

Symulacyjne badania numeryczne wytrzymałości konstrukcji adapterów taboru bimodalnego do ruchu „S” i „SS”

W artykule przedstawiono wybrane wyniki badań symulacyjnych wytrzymałości konstrukcji adapterów i elementów połączenia adapter – naczepa. Projekt konstrukcyjny opracowano w ramach realizacji badawczego projektu rozwojowego nr R1003503 dotyczącego wykonania prototypu taboru bimodalnego przeznaczonego do ruchu „S” i „SS”.

1. Wstęp

Transport kombinowany kolejowo – drogowy jest dziedziną transportu, która łączy dwie gałęzie transportu, kolejowy i drogowy. Towarowy transport drogowy charakteryzuje się dużą mobilnością, łatwym dostępem do infrastruktury, drogowej i realizuje przewozy od „drzwi do drzwi”. Cechy negatywne towarowego transportu drogowego to intensywna degradacja dróg kołowych, degradacja środowiska (duża emisja CO₂, drgania i hałas), wypadki drogowe oraz inne czynniki tworzące tzw. koszty zewnętrzne transportu.

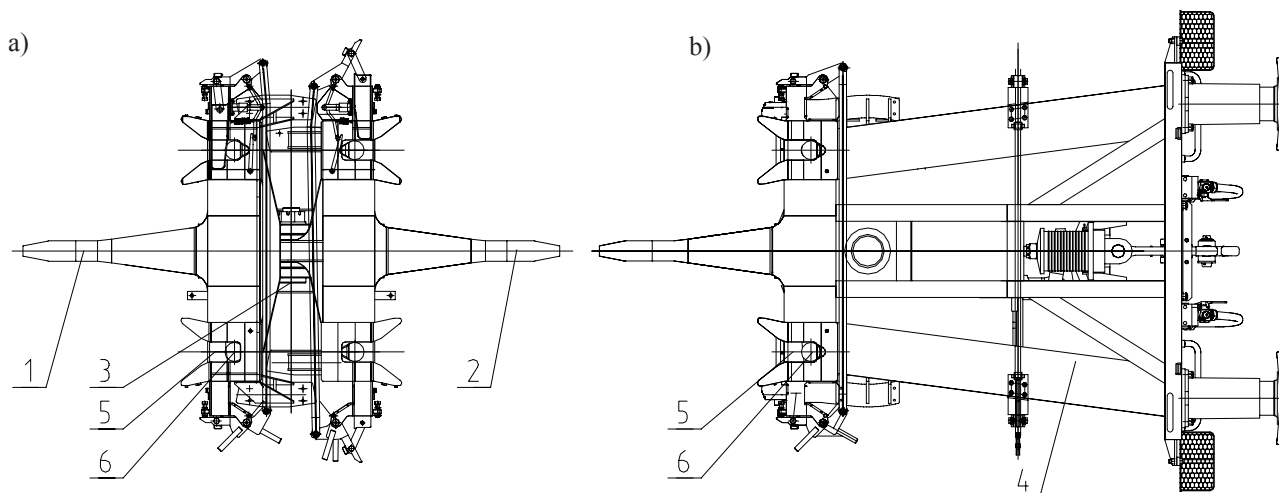
Transport kolejowy jest transportem ekologicznym i energooszczędnym generującym ponad czterokrotnie mniejsze koszty zewnętrzne.

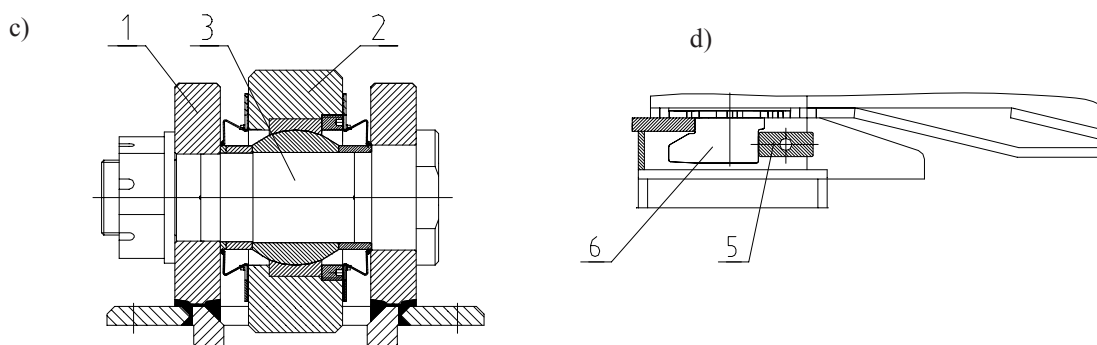
Jednym z systemów transportowych pozwalających realizować przewozy towarowe w ruchu kombinowanym, kolejowo – drogowym jest system bimodalny, który łączy pozytywne cechy transportu drogowego i kolejowego.

W Instytucie Pojazdów Szynowych „TABOR” w Poznaniu w latach 1993 – 1995 opracowano dokumentację techniczną oraz prototyp taboru bimodalnego przystosowanego do jazdy z prędkością maksymalną 160 km/h.

