EUROKODY praktyczne komentarze

Niniejszy skrypt to kolejne opracowanie w cyklu publikacji na temat podstaw projektowania konstrukcji budowlanych. W bieżącym artykule dotyczącym projektowania w programie R3D3-Rama 3D chcielibyśmy omówić kilka wyodrębnionych zagadnień, których znajomość może być istotna przy tworzeniu modelu obliczeniowego układu prętowego. Ponieważ trudno byłoby przedstawić wszystkie omawiane tu problemy w ramach jednego w miarę spójnego projektu, tym razem zrezygnowaliśmy z jego tworzenia, a omawiane zagadnienia podzieliliśmy na kolejno omawiane tematy.

Skrypt 10

1.	Modelowanie dowolnych przekrojów prętowych i przekroje odwrócone	E02
2.	Modelowanie skomplikowanych układów wieloprętowych	E03
3.	Najczęstsze błędy w modelowaniu układów prętowych	E04
4.	Połączenia prętów w węzłach	E04
5.	Układy geometrycznie zmienne w modelach 2D i 3D	E05
6.	Modelowanie grup multi a czas obliczeń i wykorzystanie pamięci	E06
7.	Wybór typu modeli i rodzaju obliczeń oraz jego konsekwencje w statyce i wymiarowaniu	E07
8.	Analiza naprężeniowa na etapie statyki	E07
9.	Konsekwencje dwukierunkowego wymiarowania elementów żelbetowych	E08
10.	Pręty czy elementy wymiarowe	E09
11.	Stany graniczne użytkowania: przemieszczenia czy ugięcia względne	E09
12.	Współpraca z programem do wymiarowania złącz EuroZłącza.	E10

Wybrane zagadnienia z modelowania układów prętowych w programie R3D3 - Rama 3D

1. Modelowanie dowolnych przekrojów prętowych i przekroje odwrócone.

W programie zamieszczono rozbudowaną bibliotekę przekrojów prętów żelbetowych, drewnianych, a zwłaszcza stalowych (walcowanych i zimnogiętych). Jednak w trakcie modelowania projektu może zajść potrzeba wprowadzenia do modelu prętów o przekroju nietypowym, nieujętym w bazach programu. Wówczas taki kształt przekroju można narysować w dowolnym programie CAD zawierającym zapis do formatu tekstowego DXF (ASCI). Rysunek konturu przekroju należy wykonać na warstwie "O", najlepiej od razu w milimetrach, tak by nie trzeba było go przeskalowywać przy wczytywaniu do programu. Cały kontur przekroju należy naszkicować w postaci polilini składającej się tylko z prostych odcinków łamanej. Jeśli chcemy otrzymać dużą dokładność wprowadzanego przekroju wszelkie wyokrąglenia np. naroży również należy przybliżać łamaną. Analogicznie jak w przypadku konturu zewnętrznego, na warstwie "1" można do rysunku wprowadzić pojedynczy kontur otworu wewnętrznego w przekroju.



Wszelkie bardziej skomplikowane kształty przekrojów uzyskamy już w samym programie przez składanie całości przekroju z fragmentów wczytanych z pliku DXF lub pobranych z biblioteki przekrojów typowych. Przy wczytywaniu przekroju z rysunku do programu, w wyświetlonym oknie dialogowym zachodzi konieczność podania momentu bezwładności na skręcanie, liczonego zawsze jak dla przekroju cienkościennego otwartego (niezależnie, jaki on naprawdę jest) oraz najmniejszej grubości ścianki elementu. Charakterystyki te będą potrzebne tylko i wyłącznie do ustalenia w programie orientacyjnej wartości momentu bezwładności na skręcanie dla wczytywanego przekroju lub dowolnego złożenia, w którym on występuje.

Jest to przykład problemu, który dla użytkownika może być prosty, a dla maszyny bardzo skomplikowany. Program nie jest w stanie rozpoznać, z jakim przekrojem ma do czynienia: cienkościennym otwartym czy zamkniętym, a od tego wyboru zależy metoda wyznaczania momentu bezwładności na skręcanie.

Dla obu typów przekroju metoda wyznaczania tej charakterystyki jest całkowicie odmienna i najczęściej daje wyniki różniące się o kilka rzędów wielkości.

Po wczytaniu przekroju do programu program sam na podstawie jego geometrii wylicza metodą dokładną wszystkie niezbędne charakterystyki przekroju. Pewien wyjątek stanowi tu właśnie moment bezładności na skręcanie. Aby był on policzony w miarę poprawnie, użytkownik musi w Edytorze przekrojów zaznaczyć odpowiedni znacznik, z jakim typem przekroju mamy do czynienia: otwartym czy zamkniętym. Po dokonaniu tego wyboru program wybiera odpowiednia dla zaznaczonego typu przekroju metode i na podstawie jego geometrii oraz dodatkowo wprowadzonych przez użytkownika parametrów w oknie wczytywania przekroju z pliku DXF szacuje moment bezwładności na skręcanie. Mówimy tu tylko o szacowaniu wartości, gdyż mogą zdarzyć się takie kształty przekroju, dla których określenie, czy jest on otwarty czy zamknięty, samo w sobie będzie stanowiło problem, np. rury z dospawanymi blachami. Dlatego też wyznaczona przez program wartość tej charakterystyki jest jako jedyna pozostawiona do ewentualnej ręcznej edycji przez użytkownika. ArCADia-PRESS

Przekrój pręta można w programie obracać na dwa sposoby: łącznie z jego układem lokalnym na zakładce Geometria oraz względem układu lokalnego w Edytorze przekrojów. Ponieważ program rozwiązuje układ macierzową metodą przemieszczeń, w której obowiązuje zasada, że układy lokalne prętów pokrywają się z osiami głównymi przekroju, najlepiej w miarę możliwości trzymać się takiej zasady również przy modelowaniu układów. W przypadku gdy osie układów lokalnych nie pokrywają się z osiami głównymi przekroju, program w trakcie obliczeń tworzy zastępcze układy lokalne pokrywające się z układem osi głównych i do nich transformuje zadane w modelu obciążenia. Po wykonaniu obliczeń odbywa się proces odwrotny i wyznaczone przemieszczenia, a w konsekwencji również siły wewnętrzne, transformowane są ponownie z zastępczych układów lokalnych pokrywających się z osiami głównymi do układów lokalnych użytkownika, w których wyświetlane są wykresy sił wewnętrznych i przemieszczeń. Na etapie wymiarowania przekrojów w poszczególnych modułach wymiarujących obliczenia przeważnie znów prowadzone są w układzie osi głównych przekroju (wyjątek stanowi moduł EuroŻelbet) i ponownie do takich układów transformowane są siły wewnętrzne.

Należy tu pamiętać, że wszelkie parametry podawane w definicjach typu wymiarowania odnoszą się przeważnie do pręta lub elementu wymiarowanego w osiach głównych przekroju.



