

Paweł Kossakowski

**MODELOWANIE
ŻELBETOWYCH STRUKTUR PRĘTOWYCH
W PROGRAMIE AUTODESK
ROBOT STRUCTURAL ANALYSIS 2015**



Politechnika Świętokrzyska

Kielce 2015

Paweł Kossakowski

**MODELOWANIE
ŻELBETOWYCH STRUKTUR PRĘTOWYCH
W PROGRAMIE AUTODESK
ROBOT STRUCTURAL ANALYSIS 2015**

KIELCE 2015

MATERIAŁY POMOCNICZE I INFORMACYJNE NR 169

Redaktor Naukowy serii

NAUKI TECHNICZNE – BUDOWNICTWO

prof. dr hab. inż. Wiesław TRĄMPCZYŃSKI

Recenzent

dr hab. inż. Grzegorz ŚWIT, prof. PŚk

Redakcja

Irena PRZEORSKA-IMIOŁEK

Projekt okładki

Tadeusz UBERMAN

© Copyright by Wydawnictwo Politechniki Świętokrzyskiej, Kielce 2015

Wszelkie prawa zastrzeżone. Żadna część tej pracy nie może być powielana czy rozpowszechniana w jakiegokolwiek formie, w jakikolwiek sposób: elektroniczny bądź mechaniczny, włącznie z fotokopiowaniem, nagrywaniem na taśmy lub przy użyciu innych systemów, bez pisemnej zgody wydawcy.

PL ISSN 0239-6394

Wydawnictwo Politechniki Świętokrzyskiej
25-314 Kielce, al. Tysiąclecia Państwa Polskiego 7
tel./fax 41 34 24 581
e-mail: wydawca@tu.kielce.pl
www.wydawnictwo.tu.kielce.pl

SPIS TREŚCI

Przedmowa	5
1. Wprowadzenie	7
1.1. Informacje ogólne	7
1.2. Zakres materiałów	7
2. Budowa modelu numerycznego i analiza wyników	9
2.1. Rozpoczęcie pracy, wybór typu konstrukcji, ustawienia konfiguracyjne zadania	9
2.2. Pręty	12
2.3. Lokalny układ współrzędny prętów	14
2.4. Przekroje prętów	15
2.5. Materiał	18
2.6. Podpory	20
2.7. Obciążenia	22
2.7.1. Przypadki obciążeniowe	22
2.7.2. Definicja obciążeń w konstrukcji	24
2.7.3. Kombinacje obciążeń	29
2.8. Analiza	33
2.9. Rezultaty	34
2.9.1. Rezultaty w trybie graficznym	34
2.9.2. Rezultaty w trybie tabelarycznym	39
3. Analiza statyczna ramy żelbetowej – przykład	43
3.1. Definicja prętów	43
3.2. Obciążenia	49
3.3. Rezultaty	54
Literatura	67

Przedmowa

Niniejsze materiały przygotowano głównie z zmysłą o studentach kierunku budownictwo, którzy biorą udział w zajęciach z przedmiotu *komputerowe projektowanie konstrukcji betonowych*, w ramach których prowadzone są analizy numeryczne konstrukcji żelbetowych. Zagadnienia te omówiono w materiałach, gdzie przedstawiono tematykę modelowania i analizy wyników obliczeń żelbetowych ustrojów prętowych pracujących w zakresie statycznym przy wykorzystaniu programu Autodesk Robot Structural Analysis Professional 2015.

1. WPROWADZENIE

1.1. Informacje ogólne

Program Autodesk Robot Structural Analysis Professional 2015 to zaawansowany system obliczeniowy, przewidziany do wykonywania analiz statyczno-wytrzymałościowych ustrojów konstrukcyjnych, przede wszystkim budowlanych. Jest to samodzielny program obliczeniowy, który jednocześnie stanowi podstawowe ogniwo systemu BIM (Modelowania Informacji o Budynku) firmy Autodesk. W tym zakresie współpracuje on z programem Autodesk Revit 2015, w którym modelowana jest struktura projektowanego obiektu, oraz z programem Autodesk AutoCAD Structural Detailing 2015 przewidzianym do wykonywania dokumentacji wykonawczo-warsztatowej konstrukcji budowlanych.

Modelowanie konstrukcji i analiza obliczeniowa struktur jedno-, dwu- i trójwymiarowych to główne obszary zastosowania programu Autodesk Robot Structural Analysis Professional 2015. Wysoce efektywną funkcjonalnością w tym zakresie jest możliwość wymiarowania elementów konstrukcyjnych wykonanych z materiałów, takich jak stal, beton, żelbet, aluminium czy drewno oraz projektowanie i weryfikacja połączeń w oparciu o bogatą bibliotekę norm branżowych. Dodatkowo program umożliwia automatyczne przygotowywanie rysunków wykonawczych konstrukcji, w tym również w integracji z programem Autodesk AutoCAD Structural Detailing 2015.

1.2. Zakres materiałów

Niniejsza publikacja przewidziana jest jako materiał pomocniczy do prowadzenia analiz obliczeniowych w zakresie obliczania prętowych konstrukcji żelbetowych. Pod tym kątem podano wyselekcjonowane informacje obejmujące podstawowe zagadnienia dotyczące budowy i przygotowywania modeli obliczeniowych elementów żelbetowych w programie Autodesk Robot Structural Analysis Professional 2015. Informacje te przedstawiono w zakresie obejmującym głównie analizę układów płaskich 2-D. Zagadnienia omówiono zachowując konsekwentny tok postępowania jaki jest wymagany przez program w trakcie budowy modelu obliczeniowego konstrukcji i analizy wyników. Przyjęto konwencję opisu poszczególnych opcji w trybie bezpośredniego uruchamiania z menu programu, pomijając opis innych możliwości w tym zakresie (wykorzystanie ikon, dedykowanych okien dialogowych itp.).


Podstawowe informacje dotyczące ustawień programu i konfiguracji zadania obliczeniowego podano skrótowo i bardzo wybiórczo, odsyłając Czytelnika do publikacji pt. *Wprowadzenie do programu Autodesk Robot Structural Analysis*

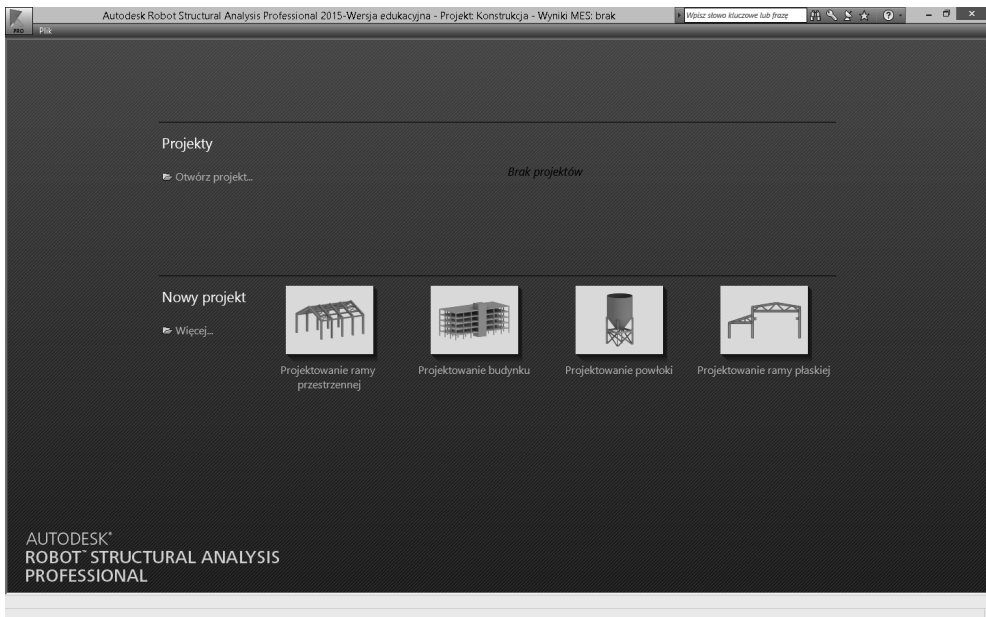
2012 [1] oraz dokumentacji programu Autodesk Robot Structural Analysis Professional 2015, udostępnionej przez Autodesk [2], gdzie są one szerzej omówione.

W materiałach przedstawiono również przykład analizy statycznej ramy żelbetowej pracującej w układzie płaskim 2-D. Pokazano procedurę prowadzenia obliczeń w zakresie przygotowania modelu, definicji i wprowadzania obciążeń oraz analizy wyników.

2. BUDOWA MODELU NUMERYCZNEGO I ANALIZA WYNIKÓW

2.1. Rozpoczęcie pracy, wybór typu konstrukcji, ustawienia konfiguracyjne zadania

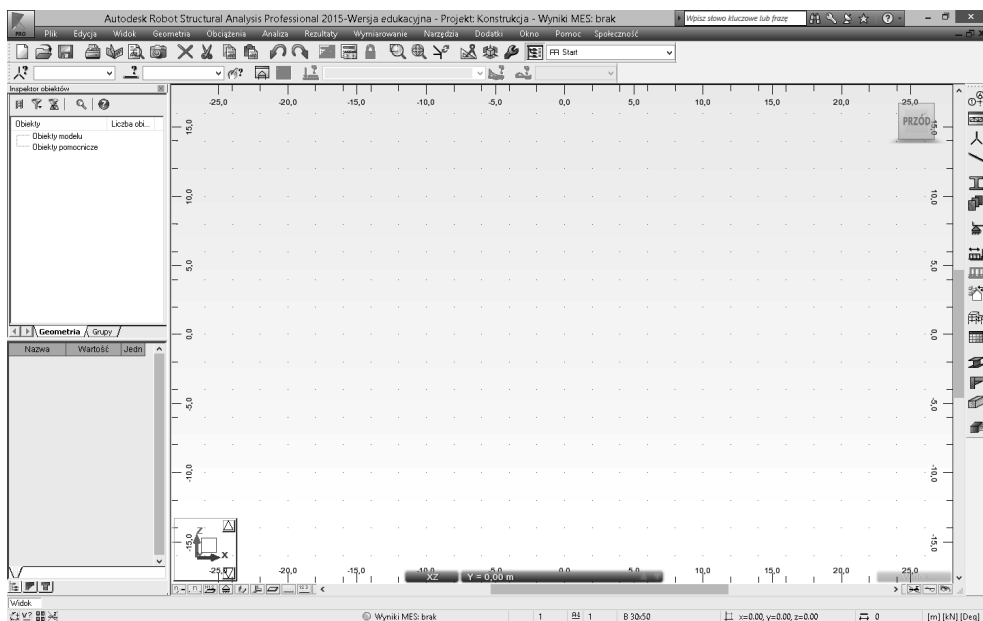
Pierwszym krokiem po uruchomieniu programu jest wybór odpowiedniego typu konstrukcji w menu powitalnym. Wybieramy **Projektowanie ramy płaskiej** za pomocą ikony  widocznej na rysunku 2.1.



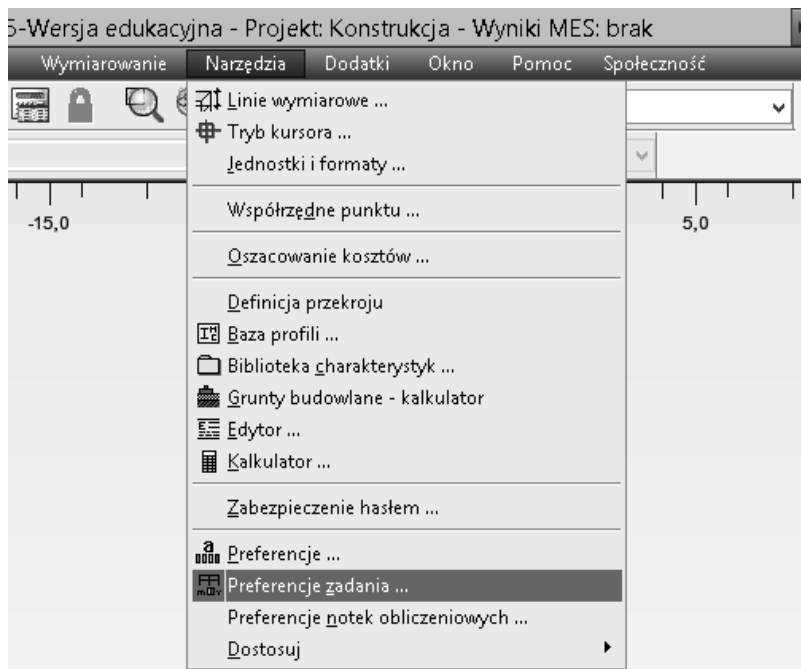
Rys. 2.1. Menu powitalne programu Autodesk Robot Structural Analysis Professional 2015

Przechodzimy do okna roboczego programu, w którym możemy zacząć budowę modelu numerycznego analizowanej konstrukcji (rys. 2.2).

Pierwszym krokiem w tworzeniu modelu numerycznego w konstrukcji jest ustawienie parametrów konfiguracyjnych zadania obliczeniowego. W tym celu wybieramy z menu górnego zakładkę **Narzędzia** i uruchamiamy opcję **Preferencje zadania** (rys. 2.3).

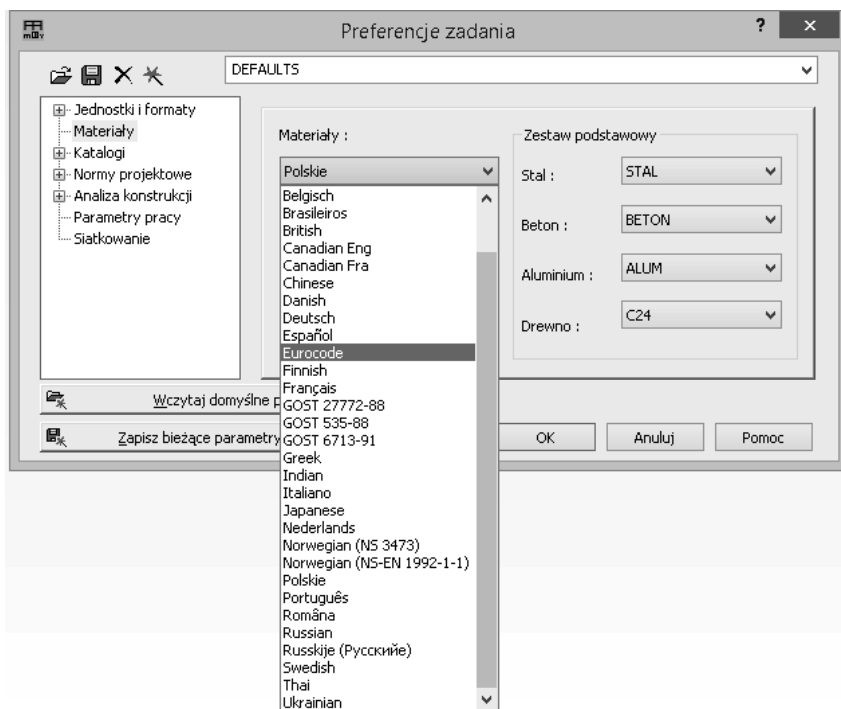


Rys. 2.2. Okno robocze programu Autodesk Robot Structural Analysis Professional 2015



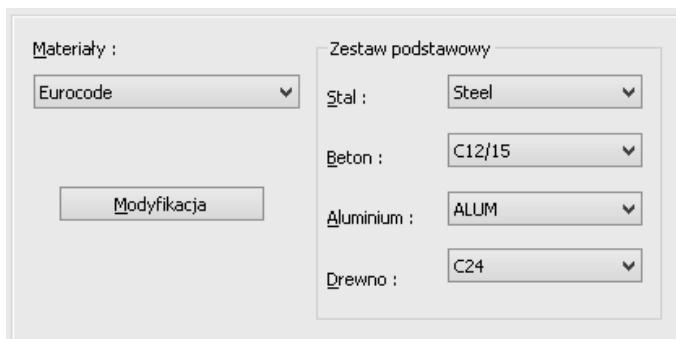
Rys. 2.3. Opcja Preferencje zadania w menu Narzędzia

Po pierwsze konieczne jest wybranie odpowiedniej bazy materiałowej, z której będziemy korzystać w obliczeniach. W zakładce **Materiały** z menu rozwijalnego wybieramy bazę **Eurocode**, która odpowiada normom Eurokod (rys. 2.4).



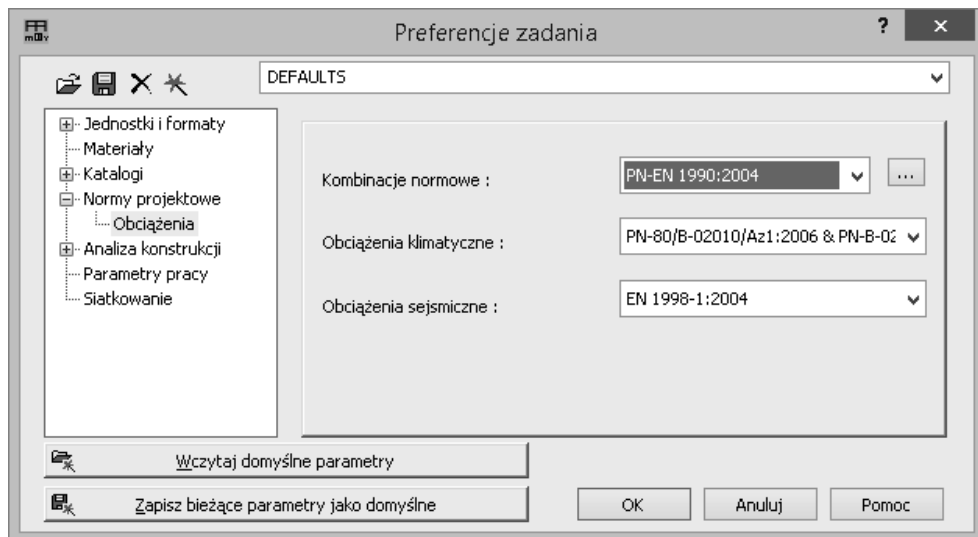
Rys. 2.4. Opcja Materiały w module Preferencje zadania

Podstawowe (domyślne) materiały, czyli stal, beton, aluminium i drewno, zostają zmienione na materiały zgodne z normami Eurokod, tak jak to pokazano na rysunku 2.5.



Rys. 2.5. Zestaw materiałów domyślnych zgodnych z normami Eurokod

Kolejnym parametrem preferencji zadania, który należy dostosować, są normy zawierające reguły tworzenia kombinacji obciążeń. W zakładce **Preferencje zadania** należy rozwinąć opcję **Normy projektowe** i przejść do zakładki **Obciążenia**. Wybór odpowiedniej normy możliwy jest z listy rozwijalnej **Kombinacje normowe** po prawej stronie, gdzie należy wybrać normę Eurokod PN-EN 1990:2004 (rys. 2.6).



