Efektywność tych działań zapewnia budowa niewielkich urządzeń piętrzących lub odpowiednia uprawa i stosowanie gatunków roślin ograniczających zużycie wody, zwiększających zasoby wód glebowych.

Mały obieg wody (ang. *local water cycle*)

Krążenie wody pomiędzy lądem i atmosferą lub oceanami i atmosferą.

Meteorologiczne zjawiska ekstremalne (ang. *meteorological extreme events*)

Gwałtowne i intensywne opady, silne wiatry, burze, sztormy, tornada, cyklony tropikalne.

Mezoklimat (ang. *mesoclimate*)

Klimat niewielkiego regionu geograficznego, małego obszaru Ziemi o wymiarach liniowych rzędu 10–100 km, charakteryzujący się wewnętrzną jednorodnością oraz odrębnością w odniesieniu do warunków.

Mezofil (ang. *mesophyll*)

Tkanka roślinna występująca w blaszce liściowej między górną a dolną skórką.

Mikroklimat (ang. *microclimate*)

Klimat niewielkiego obszaru o powierzchni od kilku do kilkuset metrów kwadratowych o właściwościach różniących dany obszar od klimatu otaczającego środowiska, np. mikroklimat wąwozu, skraju lasu, brzegu jeziora czy korony drzewa.

Mikrobieg (ang. *microcirculation*)

Obieg wody wewnątrz szaty roślinnej. Parująca z gleby woda kondensuje na liściach i spada z powrotem na ziemię. Bardzo ważny proces polegający na zmniejszeniu udziału parowania fizycznego w transpiracji szaty roślinnej.

Mitygacja (ang. *mitigation*)

Przeciwdziałanie, obniżanie prawdopodobieństwa wystąpienia określonej sytuacji (zagrożenia, zjawiska itd.), bądź minimalizacji skutków zaistnienia sytuacji niepożądanych.

Motyle dzienne (ang. *butterflies*)

Grupa motyli wyróżniona w sposób sztuczny, tj. nie pokrywający się z systematyką motyli. Aktywne od wschodu do zachodu słońca. Mają zwykle duże, kolorowe skrzydła, buławkowato zakończone czułki i smukłą budowę ciała. Charakteryzują się chwiejnym lotem, utrudniającym skuteczny atak drapieżnika.

NATURA 2000 (ang. *Nature 2000*)

Jedna z form ochrony przyrody w Polsce. Pojawiła się w związku z przystąpieniem Polski w 2004 roku do Unii Europejskiej. Obszary Natura 2000 wyznaczane w Polsce są częścią Europejskiej Sieci Natura 2000. Celem utworzenia tej sieci jest zachowanie różnorodności biologicznej krajów Unii Europejskiej poprzez ochronę siedlisk przyrodniczych oraz dzikiej flory i fauny na jej terytorium. Europejskie

podstawy prawne wyznaczania obszarów NATURA 2000 zawarte są w Dyrektywie Ptasiej w sprawie ochrony dzikiego ptactwa oraz Dyrektywie Siedliskowej (Dyrektywa Habitatowa) dotyczącej ochrony siedlisk przyrodniczych oraz dzikiej fauny i flory.

Oceaniczna cyrkulacja termohalinowa (ang. *thermohaline circulation*)

Globalna cyrkulacja oceanu spowodowana zmianami gęstości wody w zależności od stężenia soli i temperatury wody. Przymiotnik termohalinowy (z greckiego) składa się z dwóch członów: termo – odnoszącego się do temperatury i halin – związanego z zawartością soli.

Odnawialne zasoby wodne (ang. *renewable water sources*)

Zasoby uzupełniane dzięki naturalnym czynnikom zasilania.

Odptyw niżówkowy (ang. *low water outflow*)

Występuje podczas przepływów najniższych w rzekach. Za niżówkę rzeczną przyjmuje się okres występowania niskich stanów wody lub przepływów wywołanych ograniczonym zasilaniem koryta. Zjawisko to identyfikuje się najczęściej na podstawie umownie przyjmowanego przepływu granicznego.

Odptyw wezbraniowy (ang. *high water outflow*)

Zjawisko występujące podczas wezbrania rzecznego, które definiowane jest zazwyczaj jako gwałtowne podniesienie stanu wody lub przepływu wywołane wzmożonym zasilaniem.

Oscylacja Południowa – ENSO (ang. *El Niño/Southern Oscillation*)

Termin „oscylacja południowa” określa wahania ciśnienia atmosferycznego na poziomie morza między północną Australią a środkowym Pacyfikiem. Pobieranie ciepła z atmosfery przez ocean dominuje w fazie La Niña, a oddawanie ciepła z oceanu do atmosfery przeważa w fazie El Niño. W okresach El Niño (cieplej fazy) obserwujemy wyższą, a w okresach La Niña (zimnej fazy) niższą temperaturę globalną. Zatem cykl ENSO składa się z dwóch faz: cieplej El Niño (hiszp. chłopczyk) i chłodnej La Niña (hiszp. dziewczynka). Podczas każdej z tych faz cyklu ENSO następuje intensywne wymiana ciepła między oceanem a atmosferą, a to wpływa na temperaturę w skali kontynentalnej, a nawet globalnej, wyjaśniając znaczną część wahań klimatu.

