

EUROKODY

praktyczne komentarze

Niniejszy skrypt to kolejne opracowanie w cyklu publikacji na temat podstaw projektowania konstrukcji budowlanych według aktualnie obowiązujących norm opartych na EUROKODACH. Każdy skrypt to teoria przedstawiona w przystępny sposób oraz przykłady, które prowadzą krok po kroku przez proces wymiarowania.

Skrypt 8

1. Założenia wstępne	E02
2. Model statyczny hali	E03
3. Podstawowe obciążenia hali	E06
4. Obliczenia statyczne i wymiarowanie	E08

Projekt przestrzennej hali stalowej w programie R3D3-Rama 3D v.12 z uwzględnieniem modułu wymiarującego EuroStal.

1. Założenia wstępne

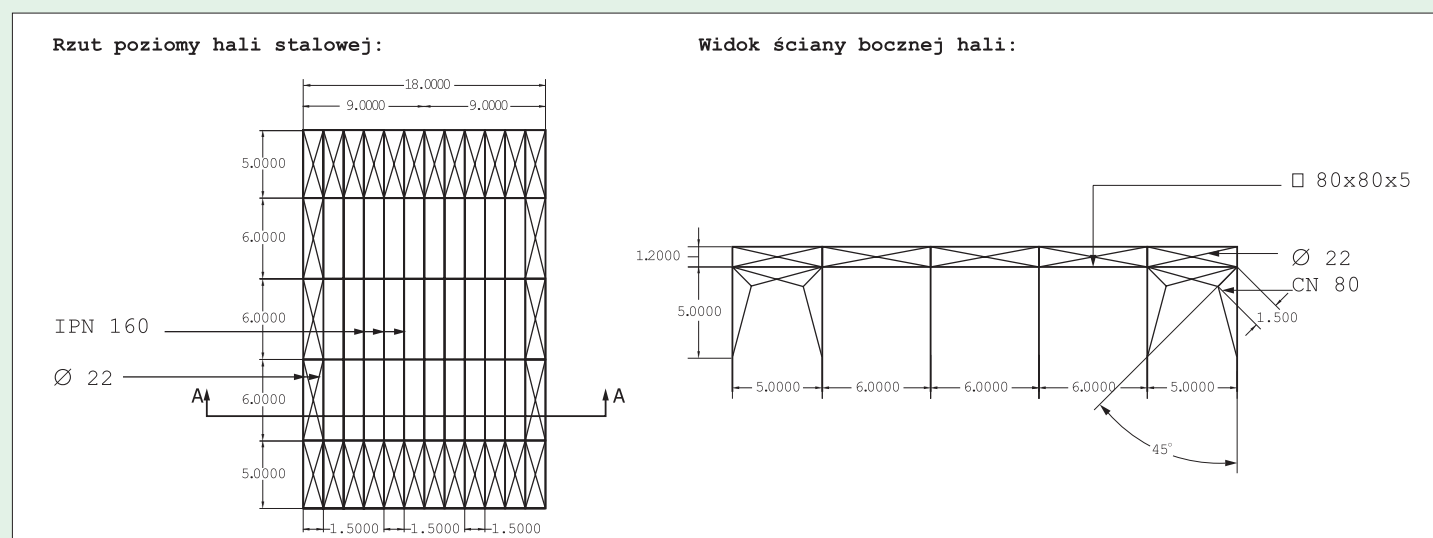
Przedstawiony poniżej uproszczony projekt hali stalowej prezentuje możliwości programu **R3D3 Rama 3D v. 12** w zakresie projektowania stalowych konstrukcji wg norm Eurokodowych. Z powyższych względów oraz ze względu na ograniczoną formę artykułu, nie odzwierciedla on w pełni wszelkich zaleceń Eurokodu oraz tym bardziej wymagań rzeczywistej konstrukcji, zwłaszcza w zakresie zadawanych obciążeń. W prezentowanym przykładzie pominięto niektóre schematy statyczne, zwłaszcza dotyczące oddziaływania wiatru na ściany szczytowe oraz przebiegu odciażającego działania wiatru na połaciach dachowych. Schemat statyczny zamodelowano w uproszczeniu - metodą inżynierską, bez wprowadzania elementów na mimośrodkach, mimo że w programie **R3D3** jest również taka możliwość.

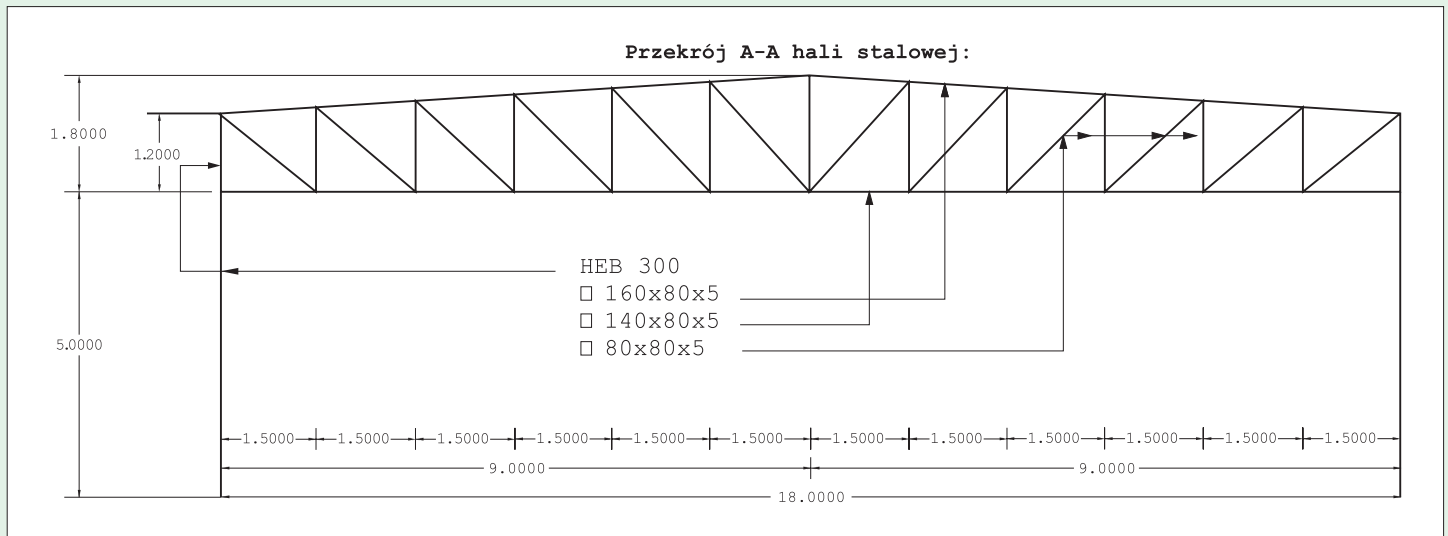
Przestrzenną halę stalową zaprojektowano w kierunku poprzecznym jako jednonawową, z ryglem kratowym dwuspadowym (przekroje rurowe) o rozpiętości 18 m, którego pas górny i dolny oparto przegubowo na słupach głównych hali. Słupy główne hali z dwuteownika HEB 300

zamocowano na stopach fundamentowych w obu kierunkach hali. Tak otrzymane ramy poprzeczne rozstawiono co 5 m przy szczytach i co 6 m w pozostałych polach w kierunku podłużnym na długości 28 m i spięto układem płatwii ciągłych z dwuteownika IPN 160, opartym przegubowo na pasie górnym dźwigara kratowego.

