
WYBRANE PROBLEMY INŻYNIERSKIE

ZESZYTY NAUKOWE
INSTYTUTU AUTOMATYZACJI PROCESÓW TECHNOLOGICZNYCH
I ZINTEGROWANYCH SYSTEMÓW WYTWARZANIA

STATYCZNA ANALIZA WYTRZYMAŁOŚCIOWA METODĄ ELEMENTÓW SKOŃCZONYCH NA PODSTAWIE MODELU NACZEPY SKRZYNIOWEJ

Adam Suchan¹, Andrzej Baier²

Instytut Automatykacji Procesów Technologicznych i Zintegrowanych Systemów Wytwarzania, Wydział
Mechaniczny Technologiczny, Politechnika Śląska,
ul. Konarskiego 18A, 44-100 Gliwice.

¹Adam.Suchan@gmail.com, ²Andrzej.Baier@polsl.pl

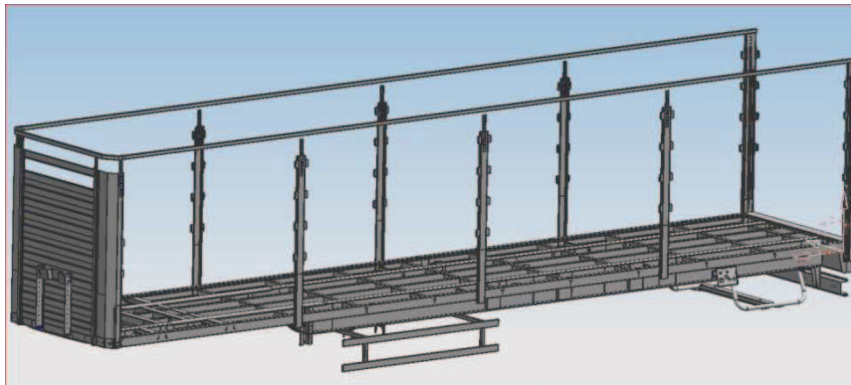
Streszczenie: W artykule opisano przyjęte założenia oraz podjęte kroki w celu wyznaczenia naprężeń i odkształceń w elementach nośnych naczepy skrzyniowej, poddanej obciążeniu zgodnemu ze specyfikacją produktu (ładowność użyteczna). Model przygotowano na podstawie dokumentacji konstrukcyjnej przy użyciu pakietu NX5, zaś analizę wytrzymałościową przeprowadzono z zastosowaniem oprogramowania Ansys Workbench.

1. Wstęp

Wprowadzając nowy produkt na rynek, dąży się do osiągnięcia zadowalających wartości cech użytkowych, przy jak najmniejszych kosztach. Końcowe etapy przygotowania produkcji, związane ze sprawdzeniem funkcjonalności i wynikające wówczas konieczne korekty wpływają na koszt i opóźnienia (często konieczne okazuje się przygotowanie nowego prototypu). Zastępowanie fizycznych prototypów modelami wirtualnymi pozwala zmniejszyć koszt symulacji szczególnie wtedy, gdy te symulacje prowadzą do zniszczenia prototypu (co może mieć miejsce przy badaniach związanych z nośnością konstrukcji, czy też odpornością na drgania, uderzenia). Przy użyciu nowoczesnych narzędzi, na podstawie o trójwymiarowego modelu CAD, możliwe jest utworzenie odpowiedniego modelu obliczeniowego siatki elementów skończonych, która obłożona określonymi warunkami brzegowymi pozwala sprawdzić wybrane reakcje (najczęściej deformację), bądź naprężenia występujące w modelu, na ściśle określone wymuszenia.

2. Przygotowanie modelu obliczeniowego. Przyjęte uproszczenia.

Każdą analizę wytrzymałościową należy zacząć od wyboru pewnych uproszczeń, idealizacji, które pozwalają sprowadzić rzeczywisty obiekt do stosownego modelu obliczeniowego. Zależnie od żądanej dokładności wyników i typu przeprowadzanych symulacji stosuje się różne modele, przy czym zwykle dąży się do minimalizacji liczby wymiarów (na przykład w wypadku naczepy możliwe jest sprowadzenie obiektu rzeczywistego do ramy - układu jednowymiarowych prętów - w której różne postacie geometryczne elementów reprezentowane są przez parametry, takie jak: pole przekroju, moment bezwładności, położenie osi bezwładności, wytrzymałość na zginanie i skręcanie). Gdy posiada się wcześniej przygotowany model, złożony z brył typu solid, to najbardziej naturalne działanie polega na przygotowaniu właśnie tego modelu dla potrzeb analizy.