Oscylacja Północnoatlantycka – NAO (ang. *North Atlantic Oscillation*)

Fluktuacja różnicy ciśnienia atmosferycznego, mierzonego na poziomie morza, pomiędzy Niżem Islandzkim a Wyżem Azorskim. Miarą intensywności NAO jest tzw. indeks NAO. Dodatnia faza tego indeksu występuje, gdy wyższej wartości ciśnienia w Wyżu Azorskim towarzyszy niższa wartość ciśnienia w Niżu Islandzkim. Prowadzi to do generowania silnych zimowych sztormów na północnym Atlantyku. W Europie panują wówczas ciepłe i wilgotne zimy. Ujemna faza NAO występuje, gdy słabnie Wyż Azorski, a Niż Islandzki wypłyca się. Wilgotne powietrze napływa wówczas w rejon Morza Śródziemnego, a zimne – gwałtownie wdziera się nad Europę, przynosząc śnieżną zimę.

Parcie korzeniowe (ang. *root pressure*)

Zjawisko aktywnej absorpcji wody przez korzenie i jej wypychanie do wiązek naczyniowych. Przy braku transpiracji prowadzi to do zjawiska gutacji.

Parowanie (ang. *evaporation*)

Przechodzenie wody ze stanu ciekłego w stan gazowy. Odwrotne zjawisko to kondensacja. W procesie parowania energia jest zabierana z powierzchni parującej (ciepło utajone parowania), która uwalnia się w procesie kondensacji. Przechodzenie wody ze stanu stałego w parę wodną nazywa się sublimacją, a proces odwrotny – resublimacją.

Pierwiastki biogenne (ang. *biogenic elements*)

Wszelkie sole mineralne potrzebne do rozwoju żywych organizmów. Należą do nich makroelementy, pobierane przez organizmy w dużych ilościach, i mikroelementy, pobierane w niewielkich ilościach. W hydrobiologii, mówiąc o pierwiastkach biogennych, mamy na myśli głównie nieorganiczne związki azotu i fosforu, które w nadmiarze oddziałują bardzo niekorzystnie na ekosystem wodny.

Płat (ang. *patch*)

Jednolity pod względem struktury fragment środowiska danego typu otoczony środowiskami odmiennymi.

Pochwa okołowiążkowa (ang. *bundle sheath*)

Grupa komórek otaczających wiązkę przewodzącą w liściu.

Potencjał wody (ang. *water potential*)

Wielkość określająca pracę, jaką musi wykonać roślina, aby pobrać z gleby wodę, która jest poddana działaniu różnych sił ją wiążących. Potencjał wody niepoddanej działaniu żadnych sił przyjmuje się za równy zero, dlatego potencjał wody w jakiegokolwiek innej sytuacji jest zawsze ujemny. Żeby woda przepływała z gleby do rośliny, potencjał wody w glebie musi być wyższy niż w roślinie.

Powierzchnia czynna (ang. *active surface*)

Każda powierzchnia, przez którą przepływa energia i materia, ulegając transformacji. Na przykład energia promieniowania, padając na powierzchnię ziemi, ulega transformacji w energię cieplną, płynąc dalej w głąb ziemi lub jest wypromieniowywana jako promieniowanie długofalowe.

Powódź, woda stuletnia, powódź stulecia (ang. *a 100-year flood/water*)

Termin „woda/powódź stulecia” oznacza wyjątkowość tego zjawiska, natomiast nie określa, kiedy możemy się go spodziewać w przyszłości. Obserwacje wodowskazowe pozwalają na sporządzenie ciągów stanów bądź przepływów na podstawie rocznych wielkości maksymalnych i maksymalnych wartości poszczególnych wezbrań pojawiających się kilkakrotnie w ciągu roku w badanym okresie N lat. Jeżeli dany zbiór zostanie uporządkowany w ciąg o wyrazach rosnących bądź malejących, to wówczas każdemu elementowi możemy przypisać odpowiednie prawdopodobieństwo wystąpienia. Na podstawie tych danych sporządza się wykres i odczytuje wartości stanu bądź przepływu o charakterystycznym prawdopodobieństwie wystąpienia. I tak przepływ (stan) stulecia oznacza, że jego prawdopodobieństwo wystąpienia wynosi raz na sto lat, pięćdziesięciolecie – dwa razy na sto lat, dwulecie – pięćdziesiąt razy na sto lat, czyli co dwa lata. Jednak należy pamiętać, że wystąpienie jednej powodzi stulecia nie wyklucza pojawienia się takiej powodzi za rok czy dwa lata.

Poziom wody (ang. *water stage*)

Poziom wody uzyskamy, jeśli odczyt stanu wody dodamy do rzędnej wodowskazu. Na przykład stan wody w rzece wyniósł: 120 cm = 1,20 m. „Rzędna zera” wodowskazu wynosi 15,50 m n.p.m. Poziom wody wynosi: 16,70 m n.p.m.

Proces naturalnego starzenia się jezior (ang. *natural lake development*)

Polega na ich wypłycaaniu wskutek wypełnienia materią organiczną pochodzącą ze szczątków roślinności wodnej (hydrofitów) i błotnej (helofitów). Kolejnymi etapami zarastania jezior są: powstanie mokradła (bagna, trzęsawiska lub moczaru), torfowiska i podmokłej łąki.

Promieniowanie (ang. *radiation*)

Przekazywanie energii w postaci fali elektromagnetycznej niewymagające ośrodka przekazyującego.

