

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 9

1. Założenia wstępne	E02
2. Schemat statyczny i obciążenia	E03
3. Obliczenia statyczne i wymiarowanie szkieletu	E04
4. Prezentacja otrzymanych rezultatów obliczeń	E05

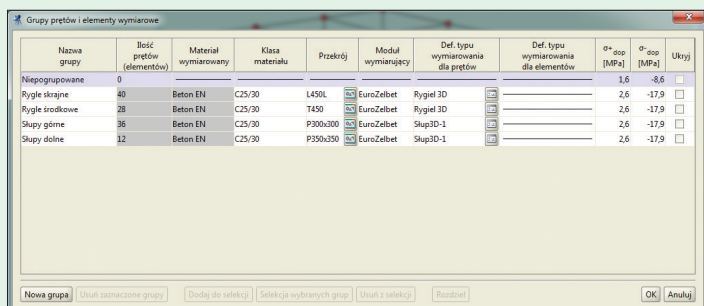
Projekt budynku o konstrukcji żelbetowej (szkielet monolityczny) wykonany w programie R3D3-Rama 3D v. 13 z uwzględnieniem modułu wymiarującego EuroŻelbet

1. Założenia wstępne

W ramach prezentowanego projektu budynku szkieletowego o konstrukcji żelbetowej monolitycznej przyjęto następujące założenia projektowe:

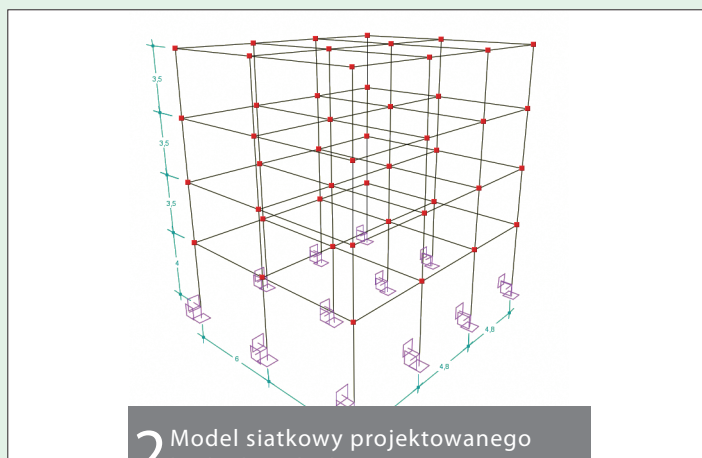
- Budynek zaprojektowano jako czterokondygnacyjny o wysokości parteru 4 m i pozostałych kondygnacji 3,5 m.
- Układ konstrukcyjny słupów podpierających stropy i dach w kierunku poprzecznym 2 x 6 m, a w kierunku podłużnym 3 x 4,8 m.
- Stropy w postaci płyty monolitycznej o grubości 12 cm wylewanej łącznie z ryglami podłużnymi i poprzecznymi szkieletu budynku, pozwalającej na wymiarowanie rygli jako żelbetowych przekrojów teowych i półteowych.
- Wysokość konstrukcyjna przestrzeni stropowej w postaci płyty i układu wzajemnie prostopadłych rygli nie powinna przekraczać 45 cm.
- Słupy parteru o przekroju kwadratowym i wymiarach 35 x 35 cm, a dla pozostałych kondygnacji 30 x 30 cm.
- Główne charakterystyczne obciążenia stałe od stropu i stropodachu wraz z warstwami wykończeniowymi przyjęto 3,8 kN/m² na każdym poziomie.

- Charakterystyczne obciążenie stałe od lekkiej obudowy na zewnętrznych ryglach krawędziowych przyjęto o wartości 3,6 kN/m bieżący rygla.
 - Na stropach pośrednich kondygnacji przyjęto charakterystyczne obciążenie użytkowe łącznie z zastępczym obciążeniem od ścianek działowych o łącznej wartości 5 kN/m² na każdym stropie.
 - Charakterystyczne obciążenie śniegiem przypadające na rzut płaskiej połaci dachowej przyjęto o wartości 1,2 kN/m².
 - Pominęto wpływ wiatru na ściany boczne i dach jako mniej istotne w typowym szkielecie żelbetowym przy nieznacznej wysokości projektowanego budynku.
- Schemat geometryczny układu szkieletowego opisanego powyżej wygenerowano w programie **R3D3-Rama 3D v. 13** za pomocą automatycznego **Generatora ram prostokątnych**. Następnie przystąpiono do założenia przekrojów poszczególnych elementów szkieletu. Przed przypisaniem odpowiednich przekrojów elementów właściwe jest podzielenie konstrukcji na logiczne grupy prętów. Operacja ta w znacznym stopniu ułatwi dalsze zadawanie danych, a i tak okaże się niezbędna na etapie wymiarowania konstrukcji. Dlatego też wstępnie podzielono konstrukcję na cztery grupy prętów: **Rygle skrajne**, **Rygle środkowe**, **Słupy górne**, **Słupy dolne** (parteru).



