

## DISCRETIZATION OF GEOMETRICAL MODEL AND ENGINEERING PARAMETERS ANALYSIS IN AN ASPECT OF OPTIMAL CONSTRUCTION ELEMENTS ASSORTMENT EXEMPLIFIED BY THE GATE DEVICE

Summary

Selected stages of realization of construction optimization process are presented in the article. To optimize the construction the computer system I-DEAS was used. By means of it a solid model of gate device of permissible total mass 3,5 ton was built. The calculations were carried out using the Finite Element Method (FEM). The carried out strength analysis showed that the permissible stress limit has been exceeded. To improve the tested construction the thickness of loading frame walls was increased by 1 mm. To optimize the whole construction some other changes were also introduced.

## DYSKRETYZACJA MODELU GEOMETRYCZNEGO I ANALIZA PARAMETRÓW INŻYNIERSKICH W ASPEKCIE DOBORU OPTYMALNYCH ELEMENTÓW KONSTRUKCJI NA PRZYKŁADZIE URZĄDZENIA BRAMOWEGO

Streszczenie

W artykule zaprezentowano wybrane etapy realizacji procesu optymalizacji konstrukcji. Wykorzystano do tego celu system komputerowy I-DEAS, za pomocą którego zbudowano model bryłowy urządzenia bramowego o DMC (dopuszczalnej masie całkowitej) 3,5 tony. Obliczenia przeprowadzono Metodą Elementów Skończonych (MES). Z przeprowadzonej analizy wytrzymałościowej wynika, że wystąpiło przekroczenie dopuszczalnej granicy naprężeń. Na drodze optymalizacji zwiększono grubości ścianek ramy uchylnej o 1 mm oraz wprowadzono pewne zmiany.

### 1. Wstęp

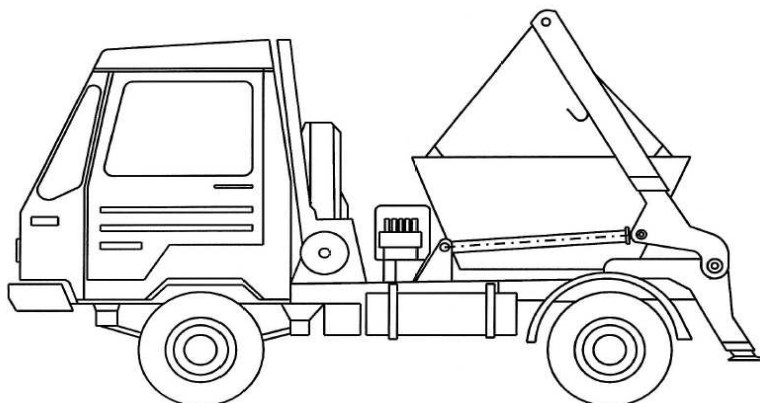
Przedstawione w artykule analizy wytrzymałościowe dotyczyły konstrukcji urządzenia bramowego do załadunku, rozładunku i transportu kontenerów na samochodach ciężarowych (rys. 1). Na ramie fabrycznej samochodu została zamontowana specjalna rama nośna, na której ustawia się kontener. Kontenery są załadowywane na samochód za pomocą specjalnej ramy uchylnej z ramionami teleskopowymi. W trakcie transportu kontener zabezpieczony jest hakiem i dodatkowo wyposażony jest w zabezpieczenie linowe.

Celem pracy jest ocena wytrzymałości konstrukcji nośnej, zlokalizowanie ewentualnych miejsc przekroczenia poziomu naprężeń dopuszczalnych urządzenia poddanego wielowariantowym przypadkom obciążeń występujących podczas eksploatacji.

Pierwszym krokiem jest opracowanie komputerowego modelu bryłowego CAD-3D systemu bramowego o DMC (dopuszczalnej masie całkowitej) 3,5 tony. Następnie przedstawienie wyników i ocena analizy kinematycznej, dynamicznej i wytrzymałościowej modeli matematycznych na przykładzie modelu wirtualnego dźwigu bramowego.

