



KAPITAŁ LUDZKI
NARODOWA STRATEGIA SPÓJNOŚCI

UNIA EUROPEJSKA
EUROPEJSKI
FUNDUSZ SPOŁECZNY



Pozyskiwanie danych przestrzennych, wykorzystywanie map numerycznych i analogowych, posługiwanie się systemami GIS

Materiały dydaktyczne dla uczestników warsztatów realizowanych w ramach projektu
"Nauczyciel na praktykach. Program doskonalenia zawodowego w przedsiębiorstwach
dla nauczycieli kształcenia zawodowego"

dr inż. Zbigniew Muszyński

współpraca merytoryczna:

prof. dr hab. inż. Edward Osada

mgr inż. Przemysław Malczewski

Copyright © by Dolnośląska Szkoła Wyższa, Wrocław 2011

Projekt oraz niniejsze materiały zostały współfinansowane ze środków Unii Europejskiej w ramach Europejskiego Funduszu Społecznego

Publikacja dystrybuowana bezpłatnie.

Cytowanie fragmentów wyłącznie z podaniem źródła oraz autorów

Dolnośląska Szkoła Wyższa

Biuro projektu

„Nauczyciel na praktykach. Program doskonalenia zawodowego w przedsiębiorstwach dla nauczycieli kształcenia zawodowego”

ul. Wagonowa 9, 53-609 Wrocław

tel. 71 358-27-24

fax. 71 358-27-68

e-mail: nnp@dswe.pl

www.nauczycielnapraktykach.pl

Spis treści

Wstęp	1
1. Niwelacja	2
1.1. Niwelacja geometryczna	2
1.2. Elementy obsługi niwelatora	2
1.3. Pomiar wysokości i tyczenie punktu	6
1.4. Ciąg niwelacyjny	7
1.5. Poprawki za krzywiznę Ziemi i refrakcję	8
1.6. Sprawdzenie i rektyfikacja sprzętu niwelacyjnego	10
1.7. Geodezyjne osnowy wysokościowe	11
1.8. Pomiar wysokościowy	14
1.9. Pomiar punktów rozproszonych	18
1.10. Niwelacja siatkowa	22
1.11. Niwelacja profilów	24
1.12. Niwelator kodowy	24
2. Tachimetry	28
2.1. Elementy obsługi tachimetru	28
2.2. Centrowanie i poziomowanie	34
2.3. Poprawka za refrakcję	38
2.4. Poprawka za krzywiznę Ziemi	40
2.5. Poprawka atmosferyczna odległości	41
2.6. Ustawienie poprawki odwzorowawczej	43
2.7. Podział i klasyfikacja osnowy geodezyjnej	48
2.8. Projekt osnowy pomiarowej	50
2.9. Stabilizacja punktów	52
2.10. Wyrównanie osnowy	54
2.11. Dokumentacja techniczna	54
2.12. Obiekty terenowe pomiaru sytuacyjnego	55
3. Globalne systemy nawigacji satelitarnej	60
3.1. Segment kosmiczny	60
3.2. Segment kontroli	62
3.3. Segment użytkowników	67
3.4. Pomiary DGNS ASG-EUPOS	68
4. Przetwarzanie map analogowych	74
4.1. Skanowanie i georeferencja mapy	74
5. Systemy Informacji Geograficznej	84

Wstęp

Geodezja jest nauką o pomiarach Ziemi, wykonywanych w celu:

- wyznaczenia kształtu i ruchu obrotowego Ziemi,
- wyznaczenia pola siły ciężkości i geoidy,
- sporządzania map,
- obsługi budownictwa,
- obsługi gospodarki nieruchomościami.
- zakładania **Krajowego Systemu Informacji o Terenie**, jako podstawy **Infrastruktury Informacji Przestrzennej w Polsce**

Zagadnienia te są realizowane za pomocą:

- technik pomiarowych geodezji kosmicznej i satelitarnej,
- technik pomiarowych fotogrametrii satelitarnej, lotniczej i bliskiego zasięgu,
- pomiarów przy użyciu tachimetrów, niwelatorów, skanerów i grawimetrów.

W niniejszym opracowaniu przedstawiony zostanie zarys nowoczesnych technik pomiarowych z zakresu niwelacji, tachimetrii i pomiarów satelitarnych.

Scharakteryzowane zostaną również zasady przetwarzania map analogowych (kalibracja i georeferencja) oraz zarys Systemów Informacji Geograficznej.

1

Niwelacja

1.1. Niwelacja geometryczna

Niwelacja geometryczna

Niwelacja geometryczna jest metodą pomiaru różnicy wysokości między dwoma punktami nazywanej *przewyższeniem* Δh , przy spoziomowanej osi celowej niwelatora i pionowo ustawionych łątach niwelacyjnych.

Klasy niwelatorów

Według normy branżowej BN-78/8770-07 niwelatory dzieli się pod względem błędu średniego $m_{\Delta h}$ wyznaczenia przewyższenia Δh na odcinku 1 km, w kierunku *głównym* i *powrotnym*, na cztery klasy

- klasa I: $m_{\Delta h} \leq 0.5$ mm,
- klasa II: $0.5 \text{ mm} < m_{\Delta h} < 2$ mm,
- klasa III: $2 \text{ mm} \leq m_{\Delta h} < 4$ mm,
- klasa IV: $4 \text{ mm} \leq m_{\Delta h}$.

Niwelacja precyzyjna i techniczna

Są niwelacjami geometrycznymi wykonywanymi niwelatorami odpowiednio I i II oraz III i IV klasy dokładności.

Reper

Reper jest zasadniczym elementem znaku wysokościowego lub samodzielnym znakiem wysokościowym, wykonanym najczęściej z metalu i mającym jednoznacznie określony charakterystyczny punkt, którego wysokość jest znana lub wyznaczana (rys. 6, 11-13, *Wytyczne techniczne G-1.9*).

Geodezyjna osnowa wysokościowa

Repery są punktami geodezyjnej osnowy wysokościowej. Szczegóły projektowania, stabilizacji i tworzenia opisów topograficznych punktów oraz pomiaru i wyrównania osnów wysokościowych: *podstawowej, szczegółowej i pomiarowej* podane są w podręczniku *E. Osada. Wykłady z geodezji i geoinformatyki. Osnowy geodezyjne*.

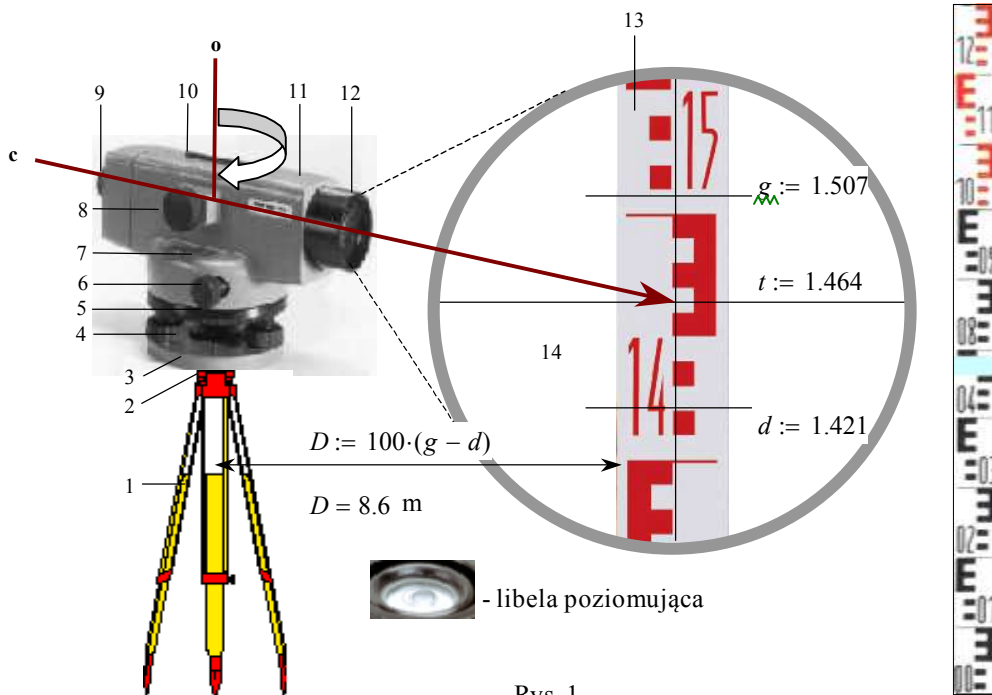
1.2. Elementy obsługi niwelatora

Budowa niwelatora optycznego

Podstawowymi elementami budowy niwelatora optycznego są (rys. 1):

- | | |
|---------------------|--|
| 1 - statyw | 9 - okular i pokrętko ostrości krzyża kresek |
| 2 - głowica statywu | 10 - celownik |
| 3 - spodarka | 11 - luneta |

- | | |
|------------------------------|---|
| 4 - śruby poziomujące | 12 - obiektyw |
| 5 - koło poziome | 13 - łąta niwelacyjna z podziałem centymetrowym |
| 6 - śruba ruchu leniwego | 14 - widok krzyża kresek w lunecie |
| 7 - libela poziomująca | o - oś obrotu niwelatora |
| 8 - pokrętło ostrości obrazu | c - oś celowa niwelatora ($o \perp c$) |



Rys. 1

Łaty niwelacyjne

Odczyty są wykonywane na łatach niwelacyjnych z podziałem centymetrowym [cm] lub milimetrowym [mm], (rys. 1-2). Łaty mają długości od 2 do 5 m, mogą być składane z odcinków 2 - metrowych lub wysuwane - teleskopowe złożone z odcinków 1 - metrowych (rys. 2). Łaty są wykonywane z aluminium, włókna szklanego, inwaru lub drewna powleczonego polimerową warstwą ochronną.

Ze względu na standard wykonania łąty dzielą się na techniczne i precyzyjne. Łaty są wyposażone w uchwyty i *libele sferyczne* umożliwiające dokładne pionowanie łąty w czasie pomiaru, na terenach nieutwardzonych łąty są ustawiane na żabkach (rys. 2). Łaty precyzyjne są wyposażane w podpórki dla dokładniejszej stabilizacji i pionowania.

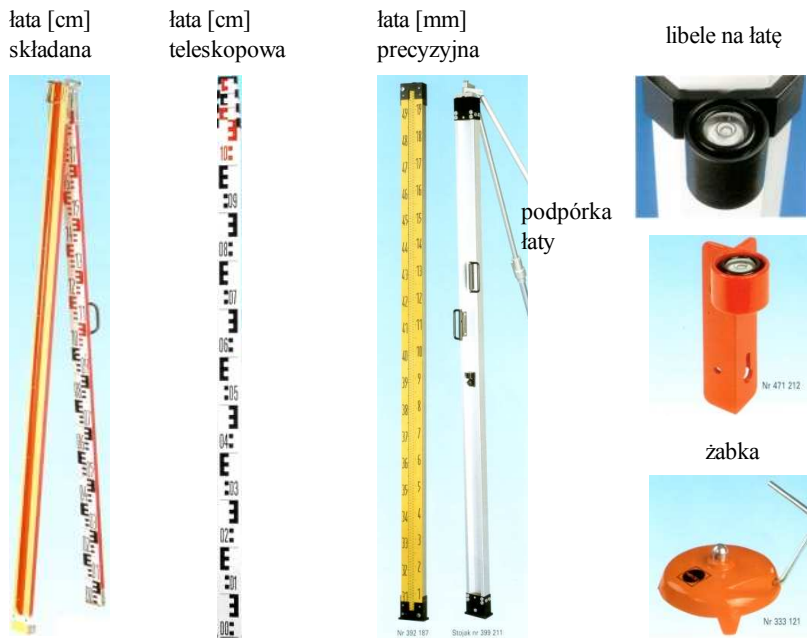
Na rysunku 1 pokazany jest widok łąty z podziałem centymetrowym w lunecie na tle krzyża kresek:

- odczyt kreski poziomej *niwelacyjnej* $t = 1.464$ m.
- odczyty kresek poziomych *dalmierczych* górnej $g = 1.507$ m i dolnej $d = 1.421$ m są przeznaczone do obliczenia odległości łąty od niwelatora $D = 8.6$ m .

Poziomowanie niwelatora

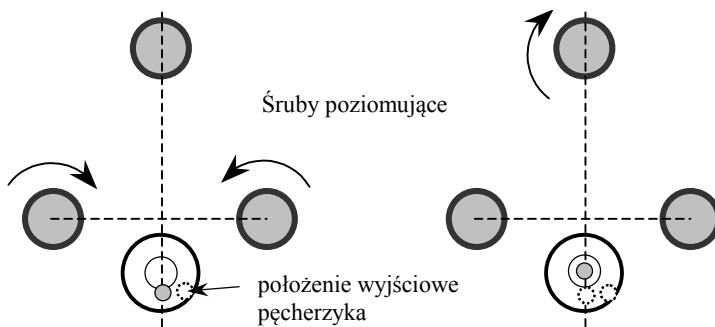
W czasie pomiaru luneta niwelatora powinna przyjąć położenie poziome. Poziomowanie niwelatora wykonuje się za pomocą trzech śrub ustawczych przy wykorzystaniu libeli sferycznej (rys. 1, 3). Libela jest szklanym naczyniem walcowym, zamkniętym od góry powierzchnią sferyczną o promieniu krzywizny około 1 m. Po wypełnieniu naczynia rozgrzaną cieczą, np. eterem, szczelnym zamknięciu i ostygnięciu utworzony zostaje

wewnątrz pęcherzyk pary, zajmujący z powodu ciężaru położenie najwyższe.
 W poziomym położeniu niwelatora pęcherzyk libeli obejmuje jej *punkt główny* - środek powierzchni sferycznej, natomiast *plaszczyna główna libeli* - styczna do powierzchni sferycznej w punkcie głównym, jest pozioma.



Rys. 2

Wokół punktu głównego na powierzchni sferycznej jest narysowany okrąg wewnątrz którego, po spoziomowaniu niwelatora, znajduje się pęcherzyk powietrza (rys. 3).



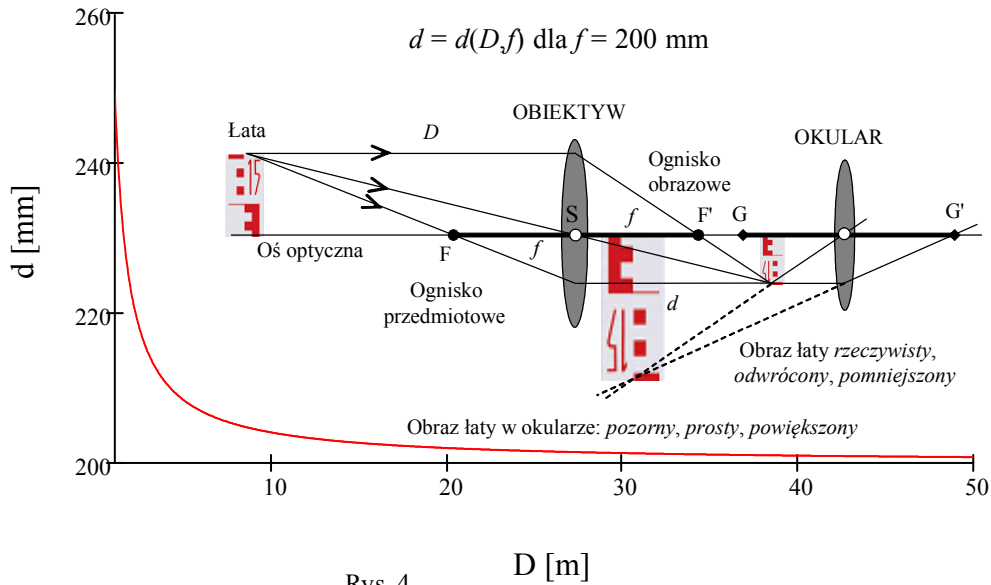
Rys. 3

Naprowadzenie lunety na łatę

Po spoziomowaniu niwelatora luneta jest naprowadzana na łatę niwelacyjną za pomocą celownika znajdującego się na lunecie (rys. 1).

Podstawowymi elementami lunety są obiektyw i okular. Na rysunku 4 jest pokazany przebieg trzech promieni w lunecie (Keplera), wychodzących z wybranego punktu łaty:

- oś optyczna obiektywu jest wyznaczona przez środki krzywizny powierzchni soczewki skupiającej,
- promień równoległy do osi optycznej obiektywu ulega załamaniu i przecina oś optyczną w *ognisku obrazowym obiektywu F'*,
- promień przechodzący przez środek optyczny obiektywu S nie ulega załamaniu,
- romień przechodzący przez *ognisko przedmiotowe obiektywu F* jest przekształcony
- na promień równoległy do osi optycznej obiektywu.



Rys. 4

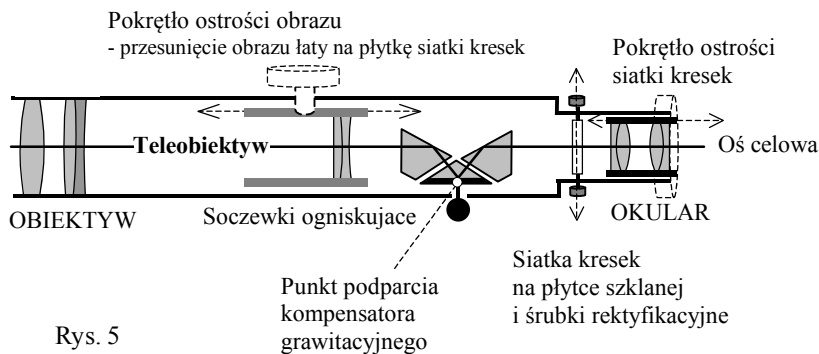
Promienie te, przecinając się dają obraz łąty *rzeczywisty, odwrócony i pomniejszony*. Odległość obrazu łąty od obiektywu d dana jest wzorem Kartezjusza $1/D + 1/d = 1/f$ gdzie: $1/f$ - moc soczewki, f - ogniskowa (np. $f := 200$ mm), D - odległość łąty od obiektywu. Obraz łąty zbliża się więc do ogniska F' ze wzrostem odległości łąty od obiektywu (rys. 4). Obraz łąty jest usytuowany między okularzem a jego ogniskiem przedmiotowym G . Obraz łąty widziany w okularze jest więc *pozorny, prosty i powiększony*.

Ustawienie ostrości siatki kresek

Do wykonywania odczytów na łącie, w płaszczyźnie obrazu łąty w lunecie jest umieszczona płytką szklaną z wyrysowaną siatką kresek (rys. 1). Ostry obraz siatki kresek uzyskuje się przez przesunięcie okularu - za pomocą *pokrętła ostrości siatki kresek*.

Ustawienie ostrości obrazu

Płytką z siatką kresek jest umieszczona w stałej odległości od obiektywu. Obraz łąty jest więc naprowadzany na płytkę za pomocą przesuwanego wzdłuż osi celowej układu soczewek ogniskujących, do tego celu służy *pokrętło ostrości obrazu* (rys. 5).



Rys. 5

Obiektyw wraz z układem ogniskującym jest nazywany *teleobiektywem*. Prosta przechodząca przez środek optyczny teleobiektywu i środek krzyża kresek jest nazywana *osią celową lunety*.

Aby obraz nie był odwrócony (rys. 4) między soczewkami ogniskującymi a płytką krzyża kresek umieszcza się zestaw pryzmatów odwracających obraz (rys. 5). Układ

optyczny lunety składa się więc z soczewek i pryzmatów skonstruowanych tak, aby obraz łąty niwelacyjnej widziany w lunecie był prosty oraz pozbawiony błędów takich jak:

- aberracje optyczne: *chromatyczna, sferyczna, koma i astygmatyzm* - wynikające z rozszczepienia światła białego przechodzącego przez soczewkę na barwy o różnych długościach, które ulegają załamaniu pod różnymi kątami.
- krzywizna obrazu - obraz nie jest płaski lecz sferyczny, w najbliższym otoczeniu osi celowej jest ostry, dalej rozmyty.
- dystorsja obrazu - powiększenie obrazu nie jest stałe, zmienia się radialnie i transwersalnie od osi.

Charakterystycznymi parametrami lunety, podawanymi przez producentów niwelatorów są: *powiększenie lunety* - stosunek kąta widzenia obrazu w lunecie do kąta widzenia przedmiotu okiem nie uzbrojonym, równy ilorazowi ogniskowych obiektywu i okularu: $f_{\text{OBIEKTYW}} / f_{\text{OKULAR}}$, przeciętnie 30 ×; *pole widzenia lunety* - kąt rozwartości stożka pod jakim można obserwować przedmioty przez lunetę, przeciętnie 2.2 m w odległości 100 m lub $1^\circ \div 1^\circ 30'$; *najmniejsza odległość przedmiotu*, ok. 1.5 m; *średnica obiektywu*, ok. 40 mm.

Automatyczne poziomowanie osi celowej

Przy poziomym położeniu osi celowej promień światła biegnący od łąty wzdłuż tej osi przejdzie przez układ optyczny teleobiektywu oraz układ pryzmatów i trafi na środek siatki kresek. Jednakże libela sferyczna w przybliżeniu ustawia oś celową w poziomie, zatem wspomniany promień poziomy po przejściu przez środek optyczny obiektywu przejdzie powyżej lub poniżej środka siatki kresek. Zadaniem jednego z pryzmatów - zawieszono go wahadłowo z podwieszonym obciążeniem (rys. 5), jest zmiana kierunku tego promienia tak, aby przechodził przez środek siatki kresek. Pryzmat ten, przyjmujący przy lekko nachylonej osi celowej zawsze położenie poziome, jest nazywany *kompensatorem grawitacyjnym*. W przypadku niwelatora optycznego Leica NA2 (rys. 1) zakres kompensatora wynosi $\sim 30'$ natomiast dokładność (odchylenie standardowe) kompensatora $\sim 0.3''$

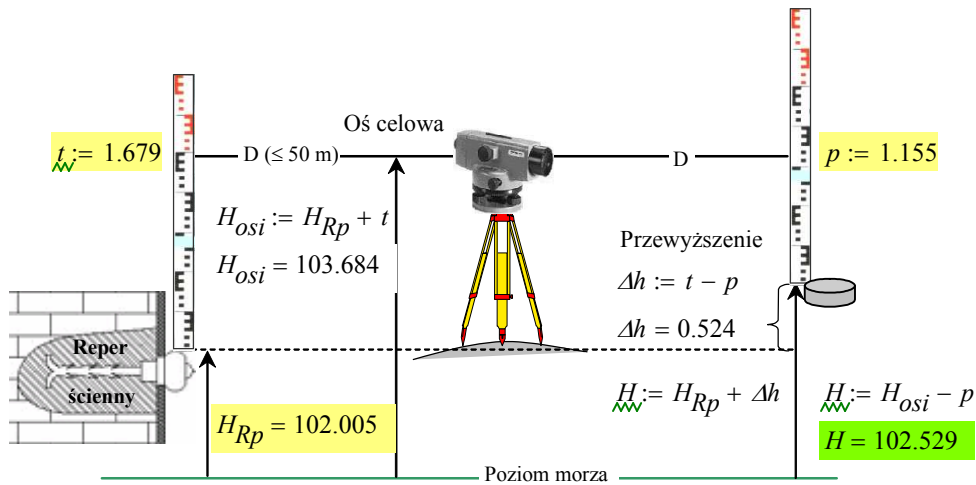
1.3. Pomiar wysokości i tyczenie punktu

Pomiar wysokości punktu

Pomiar wysokości punktu jest wykonywany ze stanowiska niwelatora usytuowanego w przybliżeniu w środku między mierzonym punktem a *punktem osnowy wysokościowej* o znanej wysokości H_{Rp} , nazywanym *reperem* (rys. 6):

- 1) ustawienie łąty na reperze,
- 2) spoziomowanie niwelatora za pomocą libeli,
- 3) ustawienie ostrości krzyża kresek,
- 4) naprowadzenie lunety na łątę za pomocą celownika,
- 5) ustawienie ostrości obrazu łąty w lunecie,
- 6) naprowadzenie kreski pionowej krzyża na środek łąty śrubą ruchu leniwego,
- 7) odczyt kreski środkowej niwelacyjnej *wstecz* t ,
- 8) naprowadzanie lunety za pomocą celownika na łątę ustawioną na mierzonym punkcie, powtórzenie czynności 5, 6, 7 - odczyt kreski środkowej niwelacyjnej *w przód* p ,
- 9) obliczenie wysokości mierzonego punktu, na podstawie (rys. 6):
 - *przewyższenia* $\Delta h = t - p$: wysokość punktu jest równa sumie wysokości reperu i pomierzonego przewyższenia: $H = H_{Rp} + \Delta h$, lub
 - *wysokości osi celowej* $H_{osi} = H_{Rp} + t$: wysokość punktu otrzymuje się odejmując od niej odczyt łąty na mierzonym punkcie p : $H = H_{osi} - p$; metoda ta jest stosowana w przypadku pomiaru wysokości wielu punktów na stanowisku.

Dla kontroli opisany pomiar 1 - 9 jest jest powtarzany po niewielkim przemieszczeniu niwelatora.



Rys. 6

Tyczenie wysokościowe punktu

W przypadku tyczenia punktu obiektu budowlanego wysokość projektowa punktu $H = 102.529$ jest znana (rys. 6), w tym miejscu wbijany jest palik na głębokość przy której odczyt p na łacie ustawionej na paliku będzie równy wartości obliczonej $p := H_{Osi} - H, p = 1.155$.

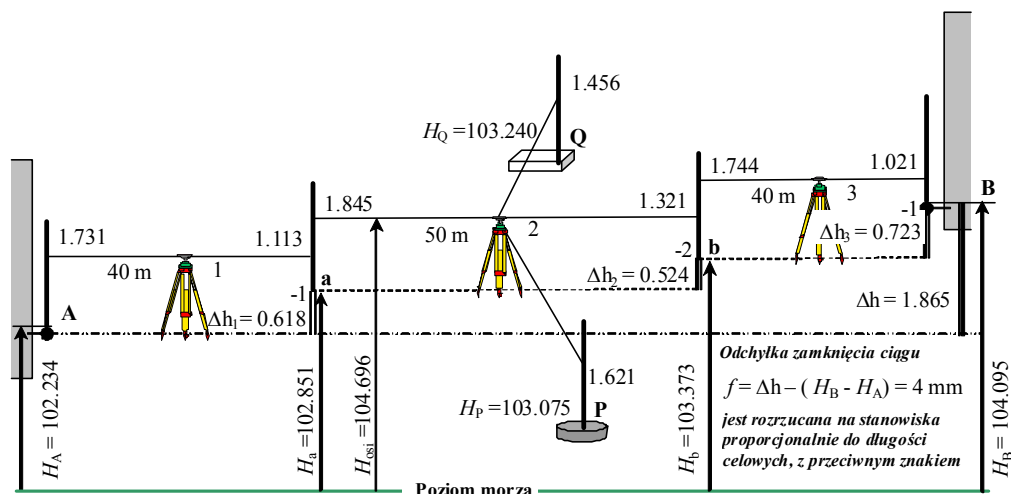
1.4. Ciąg niwelacyjny

Na rysunku 7 pokazany jest ciąg niwelacyjny, którego celem jest pomiar wysokości punktów szczegółów terenowych P i Q, nazywanych punktami pośrednimi ciągu. Ciąg ten składa się z kolejnych stanowisk niwelatora 1, 2, 3 powiązanych punktami przeniesienia wysokości a, b. Długości celowych na punkty wiążące *wstecz* i *w przód* na stanowisku są jednakowej długości i nie przekraczają 50 m. Punktami początkowym i końcowym ciągu są repery A, B o znanych lub wysokościach H_A i H_B .

Na stanowisku 1 wykonane są odczyty: *wstecz* 1.731 na reper A oraz *w przód* 1.113 na punkt przeniesienia wysokości na stanowisko drugie a. Na stanowisku drugim wykonane są odczyty *wstecz* 1.845 na punkt wiążący ciągu a, *w przód* 1.321 na punkt b przeniesienia wysokości na stanowisko 3 oraz odczyty *pośrednie* 1.621 i 1.456 na mierzone punkty P i Q. Na stanowisku trzecim wykonane są odczyty *wstecz* 1.744 na punkt wiążący ciągu b oraz *w przód* 1.021 na punkt końcowy ciągu, reper B. Różnice odczytów *wstecz* t i *w przód* p są pomierzonymi przewyższeniami na kolejnych stanowiskach: $\Delta h_1 = 0.618$, $\Delta h_2 = 0.524$, $\Delta h_3 = 0.723$. Ich suma $\Delta h = 1.865$ jest przewyższeniem pomierzonym między reperami początkowym i końcowym ciągu.

Różnica przewyższenia pomierzonego $\Delta h = 1.865$ i obliczonego z danych wysokości reperu początkowego i końcowego ciągu $\Delta H = H_B - H_A = 1.861$ jest odchyłką zamknięcia ciągu $f = \Delta h - \Delta H = 4$ mm. Odchyłka ta nie powinna przekroczyć wartości dopuszczalnej, zależnej od klasy niwelacji i długości ciągu $L_{\text{dop}} := 0.26$ km, np. dla klasy IV:

$$f_{\text{dop}} := 20 \cdot \sqrt{L} \quad \text{mm}$$



Rys. 7

Jeżeli warunek $|f| \leq f_{dop}$ jest spełniony, to odchyłka $f = 4$ mm jest rozdzielana na przewyższenia Δh_1 , Δh_2 , Δh_3 ze znakiem przeciwnym, proporcjonalnie do długości celowych na poszczególnych stanowiskach.

Wysokości kolejnych punktów wiążących ciągu H_a , H_b i punktu końcowego ciągu H_B są obliczone według reguły: wysokość punktu poprzedniego ciągu plus przewyższenie poprawione do punktu następnego: $H_a = H_A + (\Delta h_1 - 0.001)$, $H_b = H_a + (\Delta h_2 - 0.002)$, $H_B = H_b + (\Delta h_3 - 0.001)$. Kontrolę stanowi obliczona wysokość punktu końcowego ciągu H_B która powinna być równa danej wysokości tego punktu. Wysokości punktów pośrednich P i Q pomierzonych na stanowisku 2 obliczone są na podstawie wysokości osi celowej $H_{osi} = H_a + 1.845$: $H_P = H_{osi} - 1.621$, $H_Q = H_{osi} - 1.456$.

W praktyce w obliczeniach ciągu niwelacyjnego uwzględniany jest pomiar kontrolny odczytu wstecz i w przód na każdym stanowisku.

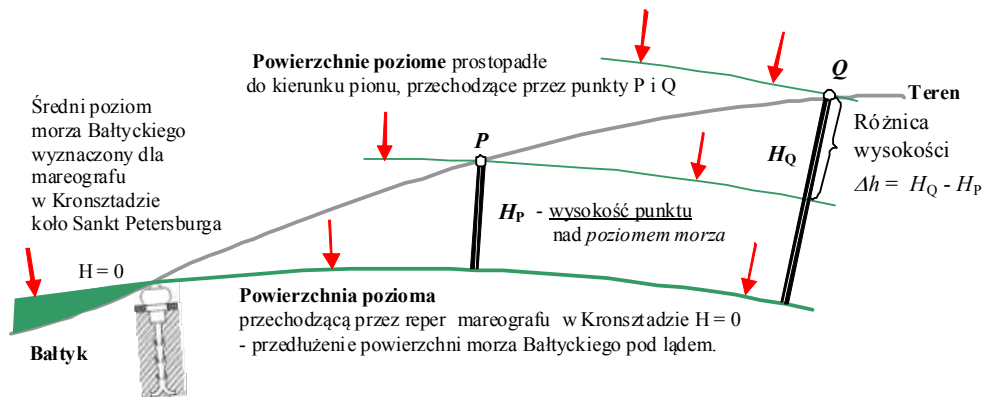
1.5. Poprawki za krzywiznę Ziemi i refrakcję

Poziom morza, powierzchnie poziome

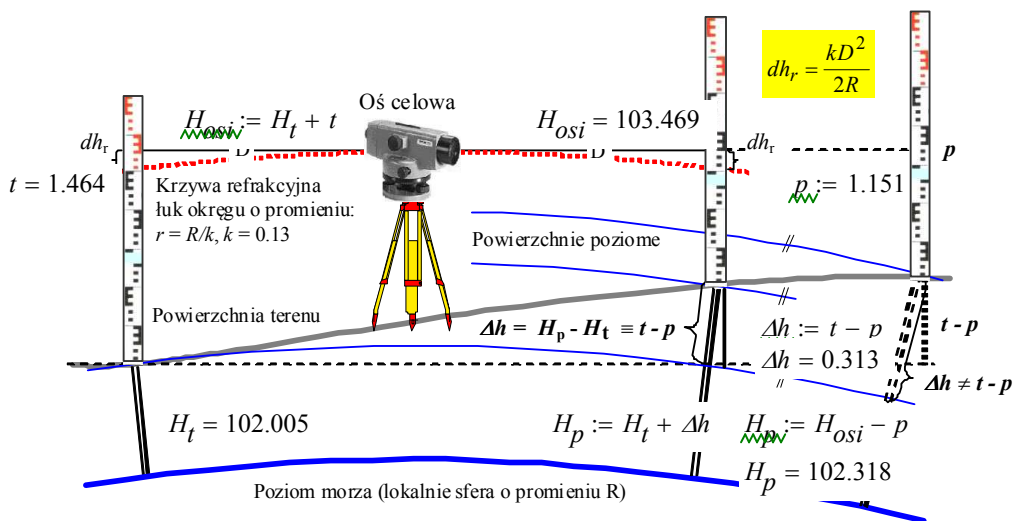
System wysokości w Polsce jest odniesiony do *średniego poziomu morza Bałtyckiego* wyznaczonego dla mareografu w Kronsztadzie (rys. 8). Wysokości punktów terenowych H_P , H_Q są określone jako odległości od powierzchni morza przedłużonej pod lądem. Powierzchnia ta jest w każdym punkcie prostopadła do kierunku pionu, stąd nazywana jest *powierzchnią poziomą*. Różnica wysokości punktów $\Delta h = H_Q - H_P$ jest nazywana przewyższeniem.

Niwelacja ze środka

Elementem mierzonym za pomocą niwelatora jest różnica wysokości $\Delta h = H_p - H_t$ między dwoma punktami położonymi w odległości do 100 m (rys. 9).



Rys. 8



Rys. 9

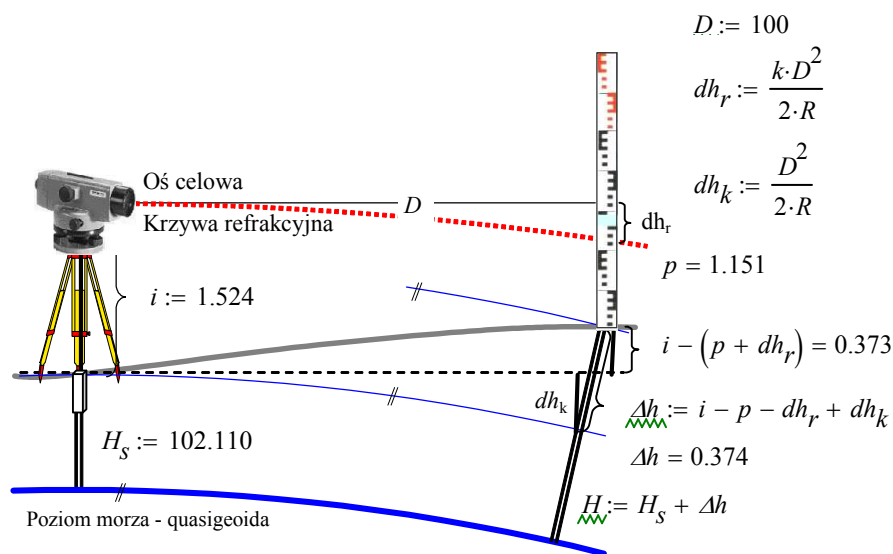
Pomiar przewyższenia Δh jest zwykle wykonywany ze stanowiska niwelatora umieszczonego w przybliżeniu w środku między mierzonymi punktami. Tylko w tym położeniu niwelatora przewyższenie niwelacyjne Δh jest równe różnicy odczytów na łacie *wstecz* t i *w przód* p : $\Delta h = t - p$. Przenosząc łatę na większą odległość zależność ta już nie zachodzi $\Delta h \neq H_p - H_t$ (rys. 1.5.2). W położeniu tym eliminowany jest również wpływ refrakcji: promień świetlny docierający do lunety od łaty ulega załamaniu w atmosferze i przebiega wzdłuż tzw. *krzywej refrakcyjnej*, której pierwszym przybliżeniem jest łuk koła o promieniu r .

Stosunek promienia Ziemi R ($R_{\text{śr}} = 6371000$) do promienia krzywej refrakcyjnej r jest nazywany *współczynnikiem refrakcji* $k = R/r$. Przyjmuje się, że $k := 0.13$. Krzywa refrakcyjna jest styczna do osi celowej w środku geometrycznym niwelatora. Na podstawie geometrii okręgu i prostej stycznej można wykazać, że odchylenie krzywej refrakcyjnej od osi celowej na łacie w odległości poziomej D dane jest wzorem $dh_r = kD^2/2R$. Wielkość ta, rzędu 1 mm w odległości 100 m jest taka sama dla odczytu *wstecz* jak i *w przód*, nie ma więc wpływu na obliczoną różnicę wysokości: $\Delta h = (t + dh_r) - (p + dh_r) = t - p$.

Niwelacja w przód

W niwelacji *w przód* niwelator jest ustawiany na punkcie o znanej wysokości H_s (rys. 10). Przewyższenie mierzonego punktu nad punktem stanowiska Δh jest obliczane na podstawie pomierzonej wysokości instrumentu i nad punktem stanowiska oraz

odczytu na łącie p , przy uwzględnieniu poprawek ze względu na refrakcję dh_r i zakrzywienie Ziemi dh_k . Wzór $dh_k = D^2/2R$ wyprowadzany jest identycznie jak $dh_r = kD^2/2R$ - przy założeniu okręgu o promieniu równym promieniowi Ziemi R , ($R = kr$).



