

Ciągnik szynowo - drogowy o zwiększonej wytrzymałości mechanicznej na działanie sił wzdłużnych

W artykule przedstawione zostały wprowadzone zabiegi konstrukcyjne w strukturze nośnej ciągnika szynowo drogowego w celu podwyższenia wytrzymałości struktury. W efekcie przeprowadzonych zabiegów konstrukcyjnych zweryfikowanych obliczeniami i badaniami stanowiskowymi uzyskano zdecydowanie większą wytrzymałość ciągnika na działanie sił wzdłużnych w porównaniu do ciągników poprzednich generacji. Zadanie zrealizowano w ramach działalności statutowej IPS „TABOR”, finansowanej przez Ministerstwo Nauki i Szkolnictwa Wyższego.

1. Wstęp

W Polsce jest około 4500 bocznic kolejowych, które można wykorzystać do prac manewrowych z wagonami towarowymi. Tam gdzie bocznic są eksploatowane, do prac przetokowych używa się spalinyowych lokomotyw, między innymi takich jak SM42 o mocy 950 KM (700 kW).

Jeśli są to bocznic prywatnego użytkownika, który nie ma własnego taboru trakcyjnego, to ponosi on znaczne koszty za wypożyczenie lokomotywy z PKP, oraz musi poczynić odpowiednie uzgodnienia logistyczne co do godziny przyjęcia lokomotywy oraz czasu jej wykorzystania.

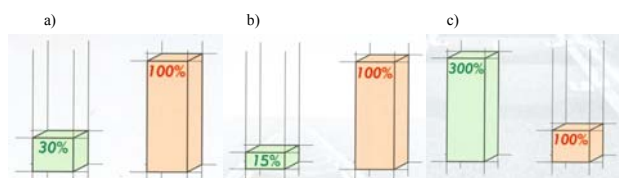
Właściciel lub użytkownik bocznic kolejowej może te utrudnienia ominąć przez wyposażenie bocznic w własny pojazd trakcyjny w postaci ciągnika szynowo drogowego. Celowe jest to zwłaszcza w przypadkach gdzie zachodzi potrzeba kilkukrotnego przetoczenia wagonów w odpowiednich przerwach czasowych.

Ciągnik szynowo drogowy w porównaniu do lokomotywy manewrowej cechują następujące zalety eksploatacyjne:

- wjazd ciągnika na tory może być wykonany na dowolnym przejeździe kolejowym (w szczególnych przypadkach można wykonać ten manewr w dowolnym miejscu toru),
- możliwość eksploatacji ciągnika na torach o różnej szerokości (1435 i 1520),
- łatwe przestawienie szynowego układu jezdnego z toru normalnego na szeroki i odwrotnie,
- możliwość dojazdu drogami terenowymi do miejsca eksploatacji na torach,
- krótki czas przygotowania ciągnika do pracy,
- szybki dojazd do miejsca przeznaczenia,
- trzykrotnie niższa cena zakupu ciągnika szynowo drogowego w stosunku do ceny lokomotywy,

- sześciokrotnie niższe koszty eksploatacji ciągnika w stosunku do lokomotywy,
- trzykrotnie wyższe parametry trakcyjne (przy tej samej masie własnej),
- możliwość prowadzenia pojazdów bez uprawnień maszynisty,
- możliwość zmechanizowania prac porządkowych infrastruktury kolejowej i terminali.

Na rys. 1 przedstawiono na wykresach porównanie wartości parametrów ekonomicznych i technicznych oznaczając kolorem zielonym parametry ciągnika szynowo drogowego a kolorem żółtym lokomotywy.



Rys. 1. Porównanie parametrów ciągnika szynowo – drogowego i lokomotywy: a) cena zakupu, b) koszty eksploatacji, c) właściwości trakcyjne

Instytut Pojazdów Szynowych w Poznaniu jest twórcą i producentem ciągników szynowo drogowych przeznaczonych do prac manewrowych na bocznicach kolejowych. Wyprodukowano i sprzedano na rynek krajowy i na eksport około 40 sztuk ciągników szynowo drogowych wytworzonych na bazie ciągników URSUS, CRYSTAL oraz ORION. Konstrukcja ciągnika szynowo drogowego jest nieustannie modernizowana i ulepszana pod względem niezawodności, parametrów techniczno – eksploatacyjnych i wytrzymałości [1].

Produkowane ciągniki szynowo drogowe budowane na bazie ciągników URSUS, CRYSTAL mogą zgodnie z zaleceniami Dokumentacji Techniczno – Ruchowej ciągnąć lub pchać przodem ciągnika do czterech wagonów czteroosiowych, a tyłem 8 wagonów o łącznej masie do 700 ton. Ograniczenie liczby

wagonów do czterech doczepionych do przedniej części ciągnika wynika z nieprzystosowania ciągnika bazowego do wprowadzenia dużych sił ściskających i rozciągających w przednią część konstrukcji ciągnika.

W praktyce eksploatacyjnej użytkownicy nie zawsze przestrzegają zaleceń DTR i doczepiają do przedniej części ciągnika więcej niż 4 wagony co doprowadziło do dwóch przypadków uszkodzenia przedniej części konstrukcji nośnej ciągnika.