2. Modelowanie skomplikowanych układów wieloprętowych.

Program R3D3-Rama 3D ma kilka podstawowych narzędzi, które są przydatne przy modelowaniu skomplikowanych układów wieloprętowych. Ich wykorzystanie zależy oczywiście od inwencji użytkownika i stopnia skomplikowania modelu. Już przy stosunkowo niewielkich projektach polecamy posługiwanie się w programie podziałem podpór, a zwłaszcza prętów, na grupy. Praca ta opłaci się przy dalszym modelowaniu, a i tak stanie się niezbędna na etapie wymiarowania konstrukcji. Podział ten zależy od użytkownika (nazwy grup prętów i ich ilość) i umożliwia szybką dalszą selekcję wybranych grup prętów, co w znacznym stopniu ułatwia wprowadzanie modyfikacji układu, a zwłaszcza zadawanie obciążeń. Selekcję elementów modelu (prętów, węzłów i obciążeń) ułatwia również możliwość pojedynczego lub wielokrotnego zaznaczania oraz możliwość zaznaczania i odznaczania oknem przecinającym i obejmującym, znana z programów CAD. Przy wprowa-ArCADia-PRESS

dzaniu modyfikacji do aktualnego modelu należy zawsze zastanowić się, czy danej operacji nie można wykonać na wielu prętach, węzłach lub obciążeniach na raz. W większości konstrukcji można zawsze wydzielić elementy powtarzające się. Wówczas całość projektowanego układu otrzymamy przez powielenie tych elementów funkcją kopiowania wielokrotnego z ewentualnym ciągnięciem (lub skalowaniem). Ponieważ w programie stosunkowo łatwo uzyskać skomplikowaną strukturę prętową, z czasem dalsza praca na modelu staje się mniej przejrzysta. Wówczas możemy skorzystać z częściowego ukrywania już wprowadzonej konstrukcji.

W bardzo dużych układach prętowych, zwłaszcza takich, które łatwo podzielić można na logiczne sekcje, warto skorzystać z widokowania konstrukcji. Przez widok użytkownika rozumiemy w programie zapisanie w modelu pod określoną nazwą fragmentu konstrukcji w określonym położeniu. Zapisanie kilku lub kilkunastu widoków użytkownika w projekcie pozwala na szybkie przełączanie się między nimi oraz pracę tylko na wydzielonym fragmencie konstrukcji.

E04 ZIELONE STRONY

Przy zadawaniu obciążeń w złożonych układach prętowych warto posługiwać się zasadą, że przy wprowadzaniu obciążeń w danej grupie obciążeń na ekranie widoczna jest tylko ta grupa. Widoczność pozostałych grup obciążeń jest wówczas wyłączona w oknie definicji Grup obciążeń. Takie podejście pozwala na stosunkowo łatwą kontrolę poprawności wartości, kierunku i lokalizacji wprowadzonych obciążeń oraz szybkie wychwycenie występowania ewentualnych znaczników obciążeń powielonych. Oczywiście po poprawnym wprowadzeniu wszystkich grup obciążeń można przywrócić jednoczesną widoczność wszystkich grup obciążeń w modelu. Przy tworzeniu skomplikowanych modeli prętowych przydatne również mogą być inne funkcje, takie jak na przykład: wstawianie jednego projektu do drugiego projektu, wczytywanie modelu z rysunku CAD, praca na podrysach, wykorzystanie generatorów konstrukcji, a także szeroki zakres funkcji modyfikacyjnych uzupełnionych o przyciąganie do punktów charakterystycznych i funkcję śledzenia.

3. Najczęstsze błędy w modelowaniu układów prętowych

Zdecydowanie najczęstszym błędem popełnianym przez użytkowników przy modelowaniu układów prętowych jest brak węzła na niepodzielonym pręcie przy dojściu innego pręta na jego długości. Sytuacja ta jest o tyle niejasna, że graficznie oba pręty się stykają, ale fizycznie nie mają ze sobą żadnego połączenia, a użytkownikowi przeważnie wydaje się, że brak podziału pręta w miejscu dojścia innego pręta zachowuje ciągłość pręta niepodzielonego. O ile to ostatnie stwierdzenie jest oczywiście prawdą, to taki styk kilku prętów w jednym węźle, z których nie wszystkie są w miejscu ich styku zakończone węzłem powoduje, że pręty, które nie są zakończone węzłem w miejscu styku nie biorą udziału w połączeniu. Najczęściej taka sytuacja prowadzi do powstania układów geometrycznie zmiennych z powodu występowania prętów w całości oderwanych od reszty konstrukcji.



Uściślijmy - aby pręty stykające się w danym punkcie były ze sobą połączone, wszystkie z nich muszą w tym punkcie mieć węzeł początkowy lub końcowy. Natomiast o ciągłości dwóch prętów schodzących się w węźle nie decyduje brak węzła, tylko sposób ich połączenia w tym węźle. Jeśli nie mamy pewności, czy dobrze połączyliśmy pręty, a także przy wczytywaniu układu prętów z rysunku CAD (wówczas taki błąd jest częsty), dobrą praktyką jest uruchomienie przed obliczeniami funkcji Weryfikacji projektu, znajdującej się w menu Narzędzia. Funkcja ta wyszukuje i ewentualnie naprawia w projekcie wszystkie sytuacje wątpliwe (nie wszystkie z nich muszą być błędem w modelu, np. pręty krzyżujące się bez węzła w miejscu ich przecięcia), między innymi także wszystkie węzły prętów znajdujące się na niepodzielonych węzłami prętach. Inne przykłady często pojawiających się błędów w modelowaniu dotyczą prętów pokrywających się oraz niewłaściwych połączeń w węzłach, co w konsekwencji prowadzi często do budowania układów, które w trakcie obliczeń rozpoznawane będą jako geometrycznie zmienne. Postaramy się omówić je częściowo w kolejnych punktach.

4. Połączenia prętów w węzłach

W programie R3D3-Rama 3D wszystkie węzły w pełni sztywne pokazywane są na modelu graficznym w postaci wypełnionych na czerwono kwadracików, natomiast wszystkie węzły w postaci niewypełnionego kwadratu (od wersji 14 R3D3 – niewypełnionego okręgu) ze wszystkimi prętami urwanymi przed węzłem, w którym się schodzą i niepołączonymi z żadnym innym prętem, są węzłami w pełni przegubowymi.

W pozostałych przypadkach mamy zawsze do czynienia z niewypełnionym węzłem w postaci kwadratu, dla którego część prętów połączona jest między sobą przed węzłem, część dochodzi bezpośrednio do węzła, a część jest urwana przed węzłem i niepołączona z żadnym innym prętem. W tym przypadku mówimy o węźle częściowo przegubowym lub częściowo sztywnym. Węzeł w pełni sztywny lub w pełni przegubowy uzyskujemy w programie przez zaznaczenie danego węzła i odznaczenie lub zaznaczenie znacznika Przegub na zakładce Geometria. Wszelkie inne typy połączeń uzyskujemy przez zaznaczenie kilku prętów schodzących się w węźle oraz węzła między nimi i wybranie na zakładce Geometria funkcji Odłącz/Połącz pręty. Funkcja Odłącz pręty powoduje, że zaznaczone pręty dochodzą do węzła przegubem i odwrotnie, funkcja Połącz pręty powoduje, że zaznaczone w węźle pręty zostaną w tym węźle ze sobą zesztywnione (nadal będą to po zesztywnieniu rozdzielne pręty w modelu).