Układy biegowe wagonów towarowych są w zdecydowanej większości przystosowane do ruchu „S” i „SS” to jest do prędkości 100 km/h przy nacisku osi na tor 225 KN oraz 120 km/h przy nacisku osi zestawu kołowego 200 KN.

W 2011 roku wykonano prototyp taboru bimodalnego przystosowany do ruchu „S” i „SS” na bazie standardowych wózków Y25 [1]. W zbudowanym prototypie zastosowano zmodernizowane adaptery. W adapterze środkowym wprowadzono połączenie adaptera dolnego z górnym za pośrednictwem typowego przegubu kulistego a w adapterze końcowym zmieniono profile i układ elementów nośnych ramy adaptera, w odniesieniu do adapterów opracowanych dla taboru przeznaczonego do prędkości ruchu





Rys. 1. Elementy konstrukcyjne systemu: a) adapter środkowy, b) adapter końcowy, c) szczegół połączenia między adapterami górnym i dolnym, d) szczegół połączenia naczepy z adapterem
 - adapter dolny 1, - adapter górny 2, - sworzень połączenia adapterów 3, - adapter końcowy 4, - klin ryglujący 5, - czop sprzegowy naczepy 6.

160 km/h.

Zmodernizowana konstrukcja adapterów powstała w oparciu o szczegółową analizę numeryczną wytrzymałości konstrukcji adapterów ze szczególnym uwzględnieniem ograniczenia masy własnej. Wybrane przykłady wyników przeprowadzonych analiz przedstawiono w dalszej części opracowania.

2. Obiekt badań

Obiektem badań symulacyjnych jest konstrukcja adaptera środkowego i końcowego oraz elementy połączenia adapter – naczepa przedstawione na rysunku 1, gdzie odpowiednio oznaczono: a, b, c, d.

Badania symulacyjne przeprowadzono dla obciążeń określonych w przepisach UIC 597 [2] oraz UIC 577 [3] i wytyczne konstruktora prowadzącego, które określają podstawowe wielkości sił jakie należało uwzględnić w badaniach. Siły zewnętrzne obciążające konstrukcje adapterów są wynikiem oddziaływania ciężaru naczepy zamocowanej na adapterach, obciążenie pionowe oraz oddziaływaniem występującym pomiędzy sąsiednimi naczepami w ruchu pociągu, obciążenia wzdłużne.

3. Zakres i metodyka badań oraz kryteria oceny

Zgodnie z wymaganiami [2] zespoły nośne składu bimodalnego winny zapewnić wytrzymałość konstrukcji w zakresie obciążeń:

- obciążenia eksploatacyjne, ściskanie i rozciąganie pociągu w stanie próżnym i ładownym siłą ± 850 kN,
- przepisy [2] obligują również do wykonania badań wytrzymałości konstrukcji pod obciążeniem nadzwyczajnym rozciąganie składu pociągu w stanie próżnym siłą 1700 kN.

Symulacyjne badania wytrzymałości rozszerzono poza obszar wymagań stawianych w [2] i przeprowadzono analizę wytrzymałości również dla następujących stanów obciążeń:

- ściskanie składu pociągu w stanie próżnym i ładownym siłą 1200 kN,

Konstrukcja adapterów i elementów połączenia między adapterami wymaga zastosowania różnych materiałów. Adaptery wykonano ze stali niskostopowej S460N (18G2V) o podwyższonej wytrzymałości. Sworzень łączący adapter dolny z górnym, klin ryglujący i czop naczepy ze stali stopowej do ulepszenia cieplnego 42CrMo4 (40HM). Podstawowe charakterystyki tych materiałów przedstawiono w tabeli 1.

Do badań symulacyjnych utworzono modele obliczeniowe poszczególnych zespołów i elementów, które pokazano na rysunkach

Charakterystyki materiałów adaptera i elementów połączeniowych

Tabela 1

Element	Typ stali	Grubość elementu [mm]	Granica plastyczności Re [MPa]	Wytrzymałość doraźna Rm [MPa]
adapter	S460N (18G2V)	16 - 30	460	580 – 740
klin ryglujący, sworzень, czop naczepy	42CrMo4 (40HM)	40 -160	880	1030

Wartości naprężeń dopuszczalnych dla adapterów

Tabela 2

Gatunek stali	Grubość [mm]	Naprężenia dopuszczalne δ_{dop} [MPa]	
		Obszar spoin czołowych	Materiał rodzimy
E460JR (18G2AV)	16 - 30	409	450

Modele podzielono na odpowiednie elementy skończone oraz obciążono siłami czynnymi i reakcjami wynikającymi z warunków równowagi.

Badania modeli przeprowadzono metodą numeryczną korzystając z programu obliczeniowego COSMOS [4, 5, 6, 7]. Analizie wytrzymałościowej podlegają wartości naprężeń zredukowanych δ_{red} w poszczególnych miejscach konstrukcji, które są wyznaczone zgodnie z hipotezą wyężeniową energii odkształcenia postaciowego Hubera – Misesa. Wartości naprężeń nie mogą w zadanym punkcie przekroczyć wartości dopuszczalnych δ_{dop} określonych dla danego gatunku materiałów.

Dla konstrukcji spawanej adapterów wartości naprężeń dopuszczalnych podano w tabeli 2.