Rys.1. Trójwymiarowy model naczepy skrzyniowej - jedna z danych wejściowych

Przyjęto iteracyjny system dochodzenia do modelu optymalnego, w którym przeprowadza się kolejne analizy wytrzymałościowe na złożeniu składającym się z coraz mniejszej liczby powierzchni i krawędzi, o bardziej zagęszczonej siatce. W pierwszym etapie usunięto fazowania - niewielkie otwory i spoiny, generujące wiele dodatkowych krawędzi, wymagających szczególnego dopasowania siatki, przy nikłym wpływie na wytrzymałość.

Aby ustalić wpływ elementów zabudowy na nośność naczepy, przygotowano wirtualny, prosty układ płaskowników, modelujący podwozie naczepy wraz z zabudową, drzwiami, mocowaniami kół zapasowych i zbiorników powietrza. Zachowując odpowiednie proporcje, podparto go na powierzchniach spoczywających na siodle ciągnika (podpora stała) oraz w miejscach mocowania elementów zawieszenia (podpora ruchoma). Model obciążono testowym ładunkiem. Następnie usunięto wszystkie elementy tego modelu poza podwoziem naczepy i użyto identycznego podparcia oraz obciążenia. Porównanie otrzymanych wyników (różnica deformacji i naprężeń $< 3\%$) wykazało, że wpływ na nośność posiada jedynie kratownica, składająca się na podwozie. Opisany, prosty model prętowy posłużył również do określenia szczególnie wrażliwych miejsc, w których występują koncentracje naprężeń. Siatka elementów skończonych została w tych miejscach dodatkowo zagęszczona.

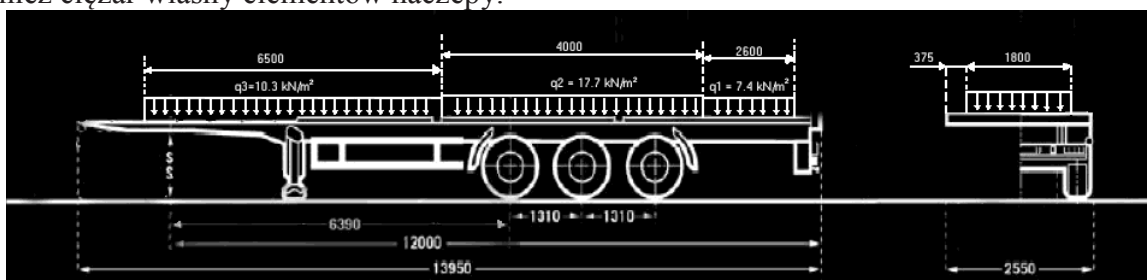
Ostatecznie do utworzenia modelu MES użyto elementów czworościennych, dziesięciowęzłowych. W idealnej wersji trójkąty składające się na ściany czworoboków powinny być maksymalnie zbliżone kształtem do trójkątów równobocznych, a sąsiednie elementy nie powinny zbytnio różnić się od siebie wielkością. Zaobserwowano, że podzielenie dużych brył na mniejsze, nałożenie siatki na każdą z osobna, a następnie połączenie siatek, daje zdecydowanie lepsze rezultaty niż próba przygotowania całego modelu MES od razu.

Kolejnym krokiem było założenie warunków brzegowych i obciążeń. Potrzebne dane przyjęto na podstawie specyfikacji technicznej naczepy skrzyniowej firmy Koegel Foxx o bardzo podobnej konstrukcji i wymiarach gabarytowych. Ustalono dane, takie jak: maksymalne obciążenie (28 850 kg), obciążenie osi, sposób mocowania używanych elementów zawieszenia.

Utwierdzono jedynie połowę sworznia (od strony tyłu naczepy), by zasymulować luz, pozwalające na ugięcie i przesunięcie drugiej jego połowy, której powierzchnie poziome podparto beztarciowo (podpora przesuwna). Podparcia beztarciowego użyto również na dodatkowej powierzchni w kształcie podkowy umieszczonej w pobliżu sworznia, obrazującej miejsce styku naczepy i siodła ciągnika oraz w miejscach mocowania półwahaczy. Zdecydowano się na pominięcie sprężystości zawieszenia, przyjmuje się, bowiem, że analiza