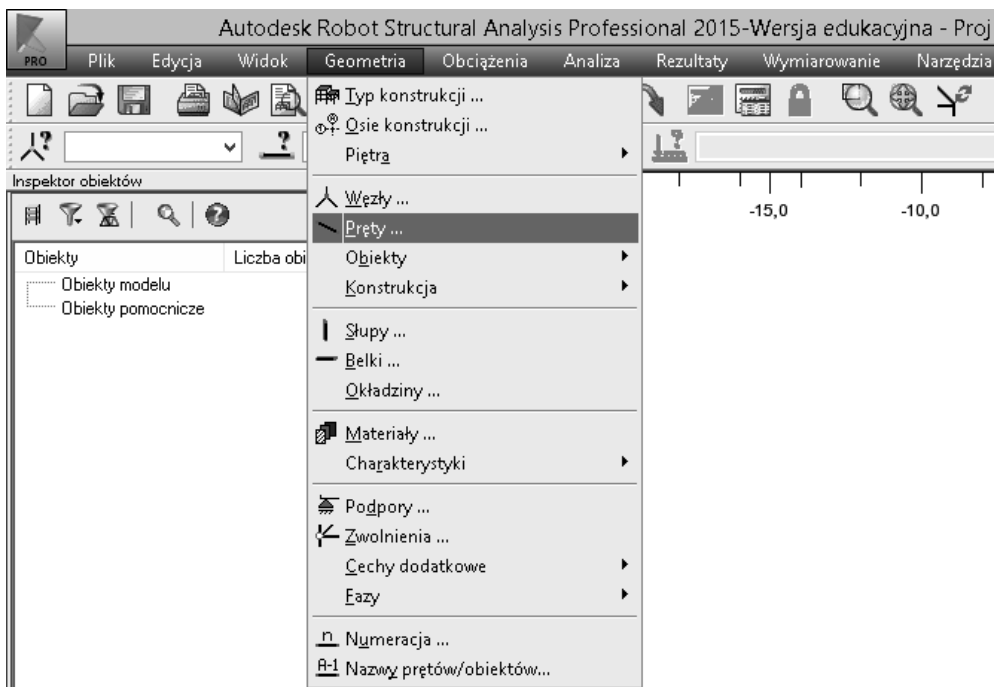
Rys. 2.6. Opcja *Normy projektowe – Obciążenia* w module *Preferencje zadania*

2.2. Pręty

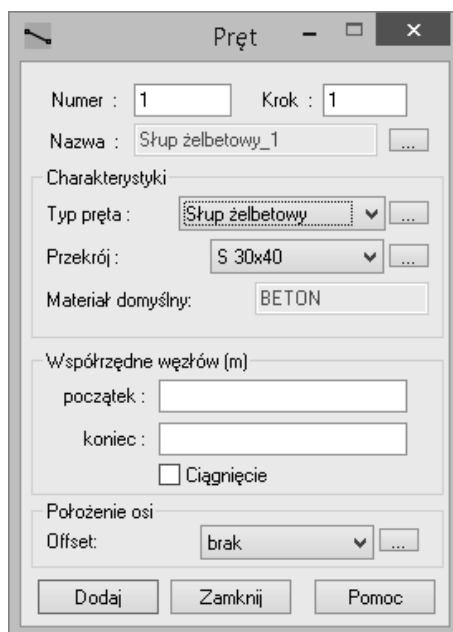
Po ustawieniu parametrów konfiguracyjnych możemy przejść do definicji konstrukcji. Modelowanie struktur prętowych, zarówno w układzie płaskim, jak i przestrzennym rozpoczynamy od wprowadzenia jednowymiarowych elementów skończonych noszących w programie Autodesk Robot Structural Analysis Professional 2015 nazwę *prętów*. Ich definicja jest możliwa na wiele sposobów, zarówno w samym programie, jak i na podstawie geometrii importowanej z programów zewnętrznych lub plików wsadowych.

W przypadku konstrukcji o prostej geometrii, najszybciej i najdokładniej pręty definiujemy bezpośrednio w środowisku programu Robot. W tym celu z menu **Geometria** wybieramy opcję **Pręty** (rys. 2.7).

Przechodzimy do okna dialogowego **Pręt**, gdzie wprowadzamy parametry definiujące pręty, za pomocą których budujemy model analizowanej konstrukcji przedstawiony na rysunku 2.8.



Rys. 2.7. Opcja *Pręty* w menu *Geometria*



Rys. 2.8. Okno dialogowe *Pręt*

Podstawowe parametry to:


- typ pręta: w przypadku konstrukcji żelbetowych użytkownik ma do dyspozycji *Słup żelbetowy* lub *Belkę żelbetową*,
- przekrój,
- współrzędne węzłów definiujących początek i koniec pręta,
- domyślny materiał pręta.

Pojedynczy pręt definiowany jest poprzez wprowadzenie jego numeru, określenie charakterystyk, podanie współrzędnych jego początku i końca oraz zatwierdzenie wprowadzonych parametrów za pomocą przycisku **Dodaj**.

Możliwe jest również zdefiniowanie pręta poprzez kliknięcie pola edycyjnego **Początek** w oknie dialogowym **Pręt** i przejście kursorem na ekran programu do przestrzeni modelowanej konstrukcji. W kolejnym kroku należy kliknąć w punkt początkowy i końcowy modelowanego pręta.

W zależności od włączonego trybu kursora, pręty mogą być definiowane w następujących trybach:

- tryb *snap=grid*, czyli ciągnięcie do trybu siatki, definiowanie współrzędnych punktów siatki,
- tryb *snap=node*, czyli ciągnięcie do już istniejących punktów/węzłów konstrukcji, definiowanie numerów punktów/węzłów,
- tryb *snap=line*, czyli ciągnięcie do już istniejących linii, definiowanie numerów linii.

W trakcie wprowadzania prętów użytkownik ma również możliwość definicji parametrów, takich jak **Nazwa**, **Typ pręta** i **Przekrój**. Służą do tego przyciski , za pomocą których uruchamiamy okna dialogowe, w których definiujemy odpowiednie dane.

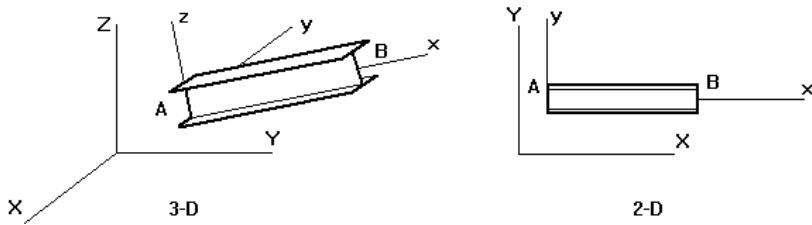
2.3. Lokalny układ współrzędny prętów

Podstawowym atrybutem definiującym orientację prętów w modelu konstrukcji jest ich lokalny układ współrzędnych. W programie Autodesk Robot Structural Analysis Professional 2015 jest to prawoskrętny układ kartezjański.

Orientacja osi lokalnego układu współrzędnych jest następująca:

- oś *x* pręta pokrywa się zawsze z jego osią podłużną; kierunek osi *x* jest określony od węzła początkowego do węzła końcowego pręta, a jej początek znajduje się w węźle początkowym pręta,
- osie *y* i *z* położone są w płaszczyźnie przekroju pręta, zgodnie z regułą śruby prawoskrętnej; oś *y* zawsze odpowiada osi większego momentu bezwładności przekroju pręta, natomiast oś *z* odpowiada osi momentu mniejszego.

Schemat układów lokalnych prętów w przestrzeni trójwymiarowej (3-D) i płaskiej (2-D) pokazano na rysunku 2.9.

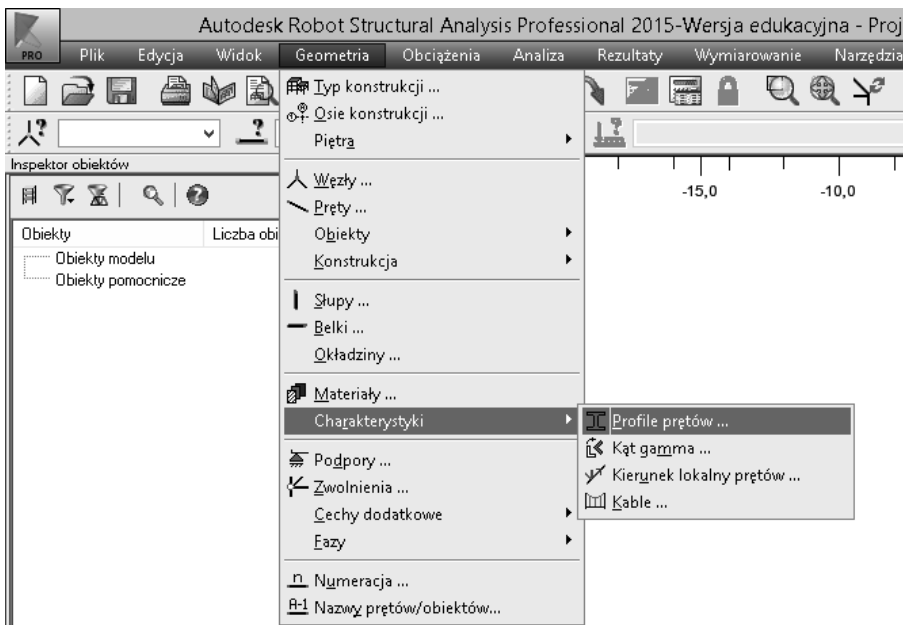


Rys. 2.9. Schemat układów lokalnych prętów [2]

Zgodnie z podanymi wyżej regułami, podczas definicji konstrukcji automatycznie narzucane są orientacje układów lokalnych prętów. W przypadku prętów pionowych oś x ich układu lokalnego jest pionowa, a kierunki osi lokalnych y i z są zgodne z kierunkami osi globalnych odpowiednio Y i Z . Natomiast gdy pręt nie jest pionowy, osie x i z tworzą płaszczyznę pionową, przy czym oś z jest skierowana w górę.

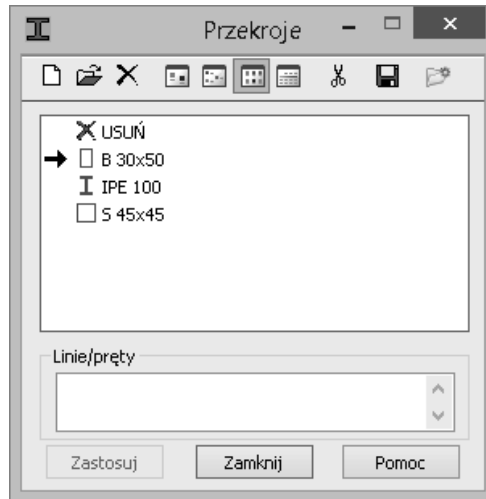
2.4. Przekroje prętów

Przekroje prętów nadawane są w programie przez wywołanie opcji **Charakterystyki – Profile prętów** w karcie menu **Geometria** (rys. 2.10).









Rys. 2.10. Opcja Charakterystyki – Profile prętów w menu Geometria

Uruchomione zostaje okno dialogowe **Przekroje**, w którym dostępne są opcje umożliwiające definicję nowego przekroju i edycję przekrojów już istniejących (rys. 2.11). W górnej części dostępna jest lista przekrojów zdefiniowanych przez użytkownika, które mogą zostać nadane prętom konstrukcji. Do tego służy dolna część okna, gdzie wyświetlana jest aktywna lista prętów, którym można nadać dane przekroje wybierając przycisk **Zastosuj**.



*Rys. 2.11. Okno dialogowe **Przekroje***

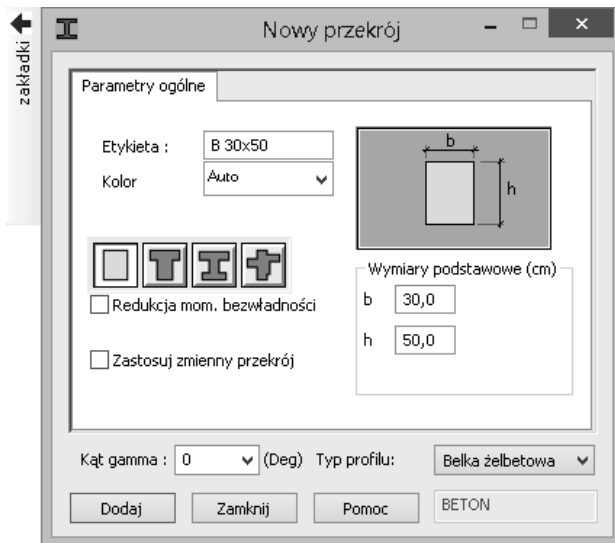
Definicja nowego przekroju jest możliwa za pomocą ikony  znajdującej się w górnej części okna **Przekroje**. Użytkownik ma również dostęp do biblioteki przekrojów zdefiniowanych w programie, które są wywoływane za pomocą ikony . Zapis przekroju w bibliotece możliwy jest za pomocą ikony . Przekroje usuwane są za pomocą ikony , natomiast ikona  pozwala na usuwanie z listy przekrojów, które nie występują w projektowanej konstrukcji.

O ile w przypadku profili stalowych najczęściej wykorzystywane są bazy z gotowymi charakterystykami, to przekroje betonowe i żelbetowe wymagają definicji przez użytkownika. Jak podano wyżej, używamy do tego przycisku  znajdującego się w oknie **Przekroje**. Wywoływane jest okno dialogowe **Nowy przekrój**, gdzie użytkownik ma możliwość wprowadzenia charakterystyk elementów żelbetowych (rys. 2.12 i 2.13).

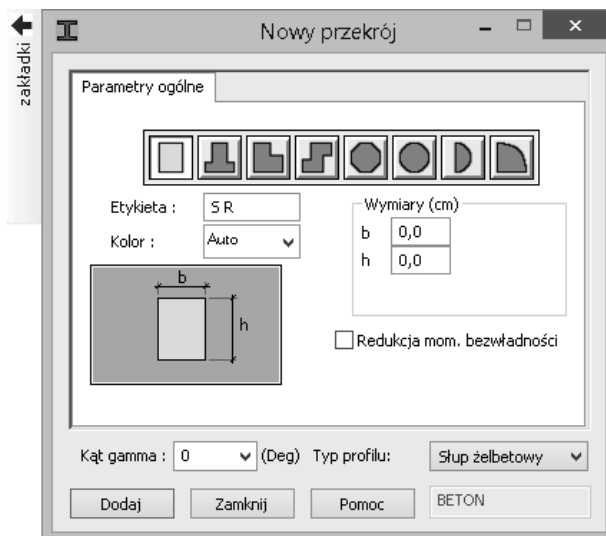
W programie dostępne są następujące typy przekrojów:

- belka żelbetowa: dostępny jest przekrój prostokątny, teowy, dwuteowy i teowy z obniżonymi półkami (rys. 2.12),

- słup żelbetowy: dostępny jest przekrój prostokątny, teowy, o kształcie L, o kształcie Z, o kształcie wielokąta foremnego, kołowy, 1/2 koła, 1/4 koła (rys. 2.13).



Rys. 2.12. Okno dialogowe Nowy przekrój – definicja belki żelbetowej



Rys. 2.13. Okno dialogowe Nowy przekrój – definicja słupa żelbetowego

W celu definicji przekroju użytkownik określa jego nazwę i wybiera kształt przekroju za pomocą odpowiedniego przycisku. Następnie wprowadza wymagane wymiary w centymetrach. W przypadku przekrojów obróconych należy podać kąt obrotu wokół lokalnej osi x pręta, wprowadzając jego wartość w stopniach [°] w polu **Kąt gamma**.

W pewnych przypadkach istotną funkcjonalnością jest możliwość modyfikacji momentów bezwładności przekroju. Dokonujemy tego włączając opcję **Redukcja mom. bezwładności** i wpisując mnożnik w odpowiednim polu pozwalającym na modyfikację momentu bezwładności kolejno I_x , I_y i I_z .

Przycisk **Typ profilu** znajdujący się w dolnej części okna dialogowego **Nowy przekrój** umożliwia zamianę aktualnego typu definiowanego przekroju elementu żelbetowego.

W przypadku profilu typu **belka żelbetowa** użytkownik ma możliwość nadania liniowo zmiennego przekroju poprzecznego belki za pomocą opcji **Zastosuj zmienny przekrój**. Parametr h_2 określa wartość będącą odpowiednikiem wysokości prawego końca wybranego segmentu.

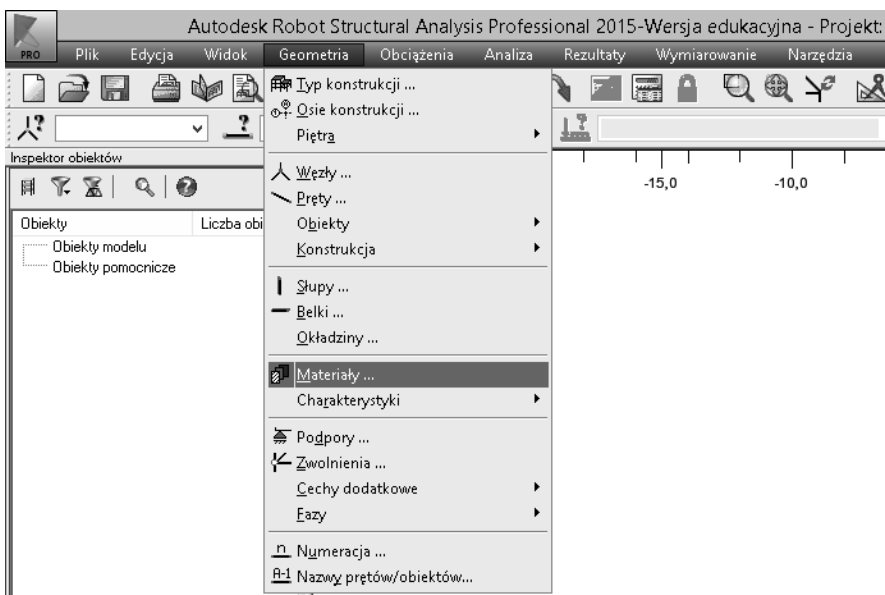
Nazwa materiału przekroju jest wyświetlana po prawej stronie dolnej części okna dialogowego **Nowy przekrój** (rys. 2.12 i 2.13).

Wszystkie wprowadzone parametry definiowanego przekroju zatwierdzone są przyciskiem **Dodaj**, co powoduje dodanie do aktywnej listy dostępnych przekrojów w oknie dialogowym **Przekroje**. Jak podano wcześniej, zdefiniowany przekrój nadawany jest prętom, których aktywna lista jest wyświetlana w dolnej części okna dialogowego **Przekroje** (rys. 2.11).

2.5. Materiał

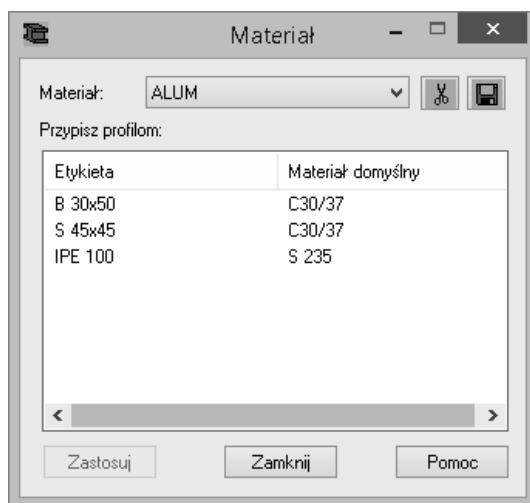
Definicja materiału analizowanej konstrukcji odbywa się w oparciu o dane zawarte w bazie programu. Wyboru zestawu materiałów zgodnych np. z normami Eurokod dokonujemy w **Preferencjach zadania** w zakładce **Materiały**, co opisano poprzednio w rozdziale 2.1. Użytkownik ma także możliwość definicji materiału własnego, szczegółowe informacje na ten temat zawarto w materiałach [1].

Przyporządkowanie materiałów konkretnym prętom odbywa się przez wywołanie opcji **Materiały** z menu **Geometria** (rys. 2.14).





Rys. 2.14. Opcja Materiały w menu Geometria

Pojawia się okno dialogowe **Materiał**, gdzie należy przyporządkować z listy rozwijalnej u góry dany materiał wybranym profilom, których lista znajduje się poniżej (rys. 2.15).