Dla badań wytrzymałości konstrukcji pod obciążeniem eksploatacyjnym za kryterium oceny przyjęto graniczny poziom naprężeń o wartości:

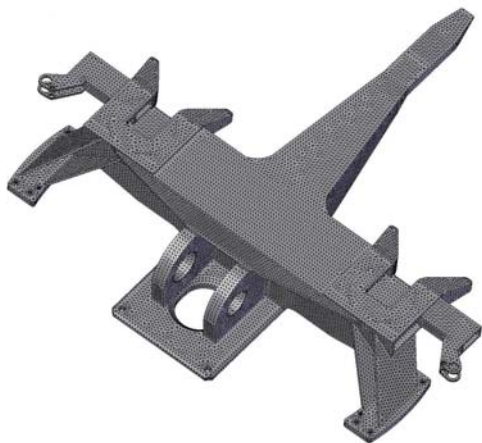
$$\delta_{red} = \delta_{dop} < Re \quad (1)$$

Dla obciążeń nadzwyczajnych obowiązuje kryterium nieprzekroczenia granicznej wytrzymałości doraźnej R_m . W tym przypadku obciążona konstrukcja może ulec niewielkim odkształceniom trwałym, przy czym nie może dojść do rozerwania konstrukcji zwłaszcza przy próbie rozciągania siłą 1700 kN.

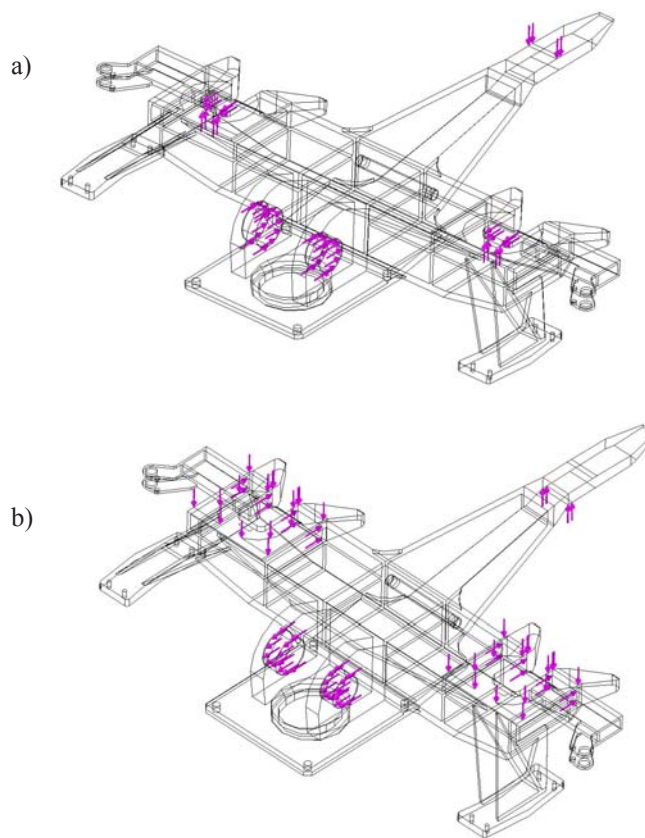
4. Wyniki badań

Zakres przeprowadzonych badań symulacyjnych obejmował obciążenie konstrukcji zespołów nośnych taboru maksymalnymi siłami spotykanymi podczas eksploatacji oraz obciążeniem nadzwyczajnym przyłożonym do konstrukcji podczas statycznych stanowiskowych badań wytrzymałościowych. Ze względu na obszerny zakres analizowanych przypadków obciążeń uwzględnionych w przeprowadzonych badaniach symulacyjnych w niniejszym opracowaniu przedstawiono wyniki badań dla obciążeń nadzwyczajnych.

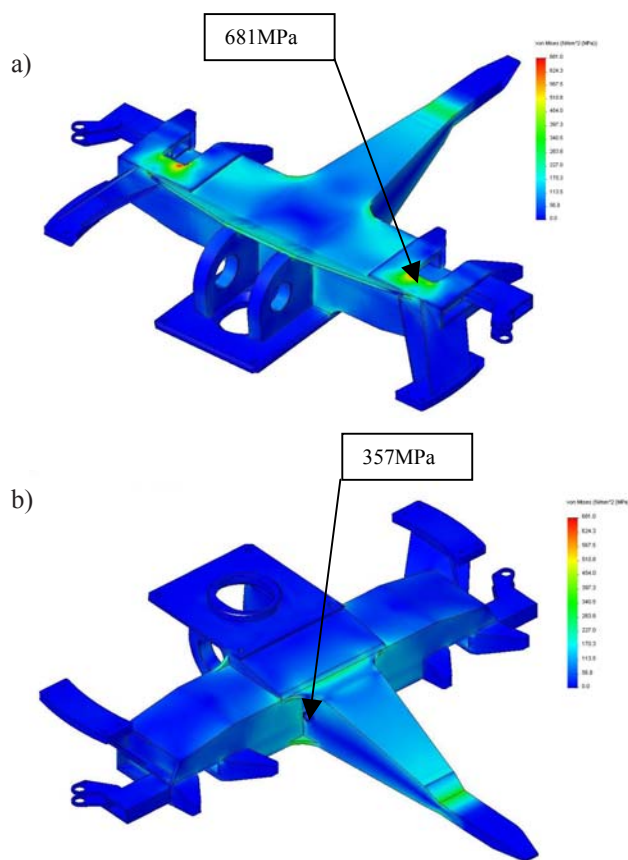
Modele obliczeniowe zespołów i elementów konstrukcji nośnych oraz rozkład naprężeń zredukowanych pokazano na rysunkach 2÷24.