Szczegóły połączeń w węzłach

Gdy w węźle schodzą się cztery pręty parami współliniowe, zarówno pręty współliniowe jak i pozostałe z nich dociągnięte są do niewypełnionego węzła w postaci kwadratu, mamy wówczas do czynienia z przypadkiem, gdy każde dwa pręty współliniowe są połączone ze sobą sztywno, ale między obiema grupami prętów nadal jest przegub. Jest to dosyć częsty przypadek w konstrukcji, gdy na przykład na ciągłym pasie górnym kratownicy oparta jest ciągła płatew. Znajomość powyżej opisanych sposobów tworzenia połączeń w węzłach jest podstawowym czynnikiem unikania układów geometrycznie zmiennych w tworzonym ustroju prętowym.



5. Układy geometrycznie zmienne w modelach 2D i 3D

Przy płaskim modelu statycznym stosunkowo łatwo jest znaleźć przyczynę geometrycznej zmienności układu oraz naprawić taki błąd w modelu. Wynika to stad, że wiekszość układów można przybliżyć modelami płaskimi, a z takimi przeważnie użytkownicy mieli do czynienia na etapie nauki i później w pracy projektowej. Nadal rozbicie modelu 3D na modele płaskie pozostaje często najlepszą metodą kontroli poprawności uzyskanych wyników, choćby w zakresie ich przybliżonych wartości. Moim zdaniem sytuacja inaczej przedstawia się w przypadku tworzenia modelu 3D. Przy dużej liczbie prętów, po dołożeniu złożonych połączeń w węzłach i podpór przestrzennych często sytuacja staje się na tyle nieczytelna, że wychwycenie przyczyn geometrycznej zmienności układu, nawet dla stosunkowo doświadczonego użytkownika, może okazać się zadaniem niezbyt prostym. Wynika to już choćby z faktu, że nawet banalne geometrycznie niezmienne układy płaskie w modelu 3D mogą zachowywać się inaczej. Na przykład zwykła, płaska, sztywna rama podparta przegubowo w modelu 3D będzie geometrycznie niezmienna (samostateczna) do momentu, gdy nie wprowadzimy obciążenia, które posiada składową prostopadłą do płaszczyzny ramy. Nie musi być to nawet obcią-ArCADia-PRESS

żenie, wystarczy niewielka niedokładność geometryczna niwelująca współpłaszczyznowość ramy lub nadanie węzłom wstępnych imperfekcji przechyłowych w obu kierunkach przy obliczeniach wg teorii II rzędu. Drugim jeszcze bardziej banalnym przykładem jest zwykła dwuprzegubowa belka wolnopodparta, która w modelu 3D przy przyłożeniu do niej dowolnego momentu skręcającego stanie się geometrycznie zmienna. Problem z występowaniem w modelu 3D prętów lub ciągów prętów zakończonych przegubami został w programie rozwiązany automatycznie. W przypadku, gdy w modelu występują pręty lub ciągi prętów współliniowych zakończone przegubami (do których na długości nie dochodzą inne pręty i nie są one obciążone żadnym momentem dającym składową powodującą skręcanie takiego pręta lub ciągu prętów wokół ich własnej osi), przed obliczeniami zakładana jest automatycznie niewidoczna dla użytkownika blokada pręta na skręcanie. Takie podejście eliminuje potrzebę zajmowania się przez użytkownika problemem prętów dwuprzegubowych, nieobciążonych momentem skręcającym. W pozostałych przypadkach w złożonych strukturach prętowych problem z geometryczną zmiennością układu nie jest już taki prosty. Program w trakcie obliczeń prowadzi po-

E06 ZIELONE STRONY

dwójną kontrolę geometrycznej zmienności układu. Po pierwsze na etapie rozwiązywania układu równań - nie ma wówczas dostępnego rozwiązania układu oraz dodatkowo, jeśli układ został rozwiązany, po wyznaczeniu przemieszczeń, sprawdzając, czy któreś z nich nie przyjmuje wartości porównywalnych z rozmiarem liczonego układu. W drugim przypadku program w odpowiednim komunikacie podaje dodatkowo numery węzłów, dla których wyliczone przemieszczenia są porównywalne z rozmiarem układu. Mimo to usunięcie przyczyn geometrycznej zmienności nadal może nie być proste. Wówczas pozostaje ręczne poszukiwanie przyczyn. Najlepiej robić to w trzech etapach. Na początek przeszukujemy układ, szukając w nim fragmentów w oczywisty sposób generujących geometryczną zmienność układu, np. prętów trójprzegubowych, wahaczowych. Po przeliczeniu poprawionego modelu, jeśli nadal układ jest geometrycznie zmienny, przystępujemy do etapu drugiego, polegającego na eliminowaniu podejrzanych mniejszych lub większych fragmentów konstrukcji i próbach przeliczenia układu po każdej jego modyfikacji. Jeśli i ten etap nie przyniesie rozwiązania problemu, pozostaje etap trzeci, opierający się na całkowitym zesztywnieniu konstrukcji i stopniowym uwalnianiu więzi oraz wprowadzaniu połączeń przegubowych z próbą przeliczania konstrukcji po każdej modyfikacji układu. Zastosowanie takiej procedury powinno w większości przypadków doprowadzić do ustalenia i wyeliminowania przyczyny geometrycznej zmienności projektowanego układu 3D.

6. Modelowanie grup multi a czas obliczeń i wykorzystanie pamięci

Wszystkie obciążenia zewnętrzne, jakie przykładamy do projektowanego układu zawsze zadajemy we wcześniej zdefiniowanych grupach obciążeń. Jedyny wyjątek stanowi grupa obciążenia ruchomego, która jest grupą złożoną, powstającą automatycznie po przyłożeniu takiego obciążenia na prętach układu. Inne typy grup obciążeń, w jakich możemy zdefiniować pozostałe obciążenia, to grupy: stałe, zmienne i "multi". Grupa "multi", tak jak grupa obciążenia ruchomego, jest również grupą złożoną i wewnętrznie składa się z tylu grup obciążeń, na ilu prętach zadano w niej obciążenia. Grupa "multi" umożliwia założenie obciążeń w jednej grupie na wielu prętach (np. ryglach), które w trakcie wykonywania przez program automatycznej kombinatoryki zostają automatycznie zwariantowane po występowaniu tych obciążeń na wszystkich prętach, na których zadano obciążenia w tej grupie. Takie podejście pozwala na szybkie uzyskanie w programie obwiedni sił wewnętrznych i naprężeń

od najbardziej niekorzystnych schematów występowania obciążeń w tej grupie. Stosowanie grup "multi" ma jednak swoje ograniczenia, które wynikają z faktu, że bardzo łatwo jest zadać obciążenia w tej grupie na zbyt wielu pretach. Każde obciążenie w tej grupie zadane na odrębnym pręcie stanowi w trakcie obliczeń osobną podgrupę, a zakładając ich zbyt wiele program natrafia na barierę rozsądnego czasu wykonania obliczeń i ograniczenie dostępnej pamięci. Póki obciążenia w grupie "multi" zadane są na kilkunastu lub kilkudziesięciu prętach, obliczenia zostaną wykonane raczej bez większego problemu. Jednak zwiększając (nawet nieznacznie) ilość prętów, na których założono obciążenia w tej grupie, spowodujemy, że ilość rozpatrywanych wariantów w ramach kombinatoryki zaczyna przyrastać lawinowo, do tego stopnia, że obliczenia stają się niewykonalne ze względów czasowych lub z uwagi na wykorzystanie zasobów pamięci maszyny.