Promieniowanie aktywne fotosyntetycznie – PAR (ang. *photosynthetically active radiation*)

Zakres promieniowania słonecznego możliwy do wykorzystania w procesie fotosyntezy. PAR obejmuje światło w zakresie od niebieskiego poprzez żółte i zielone do czerwonego (od 0,2 do 0,7 m). Rośliny zielone wykorzystują przede wszystkim światło czerwone, a żyjące w głębinach morskich krasnorosty – niebieskie.

Promieniowanie ciepłe (ang. *thermal radiation*)

Promieniowanie, którego parametry określa temperatura ciała promieniującego.

Przewodzenie (ang. *conduction*)

Przekazywanie energii cieplnej od jednego punktu do drugiego w nieporuszającym się ośrodku, np. w glebie.

Próba (ang. *sample*)

Pewna liczba osobników pobranych podczas prowadzenia badań za pomocą odpowiedniego sprzętu (np. pułapek) albo zarejestrowana podczas prowadzenia obserwacji. Wiele prób służy do ilościowego opisanego badanego zgrupowania organizmów lub populacji danego gatunku.

Pula gatunków (ang. *species pool*)

Grupa gatunków występujących w danym miejscu (środowisku, wycinku krajobrazu, regionie kontynentu, w zależności od skali prowadzonych badań).

Retencja wodna (ang. *water retention*)

Zdolność dorzecza do zatrzymania wody. Zależy ona od ukształtowania powierzchni i pokrycia szatą roślinną; istotny wpływ ma również działalność człowieka. Mała retencja wodna jest to wydłużenie czasu i drogi obiegu wody i zanieczyszczeń w zlewni, mające na celu poprawę stosunków wodnych w zlewni, oczyszczenie wód oraz zasilanie wód podziemnych.

Równowaga termodynamiczna (ang. *thermodynamic equilibrium*)

Stan termodynamiczny atmosfery, którego cechą jest zdolność do pionowych ruchów powietrza. W stanie równowagi stałe powietrze wykazuje małą zdolność do ruchów pionowych, w stanie równowagi obojętnej ta zdolność jest większa, ale ograniczona (wymaga działania siły zewnętrznej, np. przelatujący ptak), natomiast w stanie równowagi chwiejnej powietrze porusza się samoczynnie (konwekcja).

Różnorodność α (ang. *alpha diversity*)

Liczby gatunków w danym „punkcie” czy miejscu (różnorodność lokalna).

Różnorodność β (ang. *beta diversity*)

Odnosi się do różnic między zbiorowiskami występującymi w danym krajobrazie. Dotyczy głównie różnic w składzie gatunkowym.

Różnorodność γ (ang. *gamma diversity*)

Różnorodność biologiczna w skali krajobrazu (np. liczba gatunków), czy innego dużego obszaru, wynikająca z różnorodności α i β czyli na przykład łączna liczba gatunków ptaków w całym kompleksie leśnym.

„Rzędna zera” wodowskazu (ang. *gauge zero*)

To wartość podawana w m n.p.m. określona niwelacyjnie.

Saldo promieniowania (ang. *radiation balance*)

Chwilowa wartość bilansu promieniowania. Jest to zasób energii, który ekosystem wykorzystuje na procesy fizyczne i biologiczne w nim zachodzące.

Sieć hydrograficzna (ang. *hydrographic network*)

Ogół cieków wodnych, jezior, zbiorników wodnych, obszarów wodno-błotnych na określonym terenie.

Siła Coriolisa (ang. *Coriolis force*)

Siła pozorna występująca jedynie w nieinercjalnych układach obracających się. Powoduje odchylenie od linii prostej toru ruchu ciała poruszającego się w układzie obracającym się (np. Ziemi). Ponieważ Ziemia obraca się z zachodu na wschód, zatem siła Coriolisa powoduje odchylenie w kierunku zachodnim toru ciała poruszającego się po powierzchni Ziemi ku równikowi, a w kierunku wschodnim, gdy ciało porusza się w stronę któregoś z biegunów, czyli ku osi obrotu. Efekt taki występuje na obu półkulach.

Stała dielektryczna (ang. *dielectric constant*)

Liczba mówiąca, ile razy zwiększy się pojemność kondensatora po wypełnieniu przestrzeni między jego okładkami danym dielektrykiem. Woda ma jedną z najwyższych stałych dielektrycznych wynoszącą 78,4.

Stała słoneczna (ang. *solar constant*)

Całkowita energia, jaką promieniowanie słoneczne przynosi w jednostce czasu (1 min) przez jednostkę powierzchni (1 m²) ustawioną prostopadle do promieniowania w średniej odległości Ziemi od Słońca na górnej granicy atmosfery. Ze względu na to, że wartość strumienia promieniowania zmienia się w cyklu jedenastoletnim związanym ze zmianami aktywności słonecznej oraz w cyklu rocznym, bardziej poprawną nazwą jest całkowita irradancja słoneczna. Średnia wartość stałej słonecznej to 1366 W/m².

Stan alarmowy (ang. *flood protection readiness*)

Podobnie jak stan ostrzegawczy, stan alarmowy jest umowny i oznacza groźbę powodzi. Najczęściej przekracza on poziom wody brzegowej. Jest to taki stan napełnienia koryta, przy którym woda zaczyna zagrażać sąsiednim obszarom zagospodarowanym i budowlom wodnym. Wystąpienie stanu alarmowego uruchamia alarm przeciwpowodziowy.