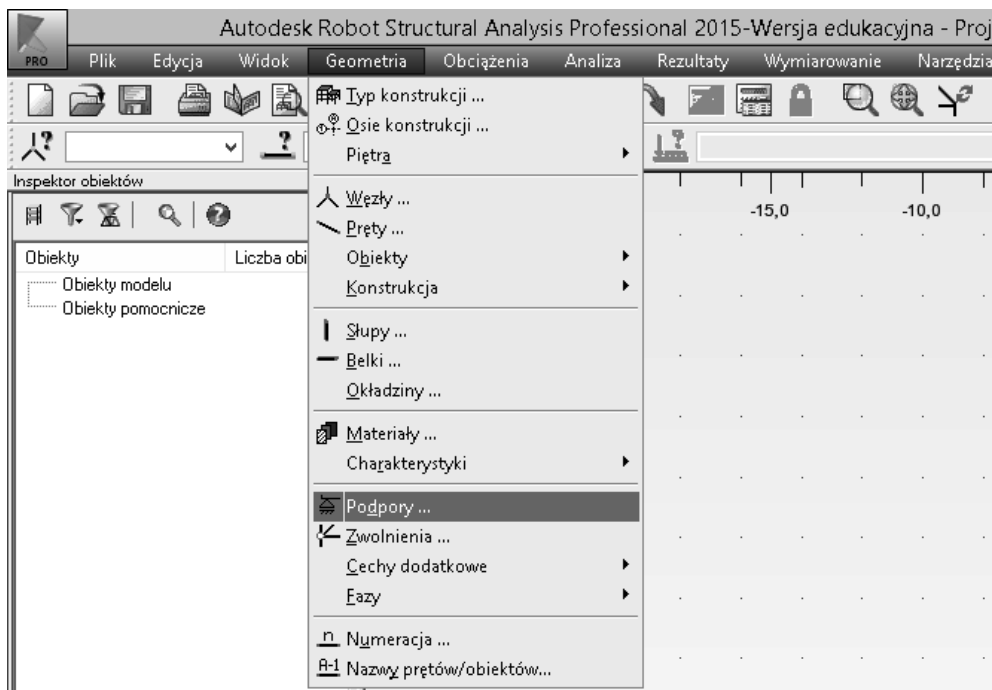
Rys. 2.15. Okno dialogowe Materiał

Po zatwierdzeniu zmian przyciskiem **Zastosuj**, w kolumnie **Materiał domyślny** pojawiają się wybrane dla danych prętów materiały.

Użytkownik ma możliwość zapisu do bazy danych zawierającej bieżące informacje na temat materiałów za pomocą przycisku , znajdującego się w górnej części okna dialogowego **Material**. Z kolei sąsiedni przycisk  powoduje usunięcie wszystkich materiałów, które nie występują w projektowanej konstrukcji, obejmując również wszystkie atrybuty (profile, grubości) zawierające dane materiały.

2.6. Podpory

Podpory nadawane są w konstrukcji poprzez wybór z menu **Geometria** opcji **Podpory** (rys. 2.16).

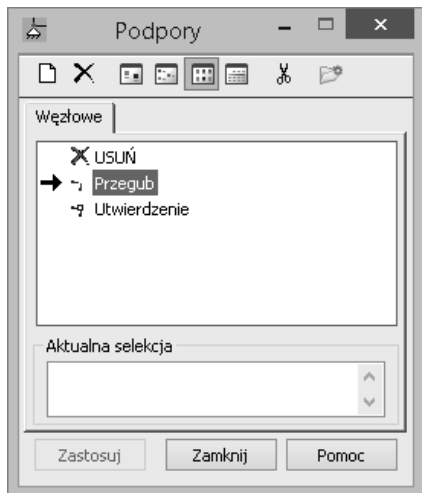


Rys. 2.16. Opcja Podpory w menu Geometria

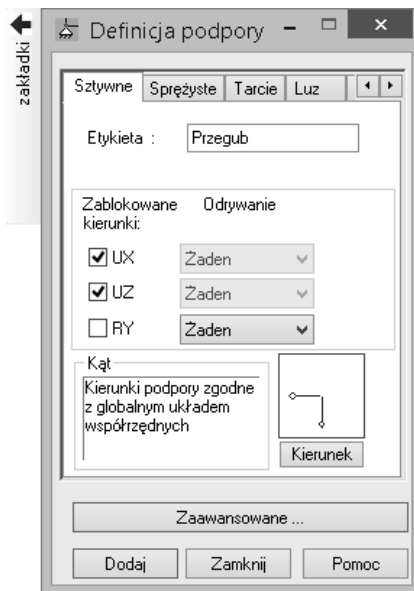
Po jej uruchomieniu pojawia się okno dialogowe, w którym użytkownik ma możliwość definicji różnych typów podparć oraz ich wprowadzania do konstrukcji. W przypadku konstrukcji prętowej modelowanej w układzie płaskim (2-D) podpory definiowane są w węzłach.

Okno dialogowe **Podpory** składa się z kilku części. Pośrodku znajduje się okno, w którym wyświetlana jest lista aktywnych typów podparć. W dolnej części zlokalizowane jest pole aktualnej selekcji obiektów (węzłów w przypadku konstrukcji prętowych 2-D).

Na rysunkach 2.17a i 2.18a pokazano okna dialogowe **Podpory** dla zdefiniowanych podpór typu przegub i utwierdzenie.

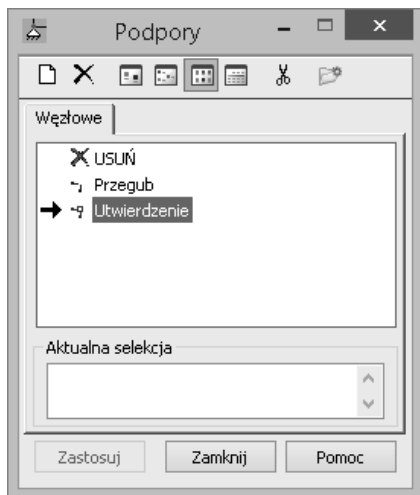


a)

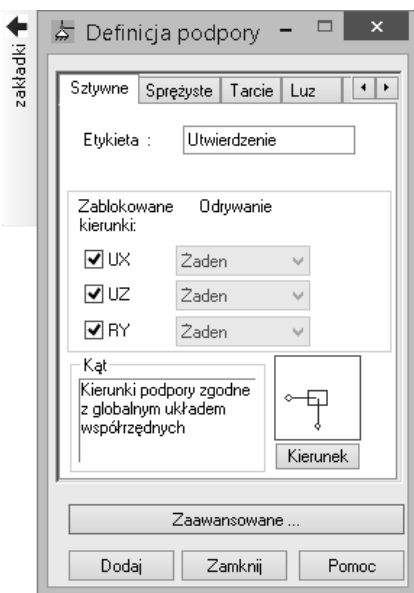


b)

Rys. 2.17. Okna dialogowe *Podpory* – *Przegub*






a)



b)

Rys. 2.18. Okna dialogowe *Podpory* – *Utwierdzenie*

W górnej części okna **Podpory** znajduje się kilka przycisków, z których najważniejsze to:


- dodanie (definicja) nowego typu podpory ,
- usunięcie z aktywnej listy wybranego typu podpory ,
- usunięcie z aktywnej listy typów podpór, które nie występują w modelu konstrukcji .


Najistotniejszym elementem podczas definicji podpór jest prawidłowe określenie zablokowanego/zwolnionego stopnia swobody. Dla konstrukcji modelowanej w układzie płaskim 2-D występują następujące stopnie swobody (orientowane domyślnie w układzie globalnym):

- UX : przesuw w kierunku X ,
- UY : przesuw w kierunku Y ,
- RY : obrót wokół osi Y .

Na rysunkach 2.17b i 2.18b pokazano zdefiniowane stopnie swobody podpór typu przegub i utwierdzenie.

Program Autodesk Robot Structural Analysis Professional 2015 pozwala na definicję szeregu różnych typów podpór, uwzględniających ich pracę, np. podpory podatne, nieliniowe i inne.

Analogicznie jak w przypadku innych atrybutów, proces wprowadzania podpór obejmuje ich definicję (lub wykorzystanie już istniejących typów) i nadanie ich w konstrukcji. Definicja nowej podpory odbywa się poprzez kliknięcie ikony  znajdującej się w górnej części okna dialogowego **Podpory**. Natomiast w celu edycji już zdefiniowanej podpory należy dwukrotnie kliknąć w jej nazwę w środkowej części okna dialogowego (rys. 2.17a i 2.18a). Następnie przechodzimy do definicji/edycji danej podpory w oknie **Definicja podpory**, gdzie zaznaczamy blokadę danego stopnia swobody (rys. 2.17b i 2.18b). Zmiany zatwierdzamy przyciskiem **Dodaj**. Podpory nadajemy zaznaczając ich dany typ z listy zdefiniowanych podpór i zatwierdzając je dla aktualnej selekcji obiektów w dolnej części okna **Podpory**.

Usuwanie podpór z konstrukcji odbywa się za pomocą klawisza  dla wybranych elementów konstrukcji.

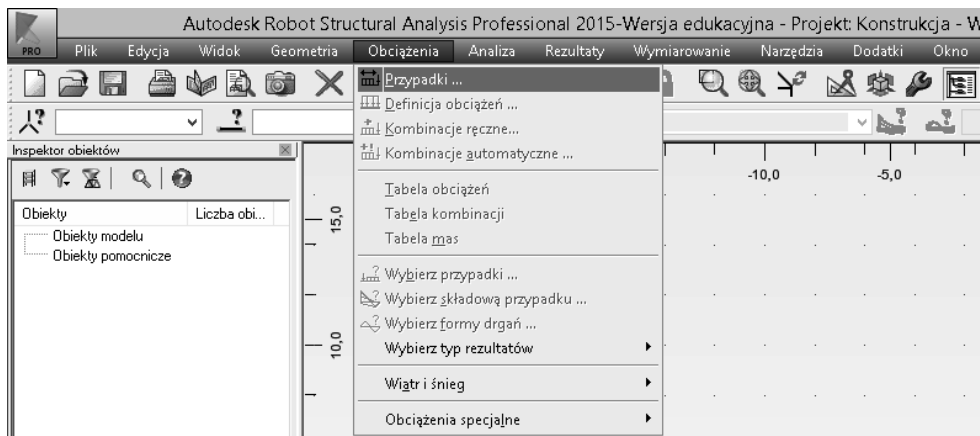
2.7. Obciążenia

2.7.1. Przypadki obciążeniowe

W programie Autodesk Robot Structural Analysis Professional 2015 użytkownik ma do dyspozycji szereg różnego rodzaju obciążeń, które symulują oddziaływanie różnych czynników na konstrukcję. Poniżej podano informacje dotyczące obciążeń występujących w zakresie statycznej pracy płaskich ustojów prętowych.

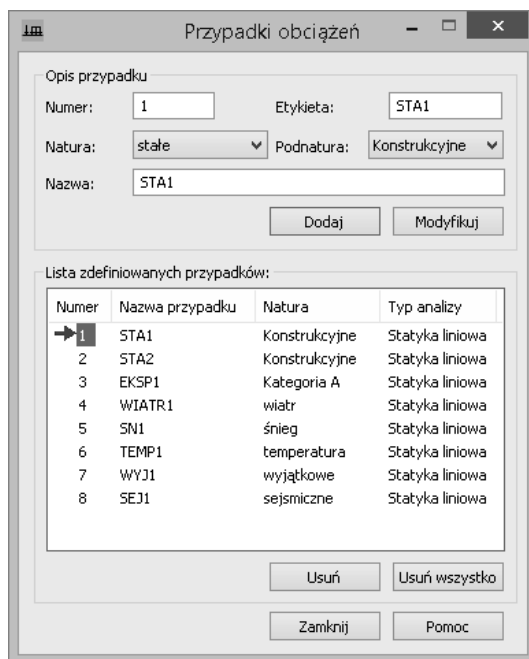
Przed przyłożeniem obciążenia do konstrukcji należy zdefiniować tzw. *przypadki obciążeń*, które porządkują i nadają obciążeniom naturę zgodną ich charakterem.

Przypadki obciążeniowe definiujemy za pomocą opcji **Przypadki** wybieranej z menu **Obciążenia** (rys. 2.19).



Rys. 2.19. Opcja Przypadki w menu Obciążenia

Przechodzimy do okna dialogowego **Przypadki obciążeń** (rys. 2.20).



Rys. 2.20. Okno dialogowe Przypadki obciążeń

W kolejnych polach w górnej części okna użytkownik definiuje **Numer** przypadku, jego **Etykietę**, **Naturę**, **Podnaturę** oraz **Nazwę**. Istotnym parametrem jest **Natura** definiowanego przypadku obciążenia, gdyż jest ona utożsamiana z rodzajem oddziaływania. W tym zakresie dostępne są następujące **Natury** przypadków obciążeniowych:

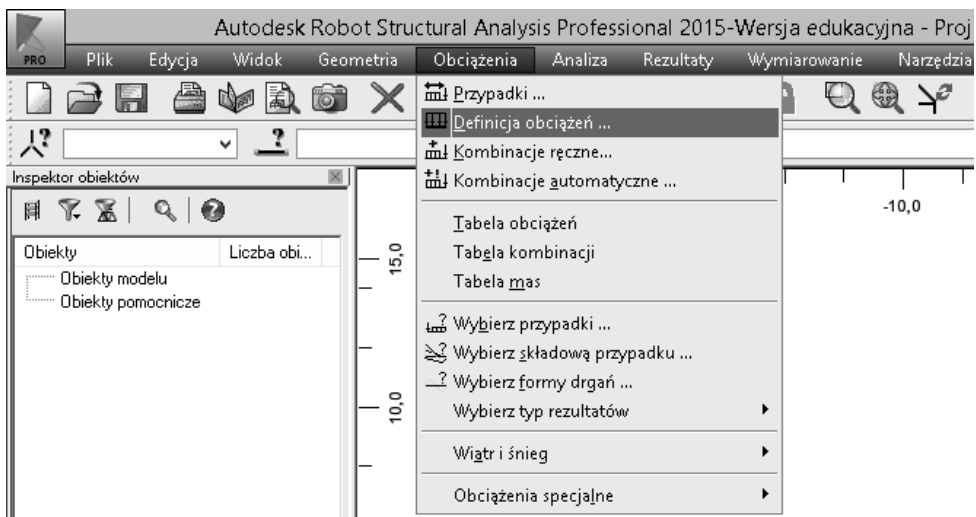
- ciężar własny,
- stałe,
- eksploatacyjne,
- wiatr,
- śnieg,
- temperatura,
- wyjątkowe,
- sejsmiczne.

W środkowej części okna dialogowego **Przypadki obciążeń** wyświetlana jest lista zdefiniowanych przypadków obciążeń.

Użytkownik ma również możliwość edycji danego przypadku obciążenia za pomocą przycisku **Modyfikuj** oraz usunięcia przypadków za pomocą przycisku **Usuń/Usuń wszystko**.


2.7.2. Definicja obciążeń w konstrukcji

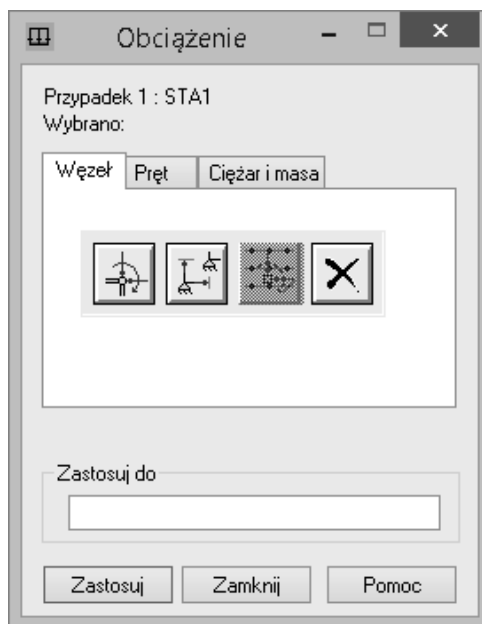
Obciążenia wprowadzane są w programie Autodesk Robot Structural Analysis Professional 2015 za pomocą opcji **Definicja obciążeń** uruchamianej z menu **Obciążenia** (rys. 2.21).



Rys. 2.21. Opcja **Definicja obciążeń** w menu **Obciążenia**



Uruchomione zostaje okno dialogowe **Obciążenie**. W zależności od typu konstrukcji, a co za tym idzie występujących w modelu typów elementów skończonych, w oknie tym dostępne są opcje umożliwiające przykładanie obciążeń do węzłów, prętów, paneli. Dla wszystkich elementów istnieje również możliwość automatycznej generacji obciążeń ciężarem własnym i masą.

Okno dialogowe **Obciążenie** dostępne dla elementów prętowych pokazano na rysunku 2.22, gdzie obciążenia mogą być przykładane do węzłów konstrukcji. Zdefiniowane obciążenie przykładane jest do obiektów, których aktywna lista jest dostępna w dolnej części okna. Obciążenia są wprowadzane do konstrukcji poprzez kliknięcie klawisza **Zastosuj**. Usuwanie obciążeń odbywa się analogicznie dla aktywnej listy obiektów przy wykorzystaniu klawisza .



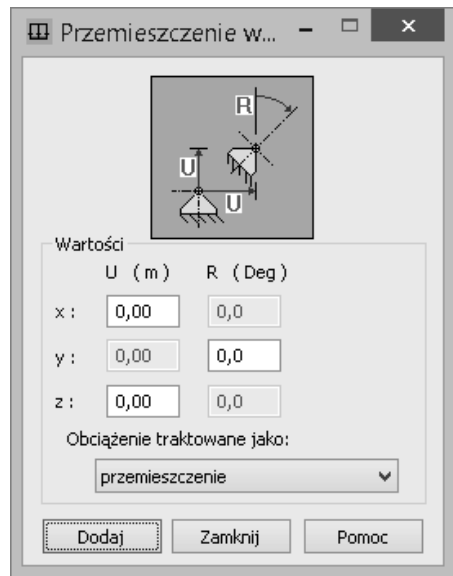
*Rys. 2.22. Okno dialogowe **Obciążenie** – Węzeł*

Dla węzłów dostępne są obciążenia typu:

- siła węzłowa  (rys. 2.23a),
- przemieszczenie wymuszone  (rys. 2.23b).



a)



b)








Rys. 2.23. Okna dialogowe *Siła węzłowa* (a) i *Przeszczenie wymuszone* (b)

Okno dialogowe **Obciążenie** przykładane do prętów pokazano na rysunku 2.24.

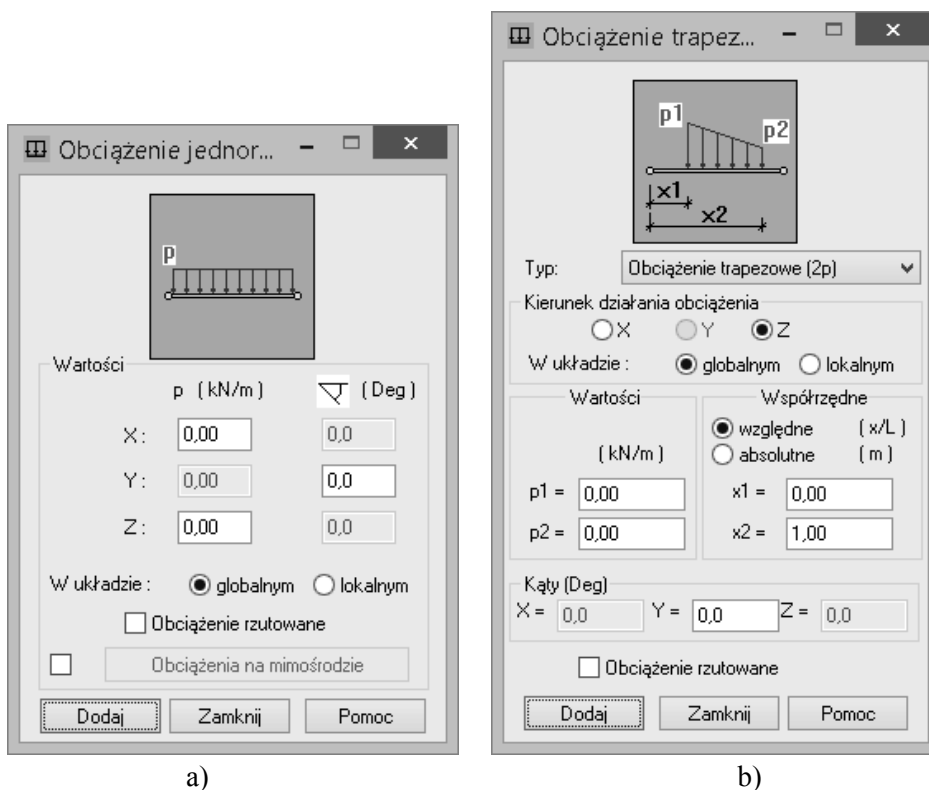


Rys. 2.24. Okno dialogowe *Obciążenie – Pręt*

Obciążenia dostępne dla prętów:

- obciążenie jednorodne  (rys. 2.25a),
- obciążenie trapezowe  (rys. 2.25b),
- moment rozłożony ,
- siła prętowa  (rys. 2.26a),
- dylatacja  (rys. 2.26b),
- temperatura ,
- obciążenie powierzchniowe .