Od 2008 roku wprowadzono do produkcji ciągnik szynowo drogowy nowej generacji budowany na bazie ciągnika ORION. Konstrukcja tego ciągnika umożliwia wprowadzenie dodatkowych belek nośnych łączących zabudowane z przodu ciągnika urządzenie pociągowo zderzne z urządzeniem pociągowo zderżnym zamontowanym w tylnej części ciągnika. W ten sposób odciążono konstrukcję nośną korpusu ciągnika od sił wzdłużnych, które w dużej części przejęły belki nośne, co potwierdziły przeprowadzone badania wytrzymałości ciągnika na działanie sił wzdłużnych. Wprowadzone wzmocnienie konstrukcji nośnej ciągnika pozwoliło na zrównanie ilości doczepionych wagonów do przodu lub tyłu ciągnika do ośmiu wagonów czteroosiowych wstanie ładownym.

2. Podstawowe dane techniczne ciągnika szynowo drogowego

Ciągnik bazowy ORION zbudowano na zespołach renomowanych firm zachodnich między innymi; zamontowano silnik Deutz spełniający normy czystości spalin Euro 3, zespoły napędowe firmy ZF Steyer i Passau, oś napędową firmy Cararo. Układ hydrauliki siłowej zbudowano w oparciu o wyroby firmy Bosch. Ciągnik wyposażono w komputer pokładowy który między innymi steruje parametrami układu jazdy i hamowania. Zespoły te gwarantują wysoką jakość i trwałość ciągnika oraz jego bezawaryjną pracę w długim okresie eksploatacji.

Na zdjęciu fot. 1 pokazano ciągnik szynowo drogowy ORION podczas pracy manewrowej na torach.



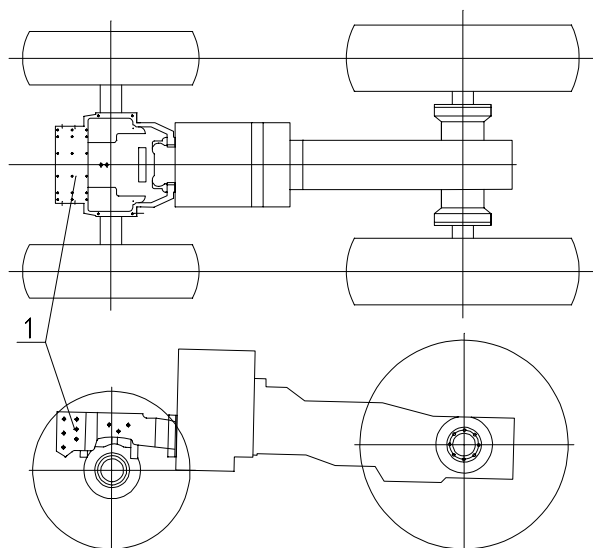
Fot. 1 Ciągnik szynowo drogowy podczas pracy na torze szerokim 1520 mm

Parametry techniczno eksploatacyjne ciągnika szynowo drogowego:

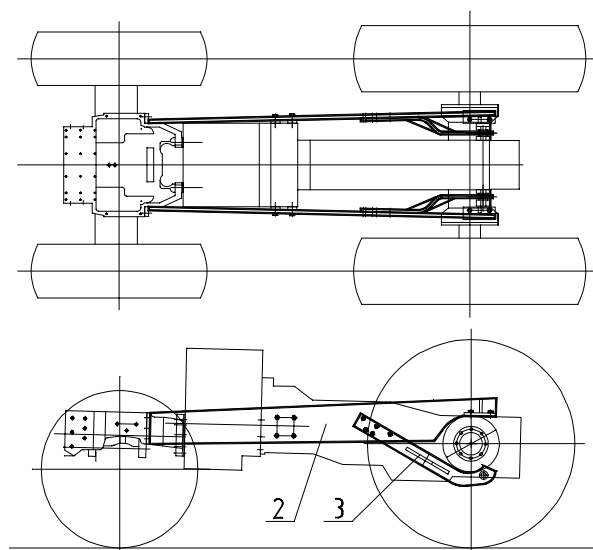
1. Moc silnika	98 kW
2. Maksymalna siła uciągu – droga/tor	45/35 KN
3. Masa własna	7,8 Mg
4. Maksymalna prędkość jazdy po drodze	40 km/h
5. Maksymalna prędkość jazdy po torze prostym, luzem	20 km/h
6. Maksymalna prędkość jazdy na łukach i rozjazdach z doczepionymi wagonami	5km/h
7. Dopuszczalna ilość doczepionych wagonów o masie 80 Mg	8

3. Proces tworzenia ciągnika szynowo drogowego

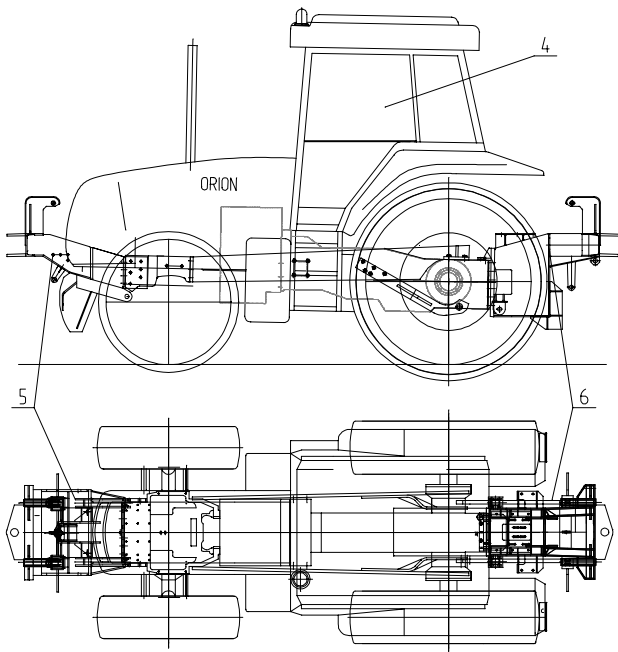
Na rys. 2 przedstawiono kolejność montażu zespołów na ciągniku bazowym, który stanowi podwozie ciągnika ORION 13.4. rys 2a.