Przy tym nie ma sztywnej ilości prętów, na których można jeszcze zadać obciążenia w grupie "multi". Wartość ta mocno zależy od wielkości modelu, jak również od złożoności relacji między pozostałymi grupami obciążeń. Problem wykorzystania zasobów pamięci komputera jest problemem systemowym wynikającym z faktu, że niezależnie od tego ile fizycznej pamięci posiada komputer użytkownika, system operacyjny ma ograniczenie przydziału pamięci dla pojedynczego procesu obliczeń, dodatkowo pomniejszonego o część zajmowaną przez środowisko programu. Niemniej jednak to ograniczenie w przyszłości da się wyeliminować po przejściu z 32-bitowej wersji programu na wersję 64-bitową.

7. Wybór typu modelu i rodzaju obliczeń oraz jego konsekwencje w statyce i wymiarowaniu

Podstawą do wymiarowania konstrukcji jest w pierwszej kolejności wyznaczenie sił wewnętrznych oraz przemieszczeń w poszczególnych prętach i elementach wymiarowych w ramach obliczeń statycznych.

W programie R3D3-Rama 3D obliczenia te można wykonać na kilka sposobów, zależnie od typu przyjętego modelu i wyboru użytkownika. Dla zwykłych projektów, w których wszystkie pręty przenoszą zarówno siły ściskające, jak i rozciągające, mamy wybór między obliczeniami według teorii I lub II rzędu.

Przed dokonaniem takiego wyboru warto prześledzić konsekwencje, jakie niesie on dla dalszych obliczeń i wymiarowania. W wytycznych zawartych w podstawowych normach eurokodowych dotyczących wymiarowania konstrukcji bardzo często występuje zalecenie wykonania obliczeń wg teorii II rzędu. Taki wybór pozwala oczywiście na otrzymanie dokładniejszych wyników sił wewnętrznych, uwzględniających dodatkowe ich działanie na przemieszczeniach układu. Co ważniejsze, jeśli dodatkowo uwzględnimy w tych obliczeniach imperfekcje przechyłowe, co można w programie zrobić opcją automatyczną (na przykład Eurokod 3 pozwala wówczas traktować takie obiekty jako nieprzesuwne), a dla takich możemy przyjmować długości wyboczeniowe elementów ściskanych przy wymiarowaniu. W konsekwencji daje to możliwość ograniczenia współczynników długości wyboczeniowej do wartości 1, jak dla układów nieprzesuwnych, co jest poważnym ułatwieniem w procesie wymiarowania. Jednakże wybór obliczeń według teorii II rzędu ma też swoją negatywną stronę. Z racji, że obliczenia te są nieliniowe i nie obowiązuje dla nich zasada superpozycji, program nie jest w stanie zbudować auto-ArCADia-PRESS

matycznie obwiedni sił wewnętrznych i naprężeń na podstawie zdefiniowanych grup obciążeń i ustalonych relacji między nimi. W obliczeniach według teorii I rzędu takie ograniczenie nie istnieje. Przed wykonaniem obliczeń wg teorii II rzędu użytkownik samodzielnie musi zdefiniować wszystkie możliwe, najbardziej niekorzystne kombinacje użytkownika, a wymiarowanie powinno być prowadzone na wartości ekstremalne z tych kombinacji. Ręczne ustalenie wszystkich najbardziej niekorzystnych kombinacji, dla niektórych projektów może być pewnym problemem.

Drugi wybór dotyczy modeli statycznych, w których poza zwykłymi prętami zamodelowano również cięgna wiotkie, które w rzeczywistości przenoszą jedynie siły rozciągające. Dla takiego modelu również możemy wybrać obliczenia, które traktują takie pręty jak zwykłe pręty przenoszące zazwyczaj nieznaczne siły ściskające, wynikające z przeważnie nieznacznego przekroju tego typu prętów. Taki model obliczeniowy wprowadza do rozwiązania pewien błąd i jest on zazwyczaj tym większy im bardziej odpowiedzialną konstrukcją w całości modelu stanowią cięgna. W tego typu obliczeniach obowiązuje zasada superpozycji i program może zbudować automatyczną obwiednię sił wewnętrznych oraz naprężeń. Gdy dla modelu z cięgnami, które są głównym elementem nośnym konstrukcji, wybierzemy obliczenia jak dla cięgien, program policzy siły wewnętrzne i przemieszczenia znacznie dokładniej z pominięciem wszelkich sił ściskających w cięgnach. Metoda obliczeń jest wówczas iteracyjna i ze względu na zmiany schematu statycznego podczas kolejnych iteracji również nie obowiązuje tu zasada superpozycji i program nie jest w stanie zbudować automatycznej obwiedni sił wewnętrznych oraz naprężeń. Analogicznie jak w przypadku teorii II rzędu, użytkownik sam musi wówczas określić najbardziej niekorzystne kombinacje użytkownika, a wymiarowanie powinno być wykonane na ekstrema po kombinacjach z ustawieniem w definicjach typu wymiarowania dla cięgien, opcji wymiarowania jedynie na siły osiowe.

8. Analiza naprężeniowa na etapie statyki

W trakcie obliczeń statycznych w zwykłych projektach wyznaczane jest 12 obwiedni sił wewnętrznych i 2 obwiednie normalnych naprężeń sprężystych. Analiza naprężeniowa w zakresie naprężeń normalnych wykonywana jest dla dowolnego przekroju pręta.

Dodatkowo dla prętów o przekroju z minimum jedną osią symetrii mogą być wyznaczone naprężenia styczne oraz naprężenia zredukowane według jednej z trzech dostępnych hipotez wytrzymałościowych. Dodatkowe dwie obwiednie naprężeń normalnych pozwa-

EO8 ZIELONE STRONY

lają przy wymiarowaniu na uwzględnienie ewentualnych sytuacji gdy najbardziej miarodajny dla wymiarowania jest przypadek, w którym żadna z sił wewnętrznych nie jest ekstremalna, podczas gdy złożenie naprężeń do momentów gnących i sił normalnych daje największe wytężenie przekroju w zakresie normalnych naprężeń sprężystych. Takie przypadki, gdzie decydująca dla wymiarowania może być obwiednia naprężeń normalnych, a nie obwiednia momentów, czy też sił normalnych, mogą wystąpić szczególnie dla słupów.