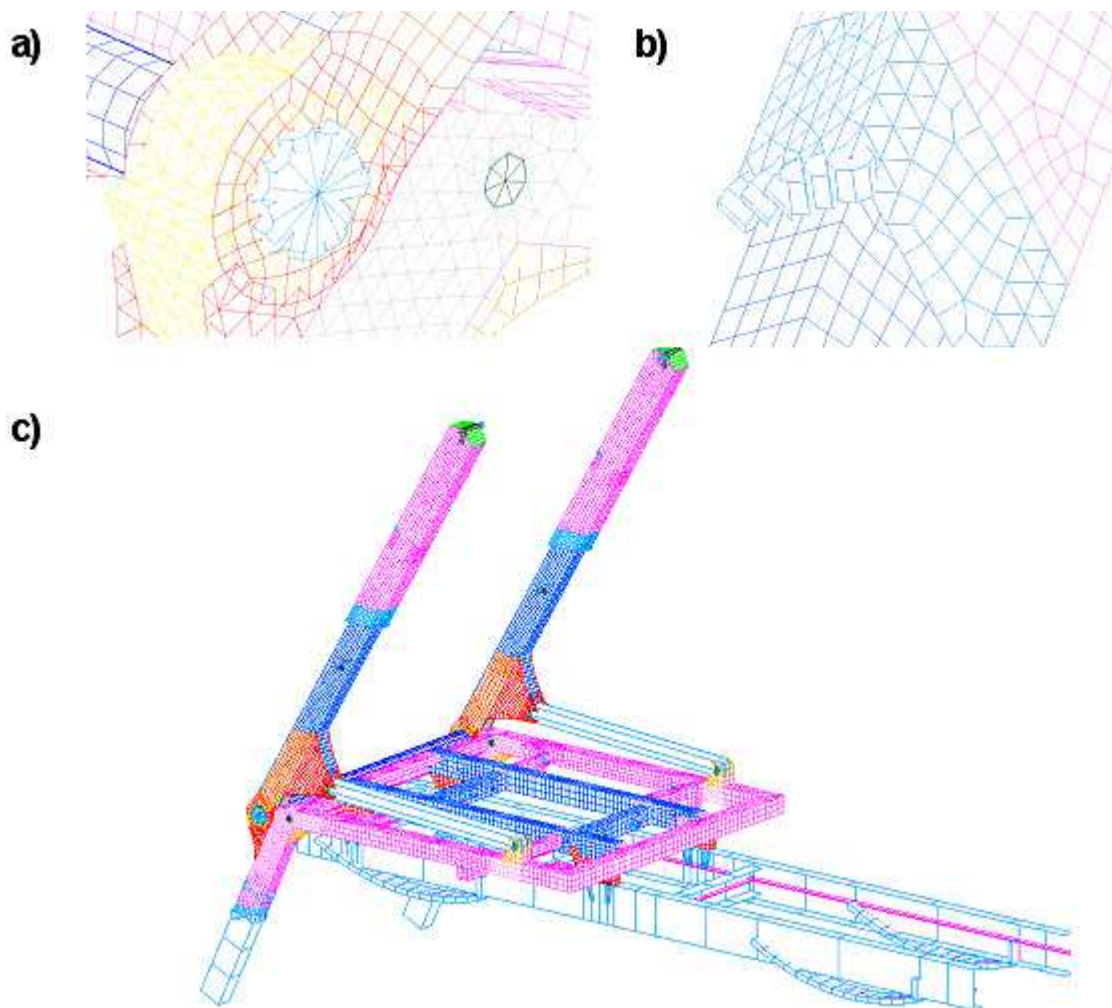
Obliczenia wytrzymałościowe przeprowadzone elementami płytowo-powłokowymi pozwoliły uzyskać dokładny rozkład naprężeń. Z przeprowadzonej analizy wytrzymałościowej wynika, że wystąpiło przekroczenie dopuszczalnej granicy naprężeń dla stali 18G2.

Rolę wyładunku lub załadunku kontenera z urządzenia bramowego spełnia rama uchylna obracająca się na ramie głównej, jak i również ramiona teleskopowe przesuwające się wzdłuż po profilu ramy uchylnej. Zamodelowanie takiej współpracy w analizie wytrzymałościowej nastęrcza pewne trudności. Rozwiązanie tego problemu zostało przedstawione w niniejszym artykule.



Rys. 1. Schemat urządzenia bramowego nabadowanego na podwoziu samochodu dostawczego  
Fig. 1. Scheme of gate device mounted on chassis of delivery truck

## 2. Model MES



Rys. 2. Model obliczeniowy konstrukcji nośnej urządzenia bramowego: a) połączenie obrotowe (łożysko ślizgowe), b) połączenie przesuwne ramienia teleskopowego z ramą uchylną, c) widok zamodelowanej konstrukcji

*Fig. 2. Calculation model of supporting structure of gate device: a) pivot connection (slide bearing), b) slidable connection of telescopic arm with loading frame, c) the view of modeled construction*

Opracowano model obliczeniowy przedstawiony na rys. 2. Model opisany został za pomocą: elementów objętościowych typu Solid, elementów płytowo-powłokowych czworokątnych i trójkątnych typu Thin Shell, elementów belkowych typu Beam oraz elementów prętowych typu Rod. Elementami powłokowymi opisano wszystkie elementy konstrukcyjne ramy, oprócz łożyska ślizgowego, gdzie wykorzystano elementy objętościowe. Natomiast elementy belkowe i prętowe wykorzystano głównie do zamodelowania ramy samochodu, sworzni mocowania siłowników i uchwytu zawiesi mocowania kontenera.