Stan ostrzegawczy (ang. *flood protection alertness*)

Stan ostrzegawczy jest określany umownie. Zwraca on uwagę na zagrożenie powodziowe. Najczęściej jako stan ostrzegawczy przyjmuje się stan o 10 cm niższy od poziomu wody brzegowej. Zwiększa się wówczas częstotliwość odczytu stanów na wodowskazie, ogłasza się także pogotowie przeciwpowodziowe.

Stan wody (ang. *water level*)

Stan wody to wzniesienie zwierciadła wody w danym przekroju rzeki ponad przyjęty umownie poziom czyli „zero” wodowskazu. Jest to wartość odczytana na wodowskazie (najczęściej w cm) i nie jest tożsama z głębokością wody w rzece, gdyż rzędna „zera” wodowskazu umieszczona jest zazwyczaj poniżej dna rzeki ze względu na przemieszczanie się materiału w obrębie koryta rzecznoego, aby uniknąć wartości ujemnych, w przypadku np. wypłukiwania materiału dennego.

Status gatunku (ang. *status of species*)

Termin mogący odnosić się do różnych cech, ale najczęściej używany wtedy, gdy rozpatrywany jest stopień zagrożenia gatunku lub sposoby jego ochrony, np. mówimy o gatunku silnie zagrożonym wyginieciem (w odniesieniu do stopnia zagrożenia).

Strefa klimatyczna (ang. *climatic zone*)

Obszar kuli ziemskiej, przyjmujący zazwyczaj postać równoleżnikowego pasa, w obrębie którego podobny przebieg mają elementy klimatu wybrane jako podstawa wydzielenia strefy (najczęściej temperatura powietrza, opad, ciśnienie atmosferyczne).

Subwencja energetyczna (ang. *energy subvention*)

Wszelki dodatkowy wkład energii do układu (w naszym przypadku ekosystemu). Subwencja może być doprowadzana w formie pracy ludzi, zwierząt lub maszyn, energii zużytych paliw lub wysokoenergetycznych substancji organicznych.

Sukcesja ekologiczna (ang. *ecological succession*)

Zjawisko następowania po sobie, tj. zastępowania się, kolejnych zbiorowisk roślin i zwierząt wskutek przekształcenia biotopu przez aktualnie zajmującą go biocenozę.

Szuwary (ang. *reed bed*)

Zbiorowisko roślin wynurzonych otaczające lub porastające zbiorniki wodne.

Teledetekcja (ang. *remote sensing*)

Zbiór metod do zdalnego wykrywania i interpretowania zjawisk funkcjonujących na powierzchni Ziemi. Do tego celu wykorzystuje się zdjęcia lotnicze lub satelitarne, od których dokładności zależy precyzjność „czytania” pokrycia terenu.

Teoria astronomiczna paleoklimatów – cykle Milankowicia (ang. *Milankovitch cycles*)

Teoria sformułowana przez serbskiego uczonego Milutina Milankowicia opisująca periodyczne zmiany parametrów orbity ziemskiej obejmujące zmiany mimośrodowości orbity ziemskiej (eliptyczność),

nachylenie osi Ziemi i nachylenie ekliptyki (oś eliptyczna obraca się, ale wolniej, co prowadzi do cyklu pomiędzy sezonami i orbitą). Trzy cykle Milankowicia istotnie wpływają na wielkość promieniowania słonecznego dochodzącego do powierzchni Ziemi. Cykle tych zmian, które mają odpowiednio: ok. 96 tys. lat, ok. 40 tys. lat oraz 21 tys. lat, tłumaczą występowanie ociepleń i ochłodzeń w skali tysięcy lat.

Teoria wysp (ang. *biogeographic theory of islands*)

Teoria opisująca i wyjaśniająca występowanie gatunków na wyspach (w zależności od ich powierzchni i stopnia izolacji).

Termosynteza (ang. *thermosynthesis*)

Proces zachodzący we wnętrzu Słońca polegający na syntezie 4 jąder wodoru w jądro helu („spalanie wodoru”). Masa jądra helu jest nieco mniejsza niż masa 4 jąder wodoru. Część masy zamienia się w energię zgodnie ze wzorem Einsteina $E=mc^2$.

Tło krajobrazowe (ang. *landscape matrix*)

Typ środowiska przeważający w danym wycinku krajobrazu stanowiący o jego charakterze, np. w krajobrazie rolniczym przeważają uprawy lub łąki.

Topoklimat (ang. *topoclimate*)

Klimat miejsca lub stosunkowo niewielkiego terenu o powierzchni rzędu 1-100 km², którego cechy kształtują się pod wpływem czynników występujących na danym obszarze lub w jego najbliższym otoczeniu, takich jak rzeźba terenu, gleby, szata roślinna czy zabudowa.

Transpiracja (ang. *transpiration*)

Proces parowania wody z roślin.

Turgor (ang. *turgor*)

Potencjał ciśnieniowy wody w roślinie decydujący o stanie jędrności, powstający w wyniku parcia protoplazmy na ściany komórki. Przewaga absorpcji aktywnej nad pasywną prowadzi do wzrostu turgoru. W przeciwnym razie turgor spada, szparki zamykają się i transpiracja maleje.

