

**Grzegorz Koszałka\***, **Andrzej Niewczas\***, **Hubert Dębski\***, **Maciej Kaczor\*\***,  
**Leszek Taratuta\*\***, **Andrzej Krzyżak**

## **UNIWERSALNA NACZEPA O ZMIENNEJ DŁUGOŚCI DO PRZEWOZU MASZYN**

**Streszczenie.** W artykule przedstawiono założenia konstrukcyjne oraz zastosowane rozwiązania w nowo konstruowanej naczepie do przewozu ładunków nienormatywnych, w szczególności maszyn samojazdnych. Podczas projektowania naczepy szczególny nacisk położono na jej uniwersalność. Naczepa może służyć do przewozu ładunków ponadgabarytowych dzięki możliwości jej wydłużenia oraz poszerzenia, natomiast cięższych od normatywnych – dzięki zastosowaniu 4 osi. Zaletą naczepy jest to, że w stanie złożonym spełnia wszystkie wymagania stawiane pojazdom normatywnym, a więc może poruszać się po drogach i przewozić ładunki normatywne bez specjalnych zezwoleń. W artykule zaprezentowano również przykłady wykorzystania analiz MES w procesie konstruowania naczepy.

**Słowa kluczowe:** transport samochodowy, ładunek nienormatywny, naczepa o zmiennej długości, obliczenia wytrzymałościowe, MES

### **Wstęp**

Celem prezentowanego projektu realizowanego przez Wielton SA, największego polskiego producenta naczep i przyczep, we współpracy z Politechniką Lubelską było opracowanie nowej konstrukcji i przygotowanie produkcji niskopodwoziowej naczepy umożliwiającej przewóz ładunków ponadnormatywnych i ponadgabarytowych, w szczególności ciężkich maszyn budowlanych, rolniczych i wojskowych, konstrukcji stalowych, zbiorników i innych ładunków ponadgabarytowych.

Zakres prac obejmował pełny obszar prac projektowych, począwszy od badań marketingowych, poprzez przegląd istniejących na rynku rozwiązań i sformułowanie założeń funkcjonalnych i konstrukcyjnych oraz opracowanie konstrukcji, po zbudowanie prototypu i jego badania oraz przygotowanie dokumentacji technologicznej.

Niniejszy artykuł prezentuje krótki opis powyższych prac, koncentrując się głównie na zagadnieniach konstrukcyjnych, w tym wykorzystaniu metody elementów skończonych w procesie projektowania, oraz opisie opracowanej naczepy.

---

\* *Politechnika Lubelska, Wydział Mechaniczny, g.koszalka@pollub.pl, a.niewczas@pollub.pl, h.debski@pollub.pl*

\*\* *Wielton SA, m.kaczor@wielton.com.pl, l.taratuta@wielton.com.pl*

## 1. Proces projektowania

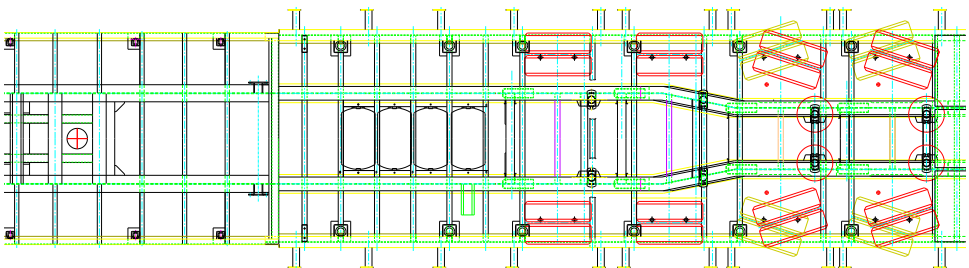
Na podstawie badań potrzeb i oczekiwań przyszłych użytkowników założono, że naczepa powinna charakteryzować się rozwiązaniami umożliwiającymi przewóz nienormatywnych ładunków, dzięki możliwości wydłużenia i poszerzenia pojazdu, oraz że w stanie „złożonym” naczepa powinna spełniać wszystkie wymagania stawiane pojazdom standardowym. Zastosowanie takiego rozwiązania poprawia funkcjonalność naczepy, stwarzając możliwość dostosowania długości i szerokości platformy ładunkowej do wymiarów przewożonego ładunku. Jeżeli wymiary ładunku tego nie wymagają lub ładunek nie jest przewożony, wymiary naczepy mogą zostać zmniejszone do wymiarów zgodnych z przepisami o ruchu drogowym. Ma to zasadnicze znaczenie dla użytkownika, gdyż nie musi on występować o administracyjną zgodę na przejazd naczepy i ponosić związanych z tym kosztów, jeżeli w danej chwili naczepą nie jest przewożony ładunek nienormatywny.