Na rysunkach 2.25 i 2.26 pokazano okna dialogowe dla najbardziej typowych obciążeń prętowych, tj. obciążeń równomiernie rozłożonych i trapezowych, obciążeń punktowych siłą i momentem oraz skrócenia/wydłużenia prętów (dylatacja).



Rys. 2.25. Okna dialogowe **Obciążenie jednorodne** (a) i **Obciążenie trapezowe** (b)



a)



b)

Rys. 2.26. Okna dialogowe *Siła prętowa* (a) i *Dylatacja* (b)

Jak już wspomniano, w programie Autodesk Robot Structural Analysis Professional 2015 są dostępne obciążenia ciężarem własnym oraz masą (rys. 2.27).



Rys. 2.27. Okno dialogowe *Obciążenie – Ciężar i masa*

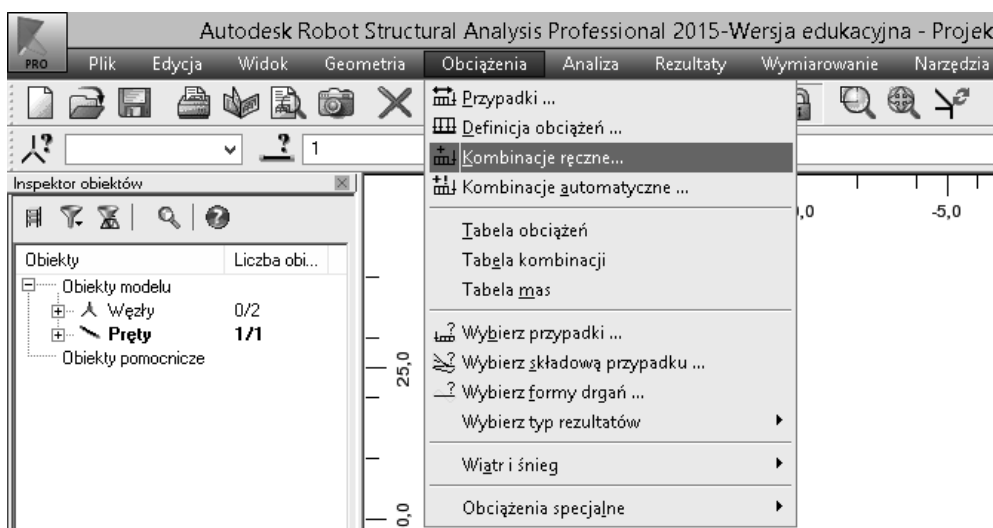
2.7.3. Kombinacje obciążeń

Zdefiniowane przypadki obciążeniowe zawierające przyłożone do konstrukcji obciążenia umożliwiają generację kombinacji, tworzących najniekorzystniejszy układ oddziaływań.

Podstawowe kombinacje pozwalają na weryfikację:

- stanu granicznego nośności (SGN/ULS),
- stanu granicznego użytkowania (SGU/SLS).

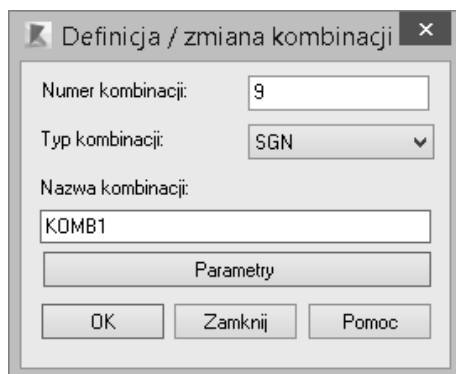
Kombinacje w trybie ręcznym, czyli definiowane w całym zakresie przez użytkownika, uruchamiane są za pomocą opcji **Kombinacje ręczne** z menu **Obciążenia** (rys. 2.28).



Rys. 2.28. Opcja **Kombinacje ręczne** w menu **Obciążenia**

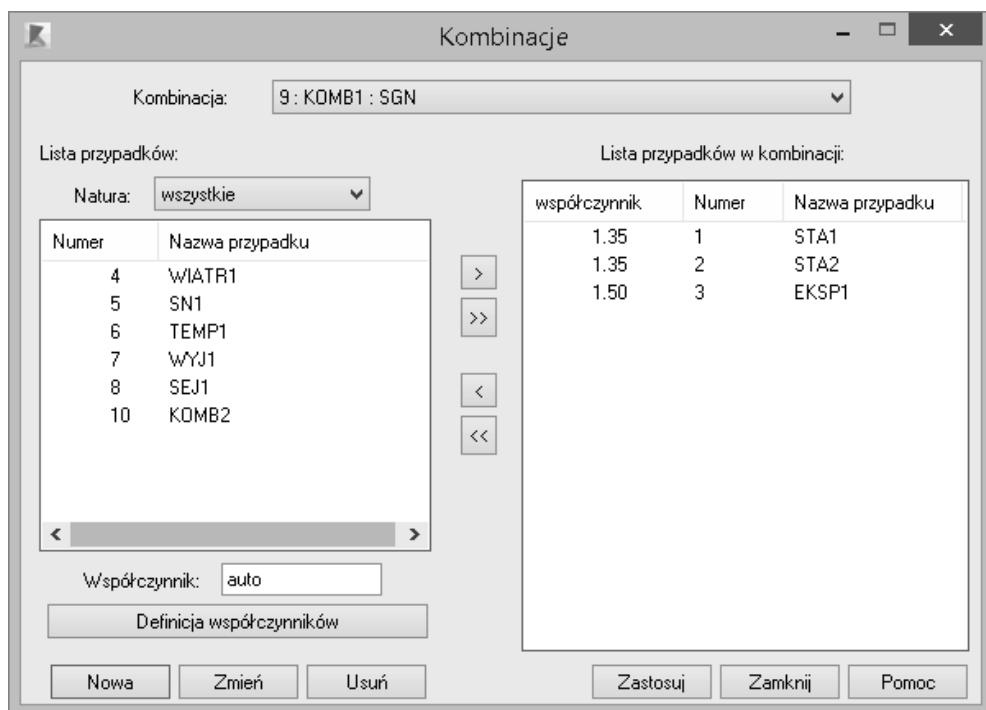
Uruchomione zostaje okno dialogowe **Definicja / zmiana kombinacji**, gdzie rozpoczynamy budowanie kombinacji (rys. 2.29). Podajemy numer kombinacji oraz definiujemy jej typ, tj. kombinację w stanie granicznym nośności (SGN/ULS) lub użytkowania (SGU/SLS).

Funkcja **Parametry**, pozwala zdefiniować typ kombinacji sejsmicznej oraz określić naturę kombinacji, analogicznie jak w przypadkach obciążeniowych. Dostępna jest również opcja kombinacji kwadratowej.




Rys. 2.29. Okno dialogowe *Definicja / zmiana kombinacji*

Następnie uruchamiane zostaje okno dialogowe **Kombinacje**, w którym dokonujemy definicji składni (reguły) kombinacji (rys. 2.30).

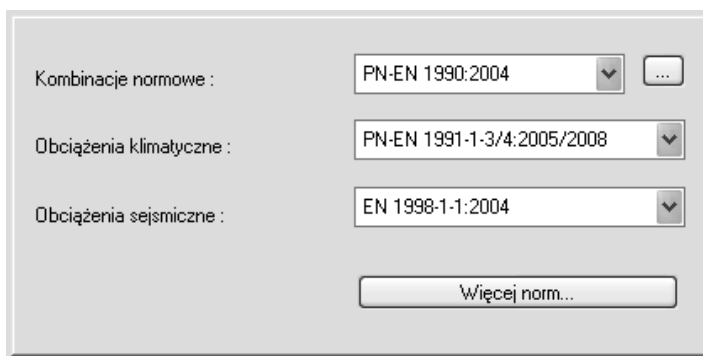


Rys. 2.30. Okno dialogowe *Kombinacje*

W górnym polu wyświetlana jest aktualnie tworzona/edytowana kombinacja, którą użytkownik może w każdym momencie przełączyć. W lewym oknie znajduje się lista przypadków obciążeniowych. Po prawej stronie wyświetlana jest lista przypadków obciążeń, które zostały wpisane do tworzonej/edytowanej kombinacji. Budowanie kombinacji odbywa się na zasadzie zaznaczenia danego przypadku obciążeń z listy po lewej stronie i przeniesienia go do prawego pola za pomocą klawisza . Analogicznie można usuwać niepotrzebne przypadki z listy kombinacji, przenosząc je z prawego do lewego okna.

W definicji kombinacji istotnym parametrem jest wartość współczynnika, przez który mnożone jest obciążenie. Użytkownik ma możliwość wprowadzania tego współczynnika w sposób automatyczny, wykorzystując współczynniki przypisane poszczególnym naturom obciążeń. Lista współczynników jest zawarta w polu **Definicja współczynników**. Użytkownik ma również możliwość edycji tej listy. Jeśli dane obciążenie w definiowanej kombinacji musi być mnożone przez inny niż typowy współczynnik, jest on wpisywany w polu **Współczynnik**. Domyślnie znajduje się tam wartość *auto*, czyli współczynniki są wczytywane z listy domyślnej. Więcej informacji na temat reguł budowania kombinacji i wykorzystywania norm budowlanych w tym zakresie można znaleźć w [1].

Normy, w których zapisane są reguły dotyczące obciążeń oraz ich kombinacji ustawiane i edytowane są w opcji **Normy projektowe – obciążenia** (rys. 2.31).



Rys. 2.31. Opcja Normy projektowe – obciążenie w module Preferencji zadania

Regulamin kombinacji danej normy może być edytowany przez kliknięcie przycisku znajdującego się po prawej stronie listy rozwijalnej **Kombinacje normowe** (rys. 2.32).

Uruchamiając tę opcję należy zwrócić uwagę, na to aby przez pomyłkę nie zmienić współczynników znajdujących się w tabeli regulaminu, co może skutkować błędami w przypadku obliczeń prowadzonych przy wykorzystaniu kombinacji automatycznych.

Editor of code combination regulations - C:\Documents and Settings\Pracownia komp\Dane aplikacji\Autodesk\Aut... - [X]

File Preferences Help

Code: PN-EN 1990:2004 Version: 24.0

	Nature	Subnature	γ_{max}	γ_{min}	γ_s	γ_a	$\Psi_{0,1}$	$\Psi_{0,2}$	$\Psi_{0,3}$	$\Psi_{0,n}$	Ψ_1	$\Psi_{2,1}$	$\Psi_{2,n}$	Ψ_k	ξ	ξ_z
1	Dead	STRC	1.35	1	1	1									0.85	1
2	Dead	NSTR	1.35	1	1	1									0.85	1
3	Live	CAT_A	1.5		1		0.7				0.5	0.3				
4	Live	CAT_B	1.5		1		0.7				0.5	0.3				
5	Live	CAT_C	1.5		1		0.7				0.7	0.6				
6	Live	CAT_D	1.5		1		0.7				0.7	0.6				
7	Live	CAT_E	1.5		1		1				0.9	0.8				
8	Live	CAT_F	1.5		1		0.7				0.7	0.6				
9	Live	CAT_G	1.5		1		0.7				0.5	0.3				
10	Live	CAT_H	1.5		1											
11	Snow		1.5		1		0.5				0.2					
12	Snow	S_M1000	1.5		1		0.5				0.2					
13	Snow	S_P1000	1.5		1		0.7				0.5	0.2				
14	Wind		1.5		1		0.6				0.2					
15	Temperature		1.5		1		0.6				0.5					
16	Accidental					1										
17	Seismic					1										

	Combinatio n type	User-defined type	Loads			
			Dead	Live	Ac	
1	ULS	USR	STR	(4) $\sum_{i \geq 1} G_i \cdot \begin{cases} \gamma_s^{(i)} \\ \gamma_a^{(i)} \end{cases}$	(39) $\sum_{i \geq 1} Q_i \cdot \Psi_{0,1}^{(i)} \cdot \begin{cases} \gamma_s^{(i)} \\ 0 \end{cases}$	(0)
2	ULS	USR	STR	(38) $\sum_{i \geq 1} G_i \cdot \xi(i) \cdot \begin{cases} \gamma_s^{(i)} \\ \gamma_a^{(i)} \end{cases}$	(19) $Q_i \cdot \gamma_i + \sum_{j \geq 2, j \neq i} Q_j \cdot \gamma_j \cdot \Psi_{0,1}$	(0)
3	SLS	RAR		(1) $\sum_{i \geq 1} G_i \cdot \gamma_s^{(i)}$	(21) $Q_i + \sum_{j \geq 2, j \neq i} Q_j \cdot \Psi_{0,1}$	(0)
4	SLS	FRE		(1) $\sum_i G_i \cdot \gamma_s^{(i)}$	(20) $Q_i \cdot \Psi_1 + \sum Q_i \cdot \Psi_2$	(0)

Rys. 2.32. *Regulamin kombinacji w module Preferencji zadania*

Na rysunkach 2.29 i 2.30 pokazano okna dialogowe, w których definiowana jest przykładowa kombinacja w stanie granicznym nośności (SGN/ULS). Na rysunkach 2.33 i 2.34 pokazano analogiczne okna dla definicji kombinacji w stanie granicznym użytkowania (SGU/SLS).

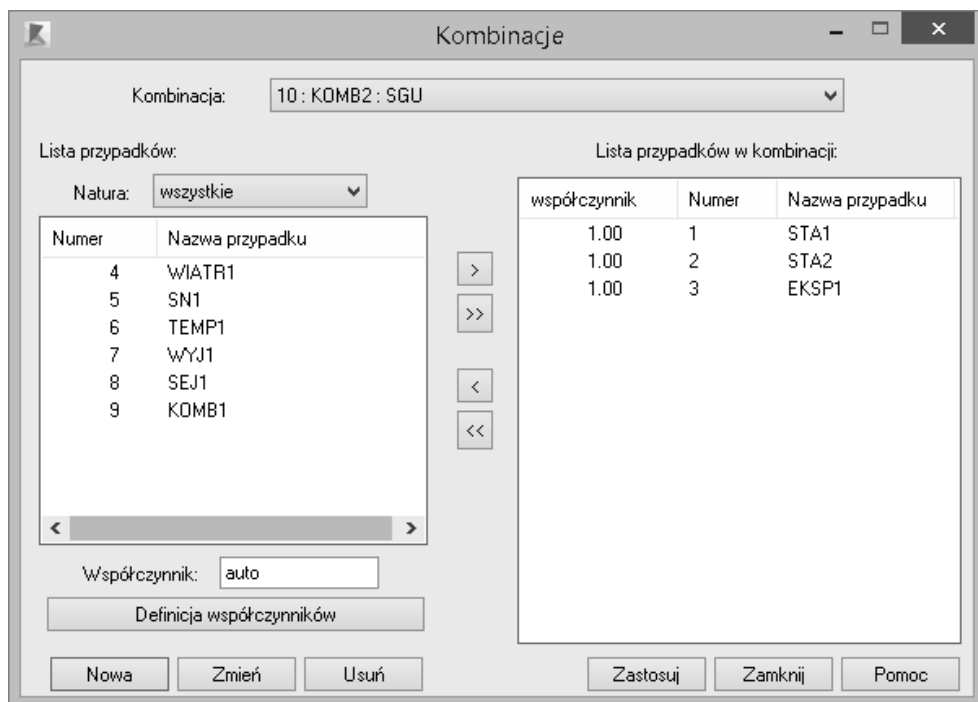
Definicja / zmiana kombinacji [X]

Numer kombinacji:

Typ kombinacji:

Nazwa kombinacji:

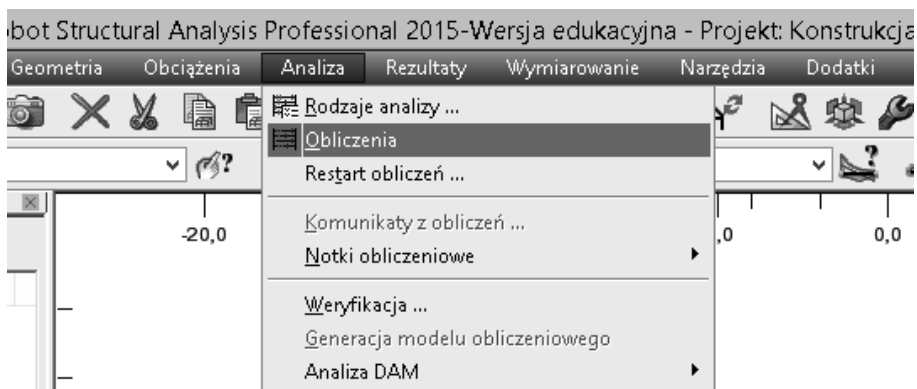
Rys. 2.33. *Okno dialogowe Definicja / zmiana kombinacji*



*Rys. 2.34. Okno dialogowe **Kombinacje***

2.8. Analiza

Rozpoczęcie analizy obliczeniowej następuje poprzez wywołanie opcji **Obliczenia** w menu **Analiza** (rys. 2.35). Ustawienia parametrów analizy dokonywane są w opcji **Rodzaje analizy**, jednakże w zakresie typowych obliczeń statycznych można bazować na domyślnych ustawieniach programu.



*Rys. 2.35. Opcja **Obliczenia** w menu **Analiza***

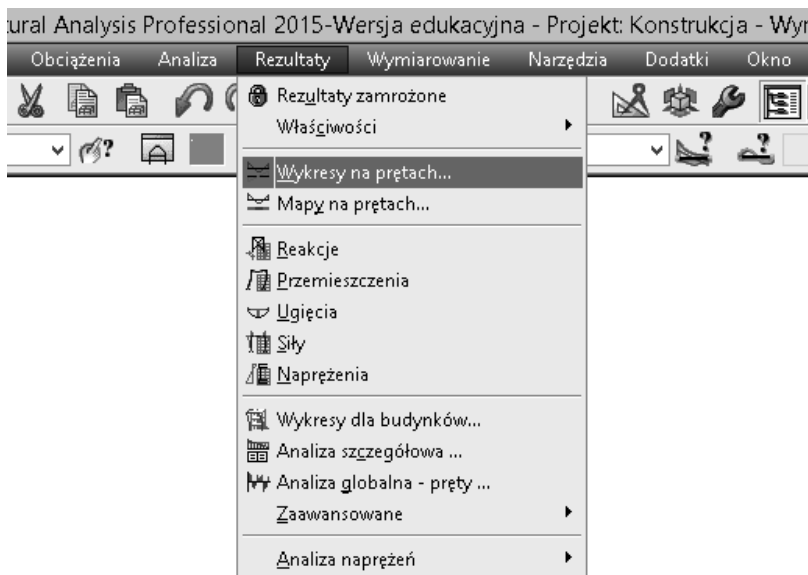
Jeśli w trakcie obliczeń nie ma błędów i ostrzeżeń, można przyjąć, że z punktu widzenia procesu obliczeniowego analiza została wykonana poprawnie i można przejść do przeglądania jej wyników. Oczywiście brak wyżej wymienionych komunikatów nie gwarantuje, że obliczenia przeprowadzono poprawnie. Użytkownik powinien szczegółowo przeanalizować uzyskane rezultaty, aby móc to stwierdzić z całą pewnością.