Uchodźca środowiskowy (ang. *environmental refuge*)

Osoba opuszczająca obszary szczególnie zagrożone klęskami żywiołowymi lub obszary o niedoborze wody pitnej (pustynniejące lub zagrożone z powodu gospodarczej działalności człowieka).

Warstwa wodonośna (ang. *aquifer*)

Ośrodek skalny zdolny do gromadzenia i przewodzenia wody. Charakteryzuje się stosunkowo dużym współczynnikiem filtracji.

Wielodekadowa Oscylacja Atlantycka – AMO (ang. *Atlantic Multidecadal Oscillation*)

Seria długotrwałych zmian temperatury powierzchni morza w północnej części Oceanu Atlantyckiego pomiędzy równikiem a Grenlandią. Jej chłodne i ciepłe fazy mogą trwać od 20 do 40 lat. Od połowy lat dziewięćdziesiątych XX wieku jesteśmy w cieplej fazie AMO.

Wodowskaz (ang. *gauge*)

Przyrząd służący do pomiarów stanów wody. Jest to pionowo ustawiona łąta z podziałem co 2 cm, na której z dokładnością do 1 cm odczytywane są stany wody. Na posterunkach wodowskazowych, gdzie istnieje potrzeba częstej rejestracji stanów wody, do pomiarów stosuje się urządzenia automatyczne, tzw. limnigrafy.

Współczynnik emisyjności (ang. *emissivity coefficient*)

Stosunek promieniowania danego ciała do promieniowania ciała doskonale czarnego w tej samej temperaturze powierzchni. Współczynnik emisyjności waha się od 0 (ciało nie promieniuje) do 1 (ciało doskonale czarne).

Wulkaniczny indeks eksplozywności – VEI (ang. *Volcanic Explosivity Index*)

Opisuje względną wielkość erupcji wulkanicznych. Indeks ten uwzględnia m.in. całkowitą masę wyrzuconego materiału oraz wysokość erupcji. Zaczyna się on od wartości 0, charakteryzującej erupcje wulkanów Islandii czy na Hawajach (dość spokojne wylewy lawy) i oparty jest o skalę logarytmiczną, co oznacza, że każdy kolejny punkt na skali wskazuje erupcję 10 razy większą od poprzedniej. Dotychczas najwyższa wartość to 8, którą otrzymała supererupcja Toba na Sumatrze (73 tys. p.n.e.). Wielka erupcja Tambora w Indonezji w 1815 roku, oznaczona VEI 7 (10 razy słabsza niż Toba), spowodowała w 1816 roku „rok bez lata” w Ameryce Północnej i Europie Zachodniej.

Wyspa środowiskowa (ang. *habitat island*)

Fragment środowiska danego typu odizolowany od innych fragmentów tego środowiska dzięki obecności innego typu elementów krajobrazu; np. zadrzewienie śródpolne.

Zależność powierzchnia – liczba gatunków (ang. *species-area effect*)

Uniwersalna pod względem kształtu wykresu funkcja łącząca ze sobą wielkość powierzchni środowiska i liczbę gatunków.

Zlewnia (ang. *catchment*)

Całość obszaru, z którego wody spływają do jednego punktu danej rzeki (jeziora, bagna itp.) lub jej fragmentu.

Zlewnia miejska (ang. *urban catchment*)

Zlewnia zlokalizowana na obszarze miasta.

O AUTORACH

dr Zbigniew Bernacki – starszy specjalista w Stacji Badawczej w Turwi IŚRiL PAN w Poznaniu. Zainteresowania badawcze: produkcja pierwotna ekosystemów krajobrazu rolniczego, produkcja biomasz przez rośliny o różnych szlakach fotosyntezy, obieg materii w krajobrazie, kształtowanie krajobrazu, zmiany globalne.

mgr inż. Dariusz Graczyk – asystent w Zakładzie Klimatu i Zasobów Wodnych IŚRiL PAN w Poznaniu. Specjalność naukowa: meteorologia i klimatologia oraz kształtowanie środowiska. Zainteresowania badawcze: ekstremalne zdarzenia meteorologiczne a fale upałów i fale mrozów, wpływ zmian klimatu na rolnictwo i gospodarkę, klimat miast.

mgr inż. Krzysztof Janku – asystent w Zakładzie Biologii Środowiska IŚRiL PAN w Poznaniu.

dr inż. Damian Józefczyk – pracownik Pracowni GIS IŚRiL PAN w Poznaniu. Zainteresowania badawcze: klimatologia i klimat miasta.