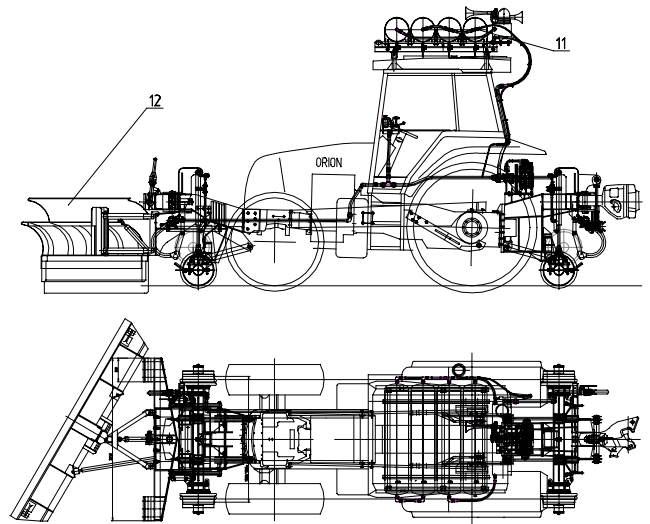
Rys. 2a. Podwozie ciągnika



Rys. 2b. Podwozie ciągnika wzmocnione belkami bocznymi

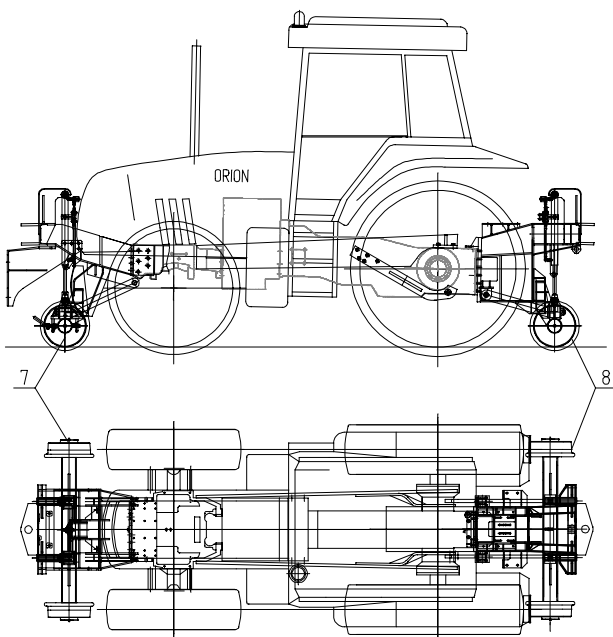


Rys. 2c. Ciągnik szynowo - drogowy wyposażony w kabinę oraz w przedni i tylny układ pociągowo zderzny

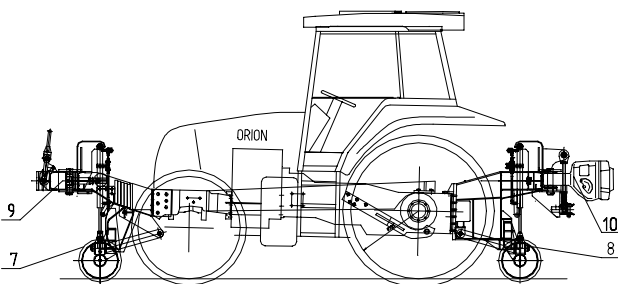


Rys. 2f. Ciągnik szynowo – drogowy na tor kolejowy normalny i szeroki: wyposażony w hamulec pneumatyczny i pług odśnieżny

Rys. 2. Podstawowe etapy montażu szynowych zespołów na ciągniku bazowym



Rys. 2d. Ciągnik wyposażony w szynowy układ jezdny



Rys. 2e. Ciągnik wyposażony w szynowy układ jezdny na tor 1435/1520 oraz zderzak z przodu i sprzęg SA 3 z tyłu

4. Wytrzymałość konstrukcji nośnej ciągnika

4.1. Teoretyczne badania wytrzymałości konstrukcji

Dla zweryfikowania przyjętych założeń konstrukcyjnych mających na celu podwyższenie właściwości wytrzymałościowych konstrukcji nośnej ciągnika wykonano odpowiednie obliczenia wytrzymałościowe konstrukcji. Wyniki badań teoretycznych potwierdzono, przeprowadzając statyczne badania wytrzymałości zespołów nośnych ciągnika na stanowisku badawczym w IPS „TABOR”.