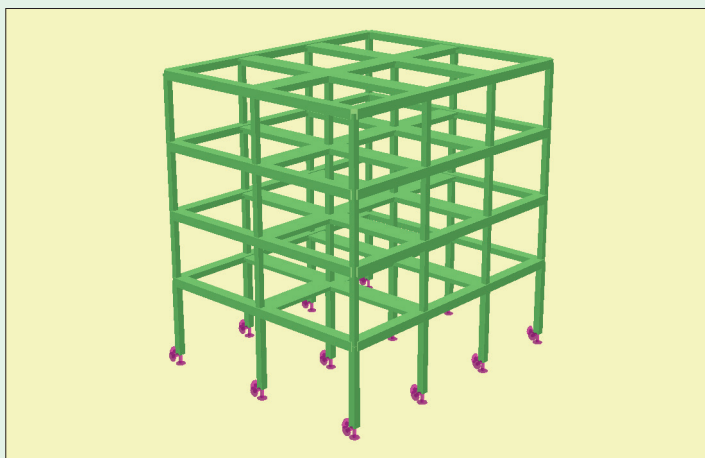
Nazwa grupy	Ilość prętów (elementów)	Materiał	Klasa materiału	Przekrój	Moduł wymiarujący	Def. typu wymiarowania dla prętów	Def. typu wymiarowania dla elementów	σ ⁺ dop [MPa]	σ ⁻ dop [MPa]	Ukryj
Nieogrupowane	0							1,6	-8,6	☐
Rygle skrajne	40	Beton EN	C25/30	L450L	EuroŻelbet	Rygiel 3D		2,6	-17,9	☐
Rygle środkowe	28	Beton EN	C25/30	T450	EuroŻelbet	Rygiel 3D		2,6	-17,9	☐
Słupy górne	36	Beton EN	C25/30	P300x200	EuroŻelbet	Słup3D-1		2,6	-17,9	☐
Słupy dolne	12	Beton EN	C25/30	P350x250	EuroŻelbet	Słup3D-1		2,6	-17,9	☐

1 Podział konstrukcji na logiczne grupy prętów



2 Model siatkowy projektowanego budynku szkieletowego

Dla rygli środkowych przyjęto przekrój teowy o wymiarach 30 x 45 cm z symetryczną górną półką o wymiarach 12 x 120 cm (szerokość współpracującej płyty). Dla rygli krawędziowych (skrajnych) przyjęto przekroje półteowe (lewe i prawe) o wymiarach części głównej 30 x 45 cm z półką górną o jednostronnym wysięgu 12 x 60 cm skierowaną zawsze do wnętrza budynku. Słupy kwadratowe parteru i pozostałych kondygnacji przyjęto zgodnie z założeniami wstępnymi do projektu. Dla wszystkich przekrojów ustawiono jednakowy materiał w postaci betonu o klasie C25/30, zgodnie z normą **PN-EN 1992-1-1**.



3 Model rzeczywisty projektowanego budynku szkieletowego

2. Schemat statyczny i obciążenia

Jako układ statyczny przyjęto schemat przestrzennej ramy żelbetowej o węzłach sztywnych, zamocowanej sztywno w dolnych węzłach podporowych. Przed przystąpieniem do zadawania obciążeń zdefiniowano podstawowe grupy obciążeń, ustalono ich typy i przypisano do nich odpowiednie oddziaływania. Ustalono 4 grupy obciążeń: dwie stałe (**Stale** i **Cieżyż własny**) oraz dwie zmienne (**Śnieg** i **Użytkowe**). Do grup zmiennych przypisano odpowiednie typy oddziaływań eurokodowych, a wraz z nimi właściwe współczynniki obciążenia i współczynniki kombinacyjne. Założono, że wszystkie obciążenia użytkowe mają ten sam typ oddziaływania i w trakcie kombinatoryki po współczynnikach będą one traktowane jako całość w ten sam sposób. Takiego założenia nie można przyjąć, jeśli chodzi o kombinatorykę po występowaniu obciążeń użytkowych na poszczególnych ryglach ramy, dlatego też dla obciążeń użytkowych przyjęto zmienną grupę typu „multi”. Wybrany typ grupy pozwoli na wariantowanie obciążeń użytkowych po występowaniu

