



Krok po kroku

Samouczek zaawansowany DYNAMIKA

Niniejszy samouczek powstał na bazie AxisVM w wersji X5 R1. Jeżeli używasz nowszej wersji, część okien dialogowych tutaj przedstawionych może się różnić.

Edited by: Inter-CAD Kft.
Translated by: GammaCAD

©2019 Inter-CAD Kft.
All rights reserved

™ All brand and product names are trademarks or registered trademarks.

Pusta strona

SPIS TREŚCI

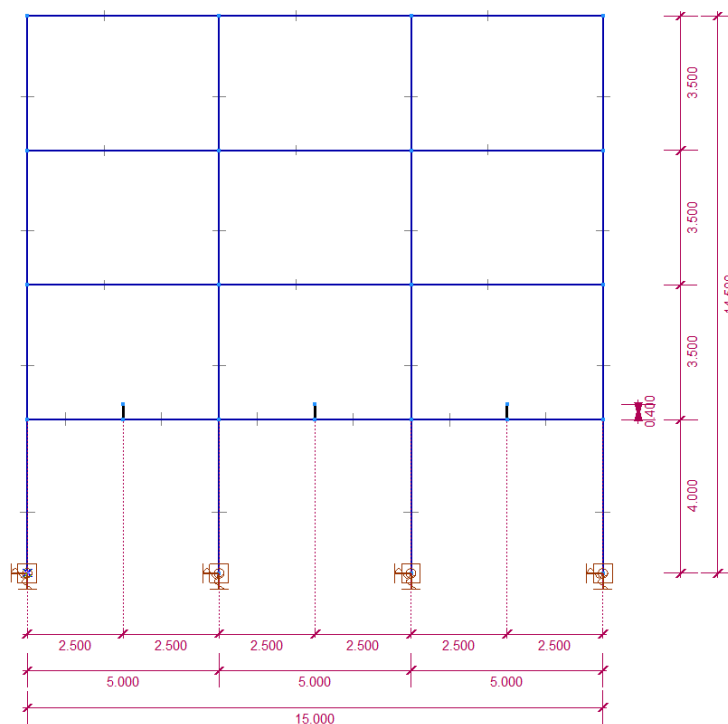
1. ANALIZA DYNAMICZNA CZTEROKONDYGNACYJNEJ RAMY STALOWEJ	5
2. ANALIZA SEJSMICZNA KILKUKONDYGNACYJNEGO BUDYNKU ŻELBETOWEGO PRZY WYKORZYSTANIU SPEKTRUM ODPOWIEDZI MODALNEJ	49

Pusta strona

1. ANALIZA DYNAMICZNA CZTEROKONDYGNACYJNEJ RAMY STALOWEJ

Cel

Celem tego przykładu jest określenie odpowiedzi dynamicznej czterokondygnacyjnej ramy płaskiej obciążonej różnym obciążeniem dynamicznym.



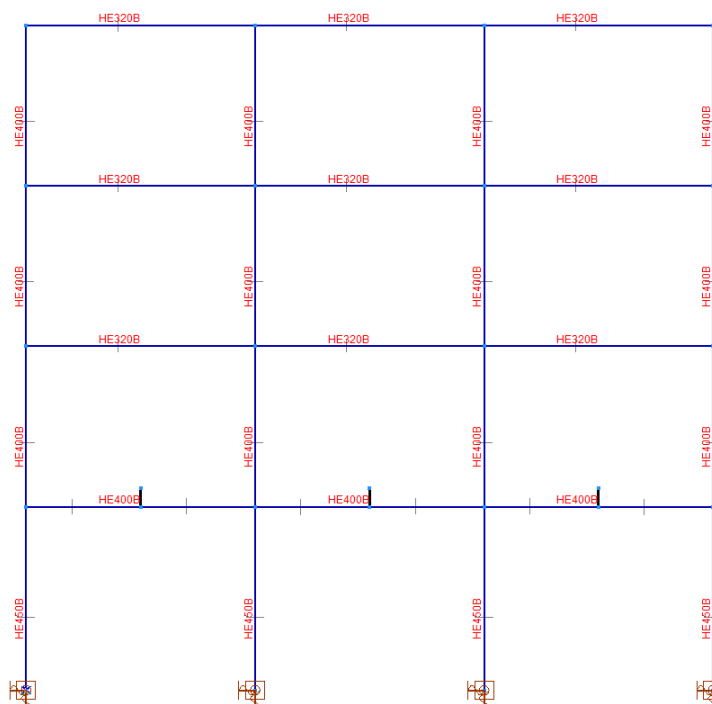
Na podstawie tego przykładu zaprezentowane zostaną możliwości modułu do analizy dynamicznej (AxisVM Dynamic – DYN) oraz przedstawiona zostanie pełna analiza po czasie. W przykładzie uwzględnione są różne typy obciążeń dynamicznych: dwa rodzaje przyspieszenia podpór (przyspieszenie fal sejsmicznych i sinusoidalnych), drgania indukowane wirującej maszyny przemysłowej wprowadzane jako dynamiczne obciążenia węzłowe oraz krótkotrwałe obciążenie uderowe.

Przyjmuje się liniowo sprężyste zachowanie konstrukcji, jednak w analizie zostaną uwzględnione efekty drugiego rzędu (efekty $P-\Delta$ tj. nieliniowość geometryczna).

W tym przykładzie zawarte zostały sugestie i przydatne wskazówki odnośnie analizy dynamicznej w programie AxisVM. Możliwości oceny wyników są krótko opisane po obliczeniach.

Opis modelu numerycznego

W tym przykładzie tworzenie modelu numerycznego nie będzie opisane, gdyż, może on być łatwo wykonany przy wykorzystaniu wiadomości z wcześniejszych przykładów. Dostępny do pobrania plik startowy (**Dynamika-stalowej-ramy.axs**) zawiera pełną geometrię (model numeryczny) czterokondygnacyjnej stalowej ramy płaskiej. Rama zdefiniowana jest w płaszczyźnie **X-Z**, patrz rysunek poniżej. Słupy pierwszej i wyższych kondygnacji wykonane są odpowiednio z profili **HE450 B** i **HE400 B**. Rygle pierwszej kondygnacji i wyższych wykonane są odpowiednio z profili **HE400 B** i **HE320 B**.



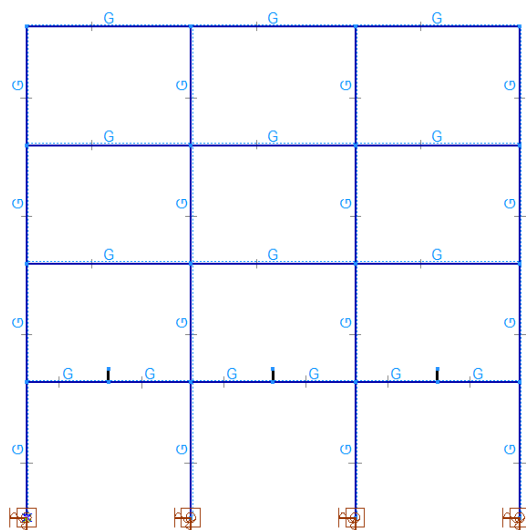
Rama jest wymiarowana zgodnie **Eurokodem**. Przyjęto liniowy model materiału - stal konstrukcyjna **S275**.

Rozpatrywany jest przypadek ramy płaskiej zdefiniowanej w płaszczyźnie (**x-z**) stąd zakłada się jej podparcie boczne (w płaszczyźnie **x-y**). Węzłowe stopnie swobody są zgodne z powyższym założeniem.

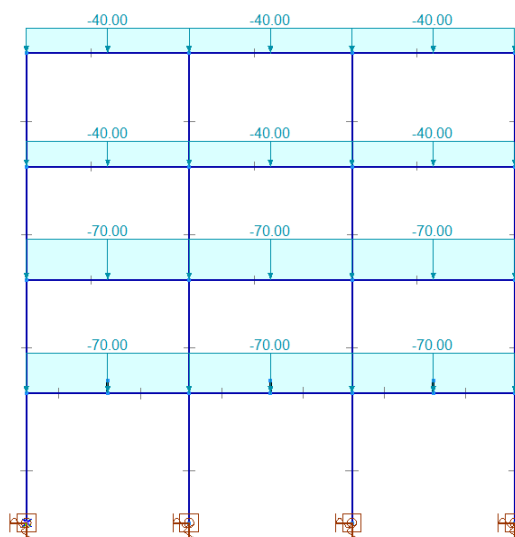
Założono sztywne zamocowanie słupów ramy (**$R_x=R_y=R_z=1E+7$ kN/m, $R_{xx}=R_{yy}=R_{zz}=1E+7$ kNm/rad**).

Obciążenie statyczne uwzględnione w analizie dynamicznej zdefiniowano w oddzielnych przypadkach obciążenia (**ciężar własny, obciążenie równomiernie rozłożone, obciążenie skupione**):

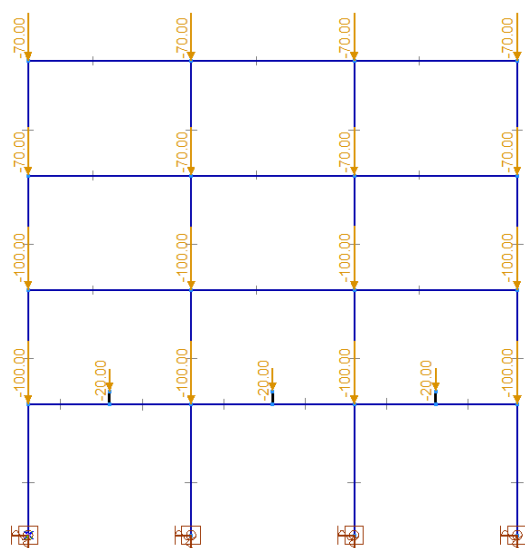
- uwzględniono **ciężar własny** konstrukcji, który przyjmowany jest przez program automatycznie w oparciu o przyjęty materiał i przekroje poprzeczne;



- przyłożono **obciążenie równomiernie rozłożone** o wartości **70 kN/m** i **40 kN/m** odpowiednio na ryglach pierwszej i pozostałych kondygnacjach;



- na środku każdego rygla pierwszej kondygnacji przyłożono **obciążenie skupione** o wartości **20 kN** za pośrednictwem elementu sztywnego o wysokości 0,4m (wartość mierzona od osi belki). To obciążenie reprezentuje ciężar wirującej maszyny przemysłowej w budynku;
- ponadto w każdy węzeł narożny ramy przyłożono **obciążenia skupione** (70 i 100 kN) zgodnie z rozkładem pokazanym na rysunku poniżej;



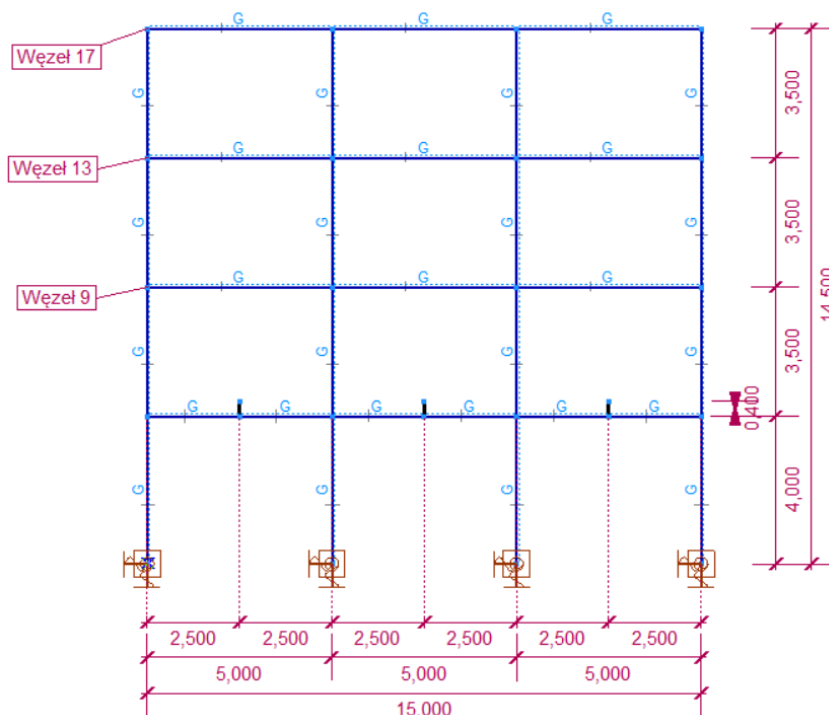
Start
X5

Uruchom program **AxisVMX5**

Otwórz

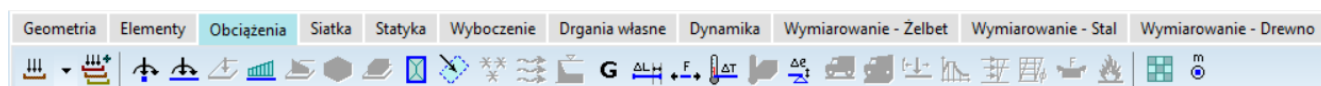


Kliknij ikonę **Otwórz**, żeby załadować zapisany na twoim komputerze plik startowy.



Pierwsze kroki

Przed rozpoczęciem modelowania sprawdź geometrie, elementy i ustawienia opisane na obrazku powyżej.



Kombinacje obciążeń

Przejdź na zakładkę **Obciążenia**.



Stwórz kombinacje obciążeń dla analizy drgań własnych i analizy dynamicznej w oparciu o obciążenia statyczne. W naszym zadaniu przedstawione rozwiązanie jest złożone, ponieważ w tym przykładzie w oparciu o jeden model badane są zasadniczo różne efekty dynamiczne.

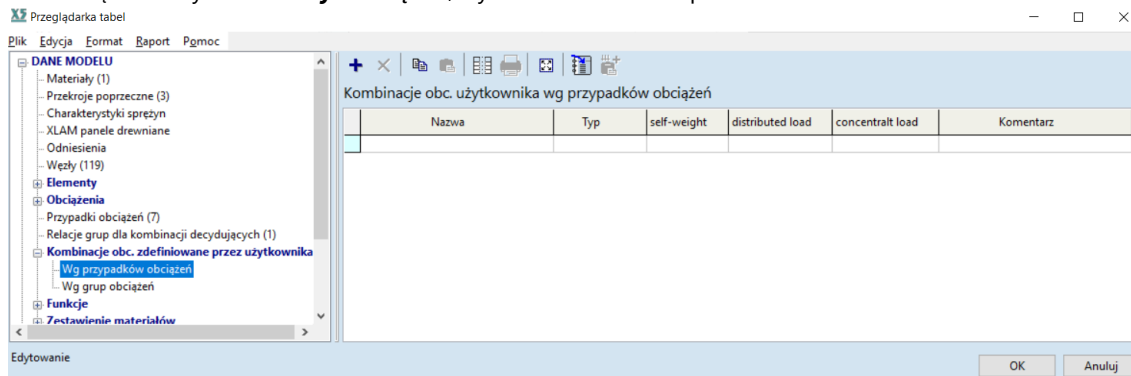
Analiza drgań będzie przeprowadzona na dwa sposoby:

- w przypadku sejsmiki, wzbudzenia fali sinusoidalnej i obciążenia uderowego wystarczy rozważyć tylko poziomą składową masy (**x**) ponieważ przyłożone obciążenie dynamiczne zawiera tylko składowe poziome,
- w przypadku wibracji wywołanych przez maszyny należy uwzględnić obie składowe (poziome i pionowe).

Ta sama kombinacja obciążeń statycznych zostanie zastosowana dla każdego obciążenia dynamicznego, lecz z uwagi na różnicę w liczbie aktywnych składowych masy (poziome lub poziome z pionowymi) analiza drgań własnych zostanie przeprowadzona dla dwóch różnych kombinacji. Powodem wprowadzenia dwóch kombinacji obciążeń jest to, że program wiąże wyniki analizy drgań z ustawionym obciążeniem / kombinacją obciążeń. Skutkuje to nadpisaniem wyników dla tej samej kombinacji obciążeń przez wyniki nowej analizy (z innymi ustawieniami/parametrami). Stąd w zadaniu przyjęto dwie kombinacje obciążeń w których przechowywane będą wyniki dla różnych analiz dynamicznych.

Pamiętaj: ten sposób postępowania może być również zastosowany, jeżeli trzeba zbadać wpływ innych parametrów i zapisać wyniki każdej analizy (np. test sejsmiczny z różnymi parametrami tłumienia).

Po kliknięciu ikony **Kombinacje obciążeń**, wyświetlone zostanie poniższe okno:

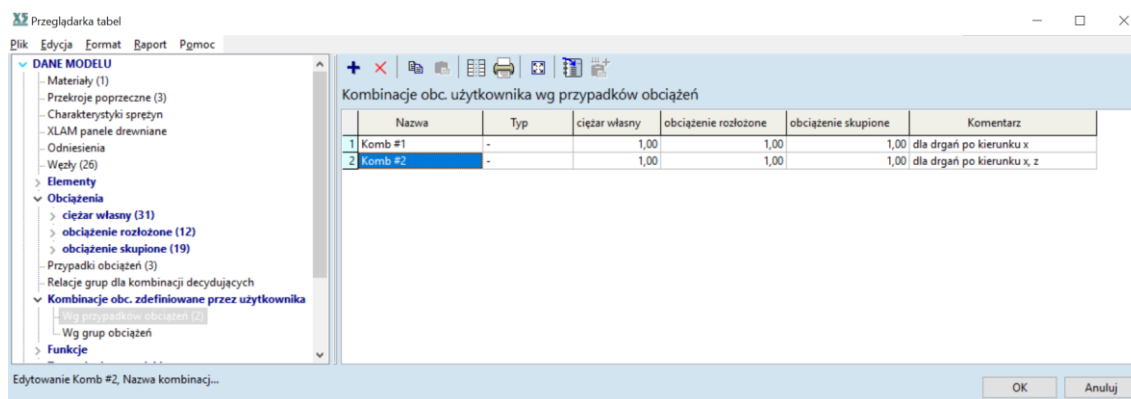


Nowy wiersz

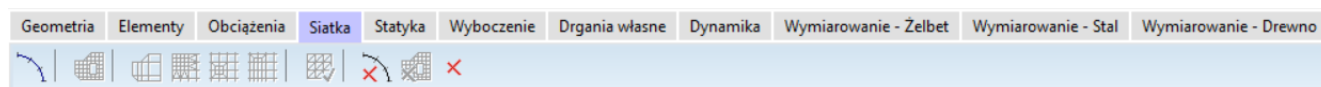


Kliknij ikonę **Nowy wiersz** i zdefiniuj dwa przypadki kombinacji według schematu podanego poniżej.

- nazwij kombinacje **Komb #1** i **Komb #2**,
- w polu Typ wybierz **kombinacje użytkownika**,
- przypisz wartości **1,0** współczynnikom częściowym dla każdego przypadku obciążenia,
- wprowadź komentarz opisujący kierunek drgań mianowicie „dla drgań po kierunku x” i „dla drgań po kierunku x, z”.



Zatwierdź wprowadzone dane klikając przycisk **OK**.



Siatkowanie elementów liniowych



Przed analizą dynamiczną lub nieliniową analizą statyczną elementy prętowe muszą być posiatkowane. Umożliwi to otrzymanie poprawnych i „gładkich” wyników. Przejdź na zakładkę **Siatka** i wybierz ikonę **Generowanie siatki dla elementu liniowego**. Zaznacz wszystkie elementy prętowe i przypisz im odpowiednie parametry siatkowania. Każdy element prętowy powinien być podzielony na 4 (równe) segmenty.

Parametry siatkowania elementów liniowych

×

Kryterium siatkowania

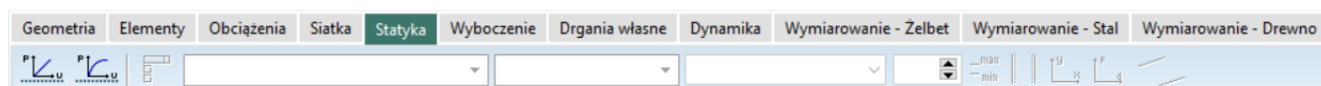
☐ Maksymalne zniekształcenie łuku
☐ Maksymalna wielkość elementu
☒ Podział na N segmentów
☐ Po łuku

d [m] =
 d [m] =
 N =
 d [°] =

Pobierz z... >> OK Anuluj

Zatwierdź wprowadzone dane klikając przycisk **OK**.

Klikając ikonę **Wyświetlanie siatki wł/wył** spośród **Przycisków szybkich ustawień** można włączyć lub wyłączyć wyświetlanie siatki. Włącz wyświetlanie siatki.



Liniowa analiza statyczna

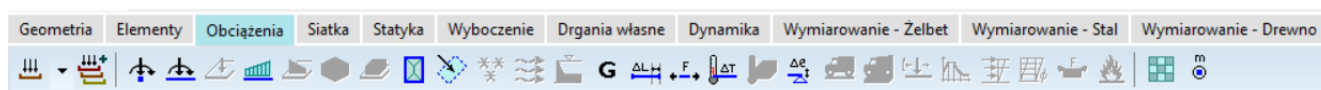


Przejdź na zakładkę **Statyka**. Przeprowadź liniową analizę statyczną i zweryfikuj nośność elementów ramy ze względu na obciążenia statyczne.

Sprawdź wyniki w panelu informacyjny pod kątem zbieżności modelu numerycznego (z powodu np. niestabilności).

Uwaga: Dobrą zasadą jest każdorazowa weryfikacja modelu, która powinna być przeprowadzona dla prostego przypadku obciążenia lub kombinacji obciążeń, zanim rozpoczęte zostaną czasochłonne obliczenia analizy nieliniowej lub dynamicznej.

W następnym kroku zdefiniujemy obciążenia dynamiczne.



Przypadki i grupy obciążeń



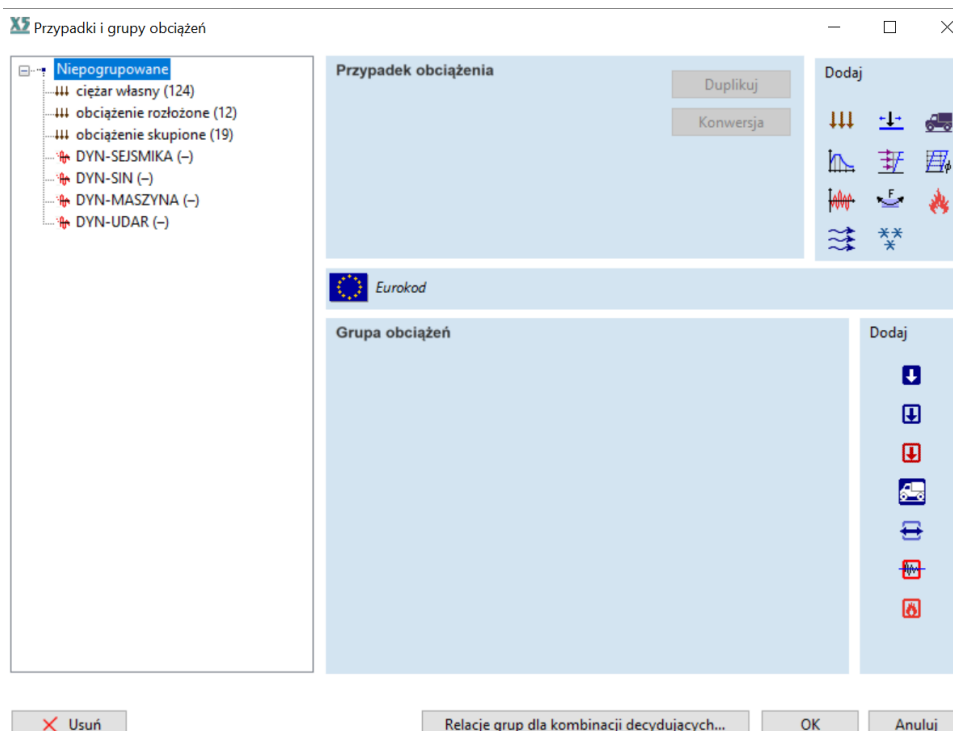
Obciążenie dynamiczne



Przejdź na zakładkę **Obciążenia**. Wybierz ikonę **Przypadki i grupy obciążeń**. Do zdefiniowanych obciążeń statycznych dodaj **4 Obciążenia dynamiczne**. Wybierz **Obciążenie dynamiczne** a następnie użyj następujących nazw:

Nazwa przypadku obciążenia	Typ obciążenia które będzie zdefiniowany w przypadku obciążenia
DYN-SEJSMIKA	przyspieszenie sejsmiczne
DYN-SIN	przyspieszenie fali sinusoidalnej
DYN-MASZYNA	wzbudzenie indukowane przez wirujące maszyny
DYN-UDAR	obciążenie udarowe (krótkotrwałe obciążenie skoncentrowane)

Na rysunku poniżej przedstawiono zdefiniowane przypadki obciążenia statycznego i dynamicznego

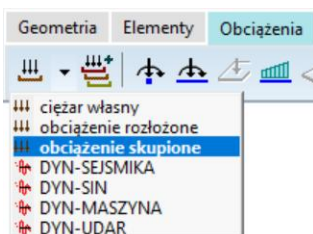


Zamknij okno przyciskiem **OK**, a następnie zadaj obciążenia dla każdego przypadku obciążenia dynamicznego.

Dynamiczne przyspieszenie podporowe

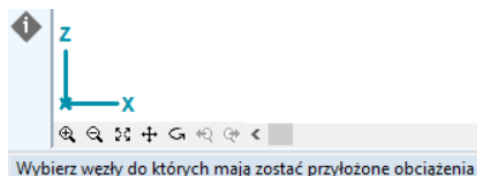


Na początku zdefiniowane zostanie wzbudzenie typu sejsmicznego. Wybierz przypadek obciążenia nazwany **DYN-SEJSMIKA** (aktualne obciążenie można sprawdzić w **Panelu informacyjnym**). Przy definiowaniu przyspieszeń podporowych wykorzystana zostanie baza danych (**Biblioteka obciążeń dynamicznych**) o nazwie **Bucuresti-1986-EW**.



Włącz **Dynamiczne przyspieszenie podporowe** a następnie wybierz podpory węzłowe słupów parterowych.

Uwaga: informacja o tym, że komenda jest aktywna jest wyświetlona w lewym dolnym rogu głównego ekranu.



Po zatwierdzeniu selekcji przyciskiem **OK**, pojawi się okno **Dynamicznych przyspieszeń podporowych**.

Dynamiczne przyspieszenie podporowe w podporach węzła 1


☒ Definiuj
 ☐ Modyfikuj

Kierunek

☒ Globalny

☐ W kier. odniesienia

Odniesienie

Funkcje obciążeń dynamicznych

a_x [m/s²] = 0 <->

a_y [m/s²] = 0 <->

a_z [m/s²] = 0 <->

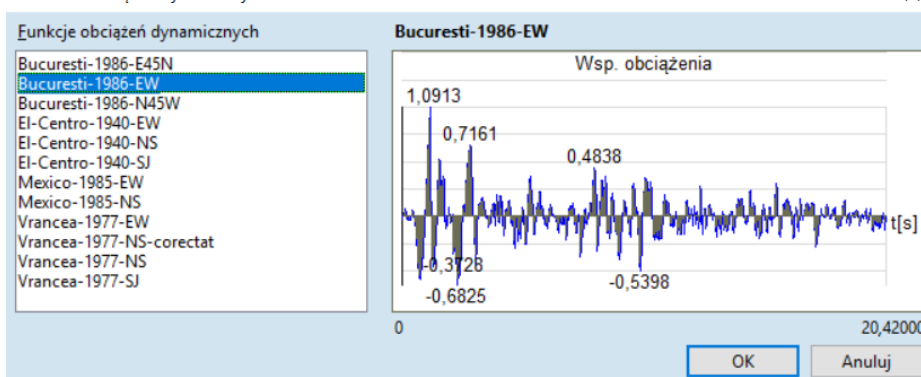
Pobierz z... >> OK Anuluj

Biblioteka obciążeń dynamicznych



Określ globalny kierunek przyspieszeń sejsmicznych: **kierunek x**. Dla składowej **a_x [m/s²]** wybierz **Bibliotekę obciążeń dynamicznych**, aby załadować wybraną funkcję z bazy danych. W bibliotece wybierz funkcję o nazwie **Bucuresti-1986-EW**, a wtedy diagram trzęsienia ziemi zostanie wyświetlony w prawym oknie. Przedstawione wartości liczbowe reprezentują wartości minimalne i maksymalne serii.

Biblioteka obciążeń dynamicznych



Ten zbiór danych jest serią danych o trzęsieniu ziemi wschód-zachód z trzęsienia ziemi w Bukareszcie w 1986 roku. Zawiera dane w przedziałach czasowych **0,02 s**, a całkowity czas trwania funkcji wynosi **20,42 s**. Maksymalna wartość wynosi **1,0913**. Zbiór jest bezwymiarowy i jest to tak zwana funkcja współczynnika obciążenia. Uwzględnione w obliczeniach przyspieszenie podpory jest wyznaczony poprzez przemnożenie danej funkcji przez (stałą) wartość przyspieszenia dla danego kierunku. Aby uzyskać wartości zarejestrowane w miejscu trzęsienia ziemi należy przyjąć wartość przyspieszenia równą **1 m/s²**. Zostanie to określone w następnym kroku:

Zamknij okno za pomocą przycisku **OK**. W polu tekstowym ustaw stałą wartość przyspieszenia **a_x [m/s²]** równą **1,00** (przyjęcie tej wartości przyspieszenia pozwoli na wczytanie funkcji współczynnika obciążenia bez modyfikacji oryginalnego zestawu danych).

Dynamiczne przyspieszenie podporowe w podporach węzła 1


☒ Definiuj
 ☐ Modyfikuj

Kierunek

☒ Globalny

☐ W kier. odniesienia

Odniesienie

Funkcje obciążeń dynamicznych

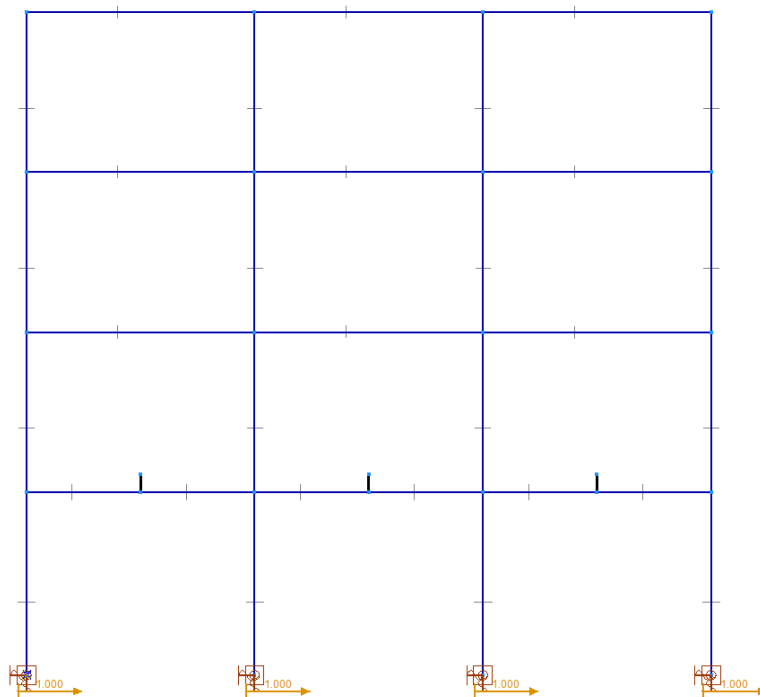
a_x [m/s²] = 1 Bucuresti-1986-EW

a_y [m/s²] = 0 <->

a_z [m/s²] = 0 <->

Pobierz z... >> OK Anuluj

Zamknij okno zatwierdzając wprowadzone dane przyciskiem **OK**. W naszym przykładzie tylko globalny **kierunek x** przyspieszenia jest uwzględniony (nasz model zdefiniowany został tylko w płaszczyźnie **x-z**). Składowa pionowa przyspieszenia jest pomijana. Przyłożone obciążenie dynamiczne jest przedstawione jako strzałki pod podporami z informacją o stałych wartościach przyspieszenia.



Uwaga: użytkownik może także określić niestandardowe funkcje wykorzystując **Edytor funkcji**. Funkcje te mogą być zapisane do biblioteki, aby mogły być implementowane w innych zadaniach. Korzystanie z edytora będzie opisane później.

Dynamiczne przyspieszenie podporowe



W drugim kroku, definiujemy przyspieszenie podporowe w funkcji sinusoidy **SIN**. Przełącz na przypadek obciążenia **DYN-SIN** i wybierz ikonę **Dynamiczne przyspieszenie podporowe**. Ponownie wybierz wszystkie węzły podporowe.

Dynamiczne przyspieszenie podporowe w podporach węzła 1 X

☒ Definiuj ☐ Modyfikuj

Kierunek
☒ Globalny
☐ W kier. odniesienia

Odniesienie ▼

Funkcje obciążeń dynamicznych

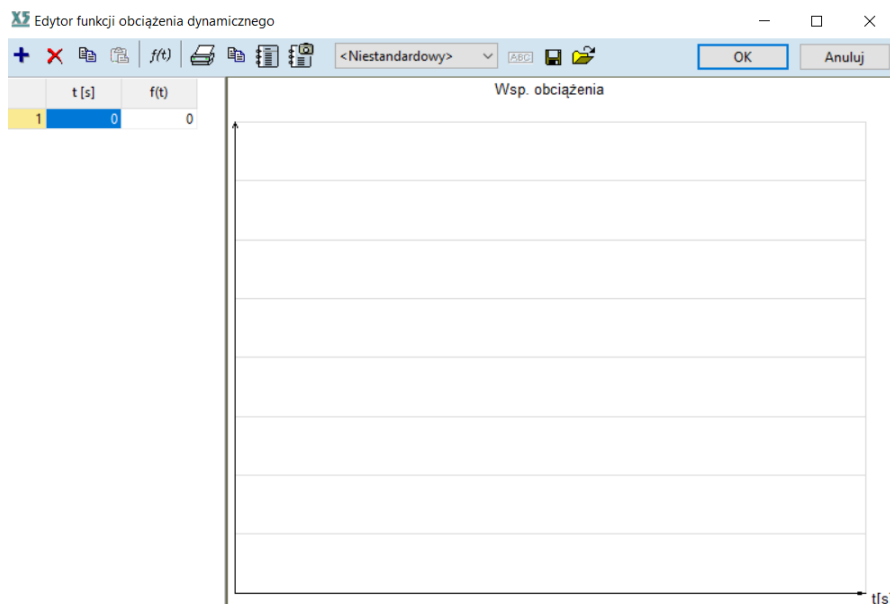
a_x [m/s ²] =	<input type="text" value="0"/>	<->	
a_y [m/s ²] =	<input type="text" value="0"/>	<->	
a_z [m/s ²] =	<input type="text" value="0"/>	<->	

Pobierz z... >>
OK
Anuluj

Edytor funkcji

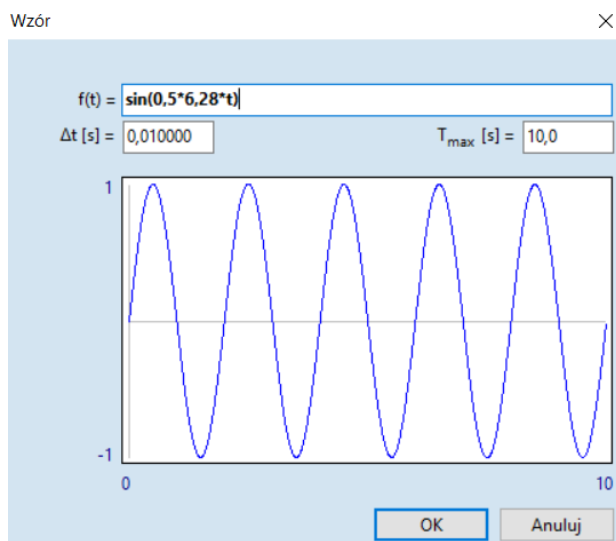


Proste funkcje (sin, exp, sqrt, itp. ...) w łatwy sposób można definiować wykorzystując **Edytor funkcji**. Dla składowej **ax [m/s²]** przyspieszenia podporowego skorzystaj z **Edytora funkcji**.