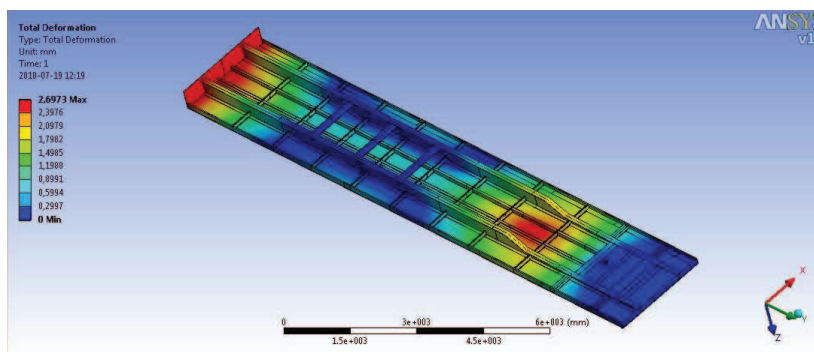
statyczna ma miejsce po czasie bliskim nieskończoności. Pod obciążeniem zawieszenie osiadzie przed rozpoczęciem badania i można traktować je jako sztywne.

Obciążenie ładunkiem zamodelowano jako ciągłe, wyznaczone jako iloczyn masy i przyspieszenia ziemskiego podzielony przez powierzchnię, na której ładunek jest umieszczony. Przyjęto trzy dodatkowe powierzchnie i obciążono zgodnie z poniższym schematem (rys. 2) tak, by cięższy ładunek rozlokować na podporach. Wyznaczono także 10 dodatkowych powierzchni modelujących miejsca mocowania wsporników, służących do rozpięcia plandeki i montażu drzwi. Na tych powierzchniach przyłożono siłę, skupioną o wartości równej różnicy masy całkowitej (razem z plandeką, ze specyfikacji) i masy modelu, pomnożonej przez przyspieszenie ziemskie i podzielonej przez 10. Uwzględniono również ciężar własny elementów naczepy.



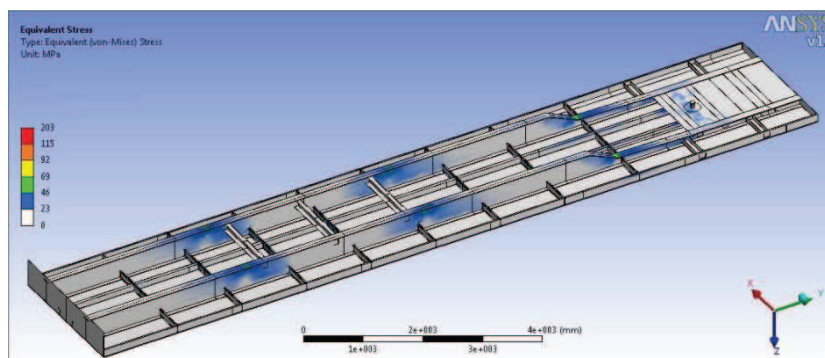
Rys.2. Rozkład obciążenia ciągłego, symulującego wpływ ładunku

3. Analiza otrzymanych wyników.

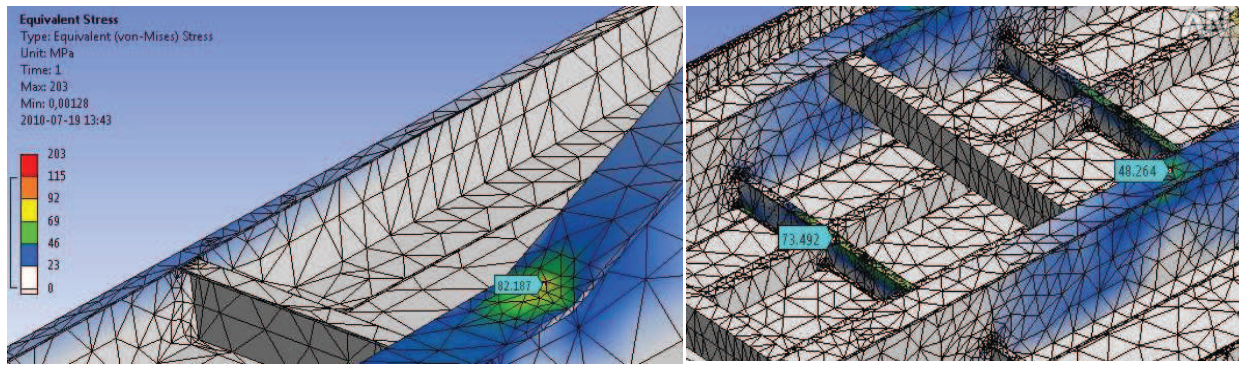


Rys.3. Mapa warstwiczna deformacji (maksymalne 2,6 mm)

Odształcenie elementów nośnych naczepy zawiera się poniżej 2,6 mm. Największy udział w przemieszczeniu całkowitym elementów ma jego część w osi Z. Odształcenia, zgodnie z przewidywaniami, zwiększają się od zera w miarę oddalania od punktów podparcia.