Ciągnik szynowo drogowy jest pojazdem szynowym specjalnym którego nie obejmuje wprost żadna norma precyzująca wymagania wytrzymałościowe dla tego typu pojazdów. Ciągnik podczas pracy manewrowej na torze poddawany jest działaniu wzdłużnych pociągowych sił rozciągających oraz sił ściskających wynikających z nabiegania wagonów na ciągnik przy hamowaniu składu i nabieganiu ciągnika na wagony podczas przyłączania ciągnika do wagonów.

Przypadek rozciągania ciągnika siłą pociagową nie jest groźny z uwagi na ograniczoną siłą pociagową do ~40 kN i niewielkie luzy na zderzakach między wagonem i ciągnikiem co ogranicza wartość przyspieszenia nabiegania wagonu na ciągnik. Bardziej niebezpiecznym przypadkiem jest sytuacja w której operator ciągnika nie zatrzyma ciągnika przed wagonem podczas dojazdu do wagonu w procesie łączenia ciągnika z wagonem, i uderzy ciągnikiem w zderzaki wagonu z odpowiednio małą prędkością.

Z praktyki prowadzonych w IPS „TABOR”, badań nabiegania wagonu tarana o masie ~80 ton na skład bimodalny złożony z dwóch naczep uzyskuje się

opóźnienia nabiegania do 1,5 g przy prędkości nabiegania 7 km/h [5].

Masa ciągnika szynowo drogowego wynosi ~8,5 tony. Przy założeniu opóźnienia nabiegania ciągnika na wagon o wartości ~2 g, masa ciągnika wzrosnąć dwukrotnie to jest do ~17 ton.

Do obliczeń wytrzymałościowych konstrukcji ciągnika na działanie sił wzdłużnych przyjęto rozstępujące wartości obciążeń:

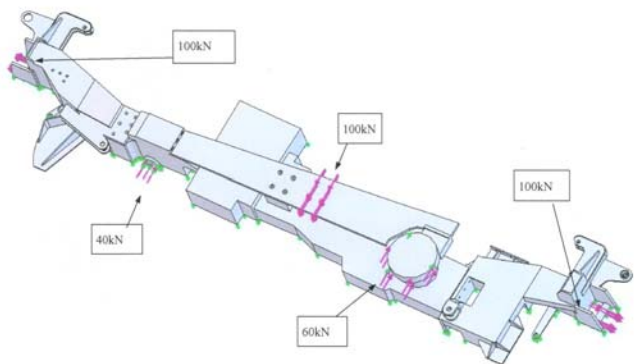
- rozciąganie 100 kN,
- ściskanie 200 kN.

W obliczeniach uwzględniono również sytuację w której ciągnik zostaje uniesiony na siłownikach szynowego układu jezdnego. W tym przypadku założono masę ciągnika 10 ton przy rozkładzie nacisków:

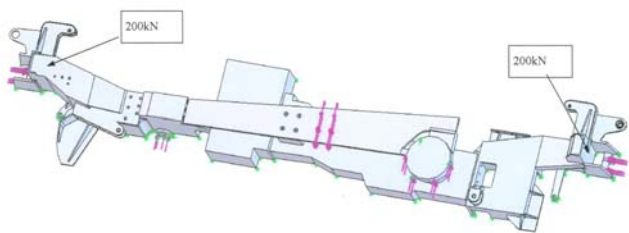
- oś przednia ciągnika 40 kN,
- oś tylna ciągnika 60 kN.

Na rys. 3, 4, 5 pokazano modele obliczeniowe konstrukcji nośnej ciągnika dla następujących stanów obciążeń [2, 3]:

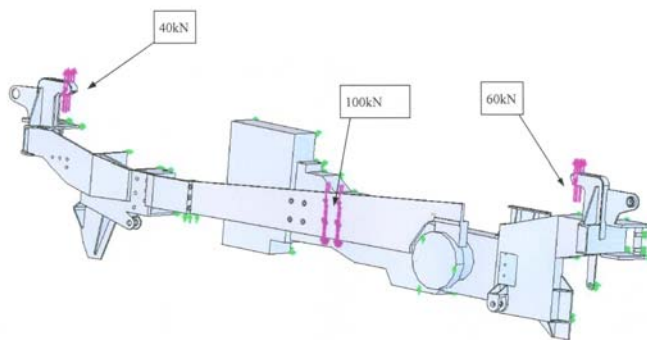
- rys. 3: rozciąganie konstrukcji ciągnika siłą 100 kN, przy równoczesnym obciążeniu pionowym siłą 100 kN,
- rys. 4: ściskanie konstrukcji ciągnika siłą 200 kN z uwzględnieniem masy własnej ciągnika 10 ton,
- rys. 5: obciążenie konstrukcji ciągnika od masy własnej podczas unoszenia ciągnika na siłownikach szynowego układu jezdnego.



Rys. 3. Schemat obciążenia modelu obliczeniowego ścisającą siłą wzdłużną i obciążeniem pionowym pochodzącym od ciężaru ciągnika



Rys. 4. Schemat obciążenia modelu obliczeniowego rozciągającą siłą wzdłużną i obciążeniem pionowym pochodzącym od ciężaru ciągnika



Rys. 5. Schemat obciążenia modelu obliczeniowego siłami powstającymi podczas unoszenia ciągnika

Ocenie wytrzymałościowej podlegają wartości naprężeń zredukowanych σ_{red} w poszczególnych elementach konstrukcji, które są wyznaczane zgodnie z hipotezą wytrzymałościową energii odkształcenia postaciowego Treski. Wartości naprężeń nie mogą w żadnym punkcie przekroczyć wartości dopuszczalnych σ_{dop} .