Połączenie obrotowe (łożysko ślizgowe) zamodelowano w taki sposób, że skrajne więzy blachy w otworze ramy uchylnej połączone za pomocą elementów belkowych w środkowy jeden więź (utworzyły tzw. szprychy koła rowerowego). W ten sam zamodelowano łożysko ślizgowe, a środkowy więź był wspólny dla każdego układu blachaściana boczna łożyska. Tak zamodelowane połączenie przenosiło naprężenie na całym obwodzie blachy ramy uchylnej.

Drugim połączeniem było przesuwanie się ramienia teleskopowego na profilu ramy uchylnej. Zamodelowano w taki sposób że poszczególne więzy krawędzi ramienia

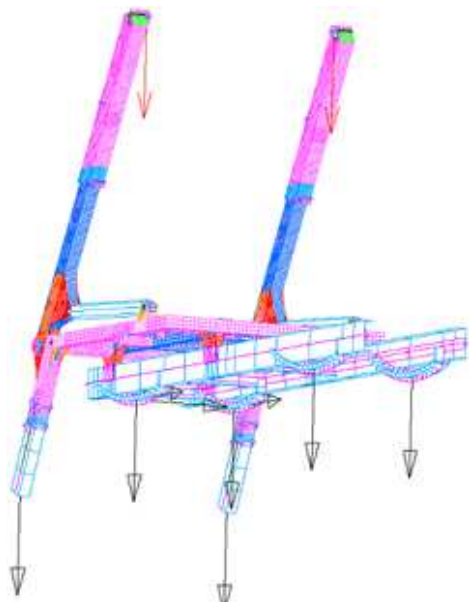
teleskopowego napierające na profil ramy uchylnej połączone za pomocą elementów belkowych.

Urządzenie bramowe w czasie pracy obciążone jest masą kontenera z ładunkiem:

- 2300 kg przy wsuniętych ramionach,
- 1650 kg przy maksymalnym wysunięciu ramion teleskopowych.

Obciążenie na modelu zostało przypisane do uchwytów mocowania zawiesia łańcuchowego w ramionach teleskopowych. Obciążenia pokazane są na rys. 3 w postaci wektorów skierowanych w dół oznaczonych kolorem czerwonym. Uchwyty zostały zamodelowane w uproszczony sposób w postaci elementu belkowego. Wszystkie obciążenia w obliczeniach zostały powiększone o współczynnik bezpieczeństwa.

Utwierdzenie przyłożono w sześciu węzłach konstrukcji, w miejscu występowania kół samochodu i w nogach podporowych. W tylnym prawym kole odebrano wszystkie możliwe kierunki przemieszczenia XYZ (rys. 3), a w kole tylnym lewym pozostawiono możliwość przemieszczania się w kierunku X. W pozostałych punktach mocowania odebrano przemieszczenia w kierunku pionowym – kierunek Y. Kolorem czarnym oznaczone są wektory opisujące utwierdzenie konstrukcji.



Rys. 3. Model obliczeniowy konstrukcji nośnej urządzenia bramowego z zadanymi wektorami obciążenia i odebranymi kierunkami przemieszczeń w miejscu utwierdzeń systemu dźwigowego

*Fig. 3. Calculation model of supporting structure of gate device with assigned vectors of loading and received directions of displacements in the place of fixings of lift system*