Dodatkowe usztywnienie podłużne hali stanowi układ rygli usztywniających i pionowych stężeń typu X z pręta o średnicy $\varnothing 22$, ułożony w linii ścian i w kluczu hali na wysokości dźwigara oraz stężenia portalowe ułożone w polach skrajnych ścian, między słupami głównymi hali. W płaszczyznach połaci, dookoła, w polach skrajnych, założono stężenia połaciowe typu X z pręta $\varnothing 22$ napinane śrubą rzymską. Całkowite wymiary osiowe hali w rzucie to 18 x 28 m, a wysokość hali do spodu więzara ma wynosić 5 m. Wszystkie profile przyjęto ze stali S235, z wyjątkiem dwuteowników na płatwie, które przyjęto ze stali S355.

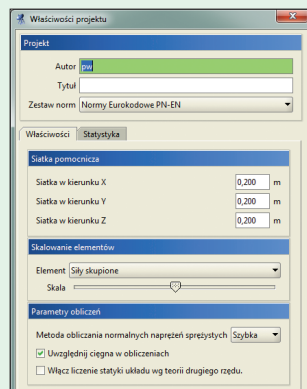
Szczegółowy szkic projektowanej hali przedstawiono na rysunkach poniżej.





2. Model statyczny hali

Projekt hali rozpoczynamy od założenia nowego projektu i wybraniu w oknie startowym **Właściwości** zestawu **Norm Eurokodowych PN – EN** (1).

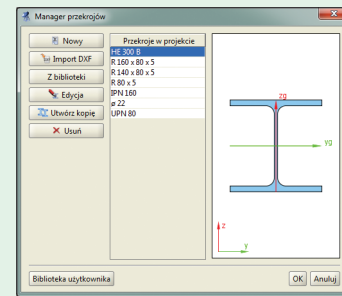


1 Okno: **Właściwości projektu**.
Zestaw norm: **Normy Eurokodowe PN-EN**.

W przypadku gdy w trakcie wykonywania projektu, dokonujemy zmiany zestawu norm projektowych z PN na Eurokod lub odwrotnie, szczególnej ponownej kontroli wymagają:

- definicje grup obciążeń,
- definicje kombinacji użytkownika
- klasy materiałów przypisane do poszczególnych przekrojów elementów w modelu.

Przed przystąpieniem do graficznego wprowadzania modelu wygodnie jest wczytać do projektu zestaw profili, których będziemy używać przy modelowaniu.



2 Okno: **Manager przekrojów**.
Wczytanie zestawu profili do projektu.

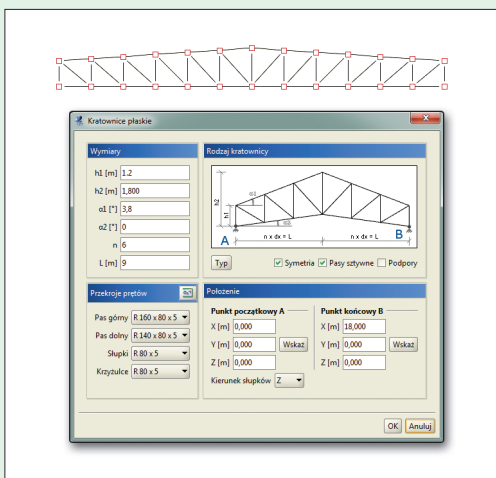
W tym celu otwieramy okno **Managera przekrojów** (2) i funkcją **Nowy** wczytujemy kolejno z biblioteki niezbędne przekroje elementów, a na koniec zaznaczamy niepotrzebny domyślny profil IPE 200 i usuwamy go przez wciśnięcie klawisza **Delete**. Chcąc sprawdzić parametry wczytanego przekroju, jego charakterystyki lub przypisaną do niego klasę materiałową, wykonujemy w **Managerze przekrojów** dwuklik na jego nazwie i przechodzimy do okna **Edycji przekroju**.

Teraz możemy przystąpić do tworzenia modelu projektowanej hali.

Modelowanie rozpoczniemy od wprowadzenia kratownicy dźwigara dachowego. W tym celu w programie posłużymy się automatycznym **Generatorem kratownic płaskich**. Po otwarciu okna generatora (3) ustalamy rodzaj kratownicy, wybierając jej symetryczny typ, ustalając ciągłość pasów i brak węzłów podporowych (podpora będą słupy hali). Następnie, zgodnie ze szkicem zamieszczonym na początku artykułu, definiujemy wszystkie wymiary dźwigara i określamy przekroje jego elementów.

E04 ZIELONE STRONY

Przed wstawieniem kratownicy do projektu należy zwrócić uwagę, czy dźwigar jest wstawiany w kierunku pionowym „z”, w którym zliczane są wszystkie ciężary własne konstrukcji. Przy użyciu generatora wszystkie wstawione do modelu pręty kratownicy podzielone są na odpowiednie grupy prętów *Pas dolny*, *Pas górny*, *Słupki* i *Krzyżulce*.



3 Okno: **Generator kratownic.**
Wstawiona kratownica.

W trakcie pracy nad modelem wskazane jest zadawanie wszystkich prętów układu w wyodrębnionych grupach prętów.

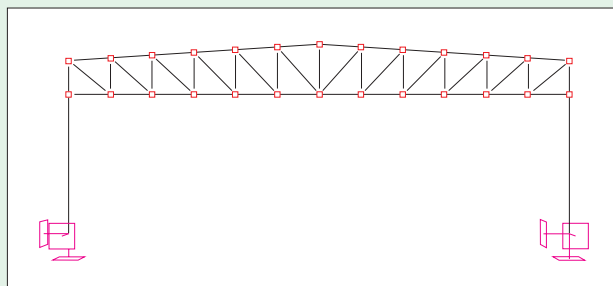
Dlatego też przed przystąpieniem do wprowadzenia słupów głównych ramy wskazane jest otwarcie na zakładce **Geometria** okna **Grup prętów** i utworzenie nowej grupy prętów *Słupy główne hali*.

Dwa skrajne słupy ramy o wysokości 5 m z dwuteownika HEB 300 wprowadzamy w nowo utworzonej grupie prętów. Skrajne słupki kratownicy również zamieniamy na profil HEB 300 oraz przypisujemy do grupy *Słupy główne hali*.

Po zaznaczeniu dolnych dwóch węzłów słupów głównych na zakładce **Geometria** blokujemy wszystkie sześć więzi, tworząc podpory zamocowane. Teraz każdy słup główny hali składa się z dwóch prętów połączonych między sobą przegubem.

Aby uciągnąć połączenie między obiema częściami słupa, należy zaznaczyć oba pręty (górny i dolny) oraz węzeł między nimi i na zakładce **Geometria** w grupie **Przegub** wybrać opcję **Połącz pręty**.

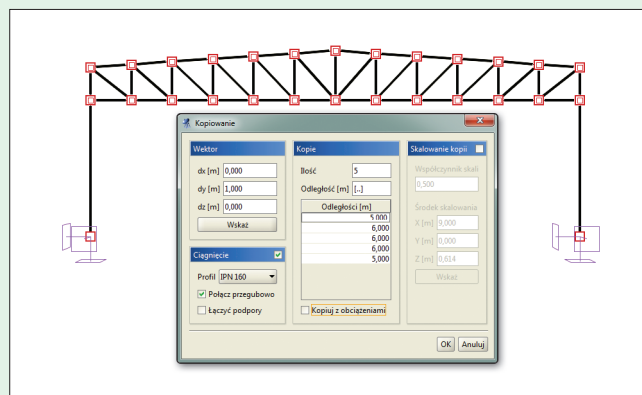
Operację tą można przeprowadzić na obu słupach jednocześnie.