Rys. 10

Wytyczne techniczne G-2.5

Według *Wytycznych technicznych G-2.5*, dla uniknięcia błędów spowodowanych refrakcją należy: unikać celowych przebiegających blisko obiektów wydzielających ciepło lub wilgoć, obierać stanowiska niwelatora i łąt tak, aby celowe przebiegały w środowiskach jednakowych pod względem temperatury, wilgotności, nasłonecznienia i pokrycia terenu. Przy pomiarze niwelatorami cyfrowymi należy dobierać stanowiska łąt w taki sposób, aby obie łąty były w przybliżeniu jednakowo oświetlone, bez zmiennych odbłasków i refleksów, np. tafli wody lub szyb samochodowych. Należy unikać stanowisk łąt częściowo ocienionych. Linia celowa nie może być przysłonięta gałązkami i liśćmi ani nie powinna przecinać sitki ogrodzeniowej. Należy utrzymywać przebieg linii celowej na wysokości ok. 1.5 m nad powierzchnią terenu. W terenach falistych, gdzie zachowanie tego warunku jest trudne, celowa nie powinna przebiegać niżej niż 0.6 m nad powierzchnią terenu, a przy celowych krótkich (<10 m) dopuszcza się przebieg celowej na wysokości 0.5 m.

1.6. Sprawdzenie i rektyfikacja sprzętu niwelacyjnego

Sprawdzenie zestawu niwelacyjnego

Według *Wytycznych technicznych G-2.5* niwelator i łąty powinny być sprawdzane zarówno w laboratorium jak i okresowo w terenie przed każdym pomiarem.

W ogólności, sprawdzeniu podlegają:

- niwelator:
 - prostokątowość poziomej płaszczyzny głównej libeli do osi obrotu niwelatora
 - pionowe położenie siatki kresek niwelatora
 - poprawne działanie kompensatora w wyznaczonym zakresie poziomowania niwelatora za pomocą libeli
 - poziome położenie osi celowej niwelatora
- łąta:

- czytelność podziału i opisu łąty
- metryczność naniesienia podziału łąty
- prostoliniowość łąty
- prostopadłość stopki do osi podziału łąty
- prostopadłość płaszczyzny głównej libeli łąty do osi podziału łąty
- statyw
- żabki
- podpórki do łąt.

Błędy niwelacji systematyczne i przypadkowe

Błędy występujące w niwelacji dzielą się na systematyczne i przypadkowe.

Przyczyną występowania błędów systematycznych są:

- niedokładne poziomowanie osi celowej (eliminowane w wyniku rektyfikacji libeli niwelatora i krzyża kresek),
- wpływ kulistości Ziemi i refrakcji (eliminowany w niwelacji ze środka, obliczany w niwelacji w przód),
- osiadanie niwelatora i łąt,
- nie pionowe ustawienie łąty (usuwane w wyniku rektyfikacji libeli łąty),
- niedokładności wykonania łąt.

Źródłem błędów przypadkowych są zwykle:

- błędy odczytów na łątach,
- zmieniające się warunki pomiaru: wiatr, nasłonecznienie, wstrząsy.

Błędy systematyczne są eliminowane w wyniku opisanych rektyfikacji oraz przez zastosowanie odpowiedniej metody pomiaru (ze środka) lub analitycznie (niwelacja w przód).

Wpływ błędów przypadkowych na wyniki niwelacji można jedynie oszacować.

1.7. Geodezyjne osnowy wysokościowe

Osnowa geodezyjna

Osnowa geodezyjna jest usystematyzowanym zbiorem punktów geodezyjnych (tab. 1), utrwalonych w terenie **znakami geodezyjnymi**, dla których określono matematycznie ich wzajemne położenie i dokładność usytuowania.

Tabela 1. Podział i klasyfikacja **osnowy wysokościowej**

Osnowa	Klasa	m_{km} - błąd niwelacji 1km m_H - błąd wysokości*	Technika pomiaru
Podstawowa Jest przeznaczona do nawiązania osnów szczegółowych oraz badania ruchów skorupy ziemskiej na obszarze kraju	I	$m_{km} = 1 \text{ mm}$	niwelacja geometryczna precyzyjna
	II	$m_{km} = 2 \text{ mm}$	
Szczegółowa Jest przeznaczona do nawiązania osnów pomiarowych, zdjęć fotogrametrycznych i numerycznych modeli terenu	III	$m_{km} = 4 \text{ mm}$	niwelacja geometryczna
		$m_H = 8 \text{ mm}$	niwelacja trygonometryczna, niwelacja satelitarna
	IV	$m_{km} = 10 \text{ mm}$	niwelacja geometryczna
		$m_H = 2 \text{ cm}$	niwelacja trygonometryczna, niwelacja satelitarna
Pomiarowa -przeznaczona do wykonywania pomiarów wysokościowych		$m_{km} = 20 \text{ mm}$ $m_H = 5 \text{ cm}$	niwelacja geometryczna
		$m_H = 5 \text{ cm}$	niwelacja trygonometryczna, niwelacja satelitarna

* względem punktów nawiązania sieci

Podział osnowy geodezyjnej

Osnowa geodezyjna dzieli się na:

- **osnowę poziomą**, w której położenie punktów na powierzchni Ziemi określają ich współrzędne geodezyjne B, L na elipsoidzie lub x, y na płaszczyźnie odwzorowania,
- **osnowę wysokościową**, w której wysokości punktów H zostały określone względem przyjętego poziomu odniesienia.

Ze względu na rolę i znaczenie dla prac geodezyjnych osnowę geodezyjną poziomą i wysokościową dzieli się na *podstawową, szczegółową i pomiarową* (tab. 1).

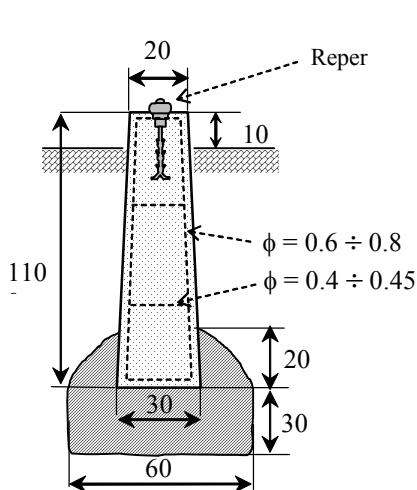
Klasyfikacja osnowy wysokościowej

Pod względem dokładności osnowę wysokościową dzieli się na cztery klasy oznaczane cyframi rzymskimi (tab. 1). Klasa jest cechą charakteryzującą dokładność określenia położenia punktu po wyrównaniu obserwacji. Za podstawę klasyfikacji przyjmuje się błędy średnie niwelacji jednego kilometra ciągu po wyrównaniu i (lub) błędy wysokości punktu po wyrównaniu. Rząd osnowy geodezyjnej określa kolejność włączania jej do wyrównania.

Znaki geodezyjne

Znakiem geodezyjnym jest znak z trwałego materiału, określający położenie punktu osnowy geodezyjnej. Na rys. 11-13 pokazane są wybrane betonowe znaki stosowane w osnowie wysokościowej. Pełny wykaz znaków stosowanych w osnowach geodezyjnych wysokościowej i poziomej jak również w osnowach magnetycznych zawierają *Wytyczne techniczne G-1.9*.

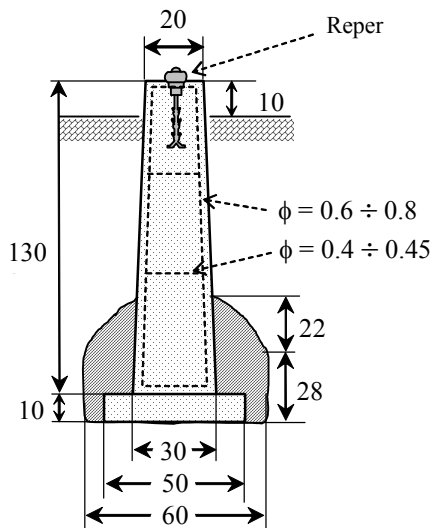
Punktem głównym znaku osnowy wysokościowej jest szczyt sferycznego metalowego bolca - nazywanego **reperem**, na którym ustawiana jest stopka łąty niwelacyjnej.



Znak typu 75 a

Słup betonowy zbrojony 20 × 20 cm, z reperem, posadowiony na wylanej poduszce betonowej, stosowany w osnowie szczegółowej III i IV klasy.

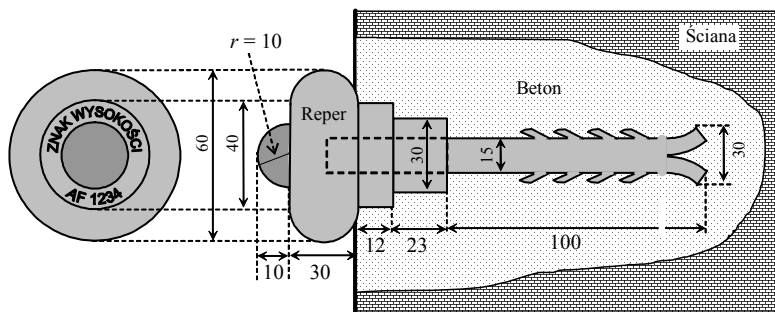
Rys. 11



Znak typu 75 b

Słup betonowy zbrojony 20 × 20 cm, z reperem, posadowiony na płycie betonowej oraz zalany poduszką betonową, stosowany w osnowie szczegółowej III i IV klasy.

Rys. 12



Znak typu 86 b
Reper ścienny żelazny oznaczony dwoma literami i czterema cyframi, stosowany w osnowie szczegółowej III i IV klasy.

Rys. 13

Według *Wytycznych technicznych G-4.1* do oznakowania położenia punktów osnowy wysokościowej pomiarowej stosuje się:

- w terenach o znacznym zainwestowaniu punkty stabilizuje się trwale lub wykorzystuje się istniejącą w terenie trwałą stabilizację innych punktów, w obu wypadkach sporządzając *opisy topograficzne* (rys. 16) - w szczególności stosuje się paliki drewniane z wbitym gwoździem, rurki żelazne, bolce lub trzpień żelazny wbite w nawierzchnię, a także oznaczone farbą znaki na trwałych szczegółach terenowych.
- na terenach niezabudowanych, jako reper pomiarowy może być zastosowany pal drewniany o długości 1 m i średnicy 0,1 m, w którego górny koniec wbity jest gwóźdź, a w dolnej części pała przymocowana jest na zaciós poprzeczka drewniana. Pal wkopuje się w ziemię tak, aby dolny jego koniec opierał się na nienaruszonej kopaniem ziemi, a znak wysokości (główna gwoździa) znajdował się na poziomie terenu lub do 0,1 m nad nim, w zależności od usytuowania reperu, w razie potrzeby osadza się znaki w formie słupa z betonu z bolcem żelaznym (rys. 11).
- jako znaki ścienne stosuje się:
 - trzpień lub hak żelazny, kuty, o długości 10-15 cm i średnicy około 1 cm, wbity w ścianę budynku, tak aby wystawał ze ściany na odległość umożliwiającą pionowe ustawienie łąty (rys. 13),
 - nowe formy znaków ściennych, metalowych lub z tworzyw sztucznych, wstrzeliwane bolce, spełniające wymogi dokładności i trwałości.

Elementy konstrukcyjne osnowy wysokościowej: poligony, linie i odcinki niwelacyjne

Osnowy wysokościowe składają się z (rys. 14, 15):

- poligonów niwelacyjnych, zamkniętych lub otwartych, utworzonych z linii niwelacyjnych,
- linii niwelacyjnych, utworzonych z odcinków niwelacyjnych, łączących punkty węzłowe sieci i punkty nawiązania wyższej klasy,
- odcinków niwelacyjnych, łączących dwa sąsiednie punkty linii niwelacyjnej.

Numeracja punktów osnowy wysokościowej

Na mapie projektu technicznego osnowy wysokościowej III i IV klasy (rys. 15) wykreślone są i oznakowane punkty i linie osnowy podstawowej I i II klasy oraz osnowy szczegółowej III i IV klasy.

Osnowa jest położona w 4 strefie układu "1965" na arkuszu 452 w skali 1:100 000, w tym na 4 arkuszach 452.112, 452.121, 452.114 i 452.123 w skali 1:10 000.



Rys. 14

Numeracja punktów w układzie współrzędnych "1965" jest dwuczłonowa:

- pierwszy człon stanowi godło arkusza mapy w skali 1: 50 000 dla punktów I i II klasy lub godło mapy w skali 1:10 000 dla punktów III i IV klasy,
- drugi człon jest właściwym numerem punktu w zakresie 1-99 dla klasy I, 100-999 dla klasy II, 1000-1999 dla klasy III i 2000-2999 dla klasy IV.

Nazwy punktów na mapie projektu technicznego (rys. 15) są ograniczone do drugiego członu - pierwszy wynika z nazwy arkusza na którym punkt jest wykreślony.

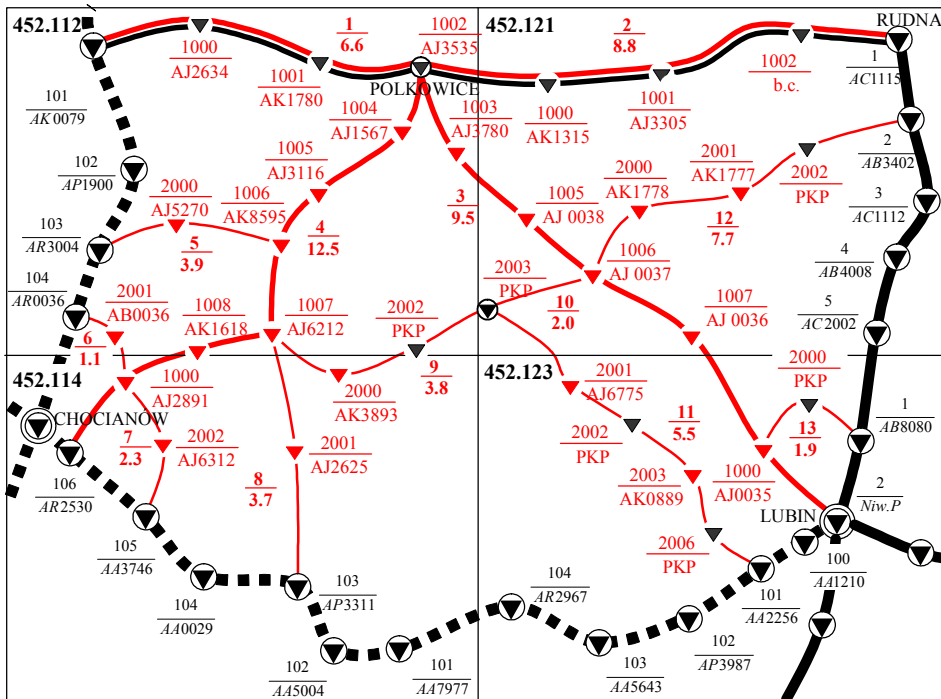
1.8. Pomiar wysokościowy

Przedmiot pomiaru wysokościowego

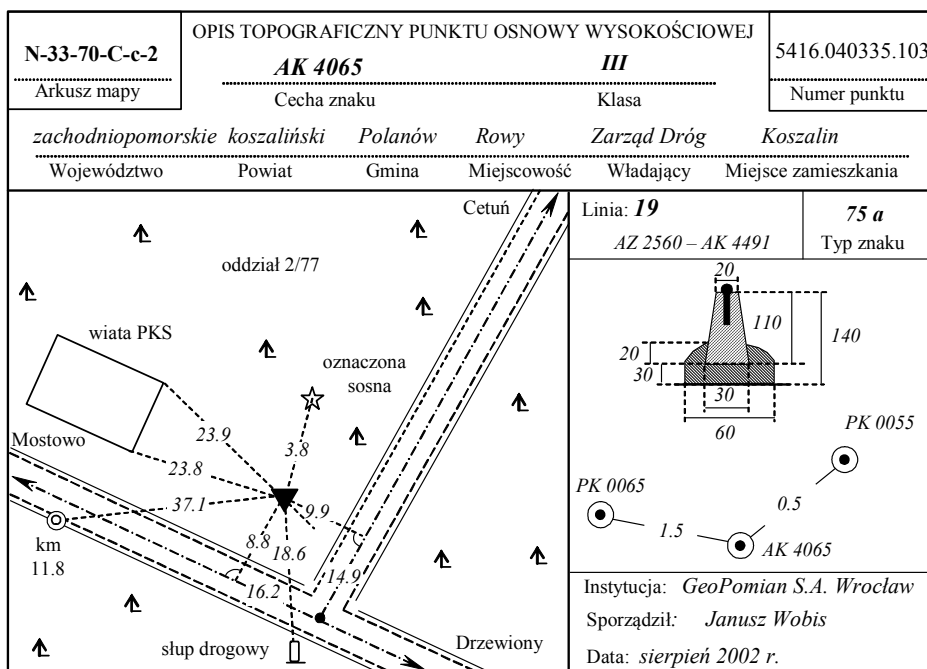
Przedmiotem *pomiaru wysokościowego* są następujące elementy szczegółów terenowych wykazywanych na *mapie zasadniczej* (*Instrukcja techniczna G-4, Wytyczne techniczne G-4.1*):

- naziemne:
 - charakterystyczne punkty powierzchni terenu, w oparciu o które rzeźba terenu przedstawiona zostanie na mapie warstwicami,
 - wybrane punkty powierzchni terenu w przypadku przedstawienia na mapie rzeźby terenu w postaci opisu rzędnych wysokości tych punktów,
 - naturalne i sztuczne formy ukształtowania terenu,
 - przekroje poprzeczne ulic i dróg urządzonych,
 - elementy naziemne podziemnego uzbrojenia terenu;

MAP PROJEKTU TECHNICZNEGO OSNOWY WYSOKOŚCIOWEJ III i IV KLASY
na arkuszu 452 układu „1965” w skali 1:100 000 z podziałem na arkusze mapy topograficznej w skali 1:10 000
(ze względu na czytelność na wydruku pominięto treść mapy topograficznej)



Rys. 15



Rys. 16

- podziemne:
 - górne krawędzie włazów i dna studzienek kanalizacyjnych oraz wloty i wyloty kanałów lub przykanalików w ich najniższych punktach,
 - osie przewodów wodociągowych, gazowych i ciepłych bez obudowy,
 - wierchy i dna kanałów oraz dna komór i studni sieci ciepłej, teletechnicznej i elektroenergetycznej,
 - górne krawędzie (powłoki) lub wierchy rur ochronnych kabli doziemnych,
 - załamania przewodów (osi) pionowe i poziome.

Przedmiotem pomiaru wysokościowego mogą być także inne elementy szczegółów terenowych, ustalone w warunkach technicznych ze zleceniodawcą.

Dokładność pomiaru wysokościowego

Pomiar wysokościowy wykonuje się w oparciu o osnowę wysokościową z taką dokładnością, aby błąd średni określenia wysokości mierzonego punktu nie przekroczył wartości:

- dla obiektów (tab. 2):

Tabela 2.

Rodzaj obiektów	Błąd średni wysokości punktów
1. Budowle i urządzenia techniczne o konstrukcji trwałej. 2. Obiekty uzbrojenia terenu: a) naziemne, b) podziemne: sztywne inwentaryzowane przed zasypaniem.	± 0.01 m
3. Budowle i urządzenia techniczne ziemne 4. Obiekty uzbrojenia terenu podziemne: elastyczne lub mierzone elektromagnetycznie.	± 0.10 m

(o ile dokładność identyfikacji punktów nie przekracza odpowiednio ± 0.005 m i ± 0.05 m)

- dla punktów - pikiet powierzchni terenu (tab. 3):

Położenie poziome punktów obiektów określa się zgodnie z wymaganiami przypisanymi grupie dokładności, do której obiekty te przynależą (tab. 4), natomiast pikiety określa się z błędem położenia $\leq 0,5$ m.

Tabela 3.

Nachylenie terenu		Błąd średni wysokości pikiet	Błąd średni warstw nie powinien przekroczyć	Błąd położenia poziomego
kąt nachylenia	Δh na odcinku 100 m			
$< 2^\circ$	< 3.5 m	± 0.10 m	1/3 cięcia warstwicowego	≤ 0.5 m
$2^\circ - 6^\circ$	3.5 - 10.5 m	± 0.20 m	2/3 cięcia warstwicowego	
$> 6^\circ$	> 10.5 m	± 0.50 m	3/3 cięcia warstwicowego	

Metody pomiaru wysokościowego pikiet powierzchni terenu

Pomiar ukształtowania terenu, w zależności od celu jakiemu ma służyć wykonuje się metodami bezpośrednimi:

- niwelacji punktów rozproszonych,
- niwelacji siatkowej,
- niwelacji profilów,
- tachimetrii (*Osada E. Wykłady z geodezji i geoinformatyki. Tachimetria*),
- techniką satelitarną GPS (*Osada E. Wykłady z geodezji i geoinformatyki. Geodezja satelitarna*).

Rozmieszczenie pikiet powierzchni terenu

Pikiety rozmieszcza się w odstępach ≤ 50 m, w miejscach charakterystycznych dla konfiguracji terenu (rys. 17).

Tabela 4. Grupy dokładności pomiaru sytuacyjnego

Grupa	Dokładność	Wyszczególnienie
I	0.10 m	<p>Obiekty dobrze identyfikowalne, zachowujące wieloletnią niezmiennność położenia:</p> <ul style="list-style-type: none"> • znaki graniczne: granicy państwa, jednostek podziału administracyjnego i działek, • stabilizowane znakami naziemnymi punkty osnowy wysokościowej, punkty podstawowej osnowy grawimetrycznej i punkty wiekowe osnowy magnetycznej, • budynki, budowle i urządzenia techniczne, w tym mosty, wiadukty, tunele, ściany oporowe, tory kolejowe i tramwajowe, przejazdy, estakady itp., • elementy naziemne sieci uzbrojenia terenu, studnie i szczegóły uliczne, w tym krawężniki, latarnie, słupy, pomniki, figury i trwałe ogrodzenia.
II	0.30 m	<p>Obiekty o mniej wyraźnych i mniej trwałych obrysach</p> <ul style="list-style-type: none"> • niestabilizowane punkty załamania granic działek, • obiekty o charakterze budowli ziemnych: nasypów, wykopów, rowów, kanałów, grobli, tam, wałów przeciwpowodziowych, • elementy podziemne sieci uzbrojenia terenu i nierozgraniczone drogi publiczne, • zieleń miejska (parki i zieleńce), zieleń przyuliczna (trawniki, drzewa), boiska sportowe oraz pomniki przyrody;
III	0.50 m	<p>Obiekty o niewyraźnych obrysach lub małym znaczeniu</p> <ul style="list-style-type: none"> • użytki gruntowe, kontury klasyfikacyjne, podwodne elementy sieci uzbrojenia terenu, • cieki i wody stojące o naturalnych liniach brzegowych, • oddziały leśne na obszarach Lasów Państwowych, • drogi biegnące w dużych obszarach o jednolitym władaniu (Lasy Państwowe, duża własność ziemska) i mające charakter stałych dróg wewnętrznego transportu lub łączących siedliska, a także stałych dróg dojazdowych prywatnych, • inne obiekty o niewyraźnych konturach, możliwych do zidentyfikowania z dokładnością nie mniejszą niż 0,50 m, • punkty wysokości naturalnej powierzchni terenu.



Rys. 17

W szczególności:

- na szczytach, siodłach i najniższych miejscach form,
- na górnych i dolnych krawędziach zboczy,
- na liniach szkieletowych (grzbietowych i ściekowych), a szczególnie w miejscach załamania ich profilów.

Dla powierzchni, których układ przestrzenny powstał w wyniku działalności gospodarczej człowieka (budowle ziemne, tereny rozkopane), pikiety rozmieszcza się w taki sposób, aby charakteryzowały:

- układ przestrzenny i krawędzie płaszczyzn utworu regularnego,
- naturalną powierzchnię terenu, która nie uległa zmianie.

Ocena dokładności pomiarów powierzchni terenu

Ocenę dokładności wykonanych pomiarów powierzchni terenu przeprowadza się przez wykonanie pomiaru przekroju kontrolnego z pikietami co 10 m oraz określenie średniego błędu wysokości na podstawie wyniku tego pomiaru i danych interpolowanych.

1.9. Pomiar punktów rozproszonych

Metoda niwelacji punktów rozproszonych

Niwelacja punktów rozproszonych polega na określeniu wysokości pikiet terenowych i punktów sytuacyjnych niwelacją geometryczną w przód przy równoczesnym wyznaczeniu ich położenia poziomego metodą biegunową w nawiązaniu do punktów osnowy geodezyjnej poziomej (*Wytyczne techniczne G.4-1*).

Zastosowanie

Niwelację punktów rozproszonych stosuje się w przypadku pomiaru wysokościowego elementów szczegółów terenowych, ukształtowania terenu o niewielkich spadkach i urozmaiconym ukształtowaniu, gdy rzeźbę przedstawia się za pomocą zasadniczego wcięcia warstwicowego o wartości 0,25 m.

Mapy opracowane na podstawie pomiaru tym sposobem służą do projektowania i budowy lub też do obliczania mas ziemnych. Rzeźbę terenu opracowaną na podstawie pomiaru niwelacji punktów rozproszonych przedstawia się w zależności od potrzeb, w formie warstwic lub rzędnych wysokości terenu.

Formy wizualizacji rzeźby terenu

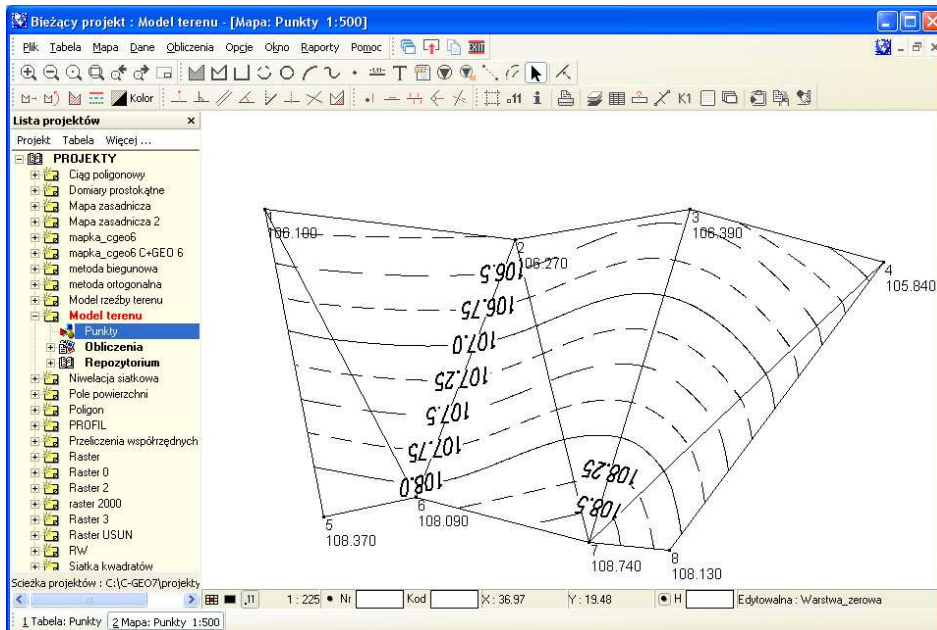
Rzeźbę terenu opracowaną na podstawie niwelacji punktów rozproszonych przedstawia się w formie (rys. 18, 19):

- *rzędnych wysokości terenu H* ,
- *warstwic* o przyjętym cięciu warstwicowym ΔH ,
- nieregularnej *sieci trójkątów* wewnątrz których, zgodnie z zasadą wyboru mierzonych pikiet teren jest w przybliżeniu płaski.

Model rzeźby terenu w postaci *nieregularnej siatki trójkątów* nazywany *numerycznym modelem terenu* ma szereg zastosowań, np.:

- interpolacja wysokości punktów terenowych,
- kreślenie warstwic,
- projektowanie dróg, lotnisk i innych obiektów inżynierskich,
- projektowanie ukształtowania terenu,
- obliczanie objętości mas robót ziemnych,
- kreślenie profili terenu,
- trójwymiarowa wizualizacja terenu,
- badanie widoczności między punktami terenu

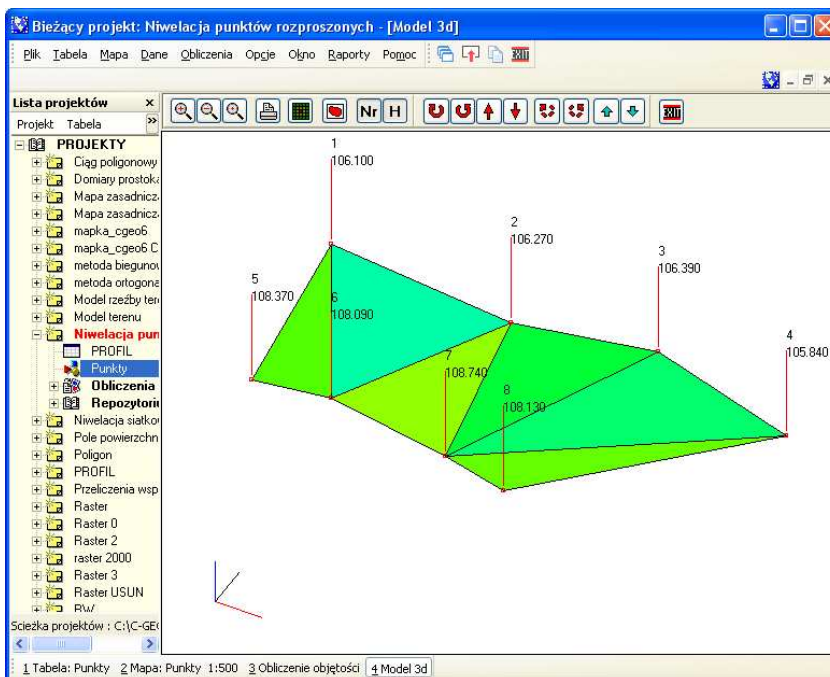
- analizy przestrzenne w systemach geoinformacyjnych GIS biorące pod uwagę ukształtowanie terenu.



Rys. 18

Model rzeźby terenu jest tworzony w programach komputerowych takich jak *C-Geo*, *WinKalk*, *ArcGIS*, *TNTmips*, *Geomedia*, *Microstation*, *AutoCad* i innych, na podstawie:

- danych współrzędnych x , y i wysokości H pikiet,
- szkicu polowego na którym zaznaczone są pikiety pomiarowe, kierunki spadku terenu i ewentualnie trójkąty łączące punkty pomiarowe wewnątrz których teren jest płaski.



Rys. 19

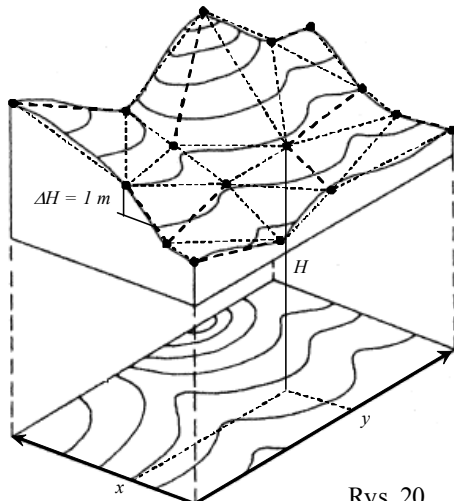
Interpolacja warstwic

Warstwice są liniami łączącymi punkty powierzchni terenu o jednakowej wysokości (rys. 20). W przypadku punktów rozproszonych warstwice są wykreślane na podstawie utworzonego numerycznego modelu terenu w postaci *siatki trójkątów*, przy założeniu pionowej odległości między nimi ΔH nazywanej *cięciem warstwicowym* na przykład równym $\Delta H = 1$ m.

Interpolacja wysokości

Wysokość H dowolnego punktu $P(x_p, y_p)$ znajdującego się wewnątrz trójkąta na przykład o wierzchołkach 2, 3, 7 obliczana jest przy założeniu, że powierzchnia terenu wewnątrz tego trójkąta jest płaska (rys. 21, 22):

- obliczane są współrzędne x_Q, y_Q punktu przecięcia Q prostej 7-P z prostą 2-3,
- ze współrzędnych punktów obliczane są odległości a i b punktu Q od punktów 2 i 3 oraz odległości c i d punktu P od punktów 2 i 7,
- interpolowana jest wysokość punktu Q wzdłuż prostej 2-3 (rys. 23) a następnie wysokość punktu P wzdłuż prostej $Q-7$.



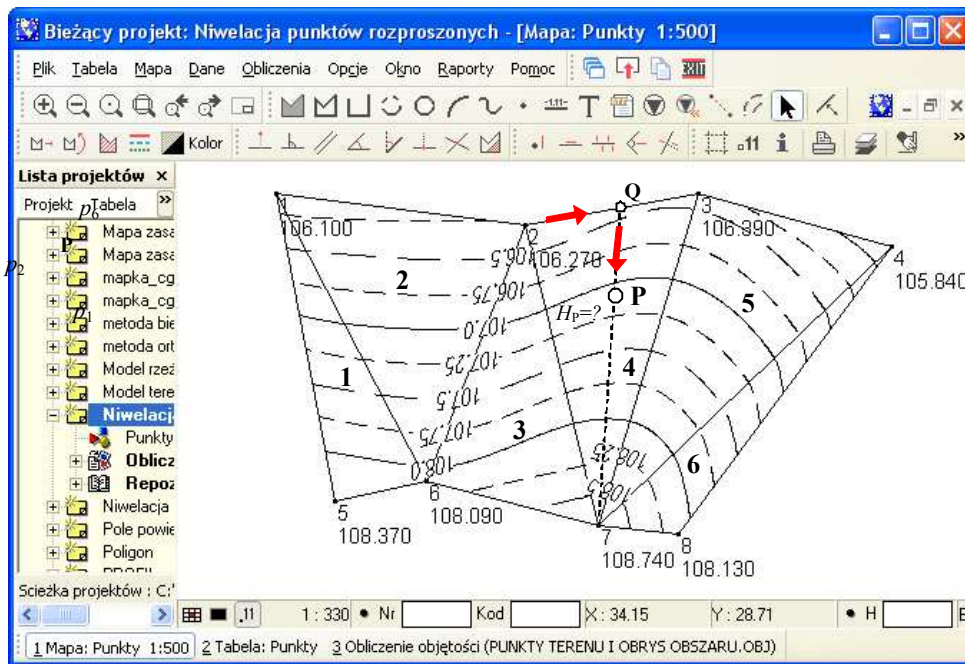
Rys. 20

Składając wzory tych dwóch interpolacji otrzymuje się wzór *interpolacji liniowej* wysokości punktu P wewnątrz trójkąta w postaci średniej ważonej wysokości węzłów trójkąta o wagach równych polu powierzchni trójkątów p_1, p_2, p_3 leżących naprzeciwko odpowiadających wierzchołków trójkąta (rys. 22).

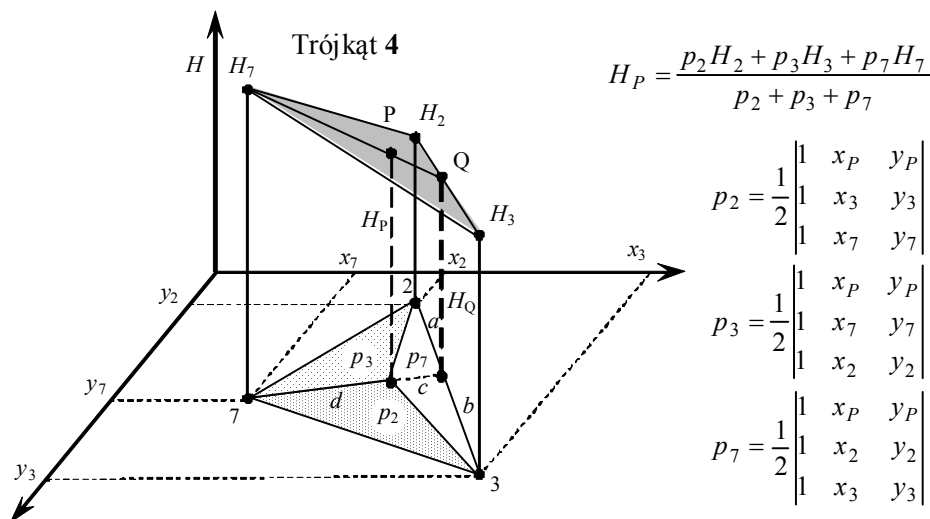
Obliczanie objętości

Objętość mas ziemnych $V = 994.9$ m³ między ustalonym poziomem odniesienia $H_0 = 104.00$ m a powierzchnią terenu jest równa sumie objętości *graniastosłupów ściętych* wydzielonych przez poszczególne trójkąty założonej siatki $V = v_1 + v_2 + v_3 + v_4 + v_5 + v_6$ (rys. 24, 25).

Na przykład objętość $v_4 = 181,7$ m³ (rys. 25), jest obliczona według zależności $v_4 = p h_{sr}$ gdzie $p = 57.991$ m² jest polem powierzchni przekroju poprzecznego graniastosłupa natomiast $h_{sr} = 3.13$ jest średnią z wysokości narożników h_2, h_3, h_7 nad poziomem odniesienia H_0 .



Rys. 21



Rys. 22

Obliczenie objętości V i pola powierzchni można wykonać w programie C-geo w module *Obliczenia / obliczenie objętości* według schematu:



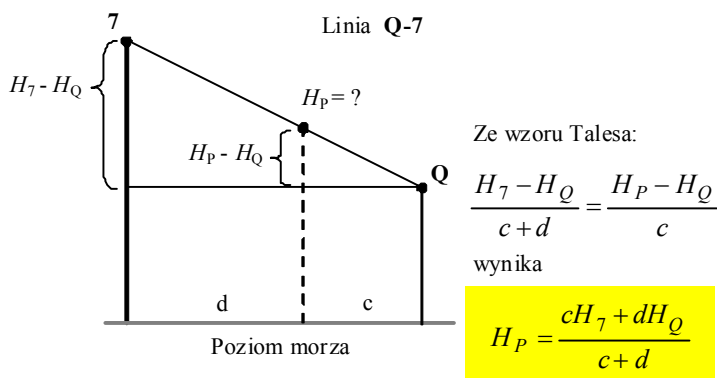
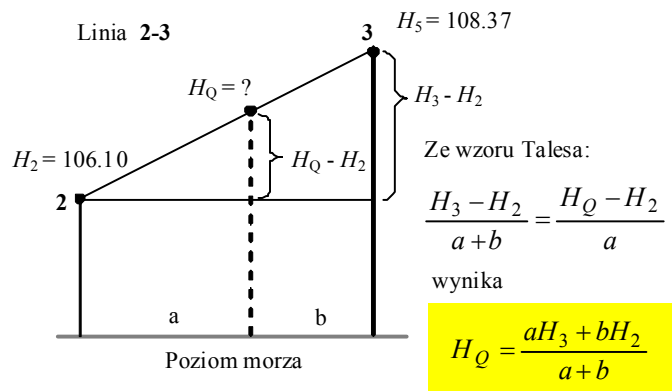
- wybór rodzaju modelu *siatka trójkątów*



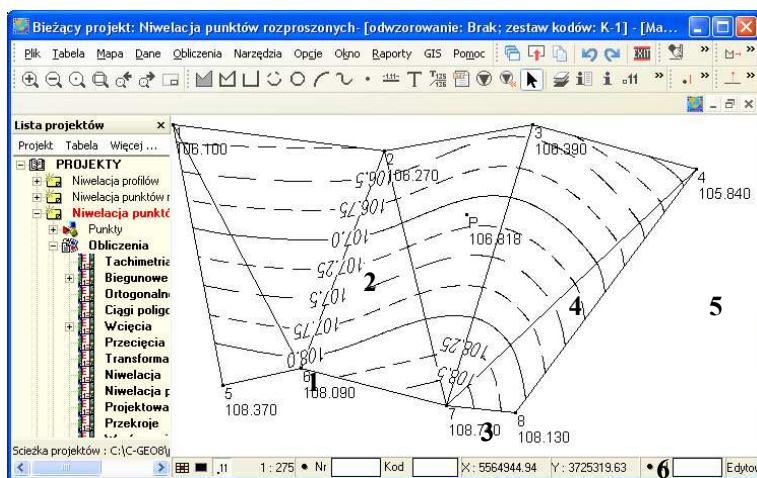
- wybór funkcji programu *obliczenie objętości*



- po uruchomieniu obliczenia, ukazuje się okno *obliczanie objętości* w którym wybierana jest nazwa modelu siatki trójkątów oraz ustalany jest *poziom odniesienia*: płaszczyzna pozioma lub płaszczyzna nachylona zadana przez trzy punkty.