Wzór
 $f(t)$

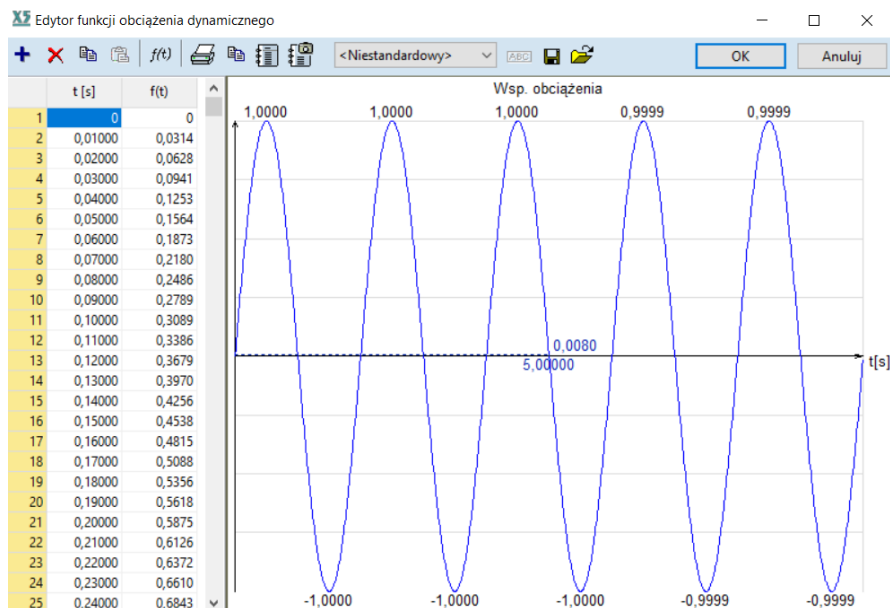
W oknie **Edytora funkcji obciążenia dynamicznego** wybierz ikonę **Wzór**. W nowym oknie zdefiniuj sinusoidę dla przyspieszenia.



Wzór musi być wprowadzony jako funkcja czasu " t ".

Wprowadź następujący wzór w polu wprowadzania: **$f(t)$: $\sin(0,5*6,28*t)$** (w oparciu o podstawową formułę $\sin(2*\pi/T*t)$ okres czasu (T) funkcji harmonicznego wyniesie **2 s**, a jej częstotliwość **0,5 Hz**.)

Wykaz obowiązujących operatorów można znaleźć w **Podręczniku użytkownika** w rozdziale **4.10.28**. Korzystając ze wzoru, program generuje szereg dyskretny biorąc pod uwagę podany przedział czasowy ($\Delta t=0,01$ s) oraz czas trwania wzbudzenia ($T_{max}=10$ s). Po zatwierdzeniu zmian przyciskiem **OK** ponownie wyświetlone zostanie okno **Edytora funkcji obciążenia dynamicznego**:

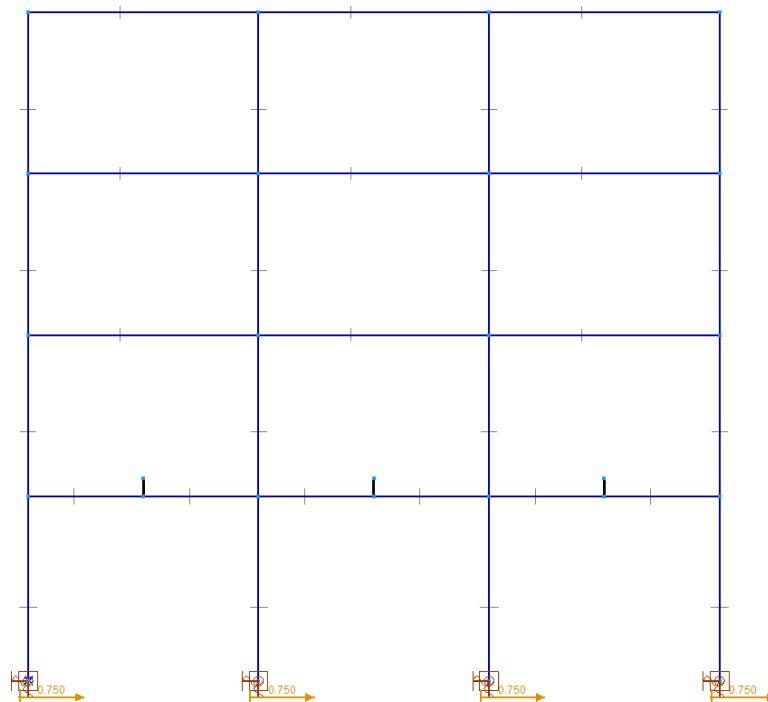


Określona funkcja jest widoczna po prawej stronie okna. Tabela po lewej stronie zawiera pełną serię danych dyskretnych krzywej dla zadanego kroku czasowego. Wszystkie dane w tabeli można przeglądać oraz jeżeli to konieczne edytować ręcznie.

Po zamknięciu edytora pojawi się nowe okno umożliwiające zapisanie funkcji obciążenia. Nadaj temu obciążeniu nazwę **SIN**.

W oknie **Dynamiczne przyspieszenie podporowe** określ stałą wartość przyspieszenia dla funkcji obciążenia o wartości **0,75 m/s²**.

Zamknij okno przyciskiem **OK**. Przyłożone obciążenie dynamiczne zostanie wyświetlone jako strzałki pod podporami. Dodatkowo wartości liczbowe nad strzałkami odnoszą się do ustalonych stałych przyspieszenia.

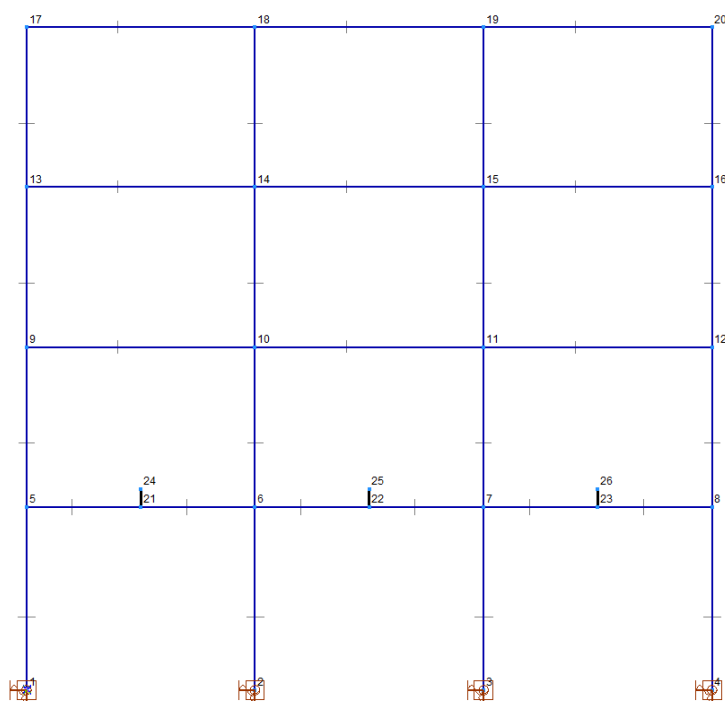


Obciążenie węzłowe



W następnym kroku zamodelujmy dynamicznych efekt spowodowany wirującymi maszynami przemysłowymi. Zastosujemy zmienne w czasie obciążenie skupione, aby zasymulować wpływ wirujących maszyn (obrotów wokół globalnej osi y). W przykładzie zakłada się, że maszyny mają równoczesny ruch fazowy.

Przypisz następujące obciążenie dynamiczne do węzłów **24**, **25** i **26**.



Zmień przypadek obciążenia na **DYN-MASZYNA** a następnie kliknij ikonę **Obciążenie węzłowe** i wskaż węzły wymienione wcześniej. Zostanie wyświetlone poniższe okno:

Dynamiczne obciążenia węzłowe

☒ Definiuj ☐ Modyfikuj

Kierunek
☒ Globalny
☐ W kier. odniesienia

Odniesienie

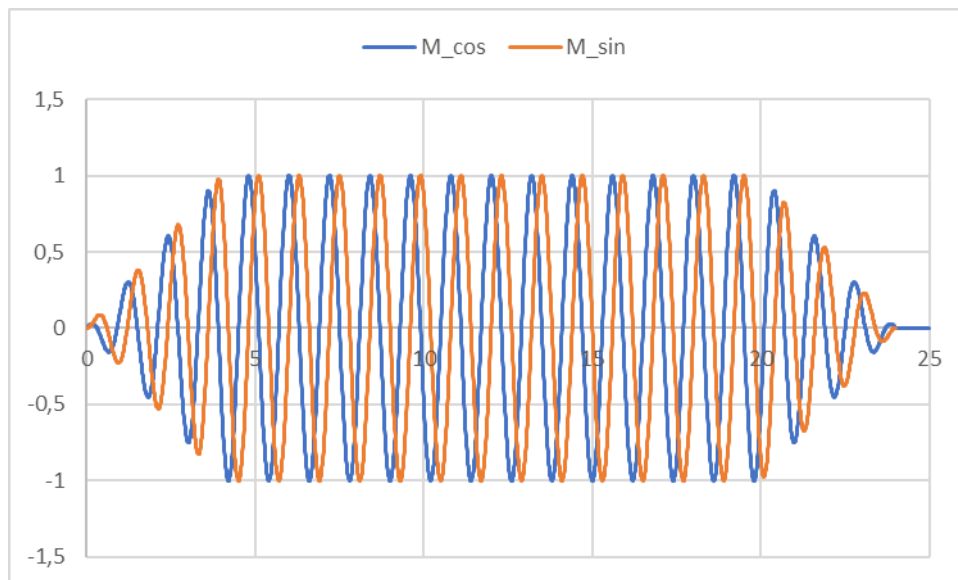
Funkcje obciążeń dynamicznych

F_x [kN] = 0	<Statyczne>	
F_y [kN] = 0	<Statyczne>	
F_z [kN] = 0	<Statyczne>	
M_x [kNm] = 0	<Statyczne>	
M_y [kNm] = 0	<Statyczne>	
M_z [kNm] = 0	<Statyczne>	

Pobierz z... >> OK Anuluj

Zmienne w czasie obciążenie wypadkowe jest definiowane przez składową globalną kierunku x i z . W tym celu należy zastosować dwie funkcje obciążenia dynamicznego do opisanego ruchu kołowego. Dla siły po kierunku x zastosowana zostanie funkcja **cosinus** podczas gdy dla siły po kierunku z zastosowana zostanie funkcja **sinus**.

Szeregi czasowe, które należy zastosować, zaczynają się od monotonicznej, liniowo rosnącej części, po której następuje czysto harmoniczny kształt fali, aby zakończyć się monotonicznie malejącą częścią. Maksymalna amplituda funkcji **sinus** i **cosinus** wynosi **1,00**, a okres **1,2 s**. Cała seria (ze względu na jej złożoność) została przygotowana w arkuszu kalkulacyjnym programu **Microsoft Excel**. Seria ta została wygenerowana dla kroku czasowego **0,01 s** i całkowitego czasu **25 s**. Dane znajdują się w załączonym pliku **AxisVM-krok-po-kroku-arkusz-obc-dynamicznego.xlsx**. Wykresy opisane powyżej są przedstawione na rysunku poniżej:



Kolejno dla funkcji F_x i F_z określ ich współczynniki obciążenia.

W tym celu skopiuj z pliku Excela wygenerowane dane (czas $t(s)$ i wartość funkcji $f(t)$) w odpowiednie komórki w **Edytorze funkcji**. Kopiując pamiętaj, żeby nie kopiować wartości do pierwszego wiersza, ponieważ wiersz ten nie może być napisany. Po zakończeniu kopiowania wykres pojawi się w prawym oknie. Porównaj wykres z wykresem w programie **Excel**. Zachowaj nowe funkcje przypisując im nazwę **M_cos** i **M_sin**

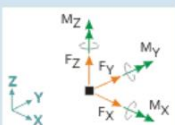
odpowiednio dla kierunku x i z . Zamknij edytor, a następnie dla obu składowych sił wprowadź stałą **7 kN** (funkcja współczynnika obciążenia zostanie pomnożona przez tę stałą wartość).

Dynamiczne obciążenia węzłowe

☒ Definiuj ☐ Modyfikuj

Kierunek
☒ Globalny
☐ W kier. odniesienia

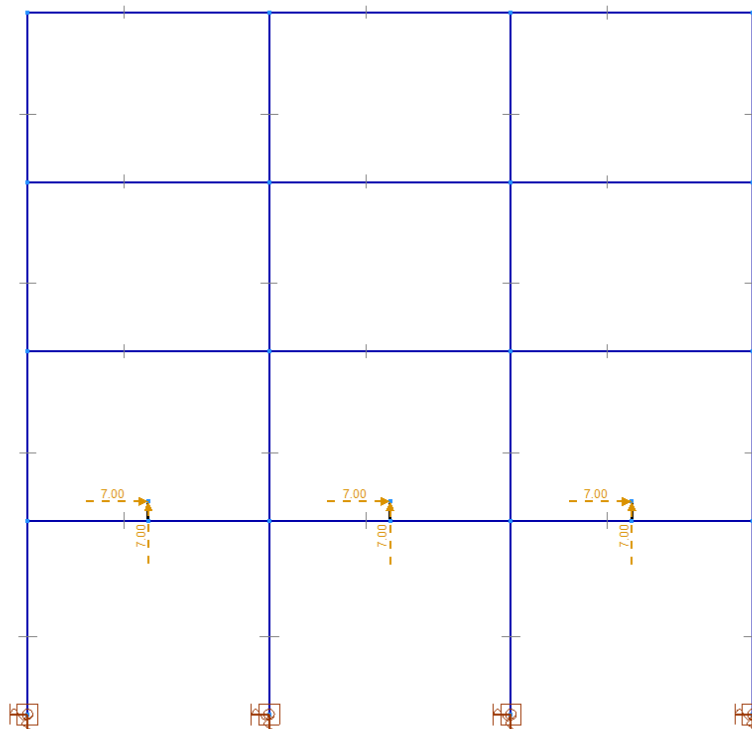
Odniesienie



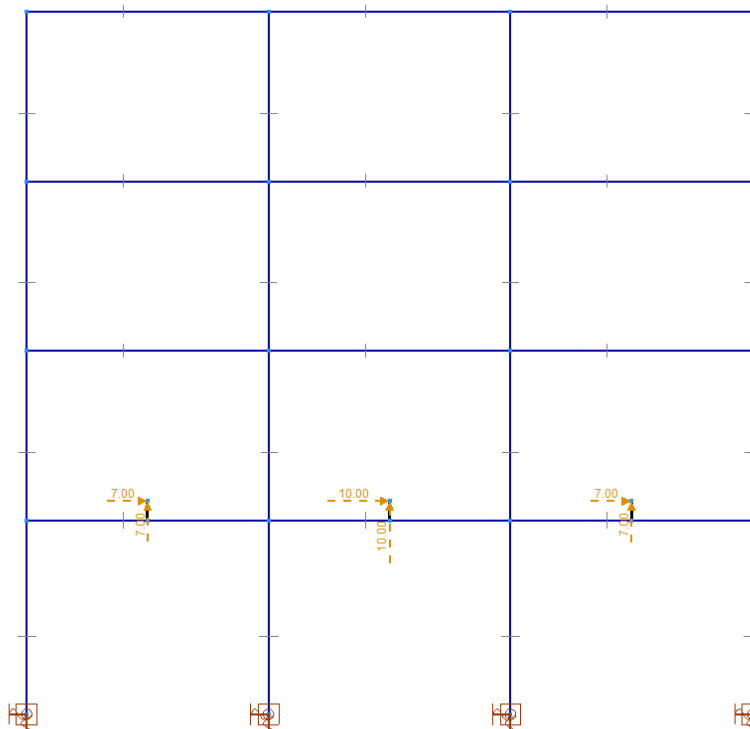
Funkcje obciążeń dynamicznych	
F_x [kN] = 7	M_cos
F_y [kN] = 0	<Statyczne>
F_z [kN] = 7	M_sin
M_x [kNm] = 0	<Statyczne>
M_y [kNm] = 0	<Statyczne>
M_z [kNm] = 0	<Statyczne>

Pobierz z... >> OK Anuluj

Zamknij okno klikając **OK**. Zadane dynamiczne obciążenie węzłowe jest przedstawione za pomocą strzałek narysowanych linią przerywaną (po kierunku x i z). Wartości obok strzałek informują o wartości stałej obciążenia.



Zwiększ wartość środkowego obciążenia. W tym celu kliknij na to obciążenie i w polach **F_x** i **F_z** wprowadź wartość **10 kN**. Po zamknięciu okna zostanie wyświetlony poniższy widok:

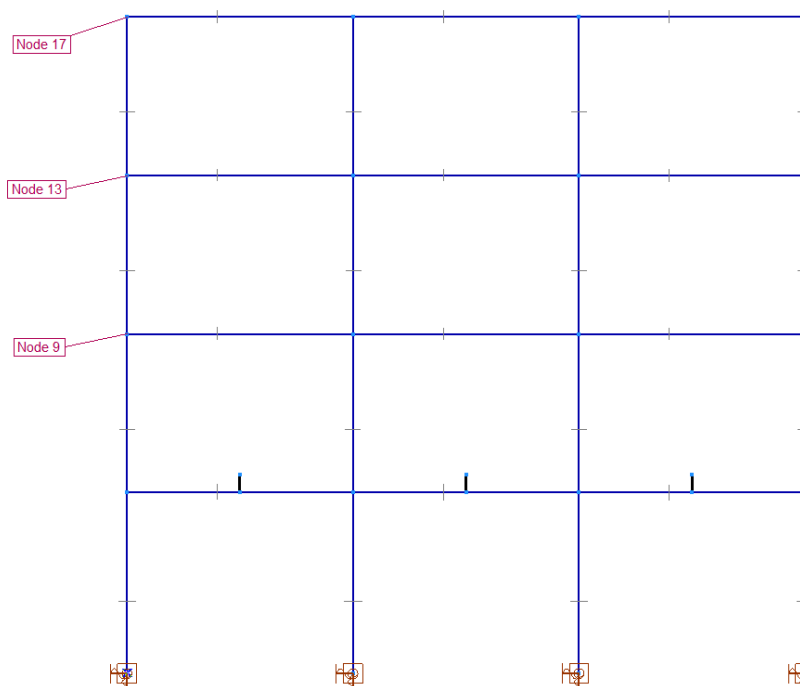


Uwaga: powyżej została przedstawiona przykładowa metoda definiowania obciążenia. Prawidłowe uwzględnienie wpływu obracającej się maszyny wymaga skorzystania z dokumentacji techniczno-ruchowej maszyny.

Obciążenie węzłowe



Na koniec zadaj krótkotrwałe obciążenie jako obciążenie udarowe przyłożone w węzłach **9, 13 i 17** (przypadek obciążenia **DYN-UDAR**).



Zmień aktywny przypadek obciążenia na **DYN-UDAR**, a następnie kliknij na ikonę **Obciążenie węzłowe**. Wskaż węzły zaznaczone na rysunku powyżej. Wybór zatwierdź klikając **OK**. Metoda wprowadzania danych jest podobna do wcześniejszych: w pierwszej kolejności określamy funkcję obciążenia dynamicznego a następnie wprowadzamy wartość stałej obciążenia.

Edytor funkcji



W wierszu składowej **Fx** kliknij na ikonę **Edytor funkcji**. Następnie wprowadź następujące dane w odpowiednie kolumny:

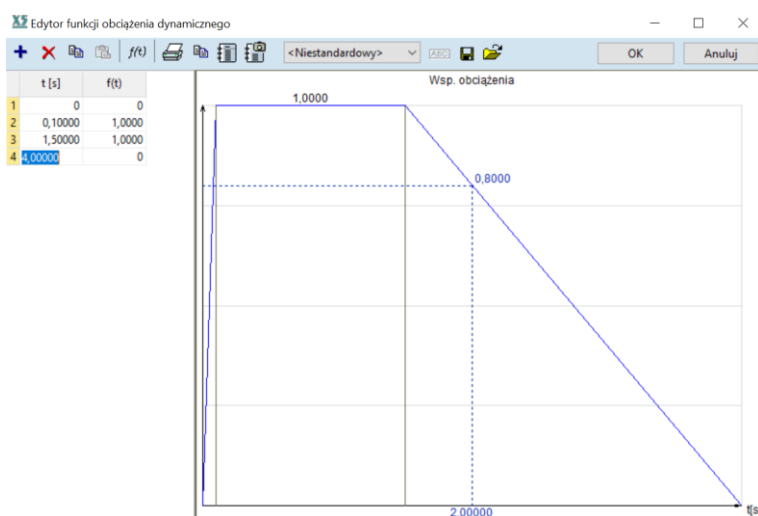
	t [s]	f(t)
1	0	0,00
2	0,1	1,00
3	1,5	1,00
4	4,0	0,00

Funkcja zdefiniowana jest przez punkty charakterystyczne. Wartości pośrednie są generowane za pomocą liniowej interpolacji na podstawie przyrostu czasu ustawionego w parametrach analizy dynamicznej (zobaczmy później).

Dodaj nowy wiersz



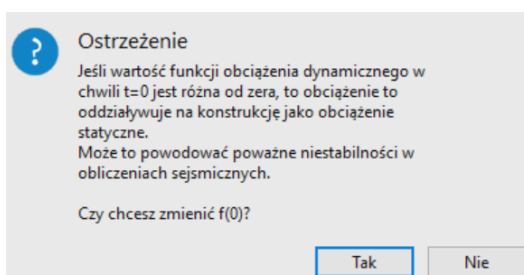
Dane muszą być wprowadzane krok po kroku definiując nowe wiersze i wprowadzając odpowiednie wartości. Po wprowadzeniu wszystkich danych otrzymamy poniższą krzywą:



Wartość maksymalna wynosi **1,00**, a całkowite obciążenie zostanie przeskalowane przez stałą **Fx**. Po wprowadzeniu danych zamknij okno klikając **OK**. Zapisz niestandardową funkcję pod nazwą **UDAR**.

Uwagi dodatkowe:

Jeżeli funkcja obciążenia dynamicznego w pierwszym kroku (dla **t=0 s**) jest niezerowa wtedy oddziałuje na konstrukcję jak obciążenie statyczne. W takim przypadku oprogramowanie ostrzega użytkownika przed zapisaniem serii obciążeń:



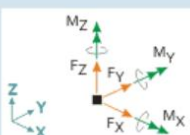
Po zapisaniu funkcji wyświetlone zostanie okno **Dynamicznych obciążeń węzłowych**.

Dynamiczne obciążenia węzłowe

☒ Definiuj ☐ Modyfikuj

Kierunek
☒ Globalny
☐ W kier. odniesienia

Odniesienie



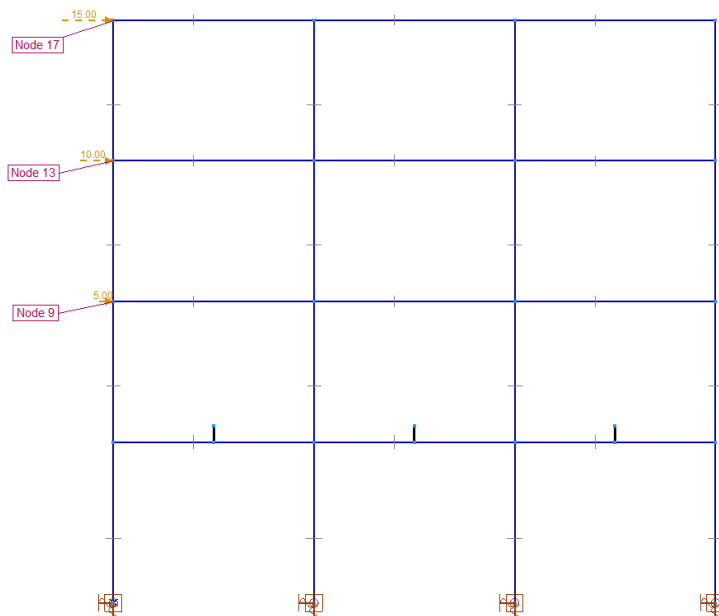
Funkcje obciążeń dynamicznych

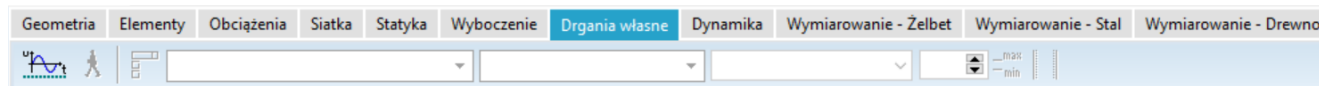
F_x [kN] = 10	UDAR	
F_y [kN] = 0	<Statyczne>	
F_z [kN] = 0	<Statyczne>	
M_x [kNm] = 0	<Statyczne>	
M_y [kNm] = 0	<Statyczne>	
M_z [kNm] = 0	<Statyczne>	

Pobierz z... >> OK Anuluj

W polu F_x wpisz wartość **10 kN**. Wprowadzone dane zatwierdź klikając **OK**. Zdefiniowane obciążenia są zaznaczone przerywanymi strzałkami a wyświetlona wartość odnosi się to wprowadzonej stałej obciążenia. W węźle **17** i **9** zmień wartość stałej obciążenia F_x nadpisując wartość **10 kN** wpisując odpowiednio **15 kN** i **5 kN**.

Poniższy rysunek pokazuje widok jaki otrzymasz:





Analiza drgań własnych



Aby przeprowadzić analizę drgań własnych przejdź na zakładkę **Drgania własne**. Analiza drgań własnych pozwoli określić najniższe częstotliwości drgań własnych i ich postacie. Ponadto ten typ analizy niesie ze sobą dodatkowe możliwości. Aby uniknąć „wpadnięcia” konstrukcji w rezonans, częstotliwości drgań własnych należy porównać z częstotliwościami pochodzącymi od innych wzbudzeń (sinusoidea, drgania wywołane przez maszynę). Z drugiej strony stałe tłumienia Rayleigha w analizie dynamicznej zostaną dostrójone z uwzględnieniem dominujących kształtów drgań w naszym przykładzie.

Kliknij na ikonę **Analiza drgań własnych**. Zostanie wyświetlone poniższe okno:

Analiza drgań własnych

Drgania własne (I-go rzędu) Drgania własne (II-go rzędu)

Wszystko

- Przypadki obciążeń
 - ☒ ciężar własny
 - ☐ obciążenie rozłożone
 - ☐ obciążenie skupione
- Kombinacje obciążeń
 - ☐ Komb #1
 - ☐ Komb #2

Liczba postaci własnych 12

☒ Konwertuj obciążenia do mas
 ☐ Masy skupione
 ☐ Konwertuj masy skupione do obciążeń

☐ Tylko masy
 ☐ Masy elementów konstrukcyjnych
 ☐ Konwertuj masy do obciążeń

Kryterium zbieżności

Maksymalna liczba iteracji 30

Zbieżność wartości własnej 1E-10

Zbieżność wektora własnego 1E-5

Przepona

☐ Konwertuj płyty do przepon

Redukcja sztywności dla analizy spektrum odpowiedzi

☒ Sztywność początkowa
 ☐ Sztywność zredukowana
 Redukcja sztywności

☐ Użyj zwiększonej sztywności podpór

Masy

Uwzględnij składowe masy

☒ m_x ☒ m_y ☒ m_z

Rodzaj macierzy mas

☒ Diagonalna
 ☐ Konsystentna (tylko w uzasadnionych przypadkach)

Masy uwzględnione

☒ Wszystkie masy
 ☐ Powyżej wysokości Z
 ☐ Powyżej wybranej kondygnacji

OK Anuluj

W pierwszej kolejności należy ustalić typy analizy drgań własnych. Domyślnie ustawiona jest **analiza I-go rzędu**. W przykładzie przełącz się na **analizę II-go rzędu**.

Uwaga: Analiza drugiego rzędu oznacza, że rozwiązanie uwzględniało będzie wpływ sił osiowych w pretach kratowych i prętach na sztywność układu. Rozciągające siły osiowe zwiększają sztywność układu podczas gdy siły ściskające ją zmniejszają. Te efekty wpływają na drgania własne konstrukcji.

W analizie drgań własnych masy mogą być przekonwertowane na obciążenia definiowane w ramach przypadków/kombinacji obciążeń (tylko składowe obciążenia równoległe do kierunku grawitacji można przekształcać na masy). Rozpocznij od wyboru odpowiedniego przypadku obciążenia lub kombinacji. Z listy dostępnych przypadków obciążenia, program automatycznie wybiera pierwszy przypadek obciążenia statycznego **ciężar własny**. Odznacz to zaznaczenie. Następnie dla pierwszej i drugiej analizy zaznacz odpowiednio przypadek **Komb #1** i **Komb #2**.

W naszym modelu nie zdefiniowaliśmy mas (zdefiniowane one mogą być w zakładce **Obciążenia**) dlatego program automatycznie aktywuje funkcję **Konwertuj obciążenia do mas**.

W polu **Liczba postaci własnych** wpisz **12** i **30** odpowiednio dla pierwszej i drugiej analizy. (Biorąc pod uwagę pionową składową masy, należy określić więcej kształtów. Oprócz głównych postaci zostaną znalezione również postacie o niższym współczynniku masy modalnej – patrz wyniki później.)

W polu **Maksymalna liczba iteracji** wpisz **30**.

Jak wspomniano wcześniej w pierwszej analizie potrzebne są tylko składowe masy po kierunku **x**. Dlatego należy odznaczyć pozostałe składowe. W przypadku drugiej analizy dodaj składową **m_z**.

Po ustawieniu parametrów analizy drgań własnych kliknij **OK**, aby rozpocząć obliczenia. Po zakończeniu pierwszej analizy przeprowadź drugą analizę modyfikując jej ustawienia zgodnie z wcześniejszym opisem. Ustawienia dla **pierwszej analizy**:

Analiza drgań własnych

Drgania własne (I-go rzędu) Drgania własne (II-go rzędu)

Wszystko

Przypadki obciążeń

Kombinacje obciążeń

☒ Komb #1

☐ Komb #2

Liczba postaci własnych 12 1 z 5

☒ Konwertuj obciążenia do mas

☐ Masy skupione

☐ Konwertuj masy skupione do obciążeń

☐ Tylko masy

☐ Masy elementów konstrukcyjnych

☐ Konwertuj masy do obciążeń

Kryterium zbieżności

Maksymalna liczba iteracji 30

Zbieżność wartości własnej 1E-10

Zbieżność wektora własnego 1E-5

Przepona

☐ Konwertuj płyty do przepon

Redukcja sztywności dla analizy spektrum odpowiedzi

☒ Sztywność początkowa

☐ Sztywność zredukowana

Redukcja sztywności

☐ Użyj zwiększonej sztywności podpór

Masy

Uwzględnij składowe mas

☒ m_x ☐ m_y ☐ m_z

Rodzaj macierzy mas

☒ Diagonalna

☐ Konsystentna (tylko w uzasadnionych przypadkach)

Masy uwzględnione

☒ Wszystkie masy

☐ Powyżej wysokości Z

☐ Powyżej wybranej kondygnacji

OK Anuluj

Ustawienia dla **drugiej analizy**:

Analiza drgań własnych

Drgania własne (I-go rzędu) Drgania własne (II-go rzędu)

Wszystko

Przypadki obciążeń

Kombinacje obciążeń

☐ Komb #1

☒ Komb #2

Liczba postaci własnych 30 1 z 5

☒ Konwertuj obciążenia do mas

☐ Masy skupione

☐ Konwertuj masy skupione do obciążeń

☐ Tylko masy

☐ Masy elementów konstrukcyjnych

☐ Konwertuj masy do obciążeń

Kryterium zbieżności

Maksymalna liczba iteracji 30

Zbieżność wartości własnej 1E-10

Zbieżność wektora własnego 1E-5

Przepona

☐ Konwertuj płyty do przepon

Redukcja sztywności dla analizy spektrum odpowiedzi

☒ Sztywność początkowa

☐ Sztywność zredukowana

Redukcja sztywności

☐ Użyj zwiększonej sztywności podpór

Masy

Uwzględnij składowe mas

☒ m_x ☐ m_y ☒ m_z

Rodzaj macierzy mas

☒ Diagonalna

☐ Konsystentna (tylko w uzasadnionych przypadkach)

Masy uwzględnione

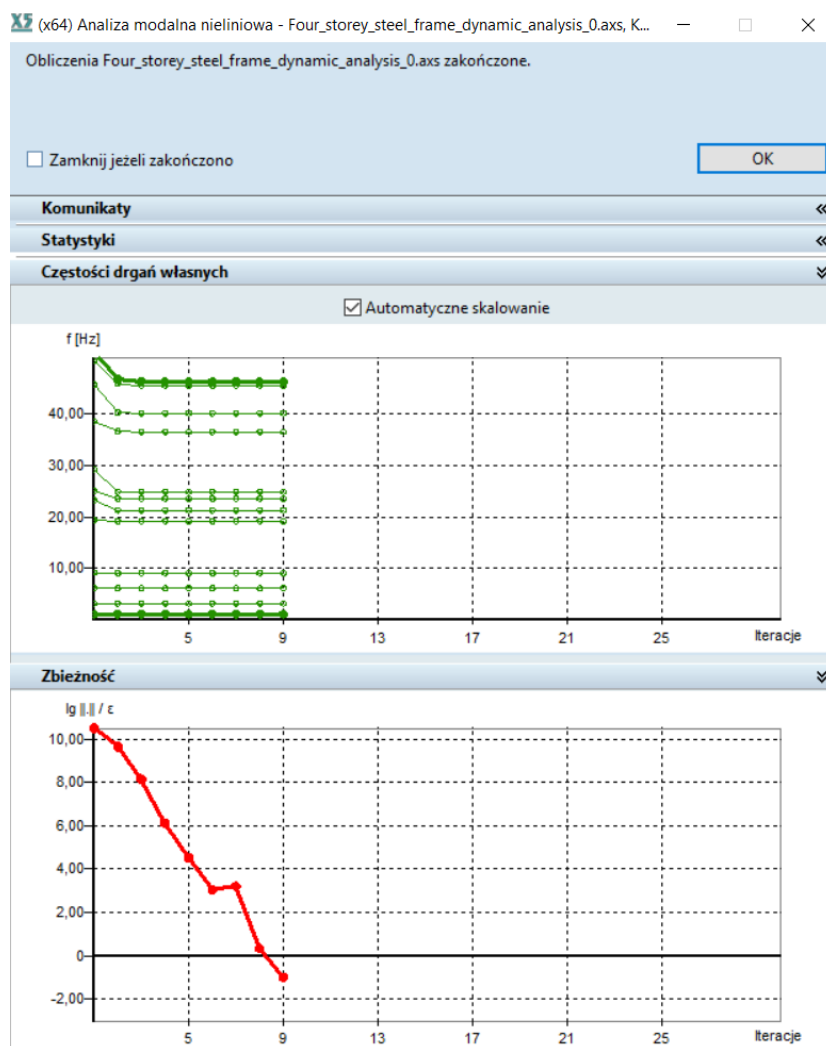
☒ Wszystkie masy

☐ Powyżej wysokości Z

☐ Powyżej wybranej kondygnacji

OK Anuluj

W trakcie analizy użytkownik ma dostęp do informacji o postępie obliczeń i zbieżności, dla postaci której zbieżność jest najniższa. W panelu **Częstości drgań własnych** wyświetlana jest zbieżność rozwiązań poszczególnych postaci krok po kroku.



Po zakończonych obliczeniach zamknij okno klikając **OK**.

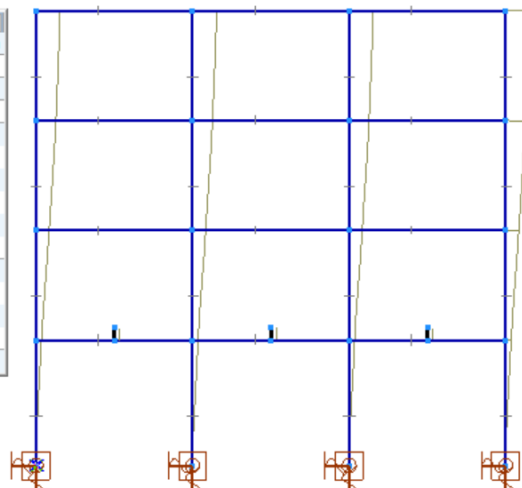
Przyjrzyjmy się poszczególnym postaciom własnym dla każdego z przypadków obciążenia (**Komb #1** i **Komb #2**). Otrzymane postacie dla kierunku **x** dla obu analiz są niemal identyczne. Postacie główne uwzględniające przemieszczenia pionowe występują dla wyższych postaci (5 – 30).

Podstawowe dane wyświetlanej postaci są zebrane w **Panelu informacyjnym**.

