

SIMULATION AND EMPIRICAL TESTING OF EQUIPMENT FOR STORE UP, LOADING AND TRANSPORT OF TIRES DESTINED FOR RECYCLING

Summary

The paper presents application of modern method of kinematical and strength simulation during designing of equipment for store up, loading and transport of tires destined for recycling. Initiation of the devices production is measurable result of the conducted work. It is product filling gap in the Polish market of devices enabled ecological waste management.

SYMULACYJNE I EMPIRYCZNE BADANIA URZĄDZEŃ DO SKŁADOWANIA, ZAŁADUNKU I TRANSPORTU OPON PRZEZNACZONYCH DO RECYKLINGU

Streszczenie

W pracy przedstawiono wykorzystanie nowoczesnych metod symulacji kinematycznej i wytrzymałościowej podczas projektowania zestawu urządzeń do składowania, załadunku i transportu opon użytkowych. Wymiernym rezultatem prowadzonych prac jest wdrożenie do produkcji wyrobu wypełniającego lukę na rynku produkowanych w Polsce urządzeń umożliwiających ekologiczną gospodarkę odpadami.

Wprowadzenie

W Polsce, podobnie jak w wielu innych krajach, istnieje ustawowy obowiązek zagospodarowania zużytych opon pojazdów mechanicznych. W realizacji tego zadania wąskie gardło stanowi system zbierania, składowania, a następnie transportu zużytych opon do miejsca recyklingu lub utylizacji.

Obecnie opony przeznaczone do recyklingu składowane są najczęściej na placach lub w otwartych kontenerach typu wannowego. Podlegają one wówczas działaniu czynników atmosferycznych znacznie utrudniających ich transport oraz segregację. Woda dostająca się do wnętrza opon powoduje zwiększenie nakładów czasu pracy podczas załadunku i transportu (szczególnie w warunkach zimowych). Zabrudzenia związane z osadzaniem się zanieczyszczeń na zawilgoconych powierzchniach opon powodują dodatkowe trudności w procesie weryfikacji opon pod względem przydatności do bieżnikowania. Wszelkiego rodzaju zanieczyszczenia wpływają niekorzystnie na trwałość maszyn i urządzeń wykorzystywanych w procesie transportu, segregacji i recyklingu ogumienia. Znacząco zwiększa to koszty związane z transportem i bieżnikowaniem opon.

Opis urządzeń

W niniejszej pracy przedstawiono zestaw urządzeń niezbędnych do stworzenia systemu składowania, szybkiego załadunku i transportu opon przeznaczonych do recyklingu. System powiązany został z dystrybucją opon po procesie bieżnikowania. Składa się on z następujących urządzeń: kontenera na opony, wózka załadunkowego, wózka podłogowego, platformowej zabudowy podwozia pojazdu przystosowanej do współpracy z wymienionymi wcześniej urządzeniami – rys. 1 i 2.

Przykryte oponczami kontenery, w których zbierane są zużyte opony, po zapelnieniu ustawione zostają na platfor-

mie za pomocą wózka-podnośnika (z własnym napędem) oraz wózka podłogowego (przesuw poprzeczny). Pojemnik z platformy kierowany jest następnie do miejsc segregacji i recyklingu opon. Do obsługi całego zespołu urządzeń wystarcza jedna osoba.

Zastosowanie takich zestawów obniża koszty pozyskiwania opon oraz ułatwia zwiększenie produkcji przez zakłady zajmujące się ich bieżnikowaniem i utylizacją, co ma duże znaczenie, nie tylko ekonomiczne, ale i ekologiczne. Jest to pierwszy w Polsce zestaw urządzeń kompleksowo rozwiązujący problem transportu oraz składowania w lekkich kontenerach opon przeznaczonych do recyklingu.