Rys. 23



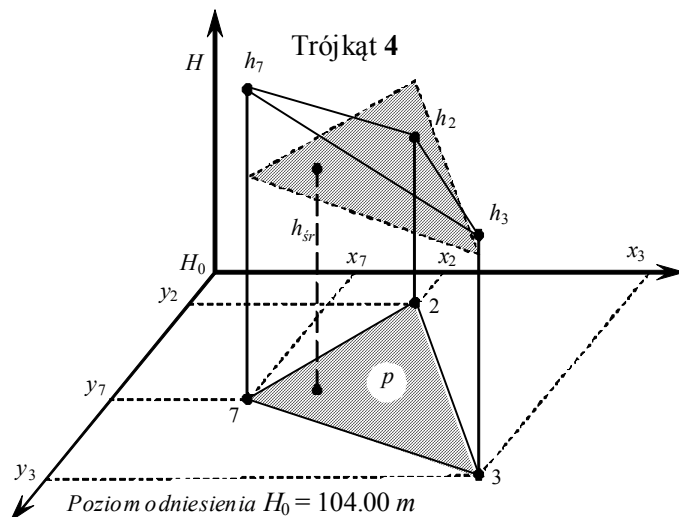
Rys. 24

1.10. Niwelacja siatkowa

Metoda niwelacji siatkowej

Niwelacja siatkowa polega na określeniu metodą *niwelacji geometrycznej* wysokości pikiet:

- wierzchołków wyznaczonych w terenie regularnych *figur podstawowych* geometrycznych,
- wierzchołków *figur zapelniających* figury podstawowe, nazywanych oczkami siatki.



$$h_2 = H_2 - H_0 = 2.27$$

$$h_3 = H_3 - H_0 = 3.39$$

$$h_7 = H_7 - H_0 = 4.74$$

$$h_{sr} = \frac{h_2 + h_3 + h_7}{3} = 3.13$$

$$p = \frac{1}{2} \begin{vmatrix} 1 & x_2 & y_2 \\ 1 & x_3 & y_3 \\ 1 & x_7 & y_7 \end{vmatrix} = 57.991$$

$$v_4 = ph_{sr} = 181.706$$

Rys. 25

Zastosowanie

Niwelacją siatkową stosuje się na terenach **plaskich i niezabudowanych** w przypadkach, gdy potrzebne jest regularne rozmieszczenie punktów wysokościowych na mierzonym terenie. *Wielkość* figury podstawowej i jej *kształt* (kwadrat, prostokąt) uzależnione są od:

- wielkości obszaru podlegającego pomiarowi,
- celu dla którego wykonywana jest niwelacja,
- rzeźby terenu.

Mapy opracowane na podstawie pomiaru tym sposobem służą do **projektowania** i **budowy** lub też do **obliczania mas ziemnych**.

Rzeźbę terenu opracowaną na podstawie pomiaru niwelacji siatkowej przedstawia się w zależności od potrzeb, w formie **warstwic** lub **rzędnych wysokości terenu**.

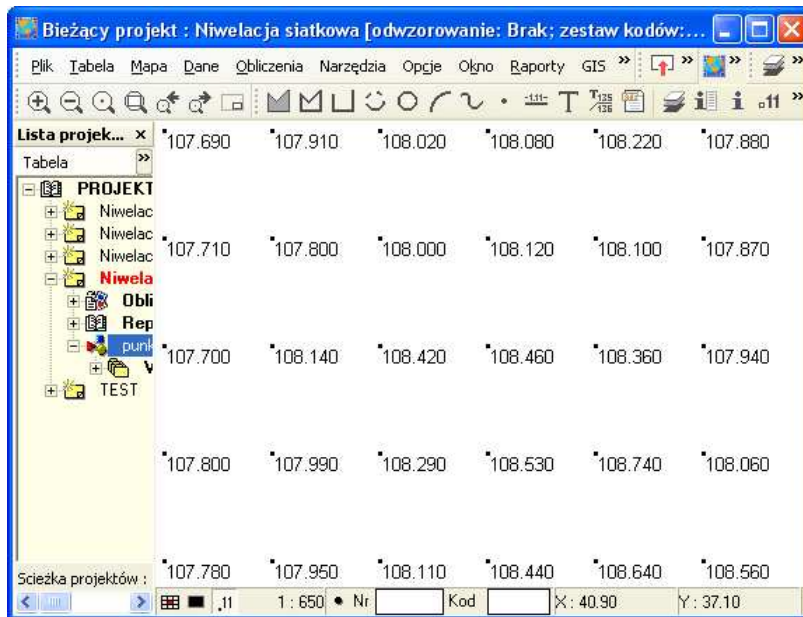
Formy wizualizacji rzeźby terenu

Rzeźbę terenu opracowaną na podstawie niwelacji siatkowej przedstawia się w formie:

- *rzędnych wysokości terenu H* (rys. 26),
- *warstwic* o przyjętym cięciu warstwicowym np. $\Delta H = 0.20$ m,
- pomierzonej *siatki kwadratów* lub utworzonej na jej podstawie *siatki trójkątów*, nazywanej *numerycznym modelem terenu*.

Model rzeźby terenu w postaci *siatki kwadratów* (podobnie jak trójkątów) ma szereg zastosowań, np.:

- interpolacja wysokości punktów terenowych,
- kreślenie warstwic,
- projektowanie dróg, lotnisk i innych obiektów inżynierskich,
- projektowanie ukształtowania terenu,
- obliczanie objętości mas robót ziemnych,
- kreślenie profili terenu,
- trójwymiarowa wizualizacja terenu,
- badanie widoczności między punktami terenu
- analizy przestrzenne w systemach geoinformacyjnych GIS biorące pod uwagę ukształtowanie terenu.



Rys. 26

W analogiczny sposób choć przy pomocy innych wzorów matematycznych można korzystając z siatki kwadratów przeprowadzać:

- interpolację warstwic,
- interpolację wysokości,
- obliczanie objętości,
- kreślenie profili terenu.

Szczegóły można znaleźć w książkach z zakresu geodezji, a zwłaszcza w podręczniku *E. Osada. Wykłady z geodezji i geoinformatyki. Niwelacja.*

1.11. Niwelacja profili

Niwelacja profili polega na określeniu **wysokości pikiet** niwelacją **geometryczną**, **trygonometryczną** lub **tachimetryczną** usytuowanych wzdłuż osi mierzonego obszaru - profilu podłużnego i profili poprzecznych (*Wytyczne techniczne G.4.1*).

Zastosowanie

Niwelację profili stosuje się przy **miarze obszarów wydłużonych** dla celów **studialnych i projektowych**, do **projektowania tras komunikacyjnych, lądowych i wodnych** oraz **innych tras inżynierskich**.

1.12. Niwelator kodowy

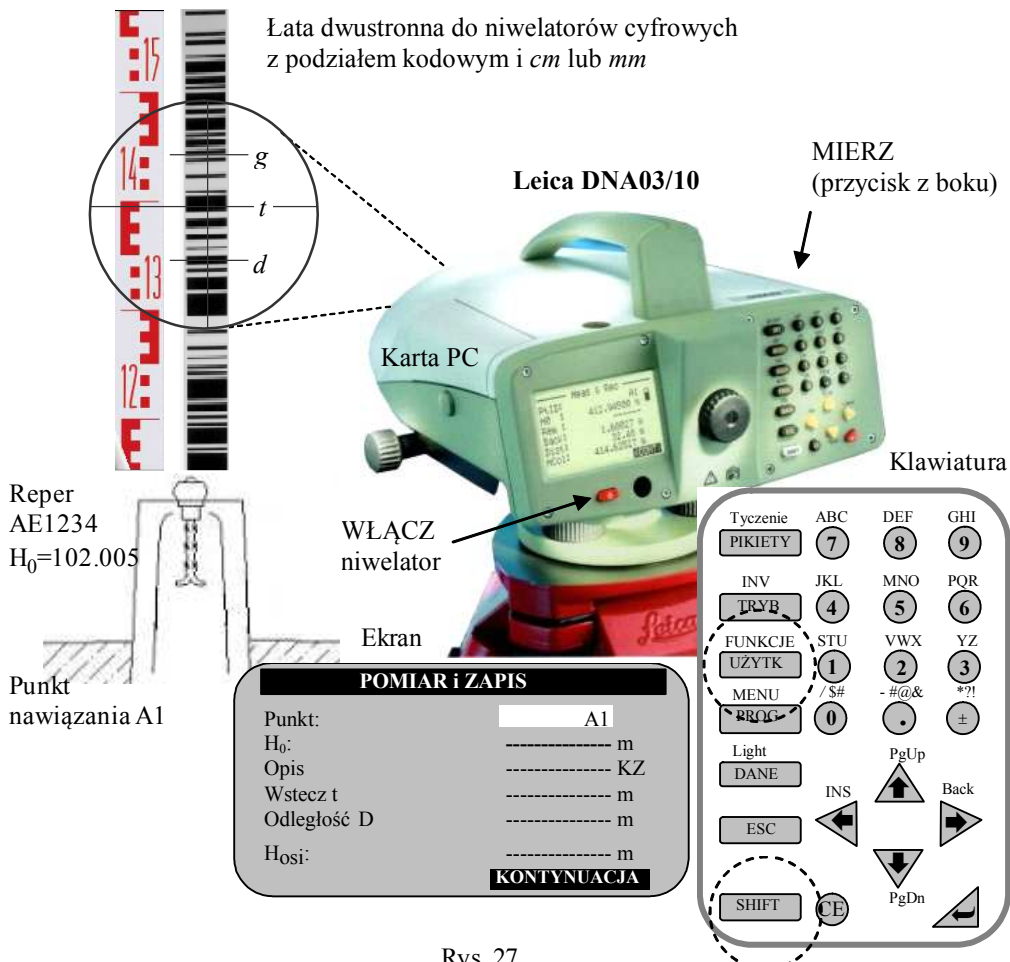
Niwelator kodowy jest wyposażony w system rozpoznawania obrazu, który automatycznie wykonuje odczyty kresek niwelacyjnej *t*-środkowej i dalmierczych *g*-górną, *d*-dolnej na łańcuch kodowej (rys. 27).

Obserwator może również wykonywać odczyty na łańcuch z podziałem cm/mm (rys.27).

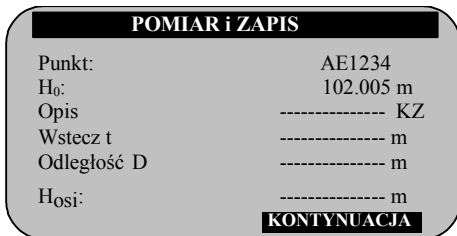
Po ustawieniu na statywie i spoziomowaniu niwelatora za pomocą libeli sferycznej oraz włączeniu niwelatora ukazuje się wyjściowy ekran pomiarowy POMIAR i ZAPIS z automatycznie wpisaną nazwą reperu nawiązania A1 (rys. 28).

Niwelator cyfrowy posiada pamięć wewnętrzną RAM i pamięć zewnętrzną na karcie PC (PCMCIA). Pamięć wewnętrzna jest podzielona na obszary którym przypisywane są nazwy lub miejsca wykonywanych robót niwelacyjnych - tzw. roboty. Obszar dostępny

bezpośrednio po uruchomieniu niwelatora ma przydzieloną stałą nazwę POMIAR i ZAPIS.



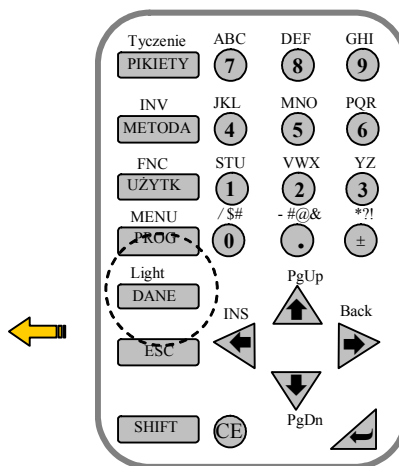
Rys. 27



Rys. 28



Rys. 29



Rys. 30

Celowanie na punkt nawiązania

Celem wykonania pomiaru na łacie ustawionej na punkcie nawiązania należy, podobnie jak w przypadku niwelatora optycznego:

- ustawić ostry obraz siatki kresek,
- naprowadzić lunetę na łątę za pomocą celownika,

- ustawić ostry obraz łąty,
- naprowadzić pionową kreskę siatki na środek łąty śrubą ruchu leniwego oraz wprowadzić z klawiatury nazwę punktu nawiązania i jego wysokość (rys. 28).

Import punktów nawiązania, przydzielanie pamięci

Praktycznie jest przygotować plik z punktami dowiązania w formacie Leica GSI, np. *Repery.GSI* i zamieścić go na karcie PC. Po uruchomieniu niwelatora plik ten wczytywany jest do pamięci wewnętrznej POMIAR i ZAPIS za pomocą funkcji **Import danych** (rys. 31, 32) dostępnej po naciśnięciu klawisza DANE (rys. 30) w oknie ZARZĄDZANIE DANYMI (rys. 29). W tym przypadku, po wprowadzeniu z klawiatury na ekranie (rys. 28) nazwy reperu AE1234, zostanie on wyszukany automatycznie w pliku *Repery.GSI* w pamięci wewnętrznej i jego wysokość zostanie wyświetlona na ekranie.

Import Danych 1/2	
(wybierz plik na karcie PC)	
Typ danych (Repery/Kody):	Repery ◀▶
Szukaj (*.*/*.GSI):	*.* ◀▶
Plik:	Repery.GSI ◀▶ 2/7
Znaleziony w katalogu:	KartaPC\
<div style="display: flex; justify-content: space-between;"> WYJDŹ OK </div>	

Rys. 31

Import Reperów	
(wybierz nazwę roboty do której ma być wczytany wybrany Plik)	
Robota:	POMIAR i ZAPIS ◀▶
Plik:	Repery.GSI
<div style="display: flex; justify-content: space-between;"> WYJDŹ NOWA ROBOTA IMPORTUJ </div>	

Rys. 32

Odczyt na łacie wstecz

Po uruchomieniu pomiaru za pomocą przycisku MIERZ (rys. 27) następują automatyczne odczyty kreski niwelacyjnej t i dalmierczych g , d .

Na ekranie (rys. 33) wyświetlone są wyniki pomiaru: odczyt łąty wstecz t , odległość do łąty D oraz wysokość osi celowej H -osi

POMIAR i ZAPIS	
Punkt:	AE1234
H_0 :	102.005 m
Opis
Wstecz t	1.0363 m
Odległość D	46.00 m
H_{osi}	103.0413 m
KONTYNUACJA	

Rys. 33

Punkt wstecz	AE1234
Punkt w przód	1
Opis
W przód p	1.026 m
Odległość	46.00 m
$\Delta h = t - p$	0.0237 m
H	102.0287 m
<div style="display: flex; justify-content: space-between;"> NOWY KONTYNUACJA </div>	

Rys. 34

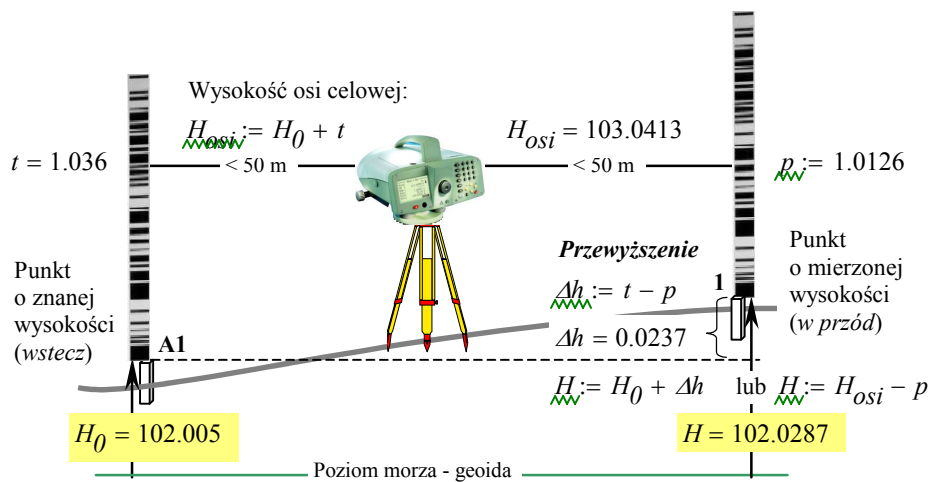
Odczyt na łacie w przód

Za pomocą opcji KONTYNUACJA (33) następuje przejście do ekranu pomiarowego w przód (rys. 34) i automatyczne nadanie nazwy 1 dla punktu w przód.

Nazwę tą można zmienić wprowadzając własną nazwę z klawiatury. Po ustawieniu łąty na punkcie w przód, nacelowaniu i uruchomieniu pomiaru MIERZ na ekranie wyświetlone są wyniki pomiaru (rys. 34): odczyt łąty w przód p , odległość D , przewyższenie Δh i wysokość mierzonego punktu H (rys. 35)

Powtórzenie odczytów

Pomiar może być powtórzony. Po wyborze polecenia **Back** za pomocą klawiszy SHIFT i ▶ ukazuje się okno dialogowe, w którym należy potwierdzić powtórzenie pomiaru - TAK, lub zrezygnować - NIE. Po akceptacji ukazuje się ekran pomiaru łąty wstecz - poprzednie wartości odczytów i obliczeń zostają zastąpione nowymi.



Rys. 35

Po zakończeniu całego pomiaru, zapisane w pamięci instrumentu wyniki pomiarów można przesłać do komputera (transmisja danych) wyposażonego w odpowiednie oprogramowanie, a następnie wykonać niezbędne dalsze obliczenia.

2

Tachimetry

2.1. Elementy obsługi tachimetru

Tachimetria

Według *Wytycznych technicznych G.4.1* tachimetria polega na:

- pomiarze sytuacyjnym X, Y *metodą biegunową*, oraz
 - pomiarze wysokościowym H metodą *niwelacji trygonometrycznej*
- tachimetrem elektronicznym np. **Leica FlexLine TS02** (rys. 36, 37) lub teodolitem z dalmierzem elektrooptycznym.



Rys. 36



Rys. 37

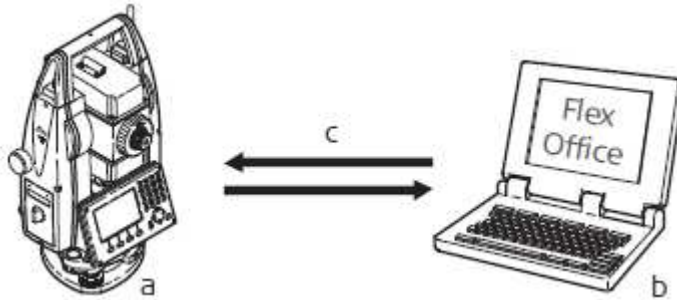
Tachimetr

Tachimetr np. **Leica FlexLine TS02** jest instrumentem geodezyjnym przeznaczonym do:

- wykonywania pomiarów sytuacyjnych X, Y i wysokościowych H (tachimetria):
 - szczegółowych: *sporządzanie map*,
 - realizacyjnych: *geodezyjna obsługa budownictwa*,
 - inwentaryzacyjnych: *realizacyjne powykonawcze, dokumentacja architektoniczna*
 - katastralnych: *geodezyjna obsługa gospodarki nieruchomościami*
- pomiaru osnów geodezyjnych,
- geodezyjnej obsługi wznoszenia budowli
- pomiaru przemieszczeń i odkształceń obiektów budowlanych.

Składowe systemu tachimetrycznego

Tachimetry Leica FlexLine serii TS02/TS06/TS09 są przeznaczone do pomiaru, obliczeń i rejestracji danych. Są wyposażone w wewnętrzne oprogramowanie **FlexField** zawierające standardowy pakiet programów pomiarowych jak również szereg opcjonalnych. Poszczególne typy posiadają różną dokładność, co pozwala na dopasowanie instrumentu do potrzeb. Każdy instrument serii może współpracować z oprogramowaniem **FlexOffice** zainstalowanym na komputerze (rys. 38b) aby przeglądać, wymieniać i zarządzać danymi. Transmisja danych (rys. 38c) może odbywać się za pomocą kabla RS232, portu Bluetooth, nośnika USB lub kabla USB.



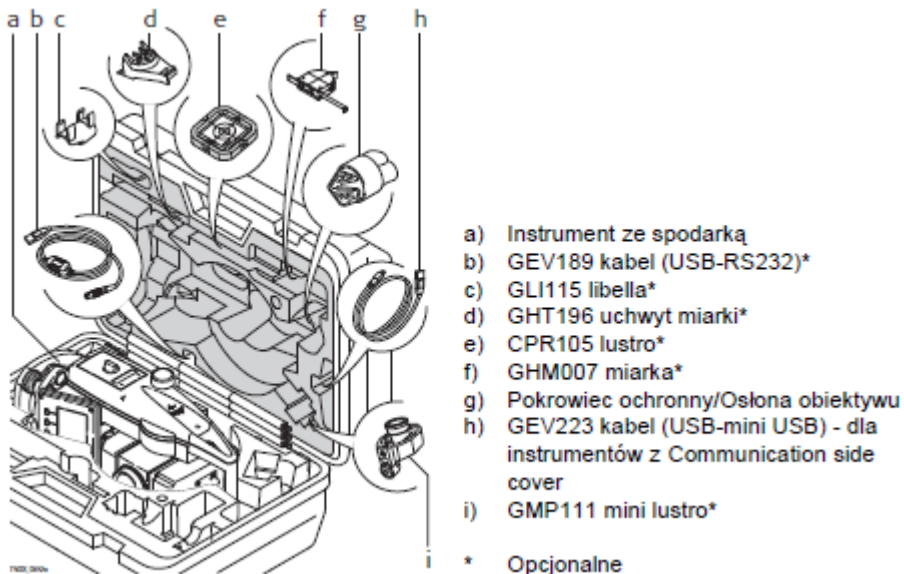
Rys. 38

Zawartość pojemnika

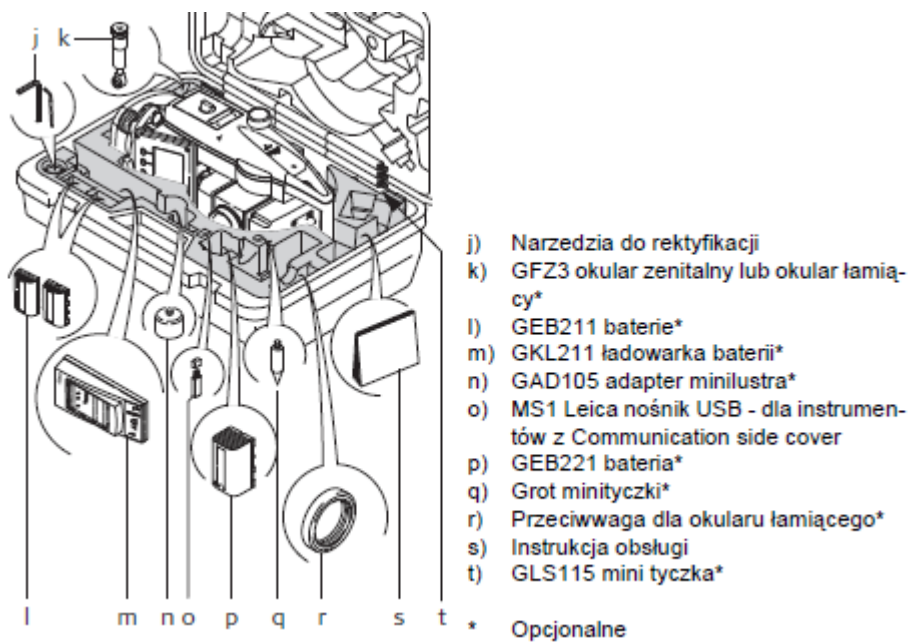
Wyszczególnienie zawartości pojemnika tachimetru podane jest na rysunkach 39, 40.

Elementy obsługi tachimetru

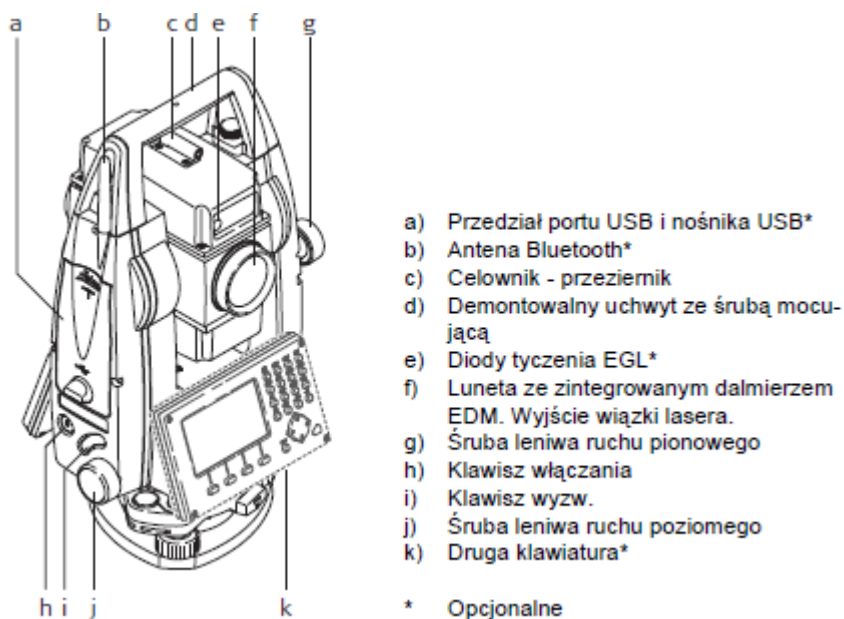
Wyszczególnienie części tachimetru przeznaczonych do jego obsługi podane jest na rysunkach 41-43.



Rys. 39



Rys. 40

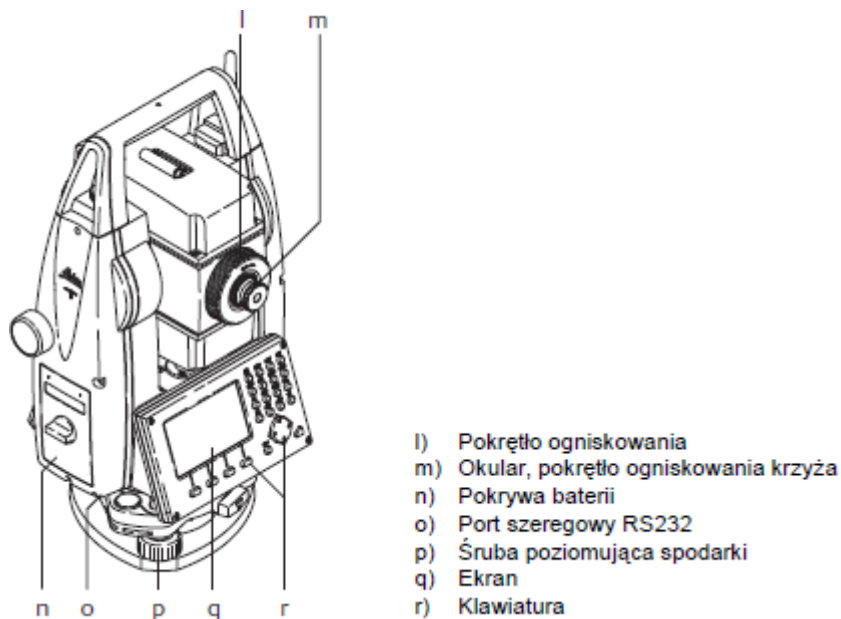


Rys. 41

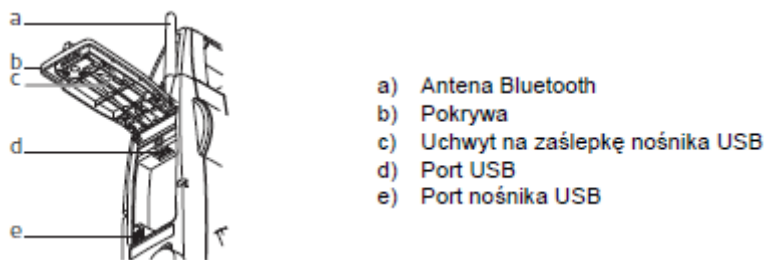
Osie główne tachimetru

Osiami głównymi tachimetru są (rys. 44, 45):

- pionowa oś obrotu tachimetru *i*,
- pozioma oś obrotu lunety *j* - prostopadła do osi obrotu tachimetru (*warunek inklinacji*)
- oś celowa *k* - przechodząca przez środek optyczny teleobiektywu i środek krzyża kresek lunety - prostopadła do osi obrotu lunety (*warunek kolimacji*).



Rys. 42



Rys. 43

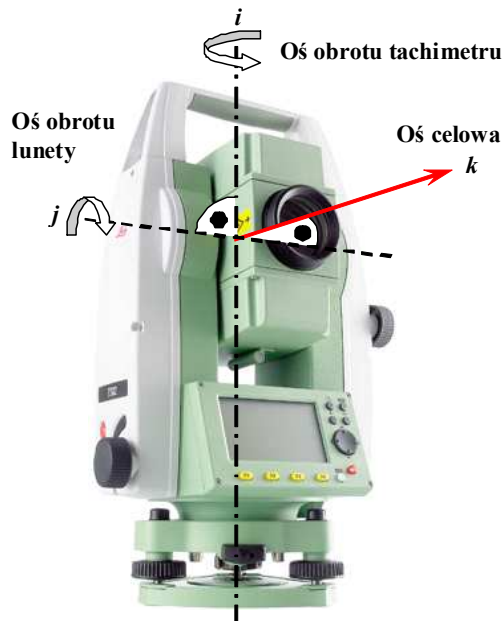
Wielkości mierzone bezpośrednio

Wielkościami mierzonymi bezpośrednio za pomocą tachimetru są (rys. 44, 45):

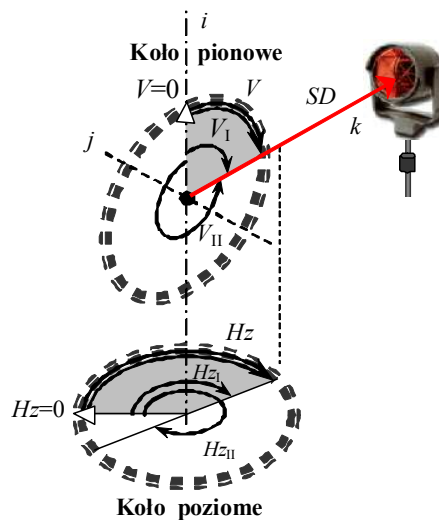
- kąt pionowy V (*Vertical*) - między osią obrotu tachimetru a osią celową, mierzony elektronicznie na kole pionowym, punktem początkowym jest indeks koła pionowego $V = 0$,
- kierunek poziomy H_z (*Horizontal*) - jest kątem mierzonym elektronicznie między kierunkiem zera- indeksem koła poziomego $H_z = 0$, a rzutem osi celowej na kole poziomym.
- odległość przestrzenna SD (*Spatial Distance*) między środkiem geometrycznym tachimetru - punktem przecięcia osi osi obrotu tachimetru i lunety, a punktem celowania - zwykle środkiem reflektora.

Wartości kąta pionowego i poziomego są czytane elektronicznie na kole pionowym i poziomym w tak zwanym pierwszym położeniu lunety: $V = V_I$, $H_z = H_{zI}$ (rys. 45).

Obracając lunetę przez zenit o 180° a następnie w płaszczyźnie poziomej o 180° i celując z powrotem na wybrany punkt wykonywane są odczyty w drugim położeniu lunety H_{zII} , V_{II} skąd: $V = 360^\circ - V_{II}$, $H_z = H_{zII} \pm 180^\circ$. Średnie wartości kąta pionowego i kierunku poziomego z pierwszego i drugiego położenia lunety: $V = (V_I + 360^\circ - V_{II})/2$, $H_z = (H_{zI} + H_{zII} \pm 180^\circ)/2$ są pozbawione niektórych błędów instrumentalnych.



Rys. 44



Rys. 45

Klawiatura

Instrumenty Leica FlexLine z serii TS02/TS06/TS09 mogą być opcjonalnie wyposażone w klawiaturę podstawową (rys. 46) lub alfanumeryczną.

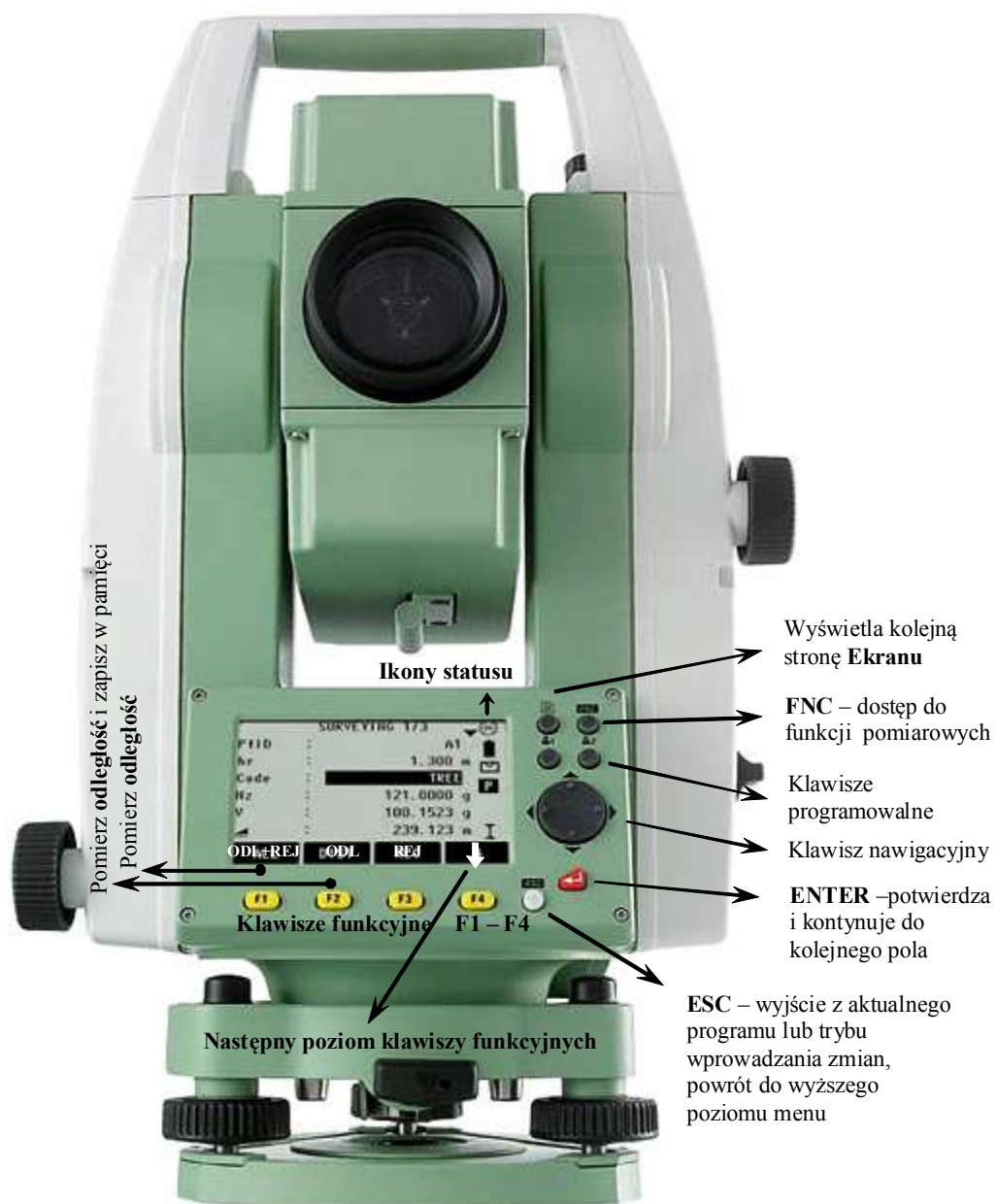
Tachimetry zmotoryzowane

Tachimetry zmotoryzowane są wyposażone w serwomotory i sensory do automatycznego naprowadzania lunety na reflektor. Obsługa takich tachimetrów, np. **Leica TPS 1200** (rys. 48), **Trimble 5600** lub **Topcon AP-L1A** może się odbywać z poziomu instrumentu lub zdalnie - jednoosobowo z poziomu reflektora.

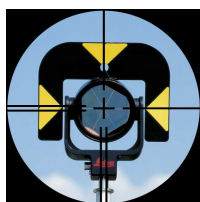
Tachimetr zmotoryzowany **Leica TPS 1200** (rys. 48) jest wyposażony w sensor automatycznego naprowadzania lunety na cel **PS (Power Search)**. Po jego uaktywnieniu tachimetr rozpoczyna obrót wokół osi pionowej z prędkością $45^\circ/\text{s}$, jednocześnie nadajnik sensora PS wysyła *pionową niewidzialną wiązkę laserową* o wysokości 36° i szerokości $1.35'$. Odbita wiązka jest odbierana przez kamerę cyfrową CCD. Po rozpoznaniu reflektora na zdjęciu CCD obrót tachimetru zostaje zatrzymany. Sensor **PS** działa w zakresie od 1.5 m, w zależności od użytego reflektora (rys. 47) do: pryzmat standardowy (GPR1) 200 m, pryzmat 360° (GRZ4) 200 m, mini pryzmat (GMP101) 100 m. Czas poszukiwania w pełnym obszarze 360° nie przekracza 10 s.

