

## **Durability tests of road-rail vehicles to receive operation admission**

### **Badania wytrzymałościowe pojazdów szynowo - drogowych w celu uzyskania dopuszczenia do eksploatacji**

*The subject of the article is presenting the rules for the admission of road-rail vehicles in Poland to service in relation to current standards and regulations. The article presents categories of road-rail vehicles depending on their construction and purpose, along with providing examples of design solutions for each group of vehicles. The article outlines the requirements for rail vehicles in relation to road-rail vehicles in the aspect of conducting durability tests for the vehicle type approval process. The main focus is placed on the construction and testing of vehicles built on the basis of existing road vehicles.*

*Przedmiotem opracowania jest prezentacja zasad dopuszczania pojazdów szynowo - drogowych w Polsce w odniesieniu do obecnie obowiązujących norm i przepisów. W artykule przedstawiono kategorie pojazdów szynowo - drogowych w zależności od ich budowy i przeznaczenia oraz pokazano przykłady rozwiązań konstrukcyjnych w odniesieniu do każdej grupy pojazdów. e Zaprezentowano wymagania stawiane pojazdom szynowym w odniesieniu do pojazdów szynowo - drogowych w aspekcie przeprowadzenia procesu homologacji pojazdów w obszarze badań wytrzymałościowych. Główny nacisk położono na konstrukcje i badania pojazdów budowanych na bazie istniejących pojazdów drogowych.*

#### **1. Introduction**

Road-rail vehicles have become permanently entrenched in the Polish railway landscape. There is a great demand for modern road-rail vehicles that can provide railway services, such as track repairs, as well as perform many works such as shunting operations. Road-rail vehicles, like all vehicles moving on railway lines, must have an authorization admitting them to service issued by the President of the Office of Rail Transport (UTK). At the Rail Vehicles Institute in Poznań, over the past thirty years, a series of road-rail vehicle structures has been developed, including technical and railway rescue vehicles, railway and tramway infrastructure maintenance, supplying fuel to diesel rail vehicles and vehicles for shunting operations on railway sidings.

In Poland, standard road vehicles are adapted to a road-rail vehicle, which significantly limits their functional capabilities as a road-rail vehicle.

The scope of tests necessary to pass the tests was specified in the Regulation of the Minister of Infrastructure and Construction of April 21, 2017 on the interoperability of the railway system [1]. According

#### **1. Wstęp**

Pojazdy szynowo - drogowe na trwałe wpisały się w kolejowy krajobraz Polski. Istnieje duże zapotrzebowanie na nowoczesne pojazdy szynowo - drogowe, które mogą świadczyć usługi dla kolejnictwa jak remonty torowisk oraz wykonywać wiele prac jak prace manewrowe. Pojazdy szynowo - drogowe tak jak wszystkie pojazdy poruszające się po liniach kolejowych muszą posiadać zezwolenie do eksploatacji wydane przez Prezesa Urzędu Transportu Kolejowego (UTK). W Instytucie Pojazdów Szynowych w Poznaniu w ciągu ostatnich trzydziestu lat opracowano szereg konstrukcji pojazdów szynowo - drogowych, w tym pojazdy do ratownictwa technicznego i kolejowego, czyszczenia infrastruktury kolejowej i tramwajowej, dostarczających paliwo do spalinowych pojazdów szynowych oraz pojazdy do prowadzenia prac manewrowych na bocznicach kolejowych.

W Polsce do adaptacji pojazdu samochodowego na pojazd szynowo - drogowy wykorzystuje się najczęściej standardowe pojazdy drogowe co istotnie ogranicza ich możliwości funkcjonalne jako pojazdu szynowo - drogowego.

to §14, in the case of a railway vehicle not conforming to the TSI, adapted to move on railway tracks and public roads (road-rail vehicle), the required range of parameters subject to evaluation only covers points 1, 2, 3, 4, 7, 11 and 13 of Annex 4 to the Regulation.