4 Widok płaskiej ramy hali.

Kolejnym etapem jest przejście od ramy płaskiej do hali przestrzennej.

Do tego celu wykorzystujemy zaimplementowaną w programie funkcję **Kopiowania z ciągnięciem i skalowaniem**.



5 Powielenie ram płaskich funkcją **Kopiowania** z ciągnięciem.

Zaznaczamy oknem całość ramy i wywołujemy wspomnianą funkcję z głównego paska narzędziowego.

W oknie **Kopiowania** ustalamy kierunek wektora kopiowania po osi „y”, ustalamy ilość kopii i odległości między poszczególnymi kopiami. Dodatkowo zaznaczamy opcję ciągnięcia z funkcją **Połącz przegubowo** oraz bez **Łączenia podpór**. Na profil ciągnięty wybieramy przekrój płatu IPN 160.

Skutkiem działania funkcji będzie wielokrotne skopiowanie zaznaczonej ramy w zadanych odległościach oraz przegubowe połączenie odpowiadających sobie węzłów kolejnych kopii (z wyjątkiem podporowych) prostopadłymi elementami o przekroju IPN 160.

Na skutek działania powyższej funkcji połączone zostaną prętami wszystkie odpowiadające sobie węzły kolejnych kopii nie będące podporami.

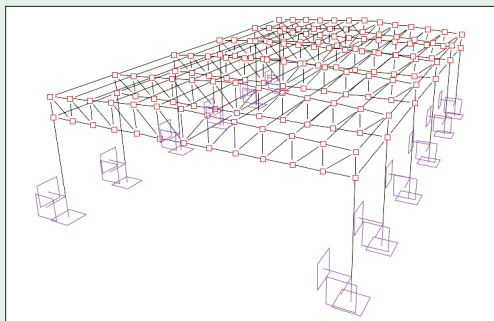
Połączenia te w poziomie pasa górnego stanowiąc będą płatwie dachowe z IPN 160, stąd zaznaczamy je i przypisujemy do nowej grupy prętów **Płatwie**.

W poziomie pasa dolnego połączenia między węzłami poszczególnych kopii są nadmiarowe i musimy je usunąć. W tym celu ustawiamy otrzymaną halę przestrzenną w widoku od szczytu, widok perspektywiczny w tym ustawieniu sprowadzamy do rzutu prostokątnego i zaznaczamy oknem obejmującym wszystkie węzły pasa dolnego z pominięciem węzła w kluczu i w linii ścian.

Po dowolnym obróceniu układu widzimy, że poza węzłami zaznaczone zostały całe ciągi nadmiarowych prętów biegnących w linii tych węzłów. Teraz klikamy prawym klawiszem myszki w dowolnym miejscu na ekranie graficznym i z menu kontekstowego prawego klawisza myszki wybieramy funkcję **Usuń zaznaczone pręty**. Po usunięciu nadmiarowych prętów analogicznie jak poprzednio zaznaczamy wszystkie pozostałe pręty powstałe w skutek ciągnięcia w poziomie pasa dolnego, zmieniamy im przekrój na rurę kwadratową 80 x 80 x 5 i przypisujemy je do nowo utworzonej grupy prętów **Rygle usztywniające**.

Kolejnym etapem jest uciągnięcie płatwii. W tym celu znów ustawiamy widok hali od szczytu w rzucie prostokątnym, ale tym razem oknem obejmującym zaznaczamy wszystkie węzły w poziomie pasa górnego. Skutkiem tego zaznaczają się wszystkie płatwie i węzły między nimi. Teraz możemy je uciągnąć funkcją **Połącz pręty** na zakładce **Geometria**. W efekcie dostajemy ciągle pasy górne kratownicy oraz ciągle płatwie, które opierają się przegubowo na pasie górnym kraty.

Ponieważ pasy górne dźwigarów nachylone są do poziomu pod kątem około 3.81 stopnia, dlatego też przekroje płatwi na poszczególnych połączeniach dachu powinniśmy również pochylić pod kątem ± 3.81 stopnia.



6 Widok przestrzenny hali.

W tym celu zaznaczamy płatwie na jednej pości z wyjątkiem kalenicowej i na zakładce **Geometria** w polu **Kąt obrotu przekroju** podajemy odpowiednią wartość. Kontrolę poprawności kierunku obrotu przekroju płatwi najłatwiej jest przeprowadzić na **Widoku 3D**, gdzie pokazane jest położenie rzeczywistego profilu w przestrzeni.

Tak niewielka zmiana ułożenia płatwi ma bardzo istotne znaczenie przy jej wymiarowaniu, gdyż z płatwi jednokierunkowo zginanej staje się ona dwukierunkowo zginana, przy czym w przypadku dwuteownika jest tu dodatkowe zginanie w znacznie słabszym kierunku przekroju.

Pozostały nam do wprowadzenia do modelu stężenia połączeniowe, pionowe i portalowe. Wprowadzanie stężeń rozpoczynamy od utworzenia trzech nowych grup prętów, których nazwy jednoznacznie identyfikują poszczególne typy stężeń.

Wszystkie typy stężeń wprowadzamy do układu ustawiając typ pręta przegub – przegub. Po utworzeniu grup prętów ukrywamy wszystkie elementy układu z wyjątkiem płatwi i pasów górnych kratownicy. Ustawiamy dla elementów pości widok z góry i kolejno wprowadzamy stężenia połączeniowe typu X, wybierając przekrój $\emptyset 22$, odpowiednią grupę prętów oraz typ wprowadzonego pręta przegub-przegub. Przy ręcznym wprowadzaniu prętów powinniśmy pamiętać, że wprowadzenie nowego pręta dokładnie po śladzie już istniejącego nie powoduje w programie nałożenia dwóch prętów w tej samej lokalizacji lecz tylko przełącza węzeł początkowy przy wprowadzaniu nowych prętów.

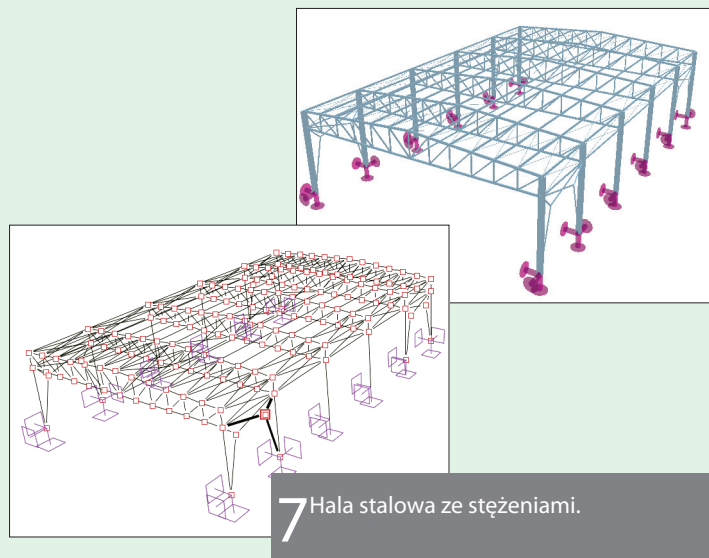
Stężenia połączeniowe wprowadzamy ręcznie oczywiście tylko do osi symetrii układu w kierunku x i y. Pozostałe stężenia wygodnie jest otrzymać przez zaznaczenie już wprowadzonych i ich lustrzane odbicie względem wskazanej płaszczyzny. Do tego celu wykorzystujemy funkcję **Lustra – Względem płaszczyzny**, dostępną z menu kontekstowego prawego klawisza myszki.