W wyniku automatycznego wyszukania pryzmatu za pomocą sensora **PS** lub ręcznego naprowadzenia lunety na pryzmat za pomocą celownika zamontowanego na lunecie, pryzmat znajdzie się w polu widzenia lunety (rys. 48). W tym momencie sensor automatycznego rozpoznania celu **ATR (Automatic Target Recognition)** wysyła niewidzialną wiązkę lasera współosiowo z obiektywem. Odbity promień jest odbierany przez kamerę cyfrową CCD. Na otrzymanym zdjęciu cyfrowym zidentyfikowane jest położenie środka pryzmatu i środka krzyża kresek oraz obliczane są wielkości przesunięcia poziomego (ΔHz) i pionowego (ΔV) o jakie serwomotory automatycznie przemieszczają lunetę, kierując środek krzyża kresek na punkt centralny reflektora.

Po naprowadzeniu osi celowej na środek reflektora wykonane zostaje nowe zdjęcie CCD. Na podstawie poziomej i pionowej składowej aktualnego przesunięcia - które nie powinno przekraczać 5 mm, są obliczane poprawki do mierzonych kątów poziomego Hz i pionowego V . W ten sposób kąty poziomy i pionowy zmierzone do środka krzyża kresek są redukowane do punktu centralnego na reflektorze. Jeżeli wspomniane przesunięcie jest większe od 5 mm, a reflektor jest ustawiony prawidłowo oraz warunki zewnętrzne są dobre oznacza to, że należy skalibrować moduł **ATR**.



Rys. 46



Pryzmat standardowy GPR1,
stała dodawania 0.0 m

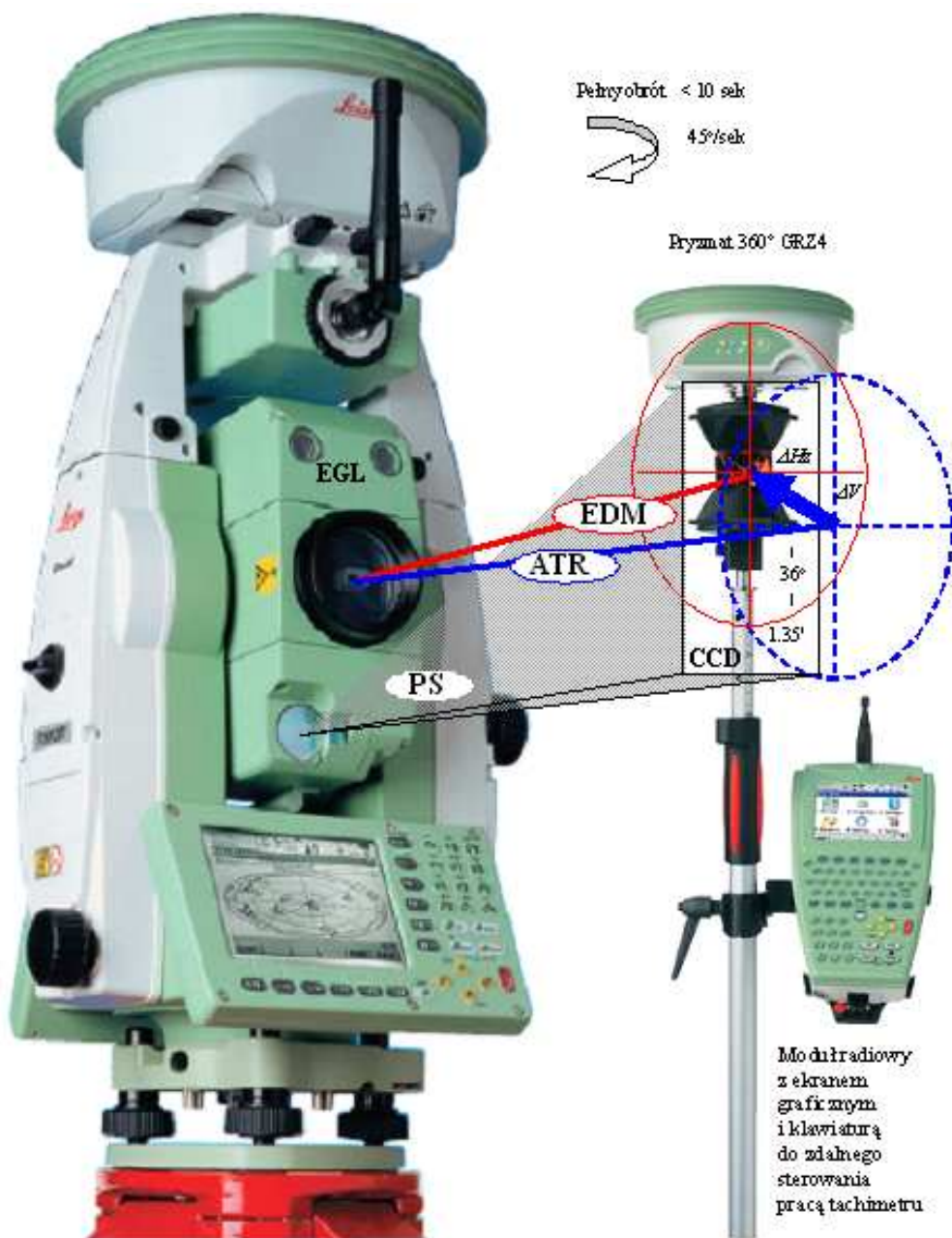


Pryzmat precyzyjny GPH1P,
stała dodawania 0.0 m



Folia odbłaskowa 60 mm × 60 mm,
stała dodawania 34.4 m

Rys. 47



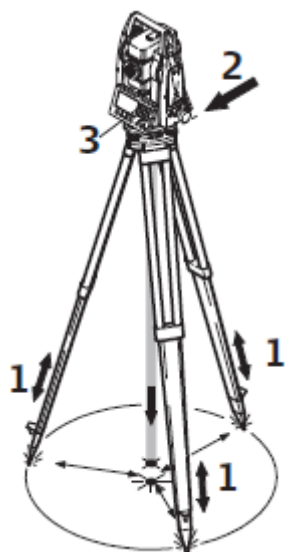
Rys. 48

2.2. Centrowanie i poziomowanie

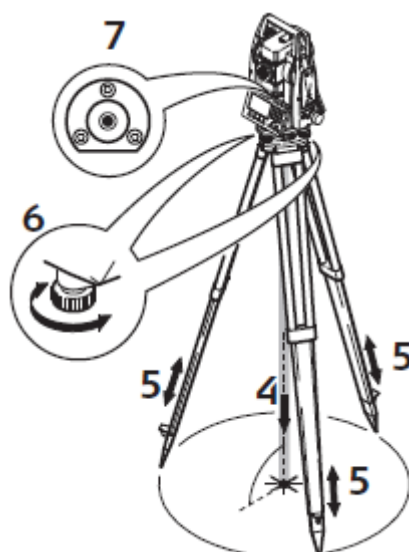
Ustawienie tachimetru

Centrowanie i poziomowanie nad punktem na przykład osnowy poziomej geodezyjnej III klasy 453.334.1165 przebiega następująco (rys. 49, 50):

1. Rozstaw nogi statywu by umożliwić wygodną pracę. Ustaw statyw nad zaznaczonym punktem, scentruj go tak dokładnie jak jest to możliwe.
2. Zamontuj spodarkę i instrument na statywie.
3. Włącz instrument za pomocą przycisku na obudowie (rys. 41), i jeśli kompensator jest włączony to automatycznie włączy się pionownik laserowy i włączy się ekran **Libella/Pionownik**. Jeśli kompensator jest wyłączony wciśnij **FNC** a następnie **Libella/pionownik**.



Rys. 49



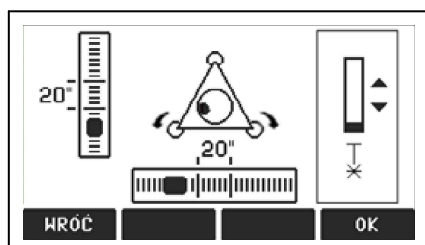
Rys. 50

4. Przesuń nogi statywu (1) i użyj śrub ustawczych spodarki (6) by scentrować pionownik laserowy (4) nad punktem.
5. Ustaw nogi statywu (5) tak, by spoziomować libelę pudełkową (7).
6. Używając śrub ustawczych spodarki (6) spoziomuj libelę elektroniczną w celu precyzyjnego spoziomowania instrumentu - patrz temat poniżej **Poziomowanie przy pomocy libeli elektronicznej**.
7. Scentruj instrument dokładnie nad punktem przesuwając spodarkę po głowicy statywu (2).
8. Powtarzaj kroki 6 i 7 do momentu osiągnięcia wymaganej dokładności.

Poziomowanie przy pomocy libeli elektronicznej

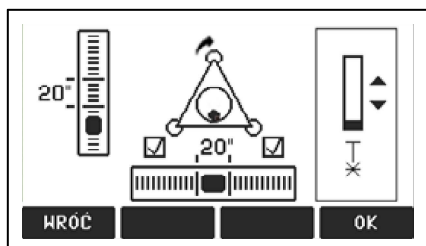
Libela elektroniczna służy do precyzyjnego poziomowania instrumentu przy pomocy śrub spodarki:

1. Obróć instrument tak, aby był równoległy do dwóch śrub spodarki.
2. Spoziomuj instrument wstępnie przy pomocy libelli pudełkowej.
3. Włącz instrument. Jeśli kompensator jest włączony to automatycznie włączy się pionownik laserowy i włączy się ekran **Libella/Pionownik**. Jeśli kompensator jest wyłączony wciśnij **FNC**, a następnie **Libella/pionownik**. "Pęcherzyk" libelli elektronicznej i kierunek kręcenia śrub spodarki pojawia się jedynie w pewnym zakresie (rys. 51).



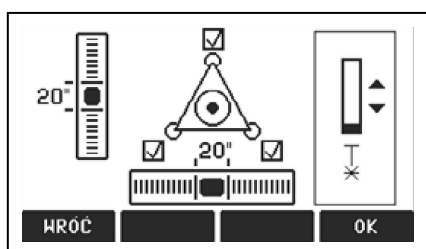
Rys. 51

4. Spoziomuj libelę elektroniczną w osi tych dwóch śrub, kręcąc zgodnie ze strzałkami na wyświetlaczu. Kiedy libella zostanie spoziomowana, strzałki zastąpi symbol oznaczenia.



Rys. 52

5. Doprowadź pęcherzyk do górowania kręcąc ostatnią śrubą. Strzałka wskaże kierunek. Strzałkę zastąpi symbol oznaczenia.

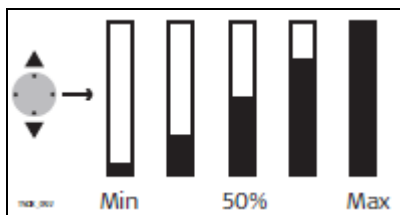


Rys. 53

6. Jeśli na wyświetlaczu widoczne są trzy symbole "V" - instrument jest spoziomowany. Zatwierdź klawiszem **OK**.

Zmiana intensywności pionownika laserowego

Warunki zewnętrzne oraz rodzaj powierzchni mogą wymagać dostosowania intensywności lasera (rys. 54):



Rys. 54

W oknie **Libella/pionownik** można dostosować intensywność świecenia używając klawisza nawigacyjnego. Intensywność może być zmieniana w przedziałach co 25%.

Menu główne tachimetru

Po spoziomowaniu tachimetru na ekranie ukazuje się *menu główne* (rys. 55).

Naprowadzenie przybliżone lunety na punkt orientacji tachimetru

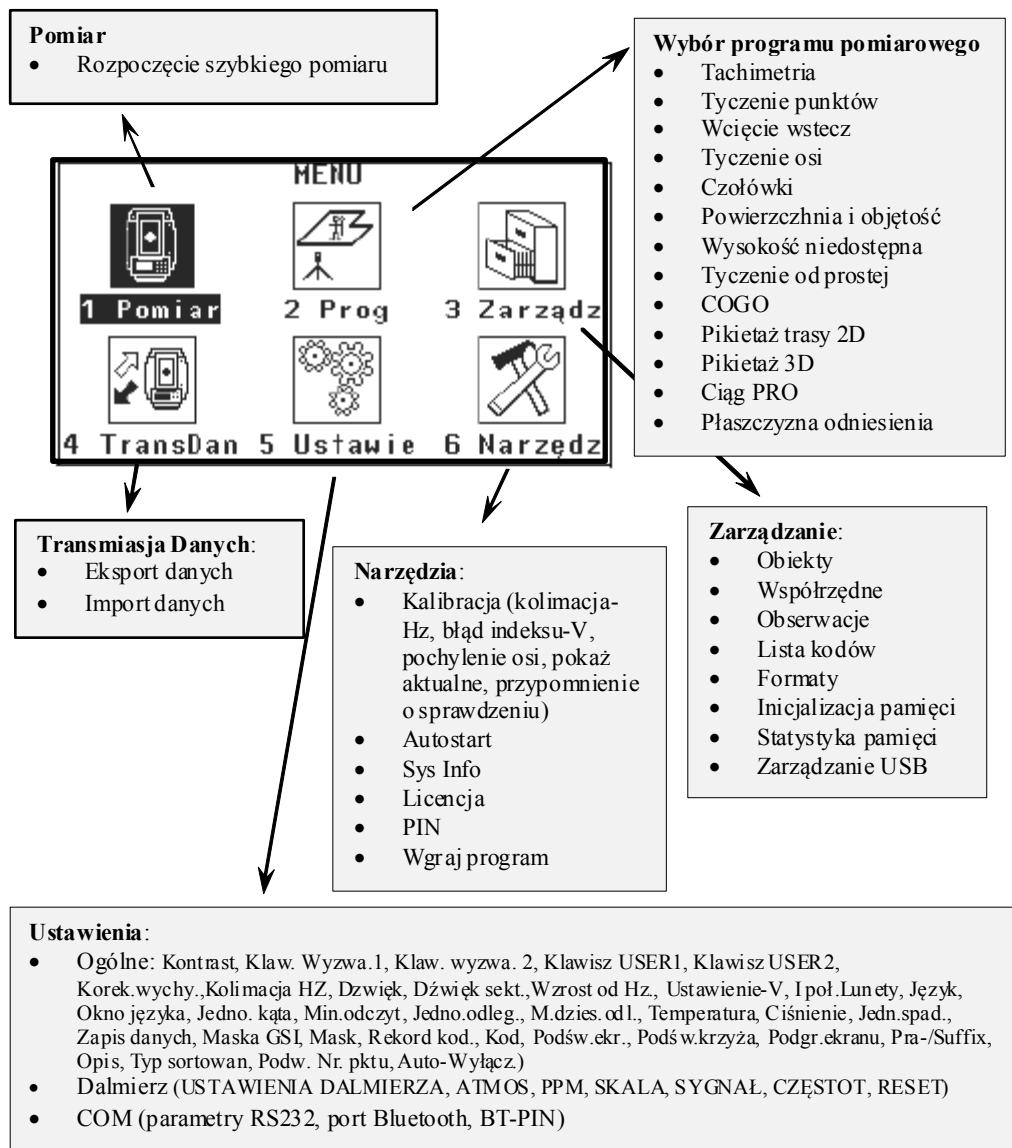
Luneta tachimetru Leica FlexLine charakteryzuje się parametrami:

- powiększenie 30-krotne - jest to stosunek kąta widzenia obrazu w luncie do kąta widzenia przedmiotu okiem nie uzbrojonym,
- pole widzenia lunety 2.7 m w odległości 100 m - jest to kąt rozwartości stożka pod jakim można obserwować przedmioty przez lunetę,
- najkrótsza celowa 1.7 m,
- średnica obiektywu 40 mm.

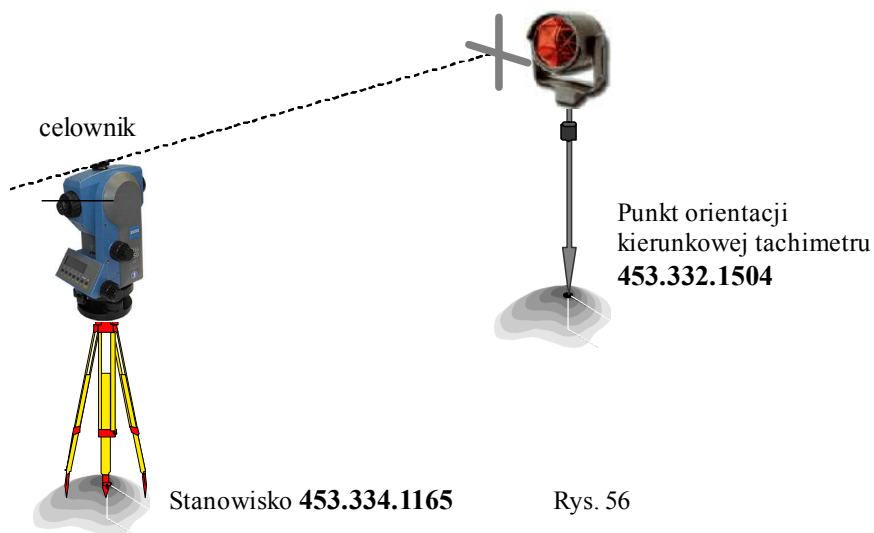
W pierwszym przybliżeniu luneta jest naprowadzana za pomocą celownika (rys. 56) na reflektor ustawiony na punkcie orientacji poziomej **453.332.1504**.

Ustawienie ostrości krzyża kresek

Do precyzyjnego naprowadzania lunety na cel w luncie jest umieszczona w stałej odległości od obiektywu płytka szklana z wyrysowanym krzyżem kresek. Ostre widzenie krzyża kresek jest ustalane w wyniku przemieszczenia okularu względem płytki z krzyżem kresek za pomocą *pokrętła ostrości krzyża kresek*.



Rys. 55



Rys. 56

Ustawienie ostrości obrazu

Po naprowadzeniu lunety obraz reflektora widziany w lunecie na ogół nie będzie ostry. Oznacza to, że obraz reflektora znajduje się poza płytką z krzyżem kresek.

Obraz ten jest naprowadzany na płytkę za pomocą przesuwanego wzdłuż osi celowej układu soczewek ogniskujących znajdujących się między obiektywem a płytką z krzyżem kresek. Do tego celu służy *pokrętło ostrości obrazu* (rys. 42)

Obiektyw wraz z układem ogniskującym jest nazywany *teleobiektywem*. Prosta przechodząca przez środek optyczny teleobiektywu i środek krzyża kresek jest *osią celową lunety*.

Układ optyczny lunety jest skonstruowany tak, aby obraz był prosty i pozbawiony błędów takich jak:

- aberracje optyczne: *chromatyczna, sferyczna, koma* i *astygmatyzm* - wynikające z rozszczepienia światła białego przechodzącego przez soczewkę na barwy o różnych długościach, które ulegają załamaniu pod różnymi kątami.
- krzywizna obrazu - obraz nie jest płaski lecz sferyczny, w najbliższym otoczeniu osi celowej jest ostry, dalej rozmyty.
- dystorsja obrazu - powiększenie obrazu nie jest stałe, zmienia się radialnie od osi.

Dokładne naprowadzenie krzyża kresek na środek reflektora

Po przybliżonym naprowadzeniu krzyża kresek na reflektor za pomocą celownika oraz po ustaleniu ostrości obrazu dokładne naprowadzenie krzyża kresek na środek reflektora następuje za pomocą śrub ruchu leniwego poziomego i pionowego (rys. 41, 46).

2.3. Poprawka za refrakcją

Refrakcja

Refrakcja jest zjawiskiem zakrzywienia promieni świetlnych w atmosferze (rys.57).

Według Gay-Lussaca warstwy powietrza znajdujące się bliżej Ziemi mają większą gęstość niż warstwy znajdujące się wyżej. Według Snelliusa kąt padania promienia świetlnego przebiegającego od reflektora do tachimetru jest na granicy warstw większy od kąta załamania. W efekcie promień podąża wzdłuż *krzywej refrakcyjnej*, której pierwszym przybliżeniem jest łuk koła o promieniu r (rys. 57)

Oś celowa lunety nie jest więc skierowana wzdłuż prostej łączącej środek tachimetru z środkiem reflektora lecz stycznie do krzywej refrakcyjnej.

Zatem, pomierzony kąt pionowy V , jak również obliczona na jego podstawie odległość pozioma HD i wysokość środka reflektora nad środkiem tachimetru z odnoszą się do stycznej do krzywej refrakcyjnej a nie do prostej łączącej środek tachimetru ze środkiem reflektora.

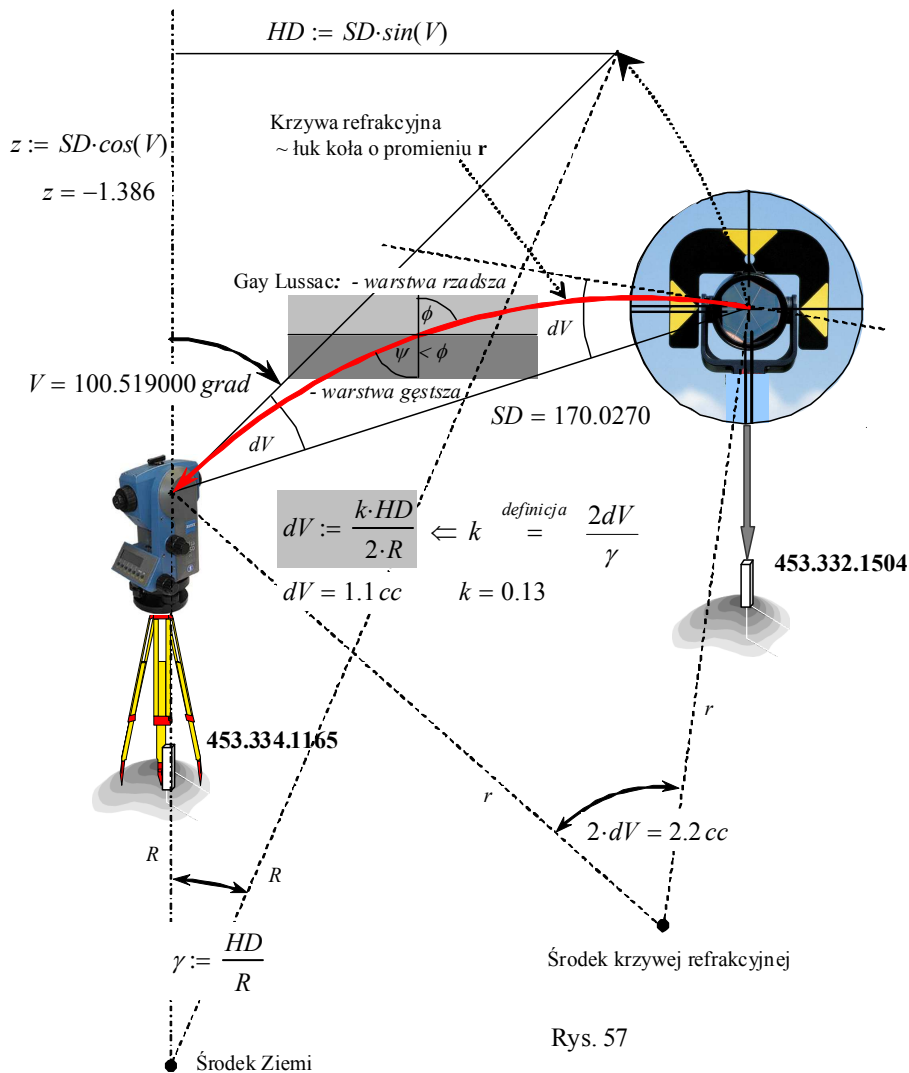
Współczynnik refrakcji

Stosunek kąta łuku krzywej refrakcyjnej $2dV$ do kąta środkowego kuli ziemskiej $\gamma = D/R$, jest nazywany *współczynnikiem refrakcji*: $k = 2dV/\gamma \approx 2dVR/D$. Standardowo przyjmuje się, że nad lądami $k := 0.13$, a nad wodami $k = 0.16$. W rzeczywistości na ogół występują znaczne odstępstwa od tych wartości.

Kąt refrakcji

Kąt refrakcji dV - między osią celową lunety (styczną do krzywej refrakcyjnej) a prostą łączącą środek tachimetru ze środkiem reflektora jest wyrażany za pomocą współczynnika refrakcji: $dV = kHD/2R$.

Poprawka dV kąta pionowego V za refrakcję $k_r := 0.13$ - współczynnik refrakcji
 $R := 6371000$ - średni promień Ziemi



Rys. 57

Promień krzywej refrakcyjnej

Dla celowych poziomych $V \approx 100$ grad współczynnik refrakcji jest równy stosunkowi promienia Ziemi R do promienia krzywej refrakcyjnej r : $k = 2dV / \gamma = SD / r = R / r$, zatem promień krzywej refrakcyjnej jest w przybliżeniu osiem razy większy od promienia Ziemi: $r \approx 8R$ (rys. 57).

Poprawki odległości poziomej i przewyższenia za refrakcję

Poprawki refrakcyjne dD_r - odległości poziomej HD i dh_r - przewyższenia reflektora nad środkiem geometrycznym punktem stanowiska tachimetru z są składowymi poziomą i pionową przemieszczenia liniowego reflektora $dV_r = dV \cdot SD$ (rys. 58) wynikającego z kąta refrakcji $dV = kHD / 2R$: $dD_r =$

$$dV_r \cos V = kHDz / 2R, \quad dh_r = dV_r \sin V = kHD^2 / 2R.$$

Kąt refrakcji

$$dV_r := \frac{k \cdot HD}{2 \cdot R}$$

$$dV_r := dV \cdot SD$$

Poprawki za refrakcję

$$dh_r := \frac{k \cdot HD^2}{2 \cdot R}$$

$$dD_r := \frac{k \cdot HD \cdot z}{2 \cdot R}$$

Poprawki za krzywiznę Ziemi

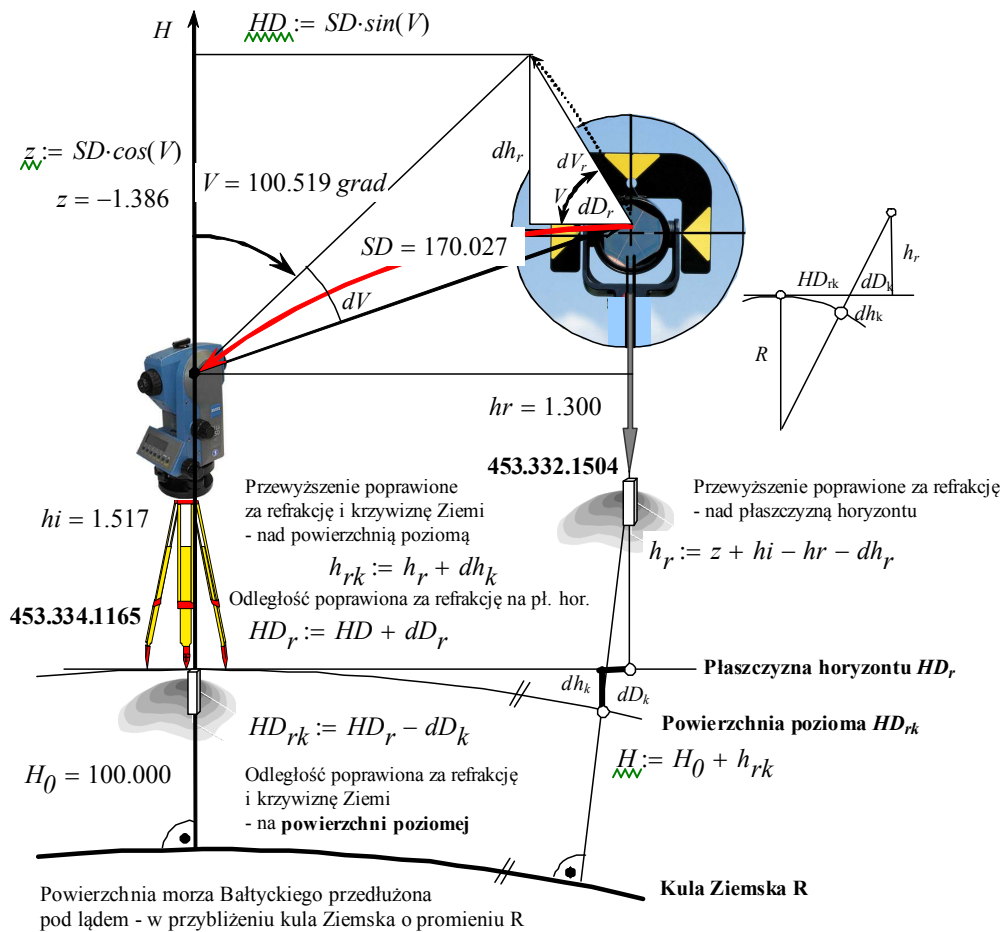
$$dh_k := \frac{HD^2}{2 \cdot R}$$

$$dD_k := \frac{HD \cdot z}{R}$$

2.4. Poprawka za krzywiznę Ziemi

Poprawki odległości poziomej i wysokości

Odległość pozioma HD_r i wysokość h_r mierzonego punktu - poprawione za refrakcję, odniesione są do *plaszczyny horyzontu* przechodzącej przez stanowisko tachimetru (rys. 58).



Rys. 58

Wprowadzając poprawki za krzywiznę Ziemi otrzymuje się odległość poziomą $HD_{rk} = HD_r - dD_k$ i wysokość $h_{rk} = h_r + dh_k$ - odniesione do *powierzchni poziomej* w przybliżeniu kulistej o promieniu R przechodzącej przez stanowisko tachimetru (rys. 58):

- poprawka dh_k wynika ze wzoru Pitagorasa $R^2 + HD_{rk}^2 = (R + dh_k)^2$:

$$dh_k = (R^2 + HD_{rk}^2)^{1/2} - R \approx HD_{rk}^2 / 2R.$$

- poprawka dD_k wynika ze wzoru Talesa $dD_k / h_r = HD_{rk} / R$: $dD_k \approx HD_{rk} h_r / R$.

Niwelacja trygonometryczna

Poprawiona za refrakcję i krzywiznę Ziemi wysokość mierzonego punktu nad punktem stanowiska tachimetru h_{rk} - nazywana *przewyższeniem trygonometrycznym* (rys. 58), jest

równa przewyższeniu geometrycznemu mierzonemu za pomocą niwelatora.
Pomiar przewyższenia za pomocą tachimetru jest nazywany **niwelacją trygonometryczną**.

Wytyczne techniczne

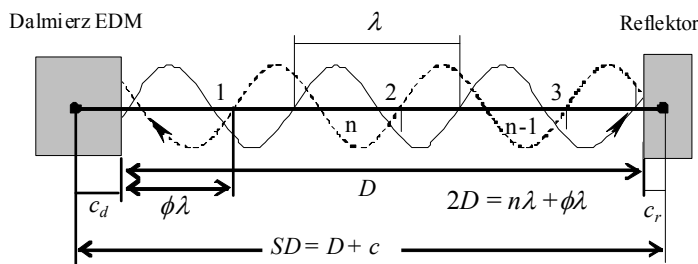
Przy niwelacji trygonometrycznej należy zachować następujące warunki
(Wytyczne techniczne G-4.1):

- błąd średni pomiaru odległości 0,01 m,
- błąd średni pomiaru kąta pionowego 6" (20cc),
- kąty pionowe należy mierzyć w dwóch seriach,
- długości celowych 100 m,
- błąd średni pomiaru wysokości instrumentu 0,002 m,
- błąd średni pomiaru wysokości tarczy celowniczej zwierciadła 0,002m.
- Różnica przewyższeń między sąsiednimi punktami ciągu, otrzymanych z dwustronnych obserwacji nie powinna przekroczyć 0,004 m.

2.5. Poprawka atmosferyczna odległości

Pomiar odległości za pomocą dalmierza EDM

Dalmierz EDM wysyła współosiowo przez obiektyw *widoczną czerwoną wiązkę lasera* - falę elektromagnetyczną o długości $\lambda = c/f$ (rys. 59) gdzie: f - dana częstotliwość fali, c - prędkość światła w atmosferze odnoszącą się do standardowych parametrów atmosfery Leica: 1013.25 mbar, 12° C i 60 % wilgotności względnej.



$$c = c_d + c_r - \text{stała dodawania instrumentu}$$

Rys. 59

Fala po odbiciu od reflektora jest odbierana przez dalmierz. Droga fali $2D$ jest równa sumie n -odcinków fali $n\lambda$ i reszty $\phi\lambda$:

$$2D = n\lambda + \phi\lambda$$

gdzie ϕ jest przesunięciem fazy fali powrotnej względem wysłanej (w cyklach) pomierzonym przez dalmierz.

Dalmierz wysyła serię trzech lub czterech fal o różnych częstotliwościach, w efekcie zestawiane są trzy lub cztery równania obserwacyjne o postaci

$$\mathbf{v} = \mathbf{Ax} + \mathbf{l}$$

$$\begin{aligned} v_1 &= n\lambda_1 + \phi_1\lambda_1 - 2D \\ v_2 &= n\lambda_2 + \phi_2\lambda_2 - 2D \\ v_3 &= n\lambda_3 + \phi_3\lambda_3 - 2D \\ v_4 &= n\lambda_4 + \phi_4\lambda_4 - 2D \end{aligned} \quad \begin{bmatrix} v_1 \\ v_2 \\ v_3 \\ v_4 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -2 & \lambda_1 \\ -2 & \lambda_2 \\ -2 & \lambda_3 \\ -2 & \lambda_4 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} D \\ n \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \phi_1\lambda_1 \\ \phi_2\lambda_2 \\ \phi_3\lambda_3 \\ \phi_4\lambda_4 \end{bmatrix}$$

gdzie v_1, v_2, v_3, v_4 są odchyłkami - błędami przypadkowymi pomiaru.

Układ ten jest rozwiązywany względem wyznaczanych parametrów D, n metodą

najmniejszych kwadratów $\mathbf{v}^T \mathbf{v} = \min: \mathbf{x} = \begin{bmatrix} D \\ n \end{bmatrix} = -(\mathbf{A}^T \mathbf{A})^{-1} \mathbf{A}^T \mathbf{l}$

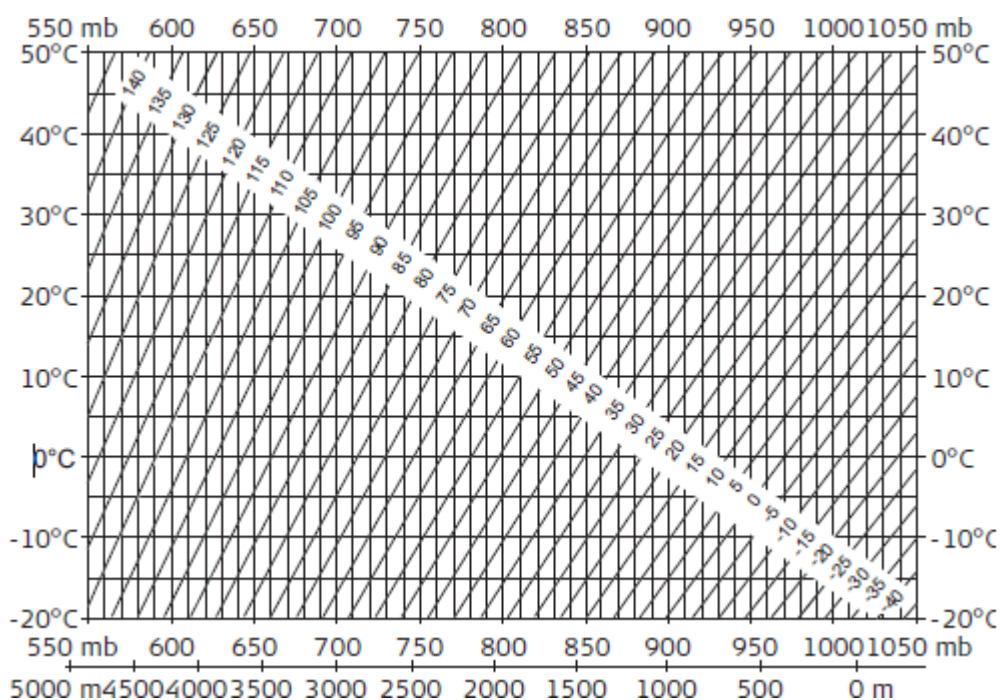
Poprawka atmosferyczna odległości

Pomiar odległości jest bezpośrednio związany z warunkami atmosferycznymi, w których został wykonany. Prędkość światła w atmosferze c nie jest stała, zależy głównie od temperatury t , ciśnienia p i wilgotności powietrza w . Parametry atmosfery w czasie pomiaru są zwykle różne od wspomnianych standardowych parametrów atmosfery Leica (t, p, w). Inna jest więc rzeczywista prędkość światła w atmosferze c .

Na rys. 60 podany jest wykres poprawki atmosferycznej w ppm (mm/km)

w zależności od temperatury, ciśnienia i wysokości, przy 60 % wilgotności względnej.

Dla parametrów standardowych Leica: 1013.25 mbar, 12° C, 60 % wilgotności względnej, poprawka atmosferyczna odległości wynosi 0 ppm.



Rys. 60

Błąd średni pomiaru odległości

Błąd średni pomiaru odległości dany jest wzorem: $m_{SD} = a + b$ ppm

Tryb pomiaru	Odchylenie std.	Czas pomiaru
IR-Standard	1.5 mm+2 ppm	2.4 s
IR-Szybki	3 mm+2 ppm	0.8 s
IR-Tracking	3 mm+2 ppm	<0.15 s
folia	5 mm+2ppm	2.4 s

gdzie:

a - czynnik stały zawierający błędy instrumentalne i błąd poprawek instrumentalnych dalmierza,

b - czynnik proporcjonalny do odległości zawierający błąd wyznaczenia prędkości rozchodzenia się fal elektromagnetycznych w próżni, błąd wyznaczenia prędkości rozchodzenia się fal elektromagnetycznych w atmosferze - w aktualnych warunkach pomiarowych, błąd wyznaczenia częstotliwości wzorcowej i błąd przesunięcia fazowego przy słabym sygnale.

2.6. Ustawienie poprawki odwzorowawczej

Uruchomienie programu tachimetria

Po dokonanych ustawieniach stanowiska, orientacji i dalmierza uruchomiany zostaje za pomocą klawisza funkcyjnego **F4 - Start** program pomiarowy TACHIMETRIA (rys. 61-63).

