

Składanie drgań poprzecznych – figury Lissajous

Wstęp

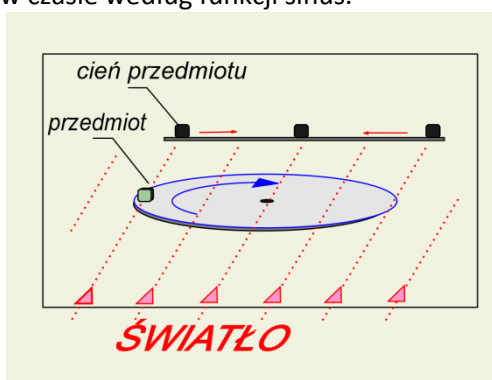
Z drganiami mechanicznymi mamy do czynienia na co dzień. Ciężarek zawieszony na sprężynie wykonuje drgania. Inne przykłady to ruch huśtawki, wahadła zegara, uginanie się wagonu kolejowego na szynach w czasie jazdy. Drgania te zmieniają się w czasie zgodnie z funkcją sinus lub kosinus, które nazywają się funkcjami harmonicznymi, dlatego drgania te nazywamy **drganiami harmonicznymi**.

Ciało, którego położenie zmienia się w czasie t jak funkcja harmoniczna: sinus lub kosinus nazywamy **oscylatorem harmonicznym**. Przykładem drgań harmonicznymi jest ruch cienia oświetlonego z boku małego przedmiotu położonego na ruchomej tarczy adaptera (rys. 1), lub ruch rzutu punktu poruszającego ruchem jednostajnym po okręgu, na średnicę tego okręgu.

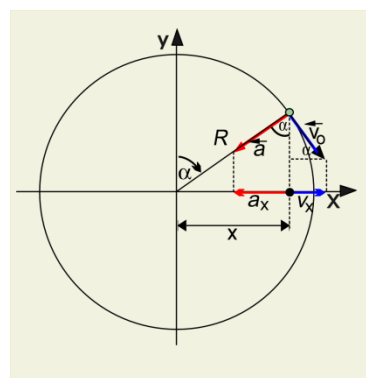
Na rys. 2 widać, że współrzędna x punktu poruszającego ruchem jednostajnym po okręgu zmienia się według wzoru $x = R \sin \alpha$ lub

$$x = R \sin \omega t \quad (1)$$

(gdyż α zmienia się w czasie według równania $\alpha = \omega t$, gdzie ω jest prędkością kątową). Widzimy więc, że położenie punktu drgającego (rzutu punktu poruszającego się po okręgu) zmienia się w czasie według funkcji sinus.



Rysunek 1. Ruch cienia przedmiotu znajdującego się na obracającej się tarczy adaptera jest ruchem drgającym harmonicznym



Rysunek 2. Ruch rzutu punktu, poruszającego się jednostajnie po okręgu, na oś x (lub na oś y) jest ruchem drgającym harmonicznym

Zdefiniujemy teraz odpowiednie wielkości charakteryzujące ruch drgający:

Amplituda A – jest to wartość bezwzględna maksymalnego wychylenia ciała drgającego od położenia zerowego $A = |x_{max}|$, (w tym przypadku $A = R$, gdzie R – promień okręgu, patrz rys. 2).

Okres T – jest to odcinek czasu, po upływie którego drganie się powtarza, czyli punkt drgający przechodzi przez to samo położenie i w tym samym kierunku.

Częstotliwość ν – jest to liczba pełnych drgań w jednostce czasu (np. w 1 s). Oczywiście

$$\nu = \frac{1}{T} \quad (2)$$

Częstość kołowa ω – jest to częstość mnożona przez 2π , czyli

$$\omega = 2\pi\nu = \frac{2\pi}{T} \quad (3)$$

Częstość kołowa mówi nam, ile pełnych drgań wykonuje oscylator w ciągu 2π sekund.

Te ostatnie trzy wielkości są równe liczbowo swoim odpowiednikom w ruchu po okręgu, gdzie występują takie same związki między nimi.

Wzór (1) będzie wzorem ogólnym na położenie w ruchu drgającym harmonicznym, gdy podstawimy $R = A$, więc

$$x = A \sin \omega t \quad (4)$$

(zmienna ωt , będąca argumentem sinusa nazywa się **fazą drgań**). Ze wzoru (4) wynika, że wychylenia ciała drgającego zmieniają się periodycznie w granicach $-A \leq x \leq A$.

Krzywe Lissajous [czytaj lisażu], nazywane są też **figurami Lissajous** – są to krzywe parametryczne opisujące drgania harmoniczne, dane wzorem

$$x(t) = A \sin(at + \delta), \quad y(t) = B \sin(bt), \quad (5)$$

Kształt krzywych jest szczególnie uzależniony od współczynnika $\frac{a}{b}$. Dla współczynnika równego 1, krzywa jest **elipsą**, ze specjalnymi przypadkami

- **okręgu**, kiedy: $A = B, \delta = \frac{\pi}{2}$;
- **odcinka**, kiedy: $\delta = 0$.

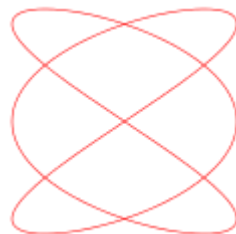
Inne wartości współczynnika dają bardziej złożone krzywe, które są zamknięte tylko gdy $\frac{a}{b}$ jest liczbą wymierną.

Jedną z metod uzyskiwania figur Lissajous jest podanie na wejścia oscyloskopu, pracującego w trybie XY, dwóch sygnałów sinusoidalnych o częstotliwościach pozostających w stosunku $\frac{a}{b}$. Ciekawy efekt uzyskuje się również, gdy stosunek tych częstotliwości jest minimalnie różny od ilorazu dwóch niskich liczb naturalnych: dzięki płynnej zmianie fazy (parametru δ) uzyskuje się iluzję trójwymiarowego obrotu krzywej. W najprostszym przypadku, gdy $a \approx b$ uzyskuje się efekt „obracającej się monety”.

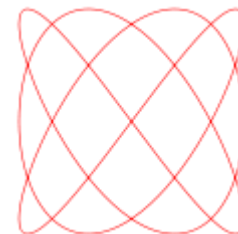
Poniżej (rys. 3 - 8) zamieszczono przykłady figur Lissajous o parametrach $\delta = \frac{\pi}{2}$, a – nieparzyste, b – parzyste, $|a - b| = 1$
(źródło: Wikipedia, http://pl.wikipedia.org/wiki/Krzywa_Lissajous).



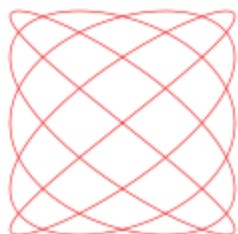
Rysunek 3. $a = 1, b = 2$



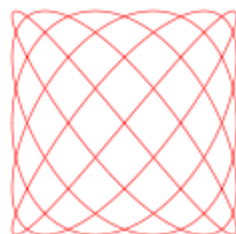
Rysunek 4. $a = 3, b = 2$



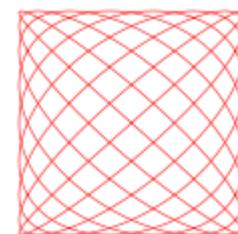
Rysunek 5. $a = 3, b = 4$



Rysunek 6. $a = 5, b = 4$



Rysunek 7. $a = 5, b = 6$



Rysunek 8. $a = 9, b = 8$

Jak działa model składania drgań poprzecznych w Excelu

W arkuszu wykres w zakresie komórek A1:O20 umieszczony został wykres przedstawiający figury Lissajous (rys. 9).

W komórkach wierszy 22-24 znajdują się parametry wejściowe do sterowania wykresem. W komórkach A21 i D21 znalazły się wzory na krzywe x i y przedstawione na wykresie, których wartości obliczamy w arkuszu *obliczenia*.