Analogicznie wprowadzamy w odrębnej grupie stężenia pionowe w wysokości dźwigara w linii ścian i w kluczu. Przy próbie wprowadzania stężenia pionowego w kluczu, ze względu na spore zagęszczenie prętów w modelu, wygodnie jest ukryć chwilowo połowę hali do linii klucza. Stężenia portalowe również zadajemy w odrębnej grupie prętów z profili CN 80. Przy tym w przypadku stężeń portalowych ręcznie wprowadzamy jedynie trzy pręty stężenia, a wszystkie pozostałe pręty uzyskujemy przez kolejne odbicia lustrzane względem odpowiednich płaszczyzn.

Wprowadzanie stężenia portalowego rozpoczynamy od wprowadzenia pręta ukośnego o długości 1.5 m, leżącego na przekątnej stężanego pola.

W tym celu punkt początkowy pręta wskazujemy w gór-

nym węzle słupa głównego hali, następnie bez klikania wskazujemy węzeł dolny słupa sąsiedniej ramy (wyznaczający przekątną stężanego pola) i w kierunku wskazanego wektora wpisujemy z klawiatury odległość 1.5 m i zatwierdzamy ją klawiszem Enter. Pozostałe dwa pręty stężenia portalowego powstają przez kolejne wskazanie znanych już węzłów układu.



7 Hala stalowa ze stężeniami.

3. Podstawowe obciążenia hali

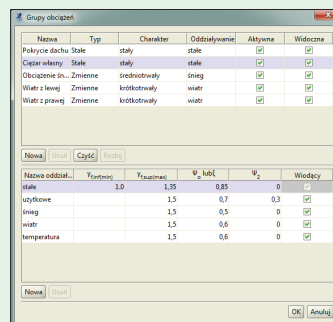
Po zdefiniowaniu modelu prętowego układu hali możemy przystąpić do wprowadzenia podstawowych obciążeń przy następujących założeniach wartości charakterystycznych:

- poziome parcie wiatru na ścianę boczną - 0.55 kN/m^2 ,
- poziome ssanie wiatru na ścianie bocznej - 0.2 kN/m^2 ,
- równomierne obciążenie śniegiem na rzut połaci - 0.72 kN/m^2
- ciężar własny pokrycia przypadający na jeden metr kwadratowy połaci - 0.94 kN/m^2 .

Ciężar własny konstrukcji wszystkich elementów hali zostanie automatycznie uwzględniony przez program.

Wprowadzanie obciążeń zawsze rozpoczynamy od zdefiniowania właściwych grup obciążeń i przypisanych do nich oddziaływań. W tym celu otwieramy na głównym pasku narzędziowym okno **Grupy obciążeń** i, poza ciężarem własnym, definiujemy cztery grupy obciążeń, stałą - *Pokrycie dachu* oraz trzy grupy zmienne: *Wiatr z lewej*, *Wiatr z prawej* oraz *Obciążenie śniegiem*. Dla zdefiniowanych grup obciążeń ustawiamy typ grupy, jej charakter oraz przypisujemy im rodzaj oddziaływania. Wraz z właściwym oddziaływaniem do danej grupy obciążeń przypisane są odpowiednie współczynniki obciążenia oraz współczynniki kombinacyjne. Zaznaczenie parametru **Wiodący**

w ostatniej kolumnie dla oddziaływań powoduje, że dane oddziaływanie i przypisane do niego grupy w trakcie obliczeń będą potencjalnie rozpatrywane jako wiodące i w przypadku braku pewności warto ten znacznik ustawić dla wszystkich typów oddziaływań jako zaznaczony.



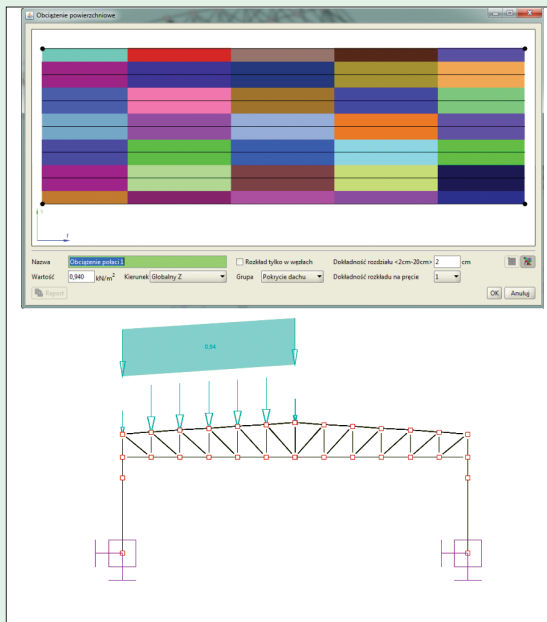
8 Okno definicji grup obciążeń.

Po określeniu podstawowych grup obciążeń możemy przystąpić do zadawania obciążeń w poszczególnych grupach. Wszystkie założone dla projektu obciążenia możemy zadawać jako przyłożone na odpowiednie elementy układu obciążenia powierzchniowe, które program sam przekształci w odpowiednie obciążenia ciągłe, działające na poszczególne pręty modelu. W trakcie zadawania obciążeń zawsze wygodnie i czytelnie jest pozostać jako widoczną tylko tę grupę obciążeń, w której aktualnie zadajemy obciążenia (parametr **Widoczność** w ostatniej kolumnie okna **Grupy obciążeń**).

Zadawanie obciążeń rozpoczniemy od zdefiniowania stałego obciążenia powierzchniowego od warstw pokrycia dachowego. Takie obciążenie powinno być przyłożone na wszystkich płaszczyznach dachowych jako obciążenie działające na każdej połaci osobno w globalnym pionowym kierunku „Z”.

W tym celu w „drzewie projektu” zaznaczamy wszystkie płaszczyzny oraz oknem obejmującym przy wciśniętych klawiszach **CTRL + SHIFT** odznaczamy płaszczyznę na jednej połaci z wyjątkiem płaszczyzn kalenicowych. Dla tak zaznaczonych wszystkich płaszczyzn na jednej połaci dachu wywołujemy funkcję **Obciążenia powierzchniowe przez 3 punkty**. Następnie wskazujemy płaszczyznę obciążenia przez wskazanie trzech dowolnych niewspółliniowych punktów na płaszczyznach tej połaci. Teraz w oknie **Obciążenia powierzchniowe** nadajemy nazwę, wartość i kierunek rozkładu (**Globalny Z**), a następnie wykonujemy rozkład obciążenia powierzchniowego na połaci.

Dokładnie takie same operacje przeprowadzamy dla zaznaczonych płaszczyzn drugiej połaci.