### 3. Przebieg obliczeń i analiza wyników

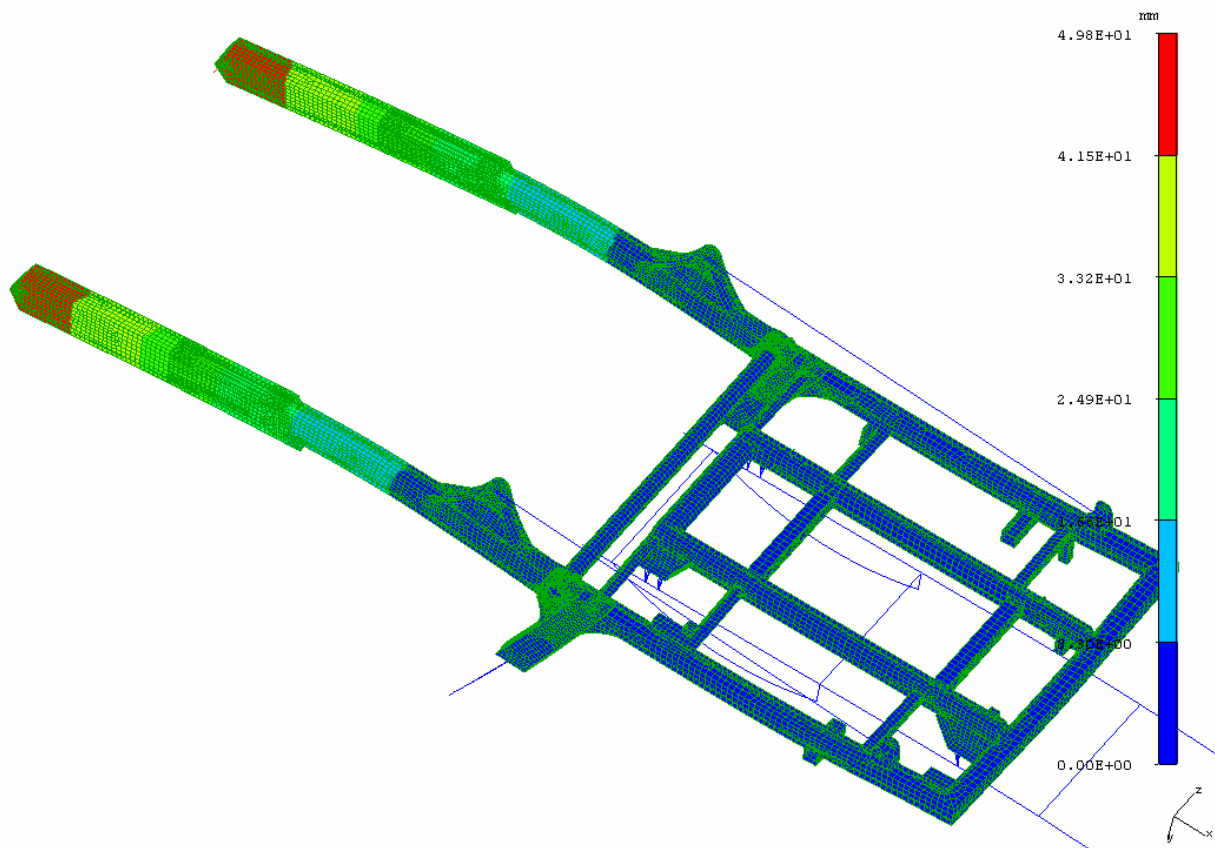
Analizę wyników obliczeń przy użyciu postprocesora I-DEAS przedstawiono graficznie na rys. 4-7. Przygotowany

model obliczeniowy ramy urządzenia bramowego wraz z założonymi obciążeniami, opisanymi powyżej, poddano analizie wytrzymałościowej przy zastosowaniu systemu I-DEAS.

Wartość przemieszczeń przedstawiona jest w kolorach, wg skali znajdującej się po prawej stronie rysunku. Największe przemieszczenie zaobserwowano dla przypadku obciążenia 1650 kg i maksymalnym opuszczeniu ramy uchyłnej. Wystąpiły one w ramionach teleskopowych i wyniosły 49,8 mm (rys. 4).

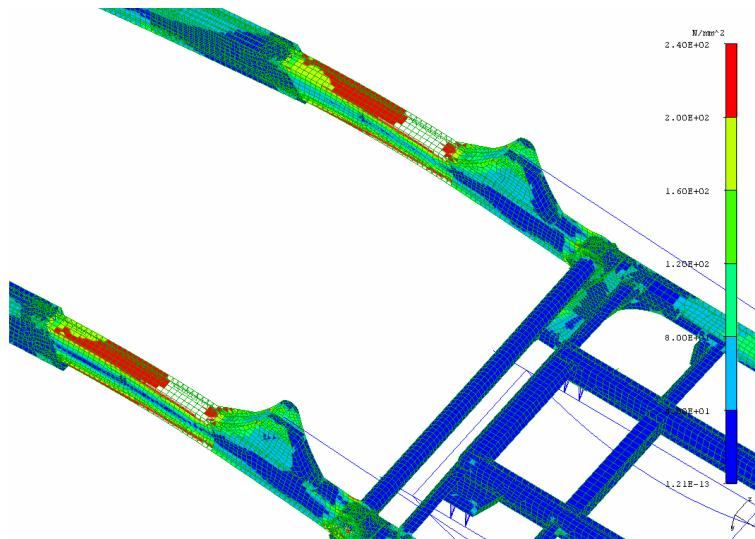
Stwierdzono, że najbardziej niebezpieczną pozycją pracy maszyny jest pozycja z wychylonymi i wysuniętymi ramionami dźwigowymi. Występują w niej duże naprężenia rzędu 300 MPa (rys. 6) zlokalizowane w ramie uchyłnej. Naprężenia tam występujące przekraczały dopuszczalną granicę wytrzymałości 240 MPa dla stali 18G2. W trakcie przeprowadzania obliczeń wytrzymałościowych stwierdzono także występowanie niebezpiecznego poziomu naprężeń w uchwytach mocowania siłowników do ramy nośnej i w miejscu występowania otworów w ramie głównej (rys. 7). W węzłach tych występuje naprężenie przekraczające wartość 240 MPa. Duże naprężenia uwidoczniły się także w miejscu łączenia ramy z podwoziem samochodu. Jednak efekt ten został spowodowany poprzez zastosowane uproszczenia modelowe i nie był brany pod uwagę w analizie wyników.