Przy prawidłowo zadanych wstępnie dopuszczalnych granicach naprężeniowych dla poszczególnych grup prętów, obwiednia naprężeń może posłużyć jako pierwsze przybliżenie wymiarowania wykonane już na etapie statyki. Oszacowanie to pozwala na wyeliminowanie już na etapie statyki, zbyt małych przekrojów konstrukcji, które praktycznie nie mają szans spełnić warunków nośności przy ostatecznym wymiarowaniu konstrukcji według norm PN lub PN-EN. Pewien wyjątek od tej reguły może dotyczyć przekrojów stalowych klasy 1 i 2 wymiarowanych według Eurokodu 3, które dodatkowo w pełni zabezpieczone są przed wyboczeniem i zwichrzeniem. Dla tego typu elementów naprężenia na etapie statyki sprawdzane są na podstawie sprężystych charakterystyk przekroju, natomiast na etapie wymiarowania w module EuroStal obowiązuje, zgodnie z normą, sprawdzenie nośności z uwzględnieniem charakterystyk plastycznych. Wówczas w jakimś szczególnym przypadku (brak wyboczenia i zwichrzenia) może się zdarzyć, że wyliczone na etapie statyki naprężenia sprężyste wyjdą poza założone dla danego materiału granice naprężeniowe, a przy dokładnym wymiarowaniu elementu w module EuroStal spełnione będą wszystkie warunki nośności.

9. Konsekwencje dwukierunkowego wymiarowania elementów żelbetowych

W module EuroŻelbet w odróżnieniu od pozostałych modułów wymiarujących nie jest sprawdzana nośność liczonego elementu, lecz dobierane jest takie zbrojenie podłużne i poprzeczne, które spowoduje, że element przeniesie wyliczone siły wewnętrzne. Zbrojenie podłużne wyznaczane jest od razu w takiej postaci, by spełniony był warunek nośności dla interakcji obu momentów gnących i siły normalnej. Tak wyznaczone zbrojenie ewentualnie powiększane jest o dodatkowe pręty zbrojeniowe, powodujące spełnienie warunku nieprzekroczenia założonej szerokości rys prostopadłych do osi elementu.

Inaczej jest w przypadku wyznaczania zbrojenia poprzecznego. Mimo, że tu również warunek na miażdzenie betonu od sił tnących i momentu skręcającego



sprawdzany jest z uwzględnieniem interakcji tych sił wewnętrznych, to zbrojenie poprzeczne wyznaczane jest dla obu kierunków ścinania odrębnie, wybierane jest większe z nich i ewentualnie uzupełniane jest o dodatkowe zbrojenie na skręcanie.

Taki algorytm wyznaczania zbrojenia poprzecznego powoduje, że przy założeniu dwukierunkowego ścinania sprawdzane są również, w obu kierunkach warunki, na maksymalny rozstaw strzemion zbrojenia poprzecznego, które z kolei zależą od wysokości liczonego przekroju w danym kierunku. W takim przypadku, jeśli mamy do czynienia z przekrojem o dużej różnicy wysokości w obu kierunkach ścinania, program ostatecznie przyjmie w elemencie maksymalny rozstaw strzemion jak dla mniejszej wysokości przekroju.

Aby uniknąć tego problemu w elementach, w których ścinanie w kierunku drugorzędnym jest nieznaczne i pomijalne, należy w definicji typu wymiarowania ustawić opcję pomijania sił tnących w wybranym kierunku drugorzędnym przy wymiarowaniu.

Vazwa definicji typu belka30_2 (proj)		
arametry zbrojenia Parametry obliczeń		
Środek ciężkości zbrojenia		
E Definiowany Środek ciężkości	zbrojenia a0 = 41 mm	
Kasa ekspozycji XC1 💌	Strzemiona cost@. (1-2) 2	Definicja typu elementu
Kasa konstrukcji S4 👻	Granica plastyczności stali 500 MPa	Nazwa definicji typu belka30_2 (proj)
Pręty podłużne Średnica prętów głównych 20 •	Średnica strzemion 6 👻	Parametry zbrojenia Parametry obliczeń
Średnica prętów konstrukcyjnych 16 🔹	Ilość cięć strzemion 2 🗸	Stan graniczny nośności
Granica plastyczności stali 500 MPa	Układ strzemion Belkowy -	Pomiń przy wymiarowaniu
		Zginanie względem osi OY Zginanie względem osi OZ Skrętanie
Zbrojenie podłużne w półkach	Pelne zbrojenie pôlek ·	Schanie w kierunku os 01 _ Schanie w kierunku os 02 _ Siłę osową
Zbrojenie symetryczne	lość stref z różnym zbr. głównym 4 •	Wapółczynnik wyboczeniaw w pł XZ Wapółczynnik wyboczeniowy w pł XY
Zbrojenie w dwóch rzędach	lość stref z różnym zbr. poprzecznym 4 🔹	$\mu_{F} = 0.8$ $\mu_{Z} = 0.9$
	OK Anuluj Zapisz	W pierwszej kolejności uży współczynników długości wyboczenia określonych dla pręta lub elementu wymiarowego
		Stan graniczny uzykowania
		Współczynik pełzania 18 Oblicz.
		Graniczna watość szerokości rysy prostopadlej 0.3 mm
		Graniczna watość ugięcia (w stanie zarysowanym)
		2.00
		u

Okna definicji typu wymiarowania W module EuroŻelbet

W programie można wymiarować pojedyncze pręty układu. Jeśli jednak z jakichś względów statycznych jednorodny element obiektu musiał zostać podzielony na kilka prętów w modelu, to do wymiarowania możemy go z powrotem złożyć w jeden element wymiarowy. W programie R3D3-Rama 3D przez element wymiarowy rozumiemy układ kilku ciągłych prętów współliniowych o takim samym przekroju i tak samo zorientowanych. Użytkownik samodzielnie tworzy elementy wymiarowe, a ich skład zależy od tego, jaki efekt chcemy uzyskać przy wymiarowaniu i czemu ma on służyć. Najczęstsze przyczyny tworzenia elementów wymiarowych w modelu statycznym są następujące:

- Potrzeba uzyskania ekstremalnego ugięcia względnego lub przemieszczenia wydzielonego elementu wymiarowego, a nie pojedynczego pręta składającego się na ten element i porównanie uzyskanej wartości z wartością dopuszczalną określoną dla całej długości tego elementu.
- Bardziej intuicyjne ustalenie współczynników długości wyboczeniowej lub parametrów zwichrzenia dla całego elementu wymiarowego, niż dla jego elementów składowych.
- Ograniczenie ilości wymiarowanych elementów projektu.

Może się tak zdarzyć, że w ramach jednego projektu w celu uzyskania jednego z powyższych efektów wygodnie jest utworzyć jeden typ elementu wymiarowego, a dla innego efektu inny element wymiarowy. Wówczas, ponieważ w projekcie jeden pręt nie może jednocześnie należeć do dwóch różnych elementów wymiarowych, wymiarowanie należy przeprowadzić powtórnie po wcześniejszym przebudowaniu elementów wymiarowych.