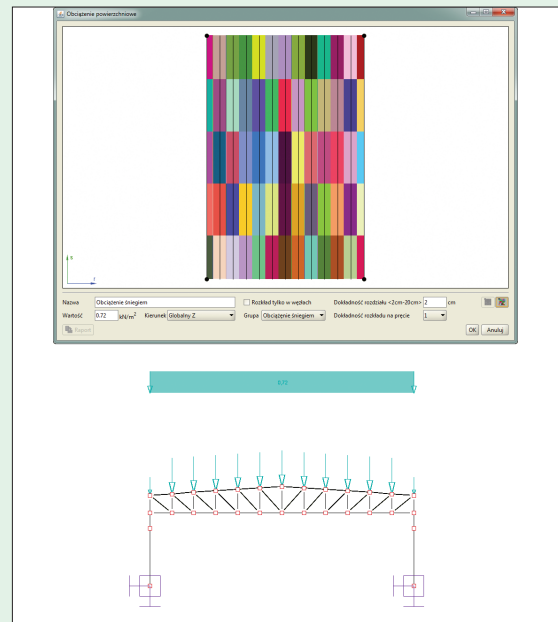


9 Obciążenie powierzchniowe od pokrycia na lewej połaci.

W ten sposób grupa obciążeń stałych od ciężaru warstw pokrycia składa się z dwóch obciążeń powierzchniowych, z których każde działa na osobnej połaci dachu.

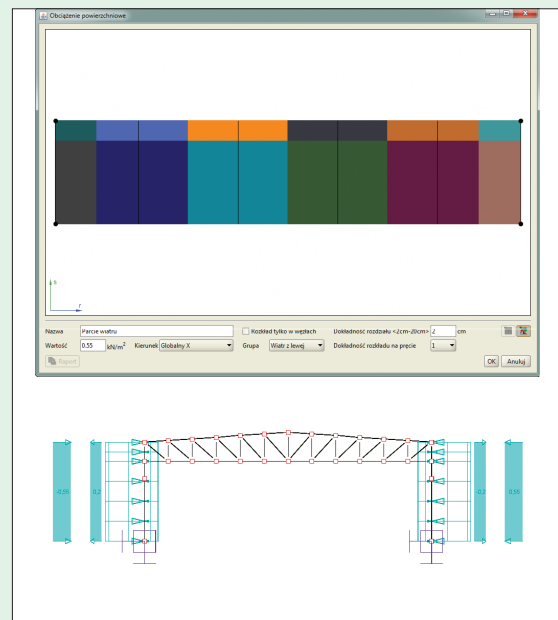
Obciążenie śniegiem również zadamy jako obciążenie powierzchniowe działające w kierunku pionowym, ale tym razem, ponieważ działa ono na rzut połaci założymy je dla wszystkich płatwi na raz. W tym celu zaznaczamy wszystkie płatwie w „drzewie projektu” i wybieramy funkcję **Obciążenia powierzchniowego przez 2 punkty**. Jako płaszczyznę obciążenia wskazujemy dwa dowolne punkty na ekranie, wskazujące płaszczyznę poziomą, najwygodniej nad układem hali. Następnie w oknie **Obciążenia powierzchniowego** nadajemy nazwę, wartość i kierunek rozkładu (**Globalny Z** lub **Prostopadły do płaszczyzny obciążenia**), a następnie wykonujemy rozkład obciążenia powierzchniowego na rzucie dachu. Obciążenie powierzchniowe śniegiem zadajemy w zmiennej grupie obciążenia śniegiem.

Pozostało nam do wprowadzenia obciążenie poziome od wiatru. W jednej grupie obciążenia wiatrem wprowadzamy dwa odrębne obciążenia powierzchniowe; jedno to parcie, a drugie to ssanie wiatru na ściany boczne. W „drzewie projektu” zaznaczamy pręty należące do grupy **Słupy główne hali** i oknem z wciśniętymi klawiszami **CTRL + SHIFT** odznaczamy połowę słupów znajdujących się w na przykład w linii prawej ściany hali.



10 Obciążenie powierzchniowe śniegiem na rzut połaci.

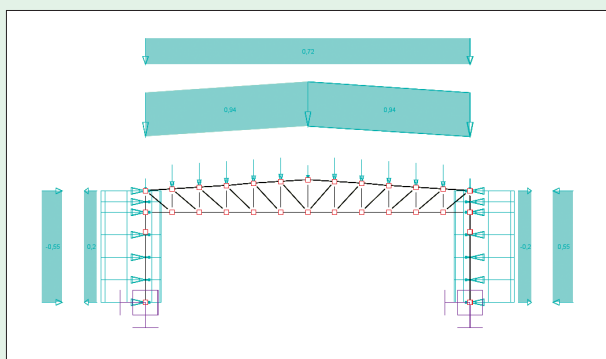
Dla tak zaznaczonej połowy słupów wybieramy funkcję **Obciążenia powierzchniowego przez 2 punkty**. Jako płaszczyznę obciążenia wskazujemy dwa dowolne punkty na ekranie, wskazujące płaszczyznę pionową, najwygodniej leżące na zewnątrz hali.



11 Obciążenie powierzchniowe wiatrem dla wiatru z lewej i prawej strony.

Następnie w oknie **Obciążenia powierzchniowego** nadajemy nazwę, wartość i kierunek rozkładu (**Główny X** lub **Prostopadły do płaszczyzny obciążenia**), a następnie wykonujemy rozkład obciążenia powierzchniowego parcia wiatru na ścianie hali. Analogicznie postępujemy dla pozostałych słupów hali, obciążając je ssaniem wiatru (przeważnie z przeciwnym znakiem niż parcie). W drugiej grupie obciążenia wiatrem zakładamy obciążenia z przeciwnym znakiem niż w pierwszej, a dodatkowo dla słupów, dla których poprzednio występowało parcie, teraz przykładamy ssanie i odwrotnie.

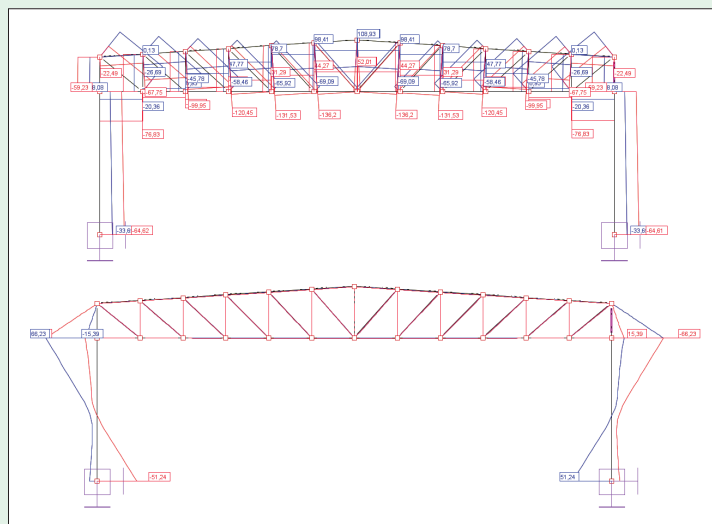
Po zadaniu obciążeń we wszystkich grupach możemy włączyć widoczność wszystkich grup obciążeń i sprawdzić wizualnie symetrię wprowadzonych obciążeń. Przed przystąpieniem do procesu obliczeń i analizy wyników należy jeszcze w **Oknie definiowania zależności między grupami obciążeń** ustawić właściwe relacje grup zmiennych, które w rozpatrywanym przypadku ograniczają się do ustawienia wzajemnego wykluczenia grupy *Wiatru z lewej* z grupą *Wiatru z prawej*. Komplet zdefiniowanych obciążeń przyłożonych w projektowanej hali przestrzennej przedstawiono w rzucie prostokątnym w widoku od szczytu na rysunku 12.