Z powyższego wynika, że konstrukcja w zaproponowanej wstępnej wersji nie spełnia warunków wytrzymałościowych dla przyjętych warunków obciążeń. Na podstawie analizy wytrzymałościowej proponuje się wprowadzenie poprawek konstrukcyjnych w tych węzłach.

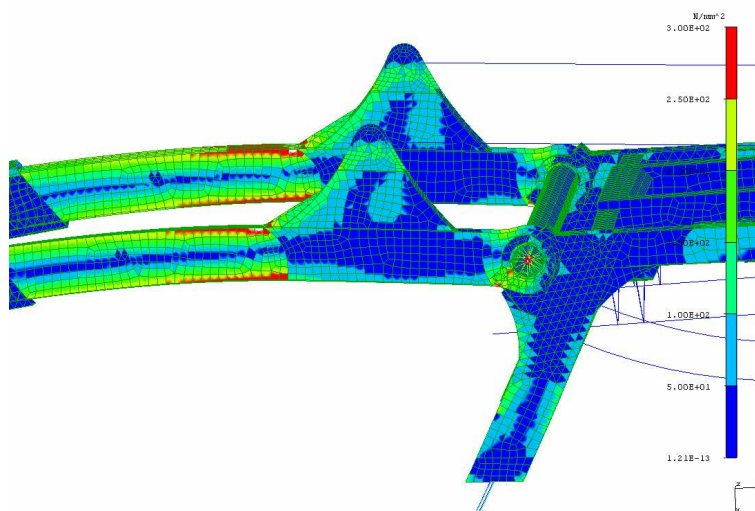


Rys. 4. Rozkład przemieszczeń w węzłach modelu obliczeniowego urządzenia bramowego

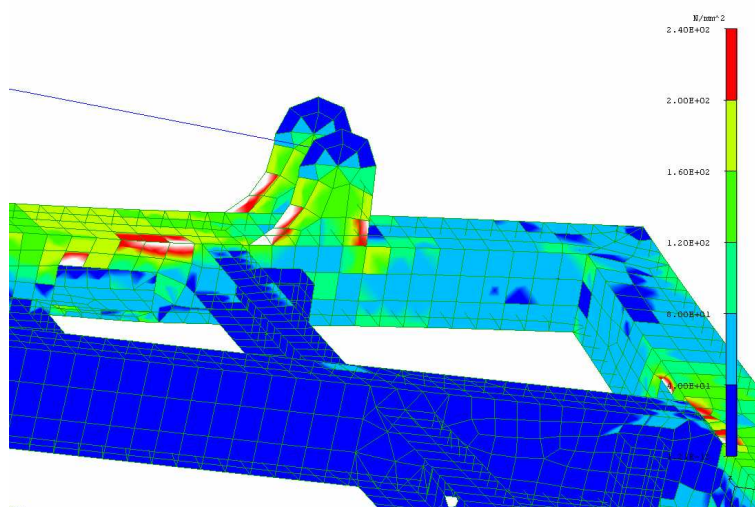
*Fig. 4. Distribution of displacements in the nodes of calculation model of gate device*



Rys. 5. Rozkład naprężeń w modelu obliczeniowym urządzenia bramowego przy ograniczeniu skali do 240 MPa  
 Fig. 5. Distribution of stresses in calculation model of gate device when the scale is limited to 240 MPa