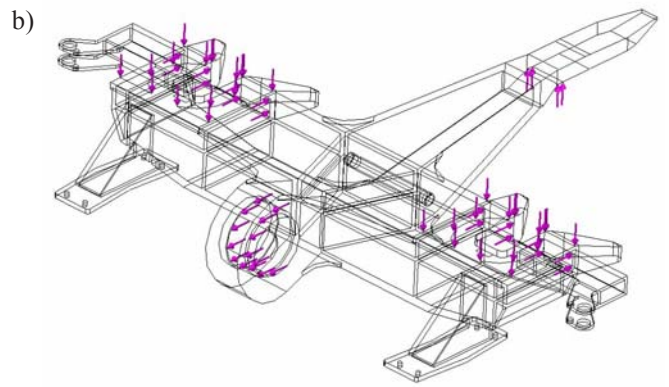
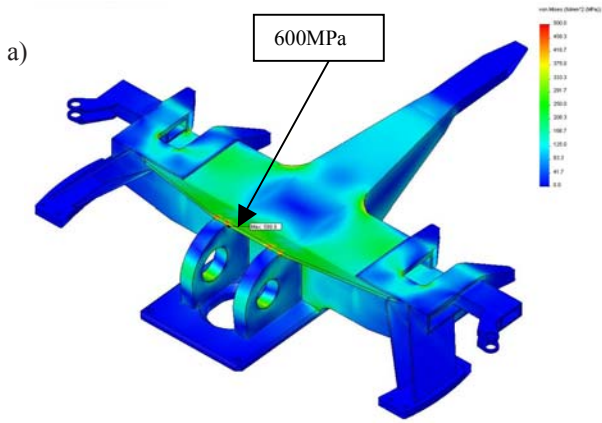
Rys. 2. Podział modelu obliczeniowego adaptera dolnego na elementy skończone



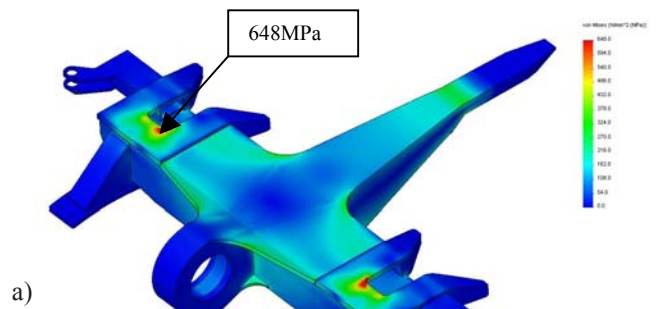
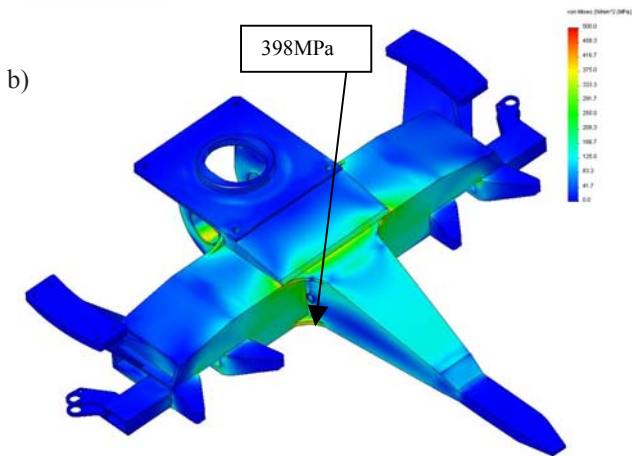
Rys. 3. Sposób przyłożenia sił do modelu: a) obciążenie wzdłużne ściskające b) obciążenie wzdłużne rozciągające



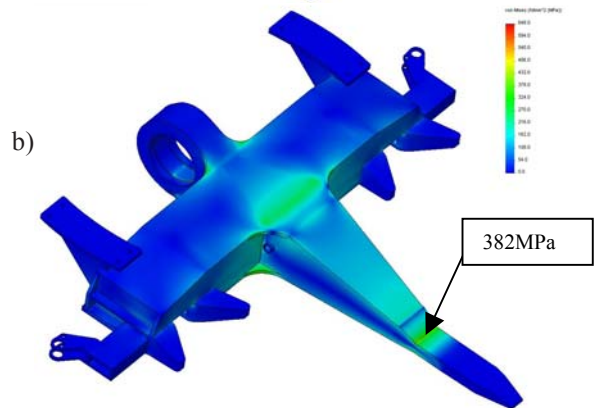
Rys. 4. Rozkład naprężeń zredukowanych w adapterze dolnym przy ścisaniu siłą 1200kN
a) widok z góry, b) widok z dołu