Komputerowe wspomaganie konstruowania zestawu

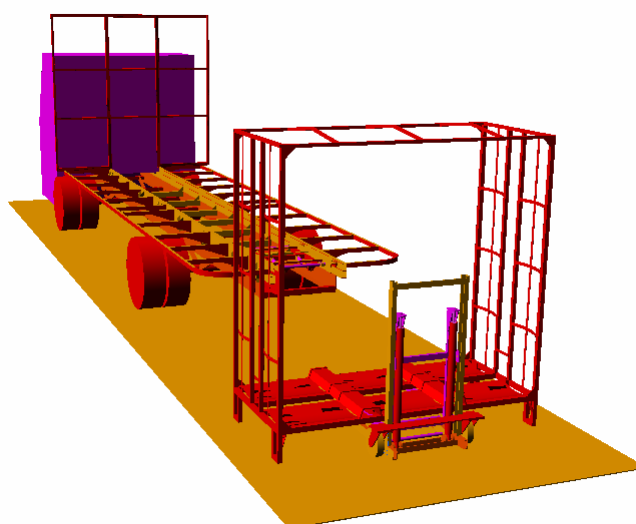
W czasie prac konstrukcyjnych dotyczących zestawu urządzeń do składowania, załadunku i transportu opon wykorzystywano nowoczesne oprogramowanie umożliwiające przeprowadzenie symulacji zachowań i analizy własności zestawu w kolejnych etapach projektowania.

Symulacja zachowań kinematycznych zestawu

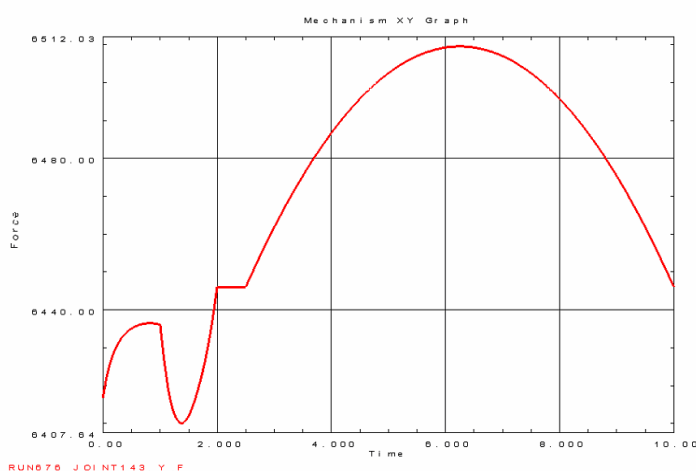
W pierwszej kolejności przeprowadzono symulacje zachowań kinematycznych zestawu (rys. 2) podczas pracy dla różnych warunków obciążenia. Do prowadzenia prac zastosowano moduł symulacji zachowań kinematycznych i dynamicznych systemu I-Deas. Podstawowym celem symulacji było uzyskanie wartości sił w poszczególnych węzłach modeli obliczeniowych w różnych fazach i warunkach pracy. Dzięki przeprowadzonym symulacjom uzyskano wykresy wartości sił występujących w poszczególnych elementach roboczych urządzeń w funkcji czasu (rys. 3). Ustalono w ten sposób warunki, w których występują największe obciążenia elementów zestawu. Stwierdzono także, że najazd na niewielkie przeszkody nie grozi w czasie pracy utratą stateczności.



Rys. 1. Widok ogólny samochodu z zabudowaną na nim ramą nośną i załadowanym kontenerem
Fig. 1. The truck with carrying frame and full container – general view



Rys. 2. Widok modeli wirtualnych całości zestawu urządzeń do transportu opon użytkowych
Fig. 2. View of the whole set of equipment for transport worn tires virtual models



Rys. 3. Przykładowy wykres uzyskany podczas symulacji kinematycznych zestawu (wartości składowej wzdłużnej siły w czasie podnoszenia i transportu kosza na opony wzdłuż ramy)
Fig. 3. Sample chart obtained from simulation of equipment kinematics (value of force longitude component during full container lifting)

Uzyskane w wyniku symulacji wartości sił oraz informacje dotyczące warunków pracy powodujących największe obciążenia konstrukcji nośnej zestawu zostały wykorzystane w następnej fazie prac projektowych, a mianowicie w obliczeniach wytrzymałościowych.