The points discussed in Annex 4 to the Regulation are:

- general documentation including a description of a new, renewed or modernized vehicle and its destination, design, repairs, information on operation and maintenance, technical documentation (point 1).
- the construction and mechanical parts, including mechanical integrity and interface between vehicles with regard to pushback couplers, gangways, strength of the vehicle structure and its equipment, load capacity, passive safety, including external and internal crashworthiness.
- vehicle interaction with the track and the gauge issues, including mechanical interfaces with the infrastructure taking into account static and dynamic behavior, vehicle structure gauge and loading gauge, track gauge, gear systems.
- braking devices, including wheel anti-slip devices and braking control devices, and service braking, emergency and parking braking performance.
- external warning systems, markings, functions and integrity requirements of the software: external warning systems, labeling, functionality and integrity of the software, including safety functions affecting the behavior of the train and the train communication bus.
- operation, including on-board equipment and interfaces for service activities.
- performance requirements, including specific operational requirements for vehicles, including the operating mode in the case of system failure as well as vehicle repairs.

The above requirements are correlated with the List of the President of UTK [2], where they were assigned norms and requirements precisely defining the scope of activities to be performed during vehicle type approval tests. It should be noted that the requirements apply to vehicles moving on the so-called active track, i.e. track which is used for normal rail vehicle traffic.

## 2. Road-rail vehicles

According to the provisions of EN 15746 [3], road-rail vehicles can be divided into two categories 8 and 9. Table 1 presents the categorization of machines.

Zakres badań koniecznych do skontrolowania został określony w Rozporządzeniu Ministra Infrastruktury i Budownictwa z dnia 21 kwietnia 2017 r. w sprawie interoperacyjności systemu kolei [1]. Zgodnie z §14 w przypadku pojazdu kolejowego niezgodnego z TSI, przystosowanego do poruszania się po torach kolejowych i drogach publicznych (pojazdu szynowo - drogowego), wymagany zakres parametrów koniecznych do skontrolowania obejmuje wyłącznie pkt 1, 2, 3, 4, 7, 11 i 13 załącznika nr 4 do rozporządzenia.

Punkty omówione w załączniku 4 do rozporządzenia to:

- dokumentacja ogólna z uwzględnieniem opisu nowego, odnowionego lub zmodernizowanego pojazdu i jego przeznaczenia, projektu, napraw, informacji dotyczących eksploatacji i utrzymania, dokumentacji technicznej (pkt. 1).
- konstrukcja i części mechaniczne, w tym integralność mechaniczna i interfejs między pojazdami z uwzględnieniem urządzeń ciągniko-zderznych, przejść międzywagonowych, wytrzymałość konstrukcji pojazdu i jego wyposażenia, pojemność ładunkowa, bezpieczeństwo bierne, w tym zewnętrzna i wewnętrzna wytrzymałość zderzeniowa.
- współdziałanie pojazdu z torem i zagadnienia skrajni, w tym interfejsy mechaniczne z infrastrukturą z uwzględnieniem zachowania statycznego i dynamicznego, skrajni budowli i skrajni ładunkowej, szerokości toru, układów biegowych.
- urządzenia hamowania, w tym urządzenia zapobiegające poślizgowi kół i urządzenia sterowania hamowaniem, oraz skuteczność hamowania służbowego, nagłego i postojowego.
- wymogi w zakresie zewnętrznych systemów ostrzegania, oznakowania, funkcji i integralności oprogramowania: zewnętrzne systemy ostrzegania, oznakowanie, funkcjonalność i integralność oprogramowania, w tym funkcje dotyczące bezpieczeństwa mające wpływ na zachowanie pociągu oraz magistrala komunikacyjna pociągu.
- obsługa, w tym urządzenia pokładowe i interfejsy przeznaczone dla czynności obsługowych.
- wymogi eksploatacyjne, w tym szczególne wymogi eksploatacyjne dla pojazdów z uwzględnieniem trybu pracy podczas awarii i przywracania sprawności pojazdu.