Przed przystąpieniem do pomiarów punktów należy jeszcze obliczyć i wprowadzić do pamięci tachimetru poprawkę **PPM skali** redukcji odległości na płaszczyznę mapy oraz wykonać pomiary sprawdzające wprowadzone ustawienia.

TACHIMETRIA 1/3		
P+Nr :	4533321504	
hr :	1.300 m	
Koment :	-----	
Hz :	6.5906 g	
V :	100.5190 g	
SD :	170.027 m	
ODL+REJ	DALM	WPISZ

Rys. 61

- ↓ **IndywnNR** - aby nadać indywidualny numer dla mierzonego punktu lub wrócić do numeracji domyślnej.
- ↓ **DANE** - aby obejrzeć dane pomiarowe
- ↓ **KOD** - aby znaleźć/wprowadzić kod.
- ↓ **SZ-Kod** - aby włączyć szybkie kodowanie

TACHIMETRIA 2/3		
P+Nr :	4533321504	
hr :	1.300 m	
Koment :	-----	
Hz :	6.5906 g	
HD :	170.021 m	
h :	-1.167 m	
ODL+REJ	DALM	WPISZ

Rys. 62

Przejęcia do kolejnych stron ekranu 2/3 i 3/3 dokonuje się za pomocą

klawisza:



TACHIMETRIA 3/3		
P+Nr :	4533321504	
hr :	1.300 m	
Koment :	-----	
Y :	6429215.170 m	
X :	5664782.920 m	
H :	98.833 m	
ODL+REJ	DALM	WPISZ

Rys. 63

- ↓ **KOD** by wybrać/wpisać.
- ↓ **STANOW** by wprowadzić dane stanowiska
- ↓ **Hz=0** by ustawić orientację = 0
- ↓ **Hz<=> / Hz=>** by zmienić kierunek wzrostu odczytu z koła poziomego.

Poprawka PPM skali redukcji odległości na płaszczyznę mapy

Stosunek obliczonej odległości na mapie $D = 170.020$ do odległości poziomej pomierzonej w terenie $HD_{rk} = 170.021$ - zapisanej

w katalogu **STANOWISKO 1165** na liście **ObserwOri**, jest **skalą redukcji** długości:

$$m := \frac{D}{HD_{rk}}$$

Skala ta przyjmuje wartości w przybliżeniu równe jedności. Jej odstępstwo od jedności wyrażone w jednostce ppm = mm/km:

$$PPM := m - 1$$

jest poprawką PPM skali na jeden kilometr.

Obliczona poprawka PPM skali jest obciążona błędami położenia punktów Stanowiska i Celu 0.02 m, mającymi wpływ na obliczaną odległość D . Na przykład błąd odległości 0.02 m powoduje znaczną zmianę PPM skali:

$$m := \frac{D - 0.02}{HD_{rk}} \quad PPM := m - 1$$

Z tych powodów do redukcji odległości przyjmuje się zwykle teoretyczną wartość poprawki PPM skali.

Teoretyczna wartość poprawki PPM skali

Układ współrzędnych "2000"

Układ współrzędnych "2000" składa się z czterech układów współrzędnych płaskich prostokątnych X , Y nazywanych *strefami* ponumerowanymi od 5 do 8 (rys. 64).

Pierwsza cyfra współrzędnej Y oznacza numer strefy do której dany punkt należy.

Na przykład, stanowisko tachimetru **453.334.1165** o współrzędnych

$$X_0 = 5664613.810$$

$$Y_0 = 6429197.600$$

znajduje się w strefie **6** (rys. 65).

Podział sekcyjny układu współrzędnych "2000" na arkusze map

Każda strefa jest podzielona na arkusze mapy topograficznej w skali 1:10 000 o wymiarach terenowych 5 km wzdłuż osi x i 8 km wzdłuż osi y , ułożone w *rzędy* i *kolumny* (rys. 65).

Adres arkusza na którym znajduje się stanowisko **453334.1165** - nazywany *godłem mapy*, tworzy grupa trzech liczb rozdzielonych kropkami: **6.148.12** gdzie (rys. 65):

- pierwsza liczba oznacza *numer strefy*,
- druga - *numer rzędu*, który jest liczbą całkowitą ilorazu:

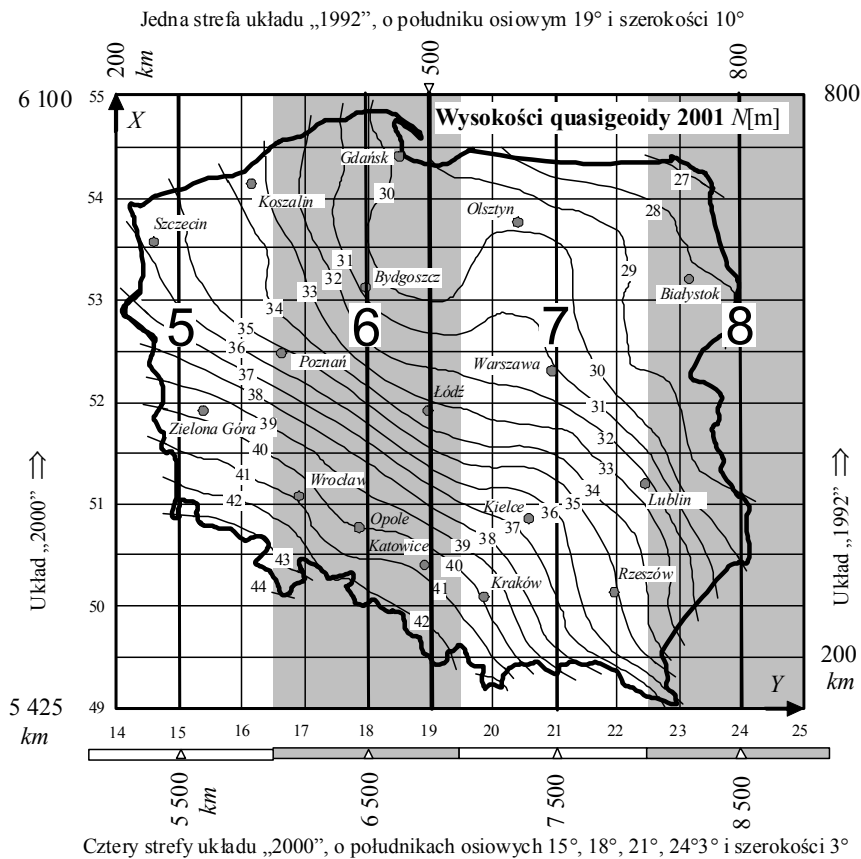
$$\frac{5664 - 4920}{5} = 148.8 \text{ gdzie } 5664 - \text{współrzędna } X_0 \text{ stanowiska w km}$$

- trzecia - *numer kolumny*, który jest liczbą całkowitą ilorazu

$$\frac{429 - 332}{8} = 12.1 \text{ gdzie } 429 - \text{współrzędna } Y_0 \text{ stanowiska w km bez cyfry}$$

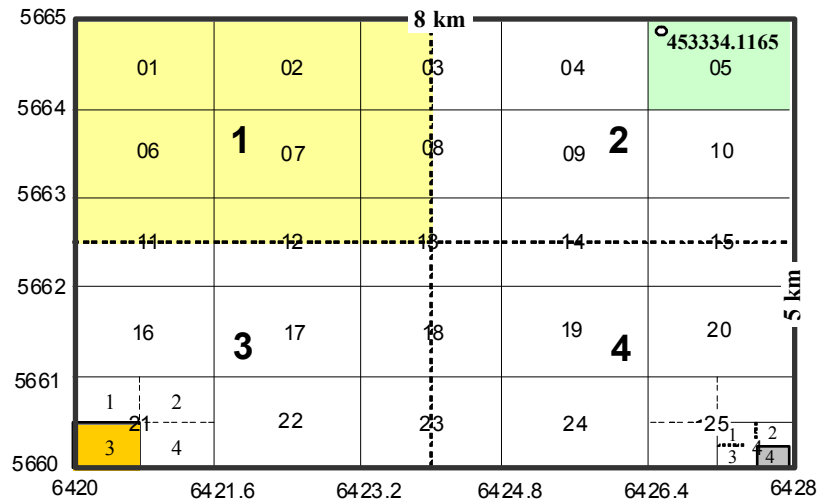
pierwszej oznaczającej numer strefy)

Rozmieszczenie arkuszy mapy zasadniczej w skalach 1:5 000, 1:2 000, 1:1 000 i 1:500 na arkuszu mapy 6.148.12 mapy topograficznej w skali 1:10 000 pokazane jest na rys. 66. Wynika stąd, że punkt stanowiska **453.334.1165** jest położony na arkuszach mapy zasadniczej: 6.148.11.2 w skali 1:5 000, 6.148.11.05 w skali 1:2 000 oraz 6.148.11.05.1 w skali 1:1 000.



Rys. 64

ROZMIESZCZENIE ARKUSZY MAPY ZASADNICZEJ W SKALACH 1:5 000, 1:2 000, 1:1 000, 1:500 NA ARKUSZU 6.148.11 MAPY TOPOGRAFICZNEJ 1:10 000



Liczba arkuszy	Wymiary	Skala	Godło mapy
1	5 × 8 km	1: 10 000	6.148.11
4	2.5 × 4 km	1: 5 000	6.148.11.1
25	1 × 1.6 km	1: 2 000	6.148.11.05
100	0.5 × 0.8 km	1: 1 000	6.148.11.21.3
400	0.25 × 0.4 km	1:500	6.148.11.25.4.4

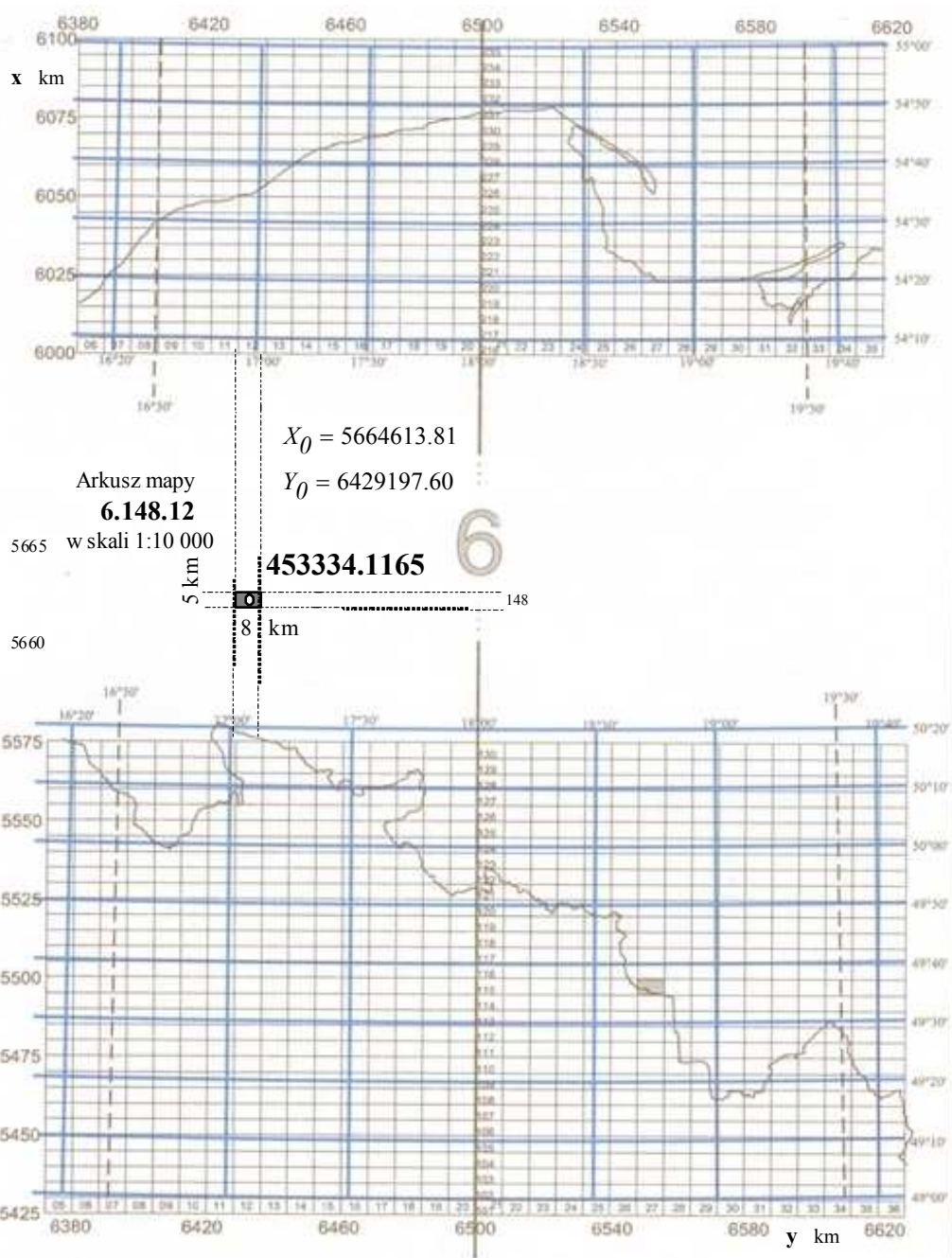
Arkusze drukowane są w formacie 50 × 80 cm

Rys. 66

ROZMIESZCZENIE ARKUSZY MAPY TOPOGRAFICZNEJ 1:10 000 W 4-STREFACH UKŁADU "2000"

7.7 cm/km - *znieszczenie liniowe*, -7.7 cm/km

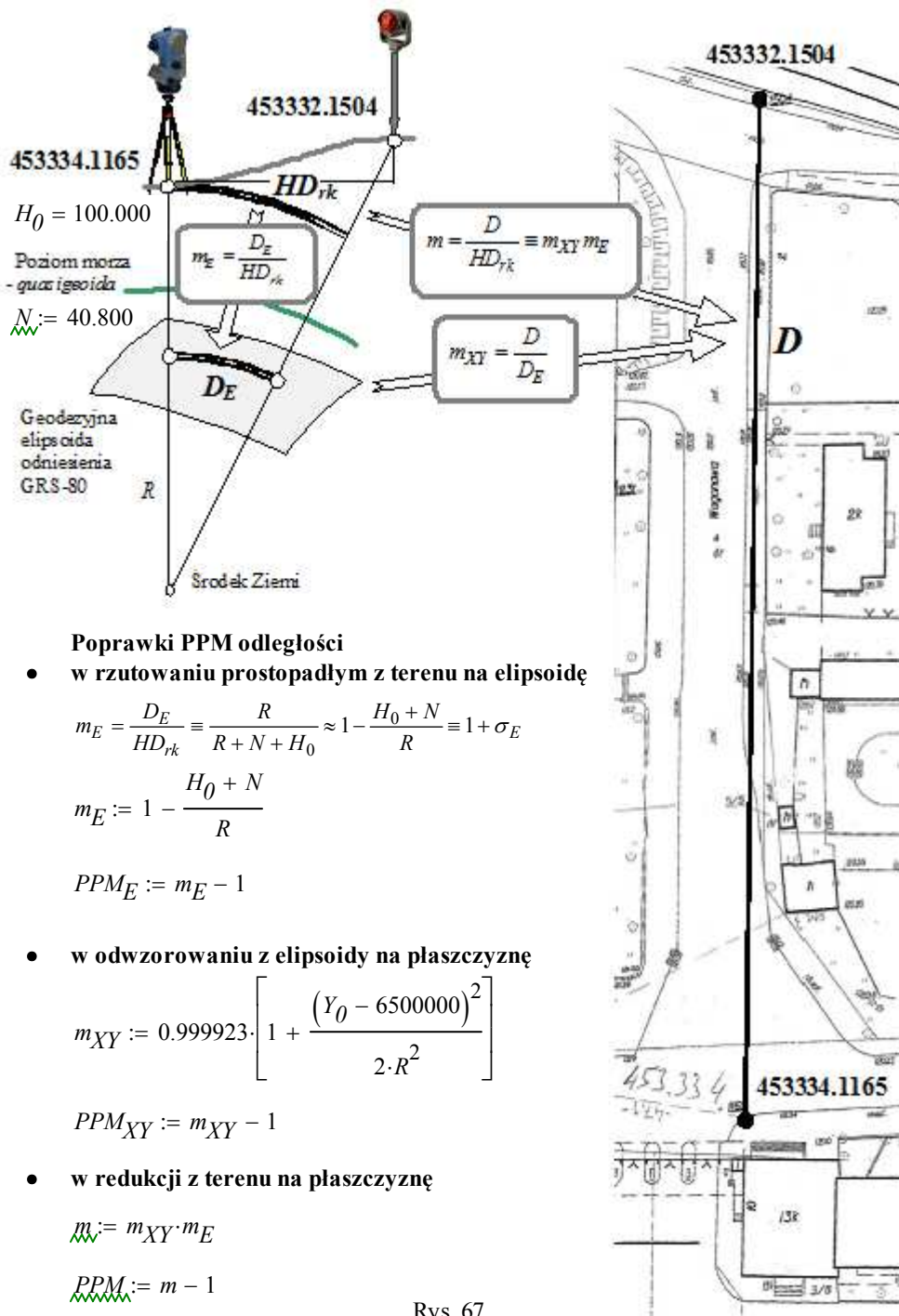
7.7 cm/km



Rys. 65

Poprawki odległości w redukcji z terenu na płaszczyznę układu "2000"

Układ "2000" powstał w wyniku wiernokątnego odwzorowania geodezyjnej elipsoidy GRS-80 - satelitarnego systemu pozycyjnego GPS (Global Positioning System), na płaszczyznę (rys. 67). Na terenie Polski elipsoidalna ta przebiega poniżej poziomu morza Bałtyckiego (tzw. *quasigeoidy*) od 24 m na północno-wschodnim skraju Polski do 45 m na południowo-zachodnim rejonie Polski (rys. 64).



Poprawki PPM odległości

- w rzutowaniu prostopadłym z terenu na elipsoidę

$$m_E = \frac{D_E}{HD_{rk}} \approx \frac{R}{R + N + H_0} \approx 1 - \frac{H_0 + N}{R} \approx 1 + \sigma_E$$

$$m_E := 1 - \frac{H_0 + N}{R}$$

$$PPM_E := m_E - 1$$

- w odwzorowaniu z elipsoidy na płaszczyznę

$$m_{XY} := 0.999923 \cdot \left[1 + \frac{(Y_0 - 6500000)^2}{2 \cdot R^2} \right]$$

$$PPM_{XY} := m_{XY} - 1$$

- w redukcji z terenu na płaszczyznę

$$m := m_{XY} \cdot m_E$$

$$PPM := m - 1$$

Rys. 67

Skala redukcji odległości poziomej w terenie na płaszczyznę układu współrzędnych "2000" $m = D/HD_{rk}$ - jako stosunek odległości na mapie D do pomierzonej odległości poziomej w terenie HD_{rk} jest równa iloczynowi $m = m_{XY}m_E$ (rys. 67):

- **skali rzutowania** $m_E = D_E/HD_{rk}$ odległości HD_{rk} z terenu na elipsoidę odniesienia D_E , obliczanej przy założeniu, że elipsoida w najbliższym otoczeniu stanowiska tachimetru ma kształt kuli o promieniu R - jest więc zależna tylko od wysokości stanowiska tachimetru nad elipsoidą, równej sumie wysokości stanowiska nad poziomem morza - quasigeoidą H_0 i wysokości quasigeoidy nad elipsoidą N ,
- **skali odwzorowania** $m_{XY} = D/D_E$ odległości z elipsoidy D_E na płaszczyznę D , zależnej od odległości stanowiska od południka środkowego strefy: $Y_0 - 6500000 = -70802.400$.

Wprowadzenie poprawki PPM skali do programu tachimetria

Skala m jest wprowadzana na ekranie POPRAWKA ODWZOROWAWCZA (rys. 69). Ekran ten ukazuje się po wyborze okna ustawień dalmierza **DALM** a następnie **SKALA** (rys. 68). Po wprowadzeniu skali program tachimetru oblicza i ukazuje poprawkę **PPM Skali** (rys.70).

USTAWIENIA DALMIERZA	
Tryb pracy :	IR-Standard (↔)
Typ pryzm. :	GPR1 (↔)
Stała Leica :	0.0 mm
Stała real :	-34.4 mm
Plamka laser. :	Wyłącz (↔)
Diody tyczen. :	Wyłącz (↔)
PPM SKALA SYGNAŁ ↓	

Rys. 68

POPRAWKA ODWZOROWAWCZA	
Współczynnik skali :	0.999994
PPM Skali :	-6
WRÓĆ PPM = 0 WPISZ OK	

Rys. 69

Wpisz PPM indywidualne	
PPM :	-37
ATMOS WRÓĆ WPISZ OK	

Rys. 70

2.7. Podział i klasyfikacja osnowy geodezyjnej

Osnowa geodezyjna

Osnowa geodezyjna jest usystematyzowanym zbiorem punktów geodezyjnych (tab. 5) utrwalonych w terenie *znakami geodezyjnymi* (rys. 71) dla których określono matematycznie ich wzajemne położenie i dokładność usytuowania.

Podział osnowy geodezyjnej

Ze względu na rolę i znaczenie dla prac geodezyjnych osnowę geodezyjną poziomą i wysokościową dzieli się na *podstawową*, *szczegółową* i *pomiarową* (tab. 4).

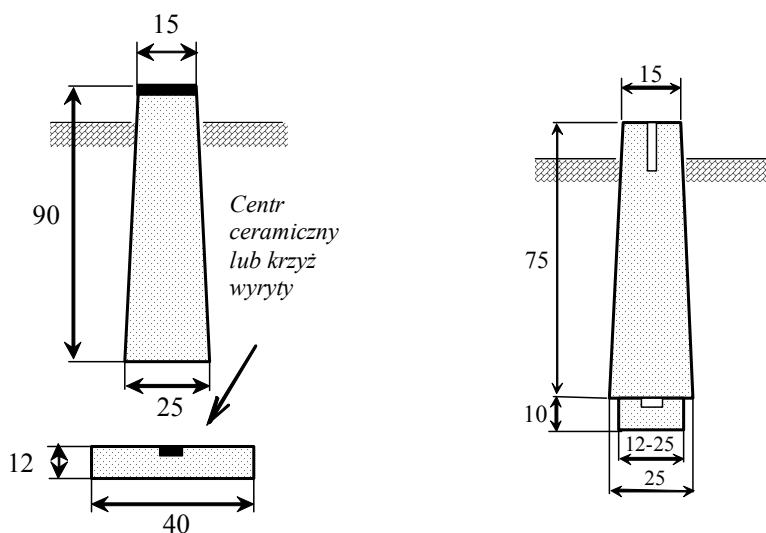
Klasyfikacja osnowy poziomej

Pod względem dokładności osnowę geodezyjną dzieli się na 3 klasy oznaczane cyframi rzymskimi (tab. 4). Klasa jest cechą charakteryzującą dokładność określenia położenia punktu po wyrównaniu obserwacji. Za podstawę klasyfikacji przyjmuje się błędy średnie obserwacji po wyrównaniu i (lub) błędy położenia punktu po wyrównaniu. Rząd osnowy geodezyjnej określa kolejność włączania jej do wyrównania. Punkty osnowy poziomej numerowane dwuczłonowo, analogicznie jak punkty osnowy wysokościowej.

Tabela 4. Podział i klasyfikacja **osnowy poziomej**

Osnowa	Klasa	m_p – błąd położenia punktu*	m_H – błąd wysokości punktu*	Metoda zakładania sieci
Podstawowa - przeznaczona do nawiązania osnów szczegółowych oraz badania ruchów skorupy ziemskiej na obszarze kraju	I	$m_p \leq 0.03$ m		satelitarna
Szczegółowa - przeznaczona do nawiązania osnów pomiarowych, zdjęć fotogrametrycznych i numerycznych modeli terenu	II	$m_p \leq 0.03$ m	$m_H \leq 0.10$ m	satelitarna
		$m_p \leq 0.05$ m		wcięcia
	III	$m_p \leq 0.07$ m		satelitarna
		$m_p \leq 0.10$ m		wcięcia poligonizacja
Pomiarowa - przeznaczona do wykonywania pomiarów sytuacyjnych		$m_p \leq 0.10$ m		satelitarna wcięcia poligonizacja

* względem punktów nawiązania sieci



Znak typu 36 a
Słup betonowy 15 × 15 z głowicą żeliwną.
Płyta betonowa.
Stosowany w osnowie szczegółowej II klasy

Znak typu 42 b.
Słup betonowy 15 × 15 z rurką metalową lub prętem. Płyta betonowa.
Stosowany w osnowie szczegółowej III klasy

Rys. 71

Metody zakładania osnów poziomych

Osnowy poziome zakładane są metodami klasycznymi poligonizacji i wcięć oraz metodą satelitarną.

Znaki geodezyjne

Znakiem geodezyjnym jest znak z trwałego materiału, określający położenie punktu osnowy geodezyjnej. Do oznakowania położenia punktów osnowy szczegółowej stosuje się zwykle znaki z trwałego materiału. Na rysunku 71 pokazane są dwa wybrane

betonowe znaki stosowane w osnowie szczegółowej II i III klasy. Pełny wykaz znaków stosowanych w osnowach geodezyjnych i magnetycznych zawierają *Wytyczne techniczne G-1.9 Katalog znaków geodezyjnych oraz zasady stabilizacji punktów*.

2.8. Projekt osnowy pomiarowej

Osnowa pomiarowa zakładana metodami wcięć i poligonizacji

Analizę dostępnych materiałów pozyskanych z Powiatowego Ośrodka Dokumentacji Geodezyjnej i Kartograficznej w celu wykonania pomiaru sytuacyjnego i wysokościowego przeprowadza się wykorzystując:

- mapy przeglądowe osnowy szczegółowej i osnowy pomiarowej,
- wykazy współrzędnych i inne informacje dotyczące osnowy szczegółowej i pomiarowej (wydruki z istniejących banków osnów),
- operaty pomiarowe zawierające obserwacje osnowy pomiarowej.

Na podstawie wyników *analizy materiałów* oraz przeprowadzonego *wywiadu terenowego* opracowuje się w formie szkicu przeglądowego na kopii istniejącej mapy w skali od 1:1000 do 1:5000 projekt pomiarowej osnowy poziomej sytuacyjnej, niezbędnej do oparcia konkretnego pomiaru sytuacyjnego.

Osnowa pomiarowa może być zakładana metodami wcięć lub poligonizacji.

Osnowę pomiarową projektuje się tak, aby:

- każdy z punktów był powiązany obserwacjami z co najmniej dwoma sąsiednimi punktami tego samego lub wyższego rzędu,
- istniała wizura między punktami sąsiednimi,
- punkty lokalizowane były w miejscach dogodnych do wykonania pomiaru i zapewniona była możliwa nienaruszalność znaków.

Długości boków osnowy powinny zawierać się w granicach 50 - 400 m, zaś stosunek dwu boków przyległych nie powinien być większy niż 4:1 (ostatni z warunków nie dotyczy osnowy zakładanej metodą GPS).

Przy projektowaniu sieci poligonowej należy uwzględnić warunki:

- ciąg powinien być obustronnie nawiązany kątowno i liniowo do punktów nawiązania lub punktów węzłowych,
- ciągi powinny być zbliżone do równobocznych i prostoliniowych,
- długości ciągów nie powinny być większe od 3 km, a ciągów wyznaczających punkty węzłowe – od 2 km,
- w przypadkach konieczności skrócenia boków poniżej 50 m należy odpowiednio skrócić długość ciągu oraz szczególnie starannie centrować instrument i tarcze celownicze nad centrami punktów,
- dla wzmocnienia konstrukcji sieci należy tworzyć układy wielowęzłowe oraz mierzyć kierunki i długości na inne niż sąsiednie punkty osnowy poziomej.

W konstrukcji geometrycznej określającej położenie wyznaczonego punktu powinny występować co najmniej trzy miejsca geometryczne, a kąt przecięcia jednej dowolnie wybranej pary prostych wyznaczających powinien zawierać się w granicach 50 – 150g, natomiast stosunek długości odcinków wyznaczających nie powinien być większy niż 4:1.

Konstrukcja geometryczna określająca położenie punktu jest opisana w *Wytycznych technicznych G-2.5 Szczegółowa pozioma i wysokościowa osnowa geodezyjna. Projektowanie, pomiar i opracowanie wyników*.

Na szkicu projektu wykazuje się (rys. 72):

- istniejące punkty osnowy poziomej, w tym trwale stabilizowane punkty osnowy pomiarowej,
- przebieg projektowanych ciągów poligonowych i usytuowanie poszczególnych punktów w ciągach,
- usytuowanie punktów wyznaczanych wcięciami,

- usytuowanie punktów wyznaczanych metodą GPS,
- sposób włączenia do projektowanej osnowy (związanie) istniejącej osnowy pomiarowej,
- nawiązanie projektowanej osnowy do osnowy poziomej co najmniej III klasy.

Pomiarowa osnowa sytuacyjna jest wyrównywana jednocześnie. Punkty wcinane powinny być elementem osnowy pomiarowej, niedopuszczalne jest opieranie ich na punktach wcześniej wyrównanej osnowy pomiarowej i obliczenia jak punktów drugiego rzędu.

W zupełnie wyjątkowych przypadkach (np. zakamarki gęstej zabudowy), gdzie dawniej stosowano ciągi jednostronnie nawiązane (wiszące), złożone z jednego boku (bagnet) lub co najwyżej dwu boków – dopuszcza się konstrukcję ciągu zamkniętego (tzw. agrafkę) przez powrót ciągiem prawie równoległym (np. przez ten sam przejazd w budynku) do punktu na prostej bliskiego punktowi początkowemu, o ile to możliwe – z pomiarem kąta na kierunek nawiązujący inny niż początkowy. Ciąg taki traktuje się jako ciąg drugiego rzędu.



Rys. 72

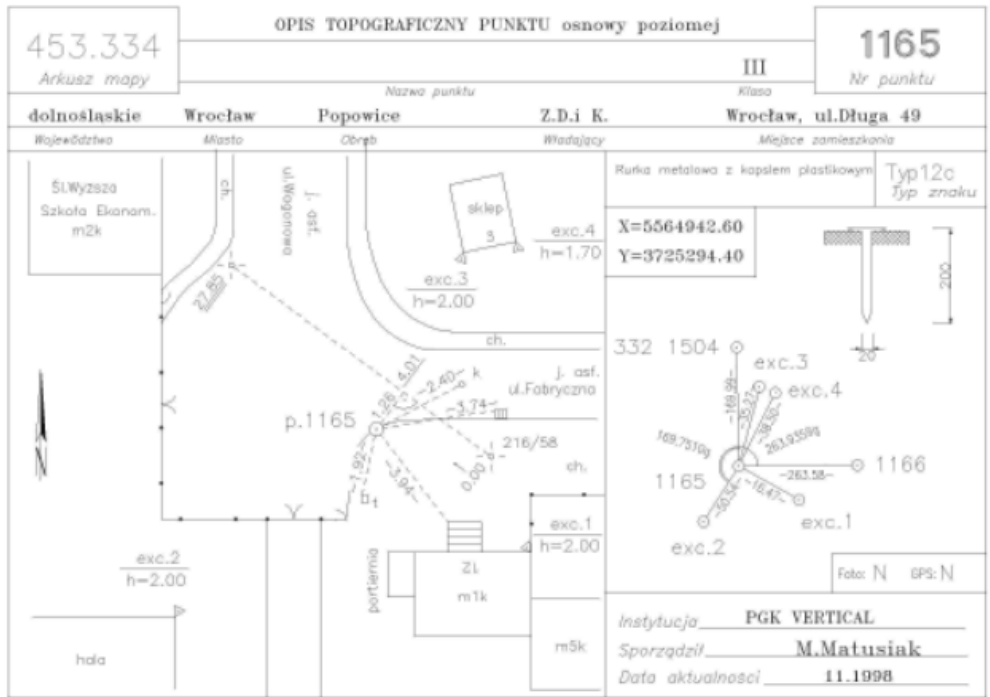
2.9. Stabilizacja punktów

Opis topograficzny punktu osnowy

Dla trwale stabilizowanych punktów osnowy sytuacyjnej sporządza się *opisy topograficzne* na których szczegóły terenowe przedstawia się znakami umownymi przewidzianymi dla mapy zasadniczej. Przy wykorzystywaniu punktów istniejących, zmiany i uzupełnienia nanosi się kolorem czerwonym na kopii opisu topograficznego, a w przypadku dużej ilości zmian sporządza się nowy opis.

Opis topograficzny, umożliwiający odnalezienie punktu w terenie i jego naniesienie na mapę topograficzną, zawiera następujące dane (rys. 73, 74):

- arkusz mapy - godło mapy topograficznej 1:10 000 na której jest położony znak, [mapa topograficzna zawiera elementy środowiska geograficznego powierzchni Ziemi, patrz: *Instrukcja techniczna K-2* oraz: *Zasady redakcji mapy topograficznej w skali 1:10 000*, wzory znaków, 1999; *Zasady redakcji mapy topograficznej w skali 1:50 000*, katalog znaków, 1998],
- typ znaku, zgodnie z katalogiem zamieszczonym w *Wytycznych technicznych G-1.9*,
- klasa punktu,
- numer punktu - zgodnie z zasadami podanymi w *Wytycznych technicznych G-2.1*, *G-2.2*, np. numeracja punktów w układzie współrzędnych "1965" jest dwuczłonowa: pierwszy człon stanowi godło arkusza mapy w skali 1: 50 000 dla punktów I i II klasy lub godło mapy w skali 1:10 000 dla punktów III klasy, drugi człon jest właściwym numerem punktu na danym arkuszu mapy w zakresie 1-99 dla klasy I, 100-999 dla klasy II, 1000-1999 dla klasy III,
- część adresowa: nazwa województwa, powiatu, gminy, miejscowości (miasta, dzielnicy), imię i nazwisko (lub nazwa instytucji) władającego gruntem lub budynkiem oraz jego miejsce zamieszkania,
- szkic sytuacyjny położenia znaku zorientowany do północy, wykreślony wg. znaków umownych mapy zasadniczej K-1, zawiera pobliskie szczegóły terenowe przydatne do odnalezienia punktu, miary wiążące punkt ze szczegółami terenowymi z dokładnością 0.1 m - umożliwiające co najmniej dwukrotne niezależne wyznaczenie położenia punktu w terenie, miarami mogą być odległości i/lub domiary prostokątne, przy wylotach dróg podaje się nazwy miejscowości do których prowadzą,
- szkic osadzenia znaku: rzuty pionowy i poziomy, rodzaj znaku, typ, wymiary, odległość górnej płaszczyzny każdego znaku od powierzchni terenu i od górnej powierzchni znaku naziemnego z dokładnością 0.01 m, wzajemna odległość między poszczególnymi znakami zespołu z dokładnością 0.01 m, jeżeli znak zamieszczony jest na budowli stałej (wieża wodna, kościół, budynek itp.) podane są rodzaj i dokładny opis budowli, jej wygląd w postaci rysunku lub fotografii, ze wskazaniem położenia punktu geodezyjnego (rys. 74),
- rysunek powiązania znaku z punktami sąsiednimi: schematyczne kierunki do sąsiednich punktów i ekscentrów, ich odległości w km z dokładnością 0.1 km, oraz numery i cechy znaków.
- nazwa firmy, nazwisko, imię i podpis wykonawcy oraz datę sporządzenia,



Rys. 73



Rys. 74

2.10. Wyrównanie osnowy

Wyrównanie ściśle - metodą najmniejszych kwadratów

- Pomiarową osnowę sytuacyjną wyrównuje się metodą najmniejszych kwadratów, z obliczeniem błędów położenia punktów, przy założeniu bezbłędności punktów nawiązania osnowy poziomej III klasy.
- Błąd położenia m_p najmniej dokładnego punktu pomiarowej osnowy sytuacyjnej nie może przekroczyć 0,10 m.
- W przypadku wykonywania wcięć jednocześnie z pomiarem sieci poligonowej (nawiązań bocznych) przeprowadza się wyrównanie łącznie z tymi wcięciami.
- Do wyrównania przyjmuje się łącznie wyniki pomiarów połowych nowych i adaptowanych.
- Przed przystąpieniem do wyrównania na projekcie osnowy lub na szkicu sporządzonym dla potrzeb wyrównania oznacza się kąty, kierunki i długości z pomiarów nowych i adaptowanych oraz błędy średnie obserwacji i rok wykonania pomiaru. Wartości i błędy średnie obserwacji nowych (kąty, kierunków i długości boków) należy przyjąć do wyrównania z zestawień opracowanych na podstawie dzienników pomiarowych lub z wydruków tych wartości, natomiast wartości i błędy średnie obserwacji adaptowanych ze zbiorów archiwalnych.
- Przy wyrównaniu należy zrównoważyć obserwacje.
- Po wyrównaniu oblicza się błąd średni jednostkowy wg wzoru:

$$m_0 = \sqrt{\frac{[vv]}{[mm]n_n}}$$

gdzie:

- v – poprawka,
- m – błąd średni obserwacji,
- n_n – liczba obserwacji nadliczbowych.

Wartość m_0 (charakteryzująca dokładność sieci po wyrównaniu oraz poprawność równoważenia) powinna zawierać się w przedziale od 0,5 do 1,5.

- W wyniku wyrównania otrzymuje się:
 - wyrównane współrzędne punktów wraz z błędami średnimi współrzędnych m_x i m_y , oraz błędami położenia punktów m_p ,
 - wyrównane wartości obserwacji i ich poprawki oraz błędy poprawek m_v .
- Współrzędne punktów wykazuje się z dokładnością 0,01 m.

Przykłady wyrównania osnów zakładanych metodami wcięć i poligonizacji podane są w podręczniku *E. Osada, Wykłady z geodezji i geoinformatyki 3, Osnowy geodezyjne*.

2.11. Dokumentacja techniczna

Dokumentacja powstała podczas zakładania pomiarowej osnowy sytuacyjnej dzieli się na trzy grupy funkcjonalne (*Wytyczne techniczne G-4.1*):

- 1) do dokumentów **zasobu bazowego** włącza się: a) sprawozdanie techniczne, b) mapy przeglądowe osnowy pomiarowej z wynikami bieżącej inwentaryzacji, c) dzienniki pomiaru, d) szkice przedstawiające strukturę sieci, e) wykaz danych geodezyjnych zawierający: numery punktów i oznaczenia rodzaju znaków geodezyjnych, współrzędne (x , y) i wysokości H , polowe opisy topograficzne (oryginały) założonych punktów i zmienione opisy punktów starych, zestawienia zredukowanych, przyjętych do wyrównania, obserwacji;

- 2) do dokumentów **zasobu użytkowego** włącza się: a) opisy topograficzne punktów nowych oraz zmienione opisy punktów starych, w formie klasycznej (matryce opisów) lub komputerowej, uzgodnionej z ośrodkiem, b) wydruki współrzędnych punktów;
- 3) do dokumentów **zasobu przejściowego** włącza się: a) zgłoszenie pracy geodezyjnej, b) uzgodniony projekt sieci z analizą materiałów, c) dokumentację wyrównania i przeliczenia współrzędnych punktów, d) kopie świadectw atestacji (komparacji) sprzętu wykorzystanego do pomiaru.