W pierwszej fazie prac zdecydowano, że powinna istnieć możliwość zwiększenia długości naczepy o 5 m, ponad standardową długość, oraz że podstawowa wersja naczepy wyposażona będzie w 4 osie jezdne, przy czym wersja z 3 osiami również będzie równolegle opracowywana, ponieważ część przyszłych użytkowników nie była zainteresowana zwiększoną ładownością naczepy.

W ramach prac badawczo-rozwojowych przeprowadzono analizę różnych rozwiązań konstrukcyjnych poszczególnych podzespołów i całej naczepy pod kątem jej funkcjonalności, niezawodności, bezpieczeństwa eksploatacji oraz kosztów produkcji. Zasadnicze prace konstrukcyjne prowadzone były równolegle w trzech obszarach: konstrukcja ramy nośnej i platformy ładunkowej, konstrukcja układu jezdnych oraz konstrukcja urządzeń pomocniczych.

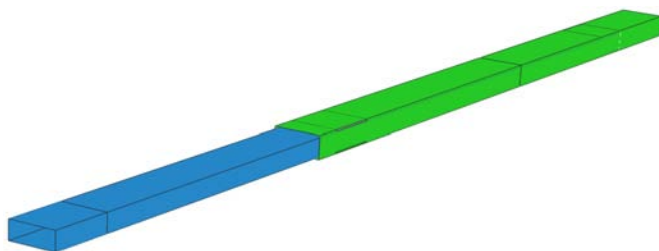
### 1.1. Konstrukcja ramy nośnej i platformy ładunkowej

Wielton SA posiadał duże doświadczenie konstrukcyjne oraz dobrze opanowaną technologię produkcji klasycznych ram składających się z dwóch belek głównych. Dlatego takie rozwiązanie próbowano również zastosować w nowej naczepie (rys. 1). Jednak rozwiązanie takie posiadało wiele wad. Jedną z najpoważniejszych był problem z uzyskaniem założonej zmiany długości naczepy, w przypadku zastosowania skręcanych kół.



Rys. 1. Analizowana koncepcja ramy dwubelkowej

Po przeanalizowaniu różnych koncepcji ramy, zdecydowano się ostatecznie na zastosowanie ramy centralnej. Zaproponowane rozwiązanie opiera się na cienkościennej konstrukcji skrzynkowej o przekroju prostokątnym, złożonej z dwóch niezależnych części, umożliwiających łatwą zmianę długości ramy oraz zapewniających dobrą sztywność konstrukcji. Schemat zaproponowanego rozwiązania przedstawiono na rys. 2. Konstrukcję ramy zaprojektowano w taki sposób, aby część tylna będąca podstawowym elementem nośnym konstrukcji, do której zamocowane będą osie jezdne pojazdu, zapewniała podparcia dla części przedniej, z którą na stałe połączona będzie płyta sprzęgu z siodełkiem ciągnika siodłowego. Zmiana długości ramy następuje w wyniku wsuwania i wysuwania części przedniej z części tylnej ramy.