Analiza wytrzymałościowa konstrukcji elementów zestawu

Analizę wytrzymałościową zestawu przeprowadzono w oparciu o metodę elementów skończonych (MES). Obliczenia obejmowały ramę nośną, kontenery i inne części zestawu. Obliczenia przeprowadzono osobno dla każdej części zestawu, ponieważ ze względu na duży stopień ich skomplikowania całościowa analiza byłaby utrudniona i czasochłonna. Powiązania między elementami zestawu zrealizowano za pośrednictwem odpowiednio przekazywanych danych o obciążeniach. Najważniejsze i najbardziej złożone okazało się odpowiednie przeniesienie obciążeń pochodzących od kontenerów z oponami na ramę nośną samochodu.

Modele konstrukcji przygotowano w oparciu o elementy skończone płytowo-powłokowe. Każdy zespół zestawu stanowiący niezależne urządzenie zamodelowany został osobno i dla każdego z nich przygotowano osobny zestaw warunków brzegowych. W przypadku kontenera przygotowano trzy różne sposoby podparcia zgodnie z warunkami jego pracy: podparcie na nogach, podparcie na wózku widłowym i podparcie w miejscach styku kontenera z ramą nośną. To ostatnie miało na celu dostarczyć informacje o rozkładzie wartości sił w celu obciążenia nimi ramy nośnej na samochodzie.

Ramę nośną zamodelowano razem z ramą fabryczną samochodu ciężarowego. Model podparto na elementach belkowych odpowiadających resorom samochodu. Obciążenie ramy nośnej rozłożono wzdłuż czterech podłużnic (dwie wewnętrzne i dwie zewnętrzne) przyjmując wartości na podstawie obliczeń reakcji dla kontenera.

Wyniki obliczeń wstępnych

Po przeprowadzeniu obliczeń konstrukcji kontenera dla kilku wariantów podparcia i obciążenia stwierdzono, że największe ugięcie dolnych belek kontenera zawieszonych na wózku widłowym nie przekraczało 3 mm. Natomiast rama nośna obciążona siłami pochodzącymi od masy kontenerów ugięła się na obrzeżach aż o 16 mm. Ponadto na wewnętrznych poprzeczkach ramy wystąpiły duże naprężenia, przekraczające wytrzymałość materiału na rozciąganie. Stwierdzono, że podstawy kontenerów nie uginają się na tyle, aby obciążyć ramę zgodnie z pierwotnie przyjętymi wartościami sił wzdłuż podłużnic ramy. Aby obrzeże ramy mogło być obciążane przez kontener, musiałoby się ugiąć nie więcej niż 3 mm. Wobec powyższego należało zmienić warunki obciążenia ramy nośnej.

Ustalanie warunków obciążeniowych

Nowe obciążenie ramy nośnej, spełniające warunki odkształceniowe, obliczono, przy założeniu upraszczającym, z następującej proporcji:

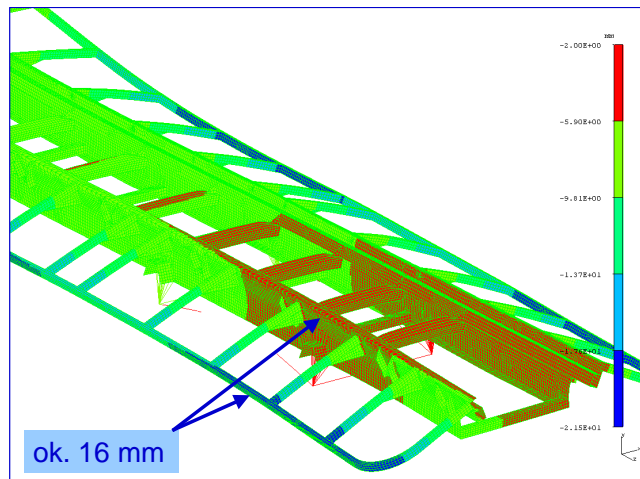
$$\frac{3\text{mm} \cdot \text{ugięcia} \cdot \text{kosza}}{16\text{mm} \cdot \text{ugięcia} \cdot \text{ramy}} = \frac{\text{obciążenie} \cdot \text{dla} \cdot \text{ugięcia} \cdot 3\text{mm}}{\text{obciążenie} \cdot \text{dla} \cdot \text{ugięcia} \cdot 16\text{mm}}$$

Lewa strona równania wyraża stosunek strzałki ugięcia kontenera do strzałki ugięcia obrzeża ramy nośnej a prawa strona stosunek sił obciążających ramę dla pożądanego ugięcia 3 mm do sił założonych pierwotnie. Zgodnie z powyższą zależnością nowe obciążenie wzdłuż podłużnic ze-

wewnętrznych ramy nośnej nie powinno przekraczać 20 % obciążenia przyjętego pierwotnie. W takim układzie pozostałe obciążenie przenoszą podłużnice wewnętrzne.