10. Pręty czy elementy wymiarowe 11. Stany graniczne użytkowania: przemieszczenia czy ugięcia względne

Program R3D3-Rama 3D na etapie wymiarowania wyznacza również obwiednię przemieszczeń i ugięć względnych. Przy wyznaczaniu obwiedni ugięć względnych dla każdego wymiarowanego pręta lub elementu wymiarowego rozpoznawany jest jego typ: belkowy lub wspornikowy. Dla elementów belkowych ugięcie względne obliczane jest na jego długości jako maksymalne przemieszczenie w danym punkcie, pomniejszone o średnie przemieszczenie całego elementu w konstrukcji, wyznaczone przez przemieszczenia jego węzłów. Dla elementu typu wspornikowego, jako ugięcie względne, określana jest maksymalna odległość przemieszczonego końca wspornika od stycznej wystawionej z obróconego węzła podporowego wspornika. Przed przystąpieniem do sprawdzania stanów granicznych użytkowania należy zastanowić się, sprawdzenie jakiego elementu (przemieszczenia czy ugięcia względnego) będzie miarodajne dla danego pręta lub elementu wymiarowego. W przypadku nieznacznych przemieszczeń węzłów końcowych liczonego elementu lub w przypadku jego oparcia na sztywnych podporach, możemy przy sprawdzaniu stanu granicznego użytkowania posługiwać się obwiednią przemieszczeń. W pozostałych przypadkach znacznie bardziej miarodajne będzie sprawdzenie obwiedni ugięcia względnego. Dotyczy to zwłaszcza przypadków, gdy w jednym miejscu stykają się dwa elementy o bardzo dużej dysproporcji ugięć dopuszczalnych. Na przykład dla płatwi dachowej o rozpiętości kilku metrów opartej w kluczu na wielokrotnie od niej dłuższym dźwigarze dachowym, przemieszczenie płatwi z założenia będzie takie jak przemieszczenie dźwigara w środku rozpiętości (węzły wspólne).



E10 ZIELONE STRONY

Dla takiego elementu sprawdzanie przemieszczenia nie stanów granicznych użytkowania można ograniczyć mija się z celem i raczej w każdym przypadku przekroczy wartość dopuszczalną dla kilkumetrowej płatwi. Natomiast sprawdzenie ugięcia względnego dla płatwi będzie jak najbardziej miarodajne. W przypadku dźwigarów kratowych o dużej rozpiętości sprawdza-

12. Współpraca z programem do wymiarowania złącz - EuroZłącza.

Wymiarowanie płaskich złącz dostępne jest w programie dla projektów Eurokodowych w konstrukcjach stalowych. Aby zwymiarować połączenie elementów należy utworzyć między nimi złącze. W tym celu będąc na zakładce Geometria lub Obciążenia zaznaczamy pojedynczy węzeł niepodporowy lub pojedynczy węzeł niepodoprowy i kilka prętów schodzących się w tym węźle i z menu kontekstowego prawego klawisza myszki wybieramy grupę 📲 *Utwórz złącze,* a po jej rozwinięciu wybieramy typ liczonego złącza. Aktualnie dostępne są do wymiarowania następujące typy złącz: 🏴 Podciąg – Belka, 🟴 Słup – Belka, 🔰 Słup – Belka doczołowe, 🗓 Belka – Belka. Różnica między wyborem samego węzła a wyborem węzła i kilku schodzących się w tym węźle prętów polega na tym, że w przypadku samego węzła potencjalnie w budowie złącza mogą dalej uczestniczyć wszystkie schodzące się w nim pręty, a przy zaznaczeniu kilku z nich dalszy wybór będzie ograniczony tylko do nich.

Po wybraniu typu złącza otwarte zostanie okno jego definicji, które dla każdego dostępnego w programie typu połączenia może się nieznacznie różnić. Poniżej przedstawiono widok okien definicji złącza dla poszczególnych typów.

Nybór ol	iedni:
 Obw 	dnia
	Nazwa obwiedni
Wszyst	
Nmax /	Imin
Tmax /	min
Mmax	
	Amin
σ max /	Amin min
σ max /	fminmin
σ max /	Imin min min min min min min min min min
σ max / Role pręt	/min
σ max / Role pret	imin min vijeka po se
σ max / Role pret Element Podciąg	Imin min Minin Mining Markana Ma Markana Markana M
σ max / Role pret Element Podciąg Belka	fmin xi płaszczyzna obciętenia w słączu Kizzone φ 29 (Bichownicz 600) ♥ ☐ Zmień kierunek obciętenia słącza dla pręta (siły w uśł. głównym № Ty./kt) Pręt 33 (JPC200) ♥ ☐ Zmień kierunek obciętenia słącza dla pręta (siły w uśł. głównym № Ty./kt)
o max / Role pret Element Podciąg Belka WAGA:	min min In paraceyzna obciątenia w stączu Iliczone Prę 39 (Bischownica 600) ♥ ☐ Zmień kierunek obciątenia stącza dla pręta (sły w ukł. głównym N, Ty, Mc) Pręt 33 (ØF200) ♥ ☐ Zmień kierunek obciątenia stącza dla pręta (sły w ukł. głównym N, Ty, Mz)

Okno definicji złącza Podciąg-Belka

Każde z powyższych okien dialogowych składa się z podobnych elementów. U góry okna znajduje się nazwa identyfikująca złącze w projekcie.

Domyślnie składa się ona z numeru węzła w którym zdefiniowano złącze oraz nazwy typu złącza.

tylko do ich pasów. Przyjmujemy wówczas wartość dopuszczalną przemieszczenia lub ugięcia dla tego pasa jako bezwzględną wartość dopuszczalną dla całego wiązara, wyrażoną w jednostkach metrycznych i odniesioną do aktualnej długości liczonego pasa.