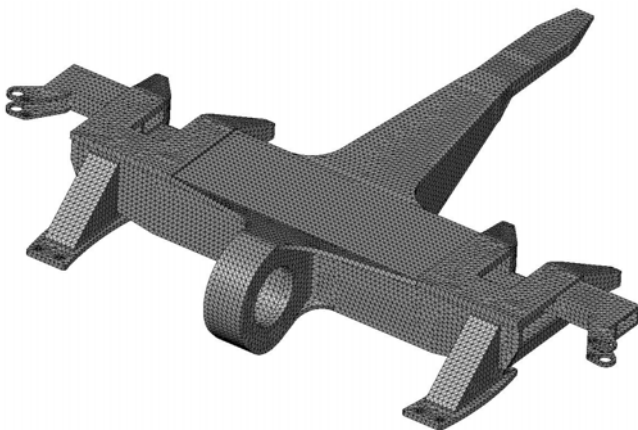
Rys. 7. Sposób przyłożenia sił do modelu: a) obciążenie wzdłużne ściskające b) obciążenie wzdłużne rozciągające



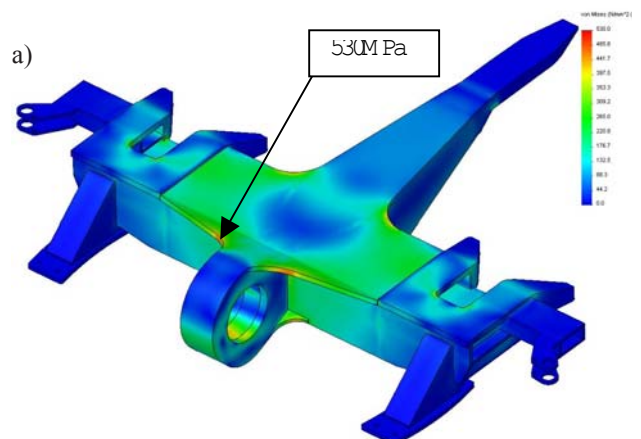
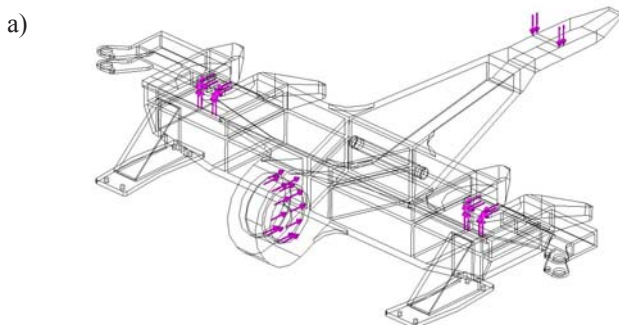
Rys. 5. Rozkład naprężeń zredukowanych w adapterze dolnym przy rozciąganiu siłą 1700kN
a) widok z góry, b) widok z dołu

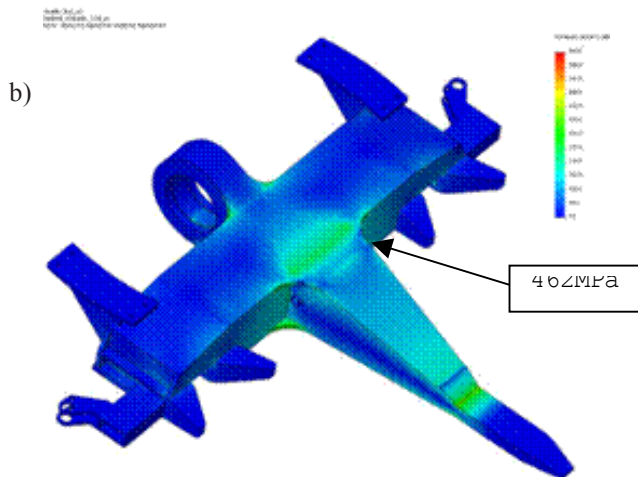


Rys. 8. Rozkład naprężeń zredukowanych w adapterze górnym powstający przy ściskaniu siłą 1200kN: a) widok z góry, b) widok z dołu