2.9. Rezultaty

Wyniki w programie Autodesk Robot Structural Analysis Professional 2015 dostępne są w dwóch trybach: graficznym i tekstowym. W pierwszym przypadku użytkownik może generować różnego rodzaju wykresy i mapy wyznaczonych podczas analizy wielkości, natomiast w drugim przypadku wielkości te są prezentowane w postaci tabelarycznej.

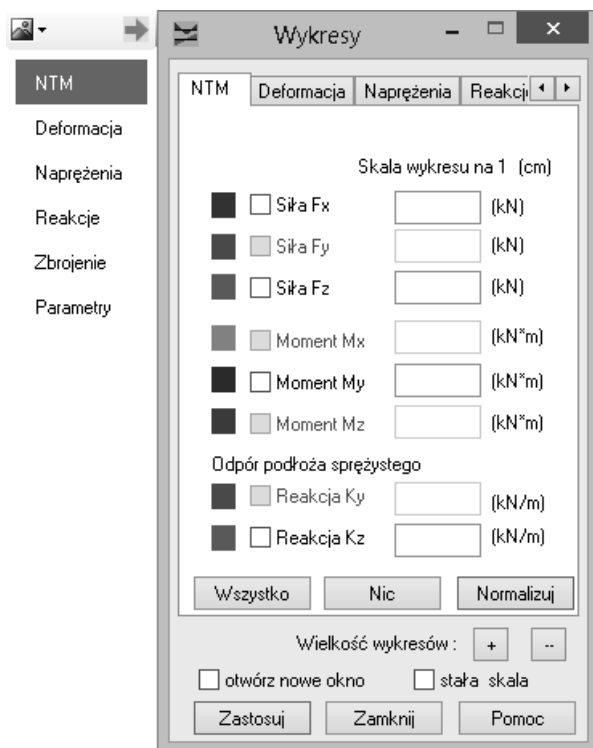
2.9.1. Rezultaty w trybie graficznym

Przegląd wyników w formie graficznej dla elementów prętowych jest uruchamiany z menu **Rezultaty** za pomocą opcji **Wykresy na prętach** (rys. 2.36).



Rys. 2.36. Opcja **Wykresy na prętach** w menu **Rezultaty**

Wyświetlone zostaje okno dialogowe **Wykresy**. Domyślnie ustawiona jest zakładka **NTM** (rys. 2.37), umożliwiająca generację wykresów sił przekrojowych.



Rys. 2.37. Okno dialogowe **Wykresy – NTM**

W zależności od typu konstrukcji, w oknie **Wykresy – NTM** dostępne są opcje umożliwiające generację następujących wykresów:

- wykresy sił przekrojowych NTM, czyli sił osiowych F_X , sił tnących F_Y , F_Z , momentów skręcających M_X i momentów gnących M_Y i M_Z ,
- wykresy odporu (reakcji) podłoża sprężystego K_Y i K_Z .

Użytkownik ma możliwość dostosowania kolorów i skali wyżej wymienionych wykresów.

W dolnej części zakładki okna **NTM** dostępne są klawisze, umożliwiające dostosowanie zakresu prezentowanych wykresów oraz ich wielkości:

- **Wszystko**: prezentowane są wykresy wszystkich wielkości,
- **Nic**: żadne wielkości nie będą prezentowane w formie wykresów,
- **Normalizuj**: dostosowanie skali wykresów do maksymalnej i minimalnej wartości prezentowanych na wykresach wielkości.

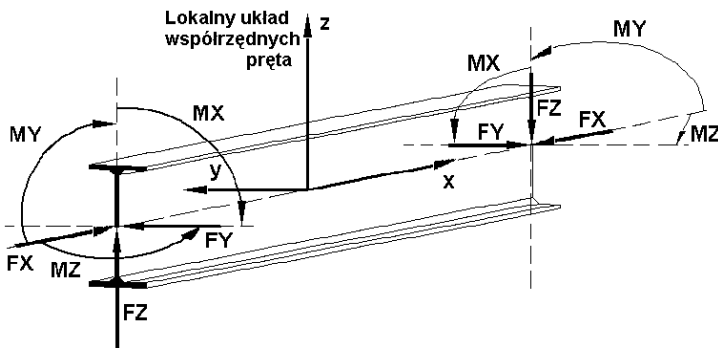
Poniżej tych klawiszy zlokalizowano przyciski + i – pozwalające na krokowe zwiększenie/zmniejszenie wielkości wykresów.

Z kolei funkcja **stała skala** umożliwia zachowywanie skali po zmianie przypadku obciążeniowego dla wszystkich prezentowanych wykresów.

Podstawową rzeczą w analizie wyników konstrukcji prętowych jest konwencja znakowania sił wewnętrznych i przemieszczeń. W programie Robot obowiązuje następująca konwencja znakowania tych wielkości [2]:

- znak sił przekrojowych jest dodatni, jeśli efekt przez nie wywołany na końcu pręta jest taki sam jak efekt dodatnich sił węzłowych; znak sił węzłowych odpowiada kierunkowi osi w lokalnym układzie współrzędnych;
- znak momentu zginającego M_y jest dodatni jeśli powoduje on rozciąganie włókien belki znajdujących się po ujemnej stronie lokalnej osi współrzędnych z ;
- znak momentu zginającego M_z jest dodatni jeśli powoduje on rozciąganie włókien belki, które znajdują się po dodatniej stronie lokalnej osi współrzędnych y .

Opisaną wyżej konwencję znakowania sił przekrojowych w elemencie prętowych najlepiej obrazuje schemat pokazany na rysunku 2.38.



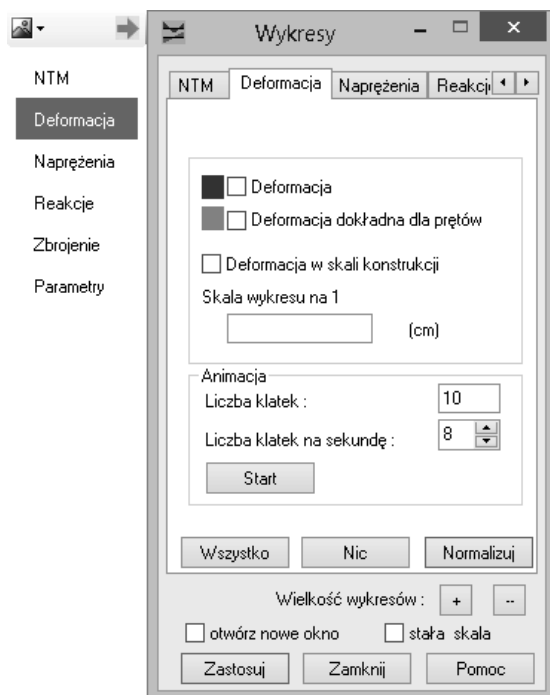
Rys. 2.38. Konwencja znakowania sił w elemencie prętowym [2]

Kolejna zakładka **Deformacja** pozwala na generację wykresów konstrukcji odkształconej (rys. 2.39).

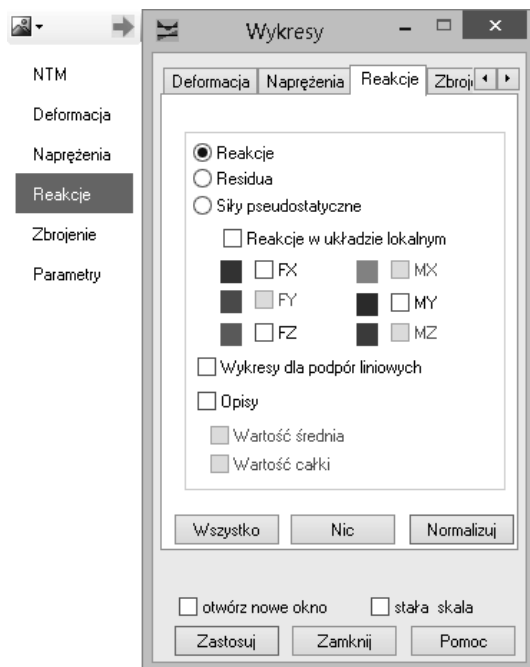
Dostępne w programie funkcje [2]:

- Deformacja: generowany jest widok konstrukcji odkształconej pod wpływem działającego obciążenia; kształt deformacji uzyskiwany jest w oparciu o wielomiany trzeciego stopnia na podstawie informacji o przemieszczeniach i obrotach węzłów konstrukcji;
- Deformacja dokładna: dostępna dla konstrukcji prętowych; generowany jest widok konstrukcji odkształconej pod wpływem działającego obciążenia; kształt deformacji uzyskiwany jest w oparciu o informacje o przemieszczeniach i obrotach węzłów konstrukcji oraz siłach wewnętrznych działających w prętach.

Z kolei prezentacja reakcji w postaci granicznej możliwa jest w oknie **Reakcje** (rys. 2.40).



Rys. 2.39. Okno dialogowe *Wykresy – Deformacja*



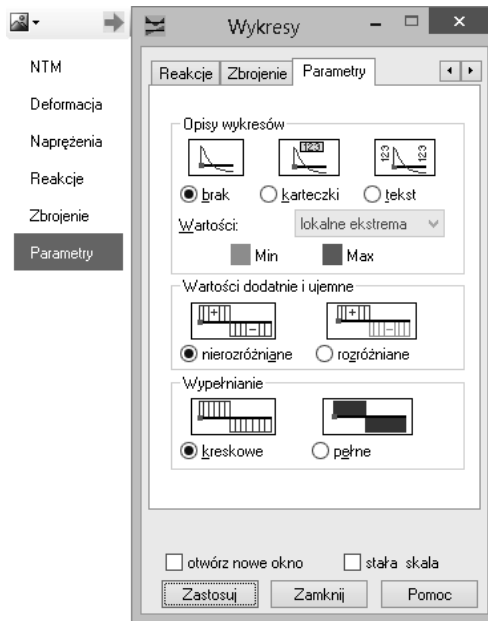
Rys. 2.40. Okno dialogowe *Wykresy – Reakcje*

Dostępne w programie funkcje (rys. 2.40):

- Reakcje: wartości sił i momentów podporowych,
- Residua: sumy sił w węzłach konstrukcji i momenty resztkowe,
- Siły pseudostatyczne: siły od prostego przypadku obciążenia wygenerowanego na podstawie postaci przypadku analizy sejsmicznej lub spektralnej.

Reakcje (siły i momenty) są wyświetlane w globalnym układzie współrzędnych, natomiast jest możliwość ich prezentacji w układzie lokalnym za pomocą dostępnej funkcji **Reakcje w układzie lokalnym**.

W ostatnim oknie dialogowym **Parametry** użytkownik ma możliwość dostosowania ustawień dotyczących wyglądu wykresów (rys. 2.41).



Rys. 2.41. Okno dialogowe *Wykresy* – *Parametry*

Dotyczy to wyboru sposobu prezentacji wykresów w zakresie ich opisów, ustalenia rozróżnienia kolorami wartości dodatnich i ujemnych oraz wykresów kreskowanych i pełnych.

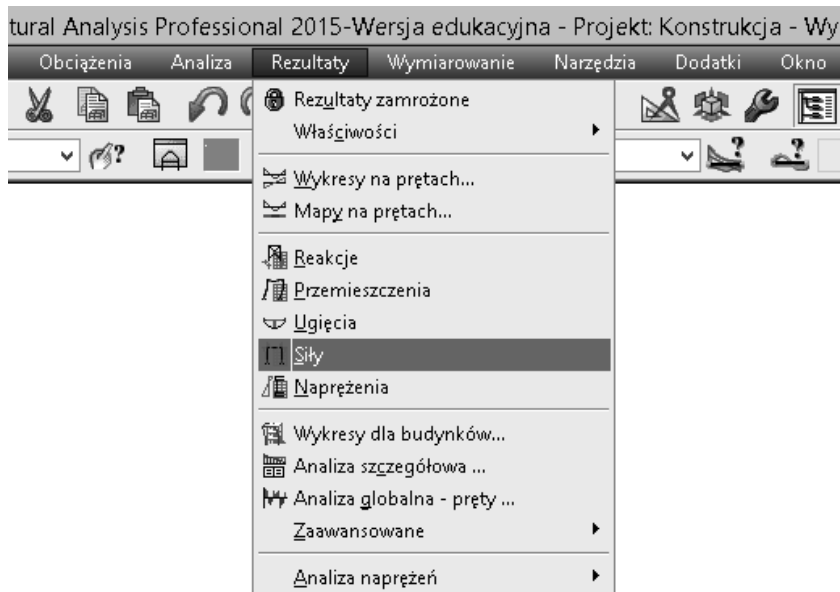
Użyteczną funkcją jest opcja prezentacji wartości wielkości na wykresach. Możliwe ustawienia [2]:

- wszystkie: opisy wykresów są wyświetlane na każdym elemencie obliczeniowym na jego początku i końcu oraz w miejscach wartości maksymalnej i minimalnej,
- lokalne ekstrema: opisy wykresów są wyświetlane tylko dla wartości maksymalnej i minimalnej na przecie,

- globalne ekstrema: opisy są wyświetlane tylko dla globalnej wartości maksymalnej i minimalnej, pokazując wartości ekstremalne dla całej konstrukcji.

2.9.2. Rezultaty w trybie tabelarycznym

Wyniki w trybie tabelarycznym są wywoływane za pomocą opcji **Reakcje, Przemieszczenia, Ugięcia, Siły i Naprężenia** znajdujących się w menu **Rezultaty** (rys. 2.42).



Rys. 2.42. Opcja Siły w menu Rezultaty

Po wywołaniu wybranej opcji, pokazane zostaje okno z tabelami, w których prezentowane są wyniki. Są one posegregowane w czterech zakładkach:

- Wartości: wyświetlane są wszystkie wartości wielkości wynikowych dla wszystkich elementów (prętów i węzłów) oraz przypadków obciążeniowych (przypadków prostych i kombinacji);
- Obwiednia: wyświetlane są wartości maksymalne i minimalne poszczególnych wielkości wynikowych dla wszystkich elementów (prętów i węzłów) oraz przypadków obciążeniowych (przypadków prostych i kombinacji);
- Ekstrema globalne: wyświetlane są wartości maksymalne i minimalne poszczególnych wielkości wynikowych jedynie dla elementów i przypadków, dla których osiągnęły one wartości ekstremalne w zbiorze wszystkich wyników;
- Info: wyświetlane są informacje dotyczące węzłów, prętów i przypadków obciążeniowych dla których prezentowane są wyniki uzyskane w trakcie analizy.

Na rysunku 2.43 pokazano przykładową tabelę z wynikami sił – zakładka **Wartości**.

Pręt/Węzeł/Przypadek	FX (kN)	FZ (kN)	MY (kNm)
1/ 1/ 1	16,56	6,26	-8,39
1/ 1/ 2	5,65	2,14	-2,60
1/ 1/ 3	25,03	9,46	-11,57
1/ 1/ 4	5,05	4,37	-2,74
1/ 1/ 5	-12,75	-4,86	5,80
1/ 1/ 6	8,40	3,18	-3,84
1/ 1/ SGN+	80,90	32,80	-2,30
1/ 1/ SGN-	3,09	1,11	-38,68
1/ 1/ SGU+	56,15	22,71	-5,20
1/ 1/ SGU-	9,46	3,54	-26,89
1/ 1/ SGU:CHR+	56,15	22,71	-5,20
1/ 1/ SGU:CHR-	9,46	3,54	-26,89
1/ 1/ SGU:FRE+	32,26	12,20	-9,84
1/ 1/ SGU:FRE-	19,66	7,43	-15,61
1/ 1/ SGU:QPR+	27,25	10,30	-11,00
1/ 1/ SGU:QPR-	22,21	8,40	-13,30

Rys. 2.43. Wyniki Siły – Wartości w trybie tabelarycznym

Obwiednie sił (zakładka **Obwiednia**) i wartości ekstremalne (zakładka **Ekstrema globalne**) pokazano na rysunkach 2.44 i 2.45.

Pręt/Węzeł/Przypadek	FX (kN)	FZ (kN)	MY (kNm)	Definicja
1/ 2/ SGN/62	125,43>>	-23,25	-26,89	1*1.35 + 2*1.35 + 3*1.50 + 4*0.90 + 6*1.05
1/ 2/ 5	-14,80<<	3,37	4,88	
1/ 1/ SGN/62	80,90	32,80>>	-38,68	1*1.35 + 2*1.35 + 3*1.50 + 4*0.90 + 6*1.05
1/ 2/ SGN/62	125,43	-23,25<<	-26,89	1*1.35 + 2*1.35 + 3*1.50 + 4*0.90 + 6*1.05
1/ 1/ 5	-12,75	-4,86	5,80>>	
1/ 1/ SGN/62	80,90	32,80	-38,68<<	1*1.35 + 2*1.35 + 3*1.50 + 4*0.90 + 6*1.05
2/ 3/ SGN/62	137,14>>	-20,44	-27,87	1*1.35 + 2*1.35 + 3*1.50 + 4*0.90 + 6*1.05
2/ 3/ 5	-16,53<<	3,46	5,56	
2/ 1/ SGN/62	82,36	28,92>>	-38,68	1*1.35 + 2*1.35 + 3*1.50 + 4*0.90 + 6*1.05
2/ 3/ SGN/62	137,14	-20,44<<	-27,87	1*1.35 + 2*1.35 + 3*1.50 + 4*0.90 + 6*1.05
2/ 1/ 5	-12,78	-4,79	5,80>>	
2/ 1/ SGN/62	82,36	28,92	-38,68<<	1*1.35 + 2*1.35 + 3*1.50 + 4*0.90 + 6*1.05
3/ 4/ SGN/62	88,74>>	5,61	4,88	1*1.35 + 2*1.35 + 3*1.50 + 4*0.90 + 6*1.05
3/ 2/ 5	-5,46<<	3,33	-9,37	
3/ 4/ SGN/31	62,42	11,08>>	25,56	1*1.35 + 2*1.35 + 3*0.75 + 5*1.50 + 6*1.05
3/ 2/ SGN/58	25,05	-4,66<<	3,88	1*1.00 + 2*1.00 + 4*1.50
3/ 4/ SGN/31	62,42	11,08	25,56>>	1*1.35 + 2*1.35 + 3*0.75 + 5*1.50 + 6*1.05
3/ 2/ SGN/31	52,12	5,52	-15,93<<	1*1.35 + 2*1.35 + 3*0.75 + 5*1.50 + 6*1.05
4/ 5/ SGN/62	95,54>>	4,15	4,19	1*1.35 + 2*1.35 + 3*1.50 + 4*0.90 + 6*1.05

Rys. 2.44. Wyniki Siły – Obwiednia w trybie tabelarycznym

Autodesk Robot Structural Analysis Professional 2015-Wersja edukacyjna - Projekt: Wild_Ko

Plik Edycja Widok Geometria Obciążenia Analiza Rezultaty Wymiarowanie Format

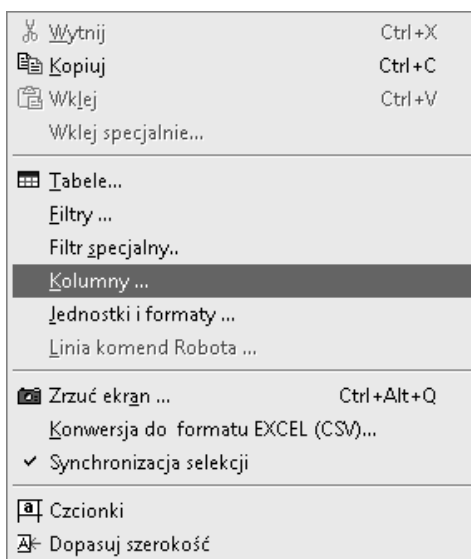
1do48 58do66 84dc 1do4 16 17 29do41 1do21

Inspektor obiektów

	FX (kN)	FZ (kN)	MY (kNm)
MAX	142,35	33,17	54,71
Pręt	29	31	101
Węzeł	32	34	63
Przypadek	SGN/62	SGN/62	SGN/47
MIN	-123,40	-24,06	-48,27
Pręt	87	101	101
Węzeł	3	63	63
Przypadek	SGN/62	SGN/42	SGN/42

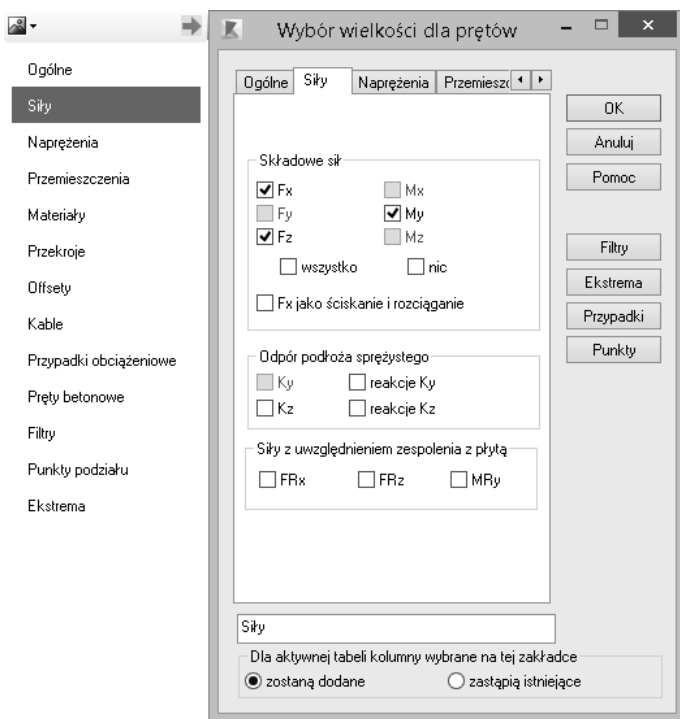
Rys. 2.45. Wyniki Siły – Ekstrema globalne w trybie tabelarycznym

Ustawienia wyników prezentowanych w tabelach mogą być zmieniane przez użytkownika, tak aby pokazać lub ukryć niektóre informacje. W tym celu należy najechać kursorem myszy na tabelę i kliknąć prawym klawiszem w celu wywołania okna dialogowego pokazanego na rysunku 2.46.