2.12. Obiekty terenowe pomiaru sytuacyjnego

Przedmiot pomiaru

Przedmiotem pomiaru sytuacyjnego i wysokościowego są szczegóły terenowe wykazywane na mapie zasadniczej.

Mapa zasadnicza

Mapa zasadnicza jest wielkoskalowym opracowaniem kartograficznym, zawierającym aktualne informacje o przestrzennym rozmieszczeniu obiektów ogólnogeograficznych oraz elementach ewidencji gruntów i budynków, a także sieci uzbrojenia terenu (rys. 75).

Mapa zasadnicza jest zaliczana do map tematycznych gospodarczych (rys. 76).

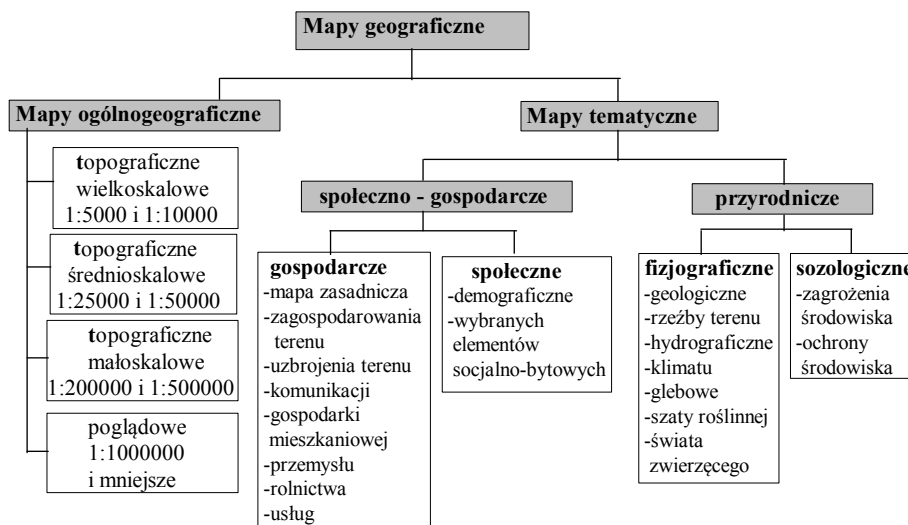
Mapa zasadnicza stanowi:

- podstawowy element Państwowego Zasobu Geodezyjnego i Kartograficznego,
- podstawowy materiał kartograficzny, wykorzystywany do zaspokojenia różnorodnych potrzeb gospodarki narodowej, a w szczególności zagospodarowania przestrzennego, ewidencji gruntów i budynków i powszechnej taksacji,
- źródłowe opracowanie kartograficzne do sporządzania map pochodnych i innych wielkoskalowych map tematycznych oraz aktualizacji mapy topograficznej w skali 1:10 000 (rys. 76).

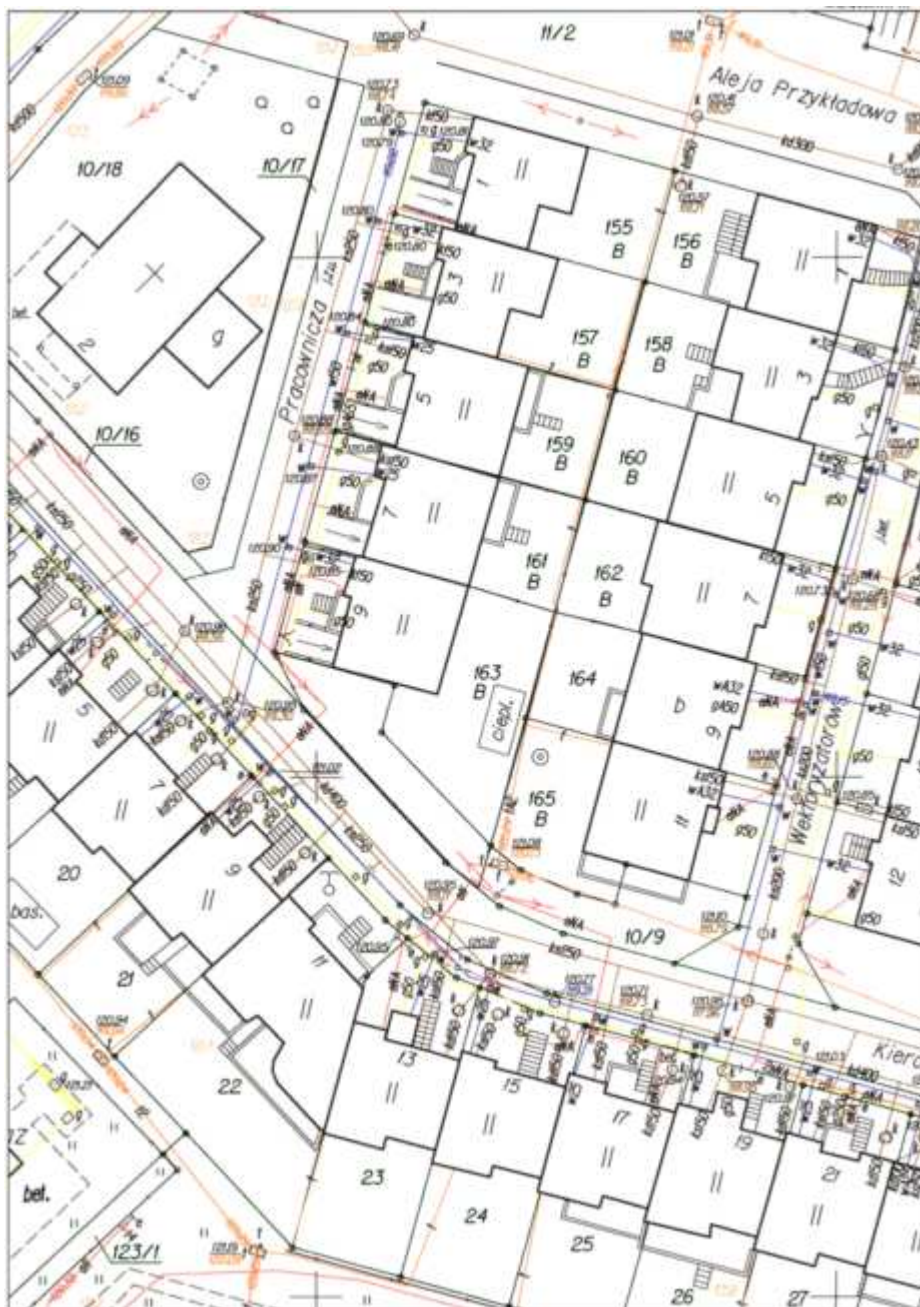
Mapa zasadnicza służy do celów administracyjnych, prawnych, ewidencyjnych i projektowych oraz stanowi część składową krajowego systemu informacji przestrzennej.

Arkusze mapy

Mapę zasadniczą prowadzi się w formie numerycznej z możliwością przedstawienia jej treści w formie analogowej w podziale sekcyjnym prostokątnym. Podstawą podziału mapy zasadniczej na arkusze w skalach 1:5 000, 1:2 000, 1:1 000 i 1:500 jest arkusz w skali 1:10 000 o wymiarach 5 km na 8 km w układzie 2000.



Rys. 76



Rys. 75

Zasady doboru skali mapy

Mapę zasadniczą jest dostępna w skalach 1:500, 1:1 000, 1:2 000 lub 1:5 000, w zależności od stopnia zagęszczenia terenu szczególnie stanowiącymi treść mapy oraz zamierzeń inwestycyjnych:

- 1:500 – dla terenów o znacznym obecnym lub przewidywanym zainwestowaniu,
- 1:1000 – dla terenów małych miast, aglomeracji miejskich i przemysłowych oraz terenów osiedlowych wsi będących siedzibami gmin,
- 1:2000 – dla pozostałych zwartych terenów osiedlowych, terenów rolnych o drobnej nieregularnej szachownicy stanu władania oraz większych zwartych obszarów rolnych i leśnych na terenach miast,
- 1:5000 – dla terenów o rozproszonej zabudowie wiejskiej oraz gruntów rolnych i leśnych na obszarach pozamiejskich.

Metryka mapy zasadniczej

Metryka mapy jest podstawowym dokumentem obrazującym przebieg opracowania mapy, przechowywanym w Ośrodku Dokumentacji Geodezyjnej i Kartograficznej ODGiK. Metryka dla mapy prowadzonej metodą klasyczną zakładana jest dla każdego arkusza. Metryka mapy prowadzonej techniką numeryczną zakładana jest dla każdego obrębu ewidencyjnego pokrywającego się zwykle z granicami wsi oraz dzielnic w przypadku miast.

Metryka dla obu technik prowadzenia mapy zasadniczej ma formę dokumentu pisanego, uwierzytelnianego odręcznymi podpisami. Metrykę zakłada się dla mapy w momencie jej opracowania i uzupełnia w miarę wprowadzanych zmian. Metryka zawiera następujące dane:

- dla mapy prowadzonej metodą klasyczną: tytuł, skalę, numer ewidencyjny, godło arkusza
- dla mapy prowadzonej techniką numeryczną: nazwę obrębu, jego numer i skalę,
- określenie układu współrzędnych,
- opis metod opracowania mapy, daty i otrzymane dokładności,
- wykonawców mapy odpowiedzialnych za jej opracowanie,
- informacje dotyczące aktualizacji mapy.

Treść mapy zasadniczej

Treść mapy dzieli się na *treść obligatoryjną* i *treść fakultatywną*.

Treść obligatoryjną mapy zasadniczej stanowią:

- punkty osnów geodezyjnych,
- elementy ewidencji gruntów i budynków,
- elementy sieci uzbrojenia terenu, w szczególności urządzenia nadziemne, naziemne i podziemne.

Do elementów ewidencji gruntów i budynków (*kataster nieruchomości*) zalicza się:

- granice jednostek terytorialnego podziału państwa,
- granice jednostek ewidencyjnych,
- granice obrębów,
- granice działek,
- opisy i kontury użytków gruntowych, w tym ekologicznych,
- opisy i kontury klas gleboznawczych,
- usytuowanie budynków,
- stabilizowane (trwałe) punkty graniczne,
- numery ewidencyjne działek,
- numery porządkowe budynków,
- numery ewidencyjne budynków,
- numery punktów załamania linii granicznych,
- nazwy ulic i oznaczenia dróg publicznych.

Do elementów sieci uzbrojenia (*kataster obiektów uzbrojenia terenu*) zalicza się:

- urządzenia inżynierijsko-techniczne nadziemne,
- urządzenia inżynierijsko-techniczne naziemne, w tym punkty położenia armatury naziemnej przewodów uzbrojenia technicznego,
- linie przebiegu przewodów i elementów uzbrojenia terenu.

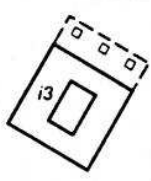
Treść fakultatywną mapy zasadniczej stanowią obiekty:

- komunikacji,
- rzeźby terenu,
- ogólnogeograficzne,
- zagospodarowania terenu,
- inne.

Treść fakultatywna stanowi zbiór otwarty, zależny od potrzeb i zamierzeń inwestycyjnych administracji państwowej, samorządowej i podmiotów gospodarczych.

Obiekty mapy zasadniczej

Według formularza *Katalogu obiektów i znaków umownych Instrukcji technicznej K-1 Mapa zasadnicza* (rys. 77) cechami charakterystycznymi obiektów mapy są:

Budynek		O	312	BUD	
GEOMETRIA: Obszar spójny ograniczony zbiorem łamanych uogólnionych zamkniętych					
ATRYBUTY OPISOWE		NAZWA	WARTOŚCI DOPUSZCZALNE		
Przeważająca funkcja budynku		BFN	pusta, b, g, h, i, k, m, p, s, t, z		
Numer najwyższej kondygnacji		BKN	pusty, liczba naturalna		
PRZEDSTAWIENIE GRAFICZNE		UWAGI			
		<p>Budynek z atrium, nawisem i podporami nawisu. Obrys nawisu jest osobnym obiektem. Gdy podpory w skali mapy są mniejsze od 1.0 x 1.0 należy użyć symboli. Nie kreślić pilastrów < 1.0 w skali mapy. Podpory wliczać do liczby kondygnacji np. budynek trójkondygnacyjny podparty na słupach dwukondygnacyjnych oznaczać jako pięć kondygnacji.</p>			
ELEMENTY PRZEDSTAWIENIA GRAFICZNEGO		WYMIARY W SKALI:			
ELEMENT	OPIS ELEMENTU	1:500	1:1000	1:2000	1:5000
—	linia obrysu przyziemia	0.5	0.35	0.35	0.25
i3	tekst (funkcja, nr najw. kondygn.)	2.5	1.8	1.8	1.5

Rys. 77

- nazwa obiektu: np. **Budynek**
- charakter obiektu: **O** - obligatoryjny lub **F** - fakultatywny,
- kod znakowy - literowy jest skrótem mnemonicznym np. **BUD** - BUDYNEK,
- kod liczbowy - powiązany z podziałem na *działy treści mapy*.

Nazwa działu treści mapy	Grupa kodów
OSNOWA	100
GRANICE, GRUNTY	200
BUDYNKI	300
KOMUNIKACJA	400
UZBROJENIE TERENU	500, 600, 700
RZEŻBA TERENU I OGÓLNOGEOGRAFICZNE	800
ZAGOSPODAROWANIE TERENU	900
ELEMENTY GRAFICZNE	990

- geometria obiektu
- opisana za pomocą następujących *tworów geometrycznych*:

Twór geometryczny	Określenie
PUNKT	Twór bezwymiarowy, posiada współrzędne x, y określające jego położenie na mapie oraz współrzędną h, traktowaną jako atrybut.
ODCINEK UOGÓLNIONY	Odcinek prostej, odcinek łuku kołowego, odcinek klotoidy, odcinek łuku B-spline.
ŁAMANA UOGÓLNIONA	Skończona suma odcinków uogólnionych połączonych tak, że jedynymi punktami wspólnymi są końce kolejnych odcinków uogólnionych
WĘZEL ŁAMANEJ UOGÓLNIONEJ	Punkt wspólny dwu kolejnych odcinków uogólnionych
PUNKT KOŃCOWY ŁAMANEJ UOGÓLNIONEJ	Punkt końcowy odcinka uogólnionego nie będący węzłem łamanej uogólnionej
ŁAMANA UOGÓLNIONA OTWARTA	Łamana uogólniona posiadająca dwa punkty końcowe
ŁAMANA UOGÓLNIONA ZAMKNIĘTA	Łamana uogólniona nie posiadająca punktów końcowych
ŁAMANA UOGÓLNIONA ZAMKNIĘTA SAMOPRZECINAJĄCA SIĘ	Łamana uogólniona zamknięta, której wewnątrz jest obszarem niespójnym
ŁAMANA UOGÓLNIONA ZAMKNIĘTA SAMONIEPRZECINAJĄCA SIĘ	Łamana uogólniona zamknięta, która nie jest łamaną samoprzecinającą się
ŁAMANA	Łamana uogólniona, której wszystkie odcinki uogólnione są odcinkami prostej.
OKRĄG	Šzczególny przypadek łamanej uogólnionej zamkniętej, złożonej z jednego tylko odcinka uogólnionego.

- kreślonych 3 grubościami linii:

LINIA	1:500	1:1000	1:2000	1:5000
cienka	0.18	0.13	0.13	0.13
średnia	0.35	0.25	0.25	0.18
gruba	0.50	0.35	0.35	0.25

- atrybuty opisowe obiektu, np *i3*
- elementy przedstawienia graficznego obiektu w skalach 1:500, 1:1000, 1:2000, 1:5000.

Pomiar sytuacyjny i wysokościowy uzbrojenia terenu opisany jest w *Wytycznych technicznych G-4.4 Prace geodezyjne związane z podziemnym uzbrojeniem terenu*.

Pomiar sytuacyjny związany z ustaleniem granic nieruchomości opisany jest w *Instrukcji technicznej G-5 Ewidencja gruntów i budynków*.

Generalizacja szczegółów terenowych

Przy pomiarze sytuacyjnym pomija się istniejące odchylenia kształtu mierzonego szczegółu terenowego od prostej, gdy odchylenia te nie są większe od błędów położenia punktów, określonych dla grupy dokładności pomiaru, do której mierzony szczegół należy (tab. 5).

Tabela 5.

Grupy dokładności pomiaru	I	II	III
Odchylenie od prostej \leq	0.10 m	0.30 m	0.50 m

W przypadku granic działki o nie utrwalonych punktach załamania, stopień generalizacji zależy od charakteru terenu:

- dla terenów zurbanizowanych wychylenie linii granicznej od prostej łączącej najbliższe pomierzone punkty granicy nie może być większe od 0,1 m (po obu stronach sprostowanej granicy),
- dla terenów rolnych 0,2 m,
- dla terenów rolnych na obszarach górskich i podgórskich 0,5 m.

Przy pomiarze powykonawczym budynków nowych należy mierzyć wszystkie występy, a na mapie wykazywać występy i wgłębienia większe od 0,3 m. Występy i wgłębienia mniejsze od 2 m wyznacza się miarą bieżącą po ścianie przyziemia, mierząc również wielkość tych występów lub wgłębień. Kontury budynków położone w odległości mniejszej niż 0,10 m od granicy działki uznaje się za położone w linii tej granicy.

Przy pomiarze trwałych ogrodzeń należy mierzyć występy i wgłębienia większe od 0,3 m oraz bramy od strony dróg i ulic. Wgłębienia i występy nie przekraczające 2 m wyznacza się miarą bieżącą po linii ogrodzenia, mierząc równocześnie wielkość występu lub wgłębienia. Szerokości ogrodzeń należy mierzyć, gdy przekraczają one 0,3 m. Ogrodzenia położone przy granicy działki mniej niż 0,10 m wyznacza się miarą bieżącą po linii granicy.

Jeżeli podczas tworzenia numerycznej mapy zasadniczej zostanie ujawnione, że punkt konturu budynku lub ogrodzenia jest w mniejszej odległości od granicy działki niż 0,10 m, należy punkt konturu budynku lub załamania ogrodzenia dociągnąć do granicy, zaznaczając ten fakt na szkicu polowym.

Kontury elementów naziemnych uzbrojenia podziemnego większe od 0,5 m należy mierzyć w sposób umożliwiający ich prawidłowe skartowanie, zaś przy konturach mniejszych od 0,5 m mierzyć należy położenie środka ich rzutu. Dla przewodów podziemnych i naziemnych o średnicach mniejszych od 0,75 m dopuszcza się pomiar przebiegu ich osi. W przypadku wątpliwym należy wymiar poprzeczny pomierzyć, nawet jeśli w przyszłości miałyby okazać się zbędny. Gdy szerokość przewodu, obrysu kanału, wiązki kabli lub urządzenia jest większa od 0,75 m, pomiarowi podlegają rzuty zewnętrzne krawędzi tych elementów (urządzeń, przewodów itp.).

3

Globalne systemy nawigacji satelitarnej

3.1. Segment kosmiczny

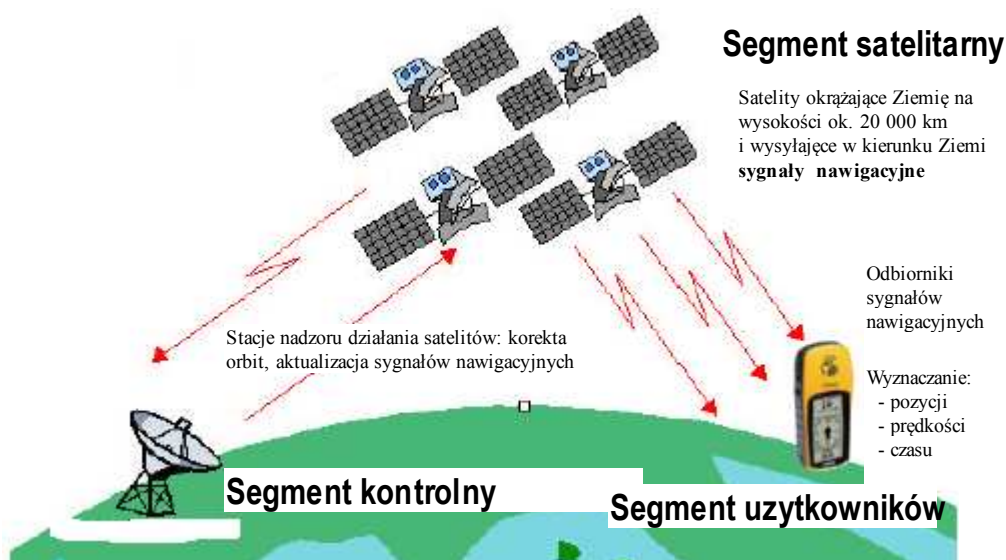
Globalne systemy nawigacji satelitarnej GNSS: GPS, GLONAS i Galileo

Globalne systemy nawigacji satelitarnej GNSS (*Global Navigation Satellite Systems*) umożliwiają wyznaczenie pozycji, prędkości i aktualnego czasu w dowolnym miejscu na całej powierzchni Ziemi i w jej bliskim otoczeniu. Obecnie w przestrzeni wokół Ziemi znajdują się satelity trzech systemów nawigacji satelitarnej:

- amerykańskiego *Globalnego Systemu Pozycyjnego* GPS (*Global Positioning System*),
 - rosyjskiego GLONAS,
 - europejskiego Galileo.
- Satelita waży ok. 800 kg.

Budowa systemu nawigacji satelitarnej

Systemy nawigacji satelitarnej składają się z trzech segmentów: *satelitarne*, *kontroli* i *użytkownika* (rys. 78).



Rys. 78

Segment kosmiczny

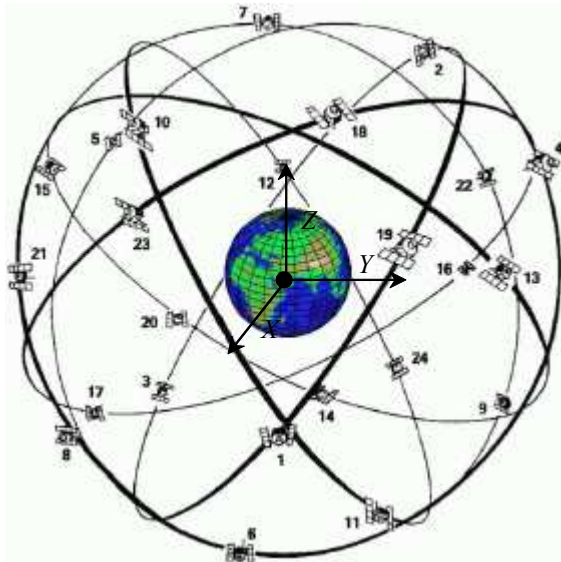
Segment kosmiczny składa się z pewnej nominalnej liczby satelitów, niezbędnych do prawidłowego działania systemu: 24 - GPS i GLONASS, 30 - GALILEO.

W przypadku systemu GPS (<http://gge.unb.ca/Pubs/LN58.pdf>), (rys. 79):

- satelity poruszają się po sześciu prawie kołowych orbitach, na wysokości 20162,61 km nad powierzchnią Ziemi o średnim promieniu 6378.137 km,
- orbity satelitów są równomiernie rozłożone wzdłuż obwodu równika Ziemi, co 60° długości geograficznej, oraz są nachylone pod kątem 55° względem

płaszczyzny równika, co powoduje, iż powyżej szerokości geograficznej 55° N i 55° S żaden z satelitów nie będzie obserwowany w zenicie,

- okres obiegu Ziemi przez satelitę wynosi 11h 57min 27s, tak więc w danym miejscu na powierzchni Ziemi każdego następnego dnia konstelacja satelitów powtarza się o około 8 minut wcześniej niż dnia poprzedniego,
- satelita jest widoczny nad horyzontem przez około 5 godzin,
- na każdej orbicie znajdują się 4 satelity, rozłożone tak, aby zapewnić widoczność co najmniej 5 satelitów o każdej porze doby praktycznie z dowolnego miejsca na powierzchni Ziemi, powyżej kąta wzniesienia 5° ponad horyzontem.



Rys. 79

Wyposażenie satelitów

Na satelitach znajdują się:

- silniki korekcyjne do utrzymywania położenia satelity na orbicie,
- układy stabilizacji położenia i sterowania,
- baterie słoneczne stanowiące źródło energii i akumulatory,
- urządzenia odbiorcze aktualnych sygnałów nawigacyjnych ze stacji kontrolnych,
- urządzenia nadawcze aktualnych sygnałów nawigacyjnych w kierunku Ziemi.

Czynniki zakłócające tor i ruch satelity

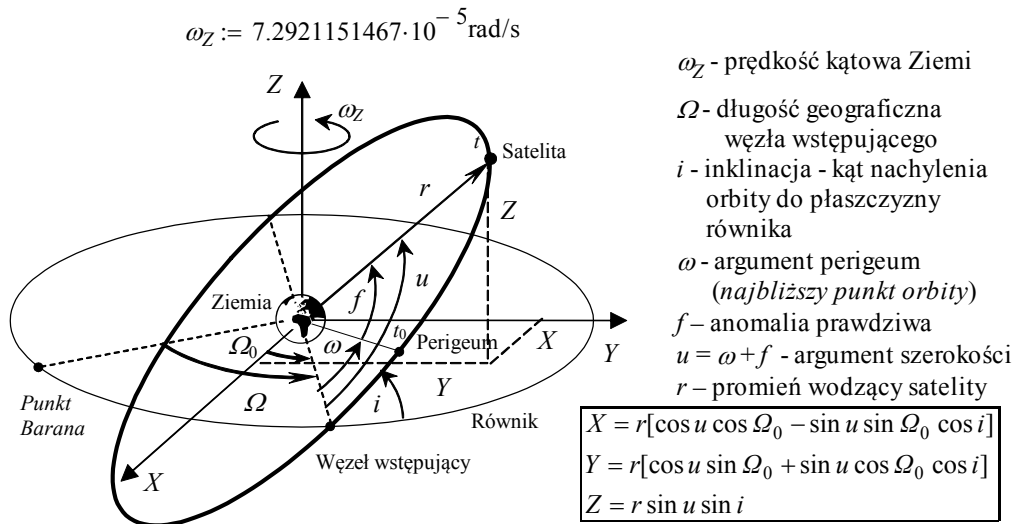
Na satelitę działają czynniki zakłócające jego tor i ruch, głównie:

- niekulistość Ziemi - różnica potencjału Ziemi rzeczywistej i kulistej nazywana *potencjałem zakłócającym*,
- siły przyciągania Słońca, Księżycy i innych planet (głównie Venus),
- pływy Ziemi - Słońce, Księżyc i inne planety przyciągają Ziemię powodując dobowe przemieszczenia jej skorupy i oceanów (*pływy*), w efekcie zmianę przyspieszenia siły przyciągania Ziemi,
- ciśnienie światła słonecznego,
- efekty relatywistyczne,
- wiatr słoneczny,
- pole magnetyczne.

Oskulacyjna keplerowska orbita satelity

W efekcie działania czynników zakłócających satelita porusza się po pewnym niezamkniętym torze wokół Ziemi. W aktualnym położeniu satelity w czasie t , stycznie do rzeczywistego toru określana jest elipsa o półosiach a i b w której w jednym z ognisk

znajduje się Ziemia. Parametry określające wymiary i położenie w przestrzeni ciągle zmieniającej się wraz z ruchem satelity *keplerowskiej orbity oskulacyjnej*, oraz pozycję satelity X, Y, Z w aktualnym położeniu w chwili t są opisane na rys. 80, 81.

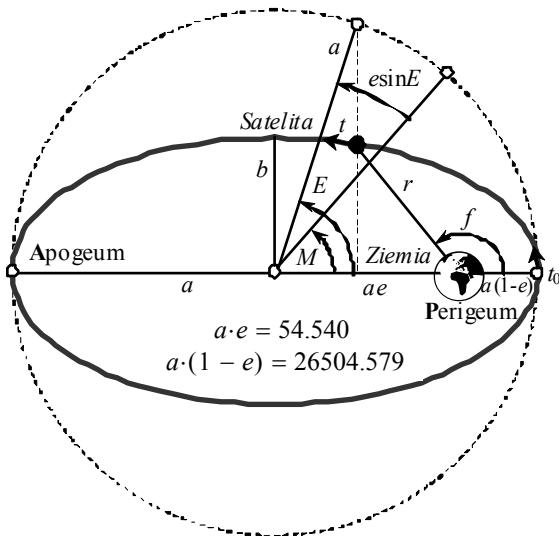


Rys. 80

W przybliżeniu [km]: $a := 26559.119$ $b := 26559.063$

$a - b = 0.056$

$$e := \sqrt{1 - \left(\frac{b}{a}\right)^2}$$



Rys. 81

a, b - półosie orbity
 e - mimośrodek orbity
 n - ruch średni satelity (prędkość kątowna satelity)

$$n = \frac{2\pi}{T} = \sqrt{\frac{\mu}{a^3}}$$

 T - okres obiegu satelity
 $T = 11 \text{ h } 57 \text{ min } 27 \text{ s}$
 μ - iloczyn stałej grawitacji i masy Ziemi,

$$\mu := 3.986005 \cdot 10^{14} \text{ m}^3/\text{s}^2$$

 M - anomalia średnia

$$M = n(t - t_0)$$

 E - anomalia ekscentryczna

$$E = M + e \sin E$$

 f - anomalia prawdziwa

$$f = \arctg \frac{\sqrt{1 - e^2} \sin E}{\cos E - e}$$

 r - promień wodzący satelity

$$r = a(1 - e \cos E)$$

3.2. Segment kontroli

Stacje centralna i monitorujące

Segment kontroli systemu GPS tworzą stacje nadzoru i korekcji działania systemu (rys. 82):

centralna w Colorado Springs, Kalifornia, USA:

- odbiór sygnałów z satelitów,
- odbiór informacji ze stacji kontrolnych naziemnych,
- obliczanie parametrów (efemeryd) orbit satelitów,
- wyznaczanie parametrów poprawek zegarów satelitów,
- obliczanie współczynników modelu jonosfery,
- przesyłanie informacji do stacji naziemnych,
- nadzór pracy stacji naziemnych,
- korekta orbit, naprawa i wymiana satelitów.

monitorujące na wyspach: Wniebowstąpienia, Hawajach, Diego Gracia i Marshalla:

- odbiór sygnałów z satelitów,
- telemetryczne sprawdzanie orbit satelitów,
- sprawdzanie poprawności działania satelitów,
- zbieranie danych do poprawek jonosferycznych i pomiaru czasu,
- przesyłanie informacji do stacji centralnej,
- przesyłanie informacji do satelitów.



Rys. 82

Czas systemu GPS

Czas w systemie GPS jest liczony w **tygodniach** (*WN* - *Week Number*) i **sekundach** (*t*) w danym tygodniu *WN*.

Na przykład:

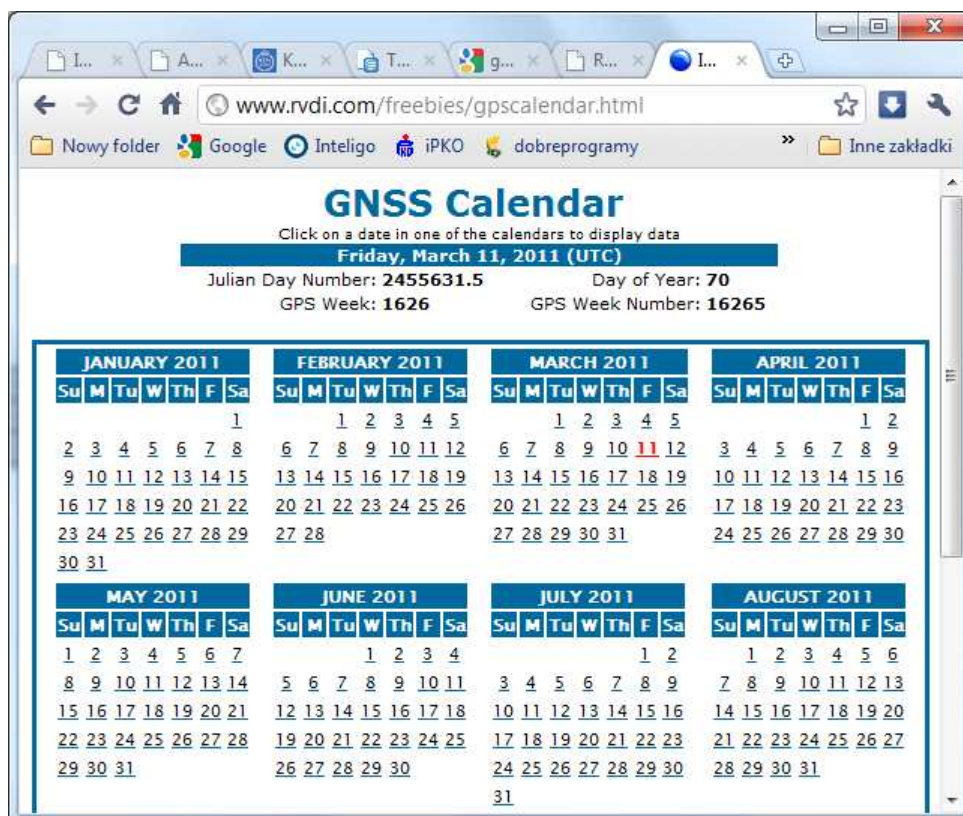
$$WN := 1626$$

jest numerem tygodnia w dniu 11.03.2011, natomiast

$$t := 5 \cdot 24 \cdot 60 \cdot 60 + 14 \cdot 60 \cdot 60 + 14 \cdot 60 + 13 \quad s$$

jest momentem czasowym 14^h 14^m 13^s w dniu 11.03.2011 wyrażonym w sekundach w tygodniu $WN = 1626$.

Czas zmienia się w zakresie od 0 do 604800 sekund w końcu tygodnia. Początkiem liczenia czasu GPS jest 0^h 05.01.1980.



Rys. 83

Efemerydy pokładowe

Co godzinę są wyznaczane przez stacje kontrolne i przesyłane do pamięci komputera każdego satelity parametry (*efemerydy pokładowe*) umożliwiające obliczenie przez odbiornik użytkownika pozycji satelity i czasu w czasie wysyłania sygnału:

- **parametry czasu**

$t_{0e} := 46800\text{s}$ - czas odniesienia efemeryd orbity

$t_{0c} := 46800\text{s}$ - czas odniesienia zegara satelity

$a_{0n} := -3.09338793159 \cdot 10^{-5} \text{s}$ - współczynniki wielomianowego modelu błędów zegara satelity względem t_{0c}

$a_1 := -2.27373675443 \cdot 10^{-13} \text{s/s}$

$a_2 := 0 \text{ s/s}^2$

- **parametry keplerowskie**

$a := 26559119.390591964$ - półoś orbity [m]

$e := 0.002060244442$ - mimośród orbity

$i_0 := 0.979466422479$ - kąt nachylenia orbity do płaszczyzny równika [rad]

$\omega := 0.743896798402$ - argument perigeum [rad]

$\Omega_0 := 1.47432997258$ - długość geograficzna węzła wstępującego [rad]

$M_0 := 1.26092743560$ - anomalia średnia [rad]

- **parametry zakłócające**

$\Delta n := 4.14231540121 \cdot 10^{-9}$	- przyrost prędkości kątowej [rad/s]
$\Omega_{DOR} := -7.96961768085 \cdot 10^{-9}$	- prędkość węzła wstępującego [rad/s]
$i_{DOR} := -1.99294015681 \cdot 10^{-10}$	- prędkość kąta nachylenia [rad/s]
$C_{us} := 4.7609210014 \cdot 10^{-6}$	- poprawka do argumentu szerokości SIN [rad]
$C_{uc} := -4.8596411943 \cdot 10^{-6}$	- poprawka do argumentu szerokości COS [rad]
$C_{rs} := -92.6875$	- poprawka do promienia wodzącego SIN [m]
$C_{rc} := 298.8125$	- poprawka do promienia wodzącego COS [m]
$C_{is} := 1.8626451492 \cdot 10^{-9}$	- poprawka do kąta nachylenia SIN [rad]
$C_{ic} := -2.7939677238 \cdot 10^{-8}$	- poprawka do kąta nachylenia COS [rad]

Sygnal nawigacyjny GPS

Oscylator zegara kwarcowego satelity o częstotliwości podstawowej

$$L := 10.23 \cdot \text{MHz}$$

generuje dwie fale nośne radiowe o wysokich częstotliwościach UHF, nazywane **kanalami transmisji danych**:

$$L1 := 154 \cdot L$$

$$L2 := 120 \cdot L$$

Fale te są wysyłane z prędkością światła w próżni, równą:

$$c = 299792458 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$$

zatem, długości tych fal wynoszą

$$\lambda_1 := \frac{c}{L1}$$

$$\lambda_2 := \frac{c}{L2}$$

Na częstotliwości te są nałożone:

- kody: C/A i P na L1 oraz P na L2, służące do identyfikacji satelity;
- dane nawigacyjne nazywane *depeszą nawigacyjną*, służące do określenia położenia satelity w momencie emisji kodu C/A lub P,

Kod C/A (Coarse/Acquisition):

- jest ogólnie dostępny, nadawany na kanale L1,
- jest modulowany impulsowo z fazą ± 1 według jednego z rodziny 1032 pseudolosowych PRN (*Pseudo Random Noise*) ciągów **Golda**, w odcinkach o długości 1023 bitów, transmitowanych z szybkością 1.023 Mbit/s; każdy satelita nadaje odcinek innego ciągu losowego w celu umożliwienia identyfikacji satelity (sekwencja odcinków ciągu przypisanych poszczególnym satelitom wybrana jest tak, aby sygnały różnych satelitów nie były ze sobą skorelowane, a dla każdego satelity współczynnik autokorelacji miał tylko jedno maksimum),
- wznowienie powtarzania odcinka ciągu następuje co 7 dni, w sobotę o północy,
- czas dościa kodu do odbiornika z prędkością światła $\sim 300\,000 \text{ km/s}^2$ przy

- odległości satelity od Ziemi ok. 20 000 km wynosi ok. 0.067 s.
- powtarzalność odcinka kodu danego satelity wynosi ok. 0.001 s, co umożliwia na szybką synchronizację kodu w odbiorniku z generowaną przez odbiornik repliką kodu,
- powtarzanie modulacji co 0.001 s przy prędkości fali $\sim 300\,000$ km/s umożliwia rozdzielczość pomiaru odległości (pozycji) ok. 300 m (przy założeniu błędu pomiaru równego odcinkowi kodu), w praktyce możliwe jest osiągnięcie dokładności pozycji znacznie większych 20 - 30 m.
- wyznaczanie pozycji na podstawie kodu C/A jest nazywane **standardowym serwisem pozycyjnym SPS** (*Standard Positioning System*).