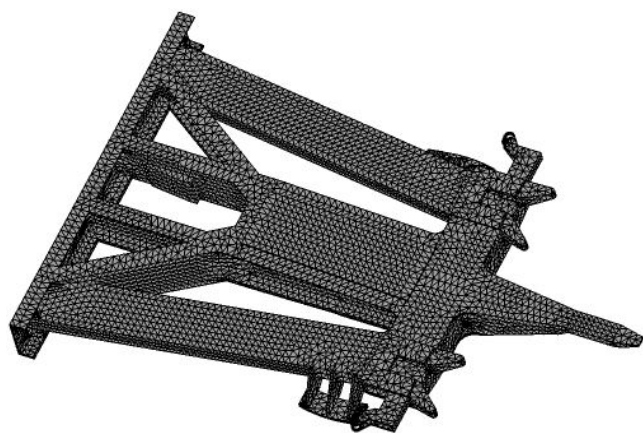


Rys. 6. Podział modelu obliczeniowego adaptera górnego na elementy skończone

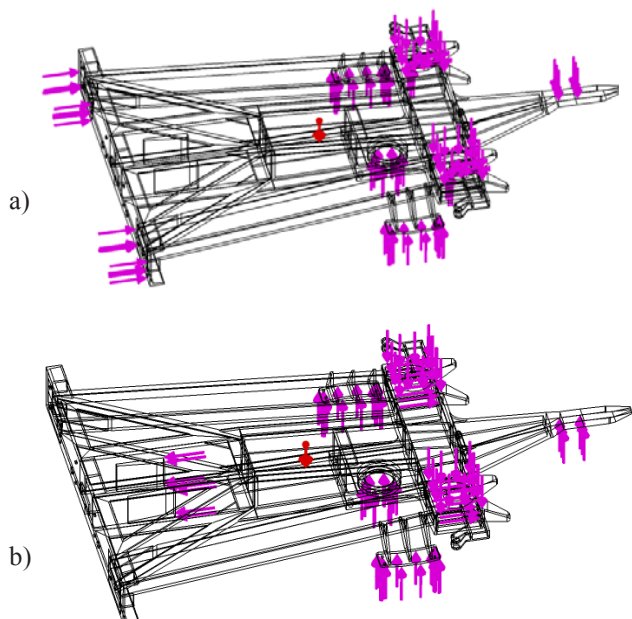




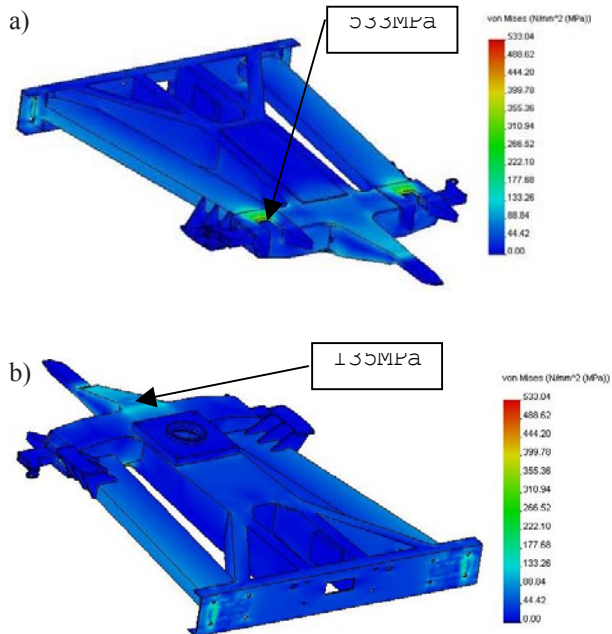
Rys. 9. Rozkład naprężeń zredukowanych w adapterze górnym przy rozciąganiu siłą 1700kN
a) widok z góry, b) widok z dołu



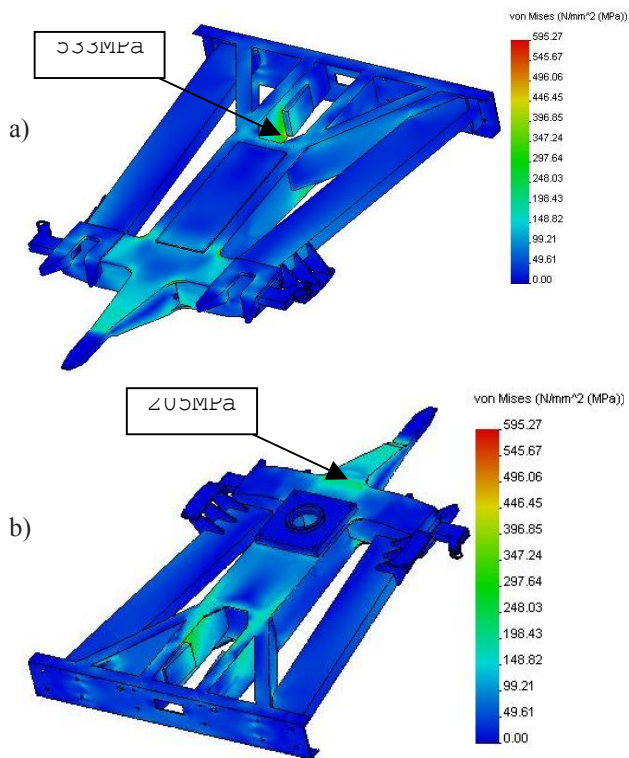
Rys. 10. Podział modelu obliczeniowego adaptera końcowego na elementy skończone



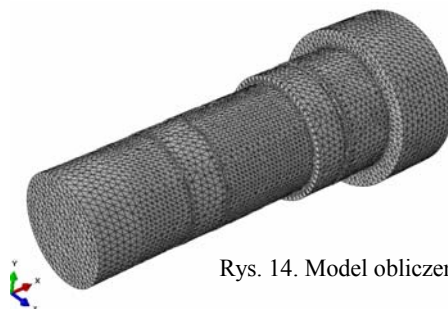
Rys. 11. Sposób przyłożenia sił do modelu: a) obciążenie wzdłużne ściskające b) obciążenie wzdłużne rozciągające