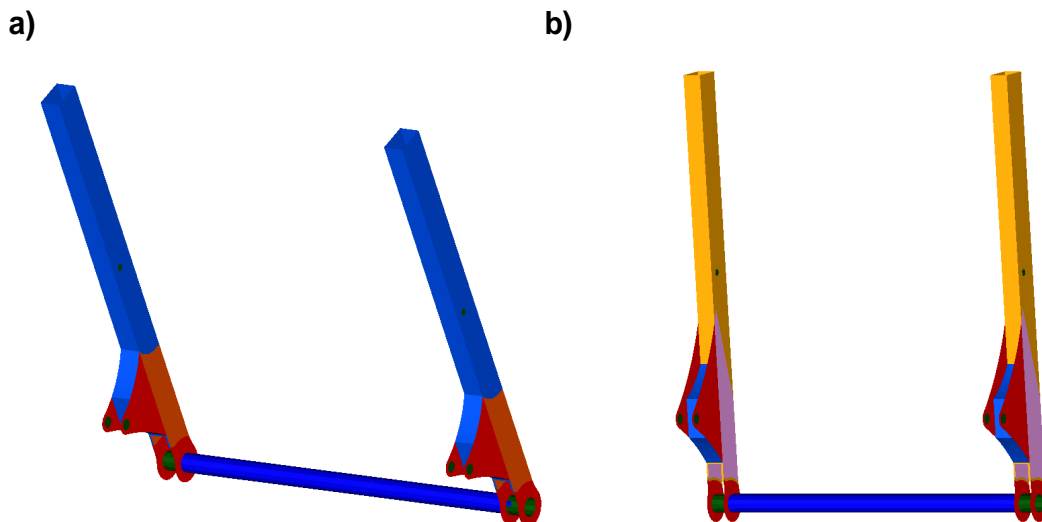


Rys. 6. Rozkład naprężeń w modelu obliczeniowym urządzenia bramowego przy ograniczeniu skali do 300 MPa – widok z boku na część konstrukcji ramy uchylnej  
 Fig. 6. Distribution of stresses in calculation model of gate device when the scale is limited to 300 MPa – side view on the part of construction of loading frame

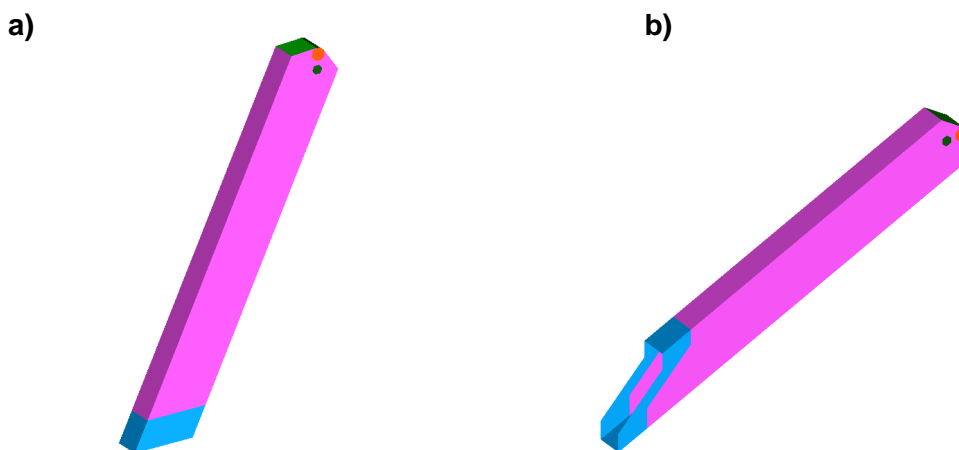


Rys. 7. Rozkład naprężeń w modelu obliczeniowym urządzenia bramowego przy ograniczeniu skali do 240 MPa – widok na przednią część ramy głównej  
 Fig. 7. Distribution of stresses in calculation model of gate device when the scale is limited to 240 MPa – view on the front part of main frame





Rys. 8. Zmodyfikowany model bryłowy ramy uchylnej: a) przed modyfikacją, b) po modyfikacji  
 Fig. 8. Modified solid model of loading frame: a) before modifying, b) after modifying



Rys. 9. Zmodyfikowany model bryłowy ramienia teleskopowego: a) przed modyfikacją, b) po modyfikacji  
 Fig. 9. Modified solid model of telescopic arm: a) before modifying, b) after modifying

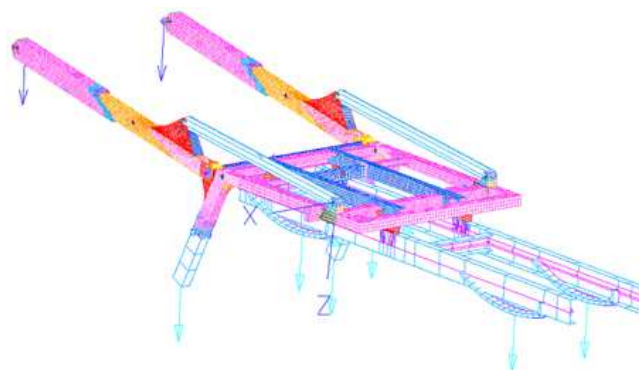
#### 4. Zmiany konstrukcyjne

Po przeprowadzeniu analizy wyteżenia urządzenia bramowego zaproponowano zmiany konstrukcyjne w ramie nośnej i uchylnej w celu zmniejszenia występujących koncentracji naprężeń.

