

Krzysztof **SKOWRON**
Maciej **KOCHEL**

UKŁAD HOLOWANIA POJAZDU GĄSIENICOWEGO

Streszczenie. W artykule przedstawiono rozwiązanie dodatkowego układu holowniczego przeznaczonego dla lekkiego pojazdu gąsienicowego. Odniesiono się do zasady holowania pojazdów w ruchu drogowym i pojazdów specjalnych, w tym gąsienicowych. Przedstawiona została konstrukcja układu holowania, jego zabudowa na pojeździe oraz obliczenia wytrzymałościowe.

Słowa kluczowe: pojazd gąsienicowy, holowanie, układ holowania, zaczep, hol.

1. WSTĘP

Pojęcie holowania pojazdów jest znane od bardzo dawna, zwłaszcza w ruchu drogowym. Czym jest holowanie? Holowanie to czynność polegająca na ciągnięciu przez pojazd silnikowy drugiego pojazdu silnikowego, który w danych okolicznościach nie jest zdolny do samodzielnego poruszania się. Pojazdy holowane mogą być połączone ze sobą za pomocą holu giętkiego (liny holowniczej) lub holu sztywnego. W przypadku pojazdów dopuszczonych do ruchu drogowego zasady holowania reguluje Kodeks drogowy oraz artykuł 3.1 ustawy „Prawo o ruchu drogowym”.

2. HOLOWANIE POJAZDU GĄSIENICOWEGO

Powyższych przepisów nie stosuje się jednak w razie holowania pojazdów jednostek wojskowych podporządkowanych Ministerstwu Obrony Narodowej oraz Ministerstwu Spraw Wewnętrznych i Administracji. Holowanie pojazdu gąsienicowego jest znacznie utrudnione ze względu na jego budowę. Gąsienica w czasie holowania utrudnia w dużym stopniu poruszanie się oraz manewrowanie pojazdem szczególnie w czasie skrętów, gdyż nie pozwala na swobodne manewrowanie. Częstym zabiegiem przygotowawczym do holowania jest zdjęcie gąsienic.

Aby umożliwić holowanie pojazdu gąsienicowego, należy w pierwszej kolejności odłączyć przekładnie boczne od przekładni głównej. Jest to możliwe do zrealizowania poprzez odłączenie wałka łączącego przekładnię boczną ze skrzynią biegów lub w nowych skrzyniach biegów poprzez zwolnienie dźwigni w przekładni.

Możemy wyróżnić następujące sposoby holowania pojazdów gąsienicowych:

- poprzez podniesienie przedniej części pojazdu dźwigiem i holowanie go poprzez ciągnięcie;
- zamocowanie haków holowniczych w pozycji krzyżowej, dzięki czemu umożliwiamy skręcanie holowanego pojazdu;
- holowanie na tzw. holu sztywnym;
- holowanie z wykorzystaniem specjalistycznego oprzyrządowania, np. opisanego w artykule;
- transport pojazdu gąsienicowego wozem specjalistycznym z naczepą niskopodwoziową.

Obecnie w przypadku awarii pojazdu często podejmowane są naprawy na miejscu poprzez szybką wymianę modułu, który uległ zniszczeniu. Na rys. 1 pokazano wymianę modułu napędowego w pojeździe Abrams. Jest to czasami niemożliwe w warunkach polowych, dlatego potrzebny jest system holowania pojazdu lub użycie specjalistycznego wozu zabezpieczenia technicznego. Na rysunku 2 pokazany jest polski ARV (ang. Armoured Recovery Vehicle) - wóz zabezpieczenia technicznego WZT3.