	. [// /		
Wybór	obwiedni:			
 OI 	bwiednia			
Nazwa obwiedni				
Wszy	stkie			
Nma	x / Nmin			
Tma	(/Tmin			
Mma	x/Mmin			
σ max / σ min				
Role pr	rętów i płaszczyzna obciążenia	w złączu		
Role pr	rętów i płaszczyzna obciążenia mty liczone	w złączu		
Role pr Eleme Słup	rętów i płaszczyzna obciążenia mty liczone Pręt 23 (HEB200)	w złączu	enia złącza dla pręta (si	 ły w ukł. głównym N, Ty, Mz)
Role pr Eleme Słup Belka	etów i płaszczyzna obciążenia inty liczone Pręt 23 (HEB200) Pręt 31 (Blachownica 600)	w złączu Zmień kierunek obciąż Kierunek obciąż	enia złącza dla pręta (si enia złącza dla pręta (si	
Role pr Eleme Słup Belka Eleme	etów i płaszczyzna obciążenia mty liczone Pręt 23 (HEB200) Pręt 31 (Blachownica 600) – mty dochodzące	w złączu _ Zmień kierunek obciąż _ Zmień kierunek obciąż	enia złącza dla pręta (si enia złącza dla pręta (si	
Role pr Eleme Słup Belka Eleme Słup	etów i plaszczyzna obciążenia nty liczone Pręt 23 (HEB200) • Pręt 31 (Blachownica 600) • nty dochodzące Pręt 44 (HEB200) •	w złączu Zmień kierunek obciąż Zmień kierunek obciąż Zmień kierunek obciąże	enia złącza dla pręta (si enia złącza dla pręta (si enia złącza dla pręta (sił	y w ukl. głównym N, Ty, Mz) ły w ukl. głównym N, Ty, Mz) y w ukl. głównym N, Ty, Mz)
Role pr Eleme Słup Belka Eleme Słup Belka	etów i płaszczyzna obciążenia nty liczone Pręt 23 (HEB200) V Pręt 31 (Blachownica 600) V nty dochodzące Pręt 44 (HEB200) V Brak V	w złączu Zmień kierunek obciąż Zmień kierunek obciąż Zmień kierunek obciąż Zmień kierunek obciąża	enia zlącza dla pręta (si enia złącza dla pręta (si enia złącza dla pręta (sił enia złącza dla pręta (sił	ły w ukł. głównym N,Ty,Mz) ły w ukł. głównym N,Ty,Mz) y w ukł. głównym N,Ty,Mz) y w ukł. głównym N,Ty,Mz)
Role pr Eleme Słup Belka Słup Belka	etów i płaszczycna obciążenia inty liczone Pręt 23 (HEB200) • Pręt 31 (Blachownica 600) • nty dochodzące (Pręt 44 (HEB200) • Brak •	w złączu Zmień kierunek obciąż Zmień kierunek obciąż Zmień kierunek obciąże	enia zlącza dla pręta (si enia zlącza dla pręta (si mia złącza dla pręta (sił mia złącza dla pręta (sił	y w ukl. głównym N, Ty, Mz) hy w ukl. głównym N, Ty, Mz) y w ukl. głównym N, Ty, Mz) y w ukl. głównym N, Ty, Mz)
Role pr Eleme Słup Belka Słup Belka JWAG/	etów i plaszczyzna obciążenia nty liczone Pręt 23 (HEB200) Pręt 31 (Blachownica 600) – nty dochodzące Pręt 44 (HEB200) Brak V Stak V Stak	w złączu Zmień kierunek obciąż Zmień kierunek obciąż Zmień kierunek obciąż Zmień kierunek obciąże mrzekanowane sa w układnie	enia złącza dla pręta (si enia złącza dla pręta (si znia złącza dla pręta (sił enia złącza dla pręta (sił osi płowowch przekroj	y w ukł. głównym N,Ty,Mz) ły w ukł. głównym N,Ty,Mz) y w ukł. głównym N,Ty,Mz) y w ukł. głównym N,Ty,Mz) y w ukł. głównym N,Ty,Mz)

Okno definicji złącza Słup-Belka oraz Słup-Belka doczołowe

bór obwiedni:	Wybór kombinacji:		
Obwiednia	🔿 Kombinacja		
Nazwa obwiedni	Nazwa kombinacji	SGU	
/szystkie	Kombinacja1		
Imax / Nmin	Kombinacja2		
max / Tmin	Kombinacja3		
1max / Mmin	Kombinacja4		
max / o min	Ekstremum kombinacji		
le prętów i płaszczyzna obciążenia w złączu ementy liczone Ika Pręt 24 (Blach wnica 600) 🔻 🗌 Zmień kierunek	k obciążenia złącza dla pręta (siły w ukł. g	łównym N,Ty,Mz) łównym N Ty Mz)	

Okno definicji złącza Belka-Belka

Poniżej: analogicznie jak w przypadku prętów, użytkownik wybiera zestaw sił na jaki ma być przeprowadzone wymiarowanie.

Mogą to być w zależności od liczonego modelu następujące warianty:

- wszystkie obwiednie
- jedna wybrana obwiednia sił lub naprężeń
- jedna lub kilka wybranych kombinacji użytkownika (wybór kilku z wciśniętym klawiszem SHIFT), przy czym dla każdej z nich należy określić czy ma być uwzględniana przy sprawdzaniu stanu granicznego użytkowania w złączu (stan graniczny nośności złącza sprawdzany jest zawsze dla wszystkich wybranych kombinacji).
- ekstremum kombinacji przy czym SGN spraw-ArCADia-PRESS

dzany jest dla wszystkich ekstremów kombinacji jak wyżej a SGU tylko dla tych ekstemów kombinacji jak wyżej dla których zaznaczono w oknie znacznik *SGU*.

W dolnej części okien przypisana jest rola w złączu poszczególnym elementom dochodzącym. Wstępnie, po otwarciu okna definicji, role poszczególnym prętom w złączu przypisywane są losowo, dlatego użytkownik musi prawidłowo przypisać poszczególne pręty z listy do odpowiedniej roli w złączu. Na liście zawsze dostępne są wszystkie elementy schodzące się w danym węźle lub tylko te, które wybrano przed utworzeniem złącza. Wybrany pręt z listy może pełnić zawsze tylko jedną rolę w złączu oraz nie wszystkie pręty z listy muszą być przypisane do odpowiednich ról w złączu.

Dla niektórych typów złącz role poszczególnych prętów w złączu podzielone są na dwie grupy: Elementy liczone i Elementy dochodzące. Elementy liczone to te, z których brane są siły do sprawdzania nośności złącza, przy czym jako pogrubiony wyświetlany jest ten element główny, dla którego okeślony jest powyżej wybrany zestaw sił (np. obwiednia). Dla pozostałych elementów brane są siły odpowiadające wyborowi dla elementu głównego. Elementy liczone muszą być zdefiniowane zawsze w złączu. Wybrany zestaw sił głównego Elementu liczonego posłuży do sprawdzania nośności poszczególnych elementów złącza (śrub, spoin, nakładek, żeber itp.). Jako Elementy dochodzące uwzględniane są te elementy złącza, z których siły odpowiadające elementowi głównemu brane są do sprawdzania nośności w przypadku, gdy wymaga tego algorytm sprawdzania danego typu złącza.

Elementy dochodzące są zawsze opcjonalne i ich ewentualny brak nie determinuje możliwości policzenia połączenia Elementów liczonych. Ponieważ program sprawdza tylko złącza płaskie na zestawy maksymalnie trzech sił wewnętrznych N,M,T wszystkie elementy liczone i dochodzące powinny być tak wybrane by znajdowały się w modelu w jednej płaszczyźnie. Domyślnie dla każego elementu do obliczeń złącza brane są siły N, T_z i M_y z końca pręta w danym węźle. Jednak w przypadku, gdy dla kilku wybranych elementów złącza układy lokalne poszczególnych prętów są względem siebie obrócone o 90 stopni isnieje dla każego elemenu pełniącego rolę w złączu możliwość zmiany zestawu sił na N, Ty, Mz.

W związku z tym zaleca się przy definiowaniu złącza włączenie w programie widoczności układów lokalnych prętów (numery prętów i węzłów widoczne są z ArCADia-PRESS założenia po ich zaznaczeniu).