Kod P (*Precise*):

- jest dostępny dla autoryzowanych użytkowników, nadawany na kanałach L1 i L2,
- sygnał modulowany jest w odcinkach o długości 7 dni i stanowi część trwającej 267 dni sekwencji ciągu pseudolosowego przypisanego każdemu z satelitów,
- wznowienie powtarzania odcinka ciągu następuje co 7 dni, w sobotę o północy,
- szybkość transmisji kodu P wynosi 10.23 MHz
- powtarzanie informacji z szybkością dziesięć razy większą niż szybkość powtarzania kodu C/A, zwiększa w przybliżeniu dziesięciokrotnie dokładność wyznaczania pozycji, do 2 - 3 m,
- wyznaczanie pozycji na podstawie kodu P jest nazywane **precyzyjnym serwisem pozycyjnym PPS** (*Precise Positioning System*).

Kod Y:

- nadawany jest w sytuacjach szczególnych, gdy włączony zostaje system zapobiegania intencjonalnym próbom zakłócania pracy urządzeń GPS, określanym terminem *anti-spoofing*.
- jest szyfrowany z częstością modulacji ok. 0,5 Hz co stanowi dodatkowe zabezpieczenie serwisu precyzyjnego PPS.

Depesza nawigacyjna

Depesza nawigacyjna satelity zawiera, między innymi:

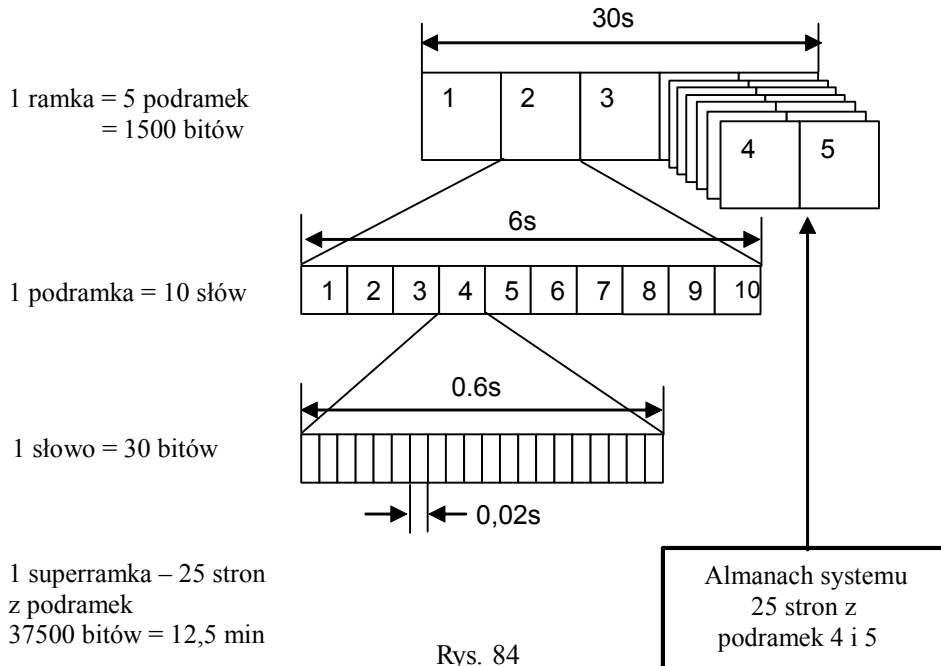
- 16 parametrów orbity danego satelity - *efemerydy orbity* oraz parametry poprawki zegara satelity i parametry poprawki jonosferycznej umożliwiające obliczenie położenia satelity w momencie emisji kodu C/A lub P,
- dane umożliwiające określenie położenia innych dostępnych satelitów, zawarte w tzw. *almanachu systemu*.

Depeszę nawigacyjną tworzą ramki liczące po 1500 bitów każda. Czas przesyłania jednej ramki wynosi 30 s, a całej wiadomości nawigacyjnej składającej się z 25 ramek wynosi 12.5 min. Każda ramka dzieli się na 5 sześciosekundowych podramek z których każda liczy 10 słów 30 bitowych. Transmisja jednego słowa trwa 0.6 s, a jednego bitu 0.02 s. We wszystkich satelitach depesza nawigacyjna rozpoczyna się w tym samym momencie - o północy z soboty na niedzielę czasu systemu - co jednotygodniowy cykl kodu precyzyjnego P. Dane w każdej ramce są aktualizowane co jedna lub dwie godziny w zależności od satelity.

W każdej z pięciu podramek każdej ramki pierwsze dwa słowa, zwane słowami kluczowymi są jednakowe:

- TLM - zawiera informacje telemetryczne TLM, pozwalające na identyfikację satelity oraz synchronizację ciągów losowych satelity i odbiornika,
- HOW (*Hand Over Word*) - umożliwia dostrojenie sygnału odbiornika do nadawanych przez satelitę, rozpoznanie kodów pseudolosowych, oraz przejście od odbioru kodu C/A do odbioru kodu P.

STRUKTURA DEPEZY NAWIGACYJNEJ GPS



Struktura trzech pierwszych podramek 1, 2, 3 jest stała. Kolejne dwie 4 i 5 posiadają po 25 stron zawierających odmienne informacje. Szczegółowy opis zawartości wszystkich ramek podany jest w plikach *gpsps1.pdf*, *gpspsa.pdf*, *icd200c.pdf* dostępnych w internecie.

Odbiór wszystkich stron z dwóch ostatnich podramek wymaga 25-krotnego powtórzenia. Każde z tych powtórzeń jest poprzedzone podramkami 1, 2 i 3. Pełna depesza nawigacyjna to 5 podramek stanowiących jedną ramkę, powtórzonych 25 razy co daje 37 500 bitów.

Cała informacja zawarta w podramkach 4 i 5 trwa 25 stron czyli 12.5 minuty.

Aktualizacja kodów satelitów następuje co tydzień o północy w każdą sobotę. Od tego momentu zliczane są epoki - odcinki czasu o długości 1.5 s. Licznik TOW (*Time Of Week*) jest liczbą 1.5 sekundowych epok, które upłynęły od początku bieżącego tygodnia, w zakresie od 0 do 403 199. Tydzień zawiera 403 200 epok. Licznik TOW jest zerowany na początku tygodnia.

Licznik Z jest numerem tygodnia od początku obliczania czasu systemu, a więc od północy z 5 na 6 stycznia 1980r. Jest on aktualizowany co 1024 tygodnie a więc co 19 lat. Ostatnia aktualizacja miała miejsce w sierpniu 1999r. Licznik ten pozwala na uwzględnienie różnic między czasem uniwersalnym UTC i satelitarnym GPS, występujących ze względu na sekundowy skok wprowadzany do czasu gwiazdowego GMT.

3.3. Segment użytkowników

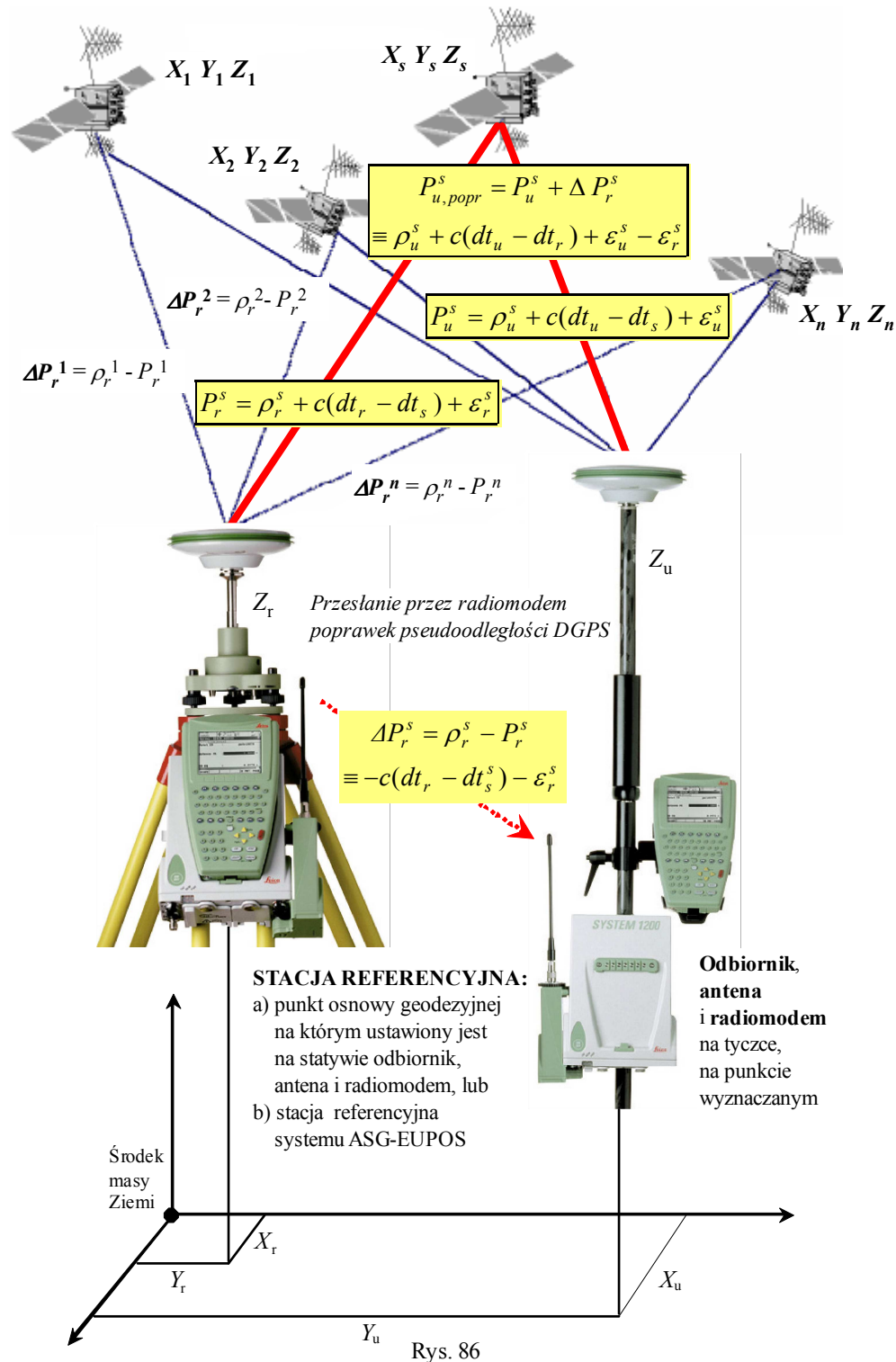
Segment użytkowników stanowią wszyscy korzystający z różnorodnych odbiorników przystosowanych do:

- odbioru, dekodowania i przetwarzania sygnałów satelitarnych,
- wyznaczania odległości od odbiornika do satelity metoda kodowa i metoda fazowa
- wykonywania obliczeń pozycji, prędkości i aktualnego czasu.

Na rynku dostępnych jest wiele typów odbiorników satelitarnych o różnorodnych zastosowaniach - w lotnictwie, żegludze, transporcie lądowym, gospodarce, geodezji, turystyce samochodowej itp., zapewniających odpowiednią dokładność wyznaczenia pozycji, prędkości poruszania się i czasu.

3.4. Pomiary DGNSS ASG-EUPOS

Identyfikacja satelitów



Rys. 86

Do odbiornika o wyznaczanych współrzędnych X_u, Y_u, Z_u dochodzą sygnały ze wszystkich dostępnych satelitów n - satelitów, $s = 1, 2, \dots, n$ o znanych współrzędnych X_s, Y_s, Z_s (rys. 86).

Rozpoznanie satelity dokonywane jest na podstawie odcinka kodu pseudolosowego C/A lub P, którym sygnał satelity (numer PRN satelity) jest modulowany. Generator repliki ciągów pseudolosowych wytwarza w odbiorniku wszystkie odcinki kodów stosowanych poszczególnych satelitach. Badany jest stopień korelacji kodu odebranego z satelity i jego repliki wytworzonej w odbiorniku. Zgodność repliki kodu z kodem odebranym z satelity jednoznacznie identyfikuje satelitę.

Obliczenie pozycji satelitów

Po identyfikacji satelity jego współrzędne X_s, Y_s, Z_s są obliczane na podstawie danych zawartych w jego depeszy nawigacyjnej, zamieszczonych w trzech pierwszych podramkach 30-sekundowych ramek:

- wskazanie zegara satelity w czasie rozpoczęcia nadawania odebranego odcinka kodu C/A lub P

$$t_{SV} := 469800$$

- poprawka zegara satelity

$$\delta_s := a_0 + a_1(t_{SV} - t_{0c}) + a_2(t_{SV} - t_{0c})^2$$

- czas systemu GPS w którym sygnał został wysłany

$$t_s := t_{SV} - \delta_s$$

- przyrost czasu między czasem odniesienia efemeryd a czasem wysłania sygnału

$$t_k := t_s - t_{0e}$$

- anomalna średnia M_k , mimośrodowa E_k i prawdziwa f_k :

$$M_k := M_0 + \left(\sqrt{\frac{\mu}{a^3}} + \Delta n \right) \cdot t_k \quad M_k = 1.5234902739$$

$$E_k := \begin{cases} E_k \leftarrow 0 & E_k = 1.52554840964 \\ \text{for } i \in 1..5 \\ E_k \leftarrow M_k + e \cdot \sin(E_k) \end{cases}$$

$$f_k := \operatorname{atan} \left(\frac{\sqrt{1 - e^2} \cdot \sin(E_k)}{\cos(E_k) - e} \right) \quad f_k = 1.5276066428$$

- argument szerokości u_k , promień wodzący r_k , kąt nachylenia orbity i_k oraz długość geograficzna węzła wstępującego Ω_k :

$$u_k := \omega + f_k + C_{us} \cdot \sin[2 \cdot (\omega + f_k)] + C_{uc} \cdot \cos[2 \cdot (\omega + f_k)]$$

$$r_k := a \cdot (1 - e \cdot \cos(E_k)) + C_{rs} \cdot \sin[2 \cdot (\omega + f_k)] + C_{rc} \cdot \cos[2 \cdot (\omega + f_k)]$$

$$i_k := i_0 + i_{DOT} \cdot t_k + C_{is} \cdot \sin[2 \cdot (\omega + f_k)] + C_{ic} \cdot \cos[2 \cdot (\omega + f_k)]$$

$$\Omega_k := \Omega_0 + (\Omega_{DOT} - \omega_Z) \cdot t_k - \omega_Z \cdot t_{0e}$$

- współrzędne satelity w czasie wysłania sygnału

$$X_s := r_k (\cos(u_k) \cdot \cos(\Omega_k) - \sin(u_k) \cdot \sin(\Omega_k) \cdot \cos(i_k)) \quad X_s = 7637997.2846$$

$$Y_s := r_k (\cos(u_k) \cdot \sin(\Omega_k) + \sin(u_k) \cdot \cos(\Omega_k) \cdot \cos(i_k)) \quad Y_s = 19050017.5574$$

$$Z_s := r_k \sin(u_k) \cdot \sin(i_k) \quad Z_s = 16852755.4009$$

Obserwacje kodowe pseudoodległości

Przy braku wpływu środowiska i innych czynników zakłócających przebieg fal radiowych, odległość geometryczna satelity od odbiornika użytkownika

$$\rho_u^s = \sqrt{(X_s - X_u)^2 + (Y_s - Y_u)^2 + (Z_s - Z_u)^2}$$

jest równa iloczynowi predkości fali elektromagnetycznej w próżni, emitowanej przez satelitę

$$c = 299792458 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$$

i czasu przebiegu sygnału od satelity do odbiornika:

$$\rho_u^s = c(t_u - t_s)$$

Uwzględniając błędy zegara satelity δt_s i odbiornika δt_u :

$$\begin{aligned} \rho_u^s &= c(t_u - t_s) \\ &= c(t_{UV} - t_{SV}) - c(\delta t_u - \delta t_s) \\ &= R_u^s - c(\delta t_u - \delta t_s) \end{aligned}$$

gdzie

$t_s = t_{SV} - \delta t_s$ - czas GPS wysłania sygnału przez satelitę:

t_{SV} - wskazanie zegara satelity,

δt_s - błąd zegara satelity,

$t_u = t_{UV} - \delta t_u$ - czas GPS odbioru sygnału przez odbiornik użytkownika:

t_{UV} - wskazanie zegara odbiornika,

δt_u - błąd zegara odbiornika.

$R_u^s = c(t_{UV} - t_{SV})$ - pomierzona bezpośrednio przybliżona wartość odległości nazywana **pseudoodległością**

Równanie pomierzonej pseudoodległości przyjmuje więc postać

$$R_u^s = \rho_u^s + c(\delta t_u - \delta t_s)$$

lub

$$R_u^s = \rho_u^s + c(\delta t_u - \delta t_s) + \varepsilon_u^s$$

- przy uwzględnieniu szeregu czynników zakłócających

$$\varepsilon_u^s = \delta_{ion} + \delta_{tro} + \delta_{tide} + \delta_{mul} + \delta_{rel}$$

gdzie

- $\delta_{ion}, \delta_{tro}$ - poprawki atmosferyczne **jonosferyczna** i **troposferyczna**,
- δ_{tide} - poprawka **pływowa** Ziemi (*earth tides*),
- δ_{mul} - poprawka **wielotorowości** ścieżki fali (*multipath*),
- δ_{rel} - efekty relatywistyczne,
- ε - pozostałe błędy

Dokładność pomiaru kodowego pseudoodległości jest rzędu 3 m dla kodu C/A i 30 cm dla kodu P.

Poprawki pseudoodległości DGNSS ze stacji referencyjnej

Pomiar DGNSS (*Differential GNSS*) jest techniką różnicowych pomiarów satelitarnych GNSS opartą na pomiarach kodowych pseudoodległości do satelitów GNSS, w której wyznaczone współrzędne są korygowane za pomocą poprawek pseudoodległości DGNSS przesyłanych ze **stacji referencyjnej** (rys. 86).

Odbiorniki użytkownika (u) i stacji referencyjnej (r) wykonują pomiary kodowe pseudoodległości P_u^s, P_r^s do wszystkich dostępnych n - satelitów, $s = 1, 2, \dots, n$ o znanych współrzędnych X_s, Y_s, Z_s tym samym czasie.

Odbiornik na stacji referencyjnej oblicza poprawki pseudoodległości do poszczególnych satelitów, jako różnice geometrycznych odległości i pomierzonych pseudoodległości, nazywane poprawkami DGNSS:

$$\Delta P_r^s = \rho_r^s - P_r^s \equiv -c(dt_r - dt_s) - \varepsilon_r^s$$

które przesyłane są do odbiornika użytkownika.

Odbiornik użytkownika dodaje otrzymane poprawki do odpowiadających pomierzonych pseudoodległości

$$P_u^s + \Delta P_r^s = \rho_u^s + c(dt_u - dt_r) + \varepsilon_u^s - \varepsilon_r^s$$

lub równoważnie, w postaci

$$P_{u,popr}^s = \rho_u^s + cdt_{ur} + \varepsilon_{ur}^s$$

gdzie

$$P_{u,popr}^s = P_u^s + \Delta P_r^s - \text{poprawiona pseudoodległość}$$

$$\varepsilon_{ur}^s = \varepsilon_u^s - \varepsilon_r^s - \text{błąd resztowy pseudoodległości}$$

$$dt_{ur} = dt_u - dt_r - \text{różnica błędów zegara użytkownika i stacji referencyjnej.}$$

Współrzędne odbiornika użytkownika X_u, Y_u, Z_u oraz różnicę błędów dt_{ur} odbiornik oblicza w wyniku rozwiązania układu równań pseudoodległości zestawionych dla wszystkich dostępnych n - satelitów, $s = 1, 2, \dots, n$.

$$P_{u, popr}^s = \sqrt{(X_s - X_u)^2 + (Y_s - Y_u)^2 + (Z_s - Z_u)^2} + cdt_{ur} + \varepsilon_{ur}^s$$

Układ równań jest następnie linearyzowany przez rozwinięcie w szereg Taylora i wyrównywany metoda najmniejszych kwadratów. Dokładność wyznaczania pozycji można zwiększyć korzystając z wielu stacji referencyjnych.

Poprawki KODGIS i NAWGIS systemu ASG-EUPOS

W praktyce wykorzystywane są poprawki DGNSS udostępniane przez serwisy czasu rzeczywistego systemu ASG-EUPOS:

- poprawki serwisu KODGIS umożliwiają wyznaczenie współrzędnych z błędem średnim nie przekraczającym 0,25 m przy korzystaniu z odbiorników L1/L2 oraz nie przekraczającym 1,5 m przy wykorzystaniu odbiorników L1.
- poprawki serwisu NAWGIS umożliwiają wyznaczenie współrzędnych z błędem średnim nie przekraczającym 3 m przy korzystaniu z odbiorników L1.

Rodzaj	Nazwa	Metoda pomiaru	Transmisja danych	Zakładana dokładność	Minimalne wymagania sprzętowe
Serwisy czasu rzeczywistego	NAWGEO	kinematyczna (RTK)	Internet, GSM (GPRS)	do 0,03 m (poz.) do 0,05 m (pion.)	Odbiornik L1/L2 RTK, moduł komunikacyjny
	KODGIS	kinematyczna (DGPS)		do 0,25 m	Odbiornik L1 DGPS, moduł komunikacyjny
	NAWGIS			do 3 m	
Serwisy post-processingu	POZGEO	statyczna	Internet	Zależna od warunków pomiarowych (0,01 - 0,10 m)	Odbiornik L1
	POZGEO D	statyczna, kinematyczna			

Zalecenia techniczne GUGIK

Według ZALECEŃ TECHNICZNYCH *Pomiary satelitarne GNSS oparte na systemie stacji referencyjnych ASG-EUPOS*, Główny Geodeta Kraju, GUGIK Warszawa 2011 (autorzy: *W. Graszka, Sz. Wąjda, A. Oruba, M. Ryczywolski*):

Przed rozpoczęciem właściwych prac pomiarowych, należy sprawdzić poprawność działania sprzętu i otrzymywanych poprawek DGNSS w oparciu o pomiar kontrolny na punkcie o znanych współrzędnych płaskich i/lub wysokości.

Punkt kontrolny powinien być zlokalizowany w odległości nie większej niż 500 m od najbliższego punktu objętego pomiarem.

Współrzędne punktu kontrolnego mogą pochodzić:

- z państwowego zasobu geodezyjnego i kartograficznego (punkty osnowy geodezyjnej lub szczegóły I lub II grupy dokładnościowej),
- z innych źródeł np. z wcześniej wykonanych pomiarów metoda DGNSS, RTK lub metoda statyczna, przy czym współrzędne i wysokości muszą być w tych samych układach w jakich został skonfigurowany odbiornik.

W uzasadnionych przypadkach współrzędne punktu kontrolnego mogą być uzyskane poprzez wykonanie drugiego niezależnego pomiaru metoda DGNSS wykonanego bezpośrednio przed pomiarem kontrolnym.

Różnice pomiędzy wynikiem pomiaru punktu kontrolnego metoda DGNSS, a współrzędnymi kontrolnymi punktu nie powinny przekraczać wartości:

$$dx, dy = \pm 0,60 \text{ m}, \quad dh = \pm 0,90 \text{ m}$$

przy wykorzystaniu serwisu KODGIS

Pomiar należy wykonywać w odpowiednich warunkach terenowych, przy czym na punktach mierzonych należy unikać:

- przeszkód terenowych typu: budynki, drzewa, krzewy itp., powyżej 15° nad horyzontem,
- elementów infrastruktury technicznej emitujących fale elektromagnetyczne (nadajniki radiowe/GSM/inne, infrastruktura do przesyłu energii elektrycznej, kolejowe i tramwajowe sieci trakcyjne, itp.),
- powierzchni mogące powodować odbicia sygnałów satelitarnych (ściany budynków, dachy, skały, zbiorniki wodne, samochody, itp.) – tylko w przypadku serwisu KODGIS.

Antenę odbiornika należy z dokładnością odpowiednią do wykonywanego zadania ustawić nad wyznaczonym punktem oraz wyznaczyć jej wysokość zgodnie z zaleceniami producenta i wprowadzić wartość do oprogramowania rejestrującego pomiary.

Minimalne warunki pomiaru DGNS:

- odbiornik powinien pracować w trybie DGNS
- odbiornik powinien wyznaczać pozycję w oparciu o minimum 5 satelitów
- minimalny kąt pionowy do śledzonych satelitów powinien być równy 10°
- dokonywać wyznaczeń pozycji przy wartości współczynnika PDOP mniejszej od 6

Szczegóły należące do II grupy dokładności pomiaru sytuacyjnego (G-4) można mierzyć przy warunkach:

- powinien być użyty odbiornik L1/L2 wykorzystując poprawki z serwisu KODGIS
- parametr PDOP powinien być mniejszy lub równy 4
- odchylenie standardowe pozycji poziomej ≤ 0.30 m
- dla interwału zapisu pozycji 1s czas pomiaru powinien wynosić 5 s.

Szczegóły należące do III grupy dokładności pomiaru sytuacyjnego (G-4) można mierzyć przy dodatkowych warunkach:

- odchylenie standardowe pozycji poziomej ≤ 0.50 m
- dla interwału zapisu pozycji 1s czas pomiaru powinien wynosić 3 s.

Przeliczenie pomierzonych współrzędnych geocentrycznych do państwowych układów współrzędnych płaskich i wysokości może być wykonane w odbiorniku, kontrolerze lub na etapie kameralnego opracowania wyników.

Zaleca się wykonanie pomiarów kontrolnych na punktach osnowy znajdujących się na terenie objętym pomiarem. Jeżeli różnice między współrzędnymi pomierzonymi a współrzędnymi z zasobu geodezyjnego przekraczają 0.5 m zalecane jest wykonanie transformacji do lokalnej osnowy geodezyjnej. W każdym przypadku na terenach eksploatacji górniczej i innych terenach podlegających deformacjom zalecana jest transformacja lokalna z punktami osnowy jako punktami dostosowania.

Wyznaczenie wysokości w państwowym układzie wysokości:

- wyznaczenie wysokości następuje poprzez przeliczenie w odbiorniku pomierzonych wysokości według ścisłych zależności matematycznych dotyczących obowiązującego modelu geoidy niwelacyjnej,
- dopuszcza się wykonanie obliczeń na etapie prac kameralnych, przy czym opracowanie wyników uregulowane jest odrębnymi przepisami,
- wyznaczenie wysokości może nastąpić także w oparciu o transformację opartą o punkty dostosowania, przyjmując określone w ust. 23.5. zasady pomiaru punktów dostosowania.

4

Przetwarzanie map analogowych

Tworzenie mapy zasadniczej

Mapa zasadnicza jest tworzona w technologii GIS w programach komputerowych będących na wyposażeniu Ośrodków Dokumentacji Geodezyjnej i Kartograficznej (ODGIK).

Geometria obiektów mapy zasadniczej jest pozyskiwana na podstawie:

- bezpośrednich pomiarów sytuacyjnych i wysokościowych:
 - szkic połowy pomierzonych obiektów terenowych,
 - wykaz współrzędnych i wysokości punktów pomierzonych obiektów,
- wektoryzacji skanowanych arkuszy mapy zasadniczej,
- wektoryzacji ortofotomap lotniczych i satelitarnych.

Geodeci przekazują mapę do Ośrodków Dokumentacji Geodezyjnej i Kartograficznej w postaci warstwowej wektorowej, utworzoną na podstawie pomiarów bezpośrednich w programach takich jak *C-Geo*, *MicroMap*, *AutoCad*, *Microstation*, *ArcGIS*, *GeoInfo*, i innych.

W dalszej części tego podrozdziału przedstawiony jest przykład kreślenia mapy za pomocą programu *C-Geo* na podstawie szkicu połowego (rys. 3.3.1) i współrzędnych pomierzonych punktów (tab. 3.3.3).

4.1. Skanowanie i georeferencja mapy

Mapa rastrowa

Mapa rastrowa jest *cyfrowym obrazem* mapy wykonanej w konkretnej skali i odwzorowaniu kartograficznym, w postaci pliku dyskowego zawierającego:

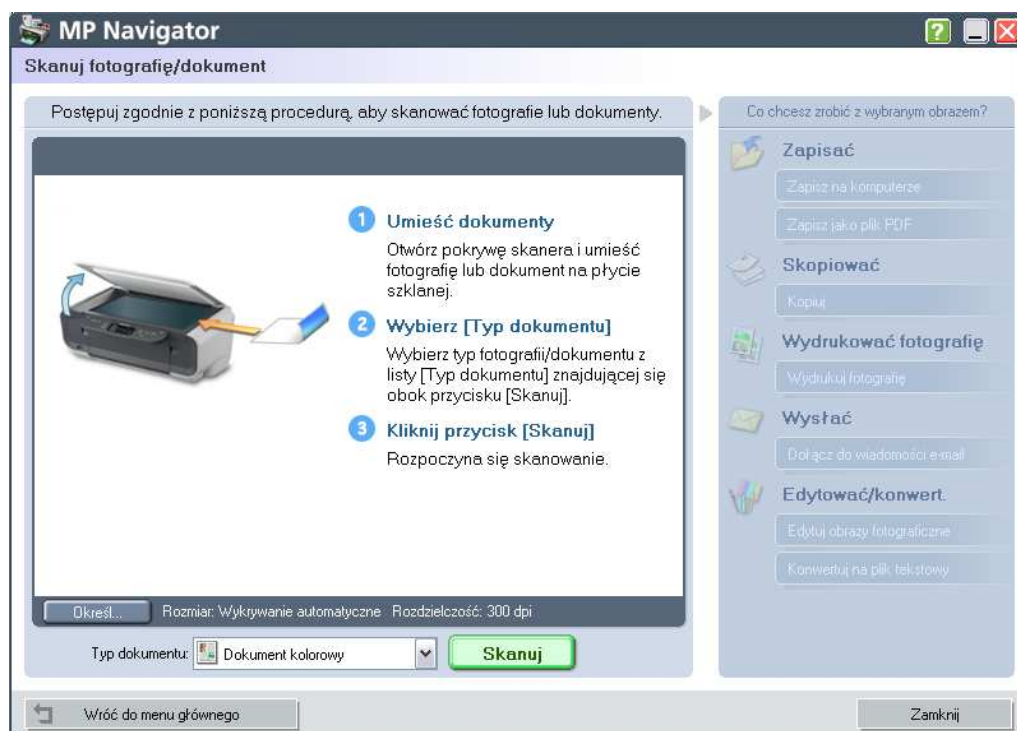
- współrzędne terenowe każdego najmniejszego kwadratowego elementu mapy nazywanego *pikselem*,
- wartości jasności barw R - czerwonej, G - zielonej, B - niebieskiej w zakresie 0-255 określających kolor każdego piksela.

Mapy rastrowe tworzone są zwykle poprzez *skanowanie* i *georeferencję* map analogowych papierowych i foliowych lub metodami fotogrametrycznymi.

Skanowanie

Skanowanie to proces wczytywania tekstu oraz grafiki do pamięci komputera za pomocą skanera (rys. 87):

- skanowany dokument na przykład mapa umieszczany jest pod pokrywą skanera na płycie szklanej,
- wybierany jest typ skanowanego dokumentu: fotografia kolorowa, fotografia czarno-biała, dokument kolorowy, dokument czarno-biały, czasopismo kolorowe, tekst,
- za pomocą przycisku *Skanuj* uruchamiany jest proces skanowania.



Rys. 87

Skanowanie czarnobiałe jest realizowane jest za pomocą jednej linii detektorów światła przesuwanej wzdłuż skanowanego dokumentu natomiast kolorowe przez trzy linie detektorów z nałożonymi filtrami dla barwy czerwonej - R, zielonej - G i niebieskiej - B.

W czasie skanowania czarnobiałego tworzona jest w pamięci komputera macierz stopni szarości pikseli nazywana *rastrem*, której:

- wiersze, w liczbie odpowiadają kolejnym położeniom linii skanującej,
- liczba kolumn jest równa liczbie detektorów zawartych w linii skanującej,
- elementami są wartości jasności najmniejszych elementów skanowanej mapy nazywanych *pikselami*, zarejestrowane przez detektory w zakresie od 0 do 255 stopni szarości (0 - czarny, 255 - biały).

W przypadku skanowania kolorowego każdemu pikselowi mapy przyporządkowane są trzy wartości jasności poszczególnych barw R, G, B w zakresie 0 - 255 stopni szarości. W tym przypadku raster zawiera trzy macierze stopni szarości pikseli odpowiadające barwom R, G, B.

Rozdzielczość skanowania

Rozdzielczość skanowania określa się wielkością piksela mapy w milimetrach. Maksymalna rozdzielczość jest równa wymiarowi detektorów zamontowanych w linijce skanera, np. 0.127 mm. W praktyce jako rozdzielczość podaje się liczbę pikseli na

odcinku jednego cala (25.4 mm), np. $\frac{25.4}{0.127} = 200 \text{ dpi}$.

Urządzenie wielofunkcyjne (drukarka, skaner i kopiarka) pokazane na rys. 4.2.1 umożliwiają skanowanie z rozdzielczością 75, 100, 150, 200, 300, 400, 500 i 600 dpi.

Mapy są skanowane za pomocą skanerów odpowiedniego formatu w rozdzielczości nie mniejszej od 300 dpi.

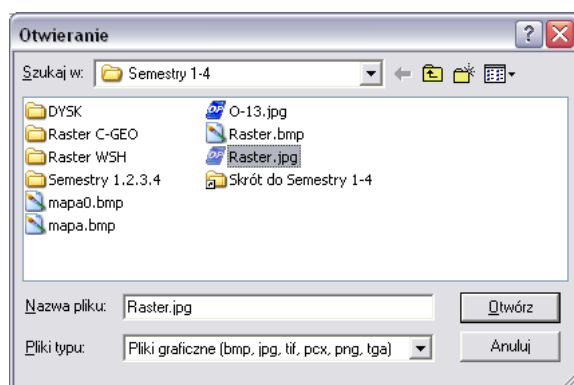
Zapis do dysku

Macierz stopni szarości pikseli otrzymana w wyniku skanowania czarnobiałego lub trzy

macierze stopni szarości R, G, B otrzymane w wyniku skanowania kolorowego są zapisywane do pliku dyskowego w jednym z popularnych formatów graficznych takich jak *bmp*, *jpg* i inne.

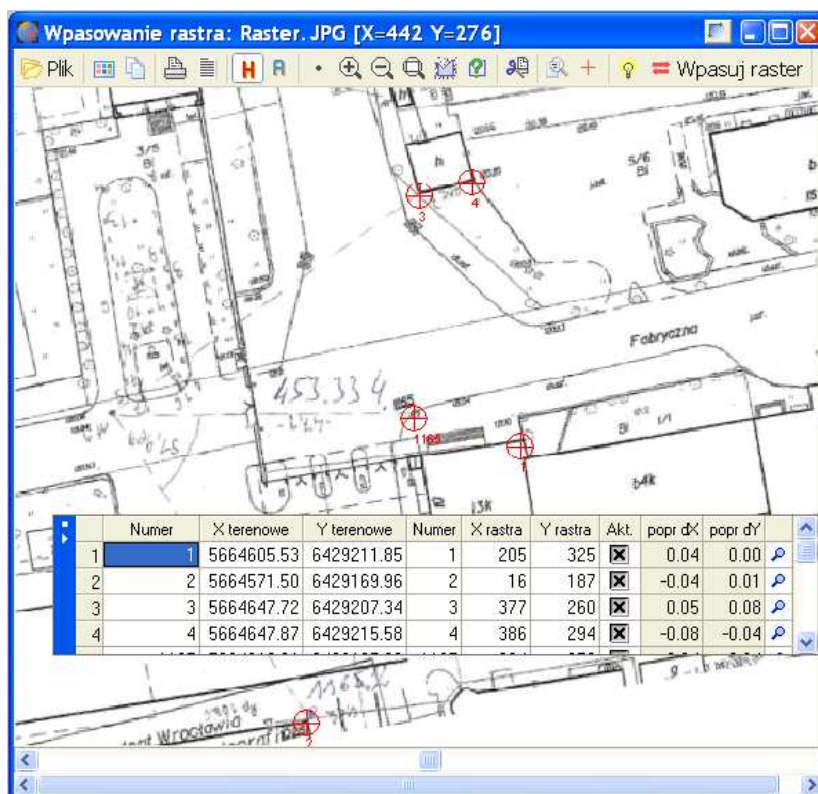
Przeglądanie rastra

Raster może być przeglądany na ekranie monitora w dowolnym programie graficznym. W przypadku *C-Geo* okno dialogowe za pomocą którego można wczytać raster np. zapisany w pliku *Raster.jpg* (rys. 88) ukazuje się po wyborze opcji *Mapa/Raster/Wpasowanie rastra/Plik/Wczytaj raster*.



Rys. 88

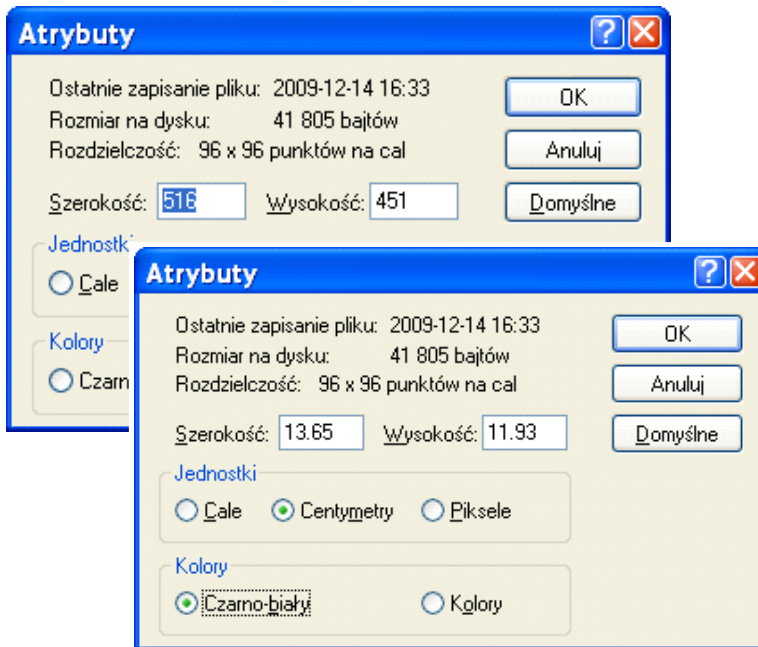
Raster czarnobiały jest wyświetlany na ekranie w ten sposób, że każdy piksel jest zaczerniany w zależności od jego stopnia szarości w zakresie 0 - czarny do 255 - biały. W przypadku rastra kolorowego barwa piksela na ekranie jest ustalana w wyniku mieszania kolorów podstawowych R, G i B danego piksela (rys. 89).