Rys.4. Mapa warstwiczna naprężeń - widok ogólny



Rys.5. Powiększenie krytycznych elementów. Widoczne zagęszczenie siatki

Obliczone naprężenia uśrednione (typu „element”) zawarły się pomiędzy 0 a 145 MPa. W kilku punktach naprężenia węzłowe przekraczały 200 MPa, jednak węzły sąsiednie wykazały wyniki znacznie niższe, wobec czego wspomniane wartości szczytowe uznaje się za błąd charakterystyczny dla zastosowanej metody.

4. Podsumowanie

Uzyskane wyniki pozwalają określić miejsca złożenia, w których występuje niebezpieczeństwo przyspieszonego zużycia produktu, newralgiczne punkty, wymagające dodatkowego wzmocnienia. Na tym etapie możliwe jest dalsze uszczegóławianie modelu, dodanie pominiętych wcześniej otworów, modelowanie luzów między elementami naczepy, w celu uzyskania dokładniejszych rezultatów. Należy pamiętać, by wiążące testy wykonywać w niekorzystnych warunkach. Dla konstrukcji mobilnej, jaką niewątpliwie jest naczepa, należy sprawdzić naprężenia od drgań, wynikających z przemieszczania się po nierównościach oraz naprężenia powstałe w konsekwencji przekroczenia dopuszczalnej ładowności lub błędnie rozmieszczonego ładunku. Należy również zauważyć, że dla potrzeb analizy modalnej (drgań) wskazane będzie dokładne zamodelowanie podatnych elementów zawieszenia.

Posiadając wirtualny model trójwymiarowy, w kilku iteracjach analizy wytrzymałościowej można wyeliminować zdecydowaną większość niedoskonałości konstrukcji, minimalizując ilość kosztownych badań wykonanych na fizycznym modelu i obniżając koszty produkcji.

Literatura

1. Zagrajek T. Krześciński G. Marek P: Metoda elementów skończonych w mechanice konstrukcji. Warszawa: Ofic. Wyd. Pol. Warsz., 2006.
2. Rakowski G.: MES w mechanice konstrukcji. Warszawa 2005

STATIC ANALYSIS OF SEMI-TRAILER BY FINITE ELEMENT METHOD

Summary: The paper describes all assumptions and steps taken in order to obtain stress and deformation values in critical elements of a semi-trailer box, loaded according to recommendations found in the trailers technical datasheet (useful load capacity). The 3D model was prepared in Siemens NX5 software. The stress analysis was carried out using Ansys Workbench.

STATYCZNA ANALIZA WYTRZYMAŁOŚCIOWA METODĄ ELEMENTÓW SKONCZONYCH NA PODSTAWIE MODELU NACZEPY SKRZYŹNIOWEJ

ADAM SUCHAN¹, ANDRZEJ BAIER²

Katolicki Instytut Analizy i Proceśw Technologicznych i Zintegrowanych Systemów Wytworzenia

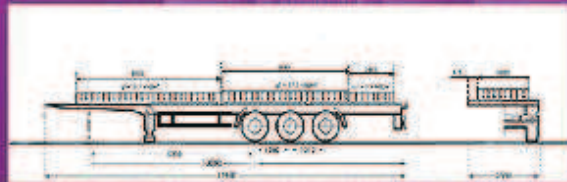
¹ Adam.Suchan@pwr.edu.pl, ² andrzej.baier@pwr.edu.pl



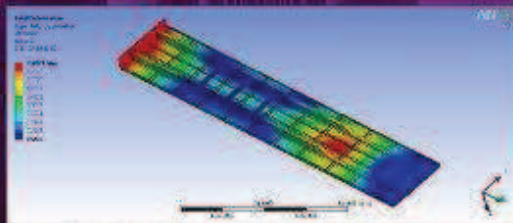
Rys 1. Wejściowy model naczepy skrzyżniowej

Ponieważ przeprowadzono analizę statyczną, a więc po nieskończonej długości okresie czasu, pominięto modelowanie elementów zawieszania. Podjęto także decyzję brnąć na temat wielkości podłoża. Dzięki temu zabiegowi automatyzacji algorytm składowi, nastąpiło stałe elementów skonczonych porady sobie z tym zadaniem znacznie lepiej, przyjmując się bowiem, że różnica w wielkości sił działających z osi, wózków wkręty był jak napięcie, a ich kształt zbliżony do foremnego, o jak najmniej ostrych kątach. W miejscach w których przewidziano podpory, w skłody trzpienia i mocowania wahaczy wydzeleno fragmenty powierzchni, które miały umoclić jak najbardziej zbliżone odwzorowanie rzeczywistych warunków pracy.