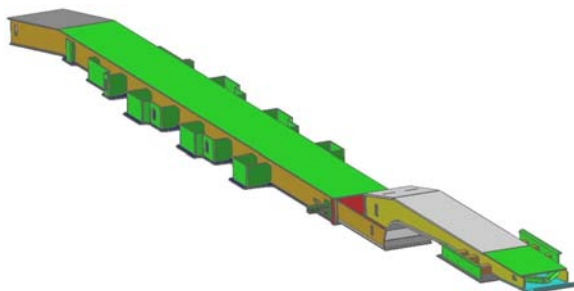


**Rys. 2.** Schemat rozsuwanej centralnej ramy skrzynkowej

Decydujący wpływ na przyjęte wymiary zewnętrzne ramy miały uwarunkowania konstrukcyjne. Szerokość tylnej części ramy ograniczona była możliwością zastosowania osi jezdnej ze skrętnymi kołami bliźniaczymi. Z kolei przy doborze wysokości ramy ograniczeniem było dążenie do uzyskania możliwie najniższej wysokości platformy ładunkowej. Biorąc pod uwagę powyższe ograniczenia przyjęto zewnętrzne wymiary tylnej części ramy i założono, że nie będą one podlegały dalszym modyfikacjom, natomiast parametrem pozwalającym wpływać na zmianę charakterystyki wytrzymałościowej konstrukcji będą grubości płyt z których wykonana będzie rama. Wymiary zewnętrzne części przedniej ramy wynikać miały z przyjętych wymiarów części tylnej i miały zapewniać prawidłową współpracę obydwu elementów konstrukcji.

Na podstawie powyższych założeń opracowano wstępny projekt ramy (rys. 3). Projekt ten poddano szczegółowej analizie wytrzymałościowej MES, opisaney w następnym rozdziale. Wyniki analiz MES ujawniły pewne niedoskonałości projektu wstępnego – istniały obszary, w których naprężenia znacząco przekraczały wartości granicy plastyczności materiału z jakiego miały być wykonane elementy konstrukcji. Istnienie tak dużych naprężeń wymusiło wprowadzenie zmian w projekcie wstępnym. Największe zmiany wprowadzono w przedniej części ramy: zwiększono grubości górnej i dolnej ścianki belki oraz przekonstruowano obszar przejścia belki przedniej w tzw. łabędzią szyję. Ponadto dodano specjalne płyty poślizgowe, zamocowane w przedniej części tylnej belki. Płyty poślizgowe wprowadzono w celu zwiększenia powierzchni kontaktu pomiędzy tylną i przednią belką, co pozwoliło na znaczne zmniejszenie lokalnych nacisków powierzchniowych.

W podobny sposób konstruowano i sprawdzano, z zastosowaniem MES, wsporniki głównej platformy ładunkowej oraz tzw. balkonu (pomocnicza platforma ładunkowa w przedniej części naczepy, nad siodełkiem, rys. 14).



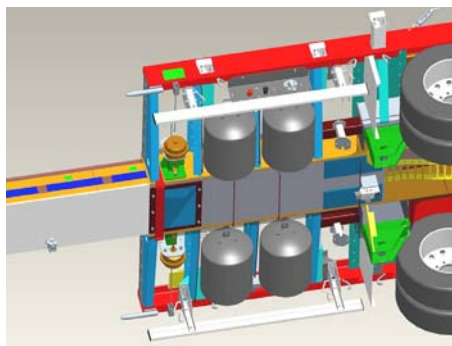
Rys. 3. Model geometryczny rozsuwanej ramy naczepy

Do zwiększania szerokości platformy ładunkowej wykorzystano wysięgniki wysuwane ze wsporników przyspawanych do poprzecznych belek podtrzymujących platformę ładunkową (rys. 6 i 9).

## 1.2. Konstrukcja układu jezdnego

Przeanalizowano wpływ rodzaju zawieszenia: mechanicznego, pneumatycznego i hydraulicznego, oraz liczby osi skrętnych i kątów skręcenia kół na właściwości trakcyjne pojazdu, przy różnych jego długościach. Biorąc pod uwagę wyniki powyższych analiz oraz czynniki ekonomiczne wybrano osie naczepy i ich zawieszenia oraz ogumienie kół. Zdecydowano, że pojazd będzie posiadał zawieszenie pneumatyczne i że pierwsza oś będzie osią podnoszoną. Zdecydowano również, że naczepa będzie dostępna z jedną lub dwoma (dotyczy tylko wersji 4 osiowej) osiami skrętnymi.

Dobrano również układ hamulcowy i pneumatyczny oraz wykonano niezbędne prace konstrukcyjne związane z ich adaptacją w naczepie (rys. 4). Wybrany układ hamulcowy wyposażony jest w system automatycznej regulacji siły hamowania i zapobiegania blokowaniu kół ABS/EBS. Układ pneumatyczny wykorzystywany jest przez układ zawieszenia oraz układ hamulcowy. Ponadto jest on wykorzystywany przez układ blokowania wysuwu ramy (zmiany długości naczepy).



