

Projekt hali drewnianej w programie FEM-Design

Autor: Administrator
20.03.2013.

Program FEM-Design jest jednym z najbardziej przyjaznych użytkownikowi programów do analizy oraz projektowania złożonych konstrukcji. Najczęściej jest on używany w celu wymiarowania elementów stalowych oraz betonowych. Natomiast w najnowszym artykule w sposób bardzo ogólny opisano przykład analizy oraz wymiarowania konstrukcji drewnianej. Szczególna uwaga została zwrócona na wszelkie funkcje ułatwiające modelowanie konstrukcji halowych z elementów drewnianych.

1. Opis konstrukcji Konstrukcja rozpatrywanej hali drewnianej Fröåra powstała w Lyrestad w Szwecji w 2011 roku. Produkcją oraz montażem zajęła się firma Moelven [1].

Rys. 1. Stodoła Fröåra, Lyrestad [1]

Hala ma wymiary 37,6 m na 60,7 m. Wszystkie elementy konstrukcyjne wykonane są z drewna klejonego, które z jednej strony oferuje ogromne możliwości jeżeli chodzi o architekturę konstrukcji, a jednocześnie stanowi przyjazną dla środowiska alternatywę dla powszechnych materiałów budowlanych.

2. Model w programie FEM-Design W celach edukacyjnych, stworzono model hali Fröåra w programie FEM-Design [2], [3], który bazując na metodzie elementów skończonych pozwala na analizę oraz wymiarowanie trójwymiarowych konstrukcji betonowych, stalowych oraz drewnianych.

2.1. Definicja elementów prętowych Model hali rozpoczęto od definicji głównej konstrukcji nośnej. Definiując słupy oraz belki, użytkownik korzysta z wbudowanej biblioteki przekrojów. Następnie powinien wybrać zwolnienia na końcach danego elementu (połączenie sztywne, przegubowe lub dowolnie zdefiniowane) oraz, w razie potrzeby, zdefiniować mimośród. Na koniec należy wybrać odpowiedni materiał oraz klasę użytkowania. W ten sposób zdefiniowane zostają wszystkie elementy konstrukcyjne rozpatrywanej hali.

Rys. 2. Definicja elementu prętowego.

FEM-Design umożliwia definicję elementu o zmiennym przekroju. Z możliwości tej skorzystano definiując główny dźwigar rozpatrywanej hali, zadając dwa różne przekroje na jego końcu.

Rys.3. Elementy o zmiennym przekroju.

Aby stworzyć krzywiznę głównego dźwigara konstrukcji, wykorzystano funkcję specjalnego połączenia dwóch elementów konstrukcyjnych. Przy zastosowanym promieniu krzywizny równym 5 m, wybrano opcję zaokrąglenia zewnętrznych krawędzi. Opcja ta pozwala na dostosowanie zarówno modelu fizycznego, jak i analitycznego konstrukcji, co widoczne jest na Rys. 4.

Rys. 4. Krzywizna konstrukcji nośnej.

W kolejnym kroku zdefiniowano system słupów oraz belek które będą służyć jako konstrukcja wsporcza dla przekrycia dachowego. Ostatecznie, kopiując wcześniej zdefiniowaną ramę stworzono całkowity model konstrukcji. W ostatnim kroku, zdefiniowano stężenia wiatrowe oraz stalowe słupy wsporcze, a następnie zadano podpory

Rys. 5. System słupów oraz belek wsporczych.

Rys. 6. Konstrukcja hali złożona z elementów prętowych.

2.2. Panele drewniane

Oprócz elementów prętowych, FEM-Design oferuje możliwość definicji oraz wymiarowania paneli drewnianych. Na potrzebę rozpatrywanego modelu, jako pokrycie dachowe, użyto paneli z drewna klejonego warstwowo CLT 72 (CLT – Cross Laminated Timber). Oprócz możliwości wyboru konkretnego rodzaju płyty z rozległej biblioteki, użytkownik powinien zdefiniować szerokość panela, a następnie wybrać warunki brzegowe, zarówno dla poszczególnych paneli, jak również dla całego przekrycia dachowego.

Rys. 7. Definicja warunków brzegowych dla paneli drewnianych.

2.3. Powłoka przekazująca obciążenia Ostatnim krokiem przed zadaniem obciążeń oraz rozpoczęciem analizy, jest definicja powłoki służącej do przekazania obciążeń wiatrem. Powłoka ta jest elementem fizycznym bez żadnych właściwości analitycznych i nie jest brana pod uwagę w analizie konstrukcji. Służy jedynie do dystrybucji obciążeń na wybrane przez użytkownika elementy konstrukcyjne.

W przypadku rozpatrywanej konstrukcji, powłokę zaaplikowano na cztery zewnętrzne powierzchnie hali (Rys. 8), a następnie wybrano elementy wsporcze, które przejmą obciążenie wiatrem. Szczegóły rozdziału obciążeń na powierzchnię boczną hali pokazane są na Rys. 9.

Rys. 8. Model hali z zastosowaną powłoką do przekazywania obciążeń.

Rys. 9. Rozdział obciążeń na elementy konstrukcyjne.

3. Analiza W obliczeniach konstrukcji drewnianych, FEM-Design uwzględnia klasy trwania obciążenia, które wybiera się przy okazji tworzenia poszczególnych przypadków obciążeń. Analizując rozważaną halę, wzięto pod uwagę ciężar własny elementów konstrukcyjnych, obciążenie wiatrem oraz śniegiem.