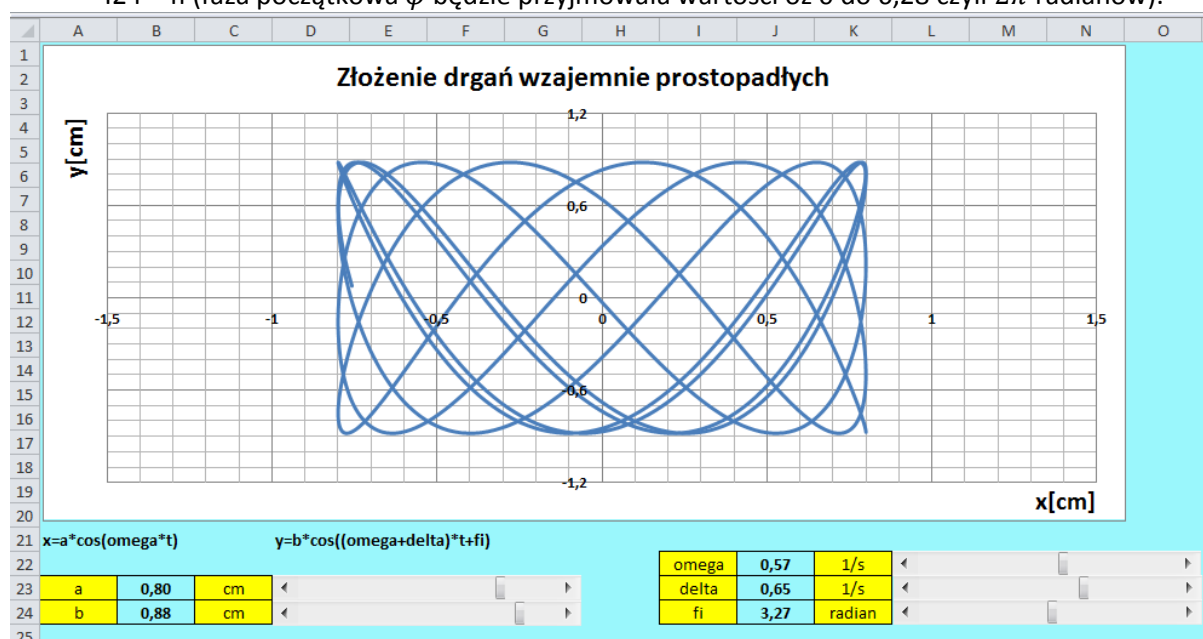
W komórce A23 znajduje się parametr a (patrz wstęp teoretyczny wzór (5), wartości parametru a będziemy zmieniać w zakresie od 0 do 1 cm za pomocą paska przewijania),

w B23 – parametr b (wartości z przedziału zamkniętego (0;1) cm zmieniamy za pomocą paska przewijania),

I22 – omega (ω u nas może przyjmować wartości z przedziału od 0 do 1 w jednostkach 1/s, do regulacji tego parametru również zastosujemy pasek przewijania),

I23 – delta (δ , podobnie jak poprzednio wymienione parametry może przyjmować wartości z przedziału od 0 do 1 1/s),

I24 – φ (faza początkowa φ będzie przyjmowała wartości od 0 do $6,28$ czyli 2π radianów).

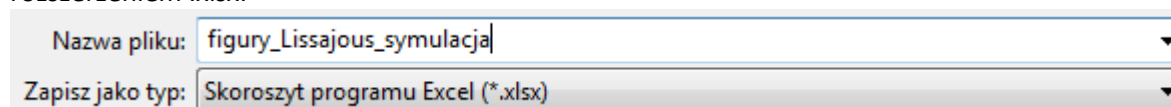


Rysunek 9. Wykres – model w Excelu

Zmieniaj parametry w komórkach A23, A24, I22, I23 oraz I24 i obserwuj jak zmienia się obraz na wykresie.

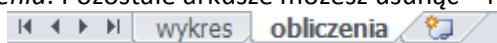
Wykonanie

Do wykonania wykresu przedstawiającego figury Lissajous potrzebny będzie pusty plik Excela. Zapisz go na dysku swojego komputera pod nazwą *figury_Lissajous_symulacja.xlsx* ze standardowym rozszerzeniem .xlsx.



Rysunek 10. W polu *Zapisz jako typ* wybierz „Skoroszyt programu Excel”

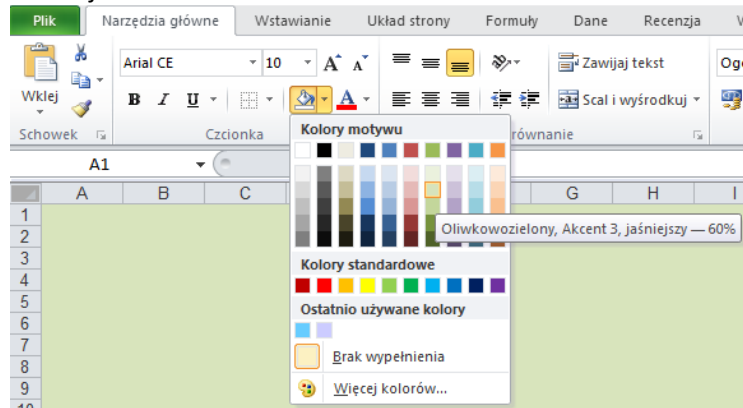
W pliku *figury_Lissajous_symulacja.xlsx* zmień nazwę pierwszego arkusza na *wykres*, drugiemu nadaj nazwę *obliczenia*. Pozostałe arkusze możesz usunąć – nie będą nam potrzebne.



Rysunek 11. Nazwy arkuszy w pliku *figury_Lissajous_symulacja*

Tworzenie symulacji ruchu cząstki rozpoczniemy od przygotowania danych w arkuszu *wykres*. Wykonaj w nim następujące czynności:

1. Zaznacz cały arkusz (na przykład używając kombinacji klawiszy Ctrl+A) i za pomocą ikony *Kolor wypełnienia* znajdującego się na wstążce na karcie *Narzędzia główne*, w grupie *Czcionka*, zmień kolor tła komórek na dowolny, ale jasny!, odcień koloru niebieskiego, fioletowego lub zielonego (rys. 12) – wybierz ten, który lubisz najbardziej.



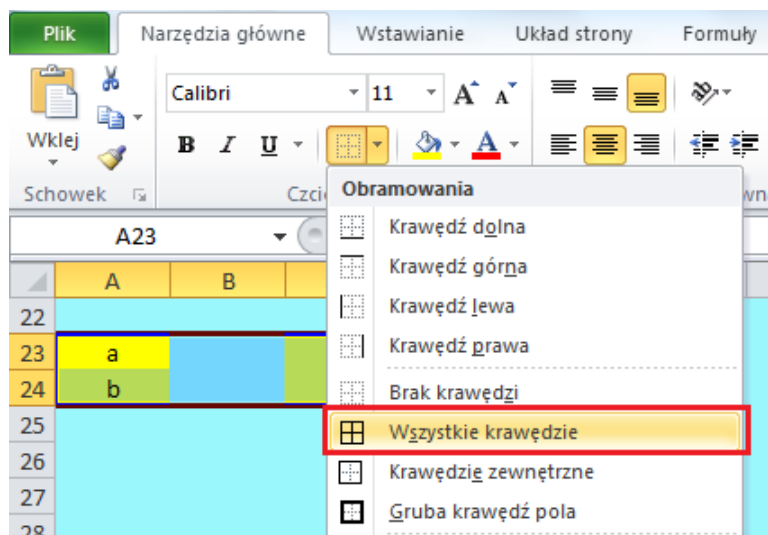
Rysunek 12. Zmiana tła komórek w arkuszu *wykres*

2. Spójrz na rysunek 9 zaprezentowany powyżej. Komórki z żółtym tłem na rysunku 9 nie zawierają żadnych obliczeń. Znajdują się w nich wyłącznie etykiety tekstowe, czyli opisy różnych parametrów niezbędnych do wykonania symulacji, jednostki. Zajmiemy się teraz ich wprowadzeniem. W tym celu postępuj następująco: do komórki A23 wpisz tekst „a”, do komórki A24 – „b:” itd. W ten sposób wpisz do arkusza wszystkie etykiety. Tło komórek zawierających etykiety sformatuj na żółto (rys. 13).

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
22									omega		1/s	
23	a		cm						delta		1/s	
24	b		cm						fi		radian	
25												

Rysunek 13. Wygląd arkusza *wykres* po wykonaniu pkt. 1 i 2 instrukcji

3. Zaznacz zakres A23:C24 i włącz obramowanie posługując się ikonką *Wszystkie krawędzie* na karcie *Narzędzia główne* (rys. 14). Włącz wyśrodkowanie tekstu za pomocą ikonki . Postępując podobnie obramuj i wyśrodkuj komórki z zakresu I22:K24. W komórkach B23:B24 oraz J22:J24 na razie nie ma wartości, ale mimo to włączmy im format *Liczbowy* (karta *Narzędzia główne*, grupa *Liczba*) oraz pogrubienie.