12 Komplet obciążeń zadanych w hali przestrzennej.

niowanych kombinacji użytkownika, których określenie przy bardziej złożonych schematach może być trudne. Dlatego też w prezentowanym przykładzie posłużymy się obliczeniami statycznymi według teorii pierwszego rzędu i z uwzględnieniem ściskania stężeń (przy małych przekrojach mają one niewielki wpływ na wyniki statyki). Wówczas program na podstawie zadanych grup obciążeń, przypisanych do nich oddziaływań oraz ustawionych relacji między grupami, jest w stanie zbudować automatyczną kombinatorykę obciążeń według założeń eurokodowych. Skutkiem takiej kombinatoryki jest otrzymanie w programie automatycznej obwiedni sił wewnętrznych, naprężeń normalnych i reakcji.

Kontrola obliczeń statycznych dla prezentowanego projektu jest o tyle ułatwiona, że projekt jest w pełni symetryczny względem klucza hali i takie też muszą być wyniki wyznaczonych obwiedni. Na dole zakładki **Wyniki** można również śledzić, jakie kombinacje grup obciążeń wraz z przypisanymi do nich wynikowymi współczynnikami budują aktualnie wyświetlane ekstremum sił wewnętrznych lub naprężeń, przy danej lokalizacji na przęcie.



13 Wykresy obwiedni sił normalnych i momentów dla ramy skrajnej.

4. Obliczenia statyczne i wymiarowanie

Obliczenia statyczne wykonanego projektu można w programie wykonać według teorii drugiego rzędu oraz z uwzględnieniem pracy stężeń jako cięgien wiotkich. Tego typu obliczenia wymagają obliczeń iteracyjnych z automatyczną zmianą schematu statycznego w trakcie obliczeń i wyniki otrzymamy tylko dla wcześniej zdefi-

Ponieważ na etapie statyki liczona jest również obwiednia naprężeń normalnych oraz w przypadku, gdy w oknie **Grup prętów** zostały prawidłowo przypisane dopuszczalne granice naprężeniowe σ_{dop}^+ i σ_{dop}^- , po obliczeniach statycznych (przycisk σ w oknie **Widoku 3D**) możemy sprawdzić, czy obwiednia naprężeń nie wychodzi poza założone granice naprężeniowe. Pręty o przekroczonych granicach naprężeniowych wyświetlają się wówczas na czerwono w **Widoku 3D**. Sprawdzenie to może być w wielu przypadkach

traktowane jako wstęp do wymiarowania, choć trzeba pamiętać, że naprężenia normalne wyznaczane są w statyce na bazie charakterystyk sprężystych, a wymiarowanie profili klasy 1 i 2 według PN-EN 1993 odbywa się według charakterystyk plastycznych i teoretycznie może zdarzyć się przypadek, że naprężenia sprężyste w elemencie wyjdą poza założone granice naprężeniowe, a przy dokładnym wymiarowaniu element jednak spełni warunki nośności. Może tak się zdarzyć, zwłaszcza gdy przy wymiarowaniu całkowicie pominiemy efekt wybożenia lub zwichrzenia.

Na podstawie analizy statycznej można utworzyć mniej lub bardziej szczegółowy raport dla aktualnie widocznej na ekranie części (lub całości) modelu. Do tego celu wybieramy z głównego paska narzędziowego funkcję **Raport z obliczeń statycznych**.

Po obliczeniach statycznych i analizie ich wyników możemy przystąpić do przygotowania projektu do wymiarowania zbiorczego całości konstrukcji. W programie można też wymiarować pręty pojedynczo. Można również wymiarować dowolny element ciągły, współliniowy o takim samym przekroju prętów składających na ten element. Jednak ponieważ najwięcej pracy wymaga przygotowanie modelu do wymiarowania zbiorczego, taka metoda zostanie tu omówiona. Na właściwe przygotowanie modelu do wymiarowania zbiorczego składają się dwie podstawowe czynności zależne całkowicie od użytkownika, które mają decydujący wpływ na efekt przeprowadzonego wymiarowania. Jest to wydzielenie w układzie elementów wymiarowych, czyli elementów ciągłych, współliniowych o stałym przekroju i złożonych z kilku prętów modelu, oraz przypisanie do prętów i elementów wymiarowych odpowiednich definicji typów wymiarowania. Obie te czynności są od siebie zależne i obie powinny być wykonane po przeprowadzeniu obliczeń statycznych. Od tego jakie elementy wymiarowe założymy w układzie, zależy jakie wartości parametrów będziemy przyjmować w przypisanych do nich definicjach typu wymiarowania. Zwłaszcza chodzi tu o współczynniki wybożenia, dopuszczalne wartości ugięć oraz parametry do liczenia współczynnika zwichrzenia ustawiane w definicjach typu wymiarowania. Może się tak zdarzyć, że wygodnie będzie założyć inne elementy wymiarowe i inne definicje typu wymiarowania dla stanu ULS, a inne dla stanu SLS. Definicja typu wymiarowania przypisana do prętów lub elementów wymiarowych to zestaw parametrów ustawianych przez użytkownika, na podstawie których zostanie przeprowadzone wymiarowanie

tych prętów lub elementów.

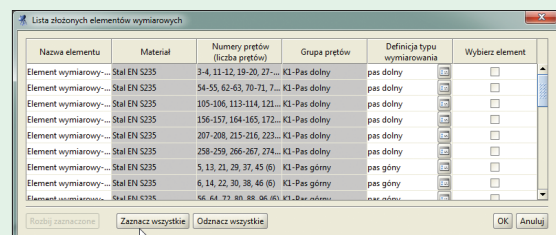
Ponieważ przy wymiarowaniu zbiorczym wszystkie pręty w danej grupie prętów muszą mieć tę samą definicję typu wymiarowania, istotny może tu być również właściwy podział prętów na grupy i trzeba o tym pamiętać najlepiej już na etapie statyki. Każdy z elementów wymiarowych zdefiniowanych w modelu może mieć przypisaną inną definicję typu wymiarowania.

W omawianym przykładzie w pierwszej kolejności przystąpimy do utworzenia elementów wymiarowych. W tym celu w „drzewie projektu” zaznaczamy grupy prętów: *Słupy główne hali*, *Pas dolny* i *Pas górny kratownic*.

Następnie z menu kontekstowego prawego klawisza myszki wybieramy opcję **Utwórz elementy wymiarowe**. Program sam sprawdza warunki na ich utworzenie, takie jak na przykład współliniowość, ciągłość itp.

Skutkiem działania funkcji jest utworzenie 12 elementów wymiarowych w postaci słupów głównych hali, 12 elementów wymiarowych w postaci pasów górnych kratownic i 6 elementów wymiarowych w postaci pasów dolnych kratownic.

W przypadku pasa górnego, który jest załamany w kluczu, element wymiarowy obejmuje odcinek od słupa do kalenicy hali o długości ok. 9 m, natomiast element wymiarowy pasa dolnego obejmuje pełną rozpiętość pasa, to jest 18 m.