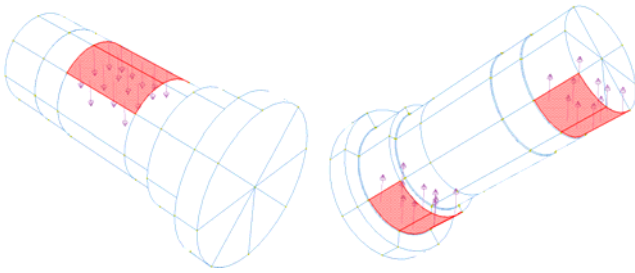
Rys. 12. Rozkład naprężeń zredukowanych w adapterze końcowym powstający przy ścisaniu siłą 1200kN: a) widok z góry, b) widok z dołu



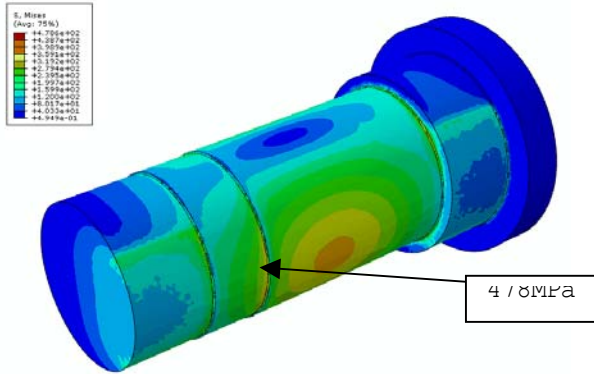
Rys. 13. Rozkład naprężeń zredukowanych w adapterze końcowym przy rozciąganiu siłą 1700kN
a) widok z góry, b) widok z dołu



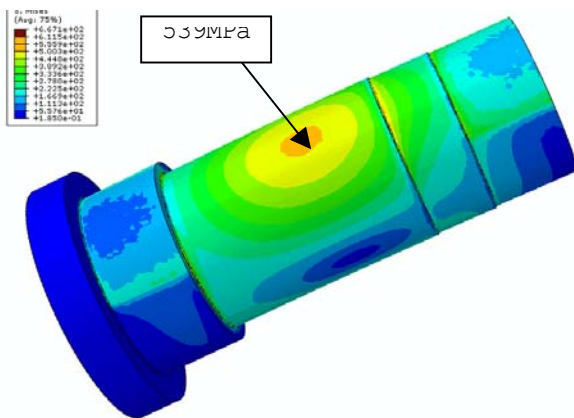
Rys. 14. Model obliczeniowy sworznia



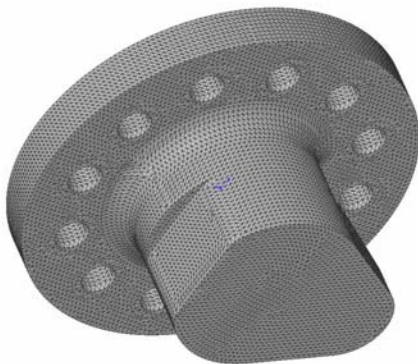
Rys. 15. Przykładowy schemat obciążenia wzdłużnego sworznia



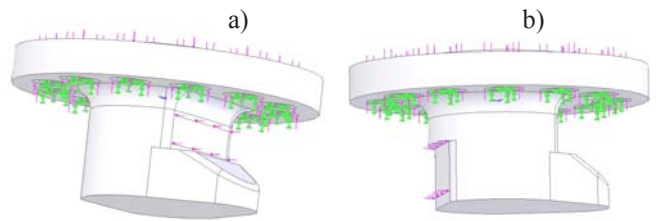
Rys. 16. Rozkład naprężeń zredukowanych konstrukcji sworznia od ściskania w osi zderzaków siłą 1200 kN i jednoczesnego działania obciążenia pionowego



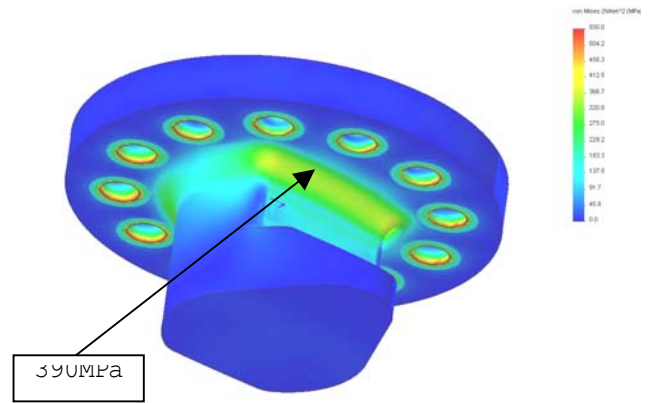
Rys. 17. Rozkład naprężeń zredukowanych w [MPa] konstrukcji sworznia od rozciągania siłą 1700 kN w osi sprzęgu