na poszczególnych prętach (wszystkie obciążenia przyłożone do jednego pręta i zadane w grupie „multi” traktowane są przez program w trakcie kombinatoryki jako osobna wewnętrzna podgrupa grupy „multi”. Stąd wewnętrznie w trakcie kombinatoryki rozpatrywane jest tyle grup obciążeń, na ilu prętach rygli pośrednich kondygnacji przyłożono obciążenie użytkowe w grupie

Grupy obciążeń

Nazwa	Typ	Charakter	Oddziaływanie	Aktywne	Widoczne
Stale	Stale	stały	stałe	☒	☒
Cieżyż własny	Stale	stały	stałe	☒	☒
Śnieg	Zmienne	średnicowale	śnieg	☒	☒
Użytkowe	Multi	długotrwale	użytkowe	☒	☒

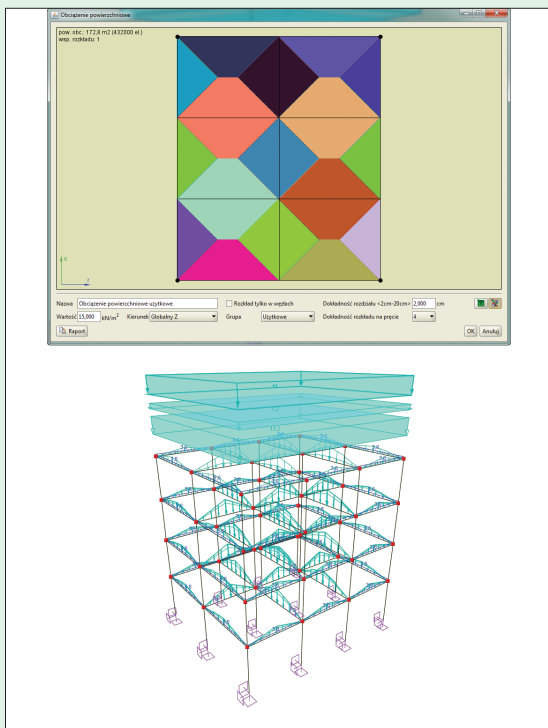
Nazwa oddział.	$V_{k1}(m/s)$	$V_{k2}(m/s)$	ψ_s lub ψ_{st}	ψ_{st}	Widoczny
stałe	1.0	1.35	0.85	0	☒
użytkowe	1.5	0.7	0.3	0	☒
śnieg	1.5	0.5	0	0	☒
wiatr	1.5	0.6	0	0	☒
temperatura	1.5	0.6	0	0	☒

4 Grupy obciążeń i przypisane do nich oddziaływania

„multi”. To założenie pozwoli, by program zbudował nadmiarową, najbardziej niekorzystną obwiednię wszystkich sił wewnętrznych i naprężeń normalnych.

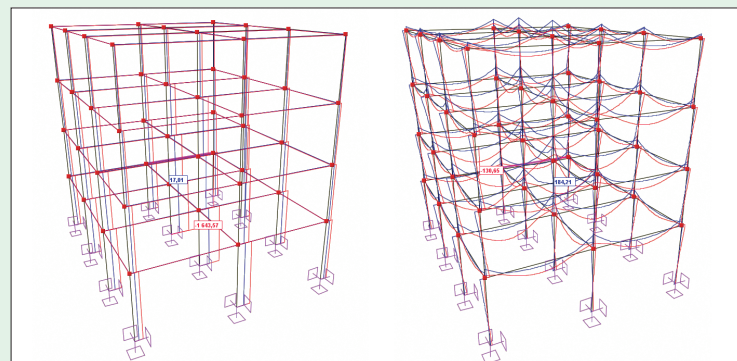
Większość obciążeń założonych w projekcie w poszczególnych grupach obciążeń zamodelowano jako obciążenia powierzchniowe, zadawane na płaszczyznach poziomych wskazywanych przez dwa punkty. Obciążenia stałe od ciężaru stropu i warstw wykończeniowych przyjęto na wszystkich czterech poziomach stropów i dachu jednocześnie o wartości łącznej $4 \times 3,8 = 15,2 \text{ kN/m}^2$ jako jedno obciążenie powierzchniowe.