Powyższe wymagania skorelowane są z Listą Prezesa UTK [2], gdzie przypisano do nich normy i wymagania precyzyjnie określające zakres czynności do wykonania podczas homologacji pojazdu. Należy zwrócić uwagę, że wymagania obowiązują dla pojazdów poruszających się po tzw. torze czynnym, czyli

**Table 1. Road-rail vehicles categories [3]**  
**Tabela 1. Kategorie pojazdów dwudrogowych [3]**

Włączenie do pociągu	Konfiguracja koła drogowego i kolejowego	Samobieżna prędkość jazdy (v)	
		v < 100 km/h	v ≤ 60 km/h
Może być włączony do pociągu <100 km/h	wszystkie	Kategoria 8	
Nie można włączyć do pociągu. Dozwolone jest holowanie maszyn/ pojazdów szynowych, jeśli zostały zaprojektowane i zatwierdzone przez upoważniony organ	Hamowanie i napęd bezpośrednio na szynę, całkowite obciążenie przenoszone przez koła kolejowe	Kategoria 9 A	
	Hamowanie i napęd pośrednie, od kół jezdnych do kół kolejowych, całkowite obciążenie przenoszone przez koła kolejowe		Kategoria 9 B
	Hamowanie i trakcja na kołach drogowych, obciążenie dzielone między koła drogowo i kolejowe		Kategoria 9 C
Attached to train	Configuration of road and railway wheels	Vehicle speed (v)	
		v < 100 km/h	v ≤ 60 km/h
Can be moved at speeds of <100 km/h	all	Category 8	
Cannot be attached to train. Towing machines/rail vehicles is permitted if they have been designed and approved by an authorized body	Braking and drive directly on the rails, total load transmitted by the railway wheels	Category 9 A	
	Indirect braking and drive, from road wheels to railway wheels, total load transmitted by railway wheels		Category 9 B
	Braking and drive using road wheels, shared load between road and rail wheels		Category 9 C

po takim po którym odbywa się normalny ruch pojazdów.

## 2. Pojazdy szynowo - drogowe

Zgodnie z zapisami normy EN 15746 [3] pojazdy dwudrogowe można podzielić na dwie kategorie 8 i 9. W tabeli 1 przedstawiono kategoryzację maszyn.

Należy zwrócić uwagę, że maszyny kategorii 8 są przeznaczone do obsługi systemów sygnalizacji i sterowania torami. Maszyny kategorii 9A nie są zobowiązane do obsługi systemów sygnalizacji i sterowania toru i mogą prowadzić prace kolejowe w granicach określonych przez zarządcę infrastruktury.

Pierwszą grupą pojazdów zgodnie z zapisami normy EN 15746 [3] są pojazdy kategorii 8, które mogą być włączane do składu pociągu. Zapis ten oznacza, że ich budowa winna odpowiadać typowym pojazdom kolejowym. Zgodnie z zasadami konstrukcji pojazdy takie muszą być wyposażone we wszystkie elementy, które umożliwią ich eksploatację na torze kolejowym tj.: układ zderzno-pociągowy, układ hamulcowy, wzmocniona rama główna pojazdu itd. Przykład takiego pojazdu pokazano na rysunku 1.

Drugą grupę stanowią pojazdy kategorii 9B które nie mogą być włączane do składu pociągu. Zgodnie z zapisami normy [3] dozwolone jest holowanie maszyn oraz pojazdów szynowych, jeśli zostały odpowiednio zaprojektowane a ich parametry zatwierdzone przez jednostkę upoważnioną. Zgodnie z polskimi przepisami prace homologacyjne mogą prowadzić jednostki upoważnione przez Prezesa Urzędu Transportu Kolejowego i wymienione w Rozporządzeniu w sprawie interoperacyjności systemu kolei [1]. W grupie tej możemy wyróżnić 3 typy pojazdów.

a) Pierwszy typ stanowią pojazdy kategorii 9A gdzie jazda i hamowanie odbywa się za pomocą szynowego układu jezdny, a obciążenie pionowe przenoszone jest przez koła kolejowe. Przykładem rozwiązania konstrukcyjnego szynowego układu jezdny tej grupy pojazdów jest układ zastosowany na pojeździe IVECO EURO CARGO, gdzie koła drogowo są unoszone na odpowiednią wysokość od poziomu toru a