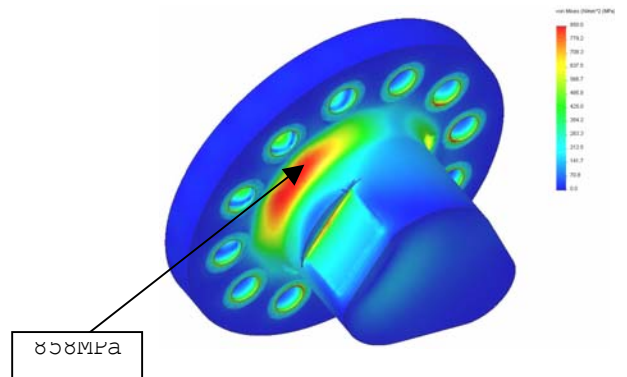
Rys. 18. Model obliczeniowy czopa



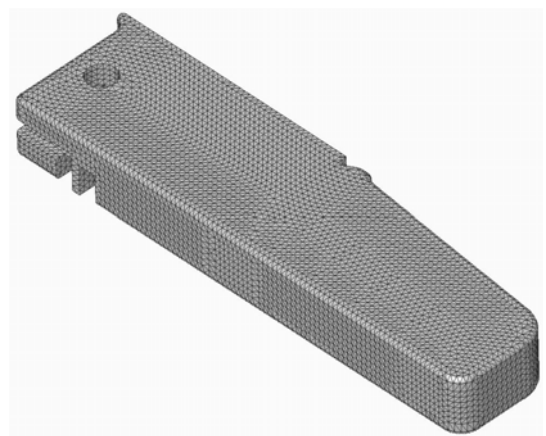
Rys. 19. Schemat obciążeń czopa: a) ściskanie, b) rozciąganie



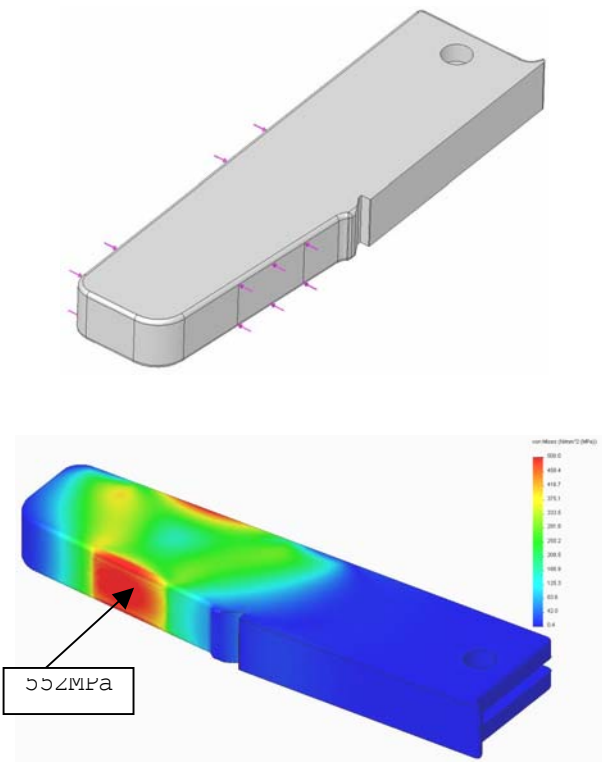
Rys. 20. Rozkład naprężeń zredukowanych w czopie powstający przy ściskaniu siłą 1200 kN



Rys. 21. Rozkład naprężeń zredukowanych w czopie powstający przy rozciąganiu siłą 1700kN



Rys. 22. Model obliczeniowy klina



Rys. 24. Rozkład naprężeń zredukowanych w klinie ryglującym powstających przy rozciąganiu siłą 1700kN w osi sprzęgu

Wyniki przeprowadzonych badań symulacyjnych wytrzymałości konstrukcyjnej adapterów wykazały, że wymagane kryteria oceny zostały spełnione zarówno dla obciążeń eksploatacyjnych pociągu jak również dla próbných obciążeń nadzwyczajnych.

Zarejestrowane maksymalne naprężenia dla obciążeń eksploatacyjnych nie przekraczają granicznej wartości R_e a dla obciążeń nadzwyczajnych wartości R_m .

Literatura

- [1] Medwid M., Stawecki W., Czerwiński J., Cichy R.: System transportu bimodalnego przystosowany do ruchu „S” i „SS”. *Pojazdy szynowe* 4/2011.
- [2] UIC 597 System transportu kombinowanego szynowo - drogowego. *Naczepy wózkowe. Charakterystyki*. Wydanie 1, styczeń 1991.
- [3] UIC 577 Wagony towarowe. *Obciążenia*. Wydanie 5, grudzień 2005.
- [4] OR 9322 Sprawozdanie z obliczeń wytrzymałościowych elementów połączeniowych w pociągu bimodalnym. *Prace niepublikowane Instytutu Pojazdów Szynowych „TABOR”, listopad 2007.*
- [5] OR 9323 Sprawozdanie z obliczeń wytrzymałościowych adaptera dolnego zestawu bimodalnego – BMDc. *Prace niepublikowane Instytutu Pojazdów Szynowych „TABOR”, listopad 2007.*
- [6] OR 9324 Sprawozdanie z obliczeń wytrzymałościowych adaptera górnego zestawu bimodalnego – BMDc. *Prace niepublikowane Instytutu Pojazdów Szynowych „TABOR”, listopad 2007.*
- [7] OR 9325 Sprawozdanie z obliczeń wytrzymałościowych adaptera końcowego zestawu bimodalnego – BMDc. *Prace niepublikowane Instytutu Pojazdów Szynowych „TABOR”, listopad 2007.*