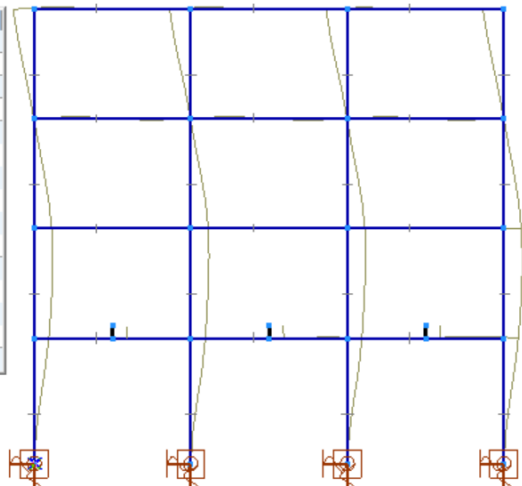
W oparciu o przeprowadzone obliczenia, w naszym modelu tylko pierwsze pięć postaci będzie decydujące.

1-sza postać (kombinacja Komb #1):

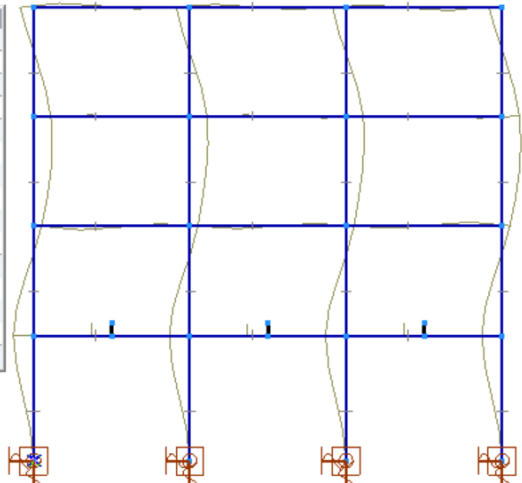
Analiza modalna nieliniowa	
Norma	<input checked="" type="checkbox"/> Eurokod
Przypadek	: Komb #1
Postać	: 1 / 12
f	: 1,12 Hz
T	: 0,894 s
ω	: 7,03 rad/s
War. własna	: 49,39
Błąd	: 3,41E-12
Iteracje	: 9
Współczynniki udziału	
ϵ_X	: 0,799
Status	: Aktywny
$\sum_i \epsilon_X$: 0,998
Skład.	: eX

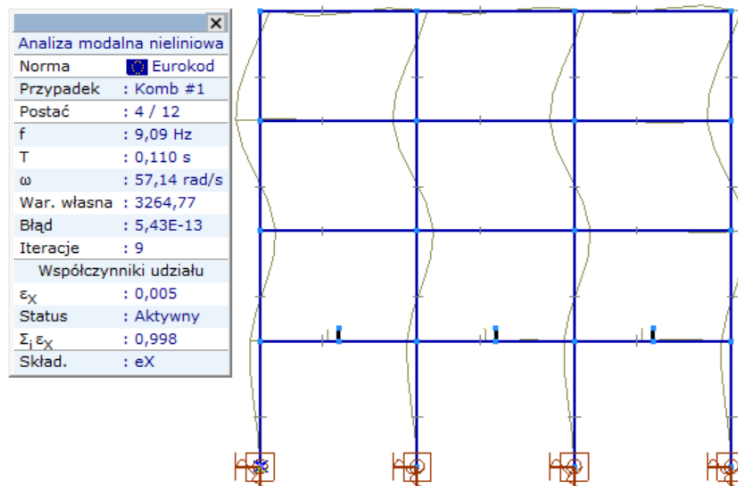
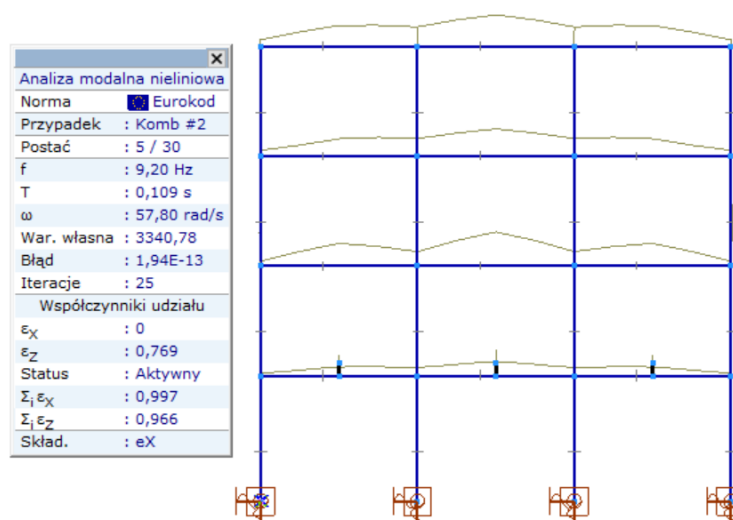
**2-ga postać (kombinacja Komb #1):**

Analiza modalna nieliniowa	
Norma	<input checked="" type="checkbox"/> Eurokod
Przypadek	: Komb #1
Postać	: 2 / 12
f	: 3,19 Hz
T	: 0,313 s
ω	: 20,06 rad/s
War. własna	: 402,23
Błąd	: 5,28E-13
Iteracje	: 9
Współczynniki udziału	
ϵ_X	: 0,147
Status	: Aktywny
$\sum_i \epsilon_X$: 0,998
Skład.	: eX

**3-cia postać (kombinacja Komb #1):**

Analiza modalna nieliniowa	
Norma	<input checked="" type="checkbox"/> Eurokod
Przypadek	: Komb #1
Postać	: 3 / 12
f	: 6,12 Hz
T	: 0,163 s
ω	: 38,47 rad/s
War. własna	: 1479,59
Błąd	: 1,84E-13
Iteracje	: 9
Współczynniki udziału	
ϵ_X	: 0,047
Status	: Aktywny
$\sum_i \epsilon_X$: 0,998
Skład.	: eX



4-ta postać (kombinacja **Komb #1**):5-ta postać (kombinacja **Komb #2**):

Przeglądarka tabel



Otwórz **Przeglądarkę tabel**, aby zobaczyć podsumowanie wyników analizy drgań własnych oraz wartości Modalnych współczynników udziału:

Na podstawie parametrów ustawionych dla kombinacji **Komb #1**:

Przeglądarka tabel

Plik Edycja Format Raport Pgmoc

Relacje grup dla kombinacji decydujących (1)

- Kombinacje obc. zdefiniowane przez użytkownika
- Funkcje
- Zestawienie materiałów
- Wyniki
 - Drgania własne (II-go rzędu)
 - Masy węzłowe
 - Komb #2
 - Komb #1
 - Częstości drgań własnych (12)
 - Masy węzłowe
 - Modalne współczynniki udziału (12)
 - Masy aktywowane (12)
 - Postać 1 (1,12 Hz)
 - Postać 2 (3,19 Hz)
 - Postać 3 (6,12 Hz)
 - Postać 4 (9,09 Hz)
 - Postać 5 (19,19 Hz)
 - Postać 6 (21,29 Hz)
 - Postać 7 (23,57 Hz)
 - Postać 8 (24,90 Hz)
 - Postać 9 (36,53 Hz)
 - Postać 10 (40,16 Hz)
 - Postać 11 (45,52 Hz)

Modalne współczynniki udziału (II.) [Komb #1]

	T [s]	Błąd	ϵ_X	ϵ_Y	ϵ_Z	$\Sigma_i \epsilon_X$	$\Sigma_i \epsilon_Y$	$\Sigma_i \epsilon_Z$	Aktywny
1	0,894	3,41E-12	0,799	0	0	0,799	0	0	✓
2	0,313	5,28E-13	0,147	0	0	0,946	0	0	✓
3	0,163	1,84E-13	0,047	0	0	0,993	0	0	✓
4	0,110	5,43E-13	0,005	0	0	0,998	0	0	✓
5	0,052	2,83E-11	0	0	0	0,998	0	0	✓
6	0,047	5,86E-11	0	0	0	0,998	0	0	✓
7	0,042	3,34E-10	0	0	0	0,998	0	0	✓
8	0,040	4,91E-10	0	0	0	0,998	0	0	✓
9	0,027	7,70E-8	0	0	0	0,998	0	0	✓
10	0,025	4,58E-7	0	0	0	0,998	0	0	✓
11	0,022	3,38E-6	0	0	0	0,998	0	0	✓
12	0,022	2,68E-6	0	0	0	0,998	0	0	✓
12/12			0,998	0	0				

OK Anuluj

Na podstawie parametrów ustawionych dla kombinacji **Komb #2**:

Przeglądarka tabel

Plik Edycja Format Raport Pgmoc

Komb #2

Częstości drgań własnych (30)

Masy węzłowe

Modalne współczynniki udziału (30)

Masy aktywowane (30)

Postać 1 (1,12 Hz)

Postać 2 (3,19 Hz)

Postać 3 (6,10 Hz)

Postać 4 (9,06 Hz)

Postać 5 (9,20 Hz)

Postać 6 (9,85 Hz)

Postać 7 (10,22 Hz)

Postać 8 (11,73 Hz)

Postać 9 (12,00 Hz)

Postać 10 (12,28 Hz)

Postać 11 (13,08 Hz)

Postać 12 (13,31 Hz)

Postać 13 (13,41 Hz)

Postać 14 (14,12 Hz)

Postać 15 (14,73 Hz)

Postać 16 (14,95 Hz)

Postać 17 (15,88 Hz)

Postać 18 (17,83 Hz)

Postać 19 (19,27 Hz)

Modalne współczynniki udziału (II) [Komb #2]

	T [s]	Błąd	ε_K	ε_Y	ε_Z	$I_1 \varepsilon_K$	$I_1 \varepsilon_Y$	$I_1 \varepsilon_Z$	Aktywny
15	0,068	7,61E-13	0	0	0	0,997	0	0,845	✓
16	0,067	4,81E-13	0	0	0,052	0,997	0	0,897	✓
17	0,063	8,74E-13	0	0	0	0,997	0	0,897	✓
18	0,056	1,35E-13	0	0	0,022	0,997	0	0,919	✓
19	0,052	7,97E-12	0	0	0	0,997	0	0,920	✓
20	0,047	3,57E-12	0	0	0	0,997	0	0,920	✓
21	0,046	2,05E-12	0	0	0	0,997	0	0,920	✓
22	0,043	1,08E-10	0	0	0,005	0,997	0	0,924	✓
23	0,041	3,46E-11	0	0	0,018	0,997	0	0,943	✓
24	0,039	1,04E-11	0	0	0,023	0,997	0	0,966	✓
25	0,034	1,29E-9	0	0	0	0,997	0	0,966	✓
26	0,033	2,74E-9	0	0	0	0,997	0	0,966	✓
27	0,032	8,28E-9	0	0	0	0,997	0	0,966	✓
28	0,029	4,34E-6	0	0	0,001	0,997	0	0,966	✓
29	0,028	1,67E-6	0	0	0	0,997	0	0,966	✓
30	0,028	7,94E-6	0	0	0	0,997	0	0,966	✓
30/30			0,997	0	0,966				

OK Anuluj

Na liście po lewej stronie wybierz opcję **Częstości drgań własnych**, aby wyświetlić tabelę podsumowującą częstości, okres, częstość kołową, wartość własną i błąd rozwiązania dla każdej postaci własnej.

W ten sposób wyświetl wyniki dla **Komb #1**:

Przeglądarka tabel

Plik Edycja Format Raport Pgmoc

Wyniki

Zestawienie materiałów

Drgania własne (II-go rzędu)

Masy węzłowe

Masy aktywowane (12)

Modalne współczynniki udziału (12)

Postać 1 (1,12 Hz)

Postać 2 (3,19 Hz)

Postać 3 (6,12 Hz)

Postać 4 (9,09 Hz)

Postać 5 (19,19 Hz)

Postać 6 (21,29 Hz)

Postać 7 (23,57 Hz)

Postać 8 (24,90 Hz)

Postać 9 (36,53 Hz)

Postać 10 (40,16 Hz)

Postać 11 (45,52 Hz)

Postać 12 (46,27 Hz)

Wszystkie postacie własne (12)

Komb #1

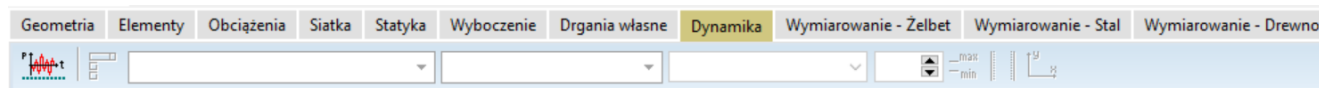
Częstości drgań własnych (II) [Komb #1]

	f [Hz]	T [s]	ω [rad/s]	War. własna	Błąd
1	1,12	0,894	7,03	49,39	3,41E-12
2	3,19	0,313	20,06	402,23	5,28E-13
3	6,12	0,163	38,47	1479,59	1,84E-13
4	9,09	0,110	57,14	3264,77	5,43E-13
5	19,19	0,052	120,59	14541,83	2,83E-11
6	21,29	0,047	133,79	17899,42	5,86E-11
7	23,57	0,042	148,12	21940,76	3,34E-10
8	24,90	0,040	156,48	24486,54	4,91E-10
9	36,53	0,027	229,49	52667,25	7,70E-8
10	40,16	0,025	252,30	63657,65	4,58E-7
11	45,52	0,022	285,99	81788,66	3,38E-6
12	46,27	0,022	290,75	84535,94	2,68E-6

OK Anuluj

W analizie historii czasu, współczynniki tłumienia Rayleigha muszą być ustawione w oparciu o główne, dominujące częstości. Stałe zostaną dostosowane z uwzględnieniem zakresu częstotliwości, w tym przypadku wartości graniczne są następujące:

- w pierwszej analizie (**Komb #1**) otrzymano częstości w granicach od **1.12Hz** do **9.09Hz**;
- w drugiej analizie (**Komb #2**) otrzymano częstości w granicach od **1.12Hz** do **9.20Hz**.



Analiza dynamiczna



Po przeprowadzonej analizie drgań własnych przejdź na zakładkę **Dynamika**. Kliknij na ikonę Analiza dynamiczna i przeprowadź niezbędne obliczenia dla czterech przypadków obciążenia dynamicznego uwzględniając poniższe:

Przypadki obciążenia:

Jednocześnie z efektem dynamicznym uwzględnij obciążenie statyczne ramy. W polu **Przypadek lub kombinacja statyczna** domyślnie uwzględniany jest przypadek obciążenia statycznego (**ciężar własny**). Zmień to zastępując przypadek obciążenia **ciężar własny** kombinacją obciążeń **Komb #1**. Dla każdego z czterech przypadków obciążenia dynamicznego (4 niezależnie przeprowadzone analizy dynamiczne). (Kombinacja obciążeń **Komb #2** zawiera te same obciążenia co **Komb #1** i była potrzebna tylko do przeprowadzenia analizy drgań własnych. Nie będzie zatem wykorzystana w analizie dynamicznej).

Uwaga: jeżeli żadne obciążenie statyczne nie zostanie wybrane wtedy w analizie dynamicznej tylko masa konstrukcji lub masy skupione mogą być przekształcone na obciążenia.

W ramach tej opcji należy wybrać konkretny przypadek obciążenia dynamicznego.

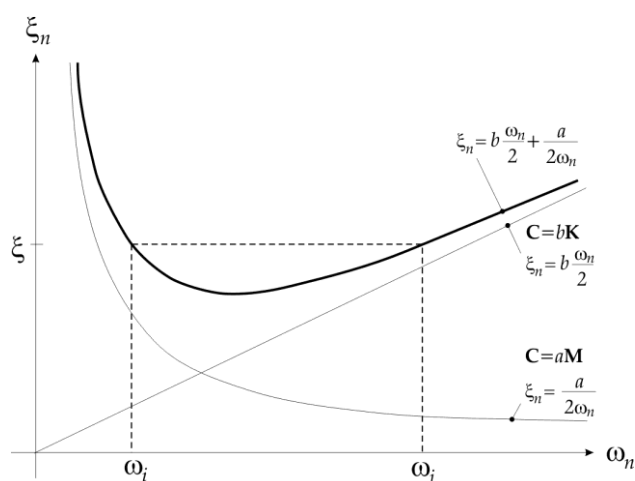
Kontrola rozwiązania:

Przy ustaleniu przyrostu czasu należy wziąć pod uwagę właściwości dynamiczne wzbudzenia i odpowiedź konstrukcji. Należy go ustawić w zależności od najwyższej częstotliwości wzbudzenia. **Należy pamiętać, że zwiększenie przyrostu czasu wpływa na jakość i dokładność wyników, błąd obliczeniowy może się zwiększyć.** Przyrost czasu może się różnić od kroku czasowego określonego w funkcji obciążenia, oprogramowanie wykorzystuje interpolację liniową do określenia wartości pośrednich.

Aby sprawdzić odpowiedź konstrukcji, wskaż węzeł, w którym oczekuje się (największego) przemieszczenia ze względu na zadane wzbudzenie. W trakcie analizy dynamicznej jego przemieszczenia, przyspieszenia i prędkości mogą być śledzone. W tym celu ustaw węzeł nr 17 **węzeł pomocniczym** (dla kierunku **x**). Zakłada się, że kierunek **x** będzie głównym kierunkiem odpowiedzi dynamicznej konstrukcji.

Liniowe i nieliniowe równania równowagi są rozwiązywane metodą Newmarka-beta. Macierze sztywności **C** są obliczane ze stałych tłumienia Rayleigha: $C = aM + bK$, gdzie **M** są macierzami mas a **K** są macierzami sztywności. Stałe **a** i **b** powinny być wyznaczone w oparciu o tłumiony zakres częstotliwości (między **f_i** a **f_j**) i współczynnika tłumienia.

Funkcja tłumienia jest wyjaśniona na poniższym rysunku. Aby wyznaczyć niezbędne stałe należy użyć następujących wzorów.



$$a = \xi \frac{2\omega_i \cdot \omega_j}{\omega_i + \omega_j}$$

$$b = \xi \frac{2}{\omega_i + \omega_j}$$

gdzie ξ jest współczynnikiem tłumienia, ω_i i ω_j są częstotliwościami kątowymi związanymi z f_i i f_j

$$\omega_i = 2\pi \cdot f_i$$

$$\omega_j = 2\pi \cdot f_j.$$

Szczegółowe instrukcje znajdują się w rozdziale **5.3 Podręcznika użytkownika**.

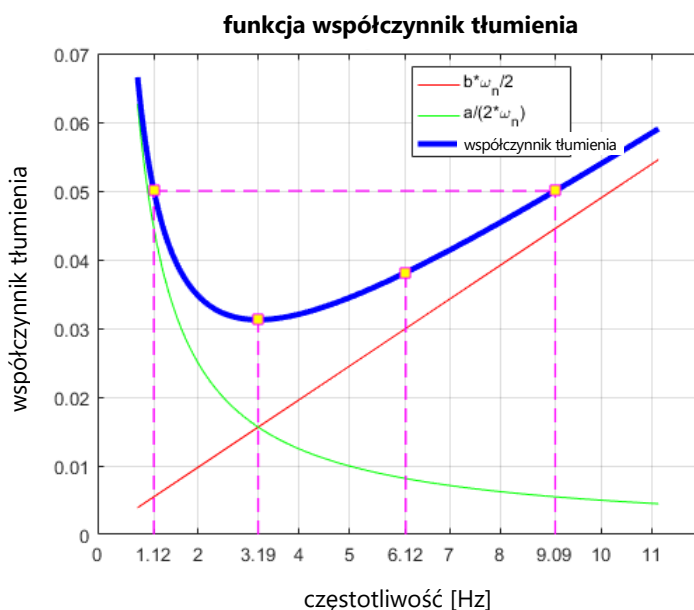
Dostosowanie tych parametrów silnie zależy od odpowiednich częstotliwości modelu, rodzaju i częstotliwości wzbudzenia oraz reakcji konstrukcji. Ze względu na charakter krzywej złożonej dla częstotliwości wyższych niż f_j lub mniejszych niż f_i można oczekiwać znacznie wyższego tłumienia. Dlatego jego przypisanie ma kluczowe znaczenie w obliczeniach i wymaga doświadczenia w dziedzinie dynamiki konstrukcji.

Bez dalszej analizy zastosuj w analizie kolejne stałe Rayleigha:

W przypadku obciążenia sejsmicznego, fali sinusoidalnej i obciążenia uderowego, ustaw częstotliwości f_i i f_j jako odnoszące się do pierwszej i czwartej częstotliwości drgań własnych konstrukcji. Przyjmij następujące wartości: $f_i = 1,12 \text{ Hz}$ i $f_j = 9,12 \text{ Hz}$. Współczynnik tłumienia powinien wynosić **5%** ($\alpha = 0,05$). Po uwzględnieniu powyższych wzorów otrzymasz następujące stałe: **$a = 0,6265 \text{ [1/s]}$** i **$b = 0,0016 \text{ s}$** .

Dla przypadku drgań wzbudzonych przez maszynę ustaw częstotliwości f_i i f_j jako odnoszące się do pierwszej i piątej częstotliwości drgań własnych konstrukcji. Przyjmij następujące wartości $f_i = 1,12 \text{ Hz}$ i $f_j = 9,20 \text{ Hz}$. Współczynnik tłumienia przyjmij taki sam jak wcześniej - **5%** ($\alpha = 0,05$). Po uwzględnieniu powyższych wzorów otrzymasz następujące stałe **$a = 0,6273 \text{ [1/s]}$** i **$b = 0,0015 \text{ s}$** .

Wyjaśnienie wpływu funkcji współczynnika tłumienia na pierwszą postać drgań własnych przedstawiono graficznie na poniższym rysunku:



Na rysunku współczynniki tłumienia są zaznaczone dla pierwszych czterech częstotliwości. Dla **1** i **4** postaci częstotliwości są równe podanym współczynnikom tłumienia, lecz dla postaci **2** i **3** spodziewane są wartości niższe (**3-4%**).

Aby **uwzględnić obciążenia statyczne i masy węzłowe** w tłumieniu funkcja ta musi być włączona.

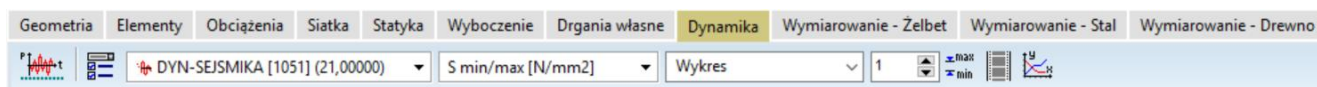
Zapisywanie wyników można kontrolować: użytkownik może zapisać wszystkie wyniki po każdym kroku (**Zapisz wszystkie kroki**), lub w regularnych odstępach (**Zapisz w regularnych odstępach**).

We wstępnych testach dużego lub nieliniowego modelu można zadać większy interwał, aby zaoszczędzić czas potrzebny na obliczenia. Jeśli model znajduje się w końcowym etapie, można go ulepszyć.

Uwaga: interwał zapisu nie wpływa na wielkość błędu numerycznego. Zwiększenie interwału skutkuje mniejszym „wglądem” w otrzymane wyniki innymi słowy tylko niektóre punkty funkcji będą dostępne.

Po wprowadzeniu wymaganych ustawień, obliczenia mogą być uruchomione przyciskiem **OK**. W trakcie analizy oprogramowanie za pomocą wykresów podaje informacje o aktualnym kroku analizy, wynikach śledzonego węzła (**aX**, **vX** i **eX**) a także zbieżności zadania.

W celu pokazania alternatywnych metod oceny wyników poniżej przedstawiono kilka przykładów.



Wyniki

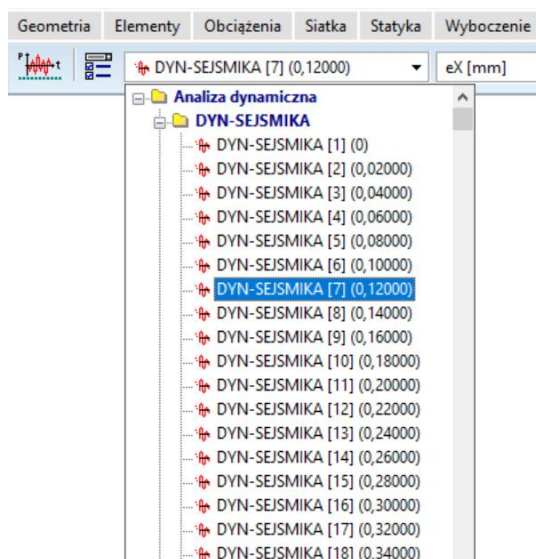
Podczas analizy wyniki są obliczane z uwzględnieniem ustawionego przedziału czasowego, ale wyniki, które będą wyświetlane zależą od interwału zapisywania (patrz ustawienia analizy). Wyniki dla każdego kroku czasowego są zapisywane w oddzielnych przypadkach. Przykładowo **DYN-SEJSMIKA [358] (7.14)** zawiera wyniki **358** kroku (**7.14 s**) w przypadku obciążenia **DYN-SEJSMIKA**.

Wyniki analizy takie jak siły wewnętrzne modelu można przeglądać korzystając z podstawowych funkcji, które w tym przykładzie nie będą przedstawione.

W testach dynamicznych składniki wynikowe są uzupełniane danymi prędkości i przyspieszenia węzłów.

Konkretny krok czasowy można wybrać z listy rozwijanej, klikając jeden z nich lub używając strzałek klawiatury. W tym ostatnim przypadku wyświetlane wyniki są odświeżane w tle.

Uwaga: każdy krok czasowy analizy dynamicznej zawiera wyniki uwzględniające obciążenie statyczne (w naszym przypadku jest to **Komb #1**) i obciążenie dynamiczne.



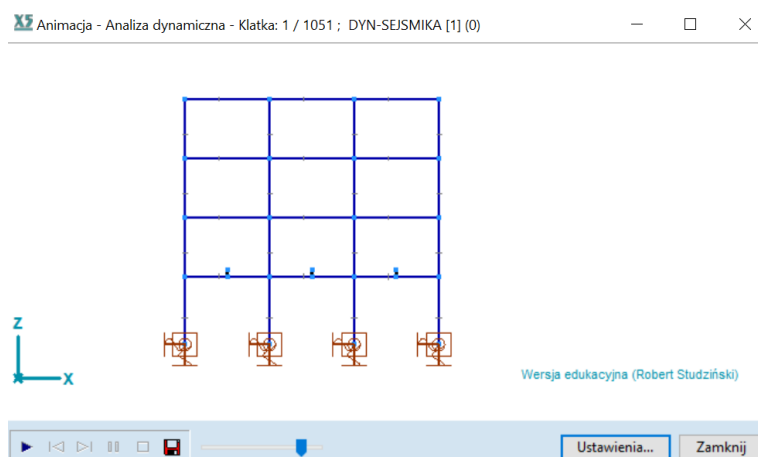
W tym przykładzie nie opisano podstawowych metod wyświetlania i przeglądania wyników. Przedstawiono tylko kilka typowych funkcji, które można skutecznie wykorzystać w analizie dynamicznej.

Animacja

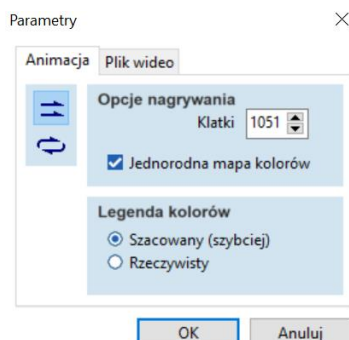


Można stworzyć animację dla spektakularnej prezentacji wyników analizy dynamicznej.

Wybierz przypadek obciążenia **DYN-SEJSMIKA** a następnie wyświetl składową przemieszczenia **ex**. Ustaw skalę wykresów na **4**, a następnie wyśrodkuj i dopasuj widok do ekranu głównego. Kliknij na ikonę **Animacja**.



Parametry wideo można ustawić, klikając przycisk **Ustawienia** w prawym dolnym rogu okna dialogowego (np. rodzaj odtwarzania: **odtwarzanie jednokierunkowe**, **odtwarzanie w obu kierunkach**, liczba **Klatek**, **Czas trwania klatki** itp.):



Aby zmaksymalizować rozdzielczość animacji, zmaksymalizuj rozmiar okna **Animacji**. Generowanie faz można rozpocząć, klikając ikonę **Odtwórz** w lewym dolnym rogu. Jeśli klatki wideo zostały zakończone, animację można zapisać w formacie **AVI** wideo lub w formacie animowanego pliku **GIF** (film przedstawiający wyniki przypadku obciążenia **DYN-SEJSMIKA** jest dostępny w pakiecie z przykładem). Prędkość animacji może być dostosowana za pomocą suwaka znajdującego się z prawej strony ikony zapisu **Plik wideo**.

Jeśli wyświetlanie wyników jest włączone, wyniki te będą wyświetlane w animacji.

Wyświetlanie wykresu



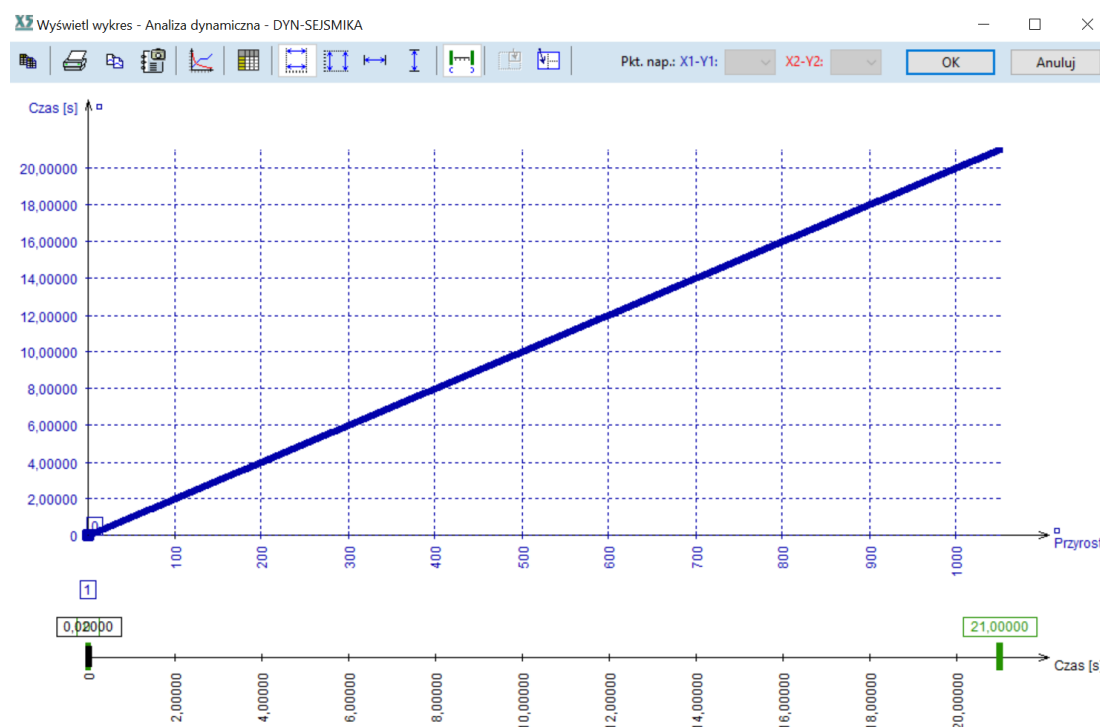
Tworzenie diagramów może być pomocne w ocenie wyników dynamicznych. Wyniki mogą być wyświetlane jako funkcja wielu składników (komponenty wyników, czas, przyrost, krok iteracji, itp. ...). Na wykresie mogą być prezentowane jednocześnie dwa typy wykresów.

Przjrzyjmy się niektórym przykładom korzystania z tej funkcji.

Na początku, wyświetl przyspieszenia podpór w funkcji czasu dla przypadku obciążenia typu trzęsienie ziemi. Wynik musi być zgodny z ustawioną funkcją przyspieszenia.

Z listy rozwijanej wybierz przypadek obciążenia **DYN-SEJSMIKA [1] (0)** (choć jest to pierwszy krok obciążenia w serii, cały schemat historii czasu zostanie pokazany na wykresie).

Kliknij na ikonę **Wyświetlanie wykresu**. Zostanie wyświetlone poniższe okno:



Domyślnie wykres **Przyrost-Czas [s]** jest wyświetlany.

Parametry wykresu



Ustaw żądany typ funkcji, która ma być wyświetlona. W tym celu kliknij ikonę **Parametry wykresu**. Zostanie wyświetlone poniższe okno:

Parametry wyświetlania wykresów

☒ Wykres x1-y1

☒ Pokaż oznaczenia
☐ Raster

X1 Komponent: Przyrost
Element

Y1 Komponent: Czas [s]
Element

☐ Wykres x2-y2

☒ Pokaż oznaczenia
☐ Raster

X2 Komponent: Czas [s]
Element

Y2 Komponent: Przyrost
Element

OK Anuluj

Użytkownik może zdefiniować dwa różne wykresy, które będą wyświetlane na jednym wykresie (wyświetlane wyniki na osiach **x** i **y** mogą być różne).

Na początku, wyświetl jeden wykres: przyspieszenie węzła **1** (podpora) w funkcji czasu. Na osi poziomej z listy rozwijanej **X1 Komponent** wybierz **Czas [s]**. Z listy rozwijanej **Y1 Komponent** wskaż składową **aX [m/s²]**, która przedstawia przyspieszenia po globalnym kierunku osi x. Następnie kliknij na ikonę **Węzeł** i z głównego okna wybierz węzeł **1**.

Parametry wyświetlania wykresów

☒ Wykres x1-y1

☒ Pokaż oznaczenia
☐ Raster

X1 Komponent: Czas [s]
Element

Y1 Komponent: aX [m/s²]
Węzeł >> Węzeł 1

☐ Wykres x2-y2

☒ Pokaż oznaczenia
☐ Raster

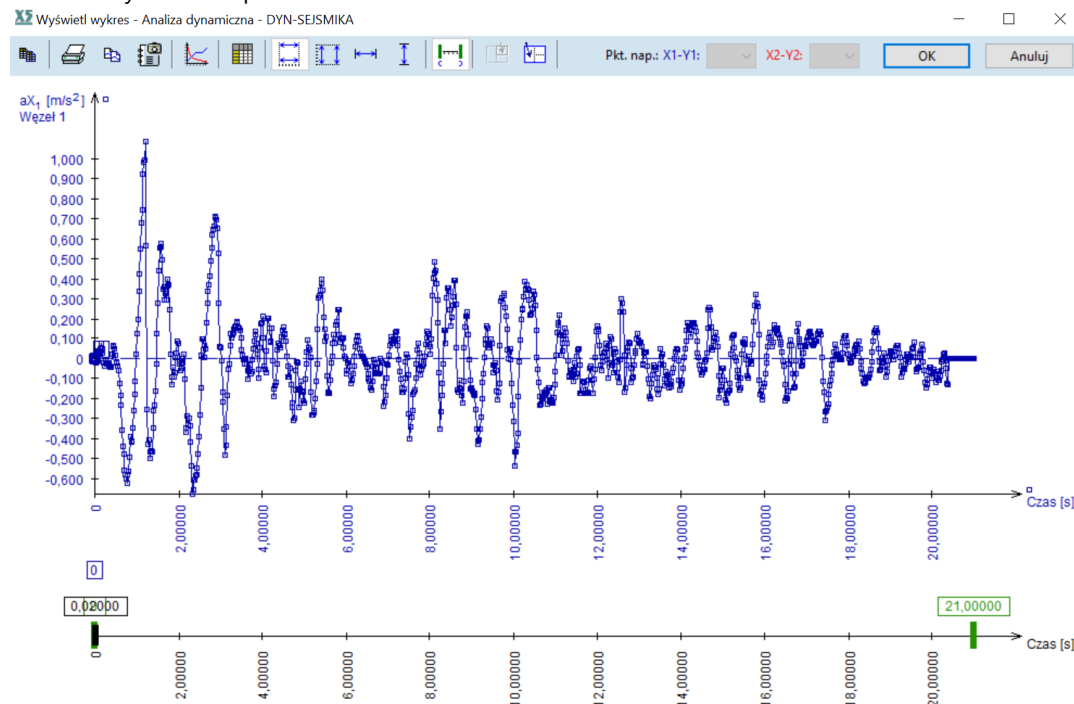
X2 Komponent: Czas [s]
Element

Y2 Komponent: Nx [kN]
Element

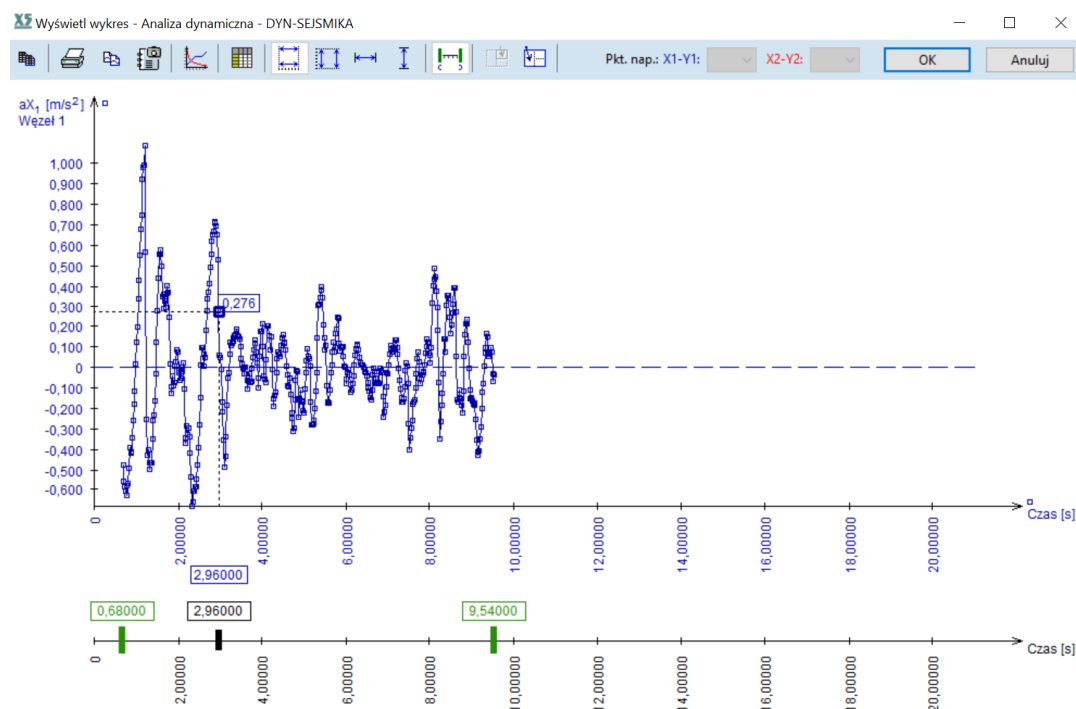
OK Anuluj

Zatwierdź ustawienia klikając **OK**.