3.1. Automatyczna generacja obciążeń klimatycznych Program oferuje możliwość automatycznej generacji obciążeń klimatycznych. W przypadku obciążenia wiatrem, użytkownik musi jedynie zdefiniować, które elementy stanowią ściany, a które dach, oraz wybrać rodzaj dachu (płaski, jednospadowy, dwuspadowy), a następnie wybrać rodzaj terenu. Program uwzględni wymiary budynku i na tej podstawie stworzy wszystkie możliwe przypadki obciążeń, w uwzględnieniu podziału na poszczególne pola ścian oraz dachu. Przykład jednego ze stworzonych przypadków obciążenia wiatrem pokazany jest na Rys. 10.

Generacja obciążenia śniegiem jest jeszcze prostsza i wymaga jedynie podania wartości charakterystycznej obciążenia śniegiem. Obciążenie jest automatycznie zadane na wszystkie powierzchnie widoczne w rzucie z góry.

Rys. 10. Automatyczna generacja przypadków obciążenia wiatrem.

3.2. Automatyczna generacja kombinacji obciążeń Program FEM-Design umożliwia tworzenie kombinacji obciążeń zarówno manualnie, jak i automatycznie. Ze względu na ilość przypadków obciążeń wiatrem w obecnym projekcie, zastosowano możliwość automatycznej ich kombinacji z pozostałymi przypadkami obciążeń. Opcja grup obciążeń, daje możliwość stworzenia wszystkich możliwych kombinacji obciążeń korzystnych i niekorzystnych.

4. Wymiarowanie W program FEM-Design mamy możliwość wymiarowania zarówno elementów prętowych jak i paneli. Pierwszym rozwiązaniem jest opcja auto-wymiarowania, która na podstawie wcześniej oszacowanych sił wewnętrznych znajduje najbardziej odpowiednie przekroje elementów oraz rodzaje i grubości paneli. Alternatywnym rozwiązaniem jest tradycyjna opcja manualnego wymiarowania. Po zakończeniu wymiarowania konstrukcji, FEM-Design pozwala na szybką re-kalkulację sił wewnętrznych uwzględniając nowe przekroje elementów i sprawdzenie aktualności wprowadzonych zmian.

4.1. Elementy prętowe Pierwszym krokiem wymiarowania elementów prętowych jest sprawdzenie wykorzystania pierwotnie zadanych przekrojów. W rezultacie otrzymujemy przejrzysty obraz wszystkich elementów konstrukcyjnych oznaczonych kolorami zgodnie ze skalą. Jak widać na Rys. 11, nie wszystkie elementy konstrukcyjne spełniają warunki nośności dlatego konieczny jest dobór innych przekrojów.

Rys.11. Rezultaty wykorzystania pierwotnie zadanych przekrojów elementów.

Wybierając dany element konstrukcyjny, możliwy jest podgląd szczegółowych obliczeń wg. Eurokodu (Rys. 12). Daje to możliwość sprawdzenie, który warunek nośności nie został spełniony oraz jak prezentuje się wykorzystanie danego przekroju biorąc pod uwagę wszystkie wymagane warunki nośności.

Rys. 12. Szczegółowe sprawdzenie warunków nośności wg. Eurokodu.

Program oferuje opcję grupowanie elementów, a następnie przeprowadzenie wymiarowania dla danej grupy na podstawie najbardziej wyęźżonego elementu. Zanim proces auto-wymiarowania zostanie uruchomiony, użytkownik otrzymuje szansę wyboru poszczególnych przekrojów, które mają być brane pod uwagę przez program, w czasie wyboru najbardziej optymalnego rozwiązania dla danej grupy lub poszczególnego elementu.

4.2. Panele dachowe Analiza paneli z drewna klejonego warstwowo o grubości 72 mm, pokazała znaczące przekroczenie nośności (Rys. 13). Podobnie, zatem jak w przypadku elementów prętowych, wybrano opcję auto-wymiarowania, dzięki której program dobrał odpowiedni rodzaj paneli o wymaganej grubości.

Rys. 13. Analiza wykorzystania nośności paneli dachowych.

5. Integracja z programem Revit

Alternatywą dla modelowania bezpośrednio w programie FEM-Design jest bezpłatna nakładka na program Revit Structure, oraz Tekla Structures. Dzięki nakładce, umożliwiony zostaje eksport modelu konstrukcji wraz ze wszelkimi jej właściwościami do programu FEM-Design [4]. W ten sposób ułatwiony zostaje naturalny proces projektowania z wykorzystaniem technologii modelowania informacji o budynku (BIM – Building Information Modeling).

Na potrzeby tego projektu stworzono model rozpatrywanej konstrukcji w programie Revit Structure Rys. 14 pokazuje model fizyczny konstrukcji, natomiast Rys. 15 przedstawia faktyczny model analityczny, który został eksportowany bezpośrednio do programu FEM-Design (Rys. 16). Już wkrótce nakładka będzie oferowała możliwość uaktualnienia modelu w Revit Structure o wszelkie zmiany jakie zajdą w modelu po analizie w programie FEM-Design.

Rys. 14. Model fizyczny w Revit.

Rys. 15. Model analityczny w Revit.

Rys. 16. Model hali po eksporcie do FEM-Design.

Odnośniki

[1] <http://www.moelven.com/>

[2] <http://www.fem-design.com/>

[3] <http://fem-design-pl.blogspot.com/>

[4] <http://fem-design-pl.blogspot.dk/2012/05/eksport-z-revit-structure-do-fem-design.html>