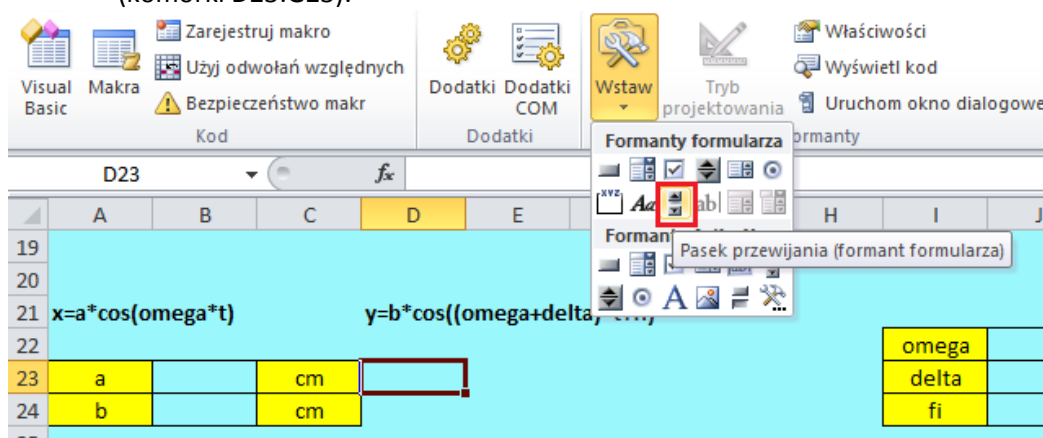
Rysunek 14. Obramowanie tabeli z zakresu A23:C24

4. Teraz wypełnimy wzorami komórki A21 i D21. Wzory te nie służą do obliczeń, w arkuszu wykres będą pełniły wyłącznie funkcję informacyjną. Do komórki A21 wpisz: „ $x=a*\cos(\omega*t)$ ”, D21: „ $y=b*\cos((\omega+\delta)*t+fi)$ ”.
5. Po wykonaniu powyższych czynności na ekranie powinieneś mieć to samo, co na rys. 15.

19												
20												
21	$x=a*\cos(\omega*t)$			$y=b*\cos((\omega+\delta)*t+fi)$								
22								omega			1/s	
23	a		cm					delta			1/s	
24	b		cm					fi			radian	
25												

Rysunek 15. Wygląd arkusza po wpisaniu i sformatowaniu etykiet w arkuszu wykres

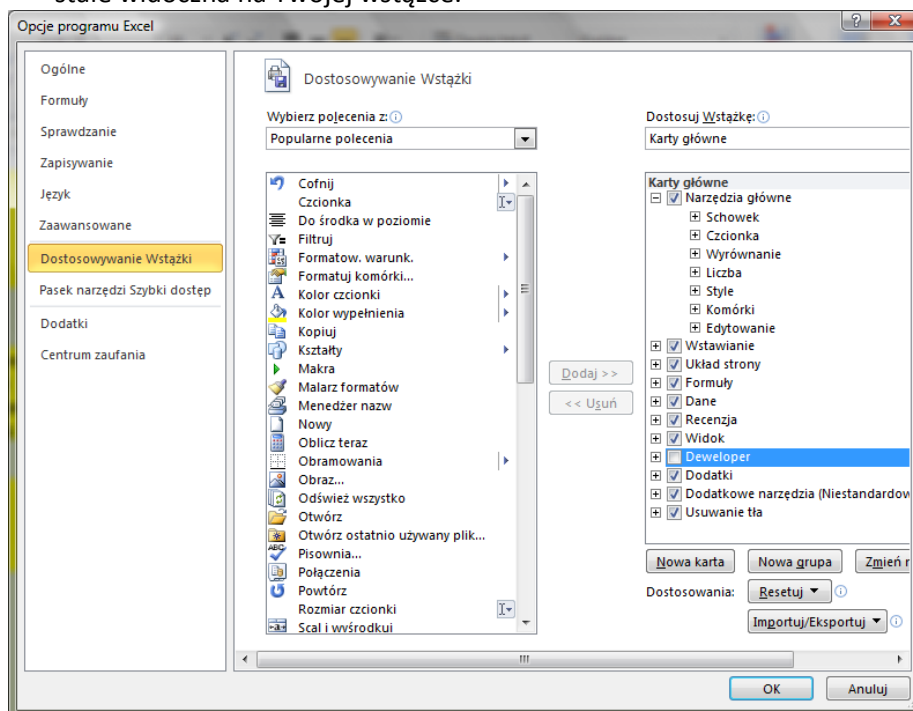
6. Spójrz jeszcze raz na rys. 9. – obok każdej z tabelek znajdują się paski przewijania do sterowania parametrami. W tym celu na karcie *Developer* (jeśli nie widzisz jej na swojej wstążce, w następnym punkcie opiszemy jak ją wyświetlić), w grupie *Formanty* znajdź polecenie *Wstaw* i z wewnętrznej listy wybierz formant *Pasek przewijania (formant formularza)* (rys. 16). „Narysuj” pasek w odpowiednim miejscu arkusza (komórki D23:G23).



Rysunek 16. Wstawianie paska przewijania

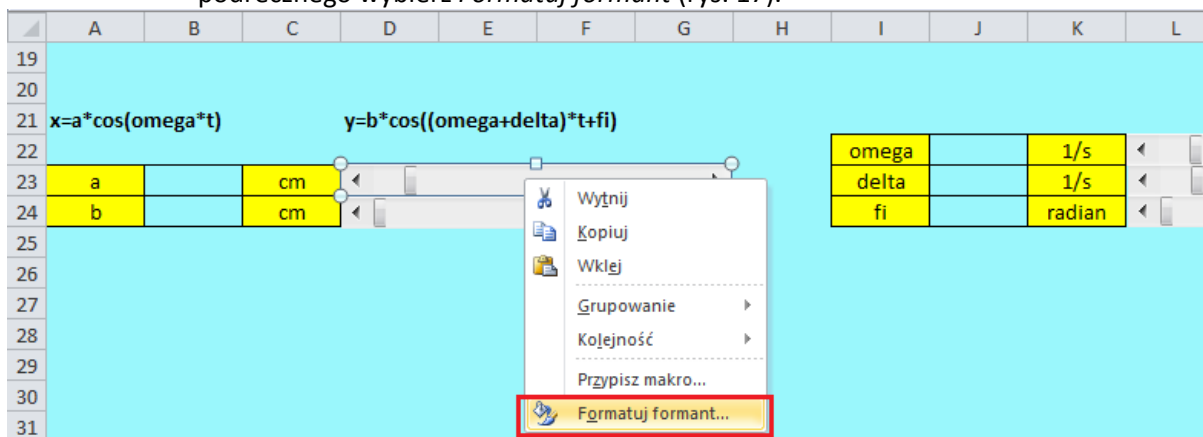
7. **Uwaga:** jeżeli na wstążce nie ma karty *Developer*, włącz ją w następujący sposób: wybierz polecenie *Plik*, a następnie *Opcje*. W oknie *Opcje programu Excel* kliknij

Dostosowywanie wstążki. Po prawej stronie okna znajdziesz spis wszystkich kart wstążki. Włącz wyświetlanie karty *Deweloper* (rys. 17). Od tej pory będzie ona na stałe widoczna na Twojej wstążce.