Zostanie wyświetlone poniższe okno:



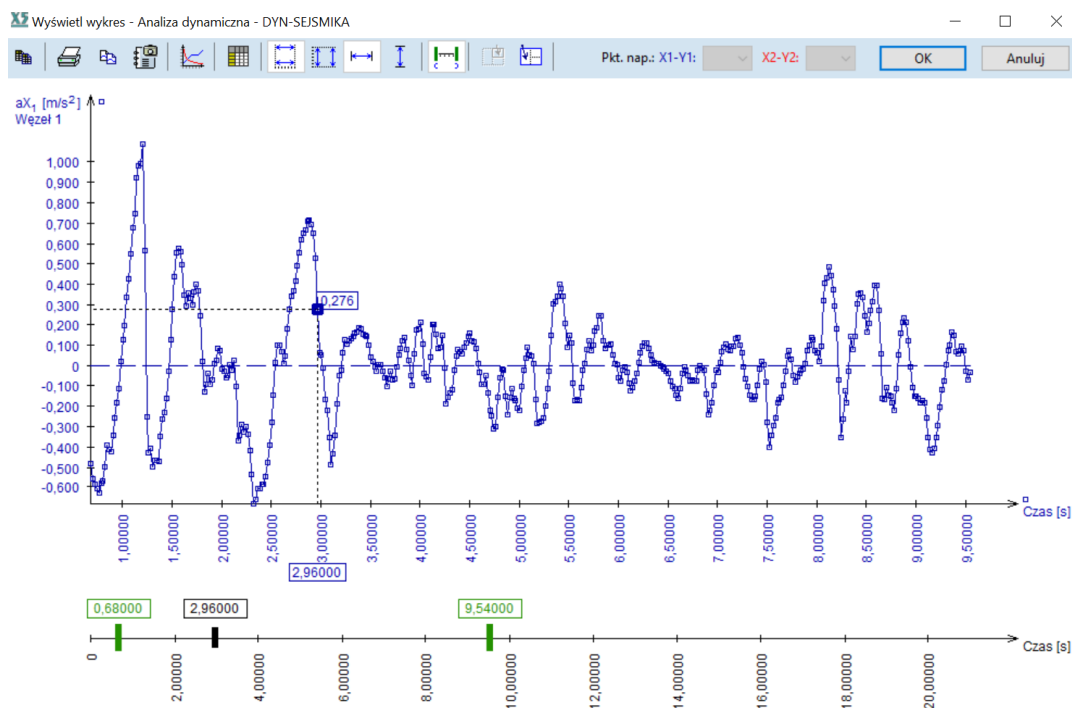
Pod wykresem znajduje się skala która reprezentuje oś **Czasu** i zawiera zielone i czarne znaczniki na końcach. Przesuwając czarny znacznik wzdłuż osi, aktualna wartość przyspieszenia (rzędna) zostanie pokazana na wykresie zgodnie z jego pozycją. Przesuwanie zielonym znacznik powoduje modyfikację zakresu wyświetlania funkcji. Efekt przesuwania znaczników przedstawiono na poniższym rysunku:



Automatycznie skaluj po kierunku X



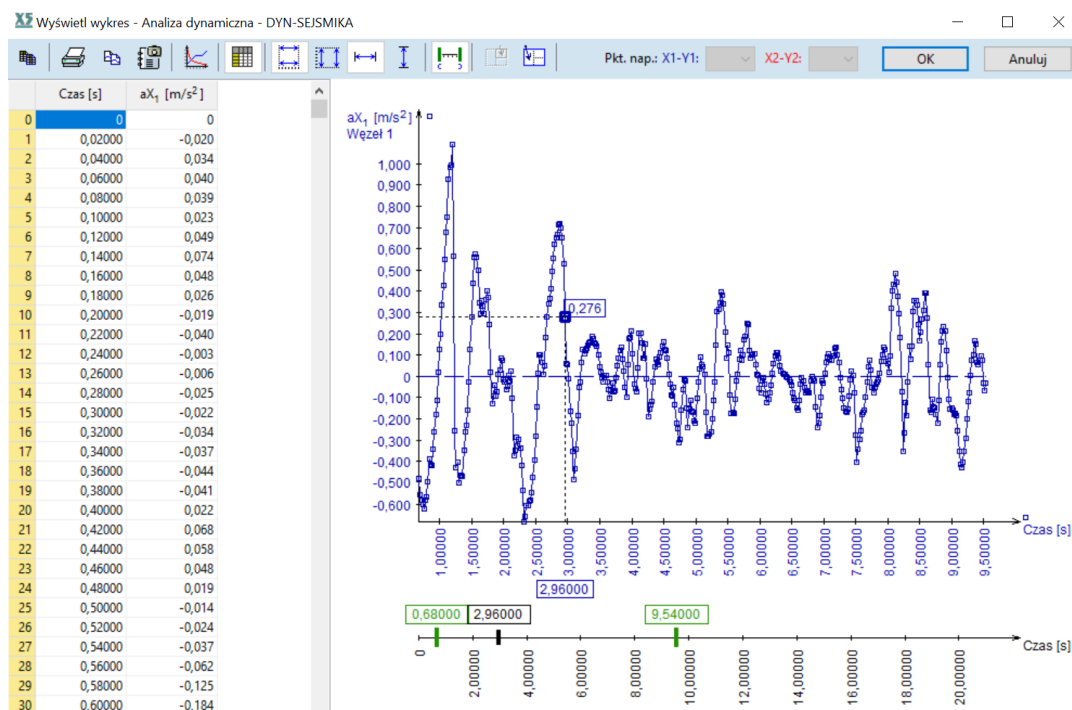
Jeśli zakres wykresu został ograniczony przez zielone znaczniki wtedy wykres może być rozciągnięty za pomocą funkcji **Automatycznie skaluj po kierunku X**.



Tabela



Wyniki obliczonych kroków czasowych można przedstawić w tabeli. Kliknij na ikonę **Tabela**. Tabela zawierająca wszystkie dane zostanie wyświetlona z lewej strony okna. W razie potrzeby komórki te można skopiować do schowka w celu dalszego ich przetwarzania (np. używając programu Excel, zapisując plik danych, itp. ...).

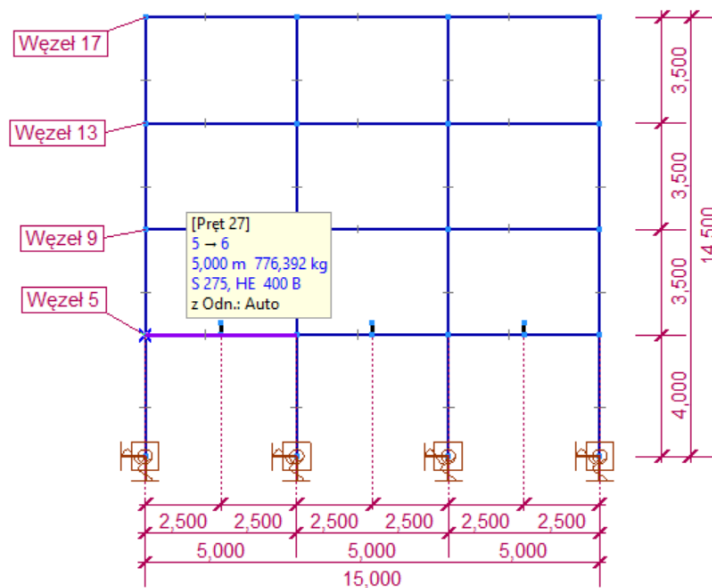


Klikając komórkę w tabeli, etykieta wyniku przeskakuje do wybranego kroku czasowego, a następnie czarny znacznik na dolnej osi zmienia kolor na szary (będzie ponownie aktywny po przesunięciu tego znacznika do określonego punktu).

Parametry wykresu



Wyświetlmy wykres momentów **My** w funkcji czasu na belce nr **27** w węźle **5**. Dla przypomnienia, wybrana belka i węzeł są zaznaczone na poniższym rysunku:

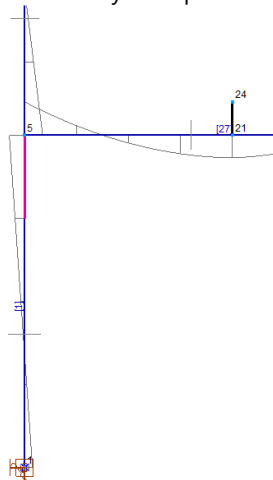


Kliknij na ikonę **Parametry wykresu**.

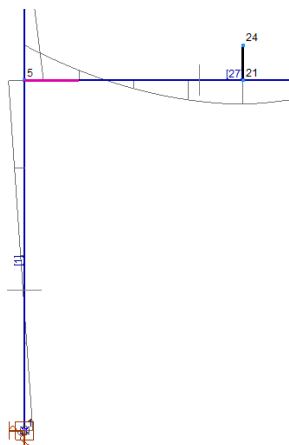
Na **wykresie x1-y1** dla komponentu **X1** z listy rozwijanej wybierz **Czas [s]** a dla komponentu **Y1** wybierz **My [kNm]**. Następnie wskaż węzeł **5** i belkę **27** postępując zgodnie z instrukcjami poniżej:

Kliknij na przycisk **Element**. Główne okno stanie się aktywne.

Za pomocą jednego kliknięcia wybierz węzeł **5**, wówczas jeden z prętów należących do wybranego węzła zostanie automatycznie podświetlony na fioletowo. Zostanie wyświetlony poniższy widok:



Oprogramowanie automatycznie wybrało pręt nr **1** (pręt jest podzielony na elementy skończone, dlatego podświetlony jest tylko fragment pręta). My jednak chcemy wskazać pręt **27**. Wciskając przycisk **Tab** na klawiaturze można przełączać się między prętami przylegającymi do wskazanego węzła. Wciskaj klawisz **Tab** do momentu przełączenia na pożądany pręt (w naszym przypadku wystarczy wcisnąć klawisz jeden raz, żeby podświetlić pręt **27**). Rezultat będzie następujący:



Ponownie kliknij na węzeł **5**, żeby zakończyć selekcję. W oknie **Parametry wyświetlania wyników** przedstawione zostanie poniżej pokazane okno:

Parametry wyświetlania wykresów ×

☒ Wykres x1-y1

☒ Pokaż oznaczenia
☒ Raster

X1 Komponent: Czas [s] ▼

Element

Y1 Komponent: My [kNm] ▼

Element >>

Węzeł 5
Pręt 27

☐ Wykres x2-y2

☒ Pokaż oznaczenia
☐ Raster

X2 Komponent: Czas [s] ▼

Element

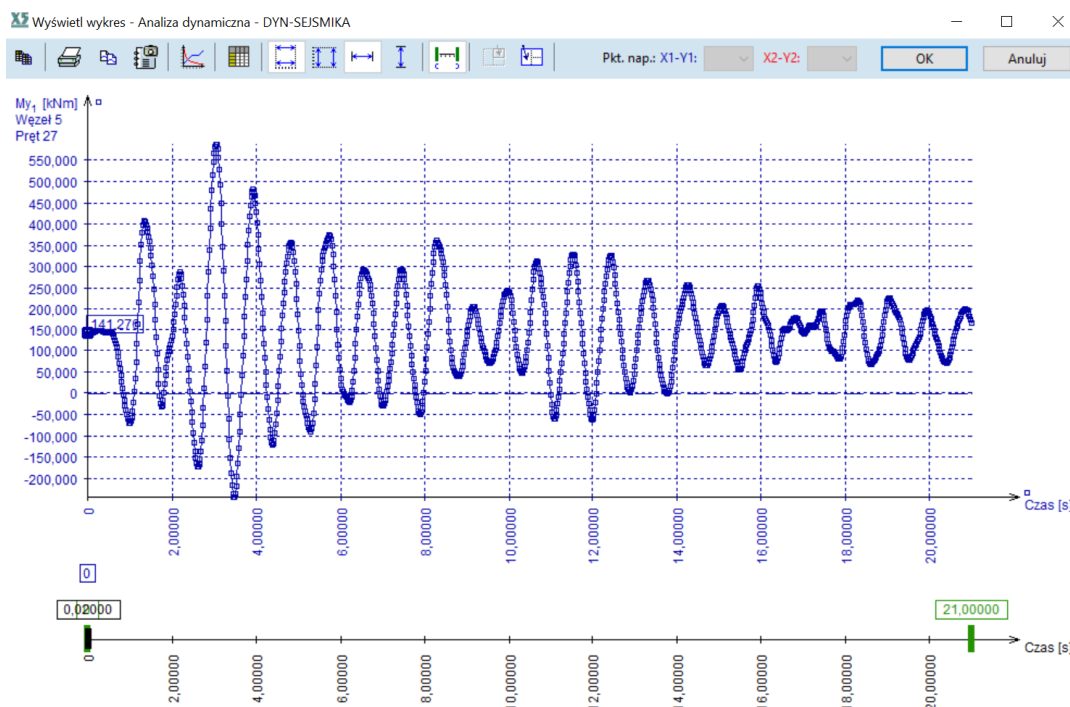
Y2 Komponent: Nx [kN] ▼

Element

OK

Anuluj

Kliknij **OK**, żeby zaakceptować zmiany. Żądany wykres zostanie wyświetlony w oknie **Wyświetl wykres**. Przesuń zielone znaczniki na końce (0-21 s) aby wyświetlić cały przebieg funkcji.



Parametry wykresu



Przedstaw przemieszczenia węzła **1** (dolny, węzeł podporowy) i węzła **17** (górny) w funkcji czasu na jednym wykresie. Pozwoli to uchwycić względne przemieszczenie pomiędzy węzłami (poziomami).

Kliknij na ikonę **Parametry wykresu**.

Dla wykresu **x1-y1** z listy rozwijalnej wybierz **Czas [s]** dla komponentu **X1**, dla komponentu **Y1** wybierz składową przemieszczenia **eX [mm]** i wskaż węzeł **1**.

Aktywuj wykres **x2-y2**. Dla komponentu **X2** zostaw domyślny wybór **Czas [s]** a dla komponentu **Y2** wybierz składową przemieszczenia **eX [mm]** i wskaż węzeł **17**.

W rezultacie tych działań w oknie **Parametry wyświetlania wykresów** powinieneś otrzymać następujące ustawienia:

Parametry wyświetlania wykresów

☒ Wykres x1-y1

☒ Pokaż oznaczenia

☒ Raster

X1 Komponent: Czas [s]

Element

Y1 Komponent: eX [mm]

Węzeł >> Węzeł 1

☒ Wykres x2-y2

☒ Pokaż oznaczenia

☐ Raster

X2 Komponent: Czas [s]

Element

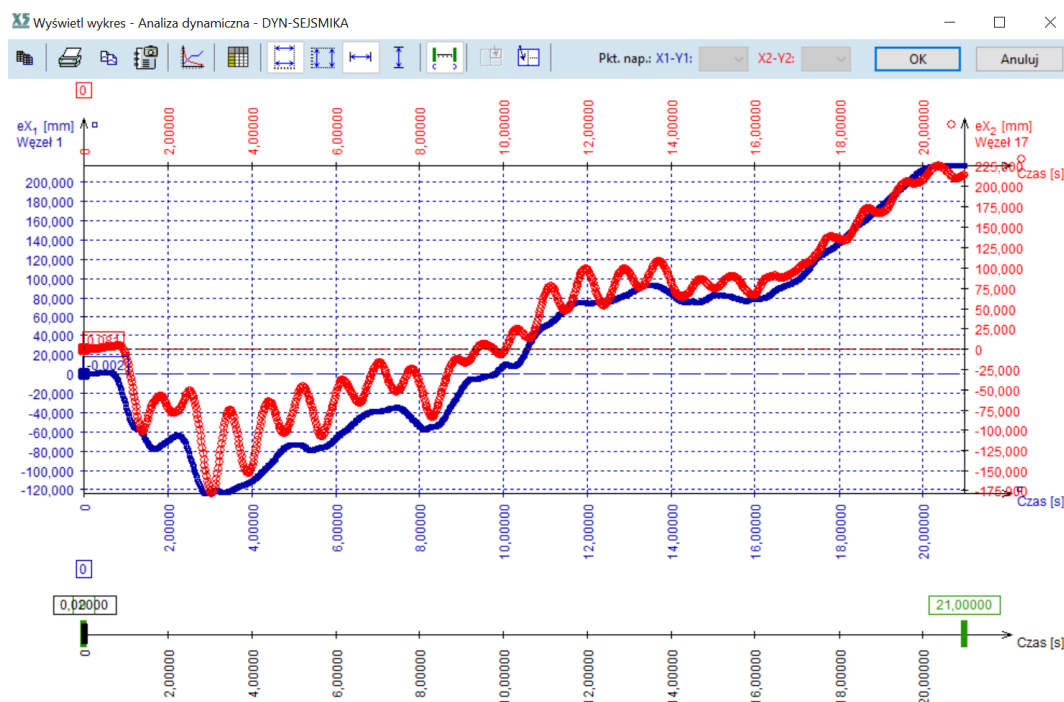
Y2 Komponent: eX [mm]

Węzeł >> Węzeł 17

OK Anuluj

Kliknij **OK**, żeby zamknąć okno i zatwierdzić ustawienia.

W oknie **Wyświetl wykres** wyłącz wyświetlanie **Tabeli**. W razie potrzeby przeciągnij zielone znaczniki do pozycji końcowych (jeśli widoczny jest tylko ograniczony zakres diagramu) aby zobaczyć cały wykres:

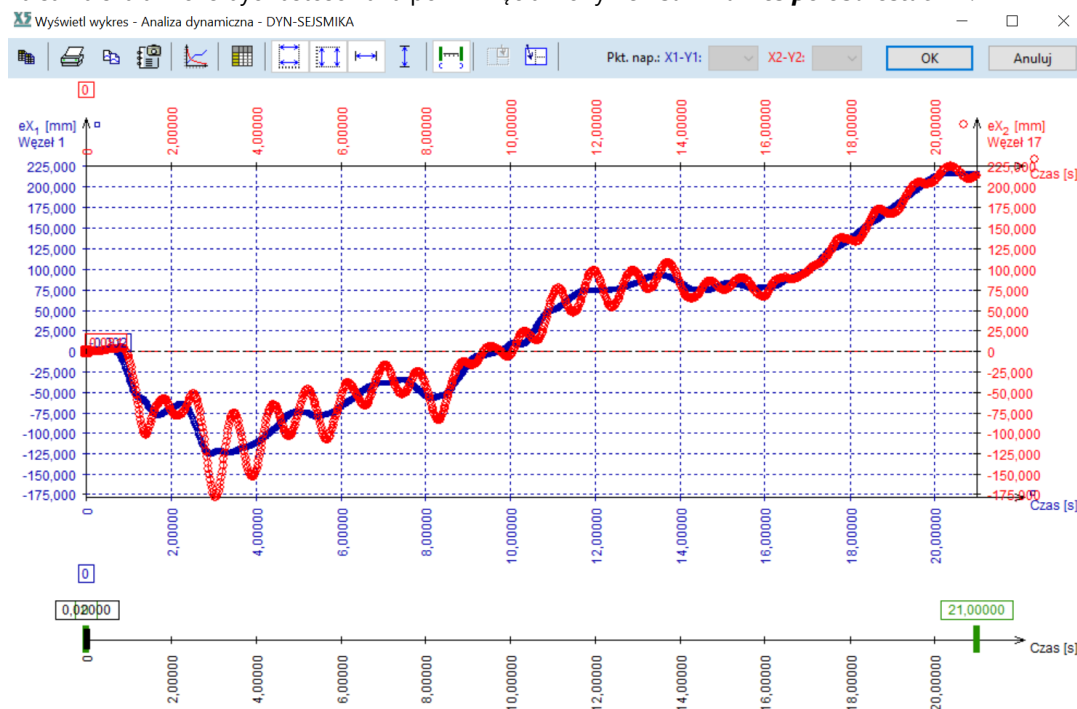


Niebieska linia przedstawia przemieszczenia węzła 1, a czerwona węzła 17. Kolory krzywych i ich etykiety zawierają informacje o rodzaju krzywej.

Ten sam zakres po obu osiach Y



Na rysunku widać, że program użył różnych skal na osi pionowej (patrz niebieska i czerwona pionowa oś). Ta sama skala może być zastosowana po kliknięciu ikony **Ten sam zakres po obu osiach Y**.



Na dolnej osi przesunąć czarny znacznik w pożądaną pozycję, aby pokazać wartości przemieszczeń w węzłach. Względne przemieszczenie można obliczyć, biorąc różnicę między wynikami.

Jeżeli funkcja **Tabeli** jest otwarta wówczas wszystkie dane wykresów można łatwo odczytać i porównać. Jeżeli to konieczne dane można kopiować i analizować w dowolnym innym programie do obsługi arkuszy kalkulacyjnych (np. **Excel**).

Aby uzyskać więcej informacji na temat korzystania ze specjalnych funkcji bieżącego okna, skorzystaj z **Podręcznika użytkownika**. Zamknij okno **Wyświetl wykres** klikając przycisk **OK**.

Wyświetlanie wykresu



Parametry wykresu



Następnie śledź ruch jednego z wzbudzonych węzłów dla przypadku obciążenia **DYN-MASZYNA**. W głównym oknie zmień przypadek obciążenia na **DYN-MASZYNA [1] (0)**.

Kliknij na ikonę **Wyświetlanie wykresu**. Następnie kliknij na ikonę **Parametry wykresu**.

W tym przypadku wystarczy **wykres x1-y1** dlatego odznacz **wykres x2-y2** (jego parametry pozostaną nieaktywne). Po zakończeniu ustawień w oknie parametrów można zobaczyć następujące elementy:

Parametry wyświetlania wykresów

☒ Wykres x1-y1

☒ Pokaż oznaczenia
☐ Raster

X1 Komponent: eX [mm]

Węzeł >> Węzeł 24

Y1 Komponent: eZ [mm]

Węzeł >> Węzeł 24

☐ Wykres x2-y2

☒ Pokaż oznaczenia
☐ Raster

X2 Komponent: Czas [s]

Element

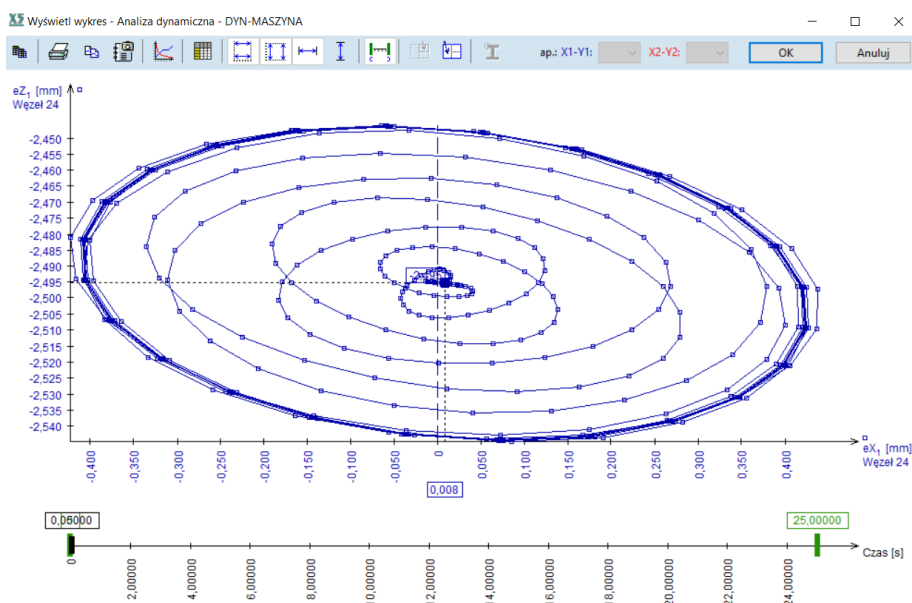
Y2 Komponent: eX [mm]

Węzeł Węzeł 17

OK

Anuluj

Kliknij **OK**, aby zobaczyć wykres z wynikami:



Z powodu wzbudzenia i ruchu konstrukcji, powstaje quasi-stały ruch podobny do elipsy. Zamknij okno **Wyświetlanie wykresu** klikając **OK**.

Parametry wykresu



Na wykresie przeanalizuj przemieszczenia węzła **17**.

Kliknij na ikonę **Parametry wykresu** i wprowadź poniżej pokazane ustawienia:

Parametry wyświetlania wykresów

☒ Wykres x1-y1

☒ Pokaż oznaczenia

☒ Raster

X1 Komponent: Czas [s]

Y1 Komponent: eZ [mm]

Węzeł >> Węzeł 17

☐ Wykres x2-y2

☒ Pokaż oznaczenia

☐ Raster

X2 Komponent: Czas [s]

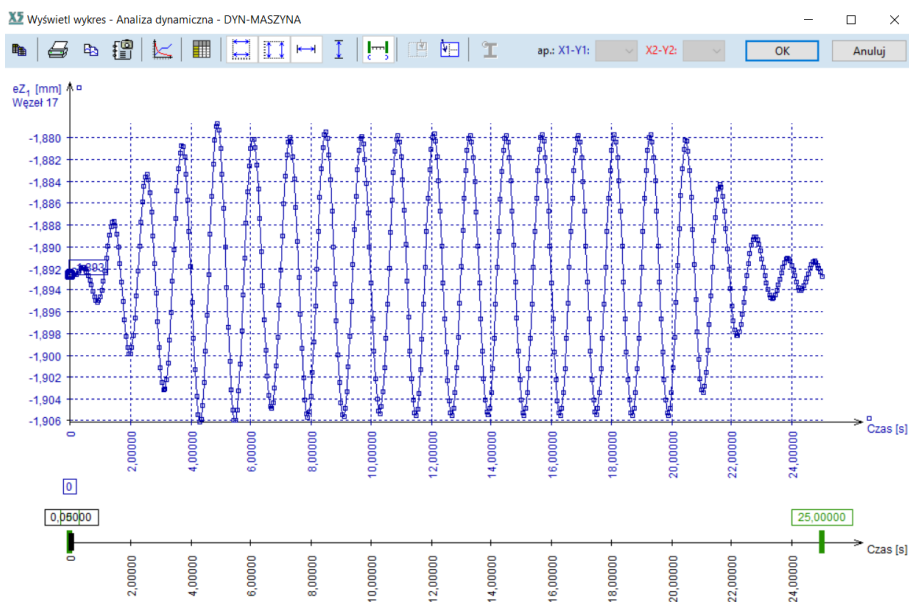
Y2 Komponent: eX [mm]

Węzeł Węzeł 17

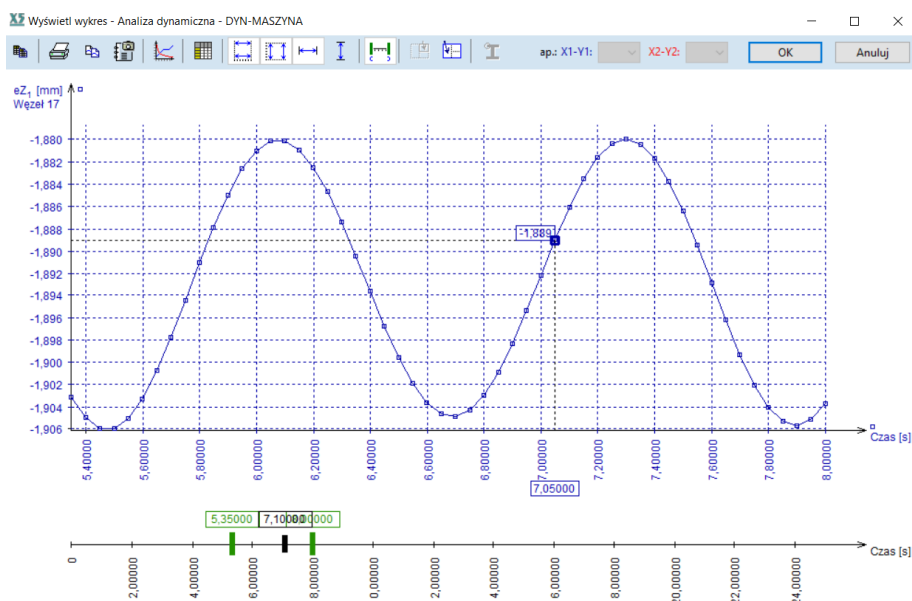
OK Anuluj

Zamknij okno klikając **OK**.

Poniższy wynik pokazuje cały zakres wykresu:



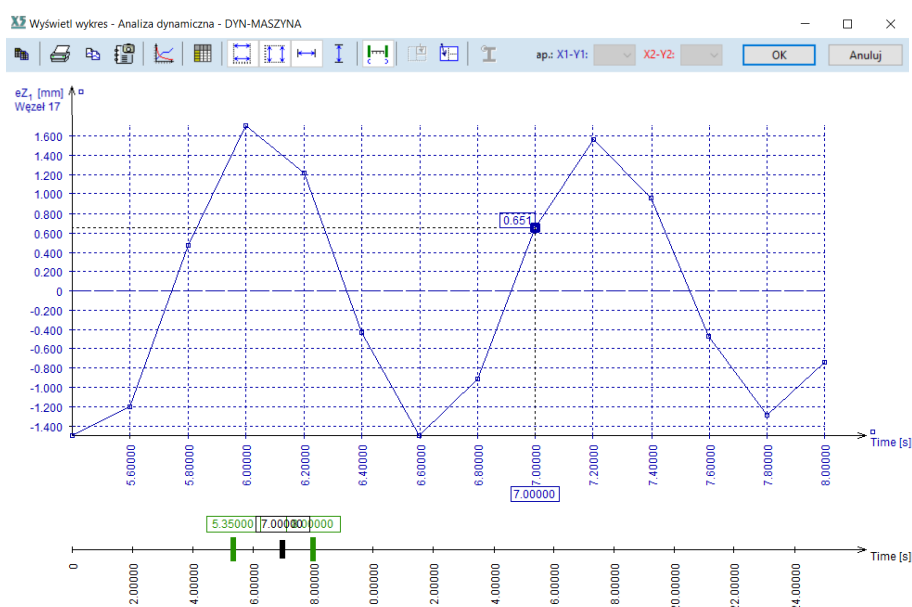
Ogranicz zakres prezentowanej krzywej, aby zobaczyć dwie fale wewnętrzne, jak pokazano poniżej. Dostosuj znaczniki do następujących limitów: **5,35 – 8,00 s**.



W tym przykładzie wzbudzenie wywołuje quasi-harmoniczny ruch. Jeśli przyrost czasu lub gęstość zapisywanych kroków jest niewystarczająca, krzywa będzie „odcinkowa” a dokładność rozwiązania nie będzie wystarczająca.

Spójrzmy wstecz. Funkcja obciążenia została zdefiniowana dla przyrostu 0,01, ale obliczenia zostały wykonane i wyniki zostały zapisane dla przyrostu 0,05 s. Słuszność zastosowanego przyrostu czasowego można sprawdzić, analizując krzywe wynikowe, tj. zliczając punkty pośrednie „fali”. (Z doświadczenia wiemy, że czysta fala harmoniczna – np. sinus / cosinus – musi składać się z przynajmniej z 10 punktów pośrednich, aby otrzymane wyniki były wiarygodne (dla bardziej złożonych/stromych krzywych/wzbudzeń, dobrą praktyką jest przetestowanie wpływu różnych przedziałów czasowych w celu znalezienia odpowiedniego ustawienia).

Poniżej znajduje się wynik celowo złego zdefiniowania zadania. Obliczenia zostały przeprowadzone dla przyrostu **0.2 s**. Występuje znaczny błąd w wartościach minimalnej i maksymalnej a ponadto kształt krzywych wyraźnie to wskazuje.



Wyświetlanie wykresu



Na koniec przeanalizujemy efekt tłumienia badanej ramy dla przypadku obciążenia **DYN-UDAR** (czas trwania obciążenia udarowego to **4 s**, lecz czas analizy dynamicznej będzie wynosił **20 s**). Wybierz przypadek **DYN-**

UDAR [1] (0) a następnie wyświetl okno **Parametry wykresu**. Wykorzystany zostanie **wykres x1-y1** (**wykres x2-y2** należy dezaktywować). Przedstaw przemieszenia poziome węzła **17** w funkcji czasu:

Parametry wyświetlania wykresów

☒ Wykres x1-y1

☒ Pokaż oznaczenia

☒ Raster

X1 Komponent: Czas [s]

Y1 Komponent: eX [mm]

Węzeł >> Węzeł 17

☐ Wykres x2-y2

☒ Pokaż oznaczenia

☐ Raster

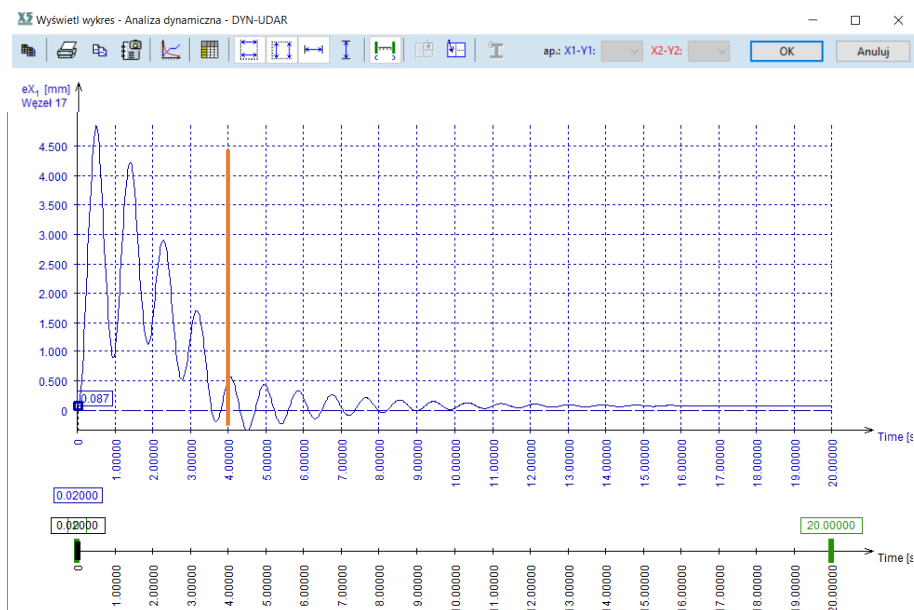
X2 Komponent: Czas [s]

Y2 Komponent: eX [mm]

Węzeł >> Węzeł 17

OK Anuluj

Odnznacz pole **Pokaż oznaczenia** i zaznacz pole **Raster**. Zamknij okno przyciskiem **OK**. Zostanie wyświetlony wykres pokazany poniżej:



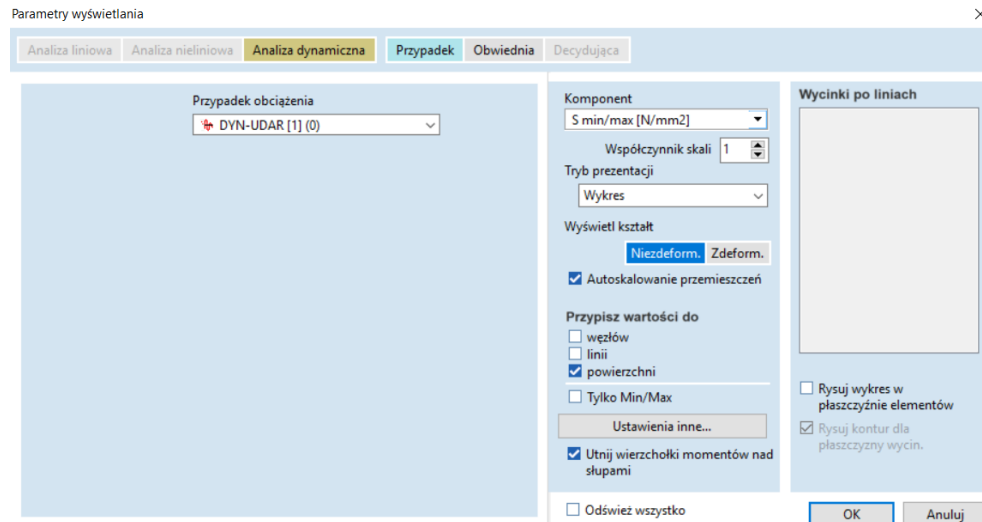
Na powyższym wykresie pionowa czerwona linia (linia ta nie jest wygenerowana przez program **AxisVM**) zaznaczono punkt, w którym węzłowe obciążenie dynamiczne przyjmuje wartość zerową. Jednocześnie jest to moment, w którym rozpoczynają się drgania swobodne ramy. Tendencja wygaszania fali wskazuje na ustawione tłumienie konstrukcji.