Rys. 1. Wymiana jednostki napędowej w pojeździe ABRAMS



Rys. 2. ARV WZT3

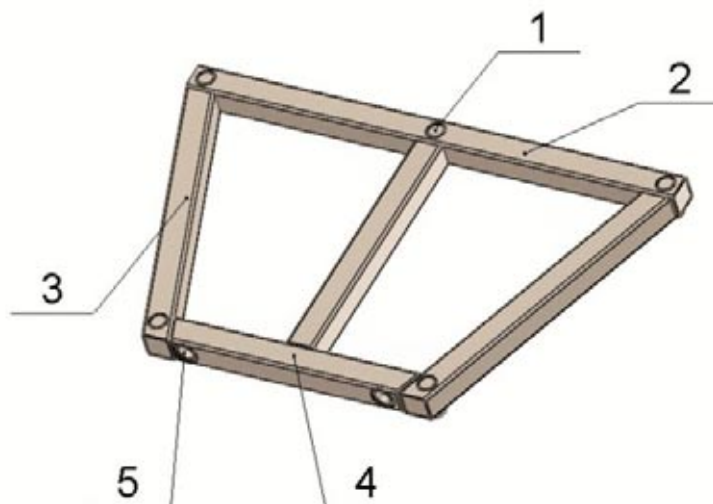
3. KONCEPCJA UKŁADU HOLOWANIA

Zagadnieniem opisywanym w artykule jest problem holowania lekkiego pojazdu gaśnicowego o masie rzędu 5 t. Omawiany pojazd gaśnicowy to wielozadaniowa inżynierska platforma o napędzie hybrydowym (kr. WIPH), której widok kadłuba od dołu pokazany jest na rys.4. Konstrukcja platformy (demonstratora technologii) jest poddawana licznym testom i próbom terenowym. Celowym zatem było wyposażenie podwozia platformy WIPH w dodatkowe oprzyrządowanie - układ holowania umożliwiający szybkie ściągnięcie pojazdu do warsztatu w przypadku awarii, bez konieczności angażowania specjalistycznego sprzętu.

Holowanie inżynierskiej platformy o napędzie hybrydowym musi odbywać się przy włączonym układzie napędowym - załączonych stycznikach głównych (w celu połączenia falowników silników elektrycznych z baterią akumulatorów) oraz układzie sterowania pracującym w trybie regulacji momentu obrotowego i załączonym układzie zasilania pokładowego. Podczas holowania pojazdu WIPH silniki elektryczne z magnesami trwałymi generują energię elektryczną, która musi zostać rozproszona. Falowniki nie mają takich zdolności, z tego powodu muszą oddawać energię do baterii akumulatorów. Dodatkowo wyłączony musi być także hamulec postojowy, sterowany z niezależnego układu hydraulicznego w podwoziu.

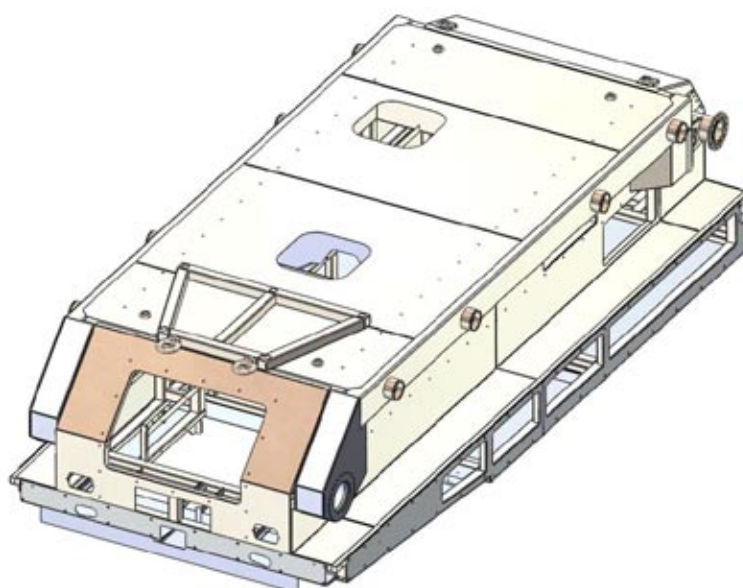
Głównym problemem zabudowy układu holowniczego w podwoziu była szkieletowa konstrukcja kadłuba pojazdu. Konstrukcja ta znacznie utrudnia zarówno montaż, jak i użytkowanie układu holowniczego. Należało zatem maksymalnie wykorzystać architekturę pojazdu, nie ingerując przy tym w budowę kadłuba pojazdu, jak również w jego wyposażenie wewnętrzne. Ponadto doszło też zalecenie - wymóg szybkiego montażu układu holowania na pojeździe. Układ do holowania winien również spełniać określone wymagania wytrzymałościowe. Analiza taka zostanie przedstawiona w dalszej części artykułu.