14 Okno utworzonych elementów wymiarowych.

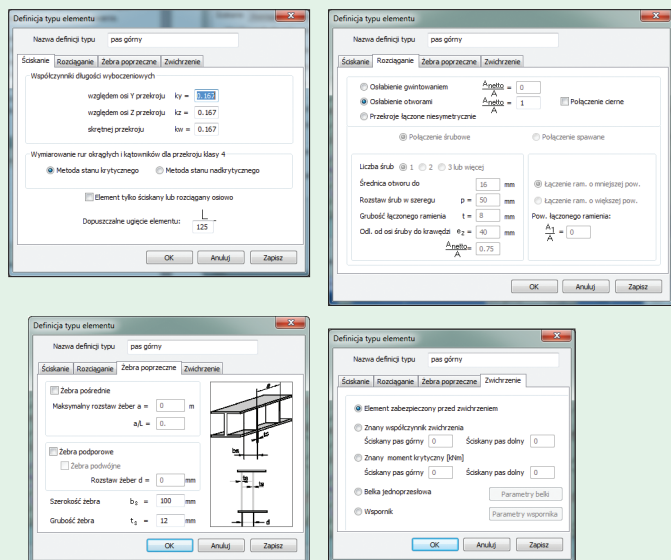
Po utworzeniu elementów wymiarowych przystępujemy do przypisania do nich i do pozostałych prętów właściwych definicji typu wymiarowania. W tym celu otwieramy okno **Grup prętów** i dla kolejnych grup prętów i elementów w tym oknie wywołujemy okno definicji typu wymiarowania.

Każdej definicji nadajemy charakterystyczną nazwę, tak by już gotową można było przypisać do kilku grup prętów poprzez zwykły wybór z listy.

E10 ZIELONE STRONY

15 Okno grup prętów z przypisanymi definicjami typu wymiarowania.

Definicja typu wymiarowania określona jest przez unikalną nazwę nadaną przez użytkownika i w przypadku modułu wymiarującego **EuroStal** składa się z czterech kolejnych zakładek: **Ściskanie**, **Rozciąganie**, **Żebra poprzeczne** i **Zwichrzenie**. Nie wszystkie parametry ujęte na zakładkach wymagają edycji w każdym przypadku. Zakres tych parametrów jest nadmiarowy, gdyż dotyczą one wszystkich typów przekrojów, które możemy wymiarować w module, a także wszystkich stanów pracy elementu, które nie zawsze występują lub ich działanie jest pomijalne.

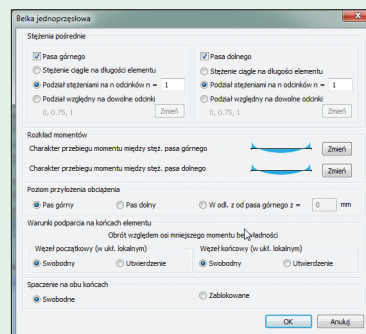


16 Kolejne zakładki definicji typu wymiarowania w module EuroStal.

Teraz krótko przedstawimy ustawienia podstawowych parametrów definicji wymiarowania dla poszczególnych grup prętów i elementów wymiarowych. Wszystkie współczynniki długości wybowoczeniowej w przypadku elementu wymiarowego pasa górnego o długości ok. 9 m ustawiamy na 1/6 rozpiętości,

czyli na odległość ok. 1.5 m między płatwiami i słupkami kratownicy. Dla głównie rozciąganego pasa dolnego współczynniki wybowoczenia ustawiamy: w płaszczyźnie kraty na 1/12 rozpiętości elementu wymiarowego (tym razem o długości 18 m), a z płaszczyzny kraty i skrotny na 1/6, gdyż dla pasa dolnego ściskanie może wystąpić jedynie w dwóch skrajnych segmentach kratownicy. Dla elementów wymiarowych słupów głównych hali wszystkie współczynniki przyjęto o wartości 1.6. Dla wszelkich elementów stężeń, które z założenia pracują tylko na rozciąganie, eliminujemy możliwość uwzględniania wybowoczenia przy sile ściskającej przez ustawienie wszystkich współczynników wybowoczenia na wartość zero. Dla pozostałych elementów hali: płatwii, słupków, krzyżulców i rygli usztywniających, wszystkie współczynniki wybowoczenia pozostawiamy ustawione na domyślną wartość 1. Dopuszczalna wartość ugięcia interesuje nas praktycznie jedynie dla dźwigara dachowego i płatwi. Dla płatwi wartość dopuszczalnego ugięcia ustawiamy 1/250 długości płatwi.

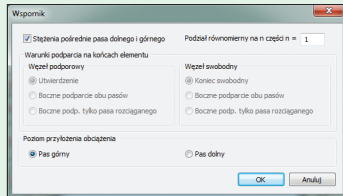
Tak samo robimy dla pasa dolnego kratownicy o długości 18 m, a dla elementów wymiarowych pasa górnego na 1/125 długości elementu pasa, który jest o połowę krótszy od elementu pasa dolnego. Analogicznie postępujemy przy ustawieniu parametrów zwichrzenia, które ustawiamy dla elementów pracujących głównie na zginanie. W naszym przypadku będą to płatwie i ewentualnie przekrój słupów głównych hali. W programie możemy podać współczynnik zwichrzenia lub moment krytyczny wyliczony dokładnie w innym programie (np. LTBeam – bezpłatny program wyznaczający moment krytyczny za pomocą MES) lub posłużyć się metodą zamieszczoną w projekcie Eurokodu PN-ENV 1993, zaimplementowaną w module **EuroStal**. Tutaj posłużymy się tą ostatnią metodą. Dla płatwi wybieramy model jak dla **Belki jednoprzęsłowej** i określamy jej parametry.



17 Okno parametrów zwichrzenia dla płatwi.

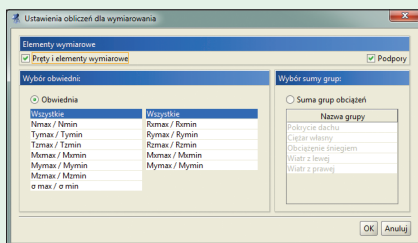
Wybieramy tu dla obu pasów podparcie na końcach płatwi oraz przebieg momentów jak dla belki wieloprzęsłowej.

W przypadku słupów głównych hali wybieramy opcję jak dla **Wspornika** i również określamy parametry do liczenia zwichrzenia.



18 Okno parametrów zwichrzenia dla słupów hali.

Po zdefiniowaniu elementów wymiarowych i przypisaniu odpowiednich parametrów w definicjach typu wymiarowania możemy przystąpić do wymiarowania zbiorczego całości konstrukcji. Po uruchomieniu wymiarowania zbiorczego wyświetlone zostanie okno pośrednie, w którym należy zdecydować, na jaki zestaw sił wewnętrznych będzie przeprowadzone wymiarowanie. Dla prezentowanego projektu będzie to pełen zestaw wszystkich 14 obwiedni sił wewnętrznych i naprężeń. W trakcie obliczeń w pierwszej kolejności wymiarowane są zdefiniowane elementy wymiarowe, a następnie pozostałe pręty.



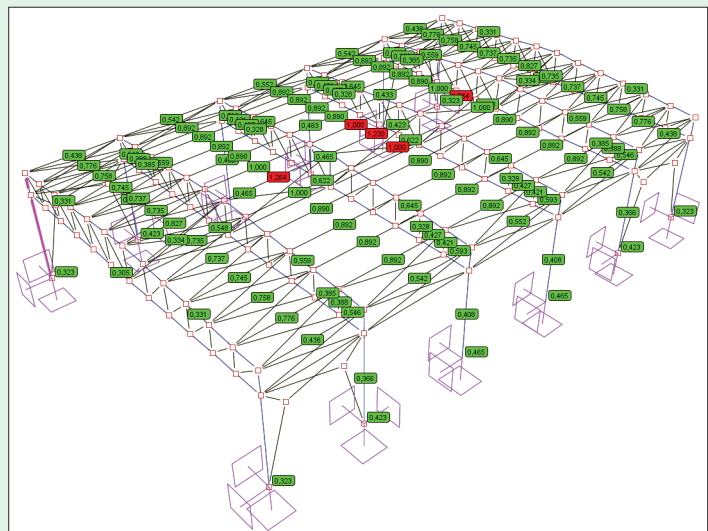
19 Okno wyboru zestawu sił do wymiarowania.