Parametry wyświetlania wyników

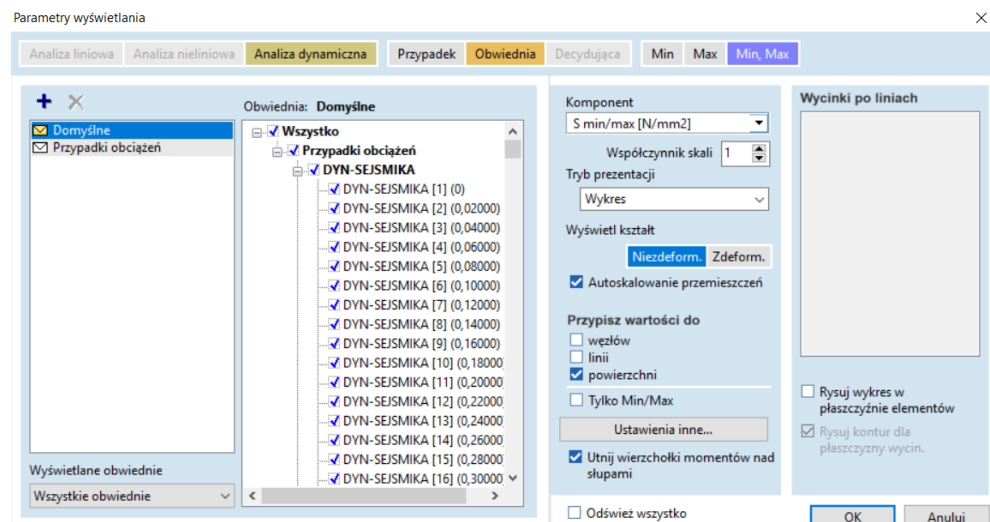


W wielu przypadkach konieczne jest wspólne rozpatrywanie wpływów od różnych obciążeń dynamicznych. Należy w tym przypadku skorzystać z obwiedni momentów. Wyświetlmy obwiednie **Sminmax** dla przypadku obciążenia **DYN-MASZYNA** i **DYN-UDAR**. **Sminmax** jest komponentem **Naprężenia w przęcie** na liście rozwijalnej.

Następnie należy utworzyć nową niestandardową obwiednię. Kliknij na ikonę **Parametry wyświetlania wyników**. Zostanie wyświetlone okno **Parametry wyświetlania**:



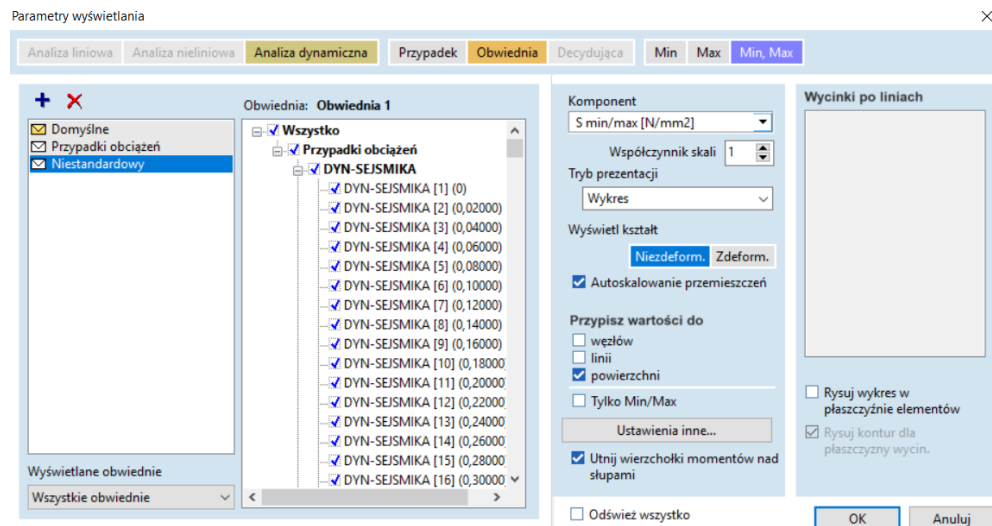
Aktywuj funkcję **Obwiednie** (górny pasek okna **Parametry wyświetlania**).



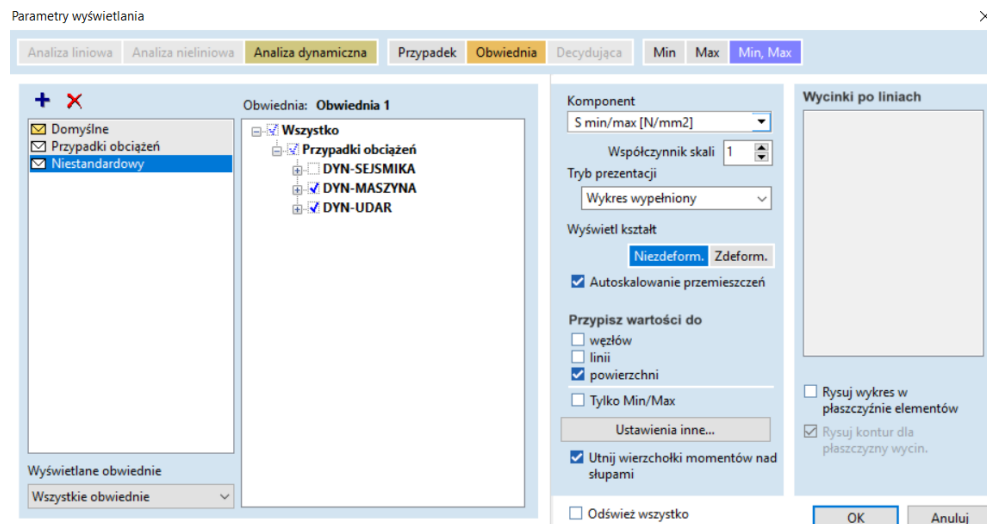
Nowy zestaw obwiedni



Kliknij na ikonę **Nowy zestaw obwiedni**. Zostanie stworzony nowy zestaw **Obwiednia 1** który pojawi się na liście pod ikoną. Kliknij na **Obwiednia 1** i zmień nazwę na **Niestandardowy**.

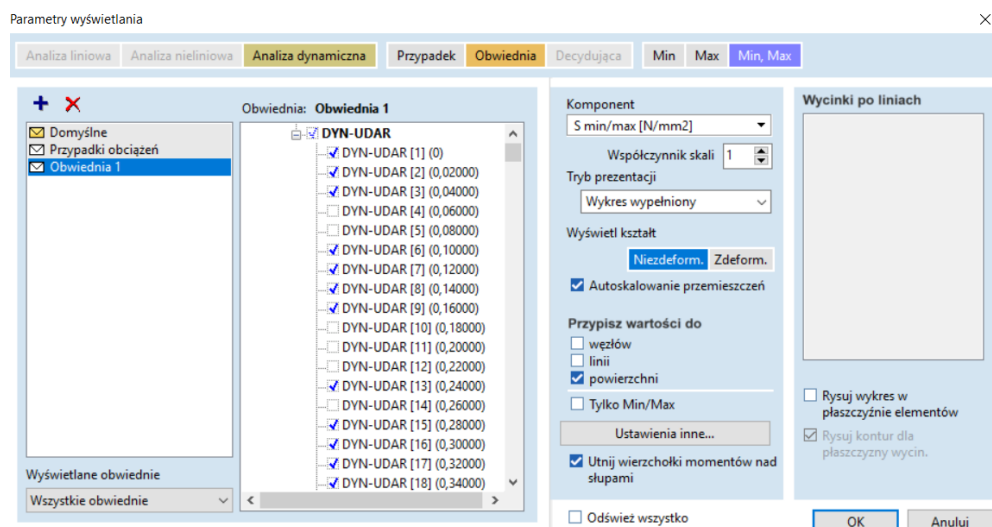


Domyślnie nowa obwiednia będzie zawierać wszystkie dostępne przypadki i grupy obciążeń. Zmodyfikuj obwiednie: na liście **Obwiednia**: zaznacz tylko przypadki **DYN-MASZYNA** i **DYN-UDAR**. W razie potrzeby grupy obciążeń można zwinąć, klikając znak „-” przed nazwą grupy. Pozwoli to ukryć przedziały czasowe. Na koniec zmień **Tryb prezentacji** na **Wykres wypełniony**.

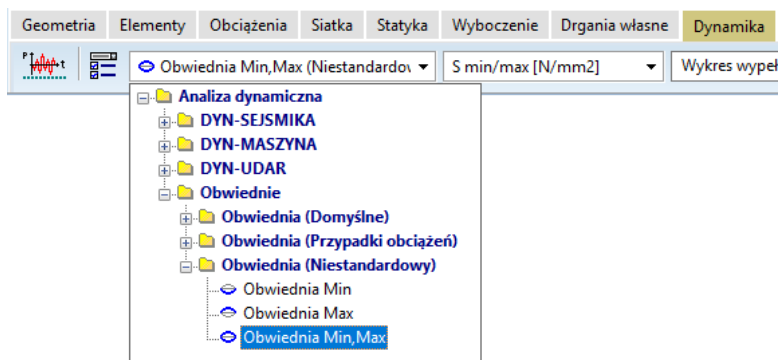


Zatwierdź ustawienia klikając **OK**.

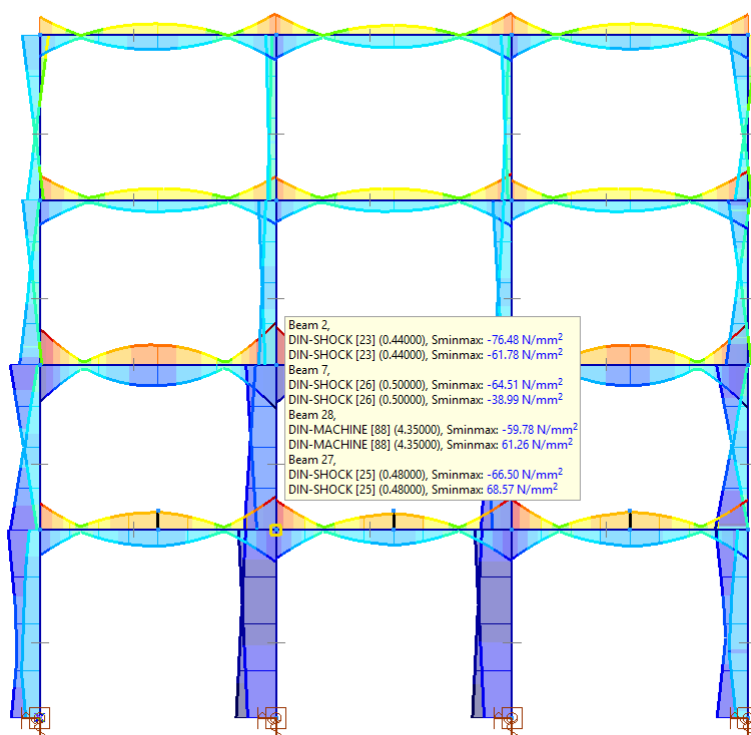
Uwaga: wynik dla każdego przyrostu czasowego można zaznaczyć lub odznaczyć indywidualnie, patrz przykład poniżej:



W głównym oknie na liście rozwijanej znajdź obwiednię **Niestandardowy** a następnie wyświetl wyniki korzystając z **Obwiednia Min, Max**.

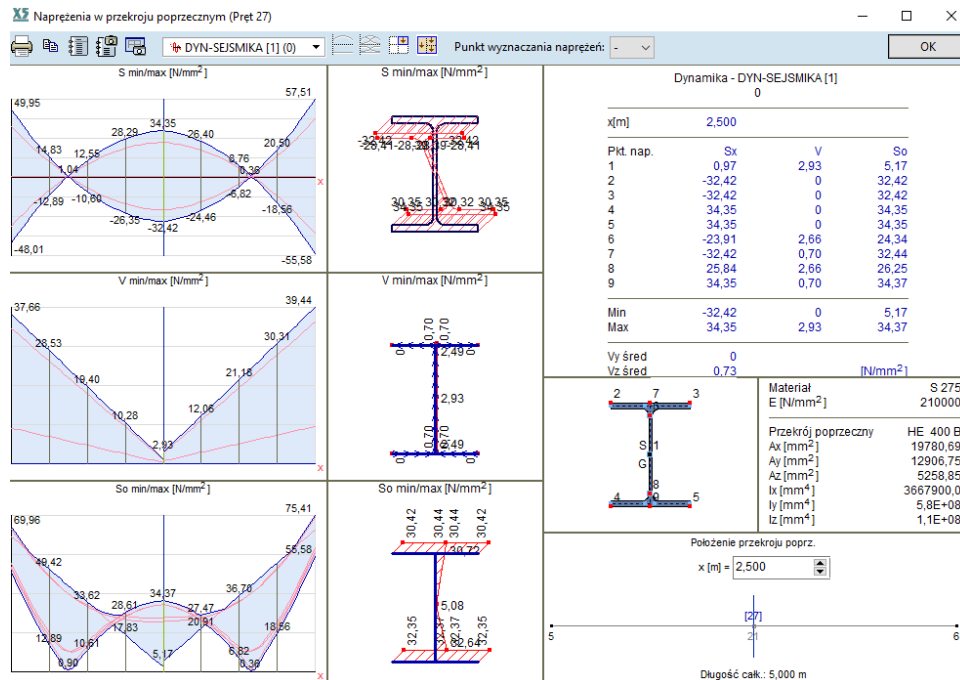


Po zapytaniu o dowolny komponent obliczeń obwiednie grup/przypadków obciążeń zostaną wyświetlone w oknie:



Naprężenia w przekroju poprzecznym

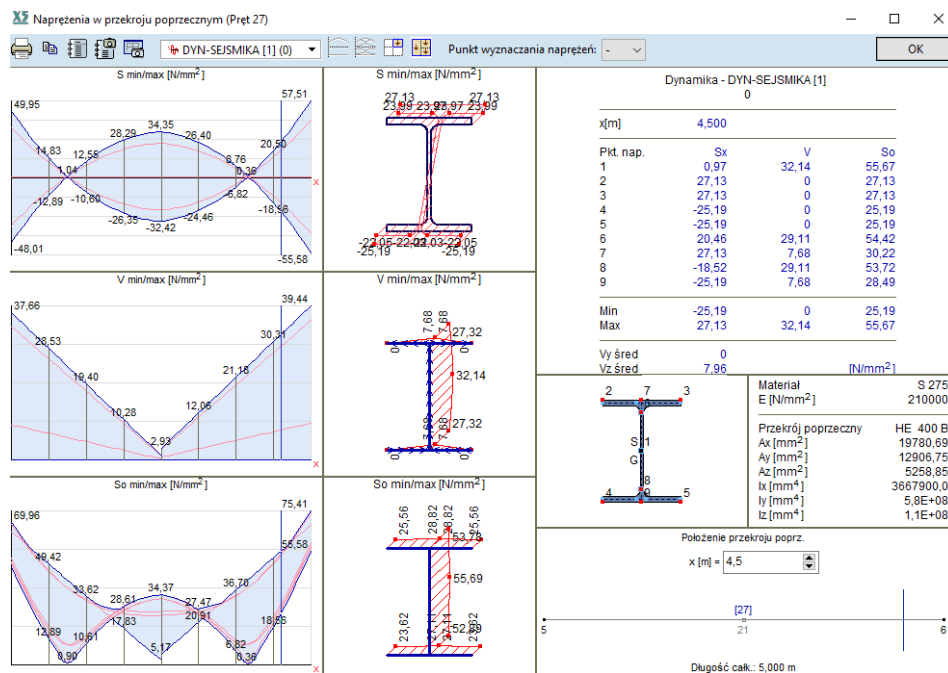
Wyświetl naprężenia w przekroju poprzecznym (**Sminmax**, **Vminmax**, **Sominmax**) na belce **27** dla przypadku obciążenia **DYN-SEJSMIKA**. W głównym oknie wybierz przypadek obciążenia **DYN-SEJSMIKA [1] (0)** a następnie kliknij na belkę. Zostanie wyświetlone okno pokazane poniżej:



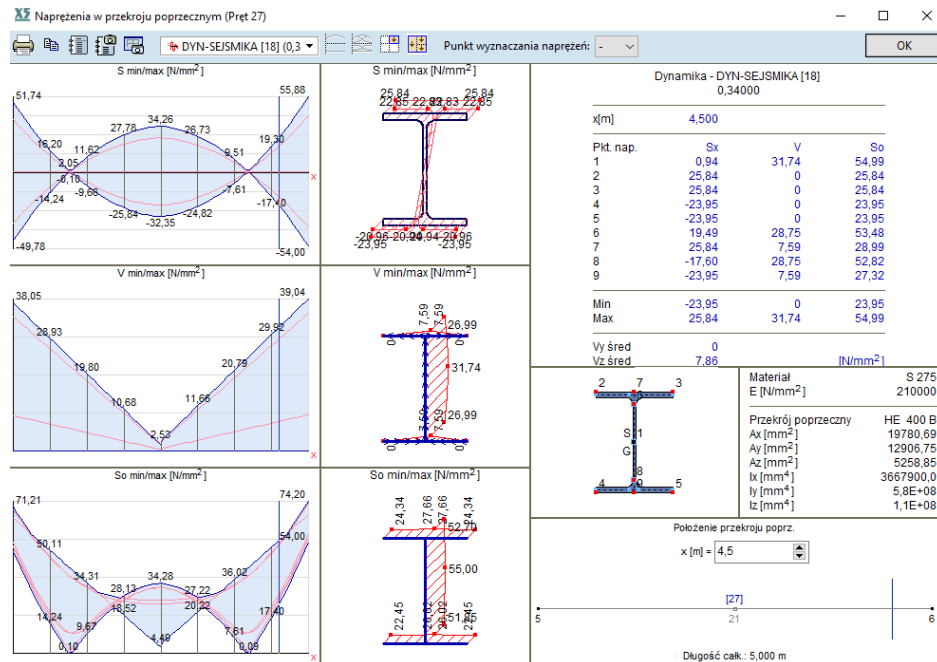
Rysunki po lewej stronie pokazują rozkład naprężeń wzdłuż długości belki dla aktualnego przyrostu. W środkowej kolumnie przedstawione są różne wykresy naprężeń wybranego przekroju belki. Pokazane są również główne wartości tych naprężeń. W tabeli w prawym górnym rogu okna zestawione są naprężenia w punktach charakterystycznych przekroju poprzecznego (są one przedstawione na rysunku poniżej tabeli, można je edytować w edytorze przekrojów poprzecznych). Obecnie zilustrowane są wyniki naprężeń przekroju w połowie długości belki.

Rozkład naprężeń w dowolnym przekroju belki może być przedstawiony. Można go wskazać przesuwając pionową oś w pożądane miejsce. W prawym dolnym rogu znajduje się schematyczna oś pręta, gdzie przedstawione jest położenie przekroju, jego długość całkowita oraz numery węzłów końcowych. Bieżącą pozycję można kontrolować, zastępując bieżącą wartość lub przeciągając oś pionową do właściwej pozycji.

Wyświetl naprężenia dla następującego położenia przekroju **4,50 m** (wartość mierzona od początku belki, tj. od węzła **5**). Wprowadź wartość 4,5 pozycji w polu **Położenie przekroju poprz.** Zostanie wyświetlony poniższy widok:

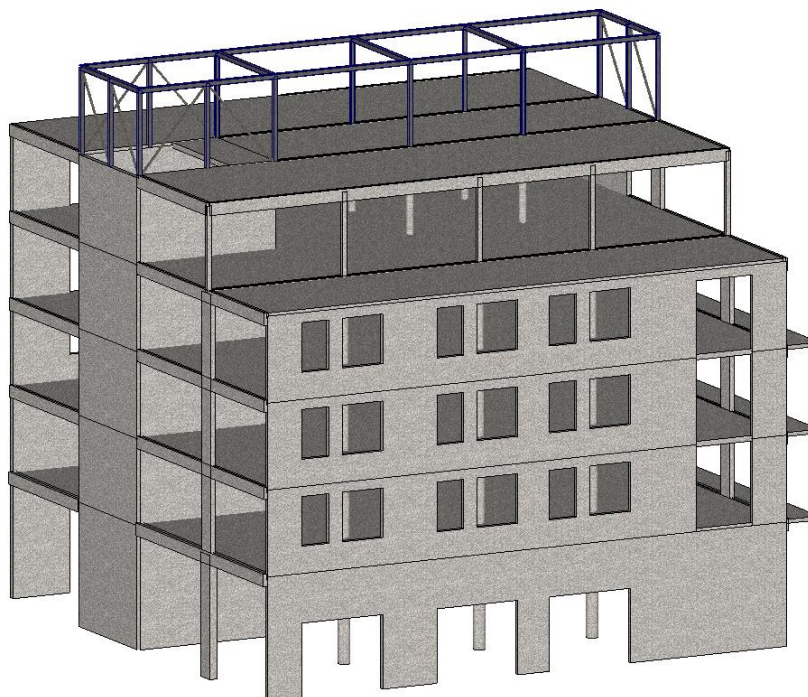


Użytkownik ma możliwość przełączania pomiędzy przypadkami obciążeń. Służy do tego lista rozwijana na której wybór przypadku odbywa się poprzez wskazanie kursorem albo przy użyciu klawiszy strzałek. W drugim przypadku wyniki są automatycznie wyświetlane.



2. ANALIZA SEJSMICZNA KILKUKONDYGNACYJNEGO BUDYNKU ŻELBETOWEGO PRZY WYKORZYSTANIU SPEKTRUM ODPOWIEDZI MODALNEJ

Cel Przeprowadź test sejsmiczny przedstawionego poniżej budynku żelbetowego korzystając ze spektrum odpowiedzi modalnej. Plik z podstawowym modelem numerycznym został załączony (**MRSA_bud_zelbet.axs**).



Test trzęsienia ziemi przeprowadzony zostanie w oparciu o wytyczne normy **PN-EN 1998-1:2008** niezależnie od jakiegokolwiek załącznika krajowego (w rzeczywistych projektach użytkownik ma możliwość wyboru takiej normy, która zawierała będzie szczegółowe zasady dla danego kraju). W naszym przypadku, tak zwana analiza spektralna odpowiedzi modalnej (ang. **Modal Response Spectrum Analysis – MRSA**) zostanie wykorzystana: obciążenia trzęsieniem ziemi są generowane zgodnie z normą na podstawie decydujących postaci drgań własnych konstrukcji. Rozkład obciążenia sejsmicznego oblicza się na podstawie wielkości oscylacji i rozkładu mas dla każdej postaci modalnej. Następnie wyniki sejsmiczne dla każdej postaci modalnej określa się przy wykorzystaniu liniowej analizy statycznej. Na koniec (decydujące) wartości obliczeniowe (siły wewnętrzne

i przemieszczenia) będą otrzymane poprzez zsumowanie wyników dla poszczególnych postaci drgań przy użyciu standardowych metod (np. **SRSS**, **CQC**).

Uwaga: ten rodzaj analizy sejsmicznej zakłada liniowe zachowanie konstrukcji jak również zakłada obowiązywanie zasady superpozycji skutków. Stąd w analizie **MRSA** nie można stosować materiału o charakterystyce nieliniowej.

Na podstawie charakterystyk sejsmicznych wynikających z lokalizacji budynku, referencyjne szczytowe przyspieszenie ziemi o wartości **0,10 g** zostało uwzględnione przyjmując **typ I spektrum odpowiedzi i klasę C gruntu**. Przyjmij **współczynnik zachowania** równy **1,50**.

Opis modelu numerycznego i obciążeń

W tym zadaniu etap tworzenia modelu przestrzennego obiektu nie będzie opisany. Model taki można łatwo stworzyć posiłkując się wcześniejszymi przykładami. Zostaną omówione przede wszystkim główne etapy stosowania metody **MRSA** wykorzystujące dostępne narzędzia programu. Plik wyjściowy (**MRSA_bud_zelbet.axs**) dołączony do przykładu zawiera:

Pełną geometrię i model numeryczny kilkukondygnacyjnego obiektu żelbetowego bez obciążeń sejsmicznych i bez wyników.

Budynek składa się z parteru i 5 pięter (budynek 6 kondygnacyjny). Budynek biurowy. Podstawowe wymiary budynku w planie to **23 x 22 m** przy całkowitej wysokości **22,5 m**. Główna konstrukcja to konstrukcja

żelbetowa, monolityczna. (ściany monolityczne, słupy i stropy płaskie) poza kondygnacją powyżej 4 kondygnacji, która wykonana jest jako szkieletowa konstrukcja stalowa.

Sztywność konstrukcji żelbetowej zapewniona jest przez ściany monolityczne. Szkieletowa konstrukcja stalowa na dachu usztywniona jest za pomocą stężeń.

Ściany żelbetowe mają grubość **200 mm**, a płaskie stropy **220 mm**. Przekroje słupów żelbetowych uzależnione są od wielkości sił wewnętrznych (różnią się między sobą). Wewnętrzne słupy mają przekrój okrągły a słupy fasad prostokątny. Słupy konstrukcji stalowej zaprojektowano z **HE 160A**, a belki z **HE 200A**. Stężenia wykonane są z **N80x80x4,5 mm**.

Konstrukcja dachu (wykonana w konstrukcji stalowej) nie została szczegółowo zamodelowana tj. zakłada się, że w swojej płaszczyźnie pracuje jako płyta sztywna. Zgodnie z tym założeniem dach zamodelowano jako przepone. Obciążenia dachu są przekazywane na elementy prętowe poprzez **panele obciążeniowe**.

Uwaga:

W kontekście odpowiedzi mechanicznej całego obiektu rola dachu konstrukcji stalowej jest drugorzędna. Dlatego zastosowano uproszczenie i zamodelowanego ten dach jako przepone. Ponadto, takie działanie pozwala na opisanie przepony w przykładzie. Uproszczenia sprawiają, że model jest przejrzysty. Użytkownik w każdym innym przypadku powinien wziąć pod uwagę wszystkie założenia.

Do wymiarowania i analizy przyjęto postanowienia norm Eurokodu (patrz **Normy projektowe ...** w oknie programu **AxisVM**). Konstrukcja żelbetowa zaprojektowana będzie z betonu klasy **C30/37** a konstrukcja stalowa ze stali **S235**.

Ustawienie węzłowych stopni swobody – każdy węzeł ma być swobodny.

Podpory węzłowe przyjęto jako sztywne przypisując następujące sztywności: **$R_x=R_y=R_z=1E+6$ kN/m**, i **$R_{xx}=R_{yy}=7.5E+6$ kNm/rad** (względem globalnego układu współrzędnych). Sztywności podpór ścian (podpory liniowe) zdefiniowano w układzie względnym do krawędzi przyjmując następujące wartości: **$R_x=R_y=R_z=5E+5$ kN/m/m** i **$R_{xx}=5E+5$ kNm/rad/m**.

Uwaga:

Wyniki analizy sejsmicznej są silnie zależne od sztywności podpór. W tym przykładzie nie będzie to analizowane. Sztywność podpór może być oszacowana w oparciu o parametry podłoża zakładając efekt dynamiczny (sztywności mogą się różnić w przypadku obciążeń statycznych).

Dla analizy statycznej główne przypadki obciążenia zostały zdefiniowane i zostały podzielone na grupy obciążeń. Podane obciążenia są obciążeniami charakterystycznymi. Obciążenia te nie są opisane w tym podręczniku. Można się z nimi zapoznać w pliku modelu.

Zazwyczaj w analizie sejsmicznej nie jest konieczne rozpatrywanie częściowego obciążenia. Dlatego poprzez zastosowanie określonych współczynników kombinacji sejsmicznych całe obciążenie powinno być uwzględnione (bardzo prawdopodobne jest to, że całe obciążenie będzie decydujące, gdyż zapewnia największą masę). Model nie zawiera obciążeń klimatycznych (wiatr i śnieg) ponieważ zgodnie z **EC0** nie występują jednocześnie z obciążeniem sejsmicznym (współczynnik jednoczesności dla obciążenia klimatycznego **$\gamma_2=0$**).

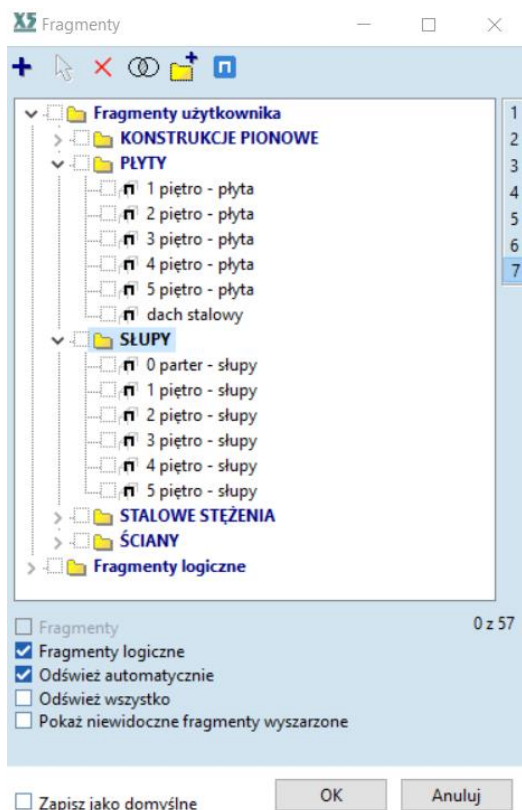
Dla analizy drgań własnych konstrukcji konieczna jest niestandardowa kombinacja obciążenia, która będzie później zdefiniowana.

Obciążenia sejsmiczne i przypadki obciążeń będą automatycznie generowane w oparciu o parametry trzęsienia ziemi i wybrane główne postacie drgań własnych.

Decydujące minimalne i maksymalne wyniki analizy zostaną określone automatycznie z uwzględnieniem zdefiniowanych grup obciążeń i współczynników kombinacji. Dlatego nie ma potrzeby definiowania żadnych niestandardowych kombinacji obciążeń.

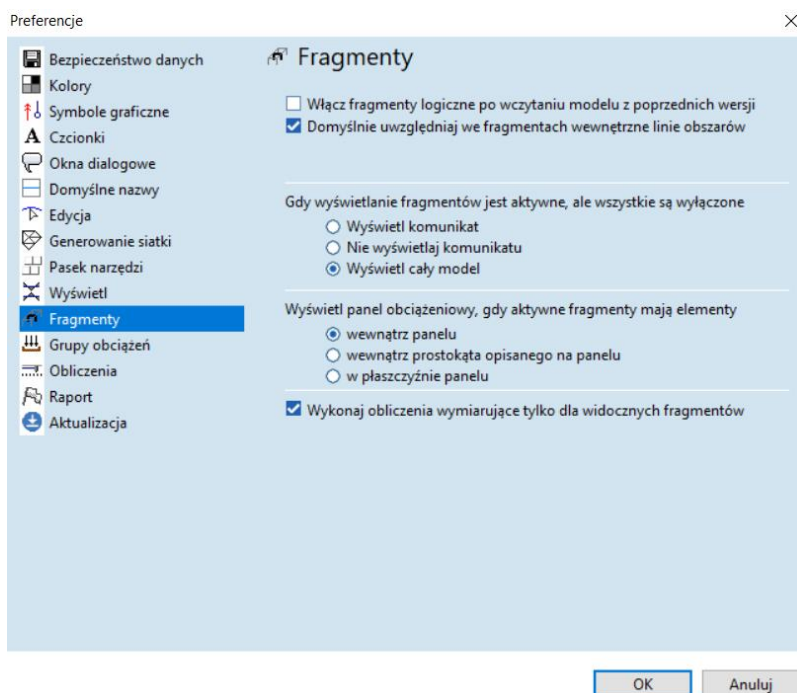
Fragmenty
w modelu

Dla lepszej widoczności oraz łatwości zarządzania modelem i wynikami, w modelu zdefiniowano fragmenty ze względu na typy elementów konstrukcyjnych (ściany, słupy, płyty przyporządkowane kondygnacjom/piętrům). Zostały one następnie posortowane do różnych katalogów, jak pokazano poniżej:



Sztuczki

Jeżeli fragmenty są wykorzystywane do wyświetlania i funkcja **Wykonaj obliczenia wymiarujące tylko dla widocznych fragmentów** jest zaznaczona w menu **Ustawienia/Preferencje/Fragmenty**, wtedy obliczenia zostaną przeprowadzone tylko dla widocznych elementów (np. wyznaczenie zbrojenia) a nie dla całego modelu. Włączenie tej opcji pozwala na pracę z dużymi modelami, gdzie przeliczanie wszystkich elementów konstrukcji zabierałoby bardzo dużo czasu.



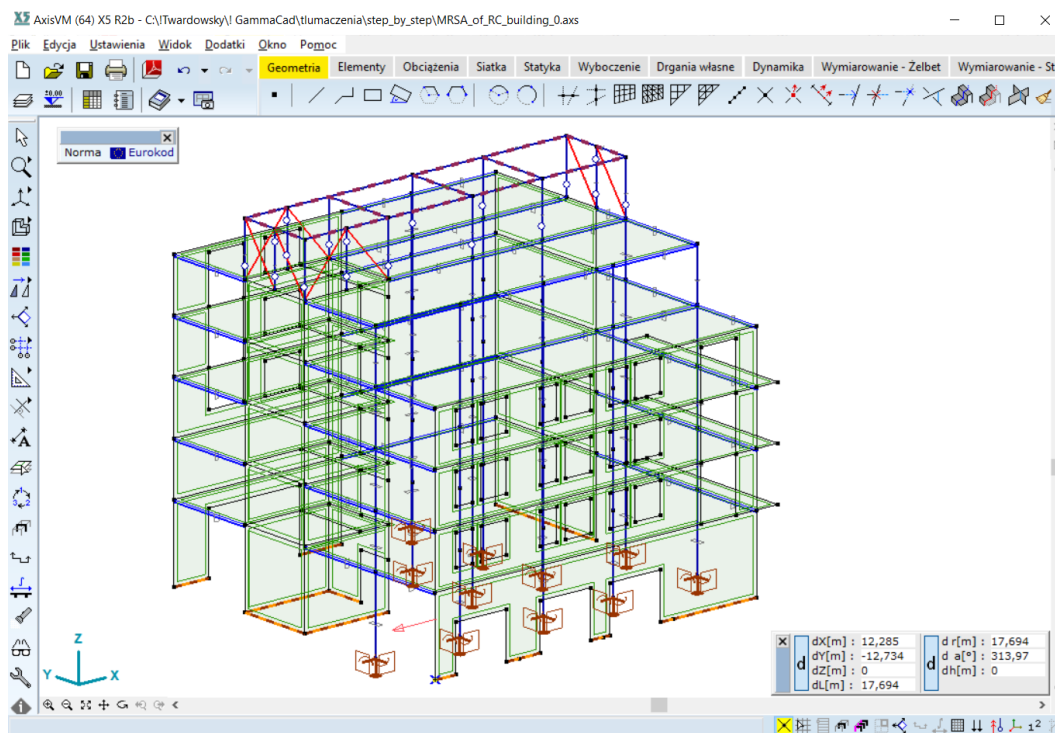


Otwórz



Uruchom program **AxisVMX5**.