Opracowanie koncepcji wiązało się jednak z niewielkimi zmianami wprowadzonymi w korpusie kadłuba. Układ holowania jest mocowany do belki znajdującej się na dnie korpusu pojazdu (rys.3 i 4). Kształt wspornika (rys. 3) dobrano w taki sposób, aby zminimalizować działanie sił na konstrukcję kratownicy układu holowania. Rysunek 3 przedstawia budowę, natomiast rys. 4 sposób zamocowania układu holowania na kadłubie pojazdu WIPH.



Rys. 3. Budowa układu holowania

1-trzpień montażowy, 2- belka tylna, 3-belka wspierająca, 4-belka przednia,
5-śruba oczkowa



Rys. 4. Montaż układu holowania na korpusie pojazdu

4. OBLICZENIA WYTRZYMAŁOŚCIOWE

W celu weryfikacji opracowanej konstrukcji, układ holowania poddano analizie wytrzymałościowej metodą elementów skończonych w zakresie sprężystym. W analizie zasymulowano sytuację, w której pojazd ma zablokowany układ jezdny, gdyż taki wariant holowania generować będzie największe obciążenia. Siłę obciążającą układ w tym przypadku wyznaczono ze wzoru (1) - co wynika z siły uciągu (P_u) potrzebnej do holowania pojazdu. Siłę wyznaczamy na podstawie siły oporu toczenia pojazdu holowanego oraz siły ciężkości pojazdu.

$$P_u = (f_o \cdot m_p \cdot g) + (m_p \cdot g) \cdot s \quad (1)$$

Do obliczeń przyjmujemy następujące parametry pojazdu:

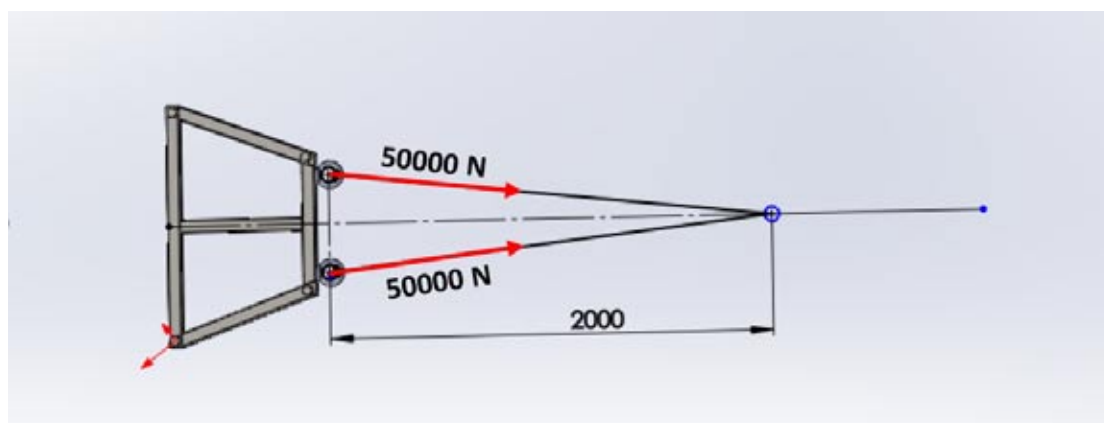
Tablica 1. Parametry pojazdu

Masa pojazdu	5200 (kg)
Współczynnik oporu toczenia – suchy piasek	0,3
Współczynnik bezpieczeństwa	1,5

$$P_u = (0,3 \cdot 5.200 \cdot 9,81) + (5.200 \cdot 9,81 \cdot \cos 30^\circ) \cdot 1,5 = 91.790 \text{ (N)} \quad (2)$$

Do obliczeń statycznych przyjęto w zaokrągleniu 100.000 (N)


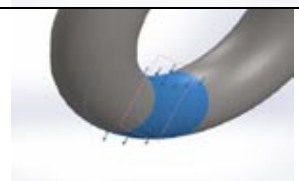
Analizy statycznej dokonano za pomocą oprogramowania SOLIDWORKS SIMULATION, przyjmując model jednostek SI (MKS). Dużą rolę w analizach z wykorzystaniem metody elementów skończonych odgrywają własności materiału. Dane materiałowe zostały zaczerpnięte z biblioteki programu SOLID WORKS. Siły reakcji powstające w trakcie holowania zostały zamocowane do powierzchni styku wydzielonej z haków holowniczych pod kątem działania osi liny holowniczej. Powierzchnie działania siły utworzono tak, by swym rozmiarem odpowiadały średnicy liny opasającej ucho śruby oczkowej (rys.3). Wektory działania sił przedstawiono poniżej (rys. 5).