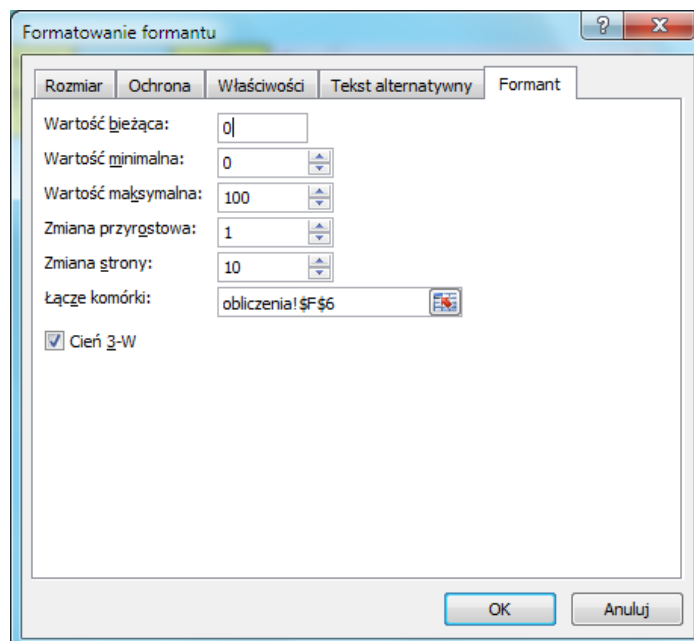
Rysunek 17. Włączanie karty *Deweloper*

8. W podobny sposób „narysuj” pozostałe paski przewijania (komórki D24:G24, L22:O22, L23:O23, L24:O24). Paski na razie nie działają. „Aktywowaniem” ich zajmiemy się w następnych punktach.
9. Kliknij prawym klawiszem myszki na pasku przewijania z komórek D23:G23 i z menu podrecznego wybierz *Formatuj formant* (rys. 17).



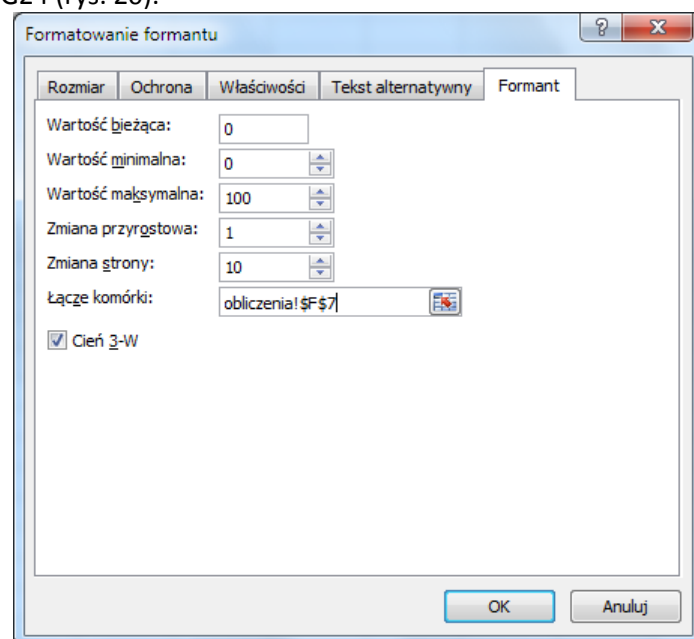
Rysunek 18. Wybór właściwości paska przewijania z komórek D23:G23

10. W oknie *Formatowanie formantu* na karcie *Formant* wprowadź wartości w polach: *Wartość maksymalna* (wartość maksymalna, jaką można będzie wybrać), *Wartość minimalna* (wartość minimalna), *Łącze komórki* (tzn. komórka połączona, czyli taka, w której będzie się wyświetlała wartość wybrana na pasku – uwaga! u nas będzie to komórka F6, ale z arkusza *obliczenia*) – jak na rys. 19.



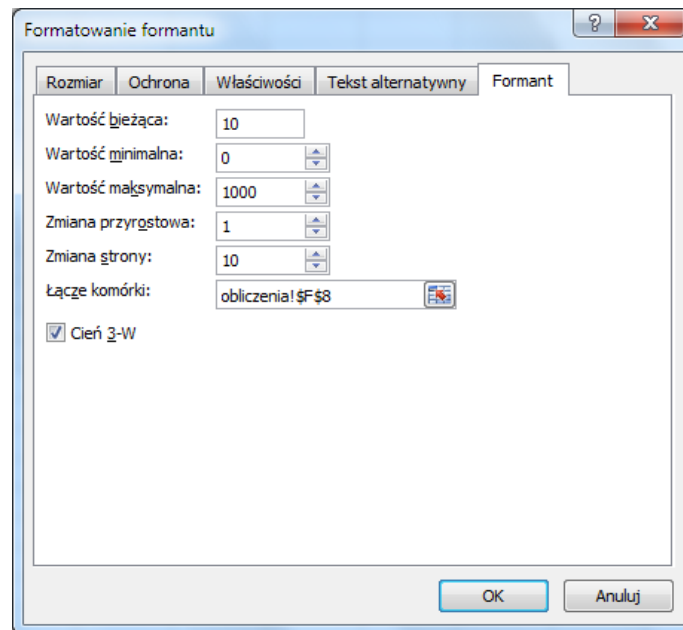
Rysunek 19. Ustawienia kluczowych wartości w oknie właściwości paska przewijania z komórek D23:G23

11. Postępując analogicznie ustaw wartości w oknach właściwości paska z komórek D24:G24 (rys. 20).



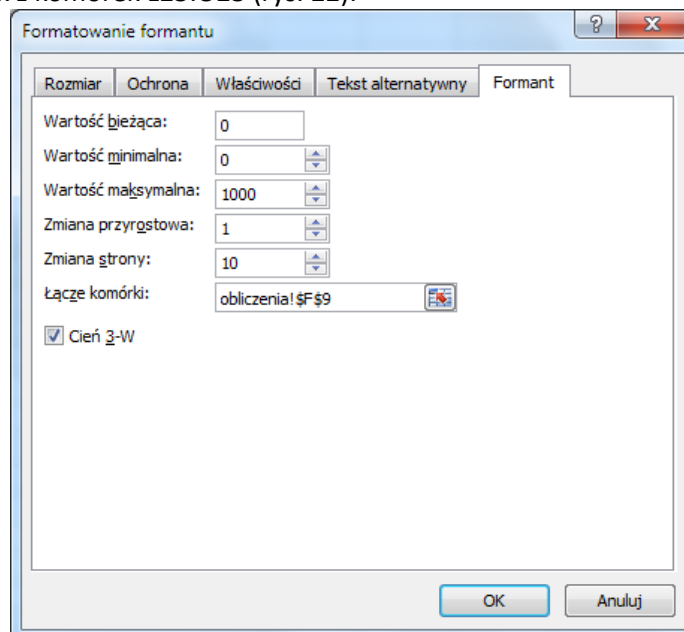
Rysunek 20. Ustawienia kluczowych wartości w oknie właściwości paska przewijania z komórek D24:G24

12. Następnie ustaw właściwości paska z komórek L22:O22 (rys. 21).



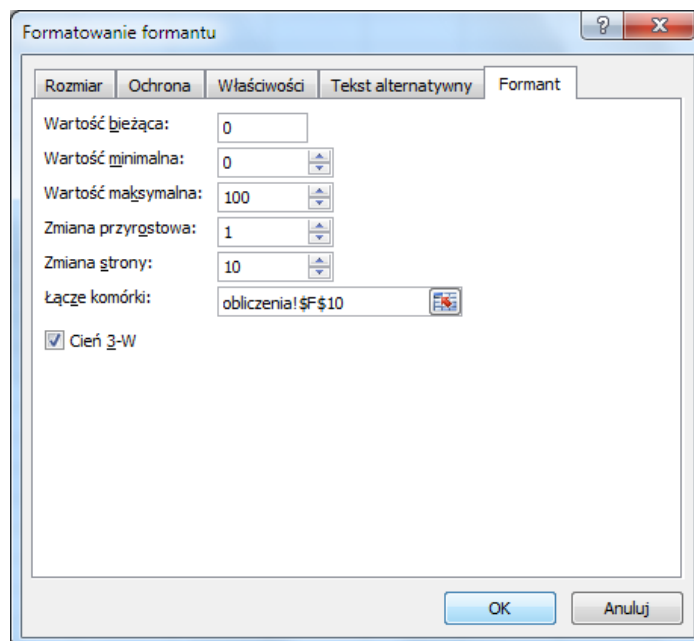
Rysunek 21. Ustawienia kluczowych wartości w oknie właściwości paska przewijania z komórek L22:O22

13. Pasek z komórek L23:O23 (rys. 22):



Rysunek 22. Ustawienia kluczowych wartości w oknie właściwości paska przewijania z komórek L23:O23

14. Pasek z komórek L24:O24 (rys. 23):



Rysunek 23. Ustawienia kluczowych wartości w oknie właściwości paska przewijania z komórek L24:O24

15. Wróć do arkusza *wykres*, odkliknij zaznaczenie pasków (kliknij w dowolnym miejscu arkusza) i sprawdź działanie pasków przewijania (powinny zmieniać się wartości w komórkach F6:F10 arkusza *obliczenia*).
16. Przygotujemy teraz do pracy arkusz *obliczenia*. Do komórki B1 arkusza *obliczenia* wpisz tekst „Składanie drgań prostopadłych”. Zmień wielkość czcionki na 14 pt., kolor tekstu na ciemny granat, włącz podkreślenie.
17. Do komórki B3 wpisz „Wartości liczbowe”, do komórek B4:D4 etykiety widoczne na rys. 24. Do komórki B5 wpisz „0”, B6 „0,05”, następnie zaznacz obie komórki, najedź na mały kwadracik w prawym dolnym rogu zaznaczonego obszaru, żeby uzyskać mały czarny krzyżyk (jak na rys. 24) i przeciągnij w dół, wypełniając liczbami komórki aż do B1005 (ostatnią uzyskaną wartością będzie 50).