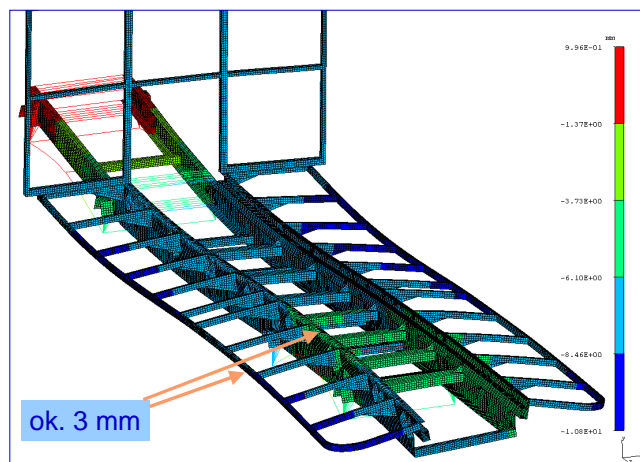
Porównanie wyników analiz komputerowych

Dla porównania efektów modyfikacji warunków obciążeniowych ramy nośnej przedstawiono na rys. 4 i 5 wyniki obliczeń odkształceń ramy nośnej. Na rys. 4 przedstawiono wyniki z pierwszego etapu obliczeń, natomiast na rys. 5 wyniki obliczeń po modyfikacji obciążeń.



Rys. 4. Wyniki obliczeń przemieszczeń ramy nośnej pod obciążeniem założonym pierwotnie

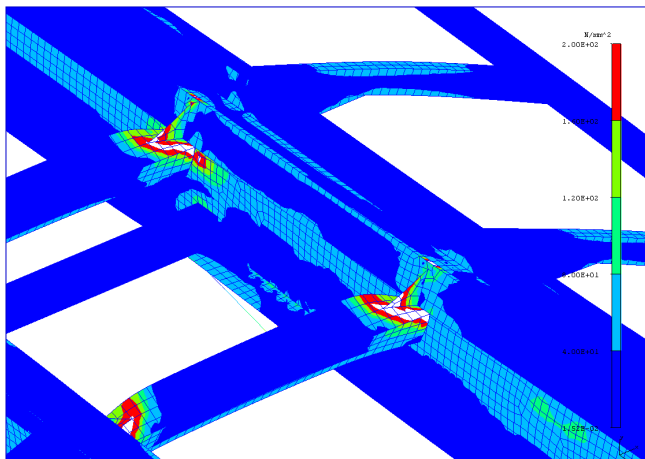
Fig. 4. Results of carrying frame displacement calculation – first loading case



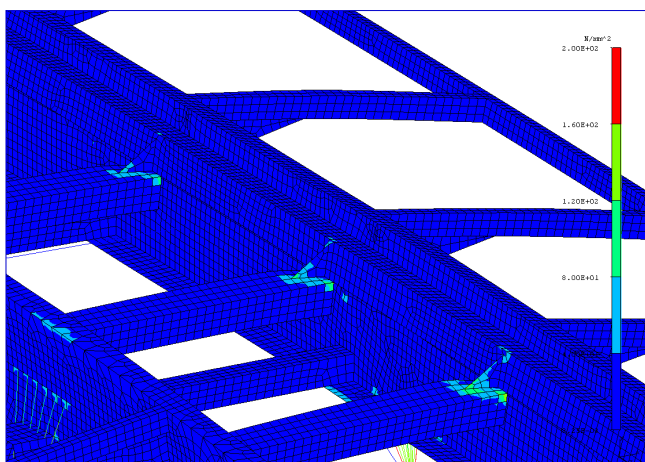
Rys. 5. Wyniki obliczeń odkształceń ramy dla zmodyfikowanych wartości sił obciążających

Fig. 5. Results of calculation of carrying frame displacement – second loading case