Program w trakcie rozkładu obciążenia powierzchniowego na odpowiadające mu obciążenia prętowe rozdzielił to obciążenie na poszczególne kondygnacje, a następnie na poszczególne pręty danej kondygnacji. Analogicznie sytuacja wygląda, jeśli chodzi o obciążenie użytkowe przyłożone jako obciążenie powierzchniowe o wartości łącznej $3 \times 5 = 15 \text{ kN/m}^2$ przypisane jednocześnie do wszystkich rygli kondygnacji pośrednich. Jedynie obciążenie powierzchniowe od śniegu o wartości $1,2 \text{ kN/m}^2$, przypisane będzie tylko do wszystkich rygli dachowych. Poza obciążeniem powierzchniowym od stropów i dachu w grupie Stałej przyjęto dodatkowo na wszystkich ryglach obwodowych zewnętrznych zwykle obciążenie równomierne o wartości $3,6 \text{ kN/m}$ od ciężaru obudowy szkieletu. Ciężar własny konstrukcji szkieletowej zostanie zliczony przez program i uwzględniony automatycznie.

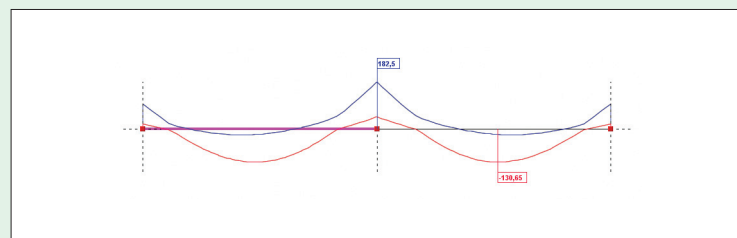


5 Rozkład obciążenia *Użytkowego* na poszczególne pręty i kondygnacje

6 Model konstrukcji szkieletowej z przyłożonymi wszystkimi obciążeniami



7 Globalne wykresy obwiedni momentów gnących i sił normalnych



8 Wykres obwiedni momentów gnących dla najbardziej wyężonego rygla środkowego

3. Obliczenia statyczne i wymiarowanie szkieletu

Po zakończeniu modelowania wykonano obliczenia statyczne projektowanego układu według teorii I rzędu, zachowując w ten sposób możliwość uzyskania wyników automatycznie generowanej obwiedni sił wewnętrznych i naprężeń. W wersji 13 programu R3D3-Rama 3D otrzymane globalne wykresy sił wewnętrznych wyświetlane są z dwiema etykietami pokazującymi aktualny zakres wartości ekstremalnych na danym wykresie. Przy analizie sił wewnętrznych należy zwrócić uwagę na minimalne odchyłki wartości generalnie symetrycznych wykresów dla układu obciążonego całkowicie symetrycznie.

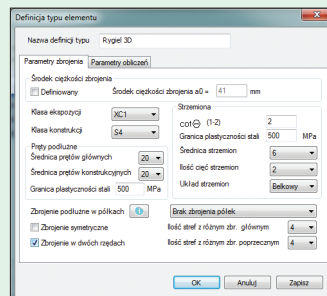
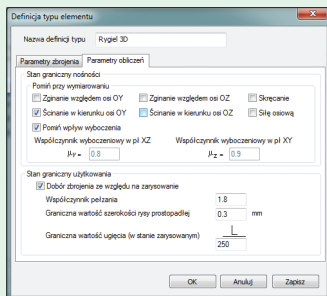
Wynikają one stąd, że, mimo iż układ obciążeń powierzchniowych jest całkowicie symetryczny, to po dyskretnym rozkładzie tych obciążeń na odpowiadające obciążenia prętowe, który wykonywany jest z określoną dokładnością, powstają niewielkie różnice sił wewnętrznych, niemające praktycznie żadnego wpływu na proces obliczeń.