	A	B	C	D	E	F	G
1		<u>Składanie drgań prostopadłych</u>					
2							
3		Wartości liczbowe					
4		czas, t[s]	x [cm]	y [cm]			
5		0					
6		0,05					0
7							0
8							14
9							9
10							0
11							
12							

Rysunek 24. Wypełnienie liczbami komórek w kolumnie B

18. Wypełnij komórki B4:D4 szarym tłem. Obramuj cały zakres B4:D1005. Sformatuj tło komórek F6:F10 na pomarańczowo. Do komórek G6:G10 wprowadź etykiety: do komórki G6 „_a”, G7 „_b”, G8 „_omega”, G9 „_delta”, G10 „_fi”. Po wykonaniu wszystkich opisanych wyżej czynności arkusz *obliczenia* powinien prezentować się jak na rys. 25.

	A	B	C	D	E	F	G	H
1		Składanie drgań prostopadłych						
2								
3		Wartości liczbowe						
4		czas, t[s]	x [cm]	y [cm]				
5		0						
6		0,05				0	_a	
7		0,1				0	_b	
8		0,15				14	_omega	
9		0,2				9	_delta	
10		0,25				0	_fi	
11		0,3						
12		0,35						
13		0,4						
14		0,45						
15		0,5						
16		0,55						
17		0,6						
18		0,65						

Rysunek 25. Wygląd arkusza obliczenia

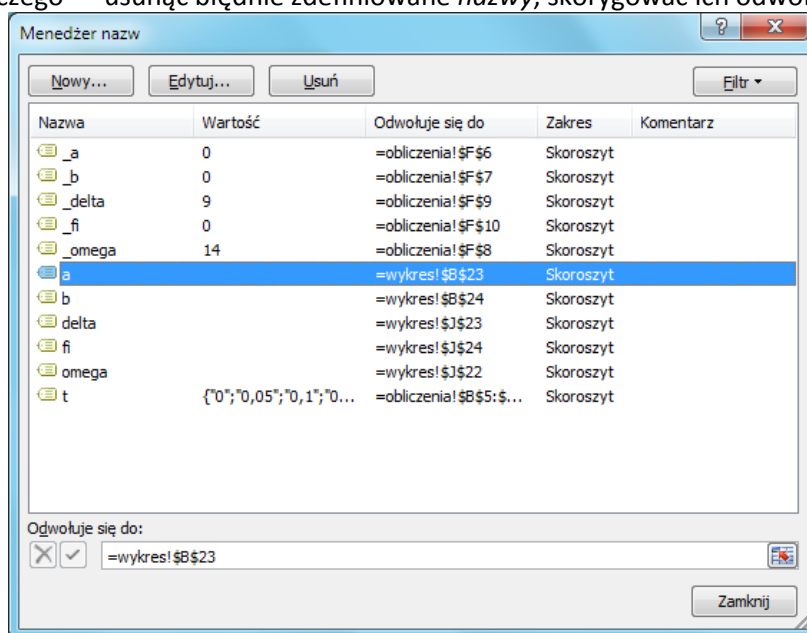
19. Kolejnym krokiem tworzenia symulacji powinno być wprowadzenie formuł do arkusza. Najpierw jednak, dla wygody, niektórym komórkom nadamy *nazwy*.
Uwaga: Odwołanie do komórki za pomocą nadanej jej własnoręcznie *nazwy* jest alternatywą do odwołania się do niej za pomocą adresu. Będziesz mieć wybór – możesz w formułach odwoływać się do komórki za pomocą jej adresu lub za pomocą *nazwy*.
20. Na początek w arkuszu *obliczenia* komórce F6 nadamy nazwę „_a”.
 Uaktywnij komórkę F6 (kliknij na niej). Zwróć uwagę, że adres aktywnej komórki pojawił się w tzw. *Polu nazwy* (pole otoczone czerwoną obwódką na rysunku 26). Kliknij w *Polu nazwy* i wpisz nazwę, którą chcesz nadać komórce, na przykład „_a”. Na koniec naciśnij **Enter**. Teraz, po uaktywnieniu komórki B1 w *Polu nazwy* będzie wyświetlać się jej nazwa, a nie adres.

	A	B	C	D	E	F
1		Składanie drgań prostopadłych				
2						
3		Wartości liczbowe				
4		czas, t[s]	x [cm]	y [cm]		
5		0				
6		0,05				0
7		0,1				0

Rysunek 26. Lokalizacja *Polu nazwy*, za pomocą którego nadajemy nazwy komórkom

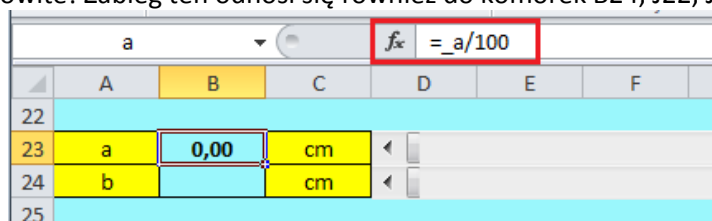
21. Zaznacz komórkę F7 i postępując w sposób opisany w poprzednim punkcie nadaj jej nazwę „_b”.
Uwaga: jeśli w przyszłości zechcesz nadać komórce nazwę wielocłonową, nie używaj spacji! Zamiast niej możesz użyć znaku podkreślenia, np. *kąt_alfa*, lub wpisać nazwę w taki sposób: *KątAlfa* – bez odstępów, ale zachowując czytelność nazwy.
22. W podobny sposób nadaj nazwy pozostałym komórkom, i tak, komórkę F8 nazwij „_omega”, F9 „_delta”, F10 „_fi”. Zaznacz zakres komórek B5:B1005 i nadaj im nazwę „t”. Dodatkowo, nadamy nazwy komórkom w arkuszu *wykres* (na razie pustym) B22 nazwij „a”, B23 „b”, J22 „omega”, J23 „delta”, J24 „fi”.
Uwaga: jeśli pomylisz się definiując *nazwy*, na wstążce na karcie *Formuły* w grupie *Nazwy zdefiniowane* znajdziesz ikonę *Menedżer nazw*. Otwiera ona okno z listą

wszystkich nazw zdefiniowanych w bieżącym skoroszycie. Możesz w nim – „w razie czego” – usunąć błędnie zdefiniowane *nazwy*, skorygować ich odwołanie itp.



Rysunek 27. Okno *Menedżera nazw* z listą zdefiniowanych *nazw*, ich bieżące wartości (u Ciebie na tym etapie wykonywania ćwiczenia większość wartości będzie równa zero), odwołania do komórek itp.

23. Najwyższa pora zająć się obliczeniami! W arkuszu *wykres* znajdą się odpowiednio przeskalowane wartości z komórek F6:F10 arkusza *obliczenia*. Wprowadź do komórki B23 formułę, jak na rysunku 28. Spójrz na swój *Pasek formuły* i sprawdź czy formuła, którą wpisałeś, jest prawidłowa. Przypomnijmy, w komórce B23 będzie się wyświetlała wartość z komórki F6 arkusza *obliczenia*, ale tak przeskalowana, byśmy uzyskali za pomocą paska przewijania mogli uzyskać zakres wartości od 0 do 1 (zmiana o 0,01). Do komórek z arkusza *obliczenia* odwołamy się za pomocą nazw. **Uwaga:** musieliśmy zastosować taki zabieg, aby uzyskać ułamkowe zmiany wartości pola magnetycznego, gdyż formant *Pasek przewijania* obsługuje wyłącznie wartości całkowite! Zabieg ten odnosi się również do komórek B24, J22, J23 i J24.