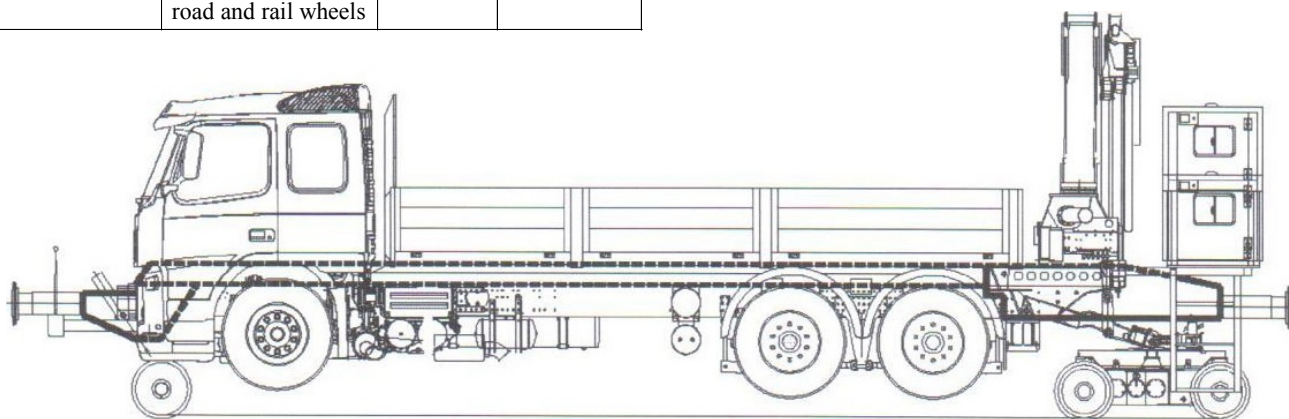


Fig. 1. Example of a category 8 vehicle that can be pulled by a train [3]

Rys. 1. Przykład pojazdu kategorii 8 mogącego poruszać się w składzie pociągu [3]

It should be noted that category 8 vehicles are intended for the management of signaling and track control systems. Category 9A machines are not obliged to operate signaling and track control systems and may carry out railway works within the limits set by the infrastructure manager.

The first group of vehicles in accordance with the provisions of EN 15746 [3] are category 8 vehicles that can be included as a part of the composition pulled by a train. This provision means that their construction should correspond to typical railway vehicles. In accordance with the principles of construction, such vehicles must be equipped with all the elements that will enable their operation on the railway track, i.e. buffer-braking system, braking system, reinforced main frame of the vehicle, etc. An example of such a vehicle is shown in Figure 1.

The second group is category 9B vehicles that cannot be included in the train composition. According to the provisions of the issued standard [3] towing of machines and railway vehicles is permitted if they have been properly designed and their parameters approved by the authorized body. According to Polish regulations, type approval may be carried out by units authorized by the President of the Office of Rail Transport and listed in the Regulation on the interoperability of the railway system [1]. Three types of vehicles can be distinguished in this group.

a) The first type is category 9A vehicles where driving and braking takes place by means of a rail drivetrain, and the vertical load is transmitted by railway wheels onto the track. An example of a railroad chassis construction solution in this group of vehicles is the system used on the IVECO EUROCARGO vehicle, where road wheels are raised to the appropriate height from the track level and the drive and braking of the vehicle on the track are provided by hydraulic motors mounted directly in the guide rollers. This solution can be used while designing vehicles for both railway and tram infrastructure. As a particularly advantageous application, it can be considered in the design of a road-rail vehicle for cleaning and maintenance of the tramway infrastructure. Due to the purpose of the vehicle, operation on tramway tracks where the minimum radius of the track arch is 18m, the design of the rail running gear must enable the vehicle to pass through such narrow arches of tracks. Therefore, four-roller swivel systems mounted on the front and rear chassis bridge have the ability to rotate relative to the drive axles by an angle of  $\pm 7^\circ$ , which ensures good traction of the rail drivetrain in arcs with such small radii. The rail chassis with guide rollers hydraulic drive is one of the most complex and technologically advanced solutions used so far in Polish road-rail vehicles. The detailed chassis description is presented in [11]. Figure 2 shows a vehicle with a hydraulic drive, and Figure 3 shows a rail drivetrain with a hydraulic drive on railway tracks.