Rys. 4. Składniki układu pneumatycznego zabudowane w naczepie: zbiorniki ciśnieniowe, siłowniki pneumatyczne kołków blokujących wysuw ramy oraz panel kontrolny

### 1.3. Konstrukcja układów pomocniczych

W tym obszarze prac przeprowadzono badania wpływu sposobu mocowania na bezpieczeństwo przewożonego ładunku oraz rozwiązań zmniejszających zagrożenia w ruchu drogowym. Wyniki tych badań wykorzystano w konstrukcji i rozmieszczeniu uchwytów do mocowania przewożonego ładunku oraz przy konstrukcji zabezpieczeń przeciwnajzdowych.

Ponadto dobrano nogi podporowe naczepy oraz płytę sprzęgu z 2,5 calowym sworzniem królewskim, jako wyposażenie standardowe, oraz z 3,5 calowym sworzniem, jako opcję, i wykonano odpowiednie prace konstrukcyjne pozwalające na ich zastosowanie w naczepie.

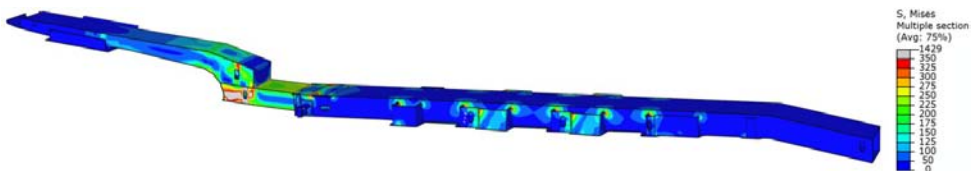
Opracowano konstrukcję najazdów tylnych o regulowanym rozstawie, umożliwiających wjazd na naczepę maszyn samojezdnych (rys. 10), oraz hydraulicznego systemu ich podnoszenia i opuszczania. Skonstruowano także przenośne najazdy umożliwiające wjazd na balkon naczepy (rys. 11) oraz inne układy i akcesoria będące na wyposażeniu naczepy. Wykonano również projekty oświetlenia i oznakowania pojazdu.

## 2. Przykłady wykorzystania MES w konstrukcji naczepy

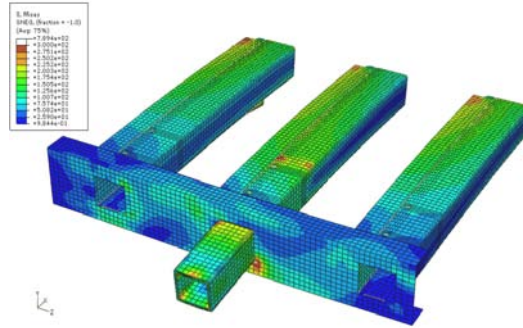
Analizy konstrukcji z wykorzystaniem MES były prowadzone na wszystkich etapach prac konstrukcyjnych. Na podstawie modeli geometrycznych konstrukcji opracowano dyskretne modele numeryczne. W przypadku dużych elementów, takich jak rama centralna naczepy, zdecydowano się na dyskretyzację konstrukcji z wykorzystaniem elementów powłokowych, w pozostałych przypadkach wykorzystano elementy bryłowe. Obliczenia przeprowadzono dla różnych warunków brzegowych odpowiadających różnym możliwym przypadkom obciążenia konstrukcji. Obliczenia numeryczne wykonano z wykorzystaniem programu Abaqus/Standard.

Wyniki obliczeń pozwoliły ustalić obszary, w których występowały największe naprężenia. Jeśli poziomy naprężen uznano za niebezpieczne dla konstrukcji, dokonywano jej modyfikacji. Przy ocenie brano pod uwagę rozkłady naprężenia zredukowanego wg hipotezy wytrzymałościowej Hubera-Misesa-Hencky'ego oraz nacisków kontaktowych – w obszarach styku przedniej i tylnej części ramy.

Wyniki obliczeń numerycznych, dla najmniej korzystnych obciążeń ładunkiem, wstępnego projektu ramy (rys. 3) przedstawiono na rys. 5, natomiast wsporników platformy ładunkowej i poszerzającego ją wysięgnika na rys. 6. W pewnych obszarach modelu naprężenia przekraczały wartości granicy plastyczności materiału. W takich przypadkach konieczna była modyfikacja konstrukcji.