Kliknij na ikonę **Otwórz**, aby załadować plik początkowy zapisany na komputerze. W oknie, które zostanie wyświetlone wybierz katalog zawierający plik i wybierz go (**MRSA_bud_zelbet.axs**). Kliknij na przycisk **Otwórz**, żeby załadować model. Następnie model budynku pojawi się w oknie głównym:



Pierwsze kroki

Zapisz model pod inną nazwą (jeżeli będzie konieczne, możemy wrócić do oryginalnego modelu później). W menu **Plik**, znajdź funkcję **Zapisz jako...** i kliknij na nią. Następnie zmień nazwę modelu na: **MRSA_bud_zelbet.axs**.

Przed rozpoczęciem analizy sejsmicznej sprawdź model, jego geometrię, utworzone elementy skończone i ustawienia wymienione powyżej.

Kondygnacje



W pierwszych krokach zdefiniujmy kondygnacje/piętra (główne poziomy budynku), które mogą pełnić kilka ról podczas analizy. Kondygnacje mogą być wyświetlane osobno, pełnią taką funkcję jak **Fragmenty** i pomagają w budowie modelu i zapewniają lepszą przejrzystość modelu.

Kondygnacje odgrywają również rolę w definiowaniu efektu skręcania od oddziaływania sejsmicznego, ponieważ siły mimośrodowe można przypisać do tych poziomów. Ta ostatnia funkcja zostanie przedstawiona później. Więcej korzyści i możliwości z korzystania z tej funkcji można znaleźć w **Podręczniku Użytkownika**.

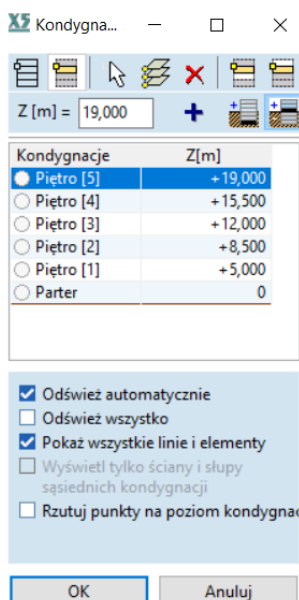
Po kliknięciu ikony **Kondygnacje** znajdującej się na pasku ikon po lewej stronie zostanie wyświetlone poniższe okno:



Znajdź



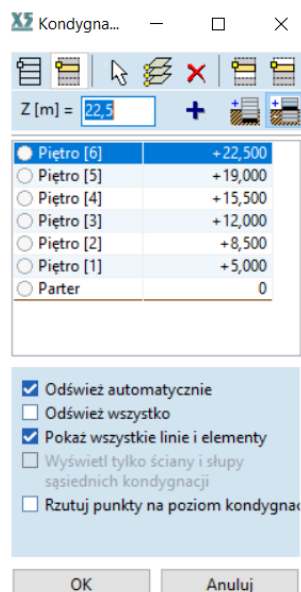
Kondygnacje można definiować indywidualnie, wprowadzając wartość wysokości każdej kondygnacji. Można również użyć funkcji automatycznego wyszukiwania. Kliknij na ikonę **Znajdź**. W rezultacie funkcja wyszuka poziome płyty znajdujące się na różnych poziomach. Otrzymasz następujący wynik:



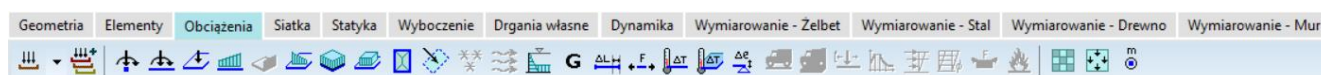
Dodaj



Poziom dachu stalowego (+22.50 m) nie został rozpoznany przez program, ponieważ dach został zamodelowany przy użyciu funkcji **Przepona**, a nie płyta. Dodaj ten poziom do listy. W polu **Z [m]** = wprowadź wartość wysokości (22,50 m), a następnie dodaj nową kondygnację klikając przycisk **Dodaj**:



Generowanie kondygnacji zostało zakończone w tym ostatnim kroku. Kliknij **OK**, żeby zamknąć funkcję.



Kombinacje obciążeń



W **MRSA** obciążenie sejsmiczne jest określone w oparciu o kształty postaci drgań własnych. Dlatego, analizę drgań własnych należy przeprowadzić przy użyciu kombinacji obciążeń, zgodnie z zasadami kombinacji sejsmicznej określonymi w normie (masy do analizy drgań uzyskuje się przez konwersję obciążeń tej kombinacji). W programie, ta kombinacja powinna zostać nazwana jako '**niestandardowa**'. Wykonaj następujące czynności, aby utworzyć tę kombinację.

Nowy wiersz



Przejdź na zakładkę **Obciążenia** a następnie kliknij na ikonę **Kombinacje obciążeń**. W pojawiającym się oknie kliknij ikonę **Nowy wiersz** (program utworzy nowy wiersz w bazie danych). Wpisz następującą nazwę w pierwszej komórce: **SEJSMICZNY**. Ustaw typ kombinacji jako „- (**kombinacja użytkownika**)”, a na koniec określ współczynniki kombinacji dla przypadków obciążeń zgodnie z ogólnym wzorem:

$$\sum_{j \geq 1} G_{k,j} + \sum_{i \geq 1} \varphi \cdot \Psi_{2,i} \cdot Q_{k,i}$$

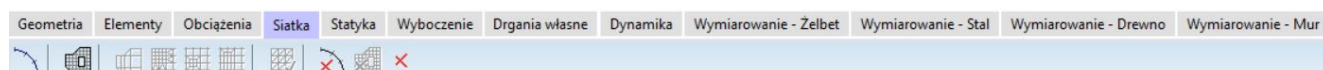
Obciążenia stałe biorą udział w kombinacji jako obciążenia charakterystyczne. Zmienne obciążenia należy rozpatrywać według ich quasi-stałej wartości. Współczynnik φ przyjmujemy zazwyczaj **1,00** (dla bezpieczeństwa).

Uwaga: ta kombinacja jest ważna tylko w przypadku analizy drgań własnych, która poprzedza generowanie obciążeń sejsmicznych. Dlatego zawiera tylko oddziaływania stałe i zmienne (wyjątkowe obciążenie sejsmiczne nie jest w tej kombinacji uwzględnione).

Poniższa tabela podaje wartości współczynniki obciążenia dla opisywanej kombinacji. Należy je wprowadzić:

Nazwa przypadku obciążenia	współczynnik obciążenia
ciężar własny	1.00
warstwy wykończeniowe	1.00
sufit podwieszany	1.00
fasada	1.00
obciążenie stałe na klatce schodowej	1.00
Biuro na 1. piętrze	0.30
Biuro na 2. piętrze	0.30
Biuro na 3. piętrze	0.30
Biuro na 4. piętrze	0.30
Balkon na 1. piętrze	0.30
Balkon na 2. piętrze	0.30
Balkon na 3. piętrze	0.30
Taras na 4. piętrze	0.30
Płaski dach na 5. piętrze	0.30
Ściany działowe na 1. piętrze	1.00
Ściany działowe na 2. piętrze	1.00
Ściany działowe na 3. piętrze	1.00
Ściany działowe na 4. piętrze	1.00
Instalacje na 5. piętrze	1.00
Stalowy dach na 6. piętrze	0.00
Obciążenie użytkowe klatki schodowej	0.30

Po wprowadzeniu powyższych wartości, zatwierdź je klikając na przycisk **OK**.



Siatkowanie obszaru



Przed analizą dynamiczną (i nieliniową), obszary i liniowe elementy muszą być posiatkowane. W naszym zadaniu wystarczy posiatkować tylko obszary. Nie jest konieczne siatkowanie słupów, ponieważ znacząca część masy jest skoncentrowana na stropach a gęstne postacie drgań własnych słupów nie są dominujące dla zachowania całej konstrukcji.

Uwaga: jeśli element liniowy nie jest posiatkowany w analizie drgań własnych jego ciężar własny lub jakiekolwiek inne jego obciążenia (które zostaną zamienione na masę) będzie rozkładane na węzły końcowe.

W zależności od wielkości i rodzaju budynku można zastosować różne rozmiary i gęstość siatki. W analizie sejsmicznej, właściwe może być zapewnienie pionowego usztywnienia konstrukcji (ściany) które powinno mieć gęstą siatkę podczas gdy mniej gęsta siatka może być wykorzystana w przypadku płyt. Dynamiczne zachowanie konstrukcji zależy przede wszystkim od sztywności i zachowania ścian stężających, a nie od płyt. W wielu przypadkach płytę można uznać za sztywne przepony, jeśli jej sztywność jest wystarczająco duża (patrz odpowiednie części normy) a pionowy efekt trzęsienia ziemi jest nieznaczny w porównaniu do obciążeń statycznych.

Optymalizując rozmiar siatki można zmniejszyć liczbę elementów skończonych a co za tym zmniejszyć rozmiar numeryczny zadania.

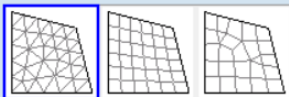
W naszym modelu z powodu niewielkich rozmiarów budynku **używamy tylko jednej siatki**. Zastosowanie różnych rozmiarów siatki nie przyniesie znaczących oszczędności.

Przejdź na zakładkę **Siatka**, kliknij ikonę **Generowanie siatki obszaru** a następnie zaznacz cały model * (**Wszystko**).

Parametry siatkowania

☒ Definiuj
 ☐ Modyfikuj

Typ siatki



Średni rozmiar elementu siatki [m] = 0,800

Dopasuj siatkę do obciążeń

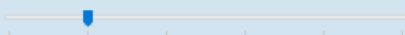
☐ | Obc. skupione | \geq [kN] = 0
☐ | Obc. liniowe | \geq [kN/m] = 0
☐ | Obc. powierzchniowe | \geq [kN/m²] = 0

☒ Dopasuj siatkę do głowicy słupa (aby umożliwić odcięcie szczytowych wartości momentów)

Metoda podziału konturu

☒ Równomierny podział
☐ Dopasowany podział

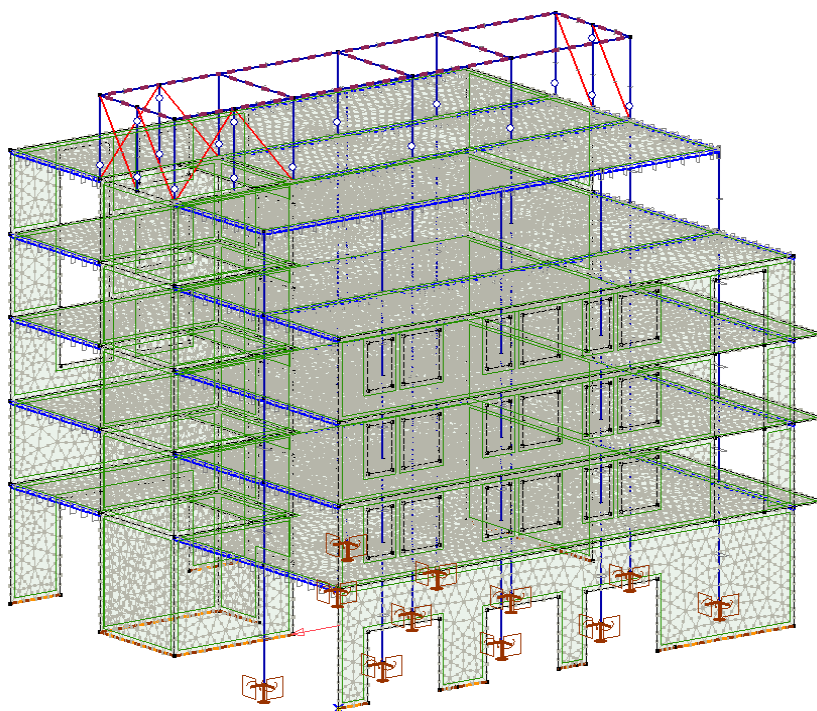
Wyglądanie



☐ Generuj siatkę tylko dla obszarów bez siatki
☐ Obliczanie przecięć obszarów
☐ Zachowaj prowadnice siatki, jeżeli nie uda się jej wygenerowanie

Pobierz z... >> OK Anuluj

W polu **Typ siatki** wybierz siatkę trójkątną, zastosuj **Średni rozmiar elementu siatki** – 0,8 m, zaznacz **Dopasuj siatkę do głowicy słupa (aby umożliwić odcięcie szczytowych wartości momentów)** oraz zastosuj **Równomierny podział**. Rozpocznij nakładanie siatki klikając **OK**.



Wyświetlanie
siatki wł/wył



Po zakończonej procedurze generowania siatki, zweryfikuj jej regularność obracając modelem. Wśród ikon **Paska szybkiego wyboru** wyświetlanie siatki może być włączone lub wyłączone i służy do tego ikona **Wyświetlanie siatki wł/wył**.

Redukcja sztywności...

W przypadku konstrukcji żelbetowych wpływ zarysowania może być uwzględniony przez wykorzystanie opcji **Redukcja sztywności...** (EN 1998-1:2008 zaleca 50% redukcję sztywności elementów żelbetowych). Taka redukcja jest uwzględniona w analizie drgań własnych i analizie statycznej.

Funkcja **Redukcja sztywności dla analizy spektrum odpowiedzi** znajduje się po rozwinięciu menu **Ustawienia** lub można ją wywołać będąc w zakładce **Drgania własne/Analiza drgań własnych**. Dostosuj teraz parametry redukcji, przed przejściem na zakładkę **Drgania własne**. Kliknij na menu **Ustawienia** i wybierz polecenie **Redukcja sztywności...** Wyświetlone zostanie poniższe okno:

Redukcja sztywności dla analizy spektrum odpowiedzi

☒ Cały model
☐ Wyświetlone fragmen
☐ Wybrane elementy

Elementy	Komponent	k	Domyślne
Słupy (55)	Ax	1,000	1,000
	Ay	1,000	1,000
	Az	1,000	1,000
	Ix	1,000	1,000
	Iy	1,000	1,000
	Iz	1,000	1,000
— Belki (52)	Ax	1,000	1,000
	Ay	1,000	1,000
	Az	1,000	1,000
	Ix	1,000	1,000
	Iy	1,000	1,000
	Iz	1,000	1,000
/ Nachylone elementy liniowe	Ax		1,000
	Ay		1,000
	Az		1,000
	Ix		1,000
	Iy		1,000
	Iz		1,000
Ściany (37)	Ac	1,000	1,000
	Acs	1,000	1,000
	Ic	1,000	1,000
— Płyty (16)	Ac	1,000	1,000
	Acs	1,000	1,000
	Ic	1,000	1,000
/ Nachylone obszary	Ac		1,000
	Acs		1,000
	Ic		1,000

Pobierz z... >> Domyślne OK Anuluj

W formularzu można ustawić podstawowe parametry redukcji sztywności dla **Wyświetlone fragmenty**, **Cały model** lub **Wybrane elementy**. Jeśli cały budynek jest wyświetlany w oknie głównym i nie ma żadnych wybranych elementów, wtedy pola wyboru **Wyświetlone fragment** i **Wybrane elementy** są nieaktywne co widać na rysunku powyżej.

W przypadku **Słupów**, **Belek** i **Nachylonych elementów liniowych** niezależnie modyfikowane mogą być następujące komponenty charakterystyk geometrycznych przekroju: **Ax**, **Ay**, **Az**, **Ix**, **Iy**, **Iz**. W przypadku **Ścian**, **Płyt** i **Nachylonych obszarów** niezależnej modyfikacji podlegają: **Ac**, **Acs**, **Ic**.

Liczby w nawiasach obok typu elementu skończonego pokazują, ile elementów danego typu jest w **całym modelu** / **w wyświetlanych częściach** / lub **wśród wyróżnionych elementów**.

Rozważ następujące ustawienia pokazane na rysunku: zredukuj sztywność o **50 % (0,5)** dla każdego elementu, lecz w przypadku **Słupów**, **Belek** i **Nachylonych elementów liniowych** tylko sztywność giętą podlega redukcji (**k**).

Redukcja sztywności dla analizy spektrum odpowiedzi

✕

☒ Cały model
☐ Wyświetlone fragmen
☐ Wybrane elementy

Elementy	Komponent	k	Domyslnie
Słupy (55)	Ax	1,000	1,000
	Ay	1,000	1,000
	Az	1,000	1,000
	Ix	1,000	1,000
	Iy	0,500	1,000
	Iz	0,500	1,000
— Belki (52)	Ax	1,000	1,000
	Ay	1,000	1,000
	Az	1,000	1,000
	Ix	1,000	1,000
	Iy	0,500	1,000
	Iz	0,500	1,000
/ Nachylone elementy liniowe	Ax		1,000
	Ay		1,000
	Az		1,000
	Ix		1,000
	Iy		1,000
	Iz		1,000
Ściany (37)	Ac	1,000	1,000
	Acs	1,000	1,000
	Ic	0,500	1,000
— Płyty (16)	Ac	1,000	1,000
	Acs	1,000	1,000
	Ic	0,500	1,000
/ Nachylone obszary	Ac		1,000
	Acs		1,000
	Ic		1,000

Pobierz z... >> Domyslnie OK Anuluj

Kończąc wprowadzanie danych, potwierdź zmianę i zamknij okno, klikając przycisk **OK**.

Geometria Elementy Obciążenia Siatka Statyka Wyboczenie **Drgania własne** Dynamika Wymiarowanie - Żelbet Wymiarowanie - Stal Wymiarowanie - Drewno Wymiarowanie - Mur

Drgania własne



Generowanie obciążenia sejsmicznego wymaga informacji o nietłumionych częstotliwościach drgań własnych i odpowiadających im postaciach. Zatem pierwszym krokiem w tworzeniu obciążeń sejsmicznych jest wyznaczenie wystarczająco dużej liczby postaci i odpowiadających im częstotliwości drgań własnych.

Przejdź na zakładkę **Drgania własne** i przeprowadź analizę zgodnie z poniższym.

Kliknij ikonę **Analiza drgań własnych**.

Analiza drgań własnych

✕

Drgania własne (I-go rzędu) Drgania własne (II-go rzędu)

Przypadki obciążeń
☒ ciężar własny
☐ warstwy wykończeniowe
☐ sufit podwieszany
☐ fasada
☐ obciążenie stałe na klatce schodowej
☐ Biuro na 1. piętrze
☐ Biuro na 2. piętrze
☐ Biuro na 3. piętrze
☐ Biuro na 4. piętrze
☐ Balkon na 1. piętrze
☐ Balkon na 2. piętrze
☐ Balkon na 3. piętrze
☐ Taras na 1. piętrze
☐ Płaski dach na 5. piętrze
☐ Ściany działowe na 1. piętrze

1 z 22

Liczba postaci własnych 9

☒ Konwertuj obciążenia do mas
☐ Masy skupione
☐ Konwertuj masy skupione do obciążeń
☐ Tylko masy
☐ Masy elementów konstrukcyjnych
☐ Konwertuj masy do obciążeń

Kryterium zbieżności
 Maksymalna liczba iteracji 20
 Zbieżność wartości własnej 1E-10
 Zbieżność wektora własnego 1E-5

Przepona
☐ Konwertuj płyty do przepon

Redukcja sztywności dla analizy spektrum odpowiedzi
☒ Sztywność początkowa
☐ Sztywność zredukowana Redukcja sztywności
☐ Użyj zwiększonej sztywności podpór

Masy
 Uwzględnij składowe mas
☒ m_x ☒ m_y ☒ m_z
 Rodzaj macierzy mas
☒ Diagonalna
☐ Konsystentna (tylko w uzasadnionych przypadkach)
 Masy uwzględnione
☒ Wszystkie masy
☐ Powyżej wysokości Z
☐ Powyżej wybranej kondygnacji
 Parter

OK Anuluj

W wyświetlonym oknie ustaw wymagane parametry. Przejrzymy opcje:

W lewym górnym rogu okna można wybrać rodzaj analizy. Domyślnie, **Drgania własne (1-go rzędu)** są wybrane, co jest odpowiednie dla naszego zadania.

Uwaga: W analizie drgań własnych 2-go rzędu rozwiązanie uwzględnia wpływ sił osiowych w elementach belkowych i kratowych na sztywność układu. Rozciągające siły mają wpływ usztywniający podczas gdy siły ściskające odwrotnie. Efekty te wpływają na drgania własne konstrukcji.

Na liście pod rodzajem analizy można wybrać przypadek obciążenia lub kombinację obciążenia jako podstawę analizy drgań własnych. Program automatycznie zaznacza pierwszy **przypadek obciążenia (ciężar własny)**.

Odznacz ten przypadek. Następnie znajdź i zaznacz niestandardowy **przypadek kombinacji** nazwany **SEJ-SMICZNY** (znajduje się on na końcu listy **Przypadków kombinacji**).

Uwaga: jednocześnie użytkownik może wybrać więcej przypadków obciążenia / kombinacji obciążeń. W takim przypadku program wykonuje tyle niezależnych obliczeń, ile jest zaznaczonych przypadków.

W analizie drgań własnych, jeżeli masy nie są określone, można je określić na podstawie wybranych kombinacji obciążeń lub przypadków obciążeń, przekształcając te obciążenia w masy. W naszym przypadku program automatycznie proponuje wykorzystanie funkcji **Konwertuj obciążenia do mas**.

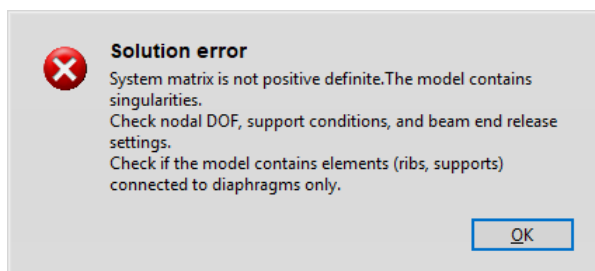
W polu **Liczba postaci własnych** wpisz wartość **20**. Liczba ta zależy w dużej mierze od złożoności modelu, wielkości budynku i liczby kondygnacji. (W naszym zadaniu, **20** postaci własnych będzie wystarczające, aby osiągnąć przynajmniej **90%** całkowitej masy konstrukcji w rozważanych kierunkach.)

W polu **maksymalna liczba iteracji** wpisz wartość **30**. Jeśli model nie zbiega się prawidłowo, być może będziemy musieli to zmienić. Pole **Zbieżność wartości własnej** i **Zbieżność wektora własnego** należy zostawić niezmienione (pozostaw wartości domyślne).

Przepona: podczas przeprowadzania analizy drgań z zaznaczeniem opcji **Konwertuj płyty do przepon**, wszystkie płyty (płyty poziome) zostaną tymczasowo zastąpione przeponami (zawsze sprawdź, czy warunki opisane w normie są spełnione)

Czas działania może zostać skrócony, jeśli model zawiera tylko słupy i płyty. Jeśli uwzględnione zostaną ściany konstrukcyjne, liczba równań zostanie zmniejszona, ale szerokość pasma zostanie zwiększona. Czas trwania analizy może być dłuższy niż bez przepon.

Jeśli w modelu występują żebra lub podpory, które są połączone tylko z płytą, która ma być przekonwertowana na przeponę, nie można użyć tej funkcji. Jeśli problem wystąpi, program wyświetli komunikat o błędzie na początku obliczeń:



Uwaga: płyty/płyty fundamentowe, którą mają zdefiniowane podpory powierzchniowe nie będą przekonwertowane na przepony nawet jeżeli ta funkcja jest zaznaczona.

Redukcja sztywności dla analizy spektrum odpowiedzi: w tym przypadku redukcja sztywności elementów żelbetowych może być zdefiniowana jak poprzednio (odpowiednie parametry zostały już zdefiniowane), dlatego nie musimy tego ustawiać ponownie. Wystarczy zaznaczyć pole wyboru **Redukcja sztywności**.

Użyj zwiększonej sztywności podpory:

Podpory działają w inny sposób podczas wibracji. Zastosowanie zwiększonej sztywności podpór (**10¹⁰ kN/m** dla podpór węzłowych, **10⁷ kN/m/m** dla podpór liniowych, **10⁴ kN/m²** dla podpór powierzchniowych)

może pomóc uzyskać bardziej realistyczne wyniki drgań własnych. **Nie zaznaczaj teraz tej opcji**, gdyż parametry sztywności podpór są zdefiniowane jak dla oddziaływań sejsmicznych i dynamicznych.

Masy: w obliczeniach, tylko **składowa mas x i y** powinna być uwzględniona (pionowe skutki trzęsienia ziemi mogą być nieistotne w zależności od przepisów danego kraju).

Konfiguracja rozważanych mas: obok **Wszystkich mas** można zmniejszyć masy do tych powyżej określonej wysokości **Z** lub określonego poziomu (jeżeli model zawiera poziomy). Przykładem może być wyłączenie piwnicy z analizy drgań. Ciężar własny i inne rodzaje obciążeń nie są uwzględniane poniżej poziomu gruntu, w tym płyty fundamentowe (jeżeli model zawiera płyty fundamentowe).

Przy tej opcji ustawienie domyślne powinno być zaznaczone – **Wszystkie masy**.

Więcej informacji na temat powyższych ustawień i parametrów można znaleźć w odpowiednich rozdziałach **Podręcznika użytkownika**.

Ustaw parametry pokazane poniżej, a następnie kliknij **OK** aby rozpocząć analizę.

Analiza drgań własnych

Drgania własne (I-go rzędu)
Drgania własne (II-go rzędu)

Wszystko
Przypadki obciążeń
Kombinacje obciążeń
SEISMIC

1 z 22

Liczba postaci własnych 20

☒ Konwertuj obciążenia do mas

☐ Masy skupione
☐ Konwertuj masy skupione do obciążeń

☐ Tylko masy

☐ Masy elementów konstrukcyjnych
☐ Konwertuj masy do obciążeń

Kryterium zbieżności

Maksymalna liczba iteracji 30

Zbieżność wartości własnej 1E-10

Zbieżność wektora własnego 1E-5

Przepona
☐ Konwertuj płyty do przepon

Redukcja sztywności dla analizy spektrum odpowiedzi

☐ Sztywność początkowa
☒ Sztywność zredukowana

Redukcja sztywności

☐ Użyj zwiększonej sztywności podpór

Masy

Uwzględnij składowe mas

☒ m_x
☒ m_y
☐ m_z

Rodzaj macierzy mas

☒ Diagonalna
☐ Konsystentna (tylko w uzasadnionych przypadkach)

Masy uwzględnione

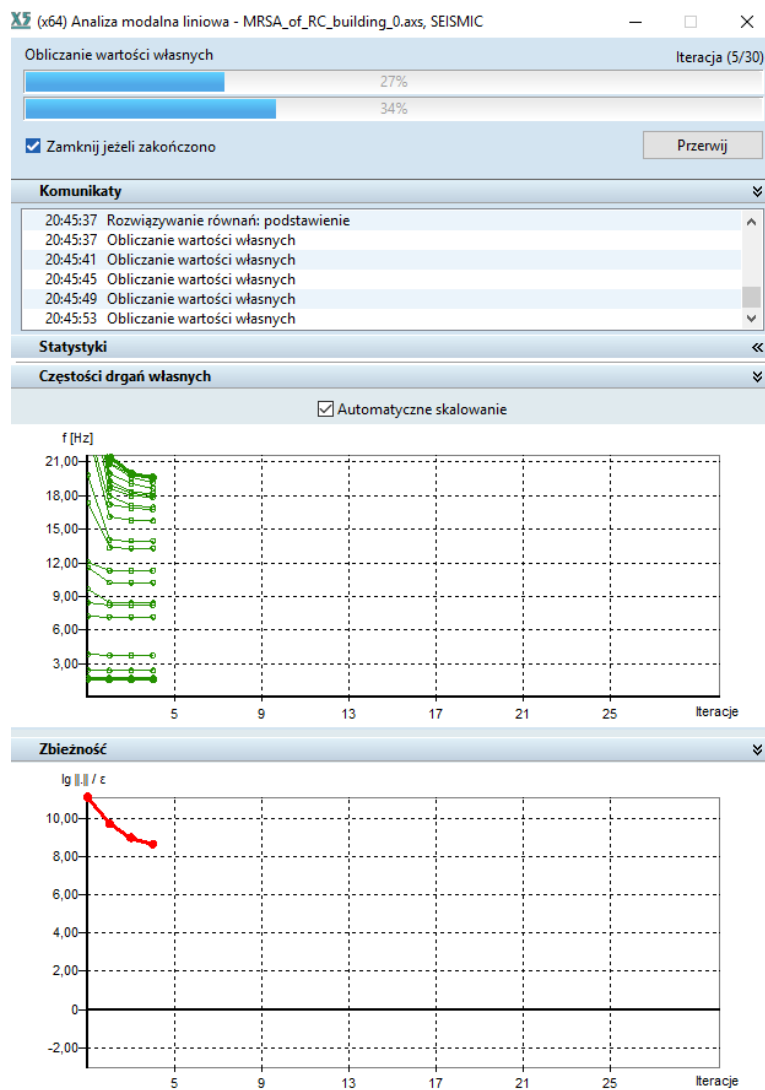
☒ Wszystkie masy
☐ Powyżej wysokości Z
☐ Powyżej wybranej kondygnacji

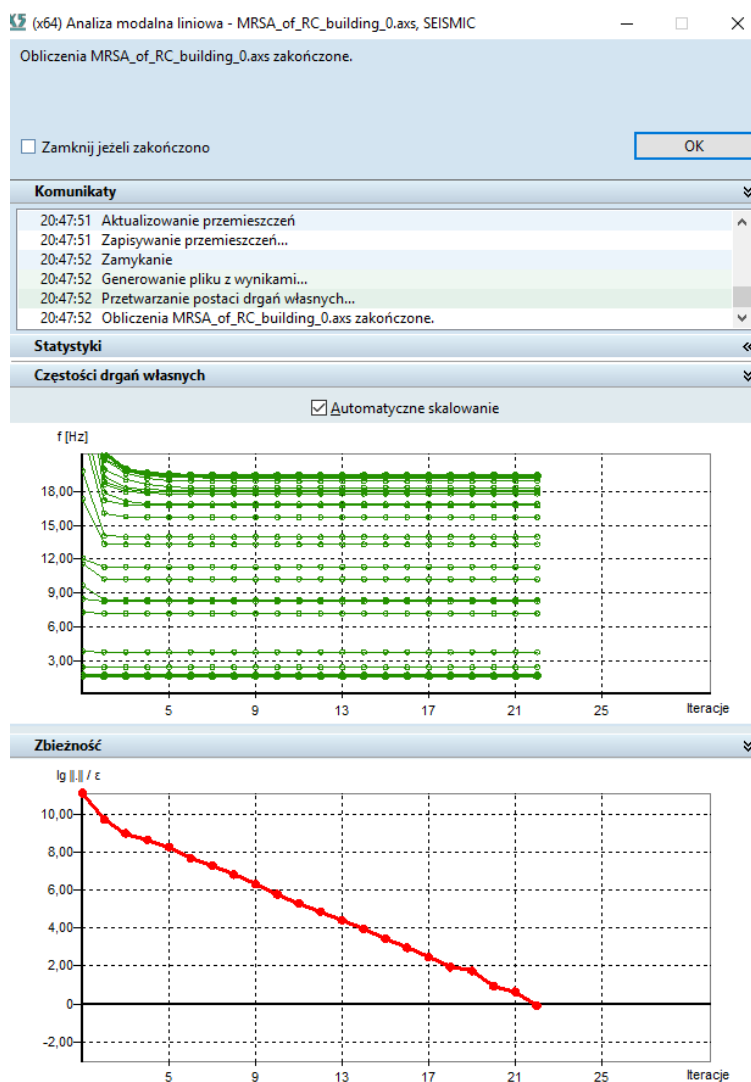
Partier

OK

Anuluj

W trakcie obliczeń, **Częstości drgań własnych** i **Zbieżność** postaci o najmniejszej zbieżności może być śledzona w kolejnych iteracjach.





Analiza zatrzymała się po **22** iteracji, ponieważ ustawione kryteria zbieżności zostały spełnione i nie było potrzeby kontynuować obliczeń do **30** kroku.

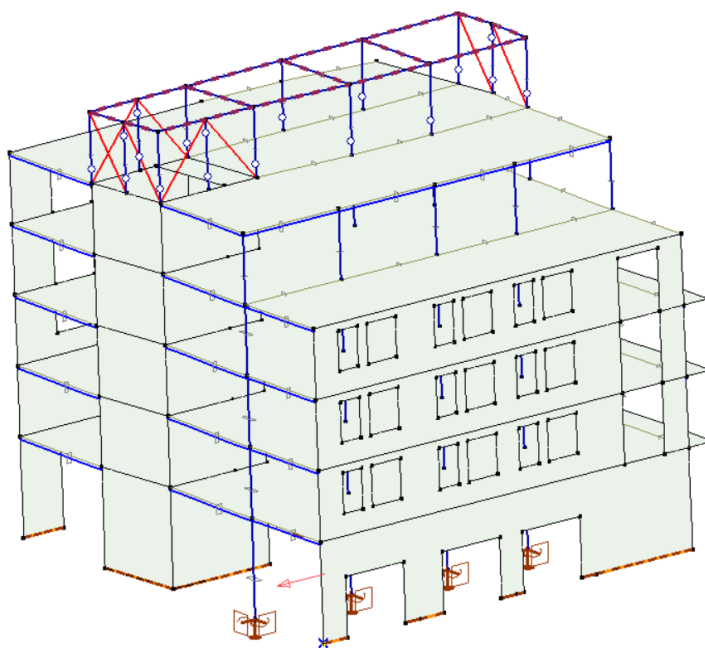
Kliknij **OK**, żeby zamknąć okno.

Zawsze sprawdzaj otrzymane postacie drgań własnych. Jeśli w modelu występuje błąd, analiza kształtu postaci drgań może pomóc w jego znalezieniu (niestabilność, problemy ze sztywnością). Wynik analizy drgań własnych pozwala również na ocenę odpowiedzi dynamicznej budynku, tj. otrzymujemy informacje które postacie drgań własnych są główne, czy konstrukcja jest wrażliwa na działanie skrętne, itp.).

Pierwsze trzy postacie drgań własnych pokazano poniżej. Kształt postaci został przeskalowany **dziesięciokrotnie**.