Jednak w przypadku określenia naprężeń dla materiałów plastycznych, zjawisko lokalnej koncentracji naprężeń może nie być brane pod uwagę. Jeżeli obliczenia obejmują lokalne koncentracje naprężeń, to wówczas dopuszcza się, aby naprężenia teoretyczne przekraczały granicę plastyczności albo umowną granicę plastyczności przy 0,2 % wydłużenia. Obszar lokalnych plastycznych deformacji związanych z koncentracją naprężeń winien być jednak dostatecznie mały, aby po zdjęciu obciążenia nie pozostały znaczące trwałe deformacje.

W tabeli 1 przedstawiono charakterystykę materiałową stali zastosowanej do budowy mechanizmów ciągnikowo - zderznych i belek bocznych.

Tabela 1 Podstawowe charakterystyki materiałowe stali 18G2A

Typ stali	Grubość elementu [mm]	Granica plastyczności R_e [MPa]	Wytrzymałość doraźna R_m [MPa]
18G2A E355	do 16	355	490 – 625
	16 - 30	345	

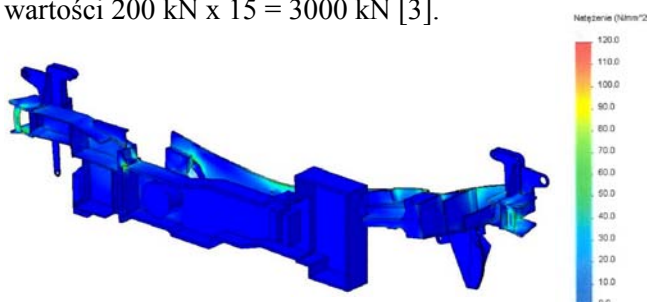
Wartości naprężeń dopuszczalnych dla każdego przypadku obciążenia przyjęto na poziomie granicy plastyczności R_e .

Wymiary geometryczne i kształty modelu układu ciągnikowo - zderznego przedniego i tylnego przyjęto, uwzględniając w nim wszystkie elementy odgrywające istotne znaczenie dla pracy obiektu i poprawnego wprowadzenia sił. Model korpusu silnika, jak i przekładni został wykonany na podstawie szkiców i jest modelem przybliżonym.

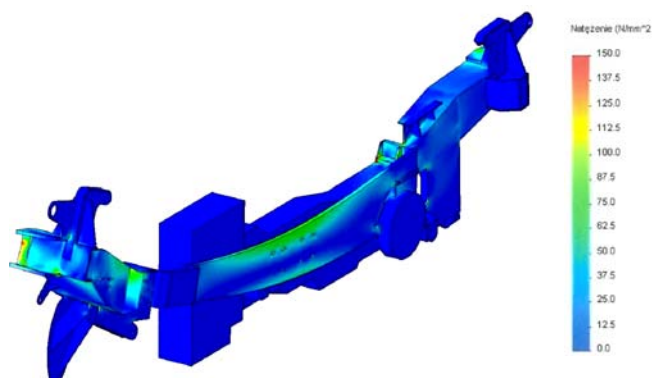
Na rys. 6, 7, 8, przedstawiono rozkład naprężeń zredukowanych konstrukcji nośnej ciągnika.

Analizując wyniki obliczeń można stwierdzić, że konstrukcja nośna ciągnika szynowo drogowego wraz z układami pociągowo zderzowymi, przednim i tylnym oraz bocznymi belkami nośnymi spełnia kryteria wytrzymałości dla poszczególnych przypadków obciążeń z dużym zapasem bezpieczeństwa. Podczas przeprowadzonej analizy teoretycznej wytrzymałości konstrukcji ciągnika wykonano również ocenę warunków wyoboczenia bocznych belkach nośnych. Z analizy wynika, że belki utracą stateczność dopiero przy 15-to krotnym współczynniku obciążenia maksymalnego.

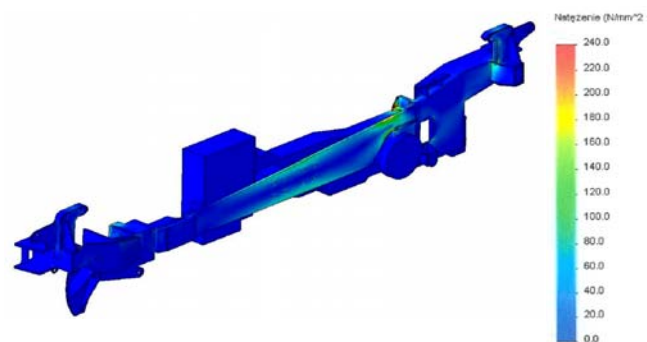
Oznacza to, że ściskająca siła powodująca utratę stateczności belek nośnych musi wzrosnąć do wartości $200 \text{ kN} \times 15 = 3000 \text{ kN}$ [3].