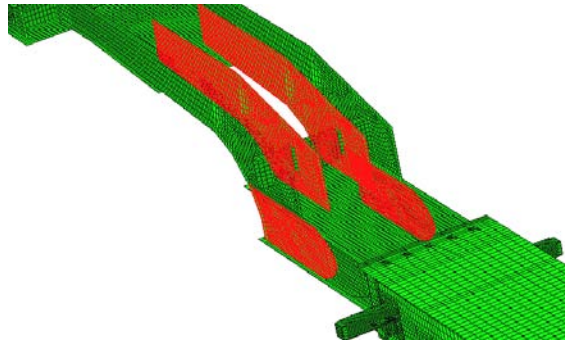


Rys. 5. Rozkład naprężeń w modelu ramy przed modyfikacjami

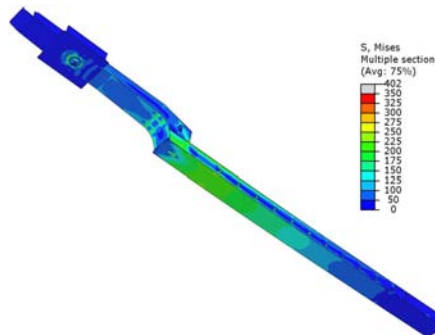


**Rys. 6.** Rozkład naprężeń w modelu belek platformy ładunkowej oraz wysięgniku poszerzającym platformę przed modyfikacjami

W przypadku ramy centralnej naczepy największe naprężenia były zlokalizowane w obszarze przejścia belki przedniej w łabędzią szyję (rys. 5). W celu zredukowania tych naprężeń przeniesiono otwory technologiczne ze ścianek bocznych ramy na ścianę dolną a ponadto dodano nakładki wzmacniające ściany boczne oraz żebra wzmacniające w tylnej części balkonu (rys. 7). Wprowadzone modyfikacje pozwoliły na zredukowanie naprężeń do bezpiecznego poziomu (rys. 8).



**Rys. 7.** Nakładki wzmacniające środniki ramy oraz żebra wzmacniające łabędzią szyję



**Rys. 8.** Rozkład naprężeń w modelu ramy po modyfikacjach



Jeśli istniała taka potrzeba, tego typu modyfikacje wprowadzano w innych elementach naczepy. Analizy wytrzymałościowe prowadzone z wykorzystaniem MES odegrały istotną rolę w procesie konstruowania i wydaje się, że pozwoliły uniknąć błędów konstrukcyjnych, które mogły prowadzić do uszkodzeń naczepy podczas eksploatacji.

### 3. Wynik realizacji projektu

W wyniku przeprowadzonych prac badawczo-rozwojowych opracowano konstrukcję niskopodłogowej naczepy do przewozu maszyn i ładunków nienormatywnych o ładowności do 40 ton. Długość naczepy może być w łatwy sposób regulowana w zakresie 5 m ze skokiem 0.5 m, a szerokość platformy ładunkowej może być zwiększona o 0.51 m. Ponadto naczepa, w zależności od potrzeb odbiorcy, może posiadać 3 lub 4 osie, w tym oś podnoszoną i skrętną, pneumatyczne zawieszenie pozwalające na regulację wysokości platformy ładunkowej, hydraulicznie sterowane najazdy tylne o regulowanym rozstawie umożliwiające załadunek maszyn samojezdnych. Naczepa spełnia rygorystyczne wymagania w zakresie bezpieczeństwa czynnego i biernego: wyposażona jest w układ hamulcowy z systemem ABS i EBS, zabezpieczenia przeciwnajzdowe oraz odpowiednie oznakowanie i oświetlenie.