Rys. 5. Montaż układu holowania na korpusie pojazdu

W tabelicy poniżej przedstawiono opisywane warunki.

Tablica 2. Obciążenie haków układu holowania

Nazwa obciążenia	Wizualizacja obciążenia	Szczegóły obciążenia
Siła 1		Wartość siły w układzie współrzędnych związanych z płaszczyzną umocowania siły: 50000,---,--- (N)
Siła 2		Wartość siły w układzie współrzędnych związanych z płaszczyzną umocowania siły: 50000,---,--- (N)

Układ holowniczy (przyjęty do obliczeń) jest mocowany czterema trzpieniami swawianymi do ramy głównej pojazdu. Model obliczeniowy został utwierdzony za pomocą sworzni, którym zabrano wszystkie stopnie swobody – nieruchome utwierdzenie. W celu sprawdzenia poprawności umocowania sprawdzono siły wypadkowe działające w utwierdzeniach. Obliczeniowy model posiada siły reakcji na umocowaniach zbliżone do siły obciążającej, co przedstawiono w poniższej tabelicy.

Tablica 3. Wartość sił obciążenia

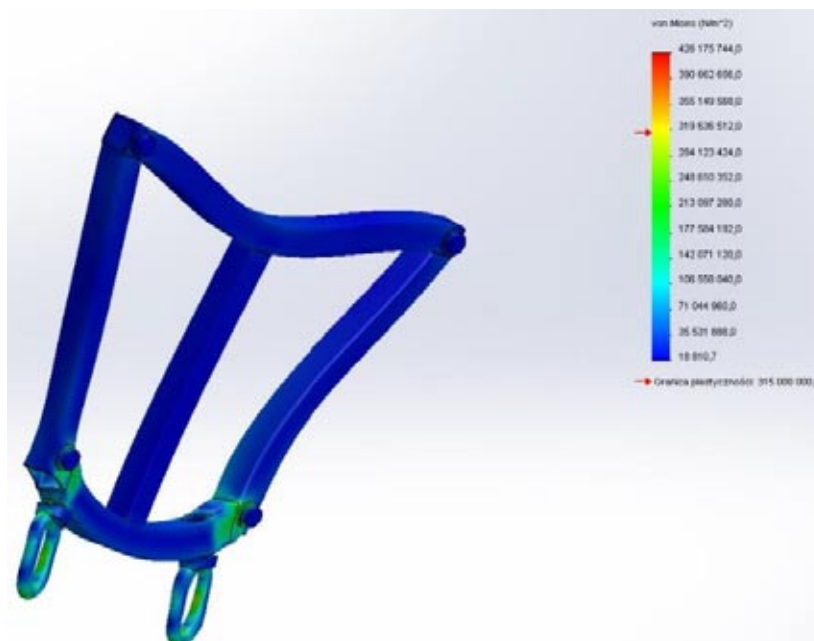
Kierunki sił	x	y	z	Wypadkowa
Wartości sił reakcji	-4.2	78730.3	-606881.2	99401.6
Momenty	0	0	0	0

Można zatem uznać, że stworzony model CAD badanego układu jest poprawny, a prace nad analizą mogą być kontynuowane. Kolejnym krokiem analizy było wygenerowanie siatki elementów skończonych dyskretyzujących model na elementy o określonej wielkości. Z uwagi na to, iż rozmiary badanego elementu nie są duże i jego dyskretyzacja nie zajmie wiele czasu zdecydowano się na wysoką, jakość siatki. Siatka ta lepiej dyskretyzuje element, zmniejszając prawdopodobieństwo powstania elementów zdegenerowanych. Z uwagi na wymiary i postać modelu zdecydowano się wykorzystać siatkę bryłową, a więc elementy czterowęzłowe typu SOLID. W tabelicy 4 przedstawiono ważniejsze parametry dotyczące siatki elementów skończonych.