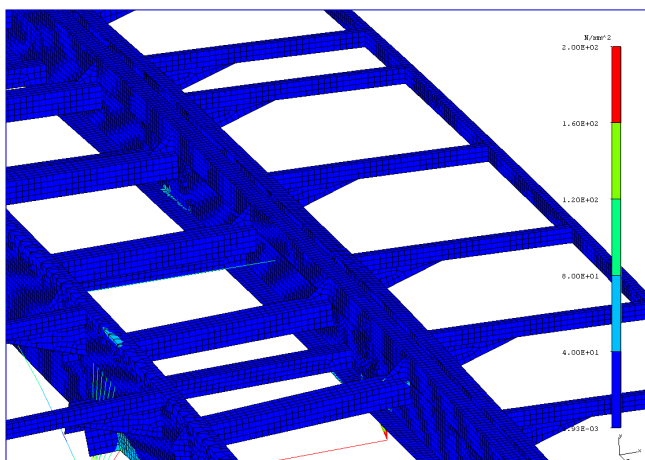
Wyniki ugięć obrzeży ramy, uzyskane dla zmodyfikowanych wartości sił, wykazały znaczną zgodność z możliwościami odkształceń kontenerów. Jest to jednak bardzo skrajny przypadek odkształcenia ramy, ponieważ w rzeczywistości obciążenie od ciężaru opon będzie przenoszone jednocześnie przez konstrukcję kontenera i konstrukcję ramy, przez co faktyczne odkształcenia będą jeszcze mniejsze. Bez znajomości jednak wzajemnych ilościowych oddziaływań konstrukcji uzyskanie dokładniejszych wyników jest niemożliwe. Niemniej jednak przyjęcie powyższego skrajnego przypadku obliczeniowego jest wystarczające i dostatecznie poprawne z punktu widzenia analizy wytrzymałości ramy.



Rys. 6. Obliczony rozkład naprężeń w konstrukcji ramy nośnej dla pierwszego przypadku obciążeniowego
 Fig. 6. Reduced stress distribution in carrying frame for first loading case



Rys. 7. Obliczony rozkład naprężeń w konstrukcji ramy nośnej dla obciążeń zmodyfikowanych
 Fig. 7. Reduced stress distribution in carrying frame for modified loading case



Rys. 8. Obliczony rozkład naprężeń w konstrukcji ramy nośnej w przypadku obciążenia tylko podłużnic wewnętrznych
 Fig. 8. Reduced stress distribution in carrying frame for load on longitudinal member of frame only

Dla zwiększenia pewności obliczeń wykonano dodatkowe obliczenia dla drugiego skrajnego przypadku obciążenia, tj. przypadku, kiedy całe obciążenie od kontenerów rozłożone jest tylko wzdłuż podłużnic wewnętrznych. Wówczas na obrzeża nie działają żadne obciążenia i nie uginają się względem podłużnic środkowych.

Uzyskane wyniki rozkładu naprężeń zredukowanych dla wszystkich trzech przypadków obciążenia przedstawiono na rys. 6-8.

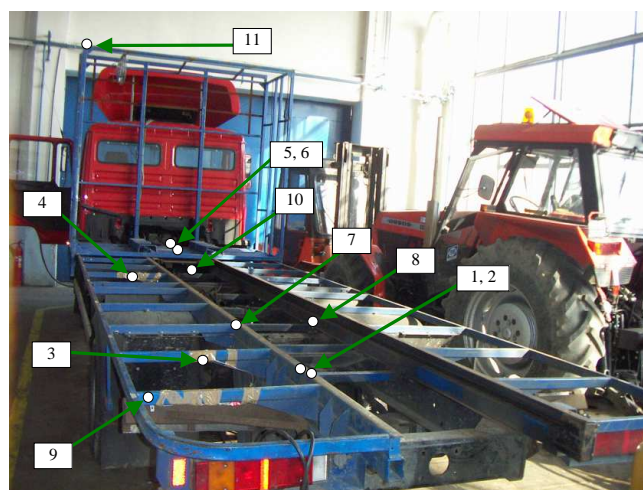
Naprężenia dla pierwszego przypadku obliczeniowego, występujące na wewnętrznych poprzeczkach ramy wykazywały znaczne przekroczenie wartości dopuszczalnych, szczególnie, że w tych miejscach występują spawy. W pozostałych przypadkach obliczeniowych naprężenia w tych miejscach są znacznie mniejsze.