prof. dr hab. Jerzy Karg – pracownik Zakładu Biologii Środowiskowej IŚRiL PAN w Poznaniu. Głównym tematem badawczym, którym zajmuje się od ponad 30 lat, jest rola owadów w funkcjonowaniu ekosystemów krajobrazu rolniczego, m.in. rola zgrupowań owadów w przepływie energii i obiegu materii. W obszarze zainteresowań znajduje się także wpływ struktury krajobrazu rolniczego na bogactwo i różnorodność owadów. Jednym z jego najistotniejszych osiągnięć jest określenie naturalnej redukcji stonki ziemniaczanej na polach uprawnych Wielkopolski. Opracował także oryginalną metodę „motoczerpaka”, służącą do określania liczebności owadów latających w skali krajobrazu rolniczego. W ostatnich latach prowadził badania nad rolą ekotonów oraz nowo nasadzanych zadrzewień w utrzymaniu bioróżnorodności, relacji drapieżca – ofiara oraz badania nad wpływem struktury krajobrazu rolniczego na bogactwo i różnorodność owadów. Współpracował z kilkoma ośrodkami naukowymi w kraju i na świecie (między innymi z Uniwersytetem w Getyndze). Kierował kilkoma projektami badawczymi. Od roku prowadzi również zajęcia (wykłady, ćwiczenia i seminaria licencjackie) na Wydziale Biologii Uniwersytetu Zielonogórskiego. Autor ponad 200 publikacji, w tym ponad 80 prac oryginalnych, z czego wiele opublikował w j. angielskim. Uczestnik licznych konferencji międzynarodowych i krajowych. Od wielu lat prowadzi także zajęcia edukacyjne dla młodzieży (kursy, praktyki, ćwiczenia) w ramach pracy w Stacji Badawczej w Turwi.

prof. dr hab. Andrzej Kędziora – w latach 2004 do 2010 pełnił funkcję dyrektora Instytutu Środowiska Rolniczego i Leśnego Polskiej Akademii Nauk w Poznaniu, a obecnie jest zastępcą dyrektora ds. naukowych. Jego zainteresowania badawcze obejmują problemy przepływu energii i obiegu materii w krajobrazie rolniczym. Szczególnie interesuje się bilansem cieplnym i wodnym ekosystemów przyrodniczych. Badania nad wpływem szaty roślinnej na strukturę bilansu cieplnego prowadził w różnych strefach klimatycznych: od Kazachstanu poprzez Rosję, Polskę, Niemcy, Francję po Hiszpanię. We współpracy z zespołem opracował *model oceny struktury bilansu cieplnego ekosystemów rolniczych i model oceny udziału wody pochodzącej ze strefy nasyconej w ogólnej ilości wody wykorzystywanej przez rośliny w procesie transpiracji*, który pozwala na określenie wielkości stref buforowych przeciwdziałających dopływowi zanieczyszczeń pochodzenia rolniczego do zbiorników wodnych. Wyniki swoich badań naukowych opublikował w ponad 200 pozycjach wydawniczych. Działalność dydaktyczną prowadził przez ponad 40 lat na Akademii Rolniczej w Poznaniu (dzisiaj Uniwersytecie Przyrodniczym). Zajęcia dydaktyczne poświęcone były zagadnieniom z zakresu agrometeorologii, chemii atmosfery, zmian globalnych na świecie, monitoringu środowiska i problemów wodnych Wielkopolski. Obecnie wyklada na studiach doktoranckich realizowanych wspólnie przez IŚRiL PAN w Poznaniu i Wydział Melioracji i Inżynierii Środowiska Uniwersytetu Przyrodniczego w Poznaniu.

dr hab. inż. Piotr Kowalczak – prof. w IŚRiL PAN w Poznaniu. Przedmiotem działalności zawodowej są: retencja, modelowanie matematyczne, gospodarka wodna obszarów zurbanizowanych, przepływy ekstremalne, ochrona przeciwpowodziowa, susze, aspekty prawne, ekonomiczne i społeczne

gospodarowania wodą. Członek Komitetu Polityki Naukowej MNiSW, ekspert ds. problemu wodnego Polskiej Akcji Humanitarnej, członek Grupy Roboczej „Woda i Klimat” Komisji Hydrologii WMO ONZ, członek Komitetu Naukowo-Technicznego ds. Gospodarki Wodnej SITWM, członek Komitetu Sterującego Międzynarodowego Programu Badawczego „Baltex”. Był członkiem Komitetów Sterujących Wdrażających Dyrektywę Wodną UE i Dyrektywę Azotanową UE w trakcie wdrażania w Polsce. Brał udział w pracach nad Dyrektywą Powodziową UE (w ramach Inicjatywy Duńskiej, Komisji Ekonomicznej dla Europy ONZ, a potem w UE). W latach 2003–2008 przewodniczący Grupy Roboczej „Powódź” w Międzynarodowej Komisji Ochrony Odry przed Zanieczyszczeniem. W latach 1999–2010 członek Komisji Agrometeorologii WMO. Autor około 300 publikacji krajowych i zagranicznych oraz ponad 300 prac badawczych, m.in. z dziedziny gospodarki.

dr Anna Kujawa – adiunkt w Zakładzie Biologii Środowiska Stacji Badawczej w Turwi IŚRiL PAN w Poznaniu. Zainteresowania badawcze: grzyby wielkowocnikowe w środowiskach przekształconych, metody ochrony grzybów w skali kraju.