Rys. 2.46. Opcja Kolumny w menu kontekstowym

Należy wybrać opcję **Kolumny** i przejść do okna **Wybór wielkości dla prętów** (rys. 2.47). W kolejnych oknach użytkownik ma do dyspozycji szereg ustawień i filtrów, za pomocą których można dostosowywać prezentowane wyniki.



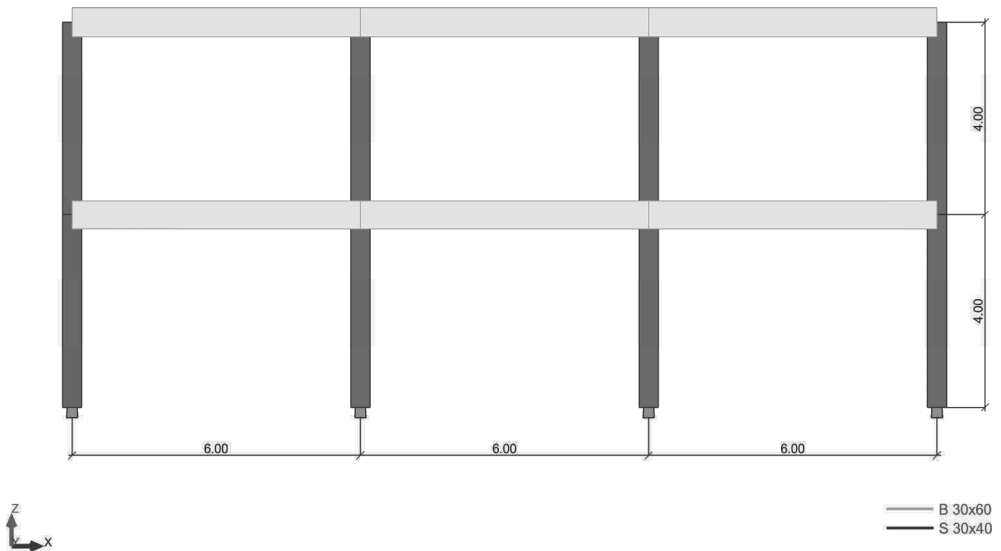
*Rys. 2.47. Okno dialogowe **Wybór wielkości dla prętów***

3. ANALIZA STATYCZNA RAMY ŻELBETOWEJ – Przykład

W niniejszym rozdziale pokazano krok po kroku poszczególne etapy tworzenia modelu numerycznego ramy żelbetowej pracującej w układzie płaskim 2-D w zakresie statycznym oraz analizy uzyskanych wyników.

3.1. Definicja prętów

Na rysunku 3.1 pokazano geometrię i przekroje analizowanej ramy żelbetowej.



Rys. 3.1. Geometria i przekroje analizowanej ramy żelbetowej

W pierwszym kroku ustawiamy parametry konfiguracyjne programu, zgodnie z wytycznymi podanymi w punkcie 2.1.

Następnie definiujemy pręty, wykorzystując opcję **Pręty** z menu **Geometria** (por. rys. 2.7). Przyjmujemy dane geometryczne węzłów i prętów konstrukcji zgodnie z tabelami 3.1 i 3.2.

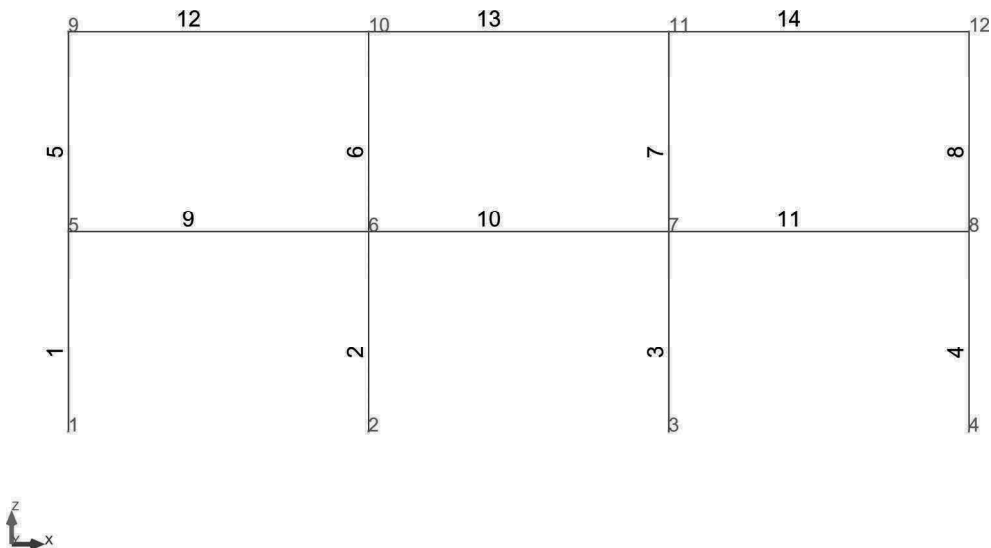
Tabela 3.1. Parametry węzłów

Węzeł	X (m)	Y (m)	Z (m)	Kod podpory
1	0,0	0,0	0,0	bbbbbb
2	6,00	0,0	0,0	bbbbbb
3	12,00	0,0	0,0	bbbbbb
4	18,00	0,0	0,0	bbbbbb
5	0,0	0,0	4,00	
6	6,00	0,0	4,00	
7	12,00	0,0	4,00	
8	18,00	0,0	4,00	
9	0,0	0,0	8,00	
10	6,00	0,0	8,00	
11	12,00	0,0	8,00	
12	18,00	0,0	8,00	

Tabela 3.2. Parametry prętów

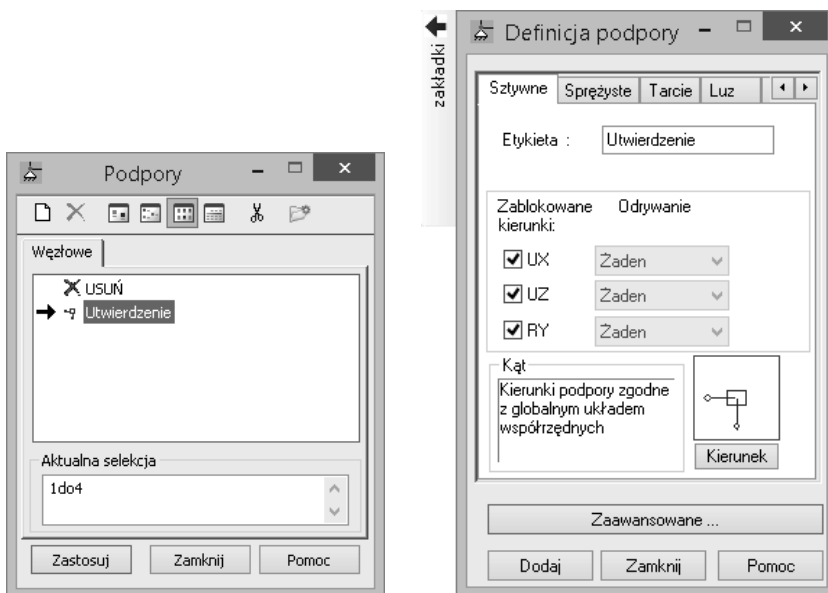
Pręt	Węzeł 1	Węzeł 2	Długość [m]	Gamma [Deg]	Typ
1	1	5	4,00	0,0	Pręt
2	2	6	4,00	0,0	Pręt
3	3	7	4,00	0,0	Pręt
4	4	8	4,00	0,0	Pręt
5	5	9	4,00	0,0	Pręt
6	6	10	4,00	0,0	Pręt
7	7	11	4,00	0,0	Pręt
8	8	12	4,00	0,0	Pręt
9	5	6	6,00	0,0	Pręt
10	6	7	6,00	0,0	Pręt
11	7	8	6,00	0,0	Pręt
12	9	10	6,00	0,0	Pręt
13	10	11	6,00	0,0	Pręt
14	11	12	6,00	0,0	Pręt

Układ prętów i węzłów zdefiniowanych w konstrukcji pokazano na rysunku 3.2.



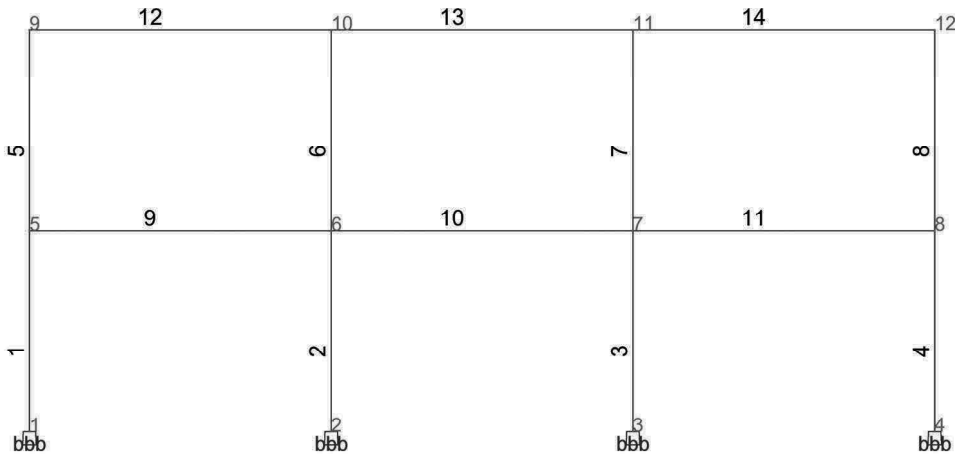
Rys. 3.2. Układ zdefiniowanych prętów i węzłów

W kolejnym kroku definiujemy podpory w konstrukcji, przyjmując, że wszystkie słupy rami są sztywno utwierdzone. W tym celu z menu **Geometria** wybieramy opcję **Podpory** (por. rys. 2.16). Wybieramy podporę typu utwierdzenie i definiujemy ją dla selekcji węzłów od 1 do 4 (rys. 3.3).



Rys. 3.3. Okna dialogowe Podpory – Definicja podpory

W efekcie, w węzłach od 1 do 4 zdefiniowane są podpory typu utwierdzenie (rys. 3.4).



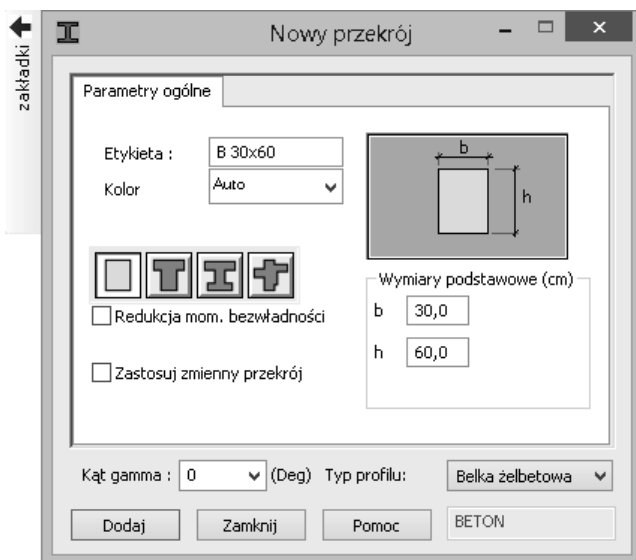
Rys. 3.4. Widok modelu obliczeniowego ze zdefiniowanymi podporami sztywnymi (typu utwierdzenie)

Ostatnim krokiem jest nadanie prętom odpowiednich charakterystyk i materiału.

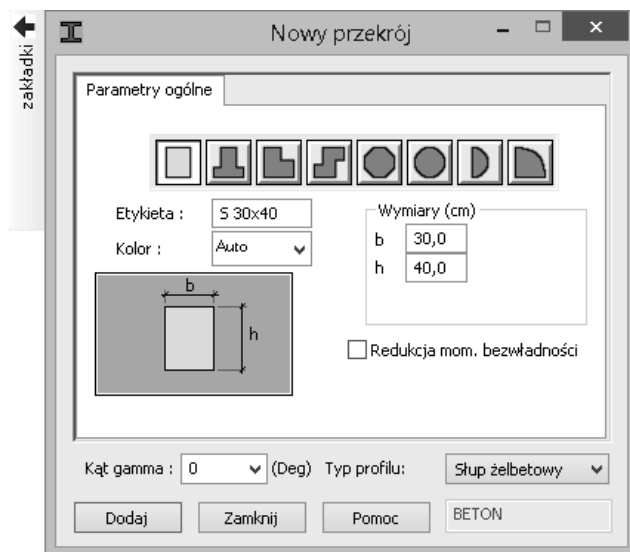
W tym celu uruchamiany opcję **Charakterystyki – Profile prętów** z menu **Geometria** (por. rys. 2.10). Definiujemy dwa przekroje:

- typ profilu *Belka żelbetowa* o wymiarach: $b = 30$ cm, $h = 60$ cm,
- typ profilu *Słup żelbetowy* o wymiarach: $b = 30$ cm, $h = 40$ cm.

Okna dialogowe **Nowy przekrój** dla wyżej wymienionych charakterystyk pokazano na rysunkach 3.5 i 3.6.



*Rys. 3.5. Okno dialogowe **Nowy przekrój** – definicja charakterystyk belki żelbetowej*

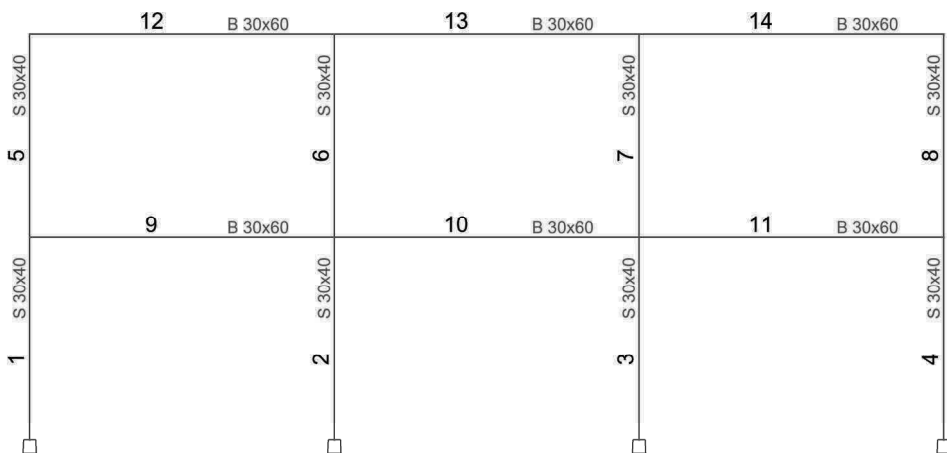


*Rys. 3.6. Okno dialogowe **Nowy przekrój** – definicja charakterystyk słupa żelbetowego*

Zdefiniowane przekroje nadajemy w oknie **Przekroje** wybierając:

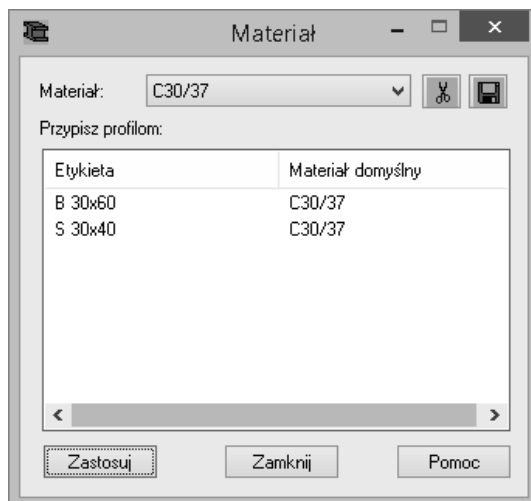
- przekrój S 30x40 dla prętów od 1 do 8,
- przekrój B 30x60 dla prętów od 9 do 14.

Widok konstrukcji z nadanymi profilami pokazano na rysunku 3.7.



Rys. 3.7. Widok modelu obliczeniowego ze zdefiniowanymi przekrojami prętów

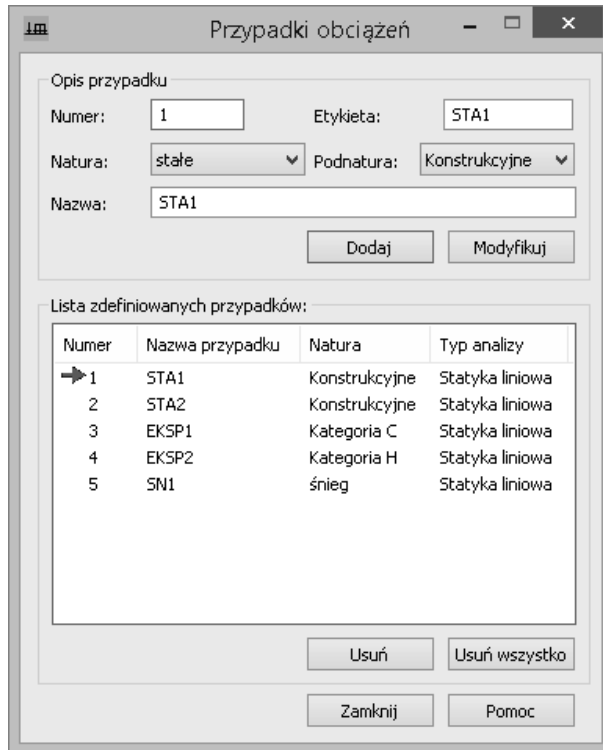
Na koniec tego etapu budowy modelu numerycznego analizowanej ramy nadajemy prętom i ich przekrojom materiał. Z menu **Geometria** uruchamiamy opcję **Material** i dla wszystkich prętów w polu rozwijalnym wybieramy beton C30/37. Nadajemy go profilom B 30x60 i S 30x40, zatwierdzając zmiany klawiszem **Zastosuj** (rys. 3.8).