W wyniku przeprowadzonych analiz wytrzymałościowych zaproponowano zmiany konstrukcyjne ramy.

Weryfikacja wyników na podstawie pomiarów eksperymentalnych

Prototyp zestawu do składowania i przewożenia opon użytkowych został przebadany w warunkach eksploatacyjnych w celu zmierzenia rzeczywistych wielkości odkształceń i naprężeń zredukowanych. Do rejestracji i przetwarzania sygnałów pomiarowych zastosowano zestaw akwizycji danych pomiarowych, oparty na aparaturze pomiarowej i oprogramowaniu firmy Hottinger. Sygnały pomiarowe z wymienionych czujników zostały zarejestrowane przy pomocy urządzenia Spider-8 w konfiguracji obejmującej 32 kanały pomiarowe oraz za pomocą oprogramowania Catman-32. Obróbka sygnałów pomiarowych (filtrowanie i całkowanie) została przeprowadzona za pomocą oprogramowania Matlab. Na rys. 9 przedstawiono rozmieszczenie punktów pomiarowych na ramie samochodu i kontenerze do opon.

Badania te potwierdziły rezultaty otrzymane w wyniku obliczeń symulacyjnych, w tym słuszność sposobu obliczania obciążeń przyjętego dla przypadku 2.



Rys. 9. Rozmieszczenie punktów pomiarowych na ramie samochodu i koszu: 1,2 – rozety tensometryczne, 3-6 – tensometry jednokierunkowe, 7-11 – czujniki przyspieszeń
 Fig. 9. Arrangement of sensors on carrying frame and container: 1,2 - rosettes of strain gauges, 3-6 – single strain gauges, 7-11 – acceleration gauge

Podsumowanie i wnioski

Zastosowana wielowariantowa metoda obliczeń symulacyjnych ramy nośnej pozwoliła przebadać konstrukcję dla skrajnych przypadków obciążeń oraz dla obciążeń najbliższych warunkom rzeczywistym. Dzięki temu obliczenia stały się bardziej wiarygodne i dokładne. W aspekcie analiz inżynierskich dostarczyły niezbędnych informacji o stanie pracy konstrukcji ze wskazaniem niebezpiecznych miejsc.

Obliczenia przeprowadzone według przedstawionej metody wykazały jej przydatność dla celów analizy konstrukcji o złożonej, modułowej budowie. Potwierdziły, że nie koniecznie trzeba budować skomplikowane modele obliczeniowe, aby uzyskać wyniki o dużej poprawności, a odpowiednio zaplanowane i przemyślane uproszczenia tych modeli nie powodują znacznych błędów obliczeniowych. Poprawność obliczeń potwierdziły również przeprowadzone badania eksperymentalne.

Literatura

- [1] Zielnica M., Grzechowiak R., Mac.: Opracowanie i badanie zestawu urządzeń do kontenerowego składowania ładunku i transportu opon użytkowych Zad. 5.1 Symulacje komputerowe na opracowanych modelach obliczeniowych w aspekcie wymuszeń kinematycznych, PIMR, Poznan, 2005
- [2] Pawłowski T., Szczepaniak J., Rutkowski J., Grzechowiak R., Mac J.: Opracowanie i badanie zestawu urządzeń do kontenerowego składowania, ładunku i transportu opon użytkowych, Zad. 5.2 Obliczenia wymuszeń wytrzymałościowych celem oceny prawidłowości głównych parametrów konstrukcyjnych, PIMR, Poznan, 2005.
- [3] Pawłowski T., Szczepaniak J., Rutkowski J., Grzechowiak R., Mac J.: Opracowanie i badanie zestawu urządzeń do kontenerowego składowania, ładunku i transportu opon użytkowych, Zad. 8.1.: Badania laboratoryjne i eksperymentalne prototypów (tensometria, przemieszczenia, przyspieszenia, Zad. 9.: Weryfikacja modeli obliczeniowych i obliczeń wytrzymałościowych w aspekcie optymalizacji konstrukcji nośnej, PIMR, Poznań, 2005.