dr hab. Krzysztof Kujawa – prof. w IŚRiL PAN w Poznaniu, kierownik Stacji Badawczej w Turwi. Tematyka jego badań (prowadzonych m. in. we współpracy z naukowcami z Niemiec) to ekologia zwierząt (przede wszystkim ptaków) krajobrazu rolniczego, przy czym najważniejszymi zagadnieniami są zależności między zgrupowaniami ptaków a strukturą krajobrazu, długoterminowe zmiany awifauny, znaczenie lisa dla rozmieszczenia i zagęszczenia ptaków, a ostatnio także wpływ elektrowni wiatrowych na awifaunę. Autor około 60 artykułów naukowych, w tym ok. 1/3 w j. angielskim. Wyniki swoich badań prezentował także na 40 konferencjach oraz seminariach międzynarodowych i krajowych. Współautor książki *Ekologia ptaków krajobrazu rolniczego* (2009), podsumowującej wiedzę z tej dziedziny. W ramach pracy w IŚRiL PAN prowadził wiele zajęć edukacyjnych w Stacji Badawczej dla uczniów w różnym wieku, a także dla nauczycieli. Przez 16 lat był nauczycielem biologii w LO w Krzywiniu, opiekując się w tym okresie wieloma uczniami startującymi w olimpiadach i konkursach o tematyce biologicznej. Rezultatem udziału w tych konkursach było zajęcie III miejsca w Konkursie Młodych Naukowców UE, II miejsca w eliminacjach wojewódzkich Olimpiady Ekologicznej oraz wyróżnienie czterech prac w zawodach Olimpiady Biologicznej.

prof. dr hab. Zbigniew W. Kundzewicz – członek korespondent PAN, kieruje Zakładem Klimatu i Zasobów Wodnych w IŚRiL PAN w Poznaniu. Jest współpracownikiem Poczdamskiego Instytutu Badań nad Konsekwencjami Zmian Klimatu (PIK) w Niemczech. Specjalista w dziedzinie hydrologii, zasobów wodnych i klimatologii. Redaktor naczelny międzynarodowego czasopisma naukowego *Hydrological Sciences Journal* (Wielka Brytania). Był pracownikiem naukowym Światowej Organizacji Meteorologicznej (WMO) w Genewie. Należy do wąskiego kręgu specjalistów Międzynarodowego Panelu ds. Zmian Klimatu (IPCC), który w 2007 roku otrzymał Pokojową Nagrodę Nobla. Jest członkiem Grupy Doradczej Siódmego Programu Ramowego Unii Europejskiej (tematyka: środowisko, w tym klimat). Był promotorem dwóch przewodów doktorskich oraz recenzentem i egzaminatorem w kilkunastu przewodach doktorskich i habilitacyjnych w sześciu krajach (Polska, Niemcy, Norwegia, Dania, Australia, Holandia), a także recenzentem ośmiu wniosków o tytuł profesora w Polsce. Autor ponad 300 publikacji naukowych oraz szeregu prac popularnonaukowych przybliżających szerokiemu kręgowi odbiorców zagadnienia hydrologiczne i klimatologiczne, w tym tematykę zmian klimatu.

mgr Rafał Łęcki – pracownik Stacji Badawczej w Turwi IŚRiL PAN z Poznaniu. Zainteresowania badawcze: ekologia ssaków, głównie gryzoni; wpływ obecności lisa na występowanie ptaków w wybranych elementach krajobrazu rolniczego.

dr Mana Mostefa – adiunkt w Zakładzie Biologii Środowiska IŚRiL PAN w Poznaniu. Tematyka prowadzonych badań związana jest z fitoremediacją, gospodarką wodną i leśną. Prowadzi badania nad zrównoważonym pozyskaniem surowców drzewnych, oczyszczaniem środowiska z zanieczyszczeń na terenach rolniczych i zurbanizowanych.

dr Maciej Nowak – adiunkt w Pracowni GIS IŚRiL PAN w Poznaniu. Zainteresowania badawcze: kształtowanie krajobrazu, zagospodarowanie przestrzenne, flora inwazyjna, geomatyka, teledetekcja.

dr Maria Oleszczuk – adiunkt w Zakładzie Biologii Środowiska IŚiRL PAN w Poznaniu. Zainteresowania badawcze: faunistyka i ekologia pająków Polski, bioróżnorodność, ekologia krajobrazu rolniczego.

prof. dr hab. Maciej Pietrzak – rektor Państwowej Wyższej Szkoły Zawodowej im. J. A. Komeńskiego w Lesznie, specjalista w zakresie ekologii krajobrazu, kompleksowej geografii fizycznej i geografii turystycznej; obszar zainteresowań naukowych: teoria i metodologia kompleksowej geografii fizycznej i ekologii krajobrazu, struktura krajobrazu, kartowanie i waloryzacja krajobrazu, ocena i kształtowanie krajobrazu rekreacyjnego. Praca magisterska i doktorat z zakresu kompleksowej geografii fizycznej pod kierunkiem prof. Tadeusza Bartkowskiego na UAM w Poznaniu, studia ekologii krajobrazu i kilkumiesięczne staże naukowe pod kierunkiem prof. K.-F. Schreibera w Instytucie Ekologii Krajobrazu Westfalskiego Uniwersytetu Wilhelma w Münster (Niemcy) jako stypendysta programów Tempus i DAAD, habilitacja na Wydziale Geografii i Studiów Regionalnych Uniwersytetu Warszawskiego; promotor ok. 250 prac magisterskich i licencjackich oraz dwóch doktorskich; recenzent w przewodach doktorskich i habilitacyjnych; recenzent grantów badawczych. Autor i współautor około 120 publikacji, w tym: *Problemy i metody badania struktury geokompleksu (na przykładzie powierzchni modelowej Biskupice* (Wyd. Nauk UAM, Poznań 1989); *Syntezy krajobrazowe – założenia, problemy, zastosowania* (Wyd. Nauk. Bogucki, Poznań 1998); *Podstawy i zastosowania ekologii krajobrazu – teoria i metodologia* (Wyd. Nauk. PWSZ, Leszno 2010) i innych. Współzałożyciel, członek, wiceprzewodniczący (w latach 1993–2007) i przewodniczący (2007–2013) Polskiej Asocjacji Ekologii Krajobrazu (PAEK), członek International Association for Landscape Ecology (IALE), członek Rady Programowej czasopisma naukowego „Problemy Ekologii Krajobrazu”, członek Rady Naukowej Instytutu Geografii Fizycznej Wydziału Geografii i Studiów Regionalnych Uniwersytetu Warszawskiego. Odczyty i podróże oraz pobyty naukowe i turystyczne na Kaukazie i Bałkanach (Słowenii, Serbii, Chorwacji, Macedonii, Bułgarii), w Kanadzie, Brazylii, Argentynie, Paragwaju, Francji, Włoszech, Hiszpanii i Portugalii, Skandynawii, Niemczech, Austrii, Szwajcarii, Słowacji, Czechach, Rosji, Ukrainie, Węgrzech, krajach Beneluksu i Azji Środkowej oraz Chinach, Makau i Hongkongu, Filipinach, Australii, Tasmanii i Nowej Zelandii.