Rysunek 28. Formuła w komórce B23

24. Postępując analogicznie, do komórki B24 wprowadź formułę jak na rys. 29.

$$f_x = _b/100$$

Rysunek 29. Formuła w komórce B24

25. Do komórki J22 wpisz:

$$f_x = _omega/1000$$

Rysunek 30. Formuła w komórce J22

26. Do komórki J23 wpisz:

$$f_x = _delta/1000$$

Rysunek 31. Formuła w komórce J23

27. Do komórki J24 wpisz natomiast:

$f_x = 6,28 * _fi / 100$

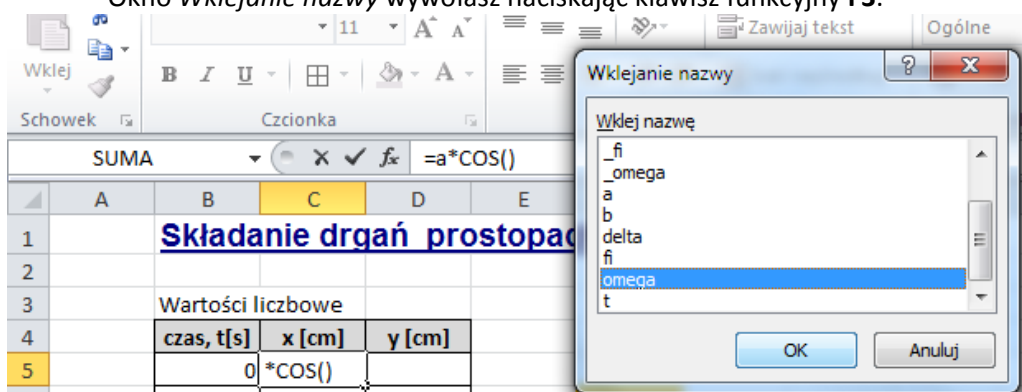
Rysunek 32. Formuła w komórce J24

28. W komórce C5 arkusza *obliczenia* wyliczymy wartości parametru x[cm]. COS() jest tu funkcją arkuszową obliczającą kosinus zadanego kąta. Skopiuj formułę w dół, aż do komórki C1005.

$f_x = a * \text{COS}(\text{omega} * t)$

Rysunek 33. Formuła w komórce C5 arkusza obliczenia

29. Tworząc formułę, możesz adresy komórek (lub *nazwy*) wpisywać ręcznie lub klikać na odpowiednich komórkach – wówczas ich adresy (*nazwy*) w formule pojawiają się automatycznie. W przypadku *nazw* możesz alternatywnie skorzystać z okna *Wklejanie nazwy*, które zawiera spis wszystkich *nazw* występujących w skoroszybie. Okno *Wklejanie nazwy* wywołasz naciskając klawisz funkcyjny **F3**.



Rysunek 34. Tworzenie formuły z użyciem okna *Wklejanie nazwy*

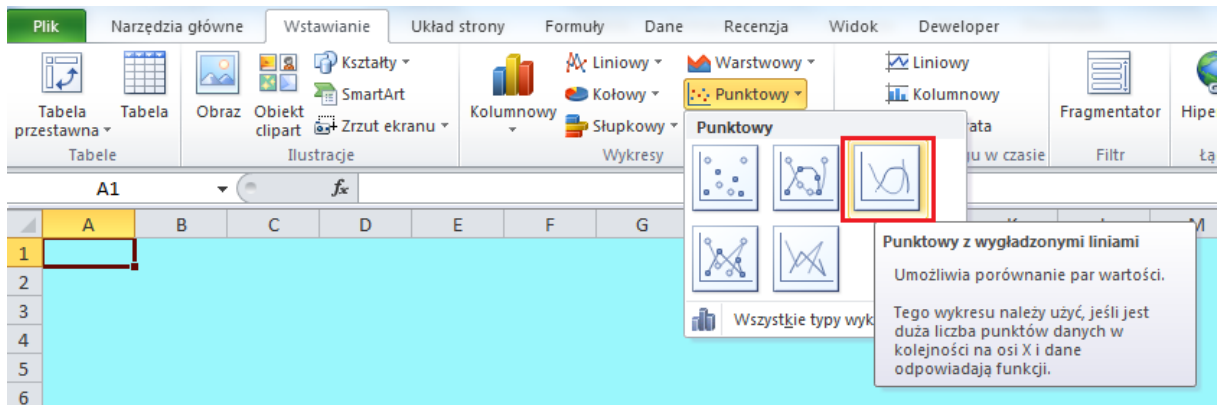
30. Kontynuując wprowadzanie niezbędnych formuł, do komórki D5 arkusza *obliczenia* wprowadź formułę jak na rys. 35. COS() jest funkcją arkuszową obliczającą kosinus zadanego kąta, pozostałe argumenty to parametry z „nazwanych” komórek z arkuszy wykres i obliczenia – wpisz je „z ręki” lub wstaw postępując się oknem *Wklejanie nazwy*. Skopiuj formułę w dół, aż do komórki D1005.

$f_x = b * \text{COS}((\text{omega} + \text{delta}) * t + \text{fi})$

Rysunek 35. Formuła w komórce D5

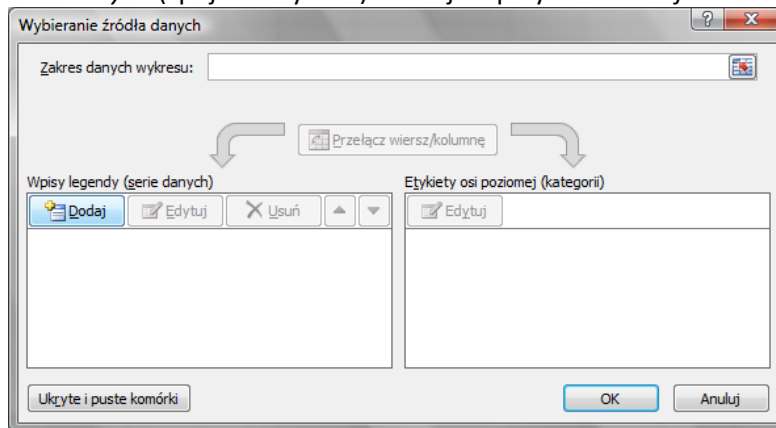
31. Mając wykonane wszystkie obliczenia zajmiemy się przygotowaniem wykresu. Zaznacz komórkę A1 arkusza *wykres*.

32. Przejdź na kartę *Wstawianie*. W grupie *Wykresy* wybierz typ *Punktowy*, a następnie podtyp *Punktowy z wygładzonymi liniami* (rys. 36). W arkuszu powinien pojawić się obszar wykresu, na razie pusty. Przesuń go i powiększ tak, aby zajmował zakres komórek od A1 do N20.



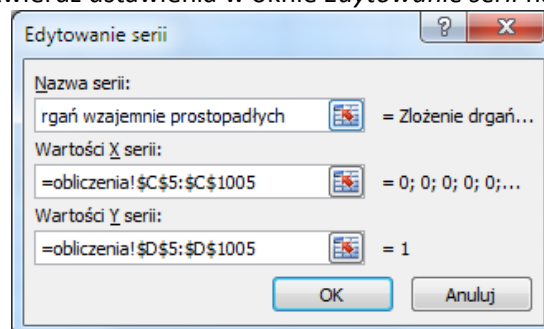
Rysunek 36. Wybór wykresu, typ *Punkty*

33. Zwróć uwagę czy obszar wykresu jest aktywny. Jeśli tak, przejdź na kartę *Projektowanie* (znajdącą się na końcu wstążki, w grupie *Narzędzia wykresów*) i z grupy poleceń *Dane* wybierz *Zaznacz dane*. Na ekranie pojawi się okno *Wybieranie źródła danych* (spójrz na rys. 37). Kliknij na przycisku *Dodaj*.