napęd i hamowanie pojazdu na torze zapewniają silniki hydrauliczne zamontowane bezpośrednio w rolkach prowadzących. Rozwiązanie to można wykorzystać podczas projektowania pojazdów zarówno do infrastruktury kolejowej i tramwajowej. Jako szczególnie korzystne zastosowanie można uznać w projektowaniu pojazdu szynowo - drogowego do czyszczenia infrastruktury tramwajowej. Z uwagi na przeznaczenie pojazdu, eksploatacja na torach tramwajowych gdzie minimalny promień łuku toru wynosi 18m, konstrukcja szynowego układu jezdny musi umożliwić przejeżdżność pojazdu przez tak ciasne łuki torów. Dlatego czterorolkowe szynowe układy jezdne zamontowane na przednim i tylnym moście podwozia mają możliwość obrotu względem mostów napędowych o kąt  $\pm 7^\circ$  co zapewnia dobre wpisywanie się szynowego układu jezdny w łuki o tak małych promieniach. Szynowy układ jezdny z napędem hydraulicznym rolek prowadzących należy do najbardziej skomplikowanych i zaawansowanych technologicznie rozwiązań zastosowanych dotychczas na polskich pojazdach szynowo - drogowych. Szczegółowo szynowy układ jezdny zaprezentowano w pracy [11]. Na rysunku 2 pokazano pojazd z hydraulicznym napędem własnym, a na rysunku 3 pokazano szynowy układ jezdny z napędem hydraulicznym na torach kolejowych.



Fig. 2. Rail drivetrain equipped with a hydraulic drive  
Rys. 2. Szynowy układ jezdny z własnym napędem hydraulicznym



Fig. 3. Rail drivetrain with a hydraulic drive  
Rys. 3. Szynowy układ jezdny z napędem hydraulicznym

b) The second design solution of the rail drivetrain system is the drum motor friction drive system, which has been used in the mass-produced IVECO EURO-CARGO off-road chassis. The gauge of the tires of most series-produced truck chassis is greater than the track gauge. In the IVECO EURO-CARGO chassis is 2060mm for the front wheels and 2040mm for the rear wheels between the tire centers. Despite the wide tires mounted in this chassis, it is not possible to put tires on the track rails. Therefore, a tracked undercarriage with a friction drive was used in this case. Rail axles equipped with rollers are mounted on the front and rear driving gear of the chassis. At the ends of the rail axles, drive drums coupled with guide rollers have been mounted by means of a satellite transmission installed in the guide rollers. The satellite gear changes the direction of rotation of the guide roller and reduces the rotation of the roller in relation to the drive drum. When driving on road, the rail axles are raised and hang on the piston rods of hydraulic cylinders appropriately mounted on the front and rear runner frame. For driving on railway tracks, the rail axles are lowered onto the track via hydraulic cylinders and are pressed against the driving drums for the tires, and the tires are raised at the appropriate height from the track level. The drive and braking of the vehicle is carried out using the friction force at the contact surface of the tires with the driving drums. The construction and principle of operation of the rail drivetrain system with friction drive is presented in more detail in [6] and [7]. Figure 4 shows an example of a vehicle solution with a drivetrain using a roller drive.



Fig. 4. Vehicle with a rail drivetrain system with friction drum drive

Rys. 4. Pojazd z szynowym układem jezdny z napędem bębnowym ciernym

c) The last group (9C) are vehicles equipped with a rail roller drive system, where the rollers are pressed with appropriate vertical force to the track and guide the vehicle on the track, and the drive and braking of the vehicle on the track is carried out by the tires of the road wheels that are pressed to the rails. The vertical pressure of road wheels to the track resulting from the weight of the vehicle is reduced by the sum of the