W ramie uchylnej (rys. 8) boczne blachy mocowania siłownika wzdłuż profilu ramy uchylnej zostały wzmocnione żebrami (kolor czerwony). Spowodowało to jednocześnie wzmocnienie profilu ramy uchylnej. Również grubość profilu ramy uchylnej (oznaczonej kolorem żółtym na rys. 8) została zwiększona z 5 mm do 6 mm. Zmiany konstrukcyjne w ramie uchylnej spowodowały wykonanie dodatkowego wcięcia w ramieniu teleskopowym (rys. 9). Dodatkowo wprowadzono wzmocnienie krawędzi profilu ramienia teleskopowego blachą o grubości 4 mm (oznaczonej kolorem niebieskim rys. 9).

Urządzenie bramowe po wprowadzeniu poprawek zostało poddane analizie tylko dla przypadku, w którym wystąpiło największe wyteżenie konstrukcji. Przypadek ten to obciążenie konstrukcji masą, która wynosiła 1650 kg, pochodzącą od masy kontenera i jego ładunku. Rama uchylna

została maksymalnie wychylona do tyłu, a ramiona teleskopowe maksymalnie wysunięte (rys. 10). Utwierdzenie przyłożono w sześciu węzłach konstrukcji, w miejscu kół samochodu i w nogach podporowych.

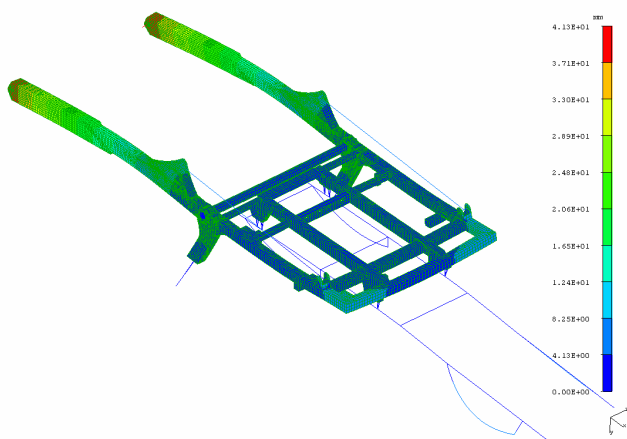


Rys. 10. Przebudowany model obliczeniowy konstrukcji nośnej urządzenia bramowego z zadanymi wektorami obciążenia i odebranymi kierunkami przemieszczeń  
 Fig. 10. Rebuilt calculation model of supporting structure of gate device with assigned vectors of loading and received directions of displacements

## 5. Analiza wyników obliczeń modelu po wprowadzeniu zmian

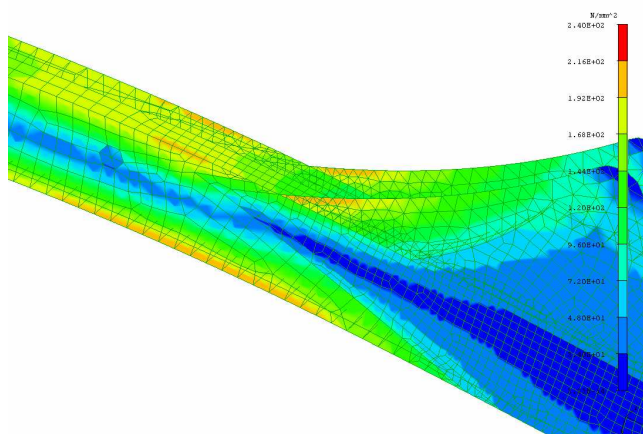
Na rys. 11 przedstawiono charakter wartości przemieszczeń elementów konstrukcji ramy. Największe wartości przemieszczeń wystąpiły w ramionach teleskopowych, w okolicy uchwytów zawieszania kontenera. Wartość maksymalnego przemieszczenia wynosi 41,3 mm. Na rys. 12 przedstawiono rozkład naprężeń zredukowanych. Maksymalne naprężenia w konstrukcji nośnej osiągnęły wartość 216 MPa. To znaczy po wprowadzeniu poprawek zmniejszyły się o 20%.