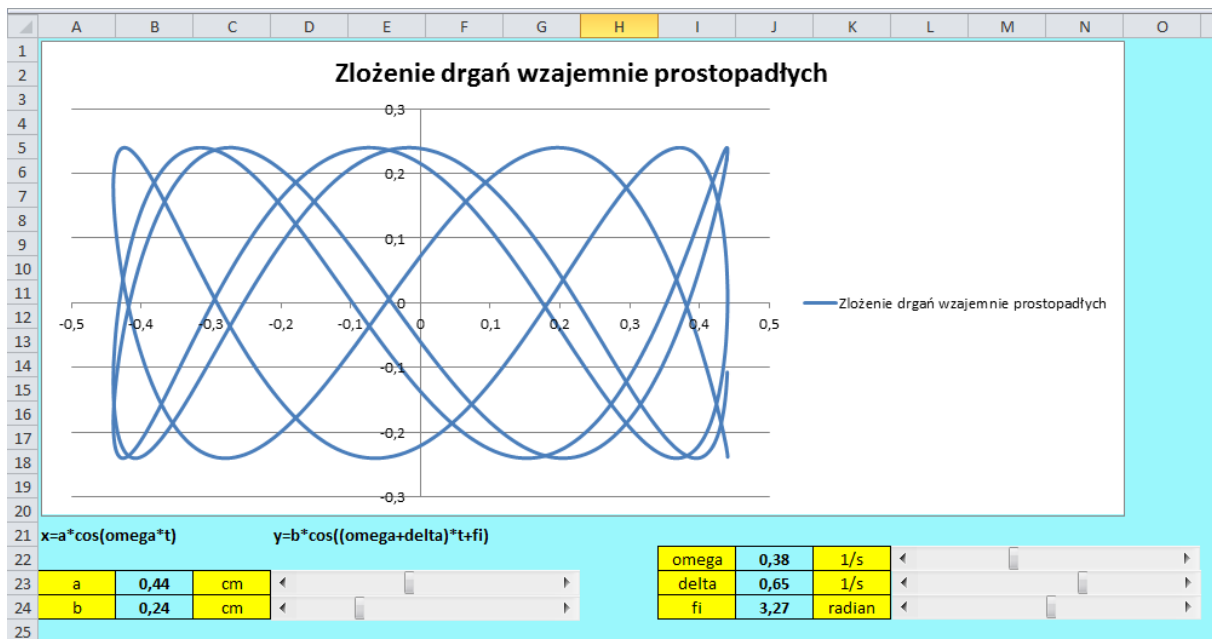
Rysunek 37. Dodawanie serii danych do wykresu

34. W oknie *Edytowanie serii* (rys. 38) w pole *Nazwa serii* wpisz „Złożenie drgań wzajemnie prostopadłych”. Ustaw kursor w polu *Wartości X serii*, przejdź na arkusz *obliczenia* i zaznacz zakres komórek od C5 do C1005. Następnie przestaw kursor do pola *Wartości Y serii*, przejdź na arkusz *obliczenia* i zaznacz zakres komórek od D5 do D1005. Potwierdź ustawienia w oknie *Edytowanie serii* naciskając **OK**.



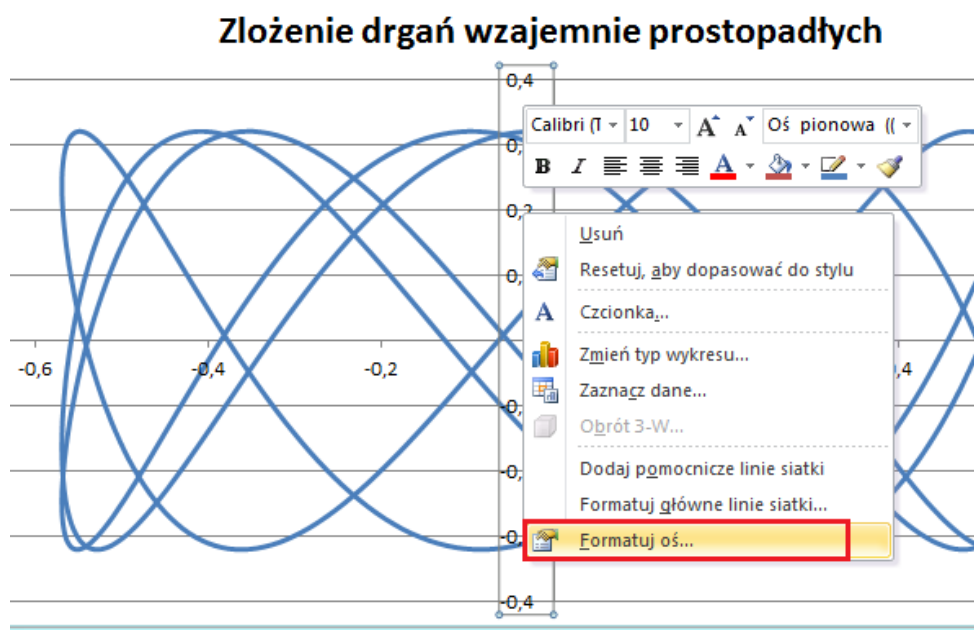
Rysunek 38. Definiowanie serii danych

35. Po zatwierdzeniu wpisów w oknie *Wybieranie serii danych* zmień paskami przewijania wartości parametrów, aby pojawił się wykres, jak na rys. 39.



Rysunek 39. Wygląd arkusza wykres z wykresem

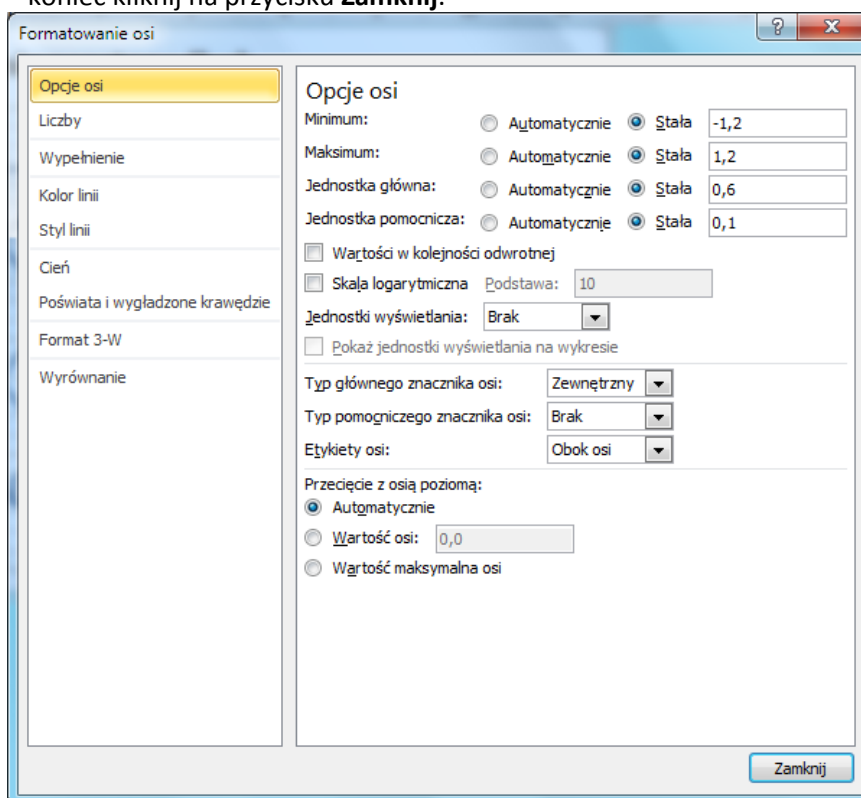
36. Przejdź na kartę *Układ* (znajdącą się w grupie *Narzędzia wykresów* na końcu wstążki; grupa narzędzi wykresów będzie widoczna pod warunkiem, że będzie aktywny wykres) i w sekcji *Etykiety* wybierz ikonę *Legenda*, a następnie, z wewnętrznej listy, *Brak*. W ten sposób wyłączymy wyświetlanie legendy na wykresie. Nie jest nam ona potrzebna, bowiem nie niesie żadnej istotnej informacji.
37. Kliknij na jednej z wartości osi pionowej (powinna zaznaczyć się cała oś). Przejdź na kartę *Narzędzia główne* i w grupie *Czcionka* włącz pogrubienie (ikona z literą **B**). Możesz również zmienić rozmiar czcionki na większy (np. 12), żeby opisy osi były bardziej czytelne.
38. Kliknij jeszcze raz na jednej z wartości, ale tym razem prawym klawiszem myszki, i z menu podręcznego wybierz *Formatuj oś* (rys. 40).