b) Drugim rozwiązaniem konstrukcyjnym szynowego układu jezdny jest układ z napędem ciernym bębnowym, który znalazł zastosowanie na seryjnie produkowanym podwoziu terenowym IVECO EURO-CARGO. Rozstaw poprzeczny opon większości seryjnie produkowanych podwozi samochodów ciężarowych jest większy od rozstawu szyn toru. W podwoziu IVECO EURO-CARGO wynosi on 2060mm dla kół przednich i 2040mm dla kół tylnych między środkami opon. Mimo szerokich opon zamontowanych w tym podwoziu nie ma możliwości postawienia opon na szynach toru. Dlatego zastosowano tu szynowy układ jezdny z napędem ciernym bębnowym. Szynowe osie wyposażone w rolki zamontowano odpowiednio na przednim i tylnym moście napędowym podwozia. Na końcach osi szynowych ułożyskowano bębny napędowe sprzężone z rolkami prowadzącymi za pośrednictwem przekładni satelitarnej zabudowanej w rolkach prowadzących. Przekładnia satelitarna zmienia kierunek obrotów rolki prowadzącej oraz redukuje obroty rolki w stosunku do bębna napędowego. Podczas jazdy na drodze osie szynowe są uniesione i wiszą na tłoczkach siłowników hydraulicznych odpowiednio zamontowanych na szynowym układzie jezdny przednim i tylnym. Do jazdy po torach kolejowych osie szynowe są opuszczane na tor siłownikami hydraulicznymi i dociskane bębnami napędowymi do opon, a opony unoszone na odpowiednią wysokość od poziomu toru. Napęd i hamowanie pojazdu realizowane są z wykorzystaniem siły tarcia na powierzchni styku opon z bębnami napędowymi. Budowę i zasadę działania szynowego układu jezdny z napędem ciernym bębnowym przedstawiono bardziej szczegółowo w pracy [6], [7]. Na rysunku 4 pokazano przykład rozwiązania pojazdu z napędem za pomocą napędu rolek.

c) Ostatnią grupę (9C) stanowią pojazdy wyposażone w szynowy układ jezdny rolkowy, gdzie rolki są dociskane odpowiednią siłą pionową do toru i prowadzą pojazd w torze, a napęd i hamowanie pojazdu na torze są realizowane przez koła drogowe, które są oparte na szynach. Docisk pionowy kół drogowych do toru wynikający z masy pojazdu, jest pomniejszony o sumę docisku pionowego przypadającą na rolki prowadzące. Takie rozwiązanie konstrukcyjne szynowego układu jezdny należy do najprostszyc i najtańszyc rozwiązań, jednak warunkiem jego zastosowania jest aby rozstaw poprzeczny kół drogowyc pojazdu w przybliżeniu wynosił ~1500mm. Warunek ten spełniają ciągniki drogowe oraz samochody terenowe wybranych marek pojazdów lub w przypadku, gdy producenci pojazdów drogowyc decydują się na przerobienie nadwozia pojazdu. Takie rozwiązanie konstrukcyjne szynowego układu jezdny zastosowano między innymi w pojazdach budowanych na bazie podwozia STAR po zwiężeniu rozstawu kół do wartości 1600mm, przez producenta podwozia STAR.

vertical pressures of each of the rollers. Such a structural solution of the rail drive system belongs to the simplest and cheapest solutions, but the condition for its use is that the spacing of the road wheels of the vehicle is approximately  $\sim 1500\text{mm}$ . This condition is met by road tractors and off-road vehicles of selected vehicle manufacturers or when road vehicle manufacturers decide to convert the vehicle body to match this criterion. Such a structural solution of the rail drive system was used in vehicles built on the basis of the STAR chassis after narrowing the wheelbase by the manufacturer of the chassis to the value of  $1600\text{mm}$ . A detailed description of the construction solutions of the rail drive system of this type is presented in [8] and [9]. An example of such a vehicle is shown in Figure 5.

### 3. Calculation and testing of category 9 road-rail vehicles

According to the provisions of the standard [3], category 9 vehicles cannot be included as a part of the train composition. Towing of machinery or rail vehicles is permitted if it has been designed and approved by an authorized body. In Poland, these bodies are authorized to carry out tests necessary for obtaining the permission for operation of railway vehicles not complying with the TSI and their list can be found in regulation [1].

The issues related to the construction and mechanical parts covered in point 2 of the Regulation [1], are specifically: vehicle durability, load and mass distribution, exerted wheel pressure, fixing devices to the box, couplers. The legal regulations in terms of material strength durability apply mainly to PN-EN 12663-1+A1 [5], PN-EN 14033 [4], and PN-EN-15746-1 [3]. In the case of the first two standards, this means that each road-rail machine should transfer its loads like a railway vehicle. Such requirements may apply to category 8 road-rail vehicles. Whereas for vehicles of category 9, especially those based on automotive chassis structures, these requirements simply cannot be met. The solution could be to apply the requirements of the standard [3]. This standard states that except for the cases specified in the standard, there are no special requirements regarding the strength and durability of the machine frame with regard to its use on railway tracks. In the case when the machine is converted from a road vehicle for use on rail tracks, the design of this conversion does not affect the strength of the basic vehicle structure and is sufficient to meet the requirements.