Tablica 4. Parametry siatki elementów skończonych

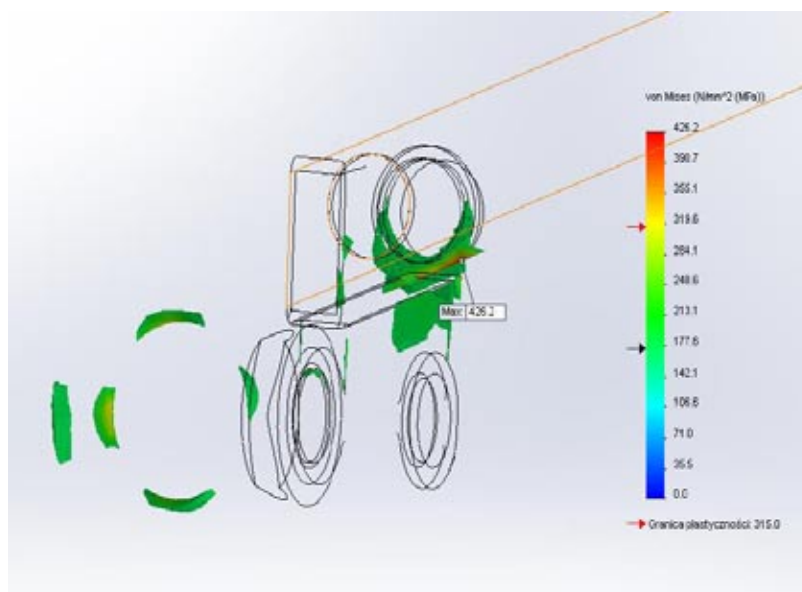
Rozmiar elementu skończonego	12 mm
Tolerancja	0.64 mm
Liczba węzłów	82251
Liczba elementów skończonych	43311
Maksymalny współczynnik proporcji	55.5

Jak widać na poniższym rysunku (rys. 6) naprężenia w głównym stopniu generują się w przedniej części konstrukcji. Tylne sworznie nie przenoszą naprężeń wywołanych siłą obciążającą. Można zatem stwierdzić, że nie mają wpływu na wytrzymałość konstrukcji. Maksymalne naprężenia przekroczyły granicę plastyczności. Aby sprawdzić jak dużą powierzchnię zajmują naprężenia przekraczające granicę plastyczności (315 MPa) zastosowano przecinania izochrom. Przycinanie izochrom pozwala stwierdzić, czy naprężenia przekraczające granicę plastyczności wpływają na wytrzymałość konstrukcji.



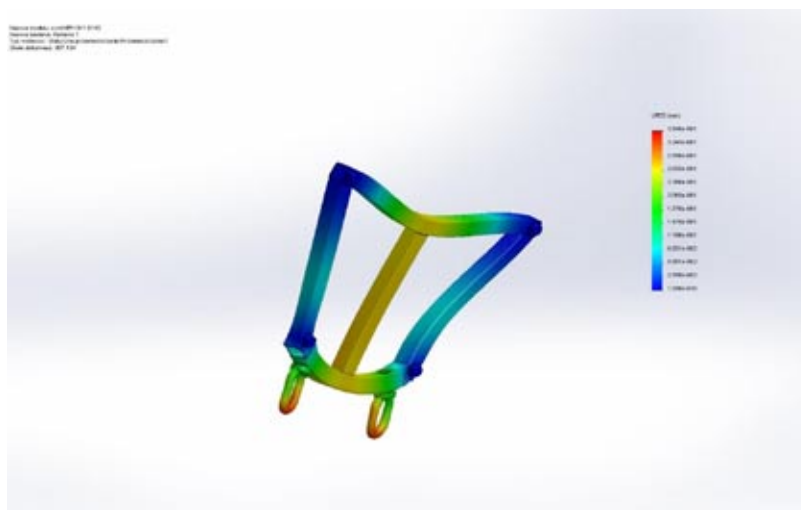
Rys. 6. Wykres naprężeń układu holowania

Analizując naprężenia występujące w tylnej części konstrukcji, można stwierdzić, że dodanie kolejnego trzpienia montażowego nie będzie generowało osłabienia konstrukcji. W docelowym projekcie układu holowania zastosowano zatem pięć sworzni montażowych (patrz rys. 4).