Rys. 6. Rozkład naprężeń zredukowanych w [MPa] powstających podczas rozciągania ciągnika siłą 100 kN w osi sprzęgu i obciążenia pionowego pochodzącego od ciężaru ciągnika – widok ogólny modelu, skala deformacji 250

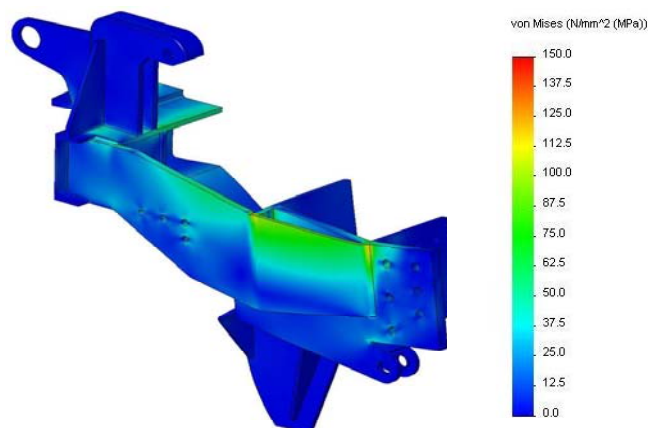


Rys. 7. Rozkład naprężeń zredukowanych w [MPa] powstających podczas ściskania siłą 200 kN w osi sprzęgu i obciążenia pionowego pochodzącego od ciężaru ciągnika – widok ogólny modelu, skala deformacji 250

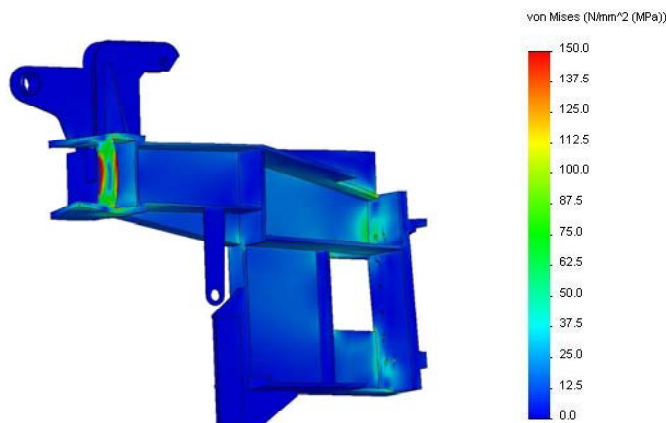


Rys. 8. Rozkład naprężeń zredukowanych w [MPa] powstających podczas unoszenia ciągnika – widok ogólny modelu bez deformacji

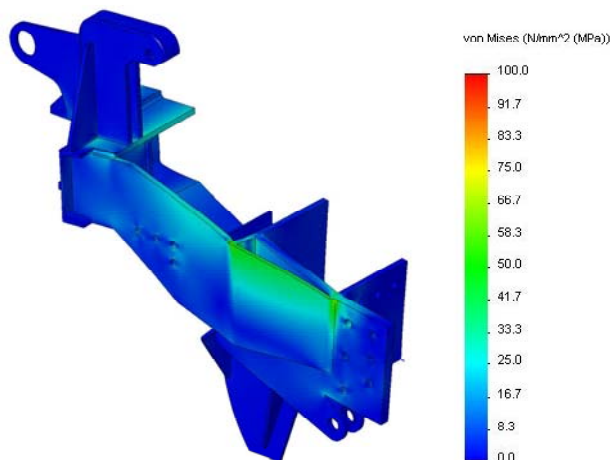
Na rysunkach 9, 10, 11, 12 pokazano wyniki wytrzymałościowej analizy teoretycznej przeprowadzonej oddzielnie dla przedniego i tylnego urządzenia pociągowo – zderznego. Analizę wykonano dla obciążeń: ściskanie siłą 200 kN, rozciąganie siłą 100kN.



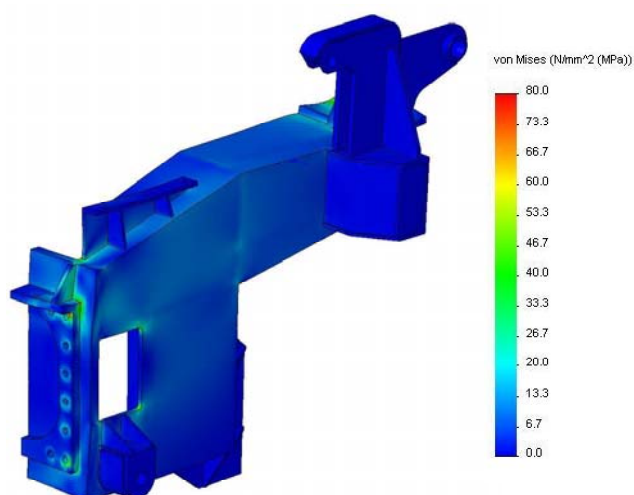
Rys. 9. Rozkład naprężeń zredukowanych w [MPa] powstający w urządzeniu pociągowo - zderznym przednim podczas ściskania ciągnika siłą 200kN – widok ogólny od strony zewnętrznej



Rys. 10. Rozkład naprężeń zredukowanych w [MPa] powstający w urządzeniu pociągowo - zderznym tylnym podczas ściskania ciągnika siłą 200kN – widok ogólny od strony przekroju



Rys. 11. Rozkład naprężeń zredukowanych w [MPa] powstający w urządzeniu pociągowo - zderznym przednim podczas rozciągania ciągnika siłą 100kN – widok ogólny od strony zewnętrznej



Rys.12. Rozkład naprężeń zredukowanych w [MPa] powstający w urządzeniu pociągowo - zderznym tylnym podczas rozciągania ciągnika siłą 100kN – widok ogólny od strony zewnętrznej

4.2. Badania stanowiskowe

Badania stanowiskowe konstrukcji nośnej ciągnika szynowo-drogowego przeprowadzono na stanowisku badań wytrzymałości konstrukcji stalowych – 3SB w IPS „TABOR”. Stanowisko posiada uznanie EBA – Bonn nr EBA-05/02/05 oraz akredytacją PCA nr AB 744 i notyfikację nr NB 1940.