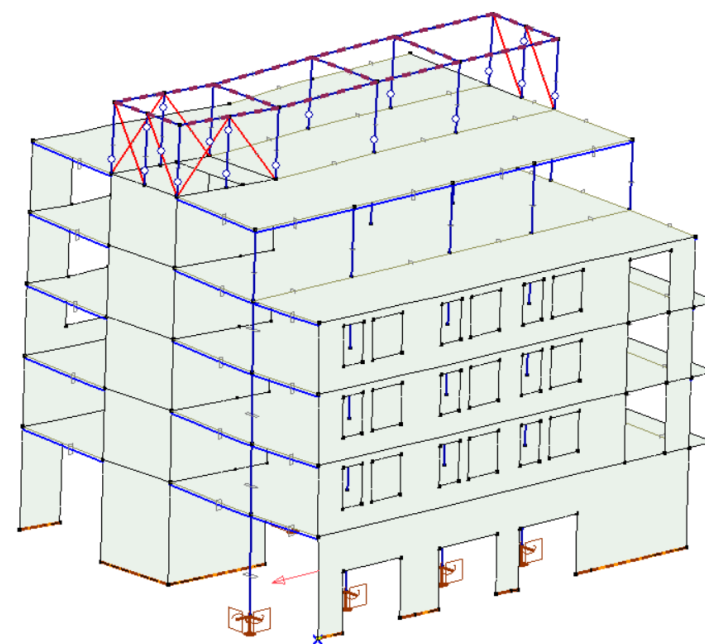
1 postać własna:

Analiza drgań własnych	
- Redukcja sztywności -	
Norma	<input checked="" type="checkbox"/> Eurokod
Przypadek	: SEISMIC
Postać	: 1 / 20
f	: 1,60 Hz
T	: 0,624 s
ω	: 10,07 rad/s
War. własna	: 101,42
Błąd	: 2,63E-8
Iteracje	: 22
Współczynniki udziału	
ϵ_x	: 0,003
ϵ_y	: 0,820
Status	: Aktywny
$\sum_i \epsilon_x$: 0,985
$\sum_i \epsilon_y$: 0,987
Skład.	: eX



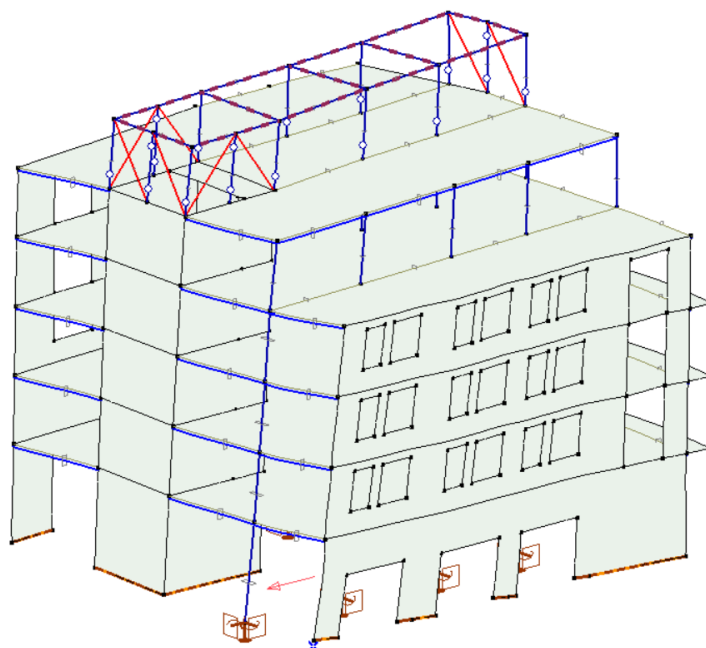
2 postać własna:

Analiza drgań własnych	
- Redukcja sztywności -	
Norma	<input checked="" type="checkbox"/> Eurokod
Przypadek	: SEISMIC
Postać	: 2 / 20
f	: 2,38 Hz
T	: 0,421 s
ω	: 14,93 rad/s
War. własna	: 222,90
Błąd	: 1,01E-8
Iteracje	: 22
Współczynniki udziału	
ϵ_x	: 0,726
ϵ_y	: 0,006
Status	: Aktywny
$\sum_i \epsilon_x$: 0,985
$\sum_i \epsilon_y$: 0,987
Skład.	: eX



3 postać własna:

Analiza drgań własnych	
- Redukcja sztywności -	
Norma	<input checked="" type="checkbox"/> Eurokod
Przypadek	: SEISMIC
Postać	: 3 / 20
f	: 3,73 Hz
T	: 0,268 s
ω	: 23,42 rad/s
War. własna	: 548,46
Błąd	: 1,75E-9
Iteracje	: 22
Współczynniki udziału	
ϵ_X	: 0,097
ϵ_Y	: 0,001
Status	: Aktywny
$\sum_i \epsilon_X$: 0,985
$\sum_i \epsilon_Y$: 0,987
Skład.	: eX



W **Panelu informacyjnym** po lewej stronie wyświetlane są informacje o postaciach, które mogą być pomocne w interpretacji wyników.

Prześledźmy te informacje dla **pierwszej postaci drgań własnych**:

Analiza drgań własnych	
- Redukcja sztywności -	
Norma	<input checked="" type="checkbox"/> Eurokod
Przypadek	: SEISMIC
Postać	: 1 / 20
f	: 1,60 Hz
T	: 0,624 s
ω	: 10,07 rad/s
War. własna	: 101,42
Błąd	: 2,63E-8
Iteracje	: 22
Współczynniki udziału	
ϵ_X	: 0,003
ϵ_Y	: 0,820
Status	: Aktywny
$\sum_i \epsilon_X$: 0,985
$\sum_i \epsilon_Y$: 0,987
Skład.	: eX

Pod tytułem **Analiza drgań własnych**, wskazano, że obliczenia zostały wykonane przy zastosowaniu **Redukcji sztywności** (patrz wcześniejsze wyjaśnienia dla tej funkcji).

Poniżej tej informacji podano odwołanie do **normy projektowej**.

W polu **Przypadek** znajduje się **przypadek obciążenia/kombinacja obciążenia** zastosowany przy analizie drgań własnych (aktualnie jest wyświetlane **SEISMIC**).

W kolejnym polu podawana jest informacja o **postaci** drgań własnych mianowicie podany jest numer porządkowy wyświetlanej postaci drgań własnych (w tym przypadku jest to **pierwsza** postać z **dwudziestu** postaci).

W kolejnym polu panelu informacyjnego, podstawowe wyniki związane z aktualną postacią drgań są zestawione (częstotliwość, okres, częstotliwość kołowa, wartość własna, błąd). Lista kończy się informacją o maksymalnej liczbie iteracji (**22**): obliczenia zostały zakończone po kroku **22**.

W polu **Współczynniki udziału** przedstawione są następujące informacje:

- współczynnik udziału w każdym kierunku (e_x lub e_y) który należy do wyświetlanej postaci drgań własnych (jeżeli składowa **Z** mas jest brana pod uwagę w analizie wtedy również się pojawi na liście).
- **Status** informuje o stanie aktywnym lub nieaktywnym wyświetlanej postaci drgań własnych – *patrz późniejsze wyjaśnienia*.
- pod parametrem **Status**, znajduje się informacja o całkowitym współczynniku udziału osiągnięta dla wszystkich postaci ustawionych jako **aktywne**. Aktualnie przekraczają wartość graniczną **90%** w obu kierunkach **x** i **y**. Między innymi dlatego żądana liczba postaci (**20**) jest wystarczająca. Nie ma konieczności wyznaczania dodatkowych (kolejnych) postaci.
- **Skład**. Przedstawia aktualną składową wyniku która jest wyświetlana (**eX**).

Przeglądarka tabel



Wyniki analizy drgań własnych przedstawiono w tabeli **Modalne współczynniki udziału** która dostępna jest w **Przeglądarce tabel**. Kliknij na ikonę **Przeglądarka tabel**.

Niezwykle ważne jest spełnienie standardowych wymagań odnoszących się do całkowitego współczynnika udziału. Norma **EN 1998-1:2008** definiuje dwa wymagania:

- (1) całkowity współczynnik udziału w każdym kierunku powinien przekraczać **90%** całkowitej masy;
- (2) wszystkie postacie drgań własnych odpowiadające współczynnikom udziału większym od **5%** masy całkowitej powinny być wzięte pod uwagę.

Sumy współczynników udziału można sprawdzić na dole listy tabeli

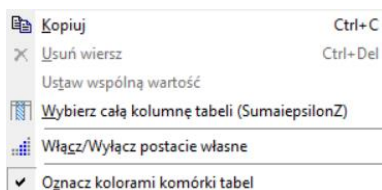
	T [s]	Błąd	e_x	e_y	e_z	$\sum e_x$	$\sum e_y$	$\sum e_z$	Aktywny
5	0,122	8,49E-10	0,062	0,008	0	0,889	0,887	0	✓
6	0,119	1,07E-9	0,005	0,084	0	0,894	0,971	0	✓
7	0,098	5,72E-10	0,077	0	0	0,971	0,971	0	✓
8	0,088	9,05E-11	0	0	0	0,971	0,971	0	✓
9	0,075	1,47E-10	0,001	0	0	0,972	0,972	0	✓
10	0,072	4,78E-10	0	0,012	0	0,972	0,984	0	✓
11	0,063	5,15E-10	0	0	0	0,972	0,984	0	✓
12	0,060	1,58E-8	0	0,002	0	0,972	0,985	0	✓
13	0,059	2,36E-9	0,012	0	0	0,984	0,985	0	✓
14	0,056	6,21E-8	0	0,001	0	0,984	0,986	0	✓
15	0,056	1,11E-7	0	0	0	0,985	0,986	0	✓
16	0,055	2,51E-7	0	0	0	0,985	0,986	0	✓
17	0,054	5,10E-7	0	0	0	0,985	0,986	0	✓
18	0,053	2,35E-6	0	0	0	0,985	0,987	0	✓
19	0,052	6,49E-6	0	0	0	0,985	0,987	0	✓
20	0,051	8,76E-6	0	0	0	0,985	0,987	0	✓
20/20			0,985	0,987	0				

Wiersze tabeli pokazują główne wyniki określonych postaci drgań własnych i odpowiadające im współczynniki udziału. Kolumny nazwane $S_i e_x$, $S_i e_y$ i $S_i e_z$ pokazują zsumowany współczynnik udziału masy w głównych kierunkach, ale sumowane są tylko wyniki postaci drgań ze statusem **aktywne**.

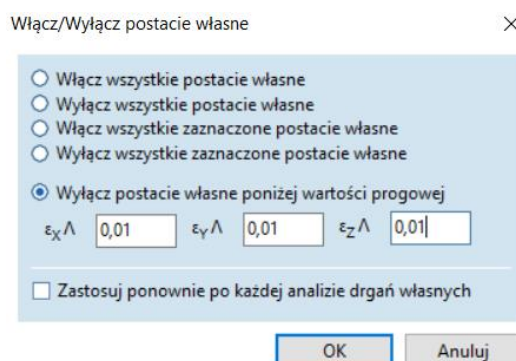
Wśród postaci drgań własnych jest wiele postaci dla których współczynnik udziału jest pomijalny (tj. mniejszy od 0,01). Pomijalne postacie mogą mieć zmieniony status na nieaktywny. Upewnij się, że całkowity współczynnik udziału masy w każdym kierunku nie jest niższy od ustalonego normowego limitu 0,90 (90%). Nieaktywne postacie będą pominięte w analizie sejsmicznej. (Należy pamiętać, że pominięcie niektórych postaci drgań własnych proporcjonalnie zmniejsza całkowite obciążenie sejsmiczne.)

Każda postać drgań własnych która jest określona jako aktywna spowoduje jeden lub dwa przypadki obciążenia dla każdego kierunku (nawet jeśli uwzględnimy efekt skręcenia). Dlatego jeśli jest wiele postaci drgań własnych zaleca się ich filtrowanie. W ten sposób można znacząco zmniejszyć liczbę przypadków obciążeń i wymagany czas obliczeń.

Aktywny status postaci drgań własnych można zmieniać na dwa sposoby. Możemy przejść kolejno przez każdy wiersz, na końcu których status bieżącej postaci drgań własnych można zmodyfikować klikając odpowiednie pole. Alternatywnie można kliknąć prawym przyciskiem myszy będąc kursorem w polu tabeli. Zostanie wyświetlone okno dialogowe w którym między innymi będzie możliwa do wybrania funkcja **Włącz/wyłącz postacie własne**.



Po kliknięciu **Włącz/Wyłącz postacie własne** zostanie wyświetlone kolejne okno, gdzie można ustawić kilka kryteriów filtrowania, patrz rysunek poniżej. Na przykład postacie własne, które mają postacie własne poniżej określonej wartości progowej można wyłączyć (dla każdego kierunku można ustawić inną wartość progową). Wykorzystajmy tę funkcję, zastosuj kryterium **1%** dla obu kierunków (w naszym przypadku wystarczy wprowadzenie kryterium dla kierunku **x** i **y**).



Zaznacz dodatkowo funkcję **Zastosuj ponownie po każdej analizie drgań własnych**. Jeśli z jakiegokolwiek powodu zostaną wykonane nowe obliczenia, ustawiona procedura filtrowania zostanie wykonana automatycznie. Nie zapomnij sprawdzić wartości całkowitego współczynnika udziału w głównych kierunkach.

Kliknij **OK**, żeby zamknąć okno dialogowe. Teraz sprawdź wyniki i całkowity współczynnik udziału w każdym kierunku:

	T [s]	Błąd	ε_x	ε_y	ε_z	$\Sigma \varepsilon_x$	$\Sigma \varepsilon_y$	$\Sigma \varepsilon_z$	Aktywny
1	0,634	2,63E-8	0,003	0,820	0	0,003	0,820	0	✓
2	0,421	1,01E-8	0,726	0,006	0	0,729	0,825	0	✓
3	0,268	1,75E-9	0,097	0,001	0	0,826	0,827	0	✓
4	0,140	1,26E-9	0	0,052	0	0,826	0,879	0	✓
5	0,122	8,48E-10	0,062	0,008	0	0,889	0,887	0	✓
6	0,119	1,07E-9	0,005	0,084	0	0,894	0,971	0	✓
7	0,098	5,72E-10	0,077	0	0	0,971	0,971	0	✓
8	0,088	9,05E-11	0	0	0				
9	0,075	1,47E-10	0,001	0	0				
10	0,072	4,78E-10	0	0,012	0	0,971	0,983	0	✓
11	0,063	5,15E-10	0	0	0				
12	0,060	1,58E-8	0	0,002	0				
13	0,059	2,36E-9	0,012	0	0	0,983	0,983	0	✓
14	0,056	6,21E-8	0	0,001	0				
15	0,056	1,11E-7	0	0	0				
16	0,055	2,51E-7	0	0	0				
17	0,054	5,10E-7	0	0	0				
18	0,053	2,35E-6	0	0	0				

Wymagania są spełnione dla 9 aktywnych postaci drgań.

Przjrzyjmy się im bliżej. Liczba aktywnych postaci własnych może być nadal zmniejszona. Na podstawie otrzymanych wyników pierwsze siedem postaci wystarczyłoby do spełnienia wymagane limitu 90%, więc pozostałe 2 postaci drgań własnych mogą być pominięte:

Przeglądarka tabel

Plik Edycja Format Raport Pomoc

SEISMIC

- Częstości drgań własnych (20)
- Masy węzłowe
- Modalne współczynniki udziału (20)
- Masy aktywowane (20)
- Postać 1 (1,60 Hz)
- Postać 2 (2,38 Hz)
- Postać 3 (3,73 Hz)
- Postać 4 (7,17 Hz)
- Postać 5 (8,22 Hz)
- Postać 6 (8,40 Hz)
- Postać 7 (10,24 Hz)
- Postać 8 (11,31 Hz)
- Postać 9 (13,31 Hz)
- Postać 10 (13,98 Hz)
- Postać 11 (15,75 Hz)
- Postać 12 (16,78 Hz)
- Postać 13 (16,92 Hz)
- Postać 14 (17,85 Hz)
- Postać 15 (17,99 Hz)
- Postać 16 (18,13 Hz)
- Postać 17 (18,38 Hz)
- Postać 18 (18,98 Hz)
- Postać 19 (19,25 Hz)
- Postać 20 (19,45 Hz)
- Wszystkie postaci własne (20)

BIBLIOTEKI

Modalne współczynniki udziału (I.) [SEISMIC]

	T [s]	Błąd	ϵ_K	ϵ_Y	ϵ_Z	$\Sigma \epsilon_K$	$\Sigma \epsilon_Y$	$\Sigma \epsilon_Z$	Aktywny
1	0,624	2,63E-8	0,003	0,820	0	0,003	0,820	0	✓
2	0,421	1,01E-8	0,726	0,006	0	0,729	0,825	0	✓
3	0,268	1,75E-9	0,097	0,001	0	0,826	0,827	0	✓
4	0,140	1,26E-9	0	0,052	0	0,826	0,879	0	✓
5	0,122	8,48E-10	0,062	0,008	0	0,889	0,887	0	✓
6	0,119	1,07E-9	0,005	0,084	0	0,894	0,971	0	✓
7	0,098	5,72E-10	0,077	0	0	0,971	0,971	0	✓
8	0,088	9,05E-11	0	0	0				
9	0,075	1,47E-10	0,001	0	0				
10	0,072	4,78E-10	0	0,012	0				
11	0,063	5,15E-10	0	0	0				
12	0,060	1,58E-8	0	0,002	0				
13	0,059	2,36E-9	0,012	0	0				
14	0,056	6,21E-8	0	0,001	0				
15	0,056	1,11E-7	0	0	0				
16	0,055	2,51E-7	0	0	0				
17	0,054	5,10E-7	0	0	0				
18	0,053	2,35E-6	0	0	0				
19	0,052	6,49E-6	0	0	0				
20	0,051	8,76E-6	0	0	0				
7/20			0,971	0,971	0				

OK Anuluj

Wróćmy do poprzedniego ustawienia (pomiń ostatnie filtrowanie).

Na liście rozwijanej po lewej stronie, znajduje się tabela **Częstotliwości drgań własnych**. Ta tabela zawiera ogólne informacje o częstotliwości drgań własnych, okresie, częstości kołowej, wartości własnej i błędzie dla każdej postaci.

Przeglądarka tabel

Plik Edycja Format Raport Pomoc

Drgania własne (I-go rzędu)

SEISMIC

- Częstości drgań własnych (20)
- Masy węzłowe
- Modalne współczynniki udziału (20)
- Masy aktywowane (20)
- Postać 1 (1,60 Hz)
- Postać 2 (2,38 Hz)
- Postać 3 (3,73 Hz)
- Postać 4 (7,17 Hz)
- Postać 5 (8,22 Hz)
- Postać 6 (8,40 Hz)
- Postać 7 (10,24 Hz)
- Postać 8 (11,31 Hz)
- Postać 9 (13,31 Hz)
- Postać 10 (13,98 Hz)
- Postać 11 (15,75 Hz)
- Postać 12 (16,78 Hz)
- Postać 13 (16,92 Hz)
- Postać 14 (17,85 Hz)
- Postać 15 (17,99 Hz)
- Postać 16 (18,13 Hz)
- Postać 17 (18,38 Hz)
- Postać 18 (18,98 Hz)
- Postać 19 (19,25 Hz)
- Postać 20 (19,45 Hz)

BIBLIOTEKI

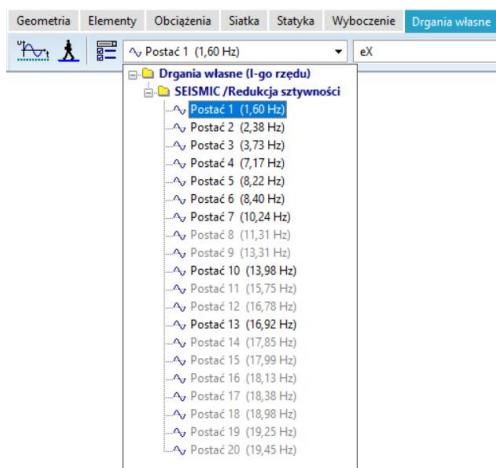
Częstości drgań własnych (I.) [SEISMIC]

	f [Hz]	T [s]	ω [rad/s]	War. własna	Błąd
1	1,60	0,624	10,07	101,42	2,63E-8
2	2,38	0,421	14,93	222,90	1,01E-8
3	3,73	0,268	23,42	548,46	1,75E-9
4	7,17	0,140	45,03	2027,57	1,26E-9
5	8,22	0,122	51,67	2670,21	8,48E-10
6	8,40	0,119	52,80	2787,76	1,07E-9
7	10,24	0,098	64,35	4140,87	5,72E-10
8	11,31	0,088	71,07	5051,47	9,05E-11
9	13,31	0,075	83,64	6996,46	1,47E-10
10	13,98	0,072	87,83	7714,61	4,78E-10
11	15,75	0,063	98,97	9795,53	5,15E-10
12	16,78	0,060	105,43	11114,50	1,58E-8
13	16,92	0,059	106,33	11306,34	2,36E-9
14	17,85	0,056	112,14	12575,58	6,21E-8
15	17,99	0,056	113,06	12782,47	1,11E-7
16	18,13	0,055	113,93	12980,67	2,51E-7
17	18,38	0,054	115,46	13330,38	5,10E-7
18	18,98	0,053	119,22	14214,49	2,35E-6
19	19,25	0,052	120,92	14622,17	6,49E-6
20	19,45	0,051	122,19	14930,50	8,76E-6

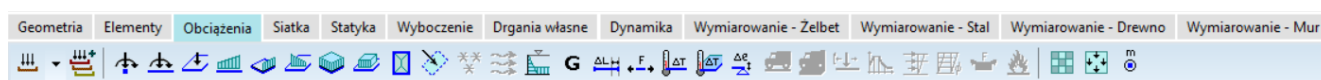
OK Anuluj

Zamknij **Przeglądarkę tabel**. Kliknij **OK**, aby potwierdzić ustawienia filtrowania.

W głównym oknie, rozwin listę zawierającą wyniki postaci drgań własnych. Z powodu zastosowania kryteriów filtrowania niektóre postaci drgań są wyszarzone co oznacza, że są **nieaktywne**. Status postaci **aktywny** lub **nieaktywny** jest wyświetlany w **Panelu informacyjnym**.



Ustawiając niezbędne kryteria filtrowania, wróć na zakładkę **Obciążenia**, aby wygenerować obciążenie sejsmiczne na podstawie wyników analizy drgań własnych.



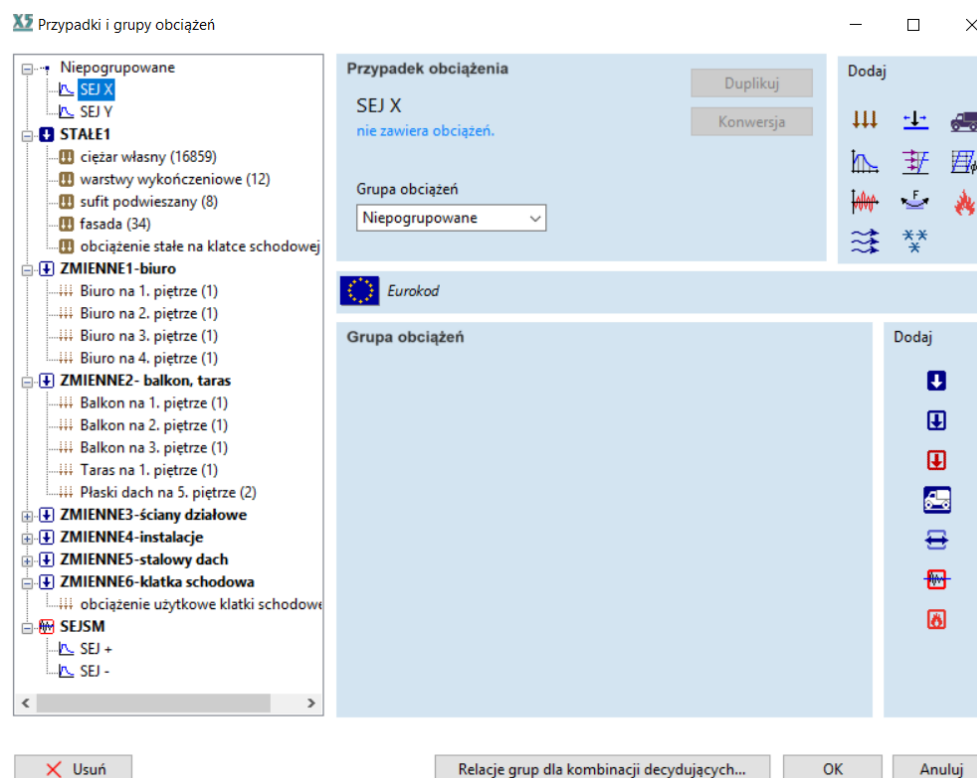
Przypadki i grupy obciążeń



Kliknij na ikonę Przypadki i grupy obciążenia a następnie zdefiniuj nowy przypadek obciążenia **Sejsmicznego**.

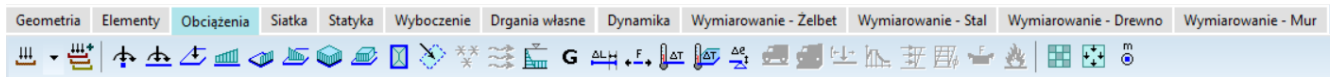
W panelu **Dodaj** kliknij ikonę, która symbolizuje krzywą spektrum odpowiedzi. W rezultacie program tworzy dwa nie pogrupowane przypadki o nazwach **SEJ X**, **SEJ Y** a także nową grupę obciążenia **SEJSM**. Grupa ta zawiera dwa przypadki obciążenia **SEJ +** i **SEJ -**.

Sejsmiczne



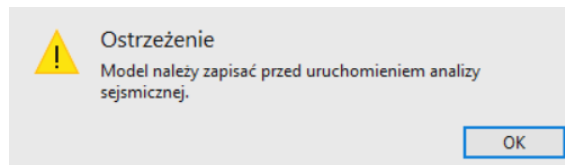
Program automatycznie wygeneruje inne przypadki obciążeń niezbędne do analizy po ustawieniu parametrów sejsmicznych. Zatwierdź zmiany klikając przycisk **OK**.

Program automatycznie ustawi przypadek **SEJ X** jako bieżący przypadek obciążenia. Ikona **obciążenia sejsmicznego** będzie dostępna na zakładce **Obciążenia** (ta funkcja jest aktywna tylko wtedy, gdy wybrano przypadek obciążenia typu sejsmicznego).



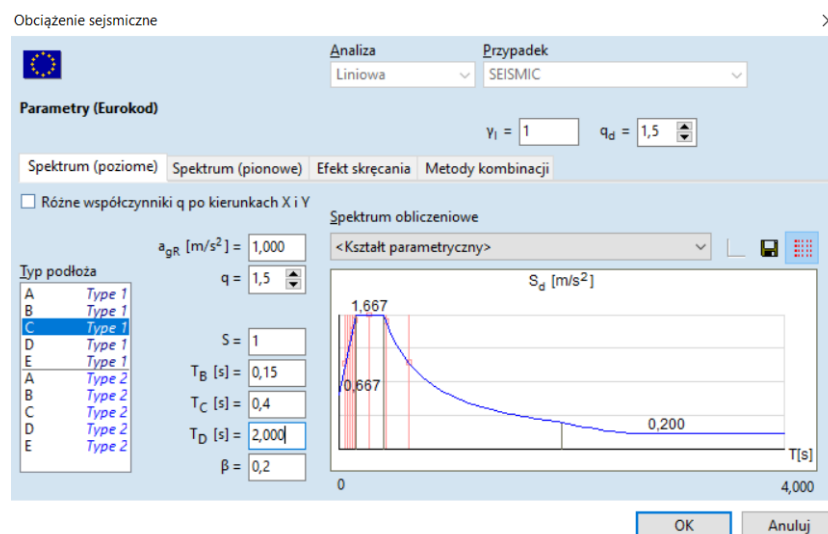
Obciążenie sejsmiczne

Kliknij na ikonę **Obciążenie sejsmiczne**, żeby ustawić parametry obciążenia sejsmicznego. Zostanie wyświetlony komunikat ostrzegawczy:



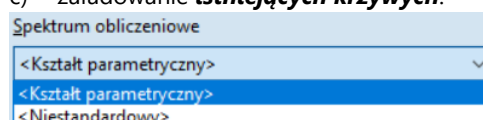
Kliknij **OK** a następnie zapisz model.

Po zapisaniu modelu zostanie wyświetlone okno **Obciążenia sejsmicznego**:



Dostosuj wymagane parametry dla naszego przykładu zgodnie z informacjami podanymi poniżej:

- w polu **Analiza** można wybrać rodzaj analizy drgań, ale tylko z tych, które zostały już wykonane: może to być analiza **Liniowa** / **Nieliniowa** (patrz **Podręcznik użytkownika** w przypadku nieliniowej analizy drgań własnych). Ta funkcja jest teraz nieaktywna, ponieważ tylko jedna, liniowa analiza została przeprowadzona stąd nie ma wyboru.
- obok pola **Analiza**, znajduje się pole **Przypadek**, gdzie można wybrać przypadek obciążenia lub kombinację obciążenia, które zostały uwzględnione w analizie drgań własnych. W naszym przypadku tylko jedna analiza została przeprowadzona (dla kombinacji obciążenia **SEISMIC**) i dlatego ten przypadek został wybrany automatycznie. Pole zostało wyszarzone.
- pod polem **Przypadek** znajduje się pole edycji **Współczynnika ważności** (g_1). Domyślnie przyjmuje on wartość **1**.
- obok pola **Współczynnik ważności** znajduje się pole **Współczynnik zachowania przy przemieszczeniu** który powinien być ustalony zgodnie z normą (**EN 1998-1:2008-1 4.3.4 (1)**). Wprowadź wartość **1,50**, co odpowiadałoby będzie **Współczynnikowi zachowania** który zostanie omówiony poniżej.
- na zakładce **Spektrum (poziome)** widmo odpowiedzi może być zdefiniowane. W ramach **Spektrum obliczeniowego** jest kilka opcji wyboru:
 - a) zastosowanie krzywej widma odpowiedzi w funkcji **kształtu parametrycznego** w oparciu o regulacje normowe,
 - b) zastosowanie widma **Niestandardowego**,
 - c) załadowanie **istniejących krzywych**.



Edytor funkcji
spektralnej...

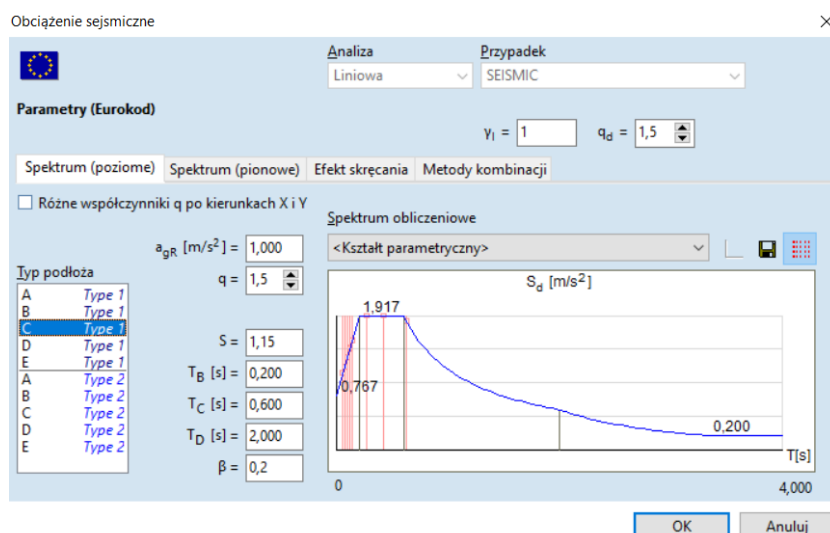


Wybierając widmo (spectrum) **Niestandardowe**, ikona **Edytor funkcji spektralnej** staje się aktywna. Widmo można określić za pomocą formuły lub wklejając do komórek tabeli całą serię danych (np. kopiując dane z programu **Excel** zachowując format tabeli programu **AxisVM**). Wykorzystanie edytora nie będzie przedstawiane (aby uzyskać więcej informacji, patrz odpowiedni rozdział w **Podręczniku użytkownika**).

Poniżej zdefiniujemy **Kształt parametryczny**. Parametry, które należy podać, znajdują się po lewej stronie (definiując niestandardowe widmo lub wczytując istniejące pola edycyjne po lewej stronie zostaną wyłączone).

- wartość referencyjnej szczytowej wartości przyspieszenia podłoża wynosi **1,0 m/s²**, a współczynnik zachowania **1,50**.
Jeśli jest to uzasadnione koncepcją strukturalną, **współczynnik zachowania q** można zastosować po kierunku **X** i **Y**. W tym przypadku, należy zaznaczyć pole wyboru w górnym lewym rogu, aby umożliwić edycję różnych parametrów. Nie zaznaczaj tej opcji, ponieważ w naszym przykładzie jednakowy współczynnik będzie zastosowany dla obu kierunków.
- z lewej strony zgodnie z klasyfikacją normową może być zdefiniowany **typ podłoża (A...E)** oraz **typ widma reakcji na trzęsienie ziemi (Typ 1 lub Typ 2)**. Według podstawowych danych, widmo **Typu 1** i podłoże klasy **C** powinny być zastosowane. Wybierz odpowiedni wiersz na liście: **C Typ 1**.

Zmieniając parametry, program na bieżąco wyświetla krzywą spektrum odpowiedzi po prawej stronie, wskazując główne charakterystyczne wartości przyspieszenia (**S_d**).



Zapisz spektrum
jako ...



Linie pomocnicze



Główne parametry krzywej standardowej (**S**, **T_B**, **T_C**, **T_D**, **b**) są wyświetlone pod **współczynnikiem zachowania**. W razie potrzeby wartości te można również zmodyfikować, a krzywą wynikową można zapisać klikając przycisk **Zapisz spektrum jako...**

Na krzywej spektrum odpowiedzi, wyświetlone są **czerwone linie pomocnicze** które przedstawiają okres dla wyznaczonych postaci własnych. Podają informacje o zakresie wartości przyspieszeń, które zostaną wykorzystane do generowania obciążeń sejsmicznych. Klikając ikonę znajdującą się obok ikony **Zapisz spektrum jako...** linie pomocnicze mogą być wyłączone

Po ustawieniu powyższych parametrów, przejdź na zakładkę **Spektrum (pionowe)**. Jeśli jest to konieczne i uzasadnione na podstawie typu oczekiwanego trzęsienia ziemi, można również rozważyć składową pionową trzęsienia ziemi, ustawiając odpowiednie parametry na tej karcie. Dane wprowadza się analogicznie jak dla spektrum (poziomego). W naszym przykładzie składowa pionowa będzie pominięta.

Obciążenie sejsmiczne

Analiza: Liniowa Przypadek: SEISMIC

Parametry (Eurokod)

$\gamma_l = 1$ $q_d = 1,5$

Spektrum (poziome) Spektrum (pionowe) **Efekt skrećania** Metody kombinacji

☐ Przyspieszenie pionowe

Spektrum obliczeniowe: <Kształt parametryczny>

Typ podłoża

A	Type 1
B	Type 1
C	Type 1
D	Type 1
E	Type 1
A	Type 2
B	Type 2
C	Type 2
D	Type 2
E	Type 2

$a_{vgR} [m/s^2] = 0,900$ $q_v = 1,5$

$S = 1$

$T_B [s] = 0,050$

$T_C [s] = 0,150$

$T_D [s] = 1,000$

$\beta = 0,2$

OK Anuluj

Przejdź na zakładkę **Efekt skrećania**, a następnie zdefiniuj niezbędne parametry:

Na początku zaznacz pole wyboru (**Zastosuj efekt skrećania**) w lewym górnym rogu.

Zgodnie z zaleceniami normy **Współczynnik niezamierzonego mimośrod** powinien wynosić **0,05**. Jest to wartość domyślna. Nie zmieniaj jej.

W następnym kroku, kondygnacje (do którego zostaną przypisane obciążenia mimośrodowe) muszą być określone.

Jeśli w modelu istnieją kondygnacje/piętra (patrz wcześniejsze ustawienia), lista będzie automatycznie uzupełniona, patrz rysunek poniżej. W razie potrzeby wygenerowaną listę można zmodyfikować (niezależnie od pięter, których rolą jest wyświetlanie fragmentów modelu): elementy można usunąć (**Usuń**) lub dodać. Nowe piętra można dodawać do listy na różne sposoby:

Ustaw określoną wysokość w polu **Z[m]** a następnie kliknij ikonę **Dodaj**, aby wstawiać piętra na listę jeden po drugim. Można również użyć funkcji **Pobierz z...**. Wtedy punkty wysokości pięter muszą być wskazane kursorem w głównym oknie. Za pomocą tej funkcji można jednocześnie wskazać więcej niż jeden punkt (kondygnacja).

Obciążenie sejsmiczne

Analiza: Liniowa Przypadek: SEISMIC

Parametry (Eurokod)

$\gamma_l = 1$ $q_d = 1,5$

Spektrum (poziome) Spektrum (pionowe) **Efekt skrećania** Metody kombinacji

☒ Zastosuj efekt skrećania

Współczynnik mimośrod niezamierzony = 0,05

Kondygnacje	Z[m]
Piętro [6]	+22,500
Piętro [5]	+19,000
Piętro [4]	+15,500
Piętro [3]	+12,000
Piętro [2]	+8,500
Piętro [1]	+5,000
Parter	0

Z [m] = 22,500

Dodaj

Usuń

Pobierz z... >>

OK Anuluj

Uzupełnione automatycznie kondygnacje są poprawne. Nie modyfikuj danych.

Przejdź na zakładkę **Metody kombinacji**.

Ostatnia zakładka w oknie dialogowym **Obciążenie sejsmiczne** daje kontrolę nad kombinacją wyników dla poszczególnych postaci i poszczególnych kierunków.

Wyniki z poszczególnych postaci można łączyć za pomocą jednej z poniższych metod:

pierwiastek kwadratowy sumy kwadratów ang. *Square Root of Sum of Squares (SRSS)*,
całkowita kombinacja kwadratowa ang. *Complete Quadratic Combination (CQC)*.

Ten ostatni sposób uważany jest za bardziej odpowiedni, jeśli postacie drgań konstrukcji nie są wyraźnie oddzielone (tj. częstotliwości drgań są blisko siebie).