Rys. 89

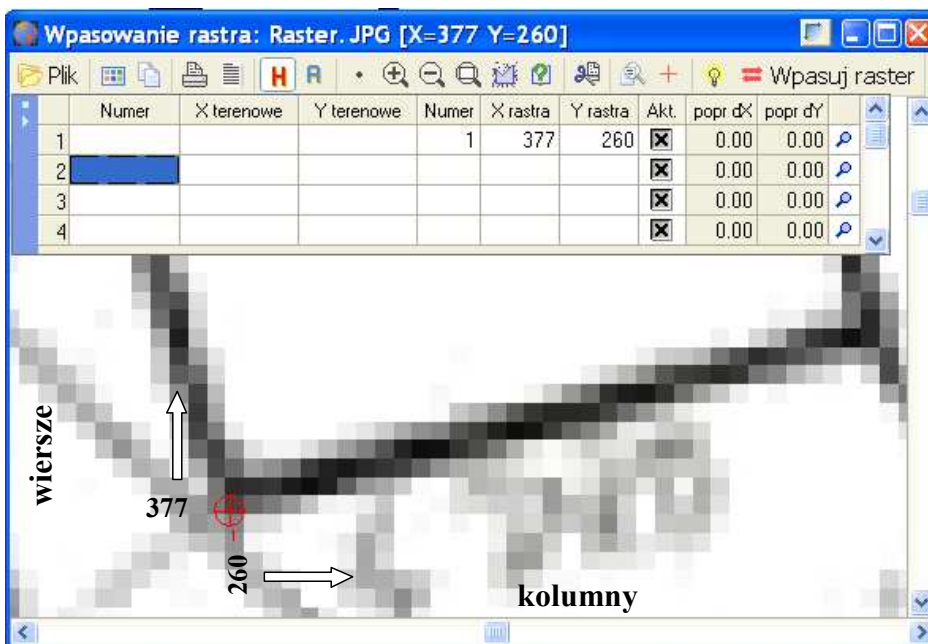
Szczegółową charakterystykę rastra *Raster.jpg* można przejrzeć np. w programie *Paint* (Windows) wybierając opcję *Atrybuty* (rys. 90).

- rozdzielczość 200 dpi, tj. 200 pikseli na cal (25.4 mm), skąd wynika:
 - wymiar piksela $25.4/200 = 0.127$ mm
 - szerokość rastra $1800 * 0.127 = 228.6$ mm
 - wysokość rastra $1962 * 0.127 = 249.2$ mm.



Rys. 90

Po kilkakrotnym powiększeniu obrazu (rys. 91) jest wyraźnie widoczne, że wiersze i kolumny rastra układają się równoległe do ramki ekranu. Przemieszczając kursor można wybrać dowolny piksel np. środek narożnika budynku oznaczony numerem 3 na rys. 4.2.3 oraz odczytać jego współrzędne pikselowe 377 - numer wiersza i 260 - numer kolumny w macierzy stopni szarości.



Rys. 91

Georeferencja rastra

Dopasowanie rastra mapy do układu współrzędnych - nazywane georeferencją lub kalibracją realizowane jest zwykle przez jego przesunięcie, obrót i skalowanie tak, żeby punkty dopasowania na rastrze np. 1, 2, 3, 4 pokryły się z tymi punktami o znanych współrzędnych terenowych.

W tym celu (rys. 89,91):

- na rastrze odczytywane są współrzędne pikselowe x, y punktów dopasowania 1, 2, 3 i 4 oraz wpisywane są współrzędne terenowe X, Y tych punktów:

$$x := \begin{pmatrix} 205 \\ 16 \\ 377 \\ 386 \\ 224 \end{pmatrix} \quad y := \begin{pmatrix} 325 \\ 187 \\ 260 \\ 294 \\ 256 \end{pmatrix} \quad X := \begin{pmatrix} 5664605.53 \\ 5664571.50 \\ 5664647.72 \\ 5664647.87 \\ 5664613.81 \end{pmatrix} \quad Y := \begin{pmatrix} 6429211.85 \\ 6429169.96 \\ 6429207.34 \\ 6429215.58 \\ 6429197.60 \end{pmatrix}$$

- wybijana jest metoda wpasowania np. **H** - Helmerta i uruchamiana jest opcja *Oblicz wsp* - obliczenia współczynników transformacji według algorytmu:
- macierz współczynników **A** i wektor wyrazów wolnych **l** równań obserwacyjnych transformacji $\mathbf{l} = \mathbf{A}\mathbf{p} + \mathbf{v}$, zestawionych łącznie dla współrzędnej X i Y (rys. 95):

$$X = t_X + ax - by + v_X$$

$$Y = t_Y + bx + ay + v_Y$$

$$\mathbf{l} \quad \mathbf{A} \quad \mathbf{p} \quad \mathbf{v}$$

$$\begin{pmatrix} X_1 \\ Y_1 \\ X_2 \\ Y_2 \\ X_3 \\ Y_3 \\ X_4 \\ Y_4 \end{pmatrix} := \begin{pmatrix} 1 & 0 & x_1 & -y_1 \\ 0 & 1 & y_1 & x_1 \\ 1 & 0 & x_2 & -y_2 \\ 0 & 1 & y_2 & x_2 \\ 1 & 0 & x_3 & -y_3 \\ 0 & 1 & y_3 & x_3 \\ 1 & 0 & x_4 & -y_4 \\ 0 & 1 & y_4 & x_4 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} t_X \\ t_Y \\ a \\ b \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} v_{X_1} \\ v_{Y_1} \\ v_{X_2} \\ v_{Y_2} \\ v_{X_3} \\ v_{Y_3} \\ v_{X_4} \\ v_{Y_4} \end{pmatrix}$$

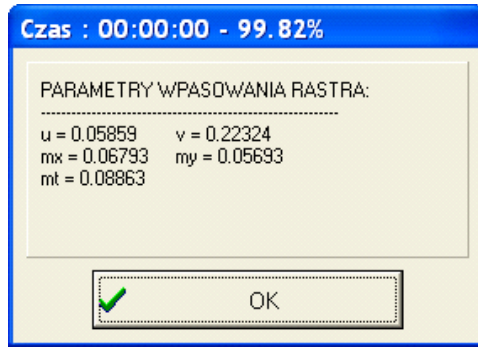
- współczynniki transformacji (rys. 92)

$$\begin{pmatrix} t_X \\ t_Y \\ a \\ b \end{pmatrix} := (\mathbf{A}^T \cdot \mathbf{A})^{-1} \cdot \mathbf{A}^T \mathbf{l} \quad \begin{pmatrix} t_X \\ t_Y \\ a \\ b \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 5664578.8574982 \\ 6429127.27500594 \\ 0.22323189 \\ 0.05860242 \end{pmatrix}$$

- współrzędne po transformacji

$$X_t := t_X + a \cdot x - b \cdot y$$

$$Y_t := t_Y + b \cdot x + a \cdot y$$



Rys. 92

$$X_t = \begin{pmatrix} 5664605.574 \\ 5664571.471 \\ 5664647.779 \\ 5664647.796 \\ 5664613.859 \end{pmatrix} \quad Y_t = \begin{pmatrix} 6429211.839 \\ 6429169.957 \\ 6429207.408 \\ 6429215.526 \\ 6429197.549 \end{pmatrix}$$

- różnice współrzędnych znanych i transformowanych

$$v_X := X - X_t \quad v_Y := Y - Y_t$$

$$v_X = \begin{pmatrix} -0.04 \\ 0.03 \\ -0.06 \\ 0.07 \\ -0.05 \end{pmatrix} \quad v_Y = \begin{pmatrix} 0.01 \\ 0.00 \\ -0.07 \\ 0.05 \\ 0.05 \end{pmatrix}$$

- odległości punktów znanych od ich położenia transformowanych

$$v := \sqrt{v_X^2 + v_Y^2}$$

$$v = \begin{pmatrix} 0.05 \\ 0.03 \\ 0.09 \\ 0.09 \\ 0.07 \end{pmatrix}$$

- błąd średniokwadratowy wpasowania $n := 4$

$$m_0 := \sqrt{\frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n (v_i)^2}$$

- uruchomiana jest opcja *Wpasuj raster* - do przeliczenia współrzędnych pikselowych każdego piksela rastra na jego współrzędne terenowe według wyznaczonej zależności:

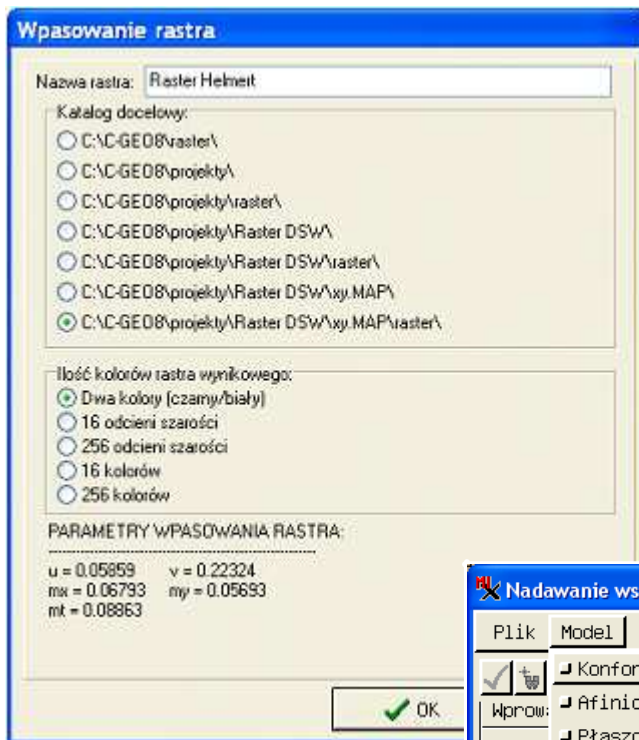
$$X = t_X + ax - by$$

$$Y = t_Y + bx + ay$$

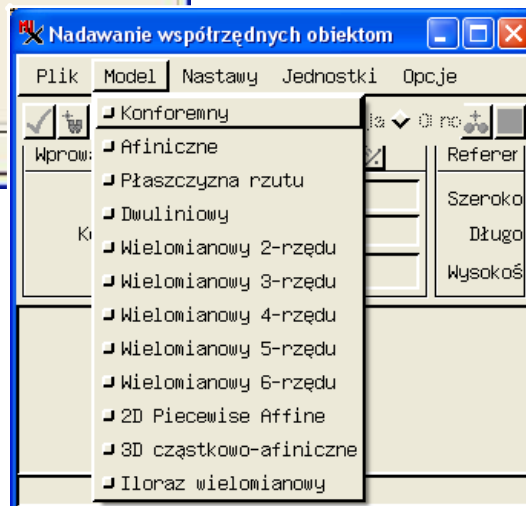
- zamykane jest okno wpasowywania rastra - opcja *EXIT*; wpasowany raster jest automatycznie zapisywany do pliku dyskowego.

Ze względu na możliwe deformacje skanowanej mapy jak również niedokładności

skanowania lepszy rezultat wpasowania - o mniejszym błędzie średnim wpasowania m_0 , można osiągnąć przy zastosowaniu modeli dopuszczających deformacje niejednorodne (rys. 94).



Rys. 93



Rys. 94

Najczęściej stosowane są następujące modele wpasowania, dostępne w programach CAD i GIS np. TNT (rys 94):

- liniowy izotropowy (równoskalowy) konforemny nazywany **transformacją Helmerta**; realizuje przesunięcie t_x, t_y , obrót ϕ i rozciągnięcie układu pierwotnego względem wtórnego w kierunkach osi x i y przy założeniu jednakowej skali m ; minimalna liczba punktów dopasowania 2 (rys. 95):

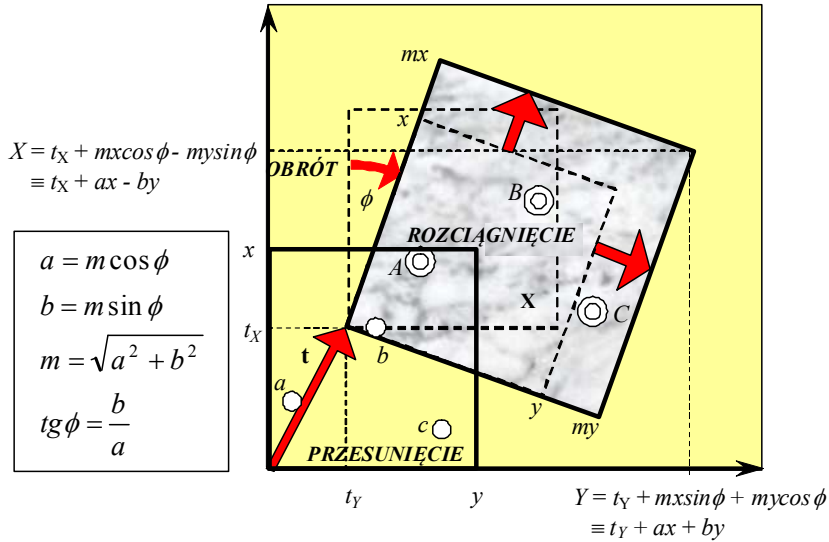
$$X = t_x + ax - by$$

$$Y = t_y + bx + ay$$

Wynika stąd, że transformacja przez podobieństwo przekształca proste na proste, zachowuje równoległość prostych, nie zmienia wartości kątów, zachowuje jednakową skalę długości w każdym punkcie i w każdym kierunku (izotropowość), kwadratowe piksele są przekształcone na kwadratowe obrócone i jednakowo przeskalowane piksele, kształt dowolnego obiektu po transformacji zostaje zachowany natomiast zmienia się jego wielkość, na przykład okrąg przekształcany jest na przeskalowany okrąg.

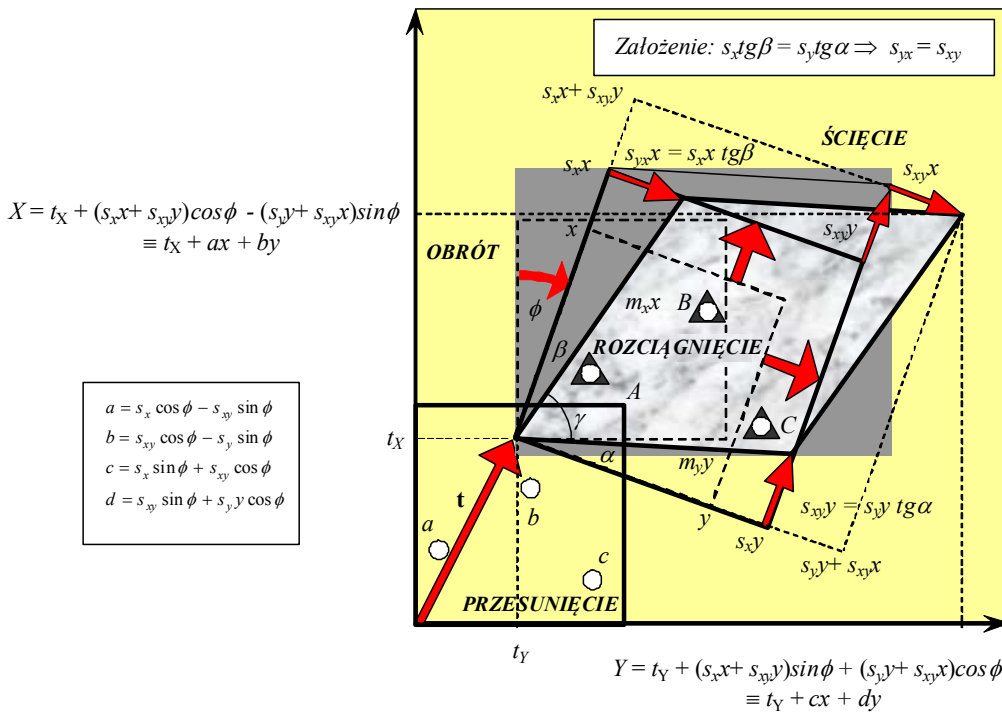
Transformacja ta jest często stosowana do: georeferencji skanowanych arkuszy map, zdjęć satelitarnych i lotniczych; kalibracji zdjęć lotniczych - wyznaczenie parametrów orientacji wewnętrznej; transformacji współrzędnych geodezyjnych.

TRANSFORMACJA HELMERTA
 Mapa rastrowa dopasowana do punktów georeferencyjnych przez:
przesunięcie, obrót i rozciągnięcie



Rys. 95

TRANSFORMACJA AFINICZNA
 Mapa rastrowa dopasowana do punktów georeferencyjnych przez:
przesunięcie, obrót, rozciągnięcie i ścięcie

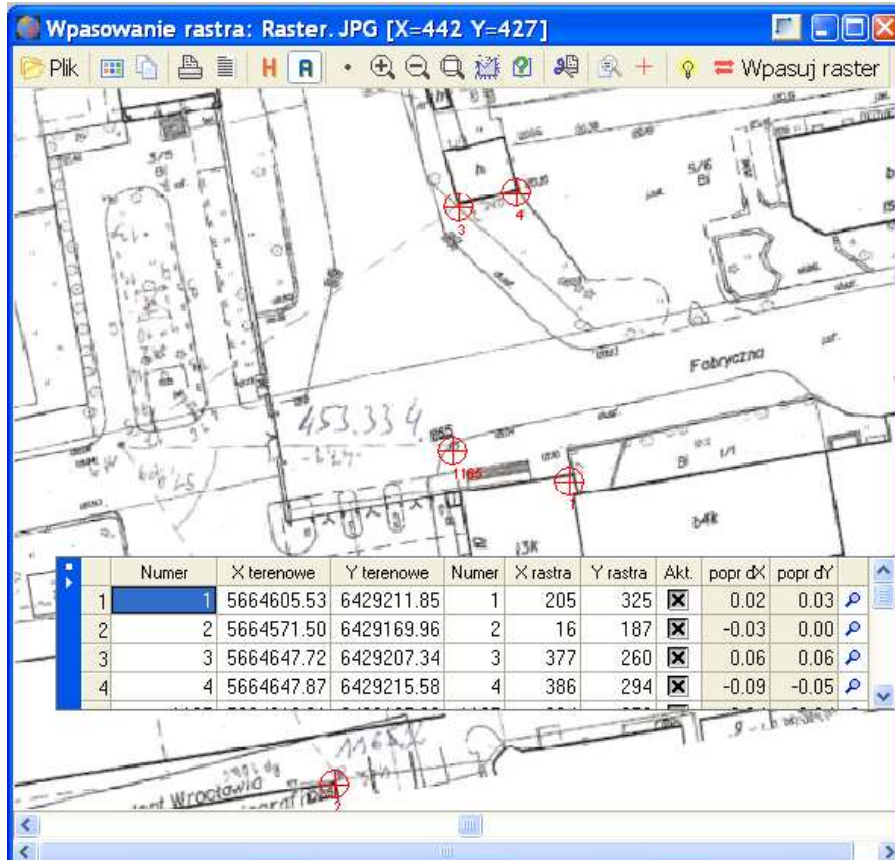


Rys. 96

- liniowy anizotropowy (różnoskalowy) nazywany **transformacją afiniczną**; realizuje przesunięcie t_x , t_y obrót ϕ , oraz rozciągnięcie i ścięcie układu pierwotnego względem wtórnego w kierunkach osi x i y , określone współczynnikami skalującymi s_x , s_y i $s_{xy} = s_{yx}$; minimalna liczba punktów dostosowania 3 (rys. 96, 97):

$$X = t_x + ax + by$$

$$Y = t_y + cx + dy$$



Rys. 97

Transformacja afiniczna przekształca więc proste na proste, zachowuje równoległość prostych, zmienia wartości kątów, skala długości jest taka sama w każdym punkcie (jednorodna) jednak różna w różnych kierunkach (anizotropowa), kwadratowe piksele są przekształcone na równoległoboczne obrócone i jednakowo przeskalowane piksele, kształt dowolnego obiektu po transformacji nie zostaje zachowany zmienia się jego wielkość, na przykład okrąg przekształcany jest na przeskalowaną elipsę. Transformacja ta jest często stosowana do: georeferencji skanowanych arkuszy map, zdjęć satelitarnych i lotniczych; kalibracji zdjęć lotniczych - wyznaczenie parametrów orientacji wewnętrznej; transformacji współrzędnych geodezyjnych.

- biliniowy (dwuliniowy); stosuje się gdy źródłowy rysunek jest odkształcony w sposób niejednorodny; minimalna liczba punktów dostosowania 4:

$$X = t_x + ax + by + cxy$$

$$Y = t_y + dx + ey + fxy$$

- bikwadratowy (dwukwadratowy); stosuje się gdy źródłowy rysunek uległ

skurczowi „poduszkowatemu” a także zwykłemu skurczowi i niedokładnemu skanowaniu; minimalna liczba punktów dostosowania 6 (rys. 98).

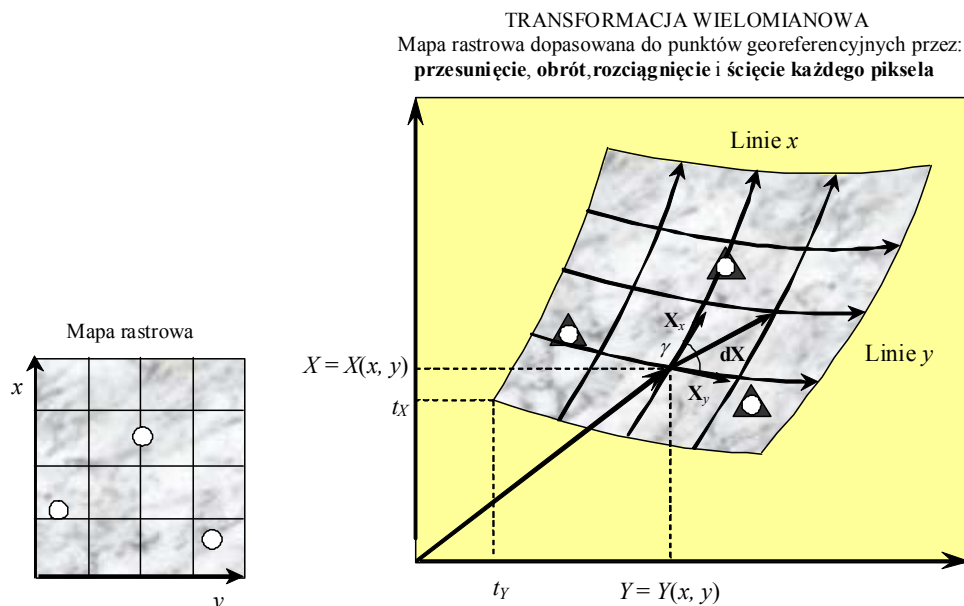
$$X = t_X + ax + by + cx^2 + dxy + ey^2$$

$$Y = t_Y + fx + gy + hx^2 + ixy + jy^2$$

- bisześcienny (bikubiczny, dwusześcienny); ten model pozwala korygować złożone odkształcenia materiałów źródłowych i niedokładności skanowania; minimalna liczba punktów dostosowania 10 (rys. 98):

$$X = t_X + ax + by + cx^2 + dxy + ey^2 + fx^3 + gx^2y + hxy^2 + iy^3$$

$$Y = t_Y + jx + ky + lx^2 + mxy + ny^2 + ox^3 + px^2y + qxy^2 + ry^3$$



Rys. 98

W modelu izotropowym Helmerta współrzędne X i Y są zależne wyrażają się za pomocą tych samych współczynników a i b . Dlatego współczynniki te są wyznaczane na podstawie połączonego zestawu równań poprawek:

$$X = t_X + ax - by + v_X$$

$$Y = t_Y + bx + ay + v_Y$$

W pozostałych modelach współrzędne X i Y są niezależne. Współczynniki tych modeli są wyznaczane na podstawie rozłącznych zestawów równań poprawek, oddzielnie dla współrzędnej X i Y .

5

Systemy Informacji Geograficznej

Podstawy Systemów Informacji Geograficznej/Przestrzennej

GIS - Geographical Information System - Systemem informacji geograficznej – spełniają przede wszystkim funkcje pozyskiwania, wprowadzania, przeglądania, przechowywania, weryfikowania, integrowania, analizowania, prezentowania i publikowania danych przestrzennych odniesionych do powierzchni Ziemi i opisanych przez współrzędne X Y i opcjonalnie Z.

Rozwój systemów informacji geograficznej przyczynił się do powstania szerszego pojęcia określonego jako systemy informacji przestrzennej.

„Systemem informacji przestrzennej nazywa się system pozyskiwania, przetwarzania i udostępniania danych zawierających informacje przestrzenne oraz towarzyszące im informacje opisowe o obiektach wyróżnionych w części przestrzeni objętej działaniem systemu.” [Gaździcki 1990]

Systemy informacji przestrzennej na tle innych systemów informacyjnych charakteryzują się występowaniem w nich informacji przestrzennej.

Informacją przestrzenną jest informacja o położeniu (współrzędne w przyjętym układzie odniesienia), własnościach geometrycznych, relacjach przestrzennych obiektów, które są przedmiotem zainteresowania systemu i mogą być identyfikowane w odniesieniu do Ziemi.

Pojęcie obiektu rozumiane jest bardzo szeroko i obejmuje zarówno trwałe obiekty naturalne i sztuczne, jak również zjawiska przyrodnicze, społeczne i ekonomiczne. Przestrzeń, w której obiekty są identyfikowane może być dwuwymiarowa lub trójwymiarowa w zależności od potrzeb.

Ze względu na różną szczegółowość i dokładność informacji przechowywanych w systemach informacji przestrzennej, wyodrębniamy:

- **SYSTEMY INFORMACJI TERENOWEJ** – operujące informacją pierwotną o dokładności map wielkoskalowych [1:5000 i większe]
- **SYSTEMY INFORMACJI GEOGRAFICZNEJ** - operujące informacją wtórną o dokładności map średnioskalowych i małoskalowych

SIT – zgodnie z definicją Komisji 3 Międzynarodowej Federacji Geodetów, jest narzędziem do podejmowania decyzji prawnych, administracyjnych oraz gospodarczych, służą pomocą w procesach planowania i rozwoju. Składa się z **bazy danych o terenie** dotyczącej określonego obszaru oraz procedur i technik dla systematycznego **zbierania, aktualizacji i udostępniania danych**. Podstawą **SIT** jest jednolity sposób identyfikacji przestrzennej danych w systemie, służący również do łączenia danych systemu z danymi innych systemów.

Realizacja systemu informacji przestrzennej, aby spełniała wszystkie wymogi funkcjonalności musi być realizowana poprzez integrację wielu oprogramowań. Obecnie na rynku dostępne jest wiele oprogramowań komercyjnych oraz coraz szerzej dostępny pakiet oprogramowań na licencjach wolnego oprogramowania.

Historia GIS

Pierwsze użycie komputera do produkcji mapy przez profesora Edgara Horwooda z Uniwersytetu Waszyngtona w Seattle w roku 1960 w jakiś sposób może wyznaczać początki rozwoju dziedziny GIS.

Początkowy, wieloletni rozwój narzędzi GIS odbywał się głównie w Kanadzie oraz Stanach Zjednoczonych w środowisku uniwersyteckim, rozwój firm geoinformatycznych datuje się na koniec lat 60-tych (np. ESRI, INTERGRAF).

Pierwszy krajowy system GIS powstaje w roku 1970 w Kanadzie. W roku 1971 w polskim instytucie geodezji i kartografii zaczyna się wykorzystywać procesy przetwarzania danych.

Lata 80-te to rozwój Internetu co znacznie przyczyni się do rozwoju narzędzi GIS. W roku 1990 powstaje protokół http, do życia powołuje się Polskie Towarzystwo Informatyki Przestrzennej. W roku 1991 rozpoczynają się prace nad Systemem Informatycznym Lasów Państwowych i leśną mapą numeryczną.

Lata 90-te to okres dynamicznego rozwoju wielu systemów informacji przestrzennej w rozmaitych dziedzinach gospodarki i życia. Zaczyna się wykorzystywać możliwości sieci Internet do wymiany i publikacji danych. Rozwój usług sieciowych przynoszących wymierne korzyści i usprawnienia w funkcjonowaniu administracji, uruchamia prace nad krajowymi infrastrukturami informacji przestrzennej. W roku 1994 NSDI - National Spatial Data Infrastructure - w Stanach Zjednoczonych. W Europie od roku 2007 obowiązuje dyrektywa europejska INSPIRE. Od roku 2010 w kraju obowiązuje ustawa o infrastrukturze informacji przestrzennej, stanowiąca implementację dyrektywy.

Obecnie obserwujemy bardzo dynamiczny rozwój narzędzi GIS w bardzo rozmaitych dziedzinach i o zastosowaniach.

Architektura systemu GIS

Architektura najbardziej typowego, czyli trójwarstwowego systemu geoinformacyjnego, składa się z 3 warstw:

- serwera bazy danych,
- modułu obliczeniowego,
- prezentacji

opierając się na źródle danych.

Wyróżniamy 4 typy konfiguracji architektury systemów GIS:

- desktop,
- klient serwer,
- główny desktop,
- główny serwer.

Desktop oparty na stanowiskach roboczych niezależnie wyposażonych w oprogramowanie, bazy danych, pliki lub wymieniające się pomiędzy stanowiskami za pomocą sieci lokalnej plikami.

Klient serwer gdy stanowiska robocze korzystają ze wspólnej, niezależnej bazy danych poprzez sieć lokalną lub rozległą.

Główny desktop oparty na stanowisku desktop zainstalowanym na serwerze aplikacji poprzez sieć stanowiący bramę pośredniczącą pomiędzy stanowiskami, a bazą danych.

Główny serwer wykorzystujący serwer gis na serwerze aplikacji pomiędzy bazą danych, a stanowiskami czy innymi urządzeniami peryferyjnymi. Ten typ architektury pozwala na budowanie złożonych architektur systemów GIS.

Prawidłowo zaprojektowana architektura systemu GIS zgodnie z definicją musi składać się z następujących narzędzi:

- bazy danych,
- narzędzi zarządzania danymi,
- narzędzi pozyskiwania,

- narzędzi przetwarzania danych,
- narzędzi kartograficznych i prezentacji danych,
- narzędzi publikacji danych.

Wykorzystanie GIS

Narzędzia systemów GIS umożliwiają bardzo szerokie zastosowanie. W standardowych aplikacjach użytkownik posiada narzędzia zarządzania danymi, pozyskiwania i integrowania wielu źródeł danych, publikacji danych, prezentacji kartograficznej.

Dzięki tak rozbudowanej funkcjonalności systemy GIS znajdują zastosowanie między innymi w takich dziedzinach jak:

Geodezja – stanowi podstawową warstwę infrastruktury danych przestrzennych zapewniając odpowiednie dane referencyjne, na bazie których rozwijane są inne infrastruktury,

Geologia – jako pierwsza z dziedzin wykorzystująca technologie GIS,

Ochrona przyrody – informacje o środowisku stanowiły podstawy ruchu związanego z ogólnym dostępem do informacji i wymianą danych,

Zarządzanie Kryzysowe

Lasy

Planowanie Przestrzenne

Wojsko

Gospodarka wodna

Gospodarka odpadami

Infrastruktura – komunikacja i sieci

Logistyka – systemy transportu i zarządzania flotą rozproszoną

Szczególnie widocznym efektem wykorzystania systemów Gis powszechnie jest Web GIS, który w wielu sytuacjach dotyka naszego życia codziennego.

Web GIS – bardzo często promocja i marketing, ale przede wszystkim wymiana danych, interoperacyjność, ogólnodostępność.

Zarządzanie systemami GIS

System GIS bazują na wciąż technologii bardzo zmiennej, rynek oprogramowania jest wciąż na etapie dynamicznego rozwoju. Rozwój między innymi technologii satelitarnych czy sieciowych wpływają na ciągle możliwości rozwoju funkcjonalności systemów GIS. Z tego względu przy organizacji systemu GIS należy zapewnić odpowiednie zarządzanie.

Zarządzanie systemem musi zapewnić:

- wsparcie techniczne,
- utrzymanie systemu,
- zarządzanie danymi,
- rozwój systemu.

Przy projektowaniu systemu Gis należy przejść poszczególne etapy od pomysłu do realizacji poprzez wybór, wdrożenie i wykorzystanie. Należy określić potrzeby jakim ma odpowiadać system, warunki formalne, ocenę rozwiązań i wdrożenie systemu.

Według dr Rogera Tomlinsona przy wyborze systemu należy przejść 10 etapów wyboru:

1. rozważenie celu strategicznego,
2. planowanie,
3. zorganizowanie seminarium technicznego,
4. opis uzyskanych produktów,
5. określenie możliwości systemu
6. określenie zakresu dostępnych danych,
7. wybór logicznego modelu danych,

8. określenie wymagań systemu,
9. analiza wydajności, kosztów i ryzyka,
10. plan wdrożeniowy.

Uruchomienie systemu GIS wymaga:

- planowania
- sprawnej komunikacji,
- zarządzania zasobami,
- finansowania.

Infrastruktura Informacji Przestrzennej

Ze względu na bardzo dynamiczny rozwój systemów GIS oraz możliwości sieciowych w latach 90-tych rozpoczęto prace nad ujednoczeniem tego w spójny system zwany infrastrukturą informacji przestrzennej. Działania te wymusiły na stworzenie odpowiednich zapisów prawnych ustanawiających standardy techniczne.

1994 Jedną z pierwszych ustaw regulujących zagadnienia narodowej infrastruktury danych przestrzennych (NSDI) na szczeblu krajowym podpisał prezydent USA Bill Clinton (dyrektywa 12 906 z kwietnia 1994 r.).

2007 Dyrektywa INSPIRE ustanawiająca infrastrukturę danych przestrzennych we Wspólnocie Europejskiej

2010 Krajowa Ustawa o Infrastrukturze Informacji Przestrzennej

Infrastruktury danych przestrzennych (SDI – Spatial Data Infrastructure) - to zespół środków prawnych, organizacyjnych, ekonomicznych i technicznych, które zapewniają powszechny dostęp do danych i usług geoinformacyjnych dotyczących określonego obszaru, przyczyniają się do efektywnego stosowania geoinformacji dla zrównoważonego rozwoju tego obszaru, umożliwiają racjonalne gospodarowanie zasobami geoinformacyjnymi (J. Gaździcki, 2004).

W zależności od rozległości terenu, dla którego tworzy się infrastrukturę danych przestrzennych, można wyróżnić infrastruktury:

- lokalną,
- regionalną,
- krajową,
- międzynarodową
- globalną

Infrastruktura danych przestrzennych obejmuje zatem powiązane ze sobą, zdolne do współdziałania systemy i bazy danych przestrzennych zawierające dane i metadane o odpowiedniej treści i jakości, technologie teleinformatyczne i geoinformacyjne stosujące powszechnie akceptowane standardy, przepisy prawne, struktury organizacyjne, rozwiązania ekonomiczne oraz twórców i użytkowników geoinformacji.

Literatura

- Beluch J., Furkacz M., Mróz J., Pokrzywa A. Badania laboratoryjne niwelatorów i precyzyjnych lat niwelacyjnych. Wyd. AGH, Kraków 2008.
- Ćwiczenia z geodezji I. Praca zbiorowa pod red. J.Belucha. Wyd. AGH, Kraków 2007
- Gil J. Pomiary geodezyjne w praktyce inżynierskiej. Wyd. Uniw. Zielonogórskiego 2005
- Instrukcja obsługi programu C-GEO V.8.0. Sofline, Wrocław 1992-2010
- Instrukcja techniczna G-2. Wysokościowa osnowa geodezyjna. GUGIK 1988.
- Instrukcja techniczna G-2 (projekt). Szczegółowa pozioma i wysokościowa osnowa geodezyjna i przeliczenia współrzędnych między układami, CD, 2001.
- Instrukcja techniczna G-4. Pomiary sytuacyjne i wysokościowe. GUGIK, Warszawa 2002.
- Instrukcja techniczna G-5. Ewidencja gruntów i budynków. GUGIK, Warszawa 2003.
- Instrukcja techniczna G-7. Geodezyjna ewidencja sieci uzbrojenia terenu (GESUT). GUGIK, Warszawa 1988.
- Instrukcja techniczna K-1: Mapa zasadnicza. GUGIK, Warszawa 1998.
- Jagielski A. Geodezja I. P.W.STABILL, wyd. II, Kraków 2005.
- Jagielski A. Geodezja II. GEODPIS, wyd. II, Kraków 2007.
- Jagielski A. Przewodnik do ćwiczeń z geodezji. I. P.W.STABILL, Kraków 2004.
- Jagielski A. Przewodnik do ćwiczeń z geodezji. II. GEODPIS, Kraków 2006.
- Jagielski A. Rysunki geodezyjne z elementami topografii i kartografii. GEODPIS. Kraków, 2008.
- Łyszkowicz A. Geodezja czyli sztuka mierzenia Ziemi. Wyd. Uniw. Warm.-Mazurskiego, 2006.
- Osada E. Geodezja. Oficyna Wyd. Politechniki Wrocławskiej, wyd. II rozszerzone, (wersja w mathcadzie na CD), Wrocław 2002.
- Przewłocki S. Geomatyka. PWN Warszawa 2008.
- Wytyczne techniczne G-1.9. Katalog znaków geodezyjnych oraz zasady stabilizacji punktów. GUGIK, Warszawa 2002.
- Wytyczne techniczne G-2.5. Szczegółowa pozioma i wysokościowa osnowa geodezyjna. Projektowanie, pomiar i opracowanie wyników. GUGIK 2002.
- Wytyczne techniczne G-3.1. Pomiary i opracowania realizacyjne. GUGIK, Warszawa 2006.
- Wytyczne techniczne G-4.1. Pomiary sytuacyjne i wysokościowe metodami bezpośrednimi. GUGIK, Warszawa 2007.
- Wytyczne techniczne G-4.4. Prace geodezyjne związane z podziemnym uzbrojeniem terenu. GUGIK, Warszawa 1987.
- Wanic A. Instrumentoznawstwo geodezyjne i elementy technik pomiarowych. Wyd. Uniw. Warm.-Mazurskiego, 2007.
- Zabek J. Geodezja I, Oficyna Wyd. Politechniki Warszawskiej, wyd. 5, 2003.