dr inż. Iwona Pińskwar – adiunkt w Zakładzie Klimatu i Zasobów Wodnych IŚRiL PAN w Poznaniu. Zainteresowania badawcze: zmiany klimatu, zjawiska ekstremalne: intensywne opady deszczu, powódzie, susze.

dr inż. Piotr Pińskwar – adiunkt w Zakładzie Biologii Środowiska IŚRiL PAN w Poznaniu. Zainteresowania badawcze: hydrobiologia rzek i jezior, problem zanieczyszczenia wód powierzchniowych ze szczególnym uwzględnieniem związków fluoru, ochrona i rekultywacja zbiorników wodnych.

dr hab. Hanna Przybysławska-Gołdyn – profesor w Zakładzie Biologii Środowiska IŚRiL PAN w Poznaniu. Zainteresowania badawcze:

1. bioróżnorodność – w szczególności różnorodność flory na rolniczych obszarach; wpływ struktury krajobrazu na jej zasoby; zagrożenia.
2. hydrobiologia (w szczególności hydrobotanika) – flora i zbiorowiska roślinne ekosystemów wodnych; znaczenie środowisk wodnych w podnoszeniu bioróżnorodności krajobrazu rolniczego; zagrożenia różnorodności biologicznej w ekosystemach wodnych; naturalne i antropogeniczne przemiany we florze i zbiorowiskach roślinnych zbiorników wodnych oraz na otaczających je łąkach.

mgr Dariusz Sobczyk – pracownik Stacji Badawczej w Turwi IŚRiL PAN. Zainteresowania badawcze: ekologia motyli w krajobrazie rolniczym.

prof. dr hab. Jerzy Solon – kierownik Studiów Doktoranckich w Instytucie Geografii i Przestrzennego Zagospodarowania PAN w Warszawie. Jego zainteresowania badawcze koncentrują się na fitosocjologii, ekologii roślin, ekologii krajobrazu, między innymi na strukturalnym i funkcjonalnym przekształcaniu krajobrazów rolniczych oraz wykorzystaniu ekologii krajobrazu w ochronie przyrody. Jest członkiem wielu organizacji naukowych, w tym zastępcą przewodniczącego Komitetu Ekologii PAN oraz zastępcą przewodniczącego Zarządu Polskiej Asocjacji Ekologii Krajobrazu. Jest członkiem Rady

Naukowej IGIIPZ PAN, Rady Naukowej Biebrzańskiego Parku Narodowego, Rady Naukowej Wigierskiego Parku Narodowego i przewodniczącym Rady Naukowej Kampinoskiego Parku Narodowego. W skład jego dorobku naukowego, oprócz 260 publikacji naukowych, wchodzi 88 opracowań niepublikowanych, głównie o charakterze praktycznym.

dr inż. Maria Szyszkiewicz-Golis – adiunkt w Instytucie Środowiska Rolniczego i Leśnego PAN, w 2005 roku uzyskała tytuł doktora nauk rolniczych z zakresu kształtowania środowiska o specjalności ekologia krajobrazu i ochrona różnorodności biologicznej na podstawie obrony rozprawy: *Struktura i waloryzacja funkcjonalna zadrzewień w krajobrazie rolniczym Wielkopolski na przykładzie Zlewni Rowu Wysokość*. Jej zainteresowania badawcze ekologią krajobrazu rozpoczęły się w trakcie realizacji pracy magisterskiej: *Korytarz ekologiczny doliny Warty na odcinku Konin-Śrem. Stan – funkcjonowanie – zagrożenia* (1999), a ostatnio koncentrują się wokół zmian, jakim podlega krajobraz rolniczy. Przez wiele lat była zaangażowana w działalność ekologicznych organizacji pozarządowych. Autorka bądź współautorka ponad 20 publikacji oraz kilku projektów z zakresu edukacji ekologicznej.

dr Małgorzata Szwed – adiunkt w Zakładzie Klimatu i Zasobów Wodnych IŚRiL PAN w Poznaniu. Specjalność naukowa – hydrologia, meteorologia i klimatologia oraz kształtowanie środowiska. Zainteresowana w szczególności ekstremalnymi zdarzeniami hydrologicznymi – suszami i powodzią oraz wpływem zmian klimatu na zasoby wodne.