Rysunek 40. Menu podręczne osi pionowej

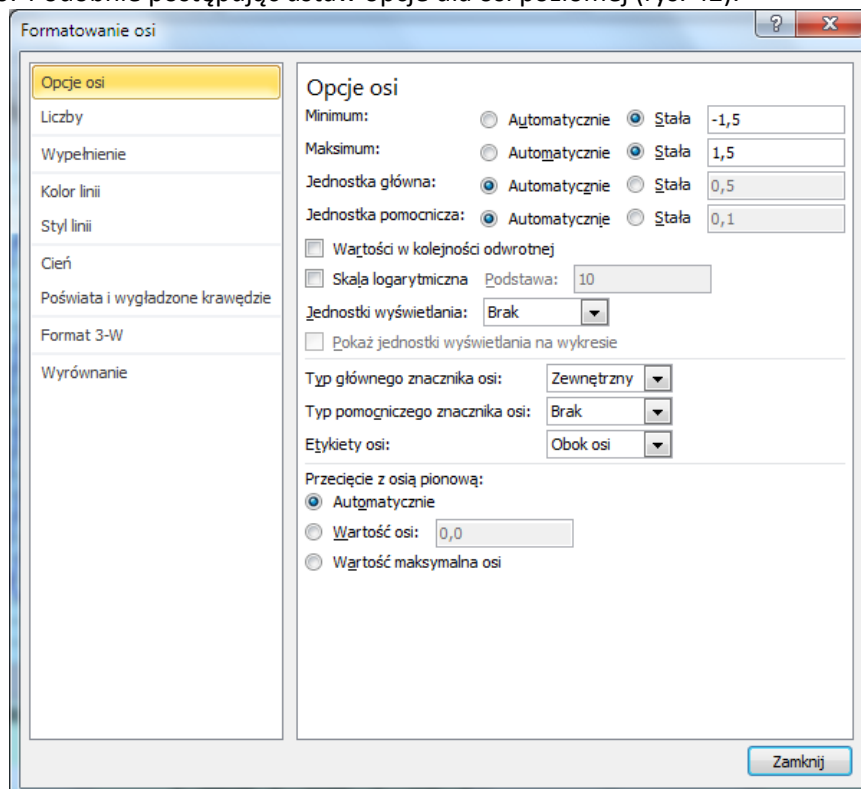
39. Po lewej stronie okna *Formatowanie osi* wybierz kartę *Opcje osi*. Na karcie *Opcje osi*, w prawej części okna, ustaw kategorię *Minimum*, nadając jej stałą wartość -1,2,

Maksimum: 1,2, nadaj stałe wartości jednostce głównej i pomocniczej (rys. 41). Na koniec kliknij na przycisku **Zamknij**.



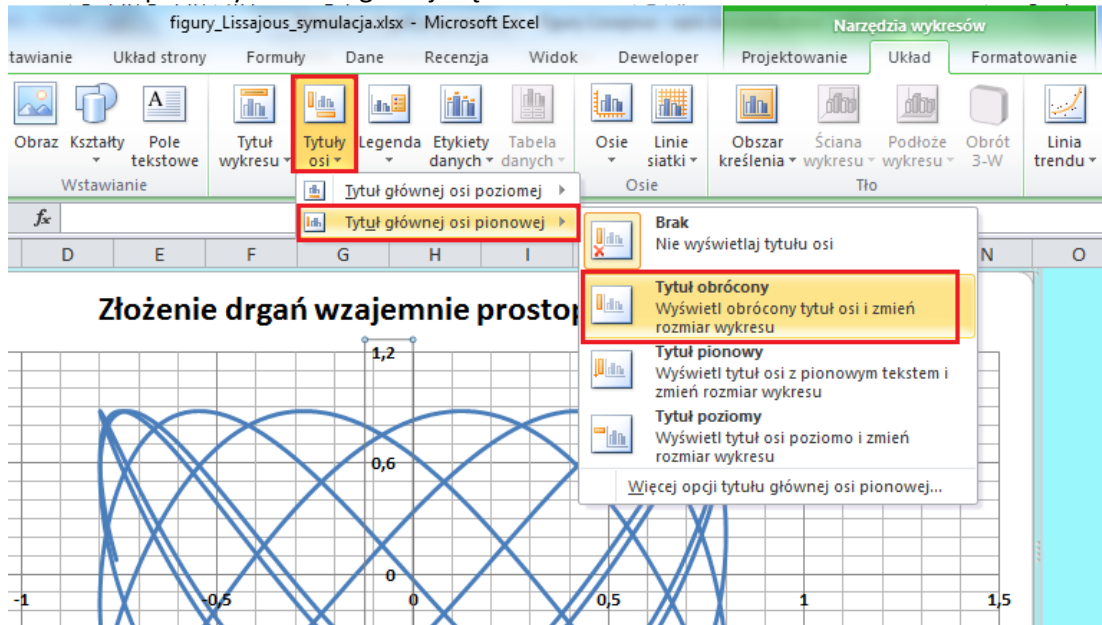
Rysunek 41. Opcje wyświetlania liczb na osi pionowej

40. Podobnie postępując ustaw opcje dla osi poziomej (rys. 42).



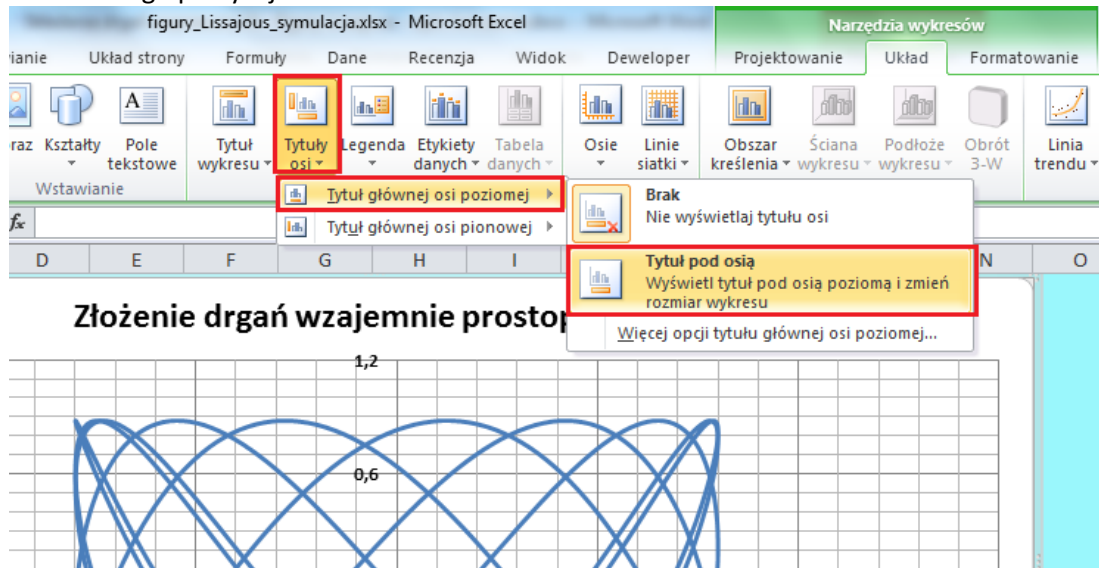
Rysunek 42. Opcje wyświetlania liczb na osi poziomej

41. Kliknij prawym klawiszem myszki na jednej z wartości osi poziomej i z menu podręcznego wybierz *Dodaj główne linie siatki*. Kliknij ponownie i wybierz *Dodaj pomocnicze linie siatki*. Powtórz te czynności dla osi pionowej.
42. Przejdź na kartę *Układ* i w sekcji *Etykiety* wybierz *Tytuły osi*, a następnie *Tytuł głównej osi pionowej* i z wewnętrznej listy *Tytuł obrócony* (rys. 43). Wpisz tekst „y[cm]” i naciśnij **Enter**. Powiększ czcionkę do rozmiaru 16 pt. Włącz pogrubienie. Przecignij pole z tytułem do górnej części osi.



Rysunek 43. Dodanie tytułu osi pionowej

43. Ponownie wybierz polecenie *Tytuły osi*, a następnie *Tytuł głównej osi poziomej* i – z wewnętrznej listy – *Tytuł pod osią* (rys. 44). Wpisz tekst „x[cm]” i naciśnij **Enter**. Sformatuj tak samo, jak tytuł osi pionowej. Przecignij tytuł w prawą stronę. Umieść go powyżej osi.



Rysunek 44. Dodanie tytułu osi poziomej

----- KONIEC -----