Po analizie statycznej otrzymanych wyników możemy przejść do przygotowania odpowiednich definicji typu wymiarowania, właściwych dla poszczególnych typów prętów. W projekcie zastosujemy trzy podstawowe definicje typu wymiarowania: jedną dla rygla skrajnych i środkowych, a drugą i trzecią dla słupów dolnych i górnych. Ponieważ wymiarowanie konstrukcji wykonywać będziemy zbiorczo, dlatego też definicje typu wymiarowania ustawione zostaną dla odpowiednich grup prętów w oknie **Grup prętów i elementów wymiarowych**. Dla wszystkich rygla i słupów ustawiono automatycznie definiowany środek zbrojenia, klasę ekspozycji XC1 i klasę konstrukcji S4. W obu przypadkach przyjęto również jednakową stal zbrojenia podłużnego i poprzecznego o granicy plastyczności 500 MPa. Zbrojenie podłużne rygla (główne i konstrukcyjne) przyjęto z prętów o średnicy 22 mm (dla słupów średnicy 16 mm), a poprzeczne w postaci strzemion dwuciętych o średnicy 6 mm ($\cot \theta = 2$). Dla wszystkich rygla przyjęto **Belkowy** układ strzemion (liczony na podstawie nośności), a dla prętów podłużnych dopuszczono zbrojenie w dwóch rzędach, przy czym zbrojenia ma być tylko część środkowa dla przekrojów teowych i półteowych. Dla rygla założono również

podział pręta na cztery jednakowe strefy o stałym (w ramach strefy) zbrojeniu podłużnym i poprzecznym.

W **Parametrach obliczeń** dla rygli pominięto drugorzędny wpływ ścinania w kierunku poziomym oraz wpływ wybożenia. W tym przypadku pominięcie ścinania w drugorzędnym kierunku poziomym jest o tyle istotne, że przy sprawdzaniu ścinania pominięte zostaną wówczas również warunki konstrukcyjne na rozkład strzemion w tym kierunku (liczone dla wysokości przekroju 30 cm), które często niepotrzebnie zagęszczają rozkłady konstrukcyjne strzemion w belkach.

Na koniec dla rygli ustawiono dobór dodatkowego zbrojenia ze względu na zarysowanie, przy przekroczeniu granicznej wartości rysy prostopadłej 0,3 mm i ustawionym współczynniku pełzania 1,8.

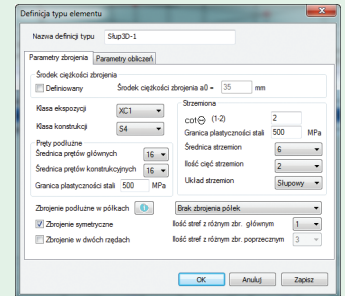
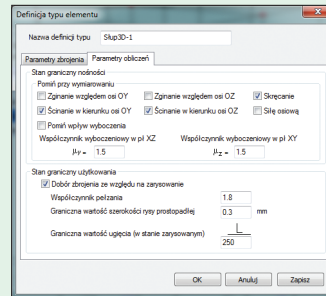


9 Definicja typu wymiarowania dla rygli skrajnych i środkowych

Dla słupów przyjęto **Słupowy** układ strzemion (przyjmowany z warunków konstrukcyjnych), a dla zbrojenia podłużnego zbrojenie symetryczne, bez zbrojenia w dwóch rzędach, układane dla całego słupa jako stałe w jednej strefie. Rozkład **Słupowy** strzemion jest niezależny od przyjętych stref zbrojenia poprzecznego, dlatego też nie jest tu potrzebne ustalenie ilości stref dla tego zbrojenia.

W **Parametrach obliczeń** dla słupów pominięto wpływ sił poprzecznych i momentu skręcającego ze względu na ich drugorzędny charakter i przyjęte powyżej ustalenia.

W module **Długość obliczeniowa słupa** pomocniczych tablic inżynierskich **ITI 4.8** oszacowano z góry oba współczynniki wybożeniowe: słupów górnych na 1,5 i dolnych na 1,25 w obu kierunkach. Jest to jedyny parametr, którym różnią się definicje typu wymiarowania słupów górnych i dolnych. Parametry dotyczące rysy prostopadłych przyjęto dla słupów analogicznie jak dla rygli stropowych.



10 Definicja typu wymiarowania dla słupów górnych

4. Prezentacja otrzymanych rezultatów obliczeń

Po ustaleniu definicji typu wymiarowania możemy przystąpić do zbiorczego wymiarowania układu. Efektem takiego wymiarowania (po wyborze na dole zakładki **Wymiarowanie** znacznika zbrojenia **As**) jest widok całości układu z widocznymi etykietami przypisanymi do poszczególnych prętów lub elementów wymiarowych.