*Rys. 3.8. Okno dialogowe **Material***

3.2. Obciążenia

Definicję obciążeń i kombinacji rozpoczynamy od stworzenia listy prostych przypadków obciążeniowych. W tym celu z menu **Obciążenia** wybieramy opcję **Przypadki** (por rys. 2.19) i definiujemy je zgodnie z listą pokazaną na rysunku 3.9 i danymi zawartymi w tabeli 3.3.



*Rys. 3.9. Okno dialogowe **Przypadki obciążeń***

Tabela 3.3. Lista przypadków obciążeniowych

Przypadek	Etykieta	Nazwa przypadku	Natura	Podnatura
1	STA1	STA1	stałe	Konstrukcyjne
2	STA2	STA2	stałe	Konstrukcyjne
3	EKSP1	EKSP1	eksploatacyjne	Kategoria C
4	EKSP2	EKSP2	eksploatacyjne	Kategoria H
5	SN1	SN1	śnieg	

Ustawiając odpowiedni przypadek obciążeniowy definiujemy obciążenia na poszczególnych prętach, używając opcji obciążenie jednorodne i siła prętowa (por. rozdz. 2.6.2) zgodnie z tabelą 3.4.

Tabela 3.4. Obciążenia przyłożone do elementów analizowanej ramy

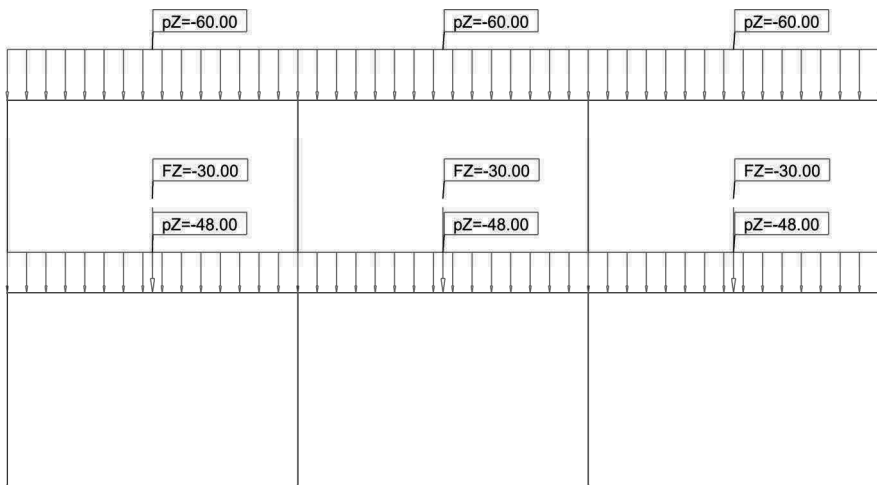
Przypadek	Typ obciążenia	Lista	Wartość obciążenia
1	ciężar własny	od 1 do 14	PZ Minus Wsp = 1,00
2	obciążenie jednorodne	od 9 do 11	PZ = -48,00 kN/m
2	obciążenie jednorodne	od 12 do 14	PZ = -60,00 kN/m
2	siła prętowa	od 9 do 11	FZ = -30,00 kN, X = 0,50 względne
3	obciążenie jednorodne	od 9 do 11	PZ = -45,00 kN/m
4	obciążenie jednorodne	od 12 do 14	PZ = -2,40 kN/m
5	obciążenie jednorodne	od 9 do 14	PZ = -5,76 kN/m

Widok obciążeń działających na konstrukcję ramy w poszczególnych przypadkach pokazano na rysunkach od 3.10 do 3.14.



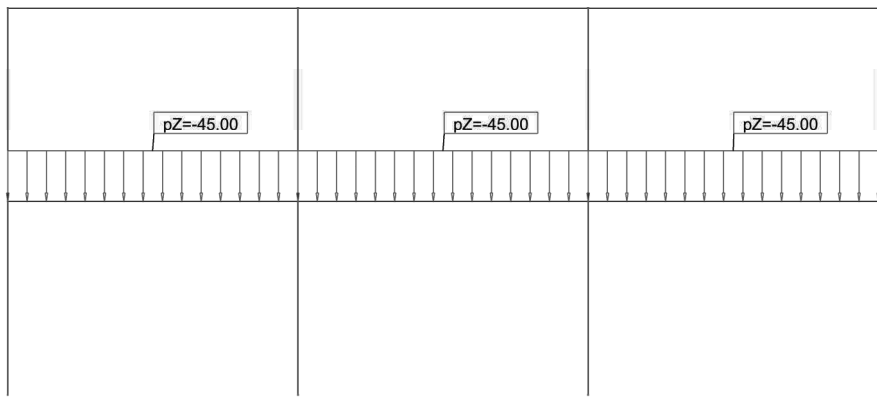
-PZ kG
Przypadki: 1 (STA1)

Rys. 3.10. Obciążenia dla przypadku nr 1



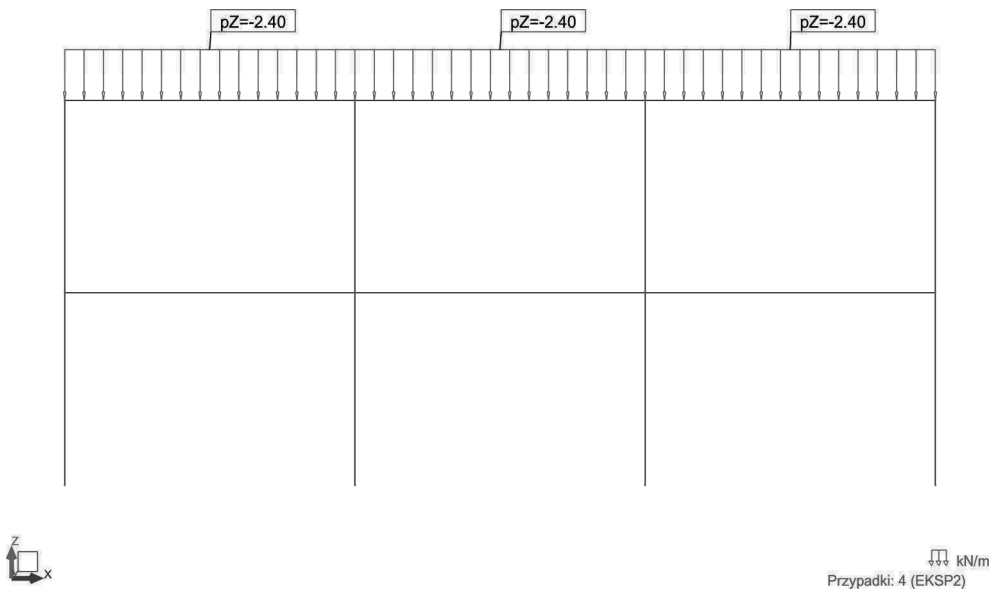
Przypadki: 2 (STA2)

Rys. 3.11. Obciążenia dla przypadku nr 2

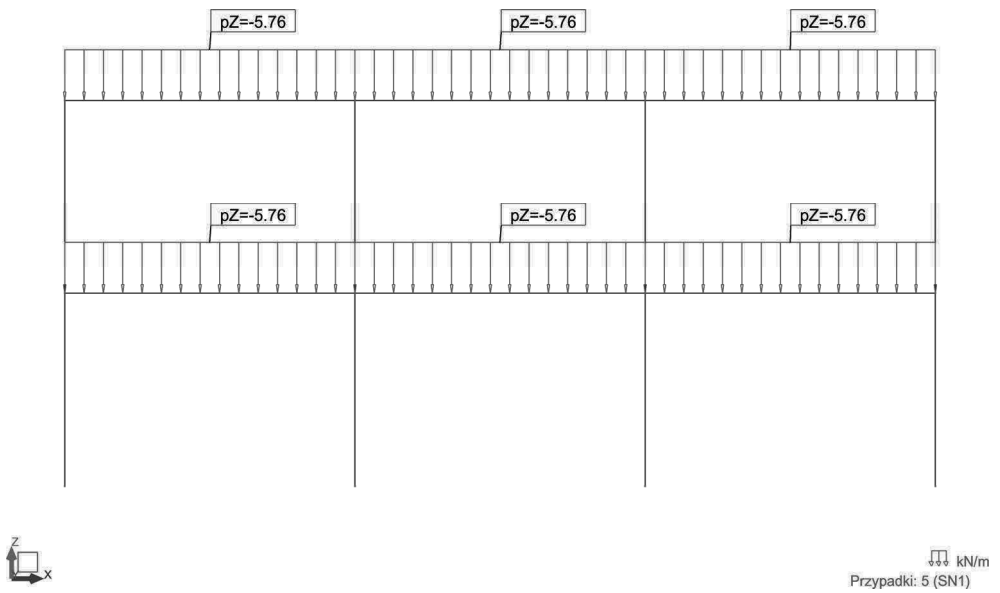


Przypadki: 3 (EKSP1)

Rys. 3.12. Obciążenia dla przypadku nr 3



Rys. 3.13. Obciążenia dla przypadku nr 4

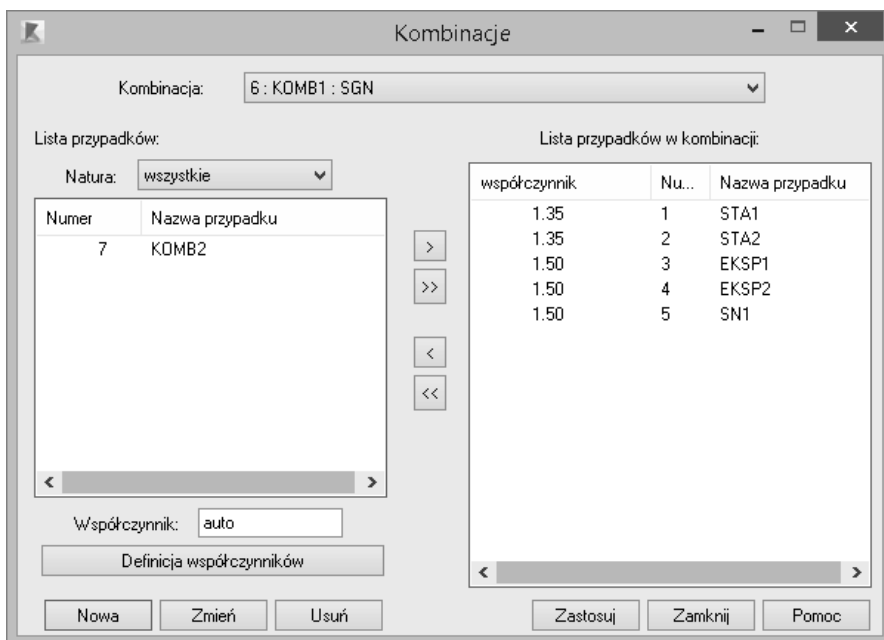


Rys. 3.14. Obciążenia dla przypadku nr 5

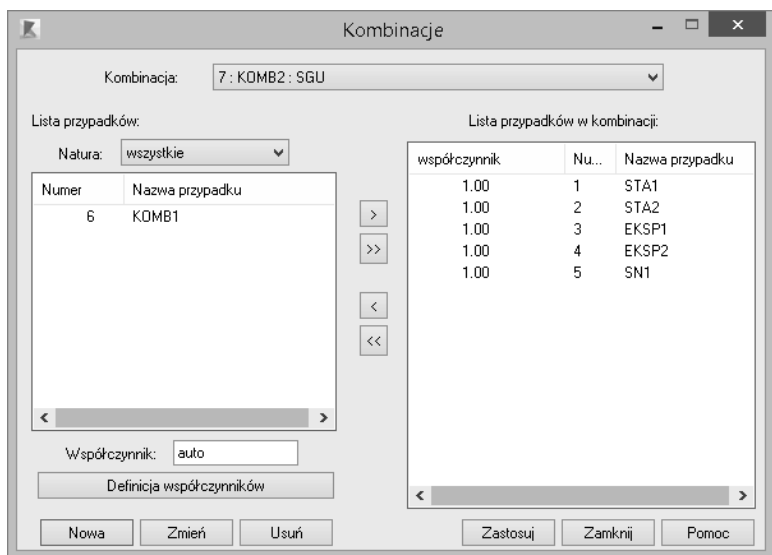
Ostatnim etapem obciążania konstrukcji jest definicja kombinacji obciążeń. Przyjęto dwie podstawowe kombinacje obciążeń, w stanie granicznym nośności (SGN) i użytkowania (SGU), według danych podanych w tabeli 3.5 i na rysunkach 3.15 i 3.16.

Tabela 3.5. Kombinacje obciążeń

Kombinacja	Nazwa	Typ analizy	Typ kombinacji	Natura przypadku	Definicja
6 (K)	KOMB1	Kombinacja liniowa	SGN	Konstrukcyjne	$(1+2)*1.35+(3+4+5)*1.50$
7 (K)	KOMB2	Kombinacja liniowa	SGU	Konstrukcyjne	$(1+2+3+4+5)*1.00$



Rys. 3.15. Kombinacja SGN

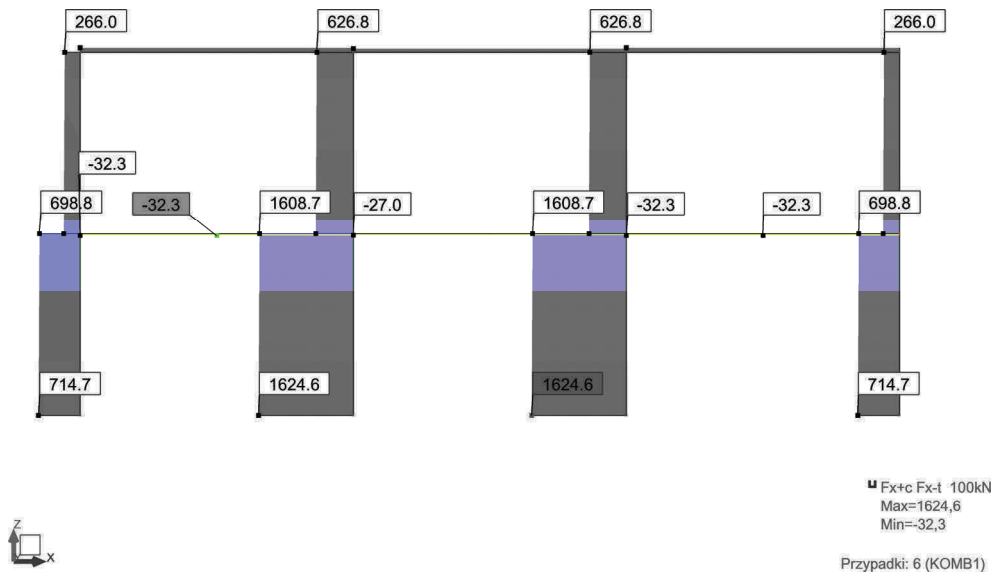


Rys. 3.16. Kombinacja SGU

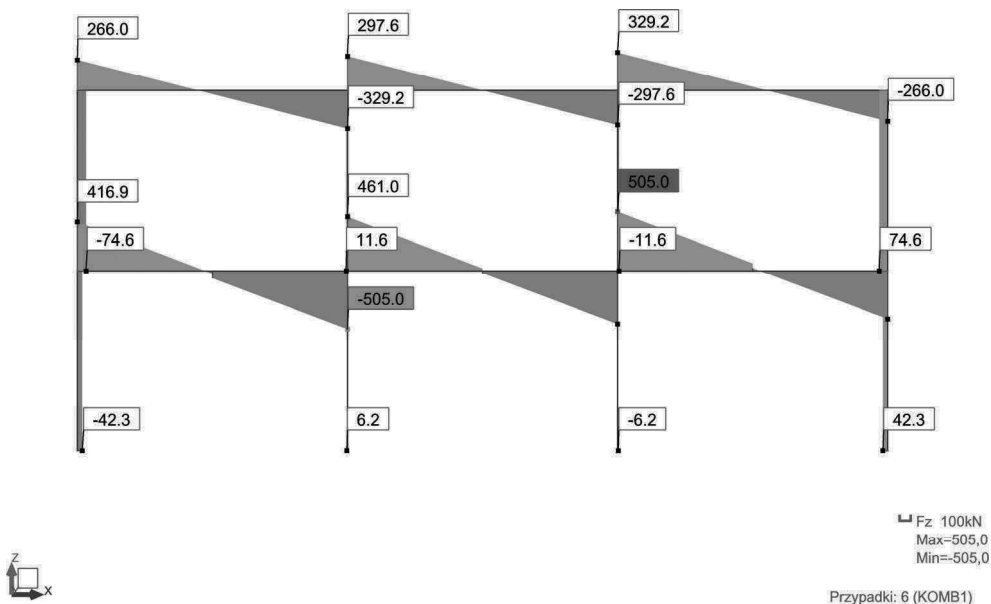
3.3. Rezultaty

Ostatnim etapem analizy statycznej ramy żelbetowej jest uruchomienie obliczeń oraz analiza wyników.

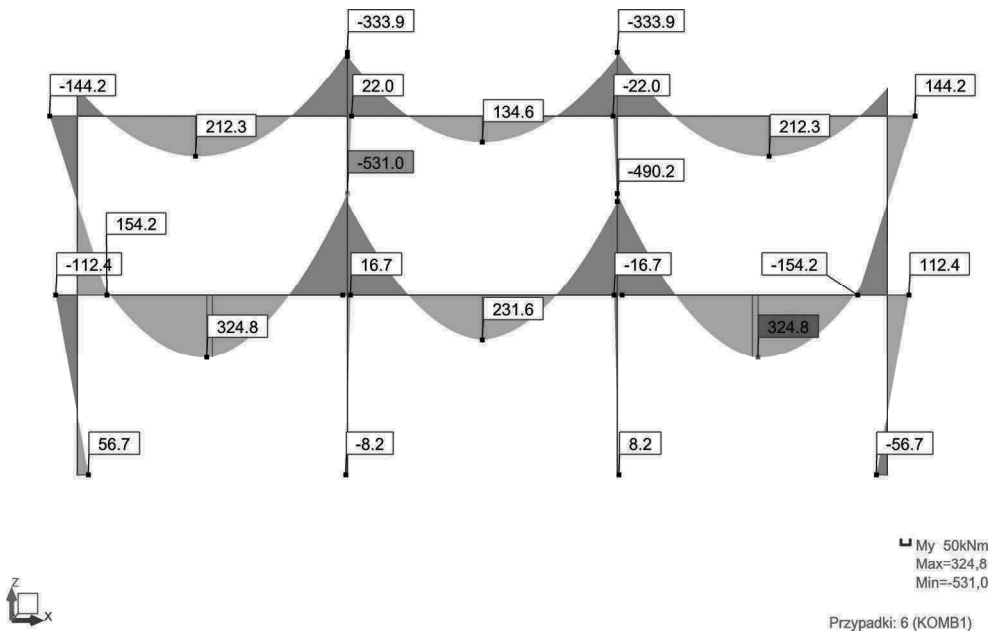
Wykresy sił przekrojowych dla kombinacji w stanie granicznym nośności pokazano na rysunkach od 3.17 do 3.19.