**Rys. 9.** Poszerzona platforma ładunkowa za pomocą deski położonej na wysuwającym wysięgniku



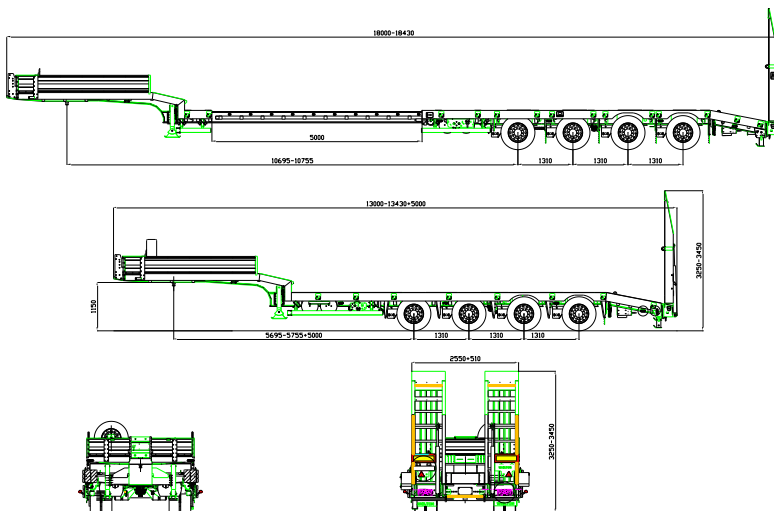
**Rys. 10.** Opuszczone najazdy tylne z wysuniętymi nogami podporowymi najazdów



Rys. 11. Przenośne najazdy umożliwiające wjazd na balkon

#### 4. Podsumowanie

Prace badawczo-rozwojowe przeprowadzone w Politechnice Lubelskiej i firmie Wielton SA, wiodącym polskim producencie naczep i przyczep, zakończyły się sukcesem. Opracowano nowoczesną konstrukcję, uniwersalnej naczepy o zmiennej długości do przewozu maszyn samojezdnych i innych ładunków nienormatywnych. Projekt wdrożono do produkcji i do chwili obecnej sprzedano kilkadziesiąt sztuk naczepy (rys. 13 i 14). Jedną z głównych zalet naczepy jest to, że w stanie złożonym spełnia wszystkie wymagania stawiane pojazdom normatywnym, a więc może poruszać się po drogach i przewozić ładunki normatywne bez specjalnych zezwoleń. Dotychczasowe pozytywne opinie użytkowników na jej temat potwierdzają poprawność przyjętych rozwiązań.



Rys. 12. Podstawowe wymiary naczepy





Rys. 13. Naczepa w wersji czteroosiowej w stanie zsuniętym



Rys. 14. Naczepa w wersji czteroosiowej w stanie rozsuniętym

## Literatura

1. Abaqus Theory Manual version 5.8, Hibbit, Karlsson & Sorensen, 1998.
2. Abaqus/Standard User's Manual version 6.5, Hibbit, Karlsson & Sorensen, 2005.
3. Osiński J.: Obliczenia wytrzymałościowe elementów maszyn z zastosowaniem metody elementów skończonych. Oficyna Wydawnicza PW, Warszawa 1997.
4. Rakowski G., Kacprzyk Z.: Metoda Elementów Skończonych w mechanice konstrukcji. Oficyna Wydawnicza PW, Warszawa 2005.
5. Rudawska A., Dębski H.: Experimental and numerical analysis of adhesively bonded aluminum alloy sheets joints. Eksploatacja i niezawodność – Maintenance and Reliability, Vol. 49, No. 1, 2011, pp. 4-10.
6. Rusiński E., Czmochoński J., Smolnicki T.: Zaawansowana metoda elementów skończonych w konstrukcjach nośnych. Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, Wrocław 2000.

7. Saga M., Medvecký S.: Contribution to machine frames optimization subjected to fatigue damage. *Machine Design* 2009, pp. 177-182.
8. Winkler T.: *Komputerowy zapis konstrukcji*. WNT, Warszawa 1989.

### UNIVERSAL EXTENDABLE SEMITRAILER FOR TRANSPORTATION OF MACHINES

**Abstract.** Design assumptions and solutions used in the newly constructed semitrailer for transportation of oversized and heavy loads, especially self-propelled machines, are presented in the paper. During the design process a special attention was paid to its versatility. The semitrailer can be used for transportation of oversized loads thanks to the loading platform that can be extended in length and in breadth and for transportation of heavier than standard loads thanks to its 4 axles. The big advantage of the semitrailer is that when it is not extended it meets all the requirements for standard vehicles and thus it can be used on roads as standard semitrailer and carry standard loads without any special permissions. Some examples of applying FEM strength analysis during design process are also presented in the paper.

**Key words:** road transport, oversized loads, extendable semitrailer, strength analysis, FEM