Schemat modelu do badań oraz rozkład obciążeń i punktów pomiarowych rozmieszczonych na konstrukcji pokazano na rys. 13.

Mając na uwadze rezerwy wytrzymałości konstrukcji wykazane w obliczeniach teoretycznych zdecydowano podnieść wartości obciążeń przyłożonych do konstrukcji podczas badań. W badaniach wytrzymałościowych przyłożono do konstrukcji następujące obciążenia [4]:

- rozciąganie w osi sprzęgu 150 kN,
- ściskanie w osi sprzęgu 300 kN,
- próba unoszenia ciągnika, obciążenie pionowe 100 kN.

Poszczególne próby obciążenia konstrukcji oznaczono w następujący sposób:

H_1
- 200 kN
- 300 kN

- ściskanie konstrukcji siłą 200 kN i 300 kN przyłożoną w osi sprzęgu

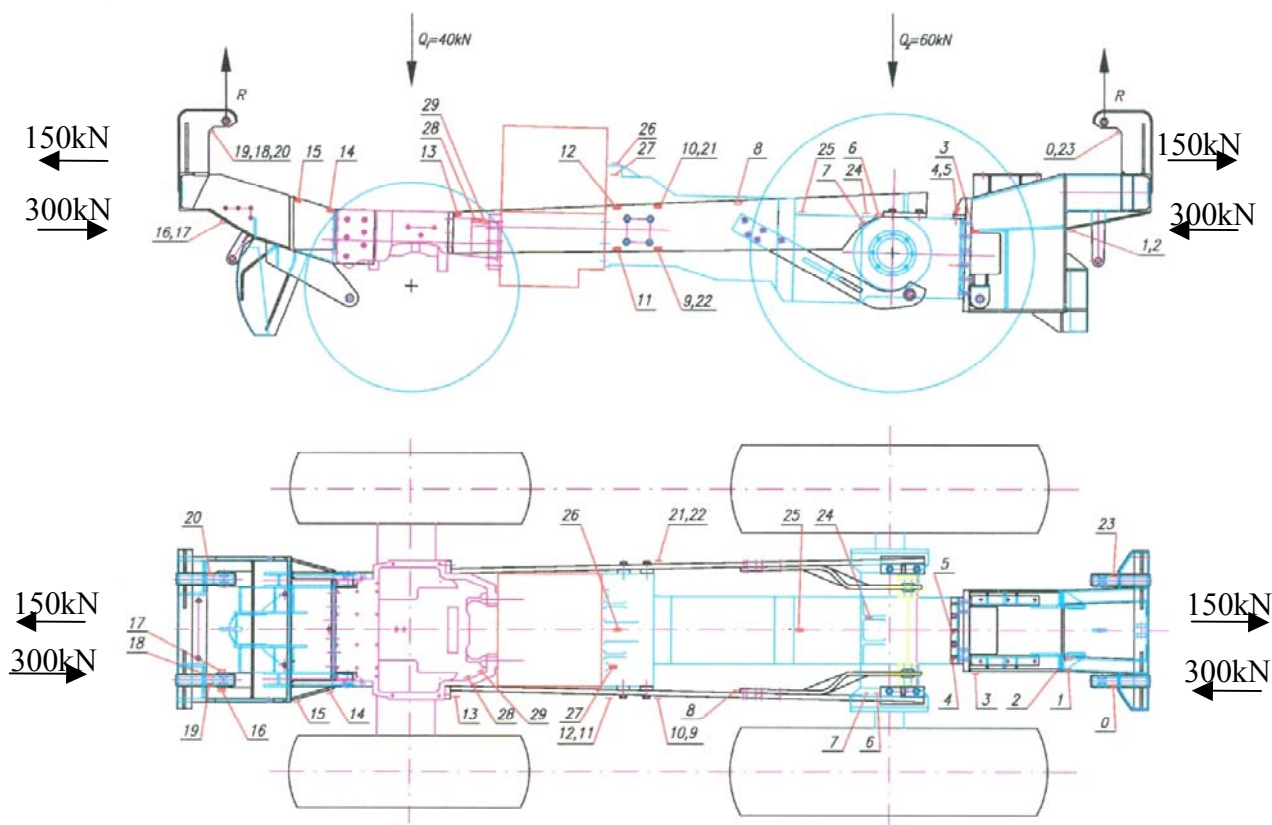
H_2
100 kN
150 kN

- rozciąganie konstrukcji siłą 100 kN i 150 kN przyłożoną w osi sprzęgu

V
100 kN

- unoszenie konstrukcji na siłownikach

Wyniki pomiarów naprężeń przedstawiono w tabeli 2 [4]. Na fotografiach 2 ÷ 5 przedstawiono sposób realizacji poszczególnych badań.