Road-rail machines perform various functions in the railway system. Some of them are designed to carry out works related to shunting wagons on sidings. Equally often, the producers, in order to increase the attractiveness of the machine, equip it with devices that allow the maneuvering of single wagons. Such a

Szczegółowy opis rozwiązań konstrukcyjnych szynowych układów jezdnych tego typu przedstawiono w pracach [8] i [9]. Przykład takiego pojazdu pokazano na rysunku 5.



Fig. 5. Rail drive system used to guide the vehicle on the track.  
Rys. 5. Szynowy układ jezdny prowadzący pojazd w torze.

### 3. Obliczenia i badania pojazdów szynowo - drogowych kategorii 9

Zgodnie z zapisami normy [3] pojazdów kategorii 9 nie można włączyć do pociągu. Dozwolone jest holowanie maszyn lub pojazdów szynowych, jeśli zostały zaprojektowane i zatwierdzone przez upoważniony organ. W Polsce organami upoważnionymi są jednostki uprawnione do przeprowadzania badań niezbędnych do dopuszczenia do eksploatacji pojazdów kolejowych niezgodnych z TSI a ich wykaz znajduje się w rozporządzeniu [1].

Objęte punktem 2 rozporządzenia [1] zagadnienia związane z konstrukcją i częściami mechanicznymi a w szczególności: wytrzymałość pojazdu, obciążenie i rozkład masy, naciski, mocowanie urządzeń do pudła, sprzęgi. Przepisy prawa w zakresie wytrzymałości odnoszą się głównie do norm PN-EN 12663-1+A1 [5] oraz PN-EN 14033 [4] oraz normy PN-EN-15746-1 [3]. W przypadku dwóch pierwszych norm oznacza to, że każda maszyna robocza szynowo - drogową winna przenosić obciążenia jak pojazd kolejowy. Tak postawione wymagania mogą odnosić się do pojazdów szynowo - drogowych kategorii 8. Dla pojazdów kategorii 9 zwłaszcza opartych na konstrukcjach samochodowych nie jest możliwe do spełnienia. Rozwiązaniem mogłoby być zastosowanie wymagań normy [3]. W normie tej [3] znajdujemy zapisy mówiące, że z wyjątkiem przypadków określonych w normie nie ma specjalnych wymogów dotyczących wytrzymałości ramy maszyny w odniesieniu do jej zastosowania na torach kolejowych. W przypadku, gdy maszyna jest konwertowana z pojazdu drogowego na tory, konstrukcja tej konwersji nie narusza wytrzymałości konstrukcji pojazdu bazowego i jest wystarczająca do spełnienia wymagań.

Maszyny szynowo - drogowe pełnią różne funkcje w systemie kolejowym. Niektóre z nich są przeznaczone do prowadzenia prac związanych z przetaczaniem wagonów kolejowych na bocznicach. Równie

change usually requires interference in the basic structure of the vehicle. According to the provisions of the standard [3], any change in the design of category 9 machinery in relation to the original base vehicle design requires proof that the design of the machine frame is consistent with the intended use. Such changes may be necessary in particular when the machine is intended for cooperation with other vehicles. These vehicles need to be checked depending on the significance of the change. The proof can be carried out on a test bench or in the form of simulation calculations.

An example is a road-rail vehicle that has been equipped with additional elements. The tractor is equipped with a suitable bracket 1 designed for mounting on the front axle of the tractor, the front traction system (Fig. 6a) and reinforcement beams 2 and 3 shown in Figure 6b. The reinforcing beams inserted on both sides of the chassis body were attached to the body in the middle and end parts.