W jednym węźle użytkownik może zdefiniowć kilka złącz (np. dwa złącza w dwóch wzajemnie prostopadłych płaszczyznach). Każde z nich oznaczone jest w modelu współosiowym przerywanym okręgiem opisanym na danym węźle modelu.



Widok złącz (pojedynczego i podwójnego) zdefiniowanch w węzłach modelu statycznego

Wymiarowanie złącz w odróżnieniu od wymiarowania prętów, elementów, czy też podpór w programie odbywa się tylko indywidualnie. Wynika to stąd, że przy wymiarowaniu złącz ilość dodatkowych parametrów, które musi określić przed wymiarowaniem użytkownik jest przeważnie bardzo duża i niewspółmierna do innych typów wymiarowania.

W tym celu po obliczeniach statycznych modelu, będąc na zakładce *Wyniki*, dla zaznaczonego pojedynczego węzła, w którym wcześniej zdefiniowano złącze, z menu kontekstowego prawego klawisza myszki wybieramy opcję **4** *Wymiaruj złącze*.

W przypadku, gdy w danym węźle zdefiniowane jest więcej niż jedno złącze, powyższa opcja jest rozwijalna i z niej możemy wybrać konkretne połączenie, identyfikowane na podstawie nazwy jaką podał użytkownik przy definicji złącz. Po wywołaniu wymiarowania program uruchomi w specjalnym trybie moduł do wymiarowania złącz i przekaże do niego wcześniej ustalone role prętów w złączu ich przekroje, kąty miedzy prętami oraz wartości statyczne odpowiednich sił wewnętrznych na końcach prętów w wymiarowanym węźle. Pozostałe parametry, dotyczące pozostałych elementów połączenia takich jak: śruby, spoiny, blachy czołowe, przykładki, nakładki, stoliki oraz żebra, użytkownik definiuje bezpośrednio w module do wymiarowania złącz.

W module tym można obejrzeć szkic zdefiniowanego połączenia, skrócone wyniki sprawdzenia złącza, a także mniej lub bardziej rozbudowany raport

E12 ZIELONE STRONY

z wymiarowania połączenia. Po wykonaniu obliczeń dla danego złącza, przy zamykaniu programu do wymiarowania złącz, wszystkie szczegółowe parametry dotyczące złącza i ustawione przez użytkownika są zapamiętywane w plikach wyników programu R3D3 wraz z skróconą informacją o wynikach sprawdzenia złącza. Ponowne wejście w tryb wymiarowania tego samego złącza na zakładce Wyniki spowoduje, że wszystkie ostatnio ustawione parametry elementów złącza zostaną ponownie wczytane do modułu wymiarującego i od takiego stanu wyjściowego zaczynamy dalszą ewentualną modyfikację parametrów złącza. Dla złącz dla których przeprowadzono wymiarowanie znacznik złącza w modelu, w postaci przerywanego okręgu, zmienia kolor z czerwonego na zielony. Po zwymiarowaniu wszystkich zdefiniowanych w modelu złącz możemy przejść na zakładkę Wymiarowanie. Wówczas po zaznaczeniu na dole tej zakładki znacznika Złącza na modelu, przy poszczególnych złączach pojawią się zielone lub czerwone etykiety z najgorszym wynikiem sprawdzenia nośności połączenia a dla złącz niezwymiarowanych etykiety żółte, ze znakiem zapytania.



Widok etykiet dla zwymiarowanego złącza

Po zaznaczeniu węzła, w którym zdefiniowano złącze na zakładce *Wymiarowanie* wyświetlona zostanie lista z nazwami dostępnych w tym węźle połączeń, poniżej której wyświetlone zostaną wszystkie najbardziej niekorzystne wyniki poszczególnych typów sprawdzeń dla tego połączenia. Na zakładce tej dostępne są również przyciski raportu samych *Wyników* wymiarowania oraz *Skróconego* lub *Pełnego* raportu z wymiarowania złącza wykonywanych w formacie RTF.

Zalecaną w programie kolejność wykonywanych obliczeń przedstawiono poniżej:

- Obliczenia statyczne modelu i wstępna ocena sił wewnętrznych i naprężeń na zakładce *Wyniki*.
- Wymiarowanie zbiorcze lub indywidualne prętów,

elementów wymiarowych i podpór oraz ocena wyników wymiarowania.

- Powrót na zakładkę *Wyniki* i pojedyncze wymiarowanie zdefiniowanych złącz stalowych.
- Analiza zbiorcza wszystkich efektów wymiarowania prętów, elementów wymiarowych, podpór oraz złącz na zakładce *Wymiarowanie*.

ieometria Obciążenia Wyniki Wymiarowar	nie
Złącze w węźle nr 23 – typ Słup-Belka	
Węzeł 23	
Moduł wymiarujący: EuroZłącza Typ złącza: Słup-Belka <mark>Raporty</mark> Wyniki Skrócony Pełny	
Rodzaj i wartość wytężenia w złączu	
Połaczenie przykładka-belka (spawane):	
Punkt 1. napreženje zastepcze	0.265
Punkt 1. napreženje prost.	0.103
Punkt 2, napreżenie zastępcze	0,256
Punkt 2, napreżenie prost.	0,110
Połaczenie przykładka-słup (spawane):	-,
Punkt I. napreżenie zastępcze	0,372
Punkt I, napreženie prost.	0,247
Połaczenie nakładka górna-belka (spawane):	
Punkt 1, napreżenie zastępcze	0,340
Punkt 1, napreženie prost.	0.000
Połączenie nakładka górna-słup (spawane):	392
Punkt I. napreżenie zastępcze	0.371
Punkt I. napreženie prost.	0.258
środnik słupa rozciagany w kierunku poprzecz	0.096
środnik słupa ściskany w kierunku poprzeczny	0.006
Panel środnika słupa:	
	0.726
Połaczenie nakładka dolna-belka (spawane):	
Punkt 1, napreżenie zastępcze	0,359
Punkt 1. napreżenie prost.	0.000
Połaczenie nakładka dolna-słup (spawane):	· ·
Punkt I, napreżenie zastępcze	0,391
Punkt I, napreženie prost.	0,272
środnik słupa ściskany w kierunku poprzeczny	0,102 -
Punkt I, naprężenie zastępcze Punkt I, naprężenie prost. środnik słupa ściskany w kierunku poprzeczny Wyniki sprawdzenia nośności całego układu V SGN As SGU Zk V Niki Sprawdzenia nośności całego układu	0,391 0,272 0,102 ▼ ącza

Widok wyników wymiarowanego złącza na zakładce Wymiarowanie dla zaznaczonego węzła

Zdefiniowane w modelu złącza płaskie oraz ich szczegółowe parametry wymiarowania elementów składowych, będą pamiętane w projekcie tylko do momentu istotnej zmiany geometrii tego modelu, wymuszającej ponowną konieczność wykonania obliczeń statycznych zmodyfikowanego projektu i powtórne jego wymiarowanie.