Korzystając z wejściowego modelu naczepy skrzyżniowej przygotowano uproszczony model obliczeniowy tak, by zachować maksymalną dokładność obliczeń przy rozsądnym czasie ich trwania. Usunięto składowanie zakręgnięcia niewielkie otwory, szkodliwy. Usunięto, że pod kątem się wstępnie naparło, jeśli czy ciężar węgla, elementy zabudowy nie mają istotnego wpływu na wytrzymałość statyczną naczepy, ślad był, że geometrycznie została pominięta, a ciężar zastąpiono siłami skupionymi na powierzchniach styku, pozostałe części podłoża z usuniętych elementami.



Rys 2. Rozkład i wartości obciążenia ciągłego reprezentującego ładunek



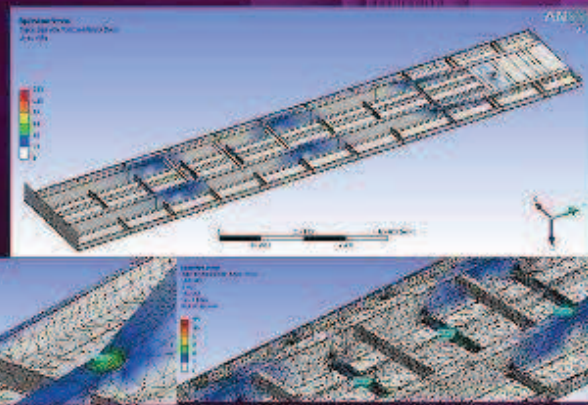
Rys 3. Mapa warstwowa odkształceń.

Przyjmując warunki brzegowe utwierdzone połowę trzpienia naczepy, drugą połowę podparto bezwarunkowo symulując tym samym luzu występującego między kserozniami naczepy a miejscami jego oparcia. Powierzchnię styku naczepy z siodełm łożyska podparto odciążając możliwość przemieszczania się wzdłuż osi Z. Podobne oparcie zastosowano w dwóch punktach odpowiadających miejscom mocowania elementów zawieszania.

Ciężar ładunku zamodelowano w postaci obciążenia ciągłego, którego rozkład prezentuje rys.5. Ciężar usuniętych elementów zabudowy modelują siły skupione przyłożone w punktach mocowania wsporników. Wartości siły (1500N na każdy z 10 wsporników) wyznaczone w oparciu o różnicę masy odwołanej naczepy z punktetką (zgodnie ze specyfikacją), a masę wózków, obciążoną na podstawie objętości był wprowadzonych w jego skład. Uwzględniono również ciężar własny elementów modelu.

Rozkład naprężeń zgodny jest z oczekiwanym, a wartości zawierają się w przedziale wyników prawdopodobnych. Naprężenia krytycznych elementów utrzymywały się poniżej 100 MPa, otrzymane w węzłach ostrokatnych elementów wartości przekraczające 150 MPa uznano za błędne.

Otrzymane wyniki potwierdzają zdolność naczepy do przeniesienia obciążeń zgodnie ze specyfikacją, natomiast dla uzyskania pełnego obrazu jej wytrzymałości i przydatności wymagane będzie dodatkowe sprawdzanie odporności na drgania i obciążenia o podłożu dynamicznym (na przykład podczas nagłego hamowania).



Rys 4. Mapa warstwowa naprężeń oraz powiększenia miejsc koncentracji naprężeń. Widoczne miejsca dodatkowego zagęszczenia siatki.

Literatura:

1. Rakowski G., Kacprzyk Z.: "MES w mechanice konstrukcji", Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa 2005
2. Rusiński E., Czupkowski J., Szmajdał E.: "Zawieszona metoda elementów skończonych w konstrukcjach modych", Oficyna Wydawnicza Rolbudexi Wydawniczej, Wrocław 2000
3. Pomoc programu ANSYS 11.