Wybór automatycznej opcji pozwala programowi zadecydować, czy zastosowanie metody **CQC** jest uzasadnione wynikami analizy modalnej. Program traktuje postacie **i** oraz **j** jako wyraźnie oddzielone, jeśli zachodzi następujący warunek: $T_j / T_i < 0,9$.

Ostatnia opcja jest domyślna, **nie zmieniaj tego w naszym przykładzie**.

Wartości **tłumienia lepkiego α'** można również ustawić. Wartością domyślną jest **0,05**. Nie trzeba tego zmieniać w naszym przykładzie.

Wyniki w dwóch kierunkach poziomych i kierunku pionowym można łączyć ze sobą, używając jednej z dwóch powszechnie używanych metod kombinacji wyświetlanych w oknie dialogowym. Użyj ustawienia domyślnego, jak pokazano poniżej:

Obciążenie sejsmiczne

Analiza: Liniowa Przypadek: SEISMIC

Parametry (Eurokod)

$v_1 = 1$ $q_d = 1,5$

Spektrum (poziome) | Spektrum (pionowe) | Efekt skrećania | Metody kombinacji

Kombinacja odpowiedzi modalnych

☒ Automatycznie

☐ $E = \sqrt{\sum_i E_i^2}$ (SRSS)

☐ $E = \sqrt{\sum_{i,j} E_i r_{ij} E_j}$ (CQC) $\xi' = 0,05$

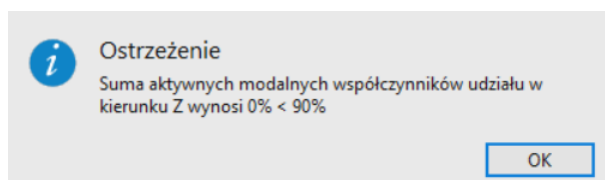
Kombinacja komponentów oddziaływania sejsmicznego

☒ $E_{\max} = \sqrt{E_X^2 + E_Y^2 + E_Z^2}$

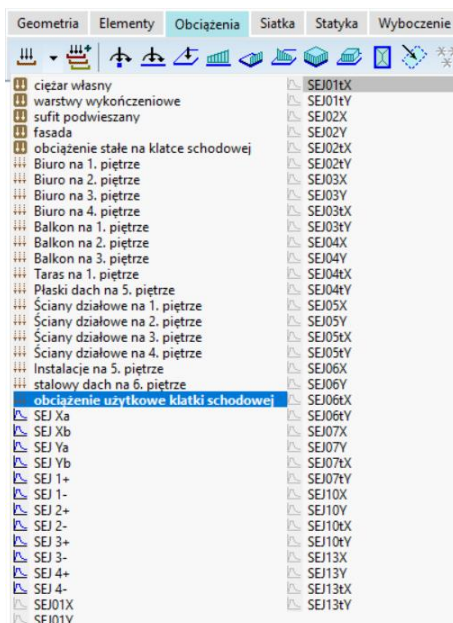
☐ $E_{\max} = \max \begin{cases} E_X + 0,3E_Y + 0,3E_Z \\ 0,3E_X + E_Y + 0,3E_Z \\ 0,3E_X + 0,3E_Y + E_Z \end{cases}$

OK Anuluj

Zakończ wprowadzanie danych klikając przycisk **OK**. Zostanie wyświetlony komunikat (ostrzeżenie) o braku wymaganych modalnych współczynników udziału w kierunku **Z** (raport wskazuje **0%** ponieważ składowa pionowa mas nie była uwzględniona w naszej analizie drgań własnych).



Ponieważ składowa pionowa (globalny **Z**) nie jest uwzględniana, komunikat ten może być pominięty. Przejdź dalej klikając przycisk **OK**. Następnie oprogramowanie generuje przypadki obciążeń dla każdej postaci i kierunku zgodnie z ustawieniami określonymi przez użytkownika.



Do tych przypadków obciążenia stosuje się następującą konwencję nazewnictwa:

Obciążenia zakończone na **01X, 02X, ..., nX, 01Y, 02Y, ..., nY, 01Z, 02Z, ..., nZ** są ekwiwalentnymi siłami w kierunku **X, Y** lub **Z** odpowiadającym poszczególnym postaciom własnym.

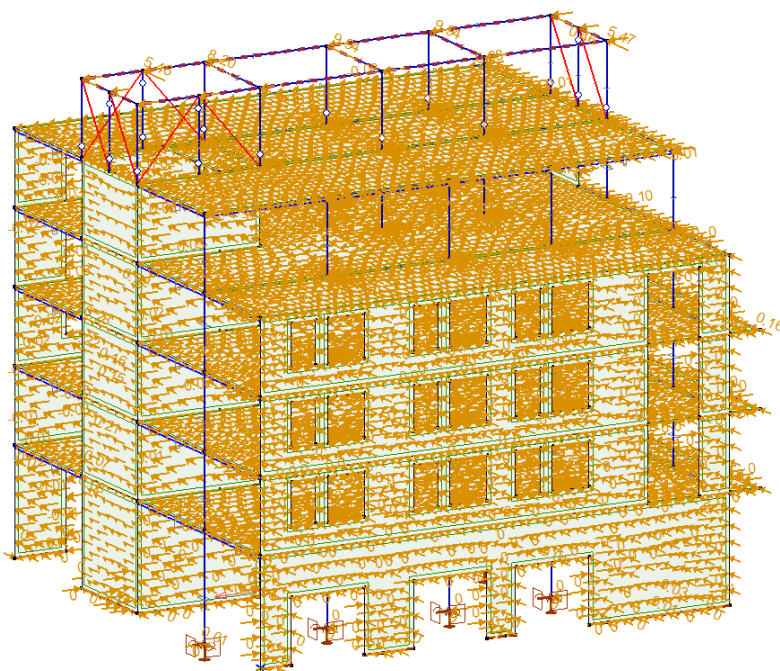
Obciążenia zakończone na **01tX, 02tX, ..., ntX, 01tY, 02tY, ..., ntY** są momentami skręcającymi spowodowanymi przypadkowym mimośrodem w kierunku **X** lub **Y**.

Uwaga: w naszym przykładzie, **9** postaci drgań zaznaczono jako aktywne. Uwzględniając obciążenia sejsmiczne w kierunku **X** i **Y** oraz ich efekt program generuje $2 \times (1 + 1) = 4$ przypadki dla każdej postaci. W sumie $9 \times 4 = 36$ przypadki obciążenia zostały wygenerowane.

(Wcześniej wspominaliśmy, że **7** postaci drgań będzie wystarczające ze względu na wymagania normowe. W takim przypadku wystarczyłoby **28** przypadków obciążenia.)

Z listy przypadków obciążenia wybierz **SEJ01Y** i włącz wyświetlanie obciążeń.

Program wyświetli skupione obciążenia sejsmiczne w węzłach (również wewnętrzne węzły siatki) które zostały przypisane do bieżącego przypadku obciążenia:



Jeśli obciążenie węzłowe jest względnie „małe”, wartość skoncentrowanego obciążenia może wydawać się „zerowa” w zależności od wyświetlanych miejsc po przecinku. W razie potrzeby zmodyfikuj ułamki dziesiętne przypisane do jednostek (**Obciążenia**) aby wyświetlić więcej miejsc po przecinku. Funkcja znajdziesz w: **Ustawienia/Jednostki i formaty/Obciążenia**.

Szablon jednostek: EU Zapisz jako... Usuń

Obciążenia

	Jednostka	Dzies.
Siła	kN	2
Moment	kNm	2
Siła liniowa	kN/m	2
Moment liniowy	kNm/m	2
Siła powierzchniowa	kN/m ²	2
Temperatura	°C	1
Zmiana temperatury	°C	1
Współczynnik częściowy		3
Współczynnik kombinacji obciążeń		2
Względne położenie obciążenia		3
Gęstość obciążenia ogniowego	MJ/m ²	3
Ciepło właściwe	J/kg/°C	3
Przewodność cieplna	W/m/°C	3
Wskaźnik przekroju	1/m	1
Czas trwania pożaru	min.	1
Prędkość zwęglania drewna	mm/min.	1

☐ Bieżące ustawienia jako domyślne OK Anuluj

Uwaga: jeśli siatka lub jej część zostanie usunięta z powodu jakiejkolwiek modyfikacji, wówczas obciążenie sejsmiczne również zostanie usunięte.

Inne generowane przypadki obciążeń są zarezerwowane dla wyników, poniższe służą do ich wyjaśnienia:

W celu uzyskania obliczeniowego oddziaływania sejsmicznego dla rozważanej konstrukcji analiza spektrum odpowiedzi modalnej wykorzystuje kombinację wyników z liniowej analizy statycznej. Po utworzeniu przypadków obciążeń dla każdej postaci drgań w każdym kierunku, następnym etapem procedury **MRSA** jest przeprowadzenie liniowych analiz statycznych. Program automatycznie obliczy oddziaływanie każdej postaci w każdym kierunku i połączy te oddziaływania zgodnie z ustawieniami wybranymi w oknie dialogowym **Obciążenie sejsmiczne**.

Po przeprowadzeniu liniowych analiz statycznych na liście z wynikami na zakładce **Statyka** znajdzie się kilka przypadków obciążenia sejsmicznego. Stosowana jest następująca konwencja nazewnictwa dla przypadków obciążenia sejsmicznego:

Oprócz przypadków obciążenia odpowiadających poszczególnym postaciom, istnieją dwa typy dodatkowych wyników. Nazwy przypadków obciążeń kończących się na **X**, **Y** lub **Z** zawierają łączną odpowiedź z wyników analizy modalnej w kierunku **X**, **Y** lub **Z**. Jeśli rozważany jest również mimośród przypadkowy, to w nazwach przypadków obciążeń odpowiadających kierunkom poziomym znajdzie się dodatkowa litera **a** lub **b**. Litera **a** lub **b** odpowiada efektem skręcania, odpowiednio z dodatnim lub ujemnym mimośrodem. Na przykład **Ya** jest połączeniem wyników z analizy modalnej w kierunku **Y** z uwzględnieniem wpływu dodatniej mimośrodowości mas sejsmicznych w kierunku **X**.

Połączenie przypadków obciążeń po kierunkach **X**, **Y**, **Z** jest wykonywane przez program automatycznie. Taka kombinacja daje pojedynczy, jednomyślny wynik, jeśli nie ma przypadkowego mimośrodu. Jeśli zadana jest mimośrodowość przypadkowa, to kombinacja efektów z kilku kierunków nie jest tak jednoznaczna. W programie uwzględniono cztery podstawowe przypadki, w zależności od kierunku mimośrodu w przypadkach obciążeń **X** oraz **Y**. Każda z następujących kombinacji jest tworzona i przechowywana w danym przypadku obciążenia o nazwie zakończonej określoną liczbą:

$$\begin{aligned}
 1 &= X_a + Y_a + Z \\
 2 &= X_a + Y_b + Z \\
 3 &= X_b + Y_a + Z \\
 4 &= X_b + Y_b + Z
 \end{aligned}$$

Wyniki analizy **MRSA** są z definicji wartościami bezwzględnymi. W związku z tym, powyższe przypadki obciążeń będą zawierać tylko wartości dodatnie. Najmniej korzystnym scenariuszem obciążenia jest

kombinacja oddziaływań sejsmicznych i oddziaływań pochodzących z innych źródeł, takich jak obciążenie grawitacyjne. Utworzenie takiej kombinacji obciążeń w programie jest ułatwione, poprzez uwzględnienie dwóch przypadków obciążeń dla każdego obciążenia sejsmicznego: oddziaływania sejsmiczne z wartościami tylko dodatnimi i tylko ujemnymi (oznaczone odpowiednio ze znakiem + oraz – na końcu nazwy przypadku obciążenia). Warto zwrócić uwagę, że wartości bezwzględne odpowiadających odpowiedzi (siły wewnętrzne, przemieszczenia itd.) są identyczne zarówno w przypadku obciążenia + jak i –.

Uwaga: Wyniki przemieszczeń pokazywane na zakładce **Statyka** są automatycznie przeskalowywane przez współczynnik q_d , określony w oknie dialogowym **Obciążenie sejsmiczne**.

Przeglądarka tabel



Sprawdźmy ustawione parametry trzęsienia ziemi.

Kliknij na ikonę **Przeglądarka tabel**. Z lewej strony wyświetlonego okna dialogowego znajdź **Parametry sejsmiczne**:

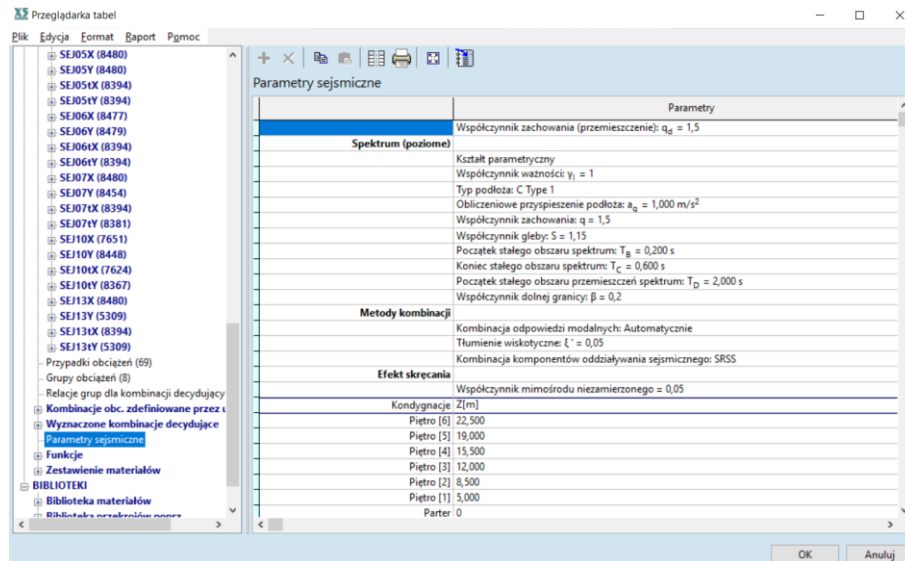
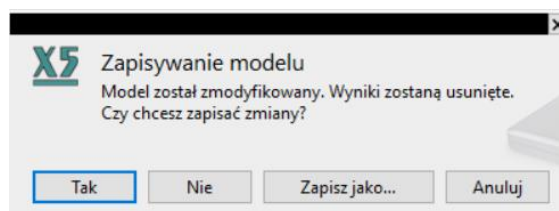


Tabela po prawej pokazuje ustawione wcześniej parametry sejsmiczne.

Model jest gotowy do przeprowadzenia analizy sejsmicznej.

Przejdź na zakładkę **Statyka**. Zostanie wyświetlone okno dialogowe z ostrzeżeniem, aby zapisać model przed rozpoczęciem analizy (wcześniejsze wyniki obliczeń statycznych zostaną usunięte).

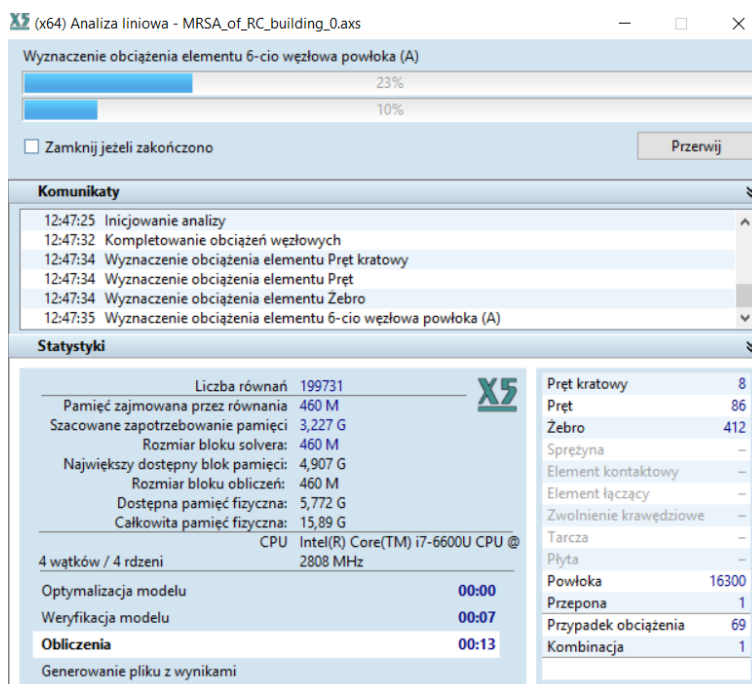


Kliknij **Tak** i zapisz model.

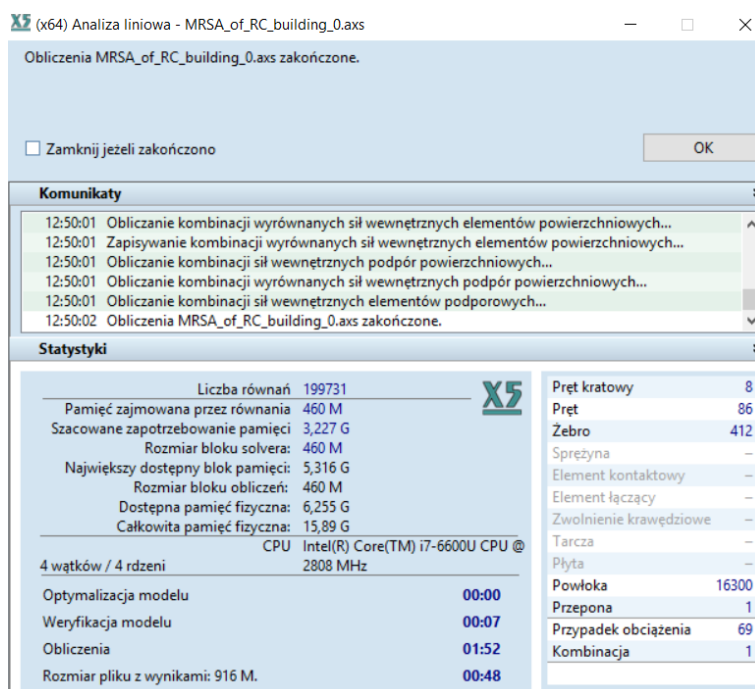
Liniowa analiza statyczna



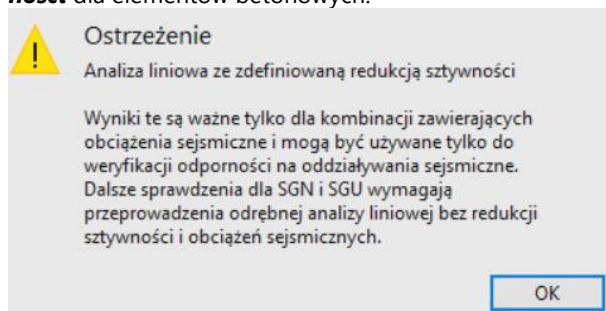
Następnie kliknij ikonę **Liniowa analiza statyczna**. Obliczenia zostaną rozpoczęte.



Podczas analizy program podaje informacje o aktualnych krokach obliczeń, liczbie równań, dostępnej pamięci itp. w zwykły sposób. Po zakończeniu analizy kliknij przycisk **OK**, aby zamknąć okno i powrócić do okna głównego.



Program wyświetla komunikat o poprawności wyników, ponieważ wcześniej zastosowano **redukcję sztywności** dla elementów betonowych.



Zapamiętaj tę informację i kontynuuj klikając przycisk **OK**.

Parametry wyświetlania wyników



Biorąc powyższe pod uwagę, stwórzmy decydujące kombinacje obciążenia sejsmicznego. Kliknij na ikonę **Parametry wyświetlania wyników**. Zostanie wyświetlone poniższe okno:

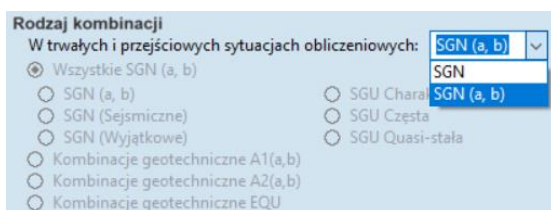
The screenshot shows the 'Parametry wyświetlania' window with the 'Przypadek' tab selected. The 'Przypadek obciążenia' dropdown is set to 'ciężar własny'. The 'Komponent' dropdown is set to 'N_x [kN]'. The 'Współczynnik skali' is set to 1. The 'Tryb prezentacji' dropdown is set to 'Brak'. The 'Wyświetl kształt' buttons are 'Nie zdeform.' and 'Zdeform.'. The 'Autoskalowanie przemieszczeń' checkbox is checked. The 'Przypisz wartości do' section has 'węzłów', 'linii', and 'powierzchni' checkboxes, with 'Tylko Min/Max' checked. The 'Utnij wierzchołki momentów nad słupami' checkbox is checked. The 'Odsiewaj wszystko' checkbox is unchecked. The 'Wycinki po liniach' section has 'Rysuj wykres w płaszczyźnie elementów' unchecked and 'Rysuj kontur dla płaszczyzny wycin.' checked. The 'OK' and 'Anuluj' buttons are at the bottom right.

Kliknij na przycisk nagłówka **Decydująca**. Rodzaje kombinacji wyników pojawią się po lewej stronie okna. Domyślnie **Decydująca kombinacja** jest ustawiona na **Automatyczne**. Zawiera ona kombinacje **SGN** (stan graniczny nośności). W tym zestawie wyników znajdują się wyniki analizy statycznej i sejsmicznej. Rozdzielmy te wyniki.

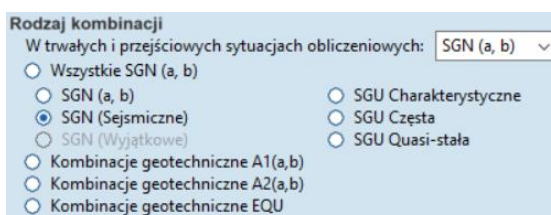
The screenshot shows the 'Parametry wyświetlania' window with the 'Decydująca' tab selected. The 'Zbadaj wszystkie kombinacje prowadzące do takiej samej wartości maksymalnej' checkbox is unchecked. The 'Formuła kombinacji decydującej' dropdown is set to 'Automatyczne'. The 'Rodzaj kombinacji' section has 'W trwałych i przejściowych sytuacjach obliczeniowych: SGN (a, b)' selected. The 'Wszystkie SGN (a, b)' radio button is selected. The 'SGN (Sejsmiczne)' radio button is selected. The 'SGU Charakterystyczne' radio button is selected. The 'SGU Częstość' radio button is selected. The 'SGU Quasi-stała' radio button is selected. The 'Kombinacje geotechniczne A1(a,b)' radio button is selected. The 'Kombinacje geotechniczne A2(a,b)' radio button is selected. The 'Kombinacje geotechniczne EQU' radio button is selected. The 'Bieżące ustawienia jako domyślne' checkbox is unchecked. The 'Komponent' dropdown is set to 'N_x [kN]'. The 'Współczynnik skali' is set to 1. The 'Tryb prezentacji' dropdown is set to 'Brak'. The 'Wyświetl kształt' buttons are 'Nie zdeform.' and 'Zdeform.'. The 'Autoskalowanie przemieszczeń' checkbox is checked. The 'Przypisz wartości do' section has 'węzłów', 'linii', and 'powierzchni' checkboxes, with 'Tylko Min/Max' checked. The 'Utnij wierzchołki momentów nad słupami' checkbox is checked. The 'Odsiewaj wszystko' checkbox is unchecked. The 'Wycinki po liniach' section has 'Rysuj wykres w płaszczyźnie elementów' unchecked and 'Rysuj kontur dla płaszczyzny wycin.' checked. The 'OK' and 'Anuluj' buttons are at the bottom right.

Wybierz kombinację **Niestandardową**, aby program zdefiniował oddzielne kombinacje **SGN** i **SGU** (stan graniczny użytkowania).

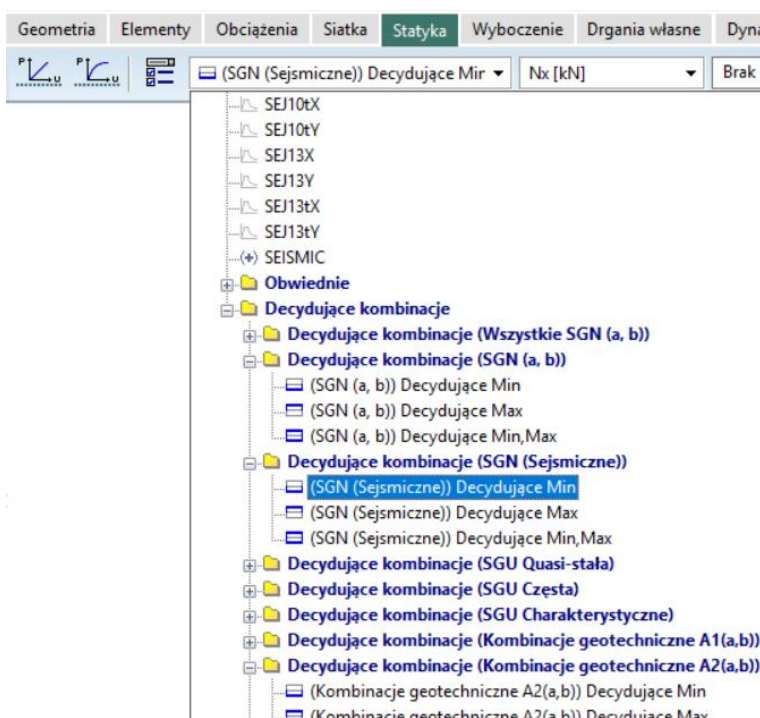
W trwałej i przejściowej sytuacji projektowej istnieją dwie opcje: **SGN** i **SGN (a, b)**. Użyjmy ustawienia domyślnego – **SGN (a, b)**:



Na liście różnych rodzajów kombinacji (dostępnych po przełączeniu na **Niestandardowe**) zaznacz kombinację **SGN (Sejsmiczne)**. To ostatnie spowoduje tylko, że ten rodzaj kombinacji będzie aktywny podczas sprawdzania wyników po zamknięciu bieżącego okna.



Kliknij **OK**, żeby zamknąć okno. W wyniku powyższych ustawień na liście kombinacji pojawiają się różne rodzaje kombinacji, w tym sejsmiczna. Ten ostatni można wykorzystać do uzyskania decydujących wyników (**SGN(Sejsmiczny)) Decydujące Min; Max i Min, Max**.



Wyniki mogą być ocenione w taki sam sposób, jak zostały przedstawione wcześniej w naszych poprzednich przykładach. Ich ocena nie będzie opisana w tym rozdziale.

Przeglądarka tabel



Kliknij na ikonę **Przeglądarka tabel**. Sprawdźmy **Wrażliwość sejsmiczną kondygnacji** (jest ona dostępna tylko wtedy, gdy w analizie uwzględniono efekt skręcania).

Przeglądarka tabel

Wrażliwość sejsmiczna kondygnacji, Eurokod

Kondygnacja	X/V	Z [m]	h [m]	θ_{max}	P_{tot} [kN]	V_{tot} [kN]	V_{tot}/P_{tot}	d_{max} [mm]	S [m]	G_m [m]	M [kg]	I_{mz} [kgm ²]
Piętro [5]	K	22,500	0	0,002	326,092	158,709	49%	4,203	11,352	11,433	33240,817	1,87E+6
	Y			0,003		145,525	45%	4,410	13,500	13,503	33240,817	
Piętro [5]	K	19,000	3,500	0,006	5476,948	1479,544	27%	5,281	20,853	11,658	525061,733	3,83E+7
	Y			0,008		1467,422	27%	7,083	19,288	13,758	525061,733	
Piętro [4]	K	15,500	3,500	0,004	12721,070	2830,881	22%	3,100	15,024	11,591	738442,682	6,94E+7
	Y			0,009		2987,763	23%	7,294	16,336	10,940	738442,682	
Piętro [3]	K	12,000	3,500	0,004	19835,420	3837,720	19%	2,584	14,843	11,711	725213,592	6,91E+7
	Y			0,010		4111,749	21%	7,427	15,090	10,953	725213,592	
Piętro [2]	K	8,500	3,500	0,005	27020,910	4565,044	17%	2,803	14,638	11,670	732466,228	7,01E+7
	Y			0,011		4910,571	18%	7,100	13,947	11,032	732466,228	
Piętro [1]	K	5,000	3,500	0,006	34691,140	5057,272	15%	4,478	14,669	11,682	781878,706	7,67E+7
	Y			0,013		5413,326	16%	9,769	13,387	10,822	781878,706	
Parter	K	0	5,000	—	—	—	—	—	—	12,914	21456,438	2,21E+6
	Y			—	—	—	—	—	—	10,684	21456,438	

OK Anuluj

W tablicy, kondygnacje są reprezentowane wysokością **Z [m]**, różnicą wysokości między kondygnacjami **h [m]**. Dodatkowo dla każdej kondygnacji obliczane są następujące wielkości:

θ_{max} – plastyczny wskaźnik stabilności, zwany też między kondygnacyjnym współczynnikiem wrażliwości na przesunięcie wg **EC8-1 4.4.2.2 (2)**. Efekty drugiego rzędu (efekty P- Δ) można pominąć, jeżeli warunek $\theta \leq 0,1$ jest spełniony dla każdej kondygnacji. Jeżeli warunek jest w przedziale $0,1 < \theta \leq 0,2$, wtedy efekty drugiego rzędu można w przybliżony sposób uwzględnić mnożąc istotny efekt oddziaływania sejsmicznego przez mnożnik $1/(1 - \theta)$. Wartość θ nie powinna przekroczyć **0,3**. Więcej informacji znajduje się w odpowiednim rozdziale normy.

P_{tot} – całkowite obciążenie grawitacyjne powyżej danej kondygnacji,

V_{tot} – całkowita siła sejsmiczna ścinająca daną kondygnację,

d_{max} – obliczeniowe przemieszczenie między kondygnacyjne, obliczone jako względne przemieszczenie środków ciężkości odpowiadających kondygnacji,

S – położenie środka ścinania. **Wynika to z przybliżonych obliczeń: AxisVM oblicza środki ścinania kondygnacji, znajdując przekroje ścian i stosując tę samą metodę, co dla przekrojów cienkościennych.**

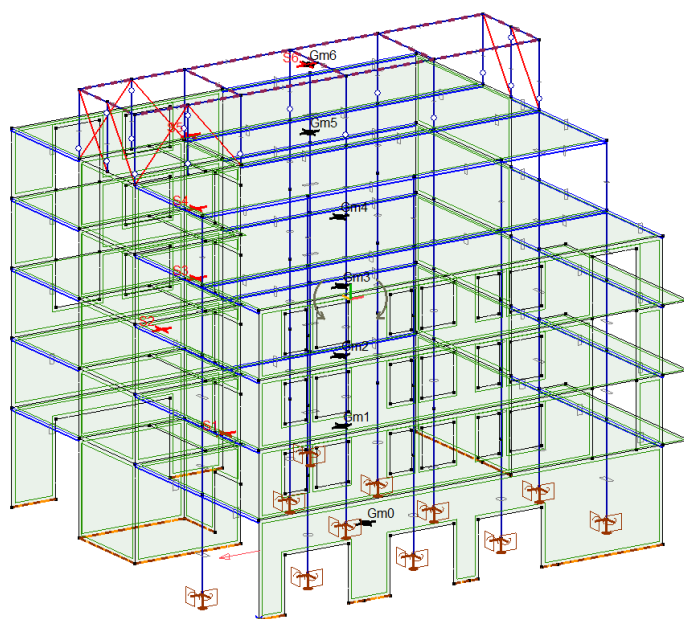
G_m – położenie środka ciężkości,

M – masa kondygnacji,

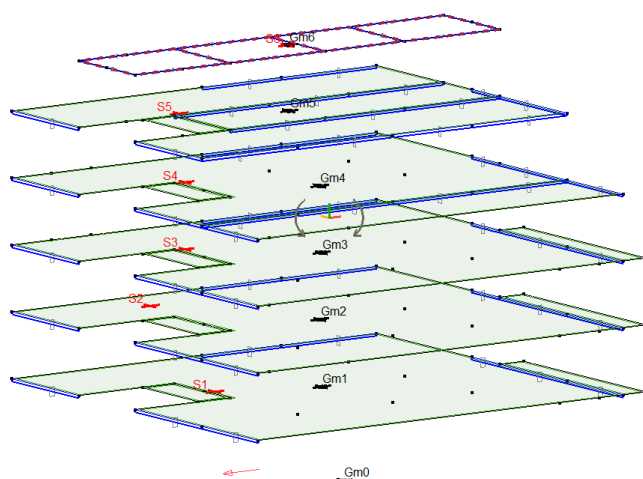
I_{mz} – moment bezwładności środka ciężkości wokół osi Z,

Zamknij **Przeglądarkę tabel**. Położenie środka ścinania i środka ciężkości jest również pokazane na modelu elementu skończonego:

- środek ścinania: **S1...n** (wyświetlone na czerwono +, z etykietą **Si**, gdzie **i** jest numerem poziomu),
- środek ciężkości: **Gm1...n** (krzyżyk z czarnym kółkiem z etykietą **Gmi**, gdzie **i** jest numerem poziomu).



Dla lepszej widoczności wyświetl tylko fragmenty płyt:



Jeśli znaczniki środka ścinania i środka ciężkości nie są widoczne w modelu, można je włączyć w **Opcjach wyświetlania** (na zakładce **Etykiety** – **Środek ciężkości kondygnacji**, **Środek ścinania kondygnacji**):

Opcje wyświetlania

Symbole Etykiety Włączniki

Opisy

☐ Wzłel

☐ Pręt kratowy

☐ Pręt

☐ Żebro

☐ Pręt wirtualny

☐ Elem. powierzchniowy

☐ Obszar

☐ Podpora

☐ Elem. łączące

☐ Element sztywny

☐ Przepona

☐ Sprężyna

☐ Element kontaktowy

☐ Materiał

☐ Przekrój poprzeczny

☒ Element wymiarowany

☒ Grupa optymalizacji

☐ Panel obciążeniowy

☐ Odniesienie

☐ Użyj numeracji elem. skończonych

☒ Środek ciężkości kondygnacji

☒ Środek ścinania kondygnacji

☐ Etykiety na liniach widoczne w kierunku osi

☒ Etykiety przezroczyste

☒ Zapobiegaj nakładaniu się etykiet

Właściwości

☐ Współrzędne węzłowe

☐ Nazwa materiału

☐ Nazwa przekroju poprz.

☐ Połączenie śrubowe

☐ Zbrojenie słupa

☐ Żelbetowa ściana/rdzeń

☐ Ściana murowa

☐ Zbrojenie belki

☐ Długość pręta

☐ Grubość

☐ Pole pow. obszaru

☐ Redukcja sztywności

☐ Charakterystyka podpory

☐ Sztywność podpory

☒ Wartość obciążenia

☒ Skupione

☒ Liniowe

☒ Powierzchniowe

☒ Temperatura

☐ Wartość masy

☐ Jednostki

Przypisz wartości do

☐ węzłów

☐ linii

☐ powierzchni

☒ Zbrojenie rzeczywiste

Symbole	Etykiety
<input checked="" type="checkbox"/> axd	<input checked="" type="checkbox"/> axd
<input checked="" type="checkbox"/> ayd	<input checked="" type="checkbox"/> ayd
<input checked="" type="checkbox"/> axg	<input checked="" type="checkbox"/> axg
<input checked="" type="checkbox"/> ayg	<input checked="" type="checkbox"/> ayg

Etykiety

☒ Pręty zbr. + Zbrojenie wymagane

☐ Pręty zbr. + Ilość x (Długość)

☒ Zgodnie z wyświetlonym komponentem wyniku

☒ Odśwież automatycznie

☐ Odśwież wszystko

☐ Zapisz jako domyślne

OK Anuluj

Dodatkowe
kroki

Wyniki analizy **MRSA** mogą być wykorzystane w modułach projektowych w podobny sposób jak wyniki analiz statycznych. Nie będzie to opisane w tym przykładzie.

Jeśli jest to uzasadnione ze względu na wrażliwość kondygnacji, efekty drugiego rzędu można uwzględnić mnożąc odpowiednie obciążenie sejsmiczne przez współczynnik f_{se} .

W przypadku struktur rozpraszających z ciągłością klasy **DCM** lub **DCH**, aby uniknąć ścienia słupów żelbetowych, belek i żeber wartości obliczeniowe sił tnących powinny być wyznaczone zgodnie z nośnością (jeśli przypadek obciążenia sejsmicznego jest uwzględniony w wybranej kombinacji obciążeń). Projektowanie na nośność jest dostępne, jeżeli **współczynnik zachowania q** jest **większy** od **1,50** (wybierając normę **Eurokod – RO**, jest dostępne dla **q** większego równego **1,50**).

Notatki