Rys. 13. Sposób obciążenia ciągnika oraz rozmieszczenie tensometrów na korpusie i strukturze nośnej

Tabela 2 Wyniki pomiarów naprężeń w konstrukcji nośnej ciągnika przy obciążeniach wzdłużnych i pionowych

Nr tensometru	H1	H2	V	σ_{lim}	H1	H2
	-200kN	100kN	100kN		-300kN	150kN
0	0	0	86	235	0	0
1	-15	15	32	235	-23	20
2	-22	14	10	235	-34	20
3	-25	13	5	235	-33	18
4	3	-4	5	235	-27	-6
5	-2	2	-1	235	-3	3
6	-42	15	5	345	-72	17
7	-15	5	20	345	-28	5
8	-19	8	-22	345	-29	10
9	4	1	32	345	7	2
10	-39	16	-30	345	-57	24
11	38	-12	33	345	48	-19
12	-6	1	-19	345	-18	1
13	-154	53	-117	345	-220	77
14	-49	17	-15	235	-70	25
15	-110	36	-36	235	-161	53
16	-42	38	-4	235	-66	53
17	-9	25	9	235	-17	36
18	0	0	36	235	0	0
19	0	0	90	235	0	0
20	0	0	72	235	0	0
21	-31	9	-26	345	-52	15
22	15	-6	33	345	16	-10
23	0	0	108	235	0	0
24	-11	5	-7	300	-17	7
25	-36	16	-22	300	-55	24
26	-16	6	-9	300	-24	9
27	-14	5	-10	300	-20	8
28	-49	17	-42	300	-70	25
29	-76	30	-59	300	-111	44



Fot. 2 Próba obciążenia pionowego – obciążenie osi przedniej



Fot. 3 Próba obciążenia pionowego – uniesienie koła nad główkę szyny



Fot. 4 Próba rozciągania



Fot. 5 Próba ściskania

5. Wnioski

Produkowane seryjnie ciągniki nie są z reguły przystosowane w przedniej części konstrukcji do przyjmowania dużych sił wzdłużnych występujących w eksploatacji na torze kolejowym. Firma CRYSTAL TRAKTOR, producent ciągnika bazowego, przekonstruowała przód ciągnika tak aby umożliwić zabudowę bocznych belek nośnych, które przejęły z korpusu ciągnika znaczną część sił ściskających i rozciągających działających na ciągnik podczas pracy manewrowej na torach. Wzmocnienie korpusu ciągnika bocznymi belkami umożliwia pchanie i ciągnięcie przodem i tyłem ciągnika tej samej liczby doczepionych wagonów co poprawia efektywność wykorzystania ciągnika w pracach manewrowych ze składem wagonów, jak również chroni ciągnik przed uszkodzeniem przy przypadkowym uderzeniu ciągnika w

zderzaki wagonu podczas łączenia ciągnika z wagonem. Jak wykazały przeprowadzone teoretyczne analizy wytrzymałości konstrukcji i wykonane statyczne badania wytrzymałościowe, konstrukcja ciągnika przewyższa postawione założenie spełnienia wymagań wytrzymałościowych przy opóźnieniu nabiegania równym 2 g.

Uzyskano wytrzymałość konstrukcji na działanie sił wzdłużnych, ściskających spełniającej wymagania wytrzymałościowe przy uderzeniu ciągnika o zderzaki wagonów z siłą ~ 300 kN z opóźnieniem nabiegania 3 g.

Statyczne badania wytrzymałościowe wykazały, że pomimo podniesienia wartości obciążeń wzdłużnych w porównaniu do obciążeń założonych przy teoretycznej ocenie wytrzymałości nadal istnieje duża rezerwa wytrzymałości konstrukcji, struktury nośnej ciągnika. Z uwagi na brak wiedzy dotyczącej budowy korpusu i dopuszczalnych parametrów wytrzymałościowych korpusu ciągnika oraz istniejące ryzyko uszkodzenia korpusu podczas badań, nie podwyższono wartości sił i badania zakończono przy wartościach: ściskanie 300 kN, rozciąganie 150 kN.

Literatura:

1. Medwid M., Chyrek W., Cichy R., Przepióra K.: *Wielozadaniowy ciągnik szynowo – drogowy do prac manewrowych na torach kolejowych i tramwajowych. Politechnika Warszawska. Zeszyty Naukowe Instytutu Pojazdów nr 2/2006.*
2. Kruś M., Sienicki A., Medwid M.: *Sprawozdanie z obliczeń wytrzymałościowych przedniego i tylnego mechanizmu ciągłowo – zderzającego ciągnika szynowo – drogowego. Opracowanie OR – 9285. Archiwum, IPS „TABOR”. Poznań grudzień 2007.*
3. Kruś M., Sienicki A., Medwid M.: *Sprawozdanie z obliczeń wytrzymałościowych podwozia ciągnika szynowo – drogowego. Opracowanie OR – 9327. Archiwum, IPS „TABOR”. Poznań marzec 2008.*
4. Kowalski M., Zbierski A., Wilczek R.: *Statyczne badania wytrzymałościowe ciągnika szynowo – drogowego typu C120 na bazie ciągnika ORION. Raport z badań, RP – 0439. Archiwum IPS „TABOR”. Poznań kwiecień 2008.*
5. Medwid M.: *Studium tworzenia intermodalnych środków transportu lądowego w szczególności taboru bimodalnego. Rozprawy. Politechnika Poznańska. Poznań 2008.*