Rys. 7. Wykres naprężeń układu holowania przekraczających granicę plastyczności

Rysunek 7 przedstawia miejsca przekraczające granicę plastyczności. Obszary przekraczające granicę plastyczności wynikają z degeneracji siatki i nie wpływają na wytrzymałość konstrukcji. Po analizie naprężeń w konstrukcji przeanalizowano przemieszczenia wywołane wymuszeniem.



Rys. 8. Przemieszczenia

Maksymalne przemieszczenia w konstrukcji nie przekraczają 1 mm. Na rysunku widać ponadto, że wpływ na przemieszczenie ma ta część konstrukcji, która nie decydowała o przenoszeniu naprężeń w układzie.

5. PODSUMOWANIE

Zaprojektowana konstrukcja układu holowania stanowić ma wyposażeniem dodatkowe dla wielozadaniowego inżynierskiego pojazdu o napędzie hybrydowym WIPH. Będzie wykorzystana na dalszym etapie rozwoju konstrukcji, głównie podczas prowadzonych badań terenowych demonstratora technologii, jako zabezpieczenie na wypadek awarii. Pozwoli na holowanie pojazdu do warsztatu w celu usunięcia awarii, bez konieczności użycia specjalistycznego sprzętu.

Zaprojektowane rozwiązanie spełnia założenia wyjściowe oraz niezbędne wymagania wytrzymałościowe potwierdzone wykonanymi obliczeniami. Montaż układu holowania jest również nieskomplikowany, jego fizyczne wykonanie bazuje na ogólnodostępnych materiałach konstrukcyjnych (profile stalowe, elementy złączne).

6. LITERATURA

- [1] Burdziński Z. Teoria ruchu pojazdu gąsienicowego. Wydawnictwa Komunikacji i Łączności, 1972.
- [2] Chodkowski, A. W. Badania modelowe pojazdów gąsienicowych i kołowych. Wydawnictwa Komunikacji i Łączności, 1982.
- [3] Dajniak H. Ciągniki: teoria ruchu i konstruowania: podręcznik akademicki. Wydawnictwa Komunikacji i Łączności, 1985.

- [4] Drexler, Z. Kodeks drogowy: Ustawa Prawo o ruchu drogowym, tabela mandatów, punkty karne, co robić w razie stłuczki, pierwsza pomoc, policjant kieruje ruchem, znaki drogowe. Agora, 2009.
- [5] Mężyk A., Skowron K.: Rozwój układów przeniesienia napędów w pojazdach gąsienicowych. Szybkobieźne Pojazdy Gąsienicowe. (31, nr 3/2012. ISSN 0860-8369). OBRUM sp. z o.o. Gliwice, wrzesień 2012.
- [6] Mężyk A., Klein W., Skowron K., Grabania M.Ł.: Pojazd gąsienicowy z napędem hybrydowym. Szybkobieźne Pojazdy Gąsienicowe (380 nr 3/2015 (str. 65-94). ISSN 0860-8369. OBRUM sp. z o.o. Gliwice, wrzesień 2015.
- [7] Ustawa z dnia 20 czerwca 1997 r. Prawo o ruchu drogowym (Dz. U. Nr 98, poz. 60, nr 123, poz. 779 i nr 160, poz. 1086 oraz z 1998 r. Nr 106, poz. 668 i Nr 133, poz. 872).
- [8] http://www.tanks-encyclopedia.com/coldwar/US/M48_Patton.php [dostęp: 02.02.2016].
- [9] <http://pl.uzbrojenie.wikia.com/wiki/MID> [dostęp: 02.02.2016].

W artykule wykorzystano wyniki projektu "Wielozadaniowy, inżynieryjny pojazd o napędzie hybrydowym" finansowego ze środków Narodowego Centrum Badań i Rozwoju – umowa PBS1/A6/15/2013.

TRACKED VEHICLE TOWING SYSTEM

Abstract. The paper presents an additional towing system designed for a light tracked vehicle. Reference is made to the rules of towing vehicles in road traffic and towing of special purpose vehicles, including tracked vehicles. The design of the towing system, its installation on the vehicle and strength calculations are presented.

Keywords: tracked vehicle, towing, towing system, catch, towline.