Rys. 3.17. Wykres sił normalnych Fx [kN]

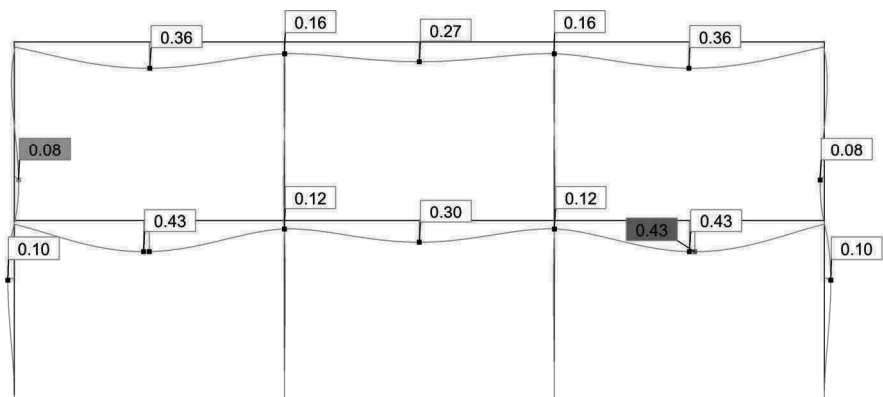


Rys. 3.18. Wykres sił tnących F_z [kN]



Rys. 3.19. Wykres momentów gnących M_y [kNm]

Postać konstrukcji zdeformowanej dla kombinacji w stanie granicznym użytkowania pokazano na rysunku 3.20.

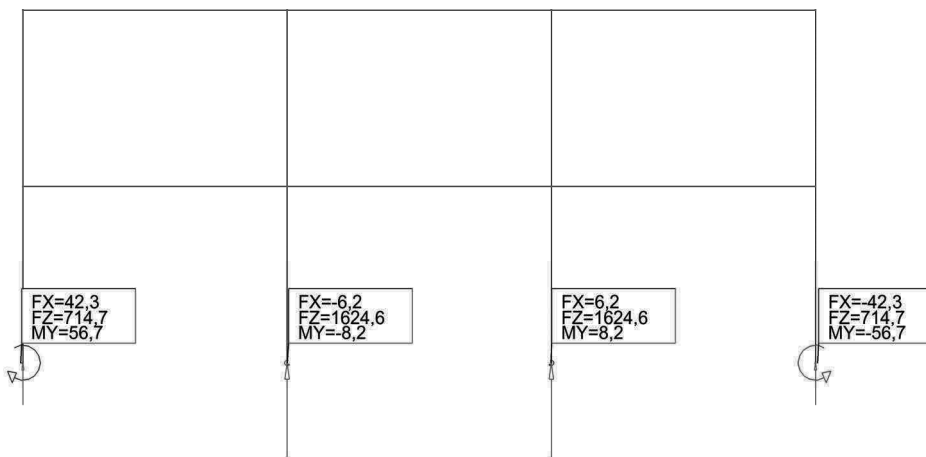


Prz. 0.1cm
Max=0,43

Przypadki: 7 (KOMB2)

Rys. 3.20. Postać konstrukcji zdeformowanej (opcja Deformacja dokładna dla prętów)

Reakcje w postaci graficznej pokazano na rysunku 3.21.



Przypadki: 6 (KOMB1)

Rys. 3.21. Reakcje

Wyniki zaprezentowane powyżej można również uzyskać w postaci tabelarycznej. Podano je w tabelach od 3.6 do 3.14.

Tabela 3.6. Wartości sił przekrojowych dla kombinacji SGN

Pręt/Węzeł/Przypadek			FX [kN]	FZ [kN]	MY [kNm]
1/	1/	6 (K)	714,7	-42,3	56,7
1/	5/	6 (K)	698,8	-42,3	-112,4
2/	2/	6 (K)	1624,6	6,2	-8,2
2/	6/	6 (K)	1608,7	6,2	16,7
3/	3/	6 (K)	1624,6	-6,2	8,2
3/	7/	6 (K)	1608,7	-6,2	-16,7
4/	4/	6 (K)	714,7	42,3	-56,7
4/	8/	6 (K)	698,8	42,3	112,4
5/	5/	6 (K)	281,9	-74,6	154,2
5/	9/	6 (K)	266,0	-74,6	-144,2
6/	6/	6 (K)	642,7	11,6	-24,2
6/	10/	6 (K)	626,8	11,6	22,0
7/	7/	6 (K)	642,7	-11,6	24,2
7/	11/	6 (K)	626,8	-11,6	-22,0
8/	8/	6 (K)	281,9	74,6	-154,2
8/	12/	6 (K)	266,0	74,6	144,2
9/	5/	6 (K)	-32,3	416,9	-266,6
9/	6/	6 (K)	-32,3	-505,0	-531,0
10/	6/	6 (K)	-27,0	461,0	-490,2
10/	7/	6 (K)	-27,0	-461,0	-490,2
11/	7/	6 (K)	-32,3	505,0	-531,0
11/	8/	6 (K)	-32,3	-416,9	-266,6
12/	9/	6 (K)	74,6	266,0	-144,2
12/	10/	6 (K)	74,6	-329,2	-333,9
13/	10/	6 (K)	63,0	297,6	-311,8
13/	11/	6 (K)	63,0	-297,6	-311,8
14/	11/	6 (K)	74,6	329,2	-333,9
14/	12/	6 (K)	74,6	-266,0	-144,2

Tabela 3.7. Obwiednia sił przekrojowych dla kombinacji SGN

Pręt/Węzeł/Przypadek			FX [kN]	FZ [kN]	MY [kNm]
1/	1/	6 (K)	714,7>>	-42,3	56,7
1/	5/	6 (K)	698,8<<	-42,3	-112,4
1/	1/	6 (K)	714,7	-42,3>>	56,7
1/	1/	6 (K)	714,7	-42,3<<	56,7
1/	1/	6 (K)	714,7	-42,3	56,7>>
1/	5/	6 (K)	698,8	-42,3	-112,4<<
2/	2/	6 (K)	1624,6>>	6,2	-8,2
2/	6/	6 (K)	1608,7<<	6,2	16,7
2/	2/	6 (K)	1624,6	6,2>>	-8,2
2/	2/	6 (K)	1624,6	6,2<<	-8,2
2/	6/	6 (K)	1608,7	6,2	16,7>>
2/	2/	6 (K)	1624,6	6,2	-8,2<<
3/	3/	6 (K)	1624,6>>	-6,2	8,2
3/	7/	6 (K)	1608,7<<	-6,2	-16,7
3/	3/	6 (K)	1624,6	-6,2>>	8,2
3/	3/	6 (K)	1624,6	-6,2<<	8,2
3/	3/	6 (K)	1624,6	-6,2	8,2>>
3/	7/	6 (K)	1608,7	-6,2	-16,7<<
4/	4/	6 (K)	714,7>>	42,3	-56,7
4/	8/	6 (K)	698,8<<	42,3	112,4
4/	4/	6 (K)	714,7	42,3>>	-56,7
4/	4/	6 (K)	714,7	42,3<<	-56,7
4/	8/	6 (K)	698,8	42,3	112,4>>
4/	4/	6 (K)	714,7	42,3	-56,7<<
5/	5/	6 (K)	281,9>>	-74,6	154,2
5/	9/	6 (K)	266,0<<	-74,6	-144,2
5/	5/	6 (K)	281,9	-74,6>>	154,2
5/	5/	6 (K)	281,9	-74,6<<	154,2
5/	5/	6 (K)	281,9	-74,6	154,2>>

5/	9/	6 (K)	266,0	-74,6	-144,2<<
6/	6/	6 (K)	642,7>>	11,6	-24,2
6/	10/	6 (K)	626,8<<	11,6	22,0
6/	6/	6 (K)	642,7	11,6>>	-24,2
6/	6/	6 (K)	642,7	11,6<<	-24,2
6/	10/	6 (K)	626,8	11,6	22,0>>
6/	6/	6 (K)	642,7	11,6	-24,2<<
7/	7/	6 (K)	642,7>>	-11,6	24,2
7/	11/	6 (K)	626,8<<	-11,6	-22,0
7/	7/	6 (K)	642,7	-11,6>>	24,2
7/	7/	6 (K)	642,7	-11,6<<	24,2
7/	7/	6 (K)	642,7	-11,6	24,2>>
7/	11/	6 (K)	626,8	-11,6	-22,0<<
8/	8/	6 (K)	281,9>>	74,6	-154,2
8/	12/	6 (K)	266,0<<	74,6	144,2
8/	8/	6 (K)	281,9	74,6>>	-154,2
8/	8/	6 (K)	281,9	74,6<<	-154,2
8/	12/	6 (K)	266,0	74,6	144,2>>
8/	8/	6 (K)	281,9	74,6	-154,2<<
9/	5/	6 (K)	-32,3>>	416,9	-266,6
9/	6/	6 (K)	-32,3<<	-505,0	-531,0
9/	5/	6 (K)	-32,3	416,9>>	-266,6
9/	6/	6 (K)	-32,3	-505,0<<	-531,0
9/	5/	6 (K)	-32,3	416,9	-266,6>>
9/	6/	6 (K)	-32,3	-505,0	-531,0<<
10/	6/	6 (K)	-27,0>>	461,0	-490,2
10/	6/	6 (K)	-27,0<<	461,0	-490,2
10/	6/	6 (K)	-27,0	461,0>>	-490,2
10/	7/	6 (K)	-27,0	-461,0<<	-490,2
10/	6/	6 (K)	-27,0	461,0	-490,2>>
10/	7/	6 (K)	-27,0	-461,0	-490,2<<

11/	7/	6 (K)	-32,3>>	505,0	-531,0
11/	8/	6 (K)	-32,3<<	-416,9	-266,6
11/	7/	6 (K)	-32,3	505,0>>	-531,0
11/	8/	6 (K)	-32,3	-416,9<<	-266,6
11/	8/	6 (K)	-32,3	-416,9	-266,6>>
11/	7/	6 (K)	-32,3	505,0	-531,0<<
12/	9/	6 (K)	74,6>>	266,0	-144,2
12/	9/	6 (K)	74,6<<	266,0	-144,2
12/	9/	6 (K)	74,6	266,0>>	-144,2
12/	10/	6 (K)	74,6	-329,2<<	-333,9
12/	9/	6 (K)	74,6	266,0	-144,2>>
12/	10/	6 (K)	74,6	-329,2	-333,9<<
13/	10/	6 (K)	63,0>>	297,6	-311,8
13/	10/	6 (K)	63,0<<	297,6	-311,8
13/	10/	6 (K)	63,0	297,6>>	-311,8
13/	11/	6 (K)	63,0	-297,6<<	-311,8
13/	11/	6 (K)	63,0	-297,6	-311,8>>
13/	10/	6 (K)	63,0	297,6	-311,8<<
14/	11/	6 (K)	74,6>>	329,2	-333,9
14/	11/	6 (K)	74,6<<	329,2	-333,9
14/	11/	6 (K)	74,6	329,2>>	-333,9
14/	12/	6 (K)	74,6	-266,0<<	-144,2
14/	12/	6 (K)	74,6	-266,0	-144,2>>
14/	11/	6 (K)	74,6	329,2	-333,9<<

Tabela 3.8. Ekstrema globalne dla kombinacji SGN

	FX [kN]	FZ [kN]	MY [kNm]
MAX	1624,6	505,0	154,2
Pręt	3	11	5
Węzeł	3	7	5
Przypadek	6 (K)	6 (K)	6 (K)
MIN	-32,3	-505,0	-531,0
Pręt	9	9	9
Węzeł	6	6	6
Przypadek	6 (K)	6 (K)	6 (K)

Tabela 3.9. Wartości przemieszczeń konstrukcji dla kombinacji SGU

Węzeł/Przypadek	UX [cm]	UZ [cm]	RY [Rad]
1/ 7 (K)	0,0	0,0	0,0
2/ 7 (K)	0,0	0,0	0,0
3/ 7 (K)	0,0	0,0	0,0
4/ 7 (K)	0,0	0,0	0,0
5/ 7 (K)	-0,00	-0,05	0,001
6/ 7 (K)	-0,00	-0,12	-0,000
7/ 7 (K)	0,00	-0,12	0,000
8/ 7 (K)	0,00	-0,05	-0,001
9/ 7 (K)	0,01	-0,07	0,001
10/ 7 (K)	0,00	-0,16	-0,000
11/ 7 (K)	-0,00	-0,16	0,000
12/ 7 (K)	-0,01	-0,07	-0,001

Tabela 3.10. Obwiednia wartości przemieszczeń konstrukcji dla kombinacji SGU

Węzeł/Przypadek		UX [cm]	UZ [cm]	RY [Rad]
1/	7 (K)	0,0>>	0,0	0,0
1/	7 (K)	0,0<<	0,0	0,0
1/	7 (K)	0,0	0,0>>	0,0
1/	7 (K)	0,0	0,0<<	0,0
1/	7 (K)	0,0	0,0	0,0>>
1/	7 (K)	0,0	0,0	0,0<<
2/	7 (K)	0,0>>	0,0	0,0
2/	7 (K)	0,0<<	0,0	0,0
2/	7 (K)	0,0	0,0>>	0,0
2/	7 (K)	0,0	0,0<<	0,0
2/	7 (K)	0,0	0,0	0,0>>
2/	7 (K)	0,0	0,0	0,0<<
3/	7 (K)	0,0>>	0,0	0,0
3/	7 (K)	0,0<<	0,0	0,0
3/	7 (K)	0,0	0,0>>	0,0
3/	7 (K)	0,0	0,0<<	0,0
3/	7 (K)	0,0	0,0	0,0>>
3/	7 (K)	0,0	0,0	0,0<<
4/	7 (K)	0,0>>	0,0	0,0
4/	7 (K)	0,0<<	0,0	0,0
4/	7 (K)	0,0	0,0>>	0,0
4/	7 (K)	0,0	0,0<<	0,0
4/	7 (K)	0,0	0,0	0,0>>
4/	7 (K)	0,0	0,0	0,0<<
5/	7 (K)	-0,00>>	-0,05	0,001
5/	7 (K)	-0,00<<	-0,05	0,001
5/	7 (K)	-0,00	-0,05>>	0,001
5/	7 (K)	-0,00	-0,05<<	0,001
5/	7 (K)	-0,00	-0,05	0,001>>
5/	7 (K)	-0,00	-0,05	0,001<<

6/	7 (K)	-0,00>>	-0,12	-0,000
6/	7 (K)	-0,00<<	-0,12	-0,000
6/	7 (K)	-0,00	-0,12>>	-0,000
6/	7 (K)	-0,00	-0,12<<	-0,000
6/	7 (K)	-0,00	-0,12	-0,000>>
6/	7 (K)	-0,00	-0,12	-0,000<<
7/	7 (K)	0,00>>	-0,12	0,000
7/	7 (K)	0,00<<	-0,12	0,000
7/	7 (K)	0,00	-0,12>>	0,000
7/	7 (K)	0,00	-0,12<<	0,000
7/	7 (K)	0,00	-0,12	0,000>>
7/	7 (K)	0,00	-0,12	0,000<<
8/	7 (K)	0,00>>	-0,05	-0,001
8/	7 (K)	0,00<<	-0,05	-0,001
8/	7 (K)	0,00	-0,05>>	-0,001
8/	7 (K)	0,00	-0,05<<	-0,001
8/	7 (K)	0,00	-0,05	-0,001>>
8/	7 (K)	0,00	-0,05	-0,001<<
9/	7 (K)	0,01>>	-0,07	0,001
9/	7 (K)	0,01<<	-0,07	0,001
9/	7 (K)	0,01	-0,07>>	0,001
9/	7 (K)	0,01	-0,07<<	0,001
9/	7 (K)	0,01	-0,07	0,001>>
9/	7 (K)	0,01	-0,07	0,001<<
10/	7 (K)	0,00>>	-0,16	-0,000
10/	7 (K)	0,00<<	-0,16	-0,000
10/	7 (K)	0,00	-0,16>>	-0,000
10/	7 (K)	0,00	-0,16<<	-0,000
10/	7 (K)	0,00	-0,16	-0,000>>
10/	7 (K)	0,00	-0,16	-0,000<<
11/	7 (K)	-0,00>>	-0,16	0,000
11/	7 (K)	-0,00<<	-0,16	0,000

11/	7 (K)	-0,00	-0,16>>	0,000
11/	7 (K)	-0,00	-0,16<<	0,000
11/	7 (K)	-0,00	-0,16	0,000>>
11/	7 (K)	-0,00	-0,16	0,000<<
12/	7 (K)	-0,01>>	-0,07	-0,001
12/	7 (K)	-0,01<<	-0,07	-0,001
12/	7 (K)	-0,01	-0,07>>	-0,001
12/	7 (K)	-0,01	-0,07<<	-0,001
12/	7 (K)	-0,01	-0,07	-0,001>>
12/	7 (K)	-0,01	-0,07	-0,001<<

Tabela 3.11. Ekstrema globalne wartości przemieszczeń konstrukcji dla kombinacji SGU

	UX [cm]	UZ [cm]	RY [Rad]
MAX	0,01	0,0	0,001
Węzeł	9	1	5
Przypadek	7 (K)	7 (K)	7 (K)
MIN	-0,01	-0,16	-0,001
Węzeł	12	10	8
Przypadek	7 (K)	7 (K)	7 (K)

Tabela 3.12. Wartości reakcji konstrukcji dla kombinacji SGN

Węzeł/Przypadek	FX [kN]	FZ [kN]	MY [kNm]
1/ 6 (K)	42,3	714,7	56,7
2/ 6 (K)	-6,2	1624,6	-8,2
3/ 6 (K)	6,2	1624,6	8,2
4/ 6 (K)	-42,3	714,7	-56,7

Tabela 3.13. Obwiednia wartości reakcji konstrukcji dla kombinacji SGN

Węzeł/Przypadek	FX [kN]	FZ [kN]	MY [kNm]
1/ 6 (K)	42,3>>	714,7	56,7
1/ 6 (K)	42,3<<	714,7	56,7
1/ 6 (K)	42,3	714,7>>	56,7
1/ 6 (K)	42,3	714,7<<	56,7
1/ 6 (K)	42,3	714,7	56,7>>
1/ 6 (K)	42,3	714,7	56,7<<
2/ 6 (K)	-6,2>>	1624,6	-8,2
2/ 6 (K)	-6,2<<	1624,6	-8,2
2/ 6 (K)	-6,2	1624,6>>	-8,2
2/ 6 (K)	-6,2	1624,6<<	-8,2
2/ 6 (K)	-6,2	1624,6	-8,2>>
2/ 6 (K)	-6,2	1624,6	-8,2<<
3/ 6 (K)	6,2>>	1624,6	8,2
3/ 6 (K)	6,2<<	1624,6	8,2
3/ 6 (K)	6,2	1624,6>>	8,2
3/ 6 (K)	6,2	1624,6<<	8,2
3/ 6 (K)	6,2	1624,6	8,2>>
3/ 6 (K)	6,2	1624,6	8,2<<
4/ 6 (K)	-42,3>>	714,7	-56,7
4/ 6 (K)	-42,3<<	714,7	-56,7
4/ 6 (K)	-42,3	714,7>>	-56,7
4/ 6 (K)	-42,3	714,7<<	-56,7
4/ 6 (K)	-42,3	714,7	-56,7>>
4/ 6 (K)	-42,3	714,7	-56,7<<

Tabela 3.14. Ekstrema globalne wartości reakcji konstrukcji dla kombinacji SGN

	FX [kN]	FZ [kN]	MY [kNm]
MAX	42,3	1624,6	56,7
Węzeł	1	3	1
Przypadek	6 (K)	6 (K)	6 (K)
MIN	-42,3	714,7	-56,7
Węzeł	4	1	4
Przypadek	6 (K)	6 (K)	6 (K)

LITERATURA

- [1] Kossakowski P., *Wprowadzenie do programu Autodesk Robot Structural Analysis 2012*, Wydawnictwo Politechniki Świętokrzyskiej, Kielce 2014.
- [2] Dokumentacja programu Autodesk Robot Structural Analysis Professional 2015, Autodesk 2014.