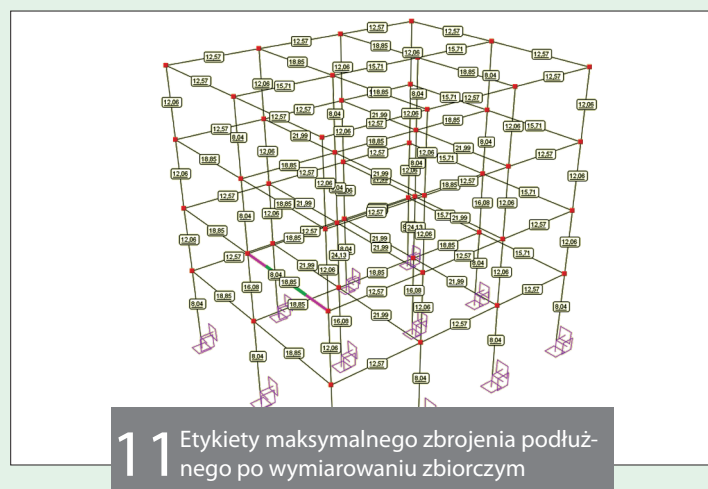
W etykietach umieszczono maksymalną, sumaryczną wartość powierzchni zbrojenia podłużnego występującą w dowolnym przekroju na długości pręta lub elementu wymiarowego. Po kliknięciu na wybrany pręt zostaje on zaznaczony i pokazana jest zielonym pogrubieniem aktualnie analizowana, wybrana strefa zbrojenia podłużnego. Zbrojenie podłużne w danej strefie widoczne jest na szkicu przekroju pręta na zakładce **Wymiarowanie**, a także w umieszczonej tam tabeli prętów podłużnych (głównych i konstrukcyjnych).

Niżej umieszczono tabelę z rozmieszczeniem zbrojenia poprzecznego. Ilość pokazanych w tabelach stref zbrojenia podłużnego i poprzecznego może być różna nawet wówczas, gdy w definicji typu wymiarowania założono tę samą liczbę stref. Wynika to z faktu, że w obu tabelach scalane są strefy leżące obok siebie i posiadające takie samo zbrojenie podłużne lub poprzeczne.

Poniżej przedstawiono widok całości układu z ekstremalnymi i etykietami zbrojenia po wymiarowaniu zbiorczym kompilację wyników szczegółowych dla wybranych rygli (skrajnego i środkowego) oraz wybranych słupów. W przypadku widocznego na rysunku rygla skrajnego maksymalne zbrojenie w przekroju otrzymaliśmy na podporze skrajnej, a nie środkowej,

gdzie występuje maksymalny moment gnący w płaszczyźnie pionowej.

Wynika to stąd, że w module **Eurożelbet** wymiarowanie zbrojenia realizowane jest przestrzennie i w tym właśnie miejscu wystąpił istotny moment w płaszczyźnie poziomej. Chcąc otrzymać jeszcze bardziej szczegółowe wyniki wymiarowania, należy dla wybranego w układzie pręta kliknąć przycisk **Raport** na zakładce **Wymiarowanie**.



Po włączeniu znacznika **SGU** na dole zakładki **Wymiarowanie** możemy sprawdzić jeszcze stan graniczny użytkowania, czyli szerokość rozwarcia rys prostopadłych do osi elementów i ugięcie względne elementów w stanie zarysowanym.

W przypadku rozpatrywanego projektu sztywnego szkieletu ugięcia w stanie zarysowanym są znacznie mniejsze od przyjętych wartości dopuszczalnych, a rysy prostopadłe z założenia nie przekroczą przyjętej wartości 0,3 mm.

Ponieważ na podstawie algorytmu wyznaczania obwiedni ugięć względnych na etapie wymiarowania wyznaczane jest ugięcie w stanie zarysowanym, niezbędna jest tu znajomość rzeczywistych grup obciążeń. Dlatego też w przypadku użycia w projekcie złożonych grup obciążeń („multi” lub ruchomych), przed przystąpieniem do analizy ugięcia w stanie zarysowanym należy takie grupy rozbić w oknie **Grup obciążeń** i ponownie przeliczyć projekt.