Węzły o dużej koncentracji naprężeń zlokalizowane są również w uchwytach mocowania siłownika ramy głównej z ramą uchylną. Jednak po wprowadzeniu i w tym miejscu modyfikacji, naprężenia nie przekraczają 240 MPa. Przedstawiono to w powiększeniu na rys. 13.



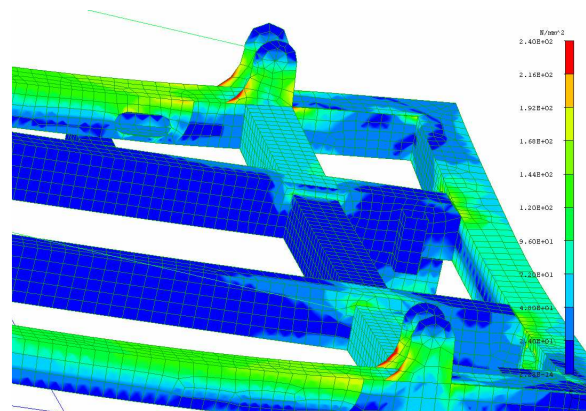
Rys. 11. Rozkład przemieszczeń w węzłach modelu obliczeniowego urządzenia bramowego po wprowadzeniu zmian konstrukcyjnych

*Fig. 11. Distribution of displacements in nodes of calculation model of gate device after introducing constructional changes*



Rys. 12. Rozkład naprężeń w modelu obliczeniowym urządzenia bramowego po wprowadzeniu zmian konstrukcyjnych, przy ograniczeniu skali do 240 MPa – widok na część ramy uchylnej

*Fig. 12. Distribution of stresses in calculation model of gate device after introducing constructional changes when the scale is limited to 240 MPa – view on the part of loading frame*



Rys. 13. Rozkład naprężeń w modelu obliczeniowym urządzenia bramowego po wprowadzeniu zmian konstrukcyjnych przy ograniczeniu skali do 240 MPa – widok na przednią część ramy głównej

*Fig. 13. Distribution of stresses in calculation model of gate device after introducing constructional changes when the scale is limited to 240 MPa – view on the front part of main frame*

## 6. Posumowanie

Optymalizację modelu konstrukcji można przeprowadzić za pomocą MES. Metoda ta pozwala również analizować przemieszczenia, naprężenia i siły, z uwzględnieniem sztywności konstrukcji. Omawiając dyskretyzację modelu MES należy zwrócić uwagę także na pracochłonność przygotowania modeli i na trudności dokładnego odwzorowania rzeczywistych warunków pracy maszyny. Po wprowadzeniu zmian konstrukcyjnych lub nowego przypadku obciążenia konieczna jest przebudowa modeli. W związku z tym metoda ta jest bardzo pracochłonna. W obliczeniach MES projektowanego urządzenia bramowego wyznaczano m.in. naprężenia zredukowane (wg hipotezy wytrzymałościowej Hubera–Misesa), przemieszczenia i reakcje (w miejscu występowania kół i podpór urządzenia bramowego). W wyniku przeprowadzonych obliczeń i symulacji komputerowych uzyskano zbiór wyników w postaci rozkładu naprężeń w konstrukcji. Największą jednak korzyścią była możliwość zoptymalizowania konstrukcji w aspekcie wytrzymałościowym. Polegała ona na modyfikacji konstrukcji prowadząca do uzyskania rozwiązania nie przekraczającego dopuszczalnego rozwiązania. Modyfikując tylko konstrukcje ramy uchylnej, zadając wzmocnienia w różnych miejscach nie uzyskano zadawalających wyników. Dlatego należało dodać zebro wzdłuż profilu ramy uchylnej (rys. 8), wywołało to zmianę ramienia teleskopowego. Wyniki tej optymalizacji posłużą do budowy prototypu maszyny. Rozkład naprężeń uzyskany podczas obliczeń będzie sugerował rozmieszczenie punktów pomiarowych w celu sprawdzenia rzeczywistych naprężeń.

## 7. Literatura

- [1] Szczepaniak J. i in.: Mobilny system bramowy załadunku o DMC 3,5 t. Zad. 1.4. Dyskretyzacja modelu geometrycznego konstrukcji nośnej i obliczenia wytrzymałościowe MES w aspekcie doboru optymalnych elementów konstrukcji. PIMR, Poznań 2006
- [2] Szczepaniak M.: Mobilny system bramowy do załadunku i rozładunku o DMC do 3,5 ton.
- [3] Zienkiewicz O. C.: Metoda elementów skończonych. Arkady, Warszawa 1972
- [4] I-DEAS. Help library bookshelf. Tutorials. Pliki pomocy do systemu I-DEAS.