Po wymiarowaniu zbiorczym na głównym ekranie graficznym zostanie wyświetlony liczony układ hali, w którym dla każdego elementu wymiarowego oraz dla każdego pręta nie wchodzącego w skład żadnego elementu, zostanie wyświetlona etykieta w kolorze: zielonym, czerwonym lub żółtym, w której przedstawiony zostanie wynik najgorszego sprawdzenia nośności dla danego pręta lub elementu. Kolor zielony etykiet w przeciwień-

stwie do koloru czerwonego oznacza że wykorzystanie nośności jest poniżej 100%. Czasem może pojawić się również etykieta w kolorze żółtym co oznacza że w trakcie wymiarowania nie został spełniony jakiś dodatkowy warunek np. przekroczona została dopuszczalna smukłość elementu lub pręta.

Na dole zakładki **Wymiarowanie** umieszczono filtr umożliwiający filtrowanie etykiet po ich wartościach. Po przeglądzie ekstremalnych wyników sprawdzenia nośności dla projektowanej hali widzimy że prawie wszystkie etykiety są w kolorze zielonym.

Jedyny wyjątek stanowią części środkowe płatwi kalenicowej gdzie przekroczona jest nośność o ok. 26%. Tak naprawdę tym wynikiem nie musimy się przejmować, gdyż w rzeczywistości będzie tam przeważnie płatew podwójna a wówczas wykorzystanie rzeczywiste nośności będzie zbliżone do płatwi okapowej (które jest znacznie niższe i wynosi ok. 55%).

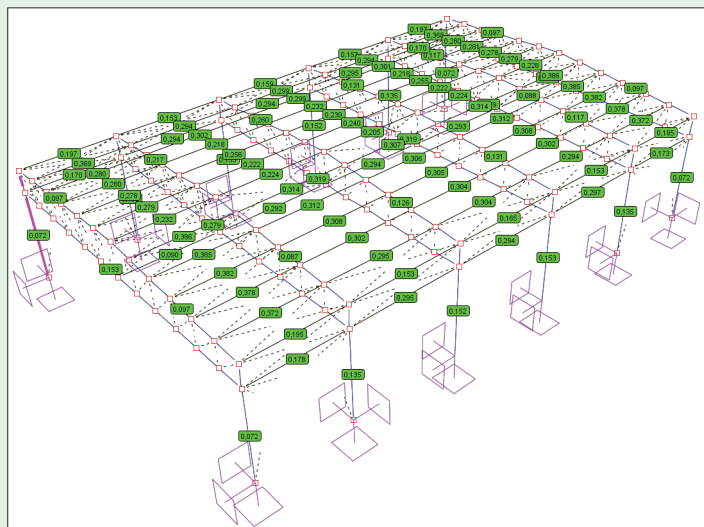


20 Wyniki ekstremalnych sprawdzeń nośności dla głównych elementów hali.

Analogiczne sprawdzenie możemy wykonać dla stanu granicznego użytkowania (SGU), włączając odpowiedni przełącznik na dole zakładki **Wymiarowanie**, przy czym, ponieważ z założenia nie interesują nas ugięcia lub przemieszczenia stężeń wiotkich (pozwalamy im na zwis) oraz przemieszczenia słupków i krzyżulców dźwigarów, przed analizą ukrywamy te elementy. Przy sprawdzaniu stanu granicznego użytkowania

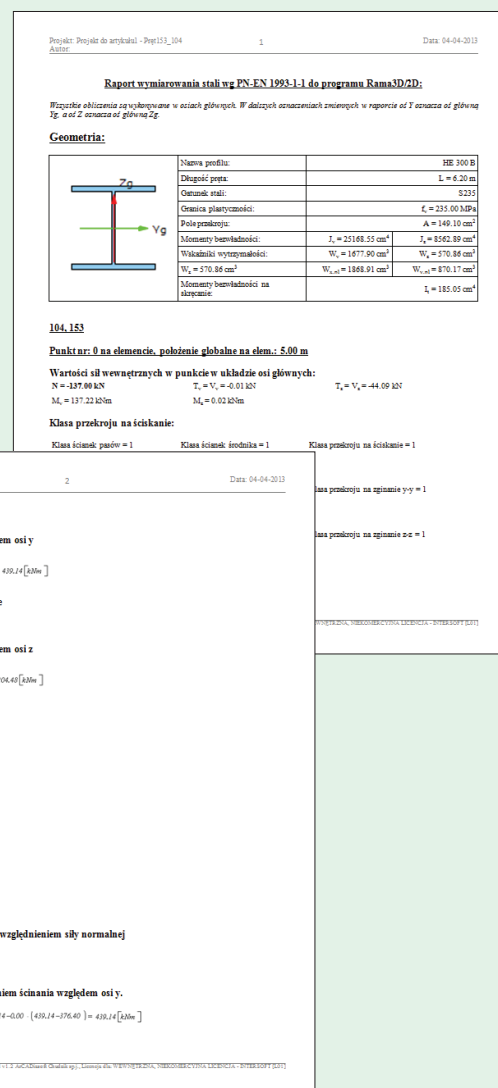
należy również rozróżnić, co sprawdzamy dla danego typu elementu. W programie możemy sprawdzić przemieszczenia elementów układu lub ich ugięcia względne w wartościach bezwzględnych, jak również w odniesieniu do wartości dopuszczalnej. Dla rozpatrywanego układu, dla płatwi i rygli usztywniających nie ma sensu sprawdzanie przemieszczeń, które w przypadku prętów kalenicowych tego typu są z założenia większe niż przemieszczenia dźwigara o długości 18 m. Dlatego też dla tych elementów sprawdzamy jedynie ich ugięcie względne. Dla pozostałych elementów, takich jak pasy dźwigara czy słupy główne hali możemy sprawdzać ich przemieszczenia. Bardziej szczegółowe wyniki poszczególnych sprawdzeń nośności oraz porównania ugięć względnych i przemieszczeń z wartościami dopuszczalnymi możemy uzyskać na zakładce **Wymiarowanie** po zaznaczeniu w układzie pręta lub elementu wymiarowego, którego mają one dotyczyć.

Z analizy globalnej sprawdzania nośności, przemieszczeń i ugięć względnych można utworzyć skrócony raport dla aktualnie widocznej na ekranie części (lub całości) układu. Do tego celu wybieramy z głównego paska narzędziowego funkcję **Raport z wymiarowania**.



21 Ugięcia względne w odniesieniu do wartości dopuszczalnych.

Po całościowej analizie wyników wymiarowania dla stanu granicznego nośności i użytkowania możemy przystąpić do przeglądania i wydruku raportów szczegółowych z wymiarowania dla wybranych prętów lub elementów wymiarowych. W tym celu, będąc na zakładce **Wymiarowanie**, zaznaczamy w modelu dany pręt lub element wymiarowy i wybieramy na tej zakładce funkcję **Raport**.



22 Fragment raportu szczegółowego z wymiarowania słupa.