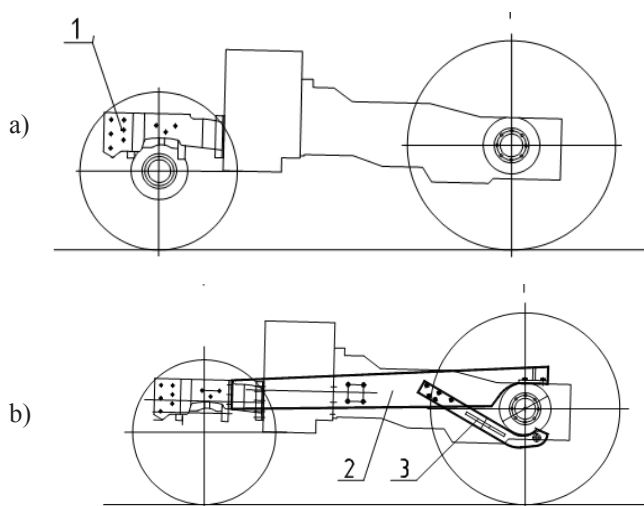


Fig. 6. Additional beam reinforcing road-rail vehicle for improved strength durability [10]

Rys. 6. Dodatkowe belki wzmacniające pojazd szynowo - drogowy poprawiające wytrzymałość [10]

The engineers designing the changes had to determine the values of the forces that the vehicle will be subjected to during operation. Strengthening of the tractor body with side beams allows the tractor to push and pull the same number of wagons, which improves the tractor's efficiency in shunting work with a group of wagons, as well as protects the tractor against accidental impact of the tractor on the wagon buffers when connecting the tractor and the wagon. The results of the tests and the detailed scope of the tests have been presented in [10].

The following cases of load distribution were considered in the calculations:

- tractor stretching with a force of 100kN in the axis of the coupling and vertical load of the flat bar coming from the tractor's weight - 100kN,

często producenci, w celu zwiększenia atrakcyjności maszyny, wyposażają ją w urządzenia pozwalające przetaczać pojedyncze wagony. Zmiana taka wymaga zazwyczaj ingerencji w konstrukcję bazową pojazdu. Zgodnie z zapisami normy [3] każda zmiana w konstrukcji maszyny kategorii 9 w stosunku do pierwotnego projektu pojazdu bazowego wymaga dowodu, że konstrukcja ramy maszyn jest zgodna z przeznaczeniem. Zmiany takie mogą być konieczne zwłaszcza gdy maszyna przeznaczona jest do współpracy z innymi pojazdami. Pojazdy takie wymagają sprawdzenia w zależności od istotności zmiany. Dowód może być przeprowadzony na stanowisku badawczym lub w postaci obliczeń symulacyjnych.

Przykładem może być pojazd szynowo - drogowy, który został wyposażony w dodatkowe elementy. Ciągnik wyposażono w odpowiedni wspornik 1 przeznaczony do zamocowania na osi przedniej ciągnika, przedniego układu pociągowo - zderzny (rys. 6a) oraz belki wzmacniające 2 i 3 pokazanych na rysunku 6b. Belki wzmacniające wprowadzone po obu stronach korpusu podwozia zamocowano do korpusu w części środkowej i końcowej.

Konstruktorzy projektujący zmiany musieli określić wartości sił jakim będzie poddawany pojazd podczas eksploatacji. 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. Wyniki badań oraz szczegółowy zakres badań zostały przedstawione w artykule [10].

Obliczeniami zostały objęte następujące przypadki obciążeń:

- rozciąganie ciągnika siłą 100kN w osi sprzęgu i obciążenie pionowe płaskownika pochodzące od ciężaru ciągnika - 100kN,
- ściskanie ciągnika siłą 200kN w osi sprzęgu i obciążenie pionowe płaskownika pochodzące od ciężaru ciągnika - 100kN,
- obciążenie konstrukcji ciągnika od masy własnej podczas unoszenia ciągnika na siłowniach szynowego układu jezdny.

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

W przypadku określenia naprężeń dla materiałów plastycznych zjawisko lokalnej koncentracji naprężeń może nie być brane pod uwagę. Jeżeli obliczenia obejmują lokalne koncentracje naprężeń, to

- compressing the tractor with a force of 200kN in the axis of the coupling and vertical load on the flat bar coming from the tractor's weight - 100kN,
- loading of the tractor structure from its own weight while lifting the tractor on the rail drive system actuator cylinders.

The strength durability assessment is performed on the reduced stresses value  $\sigma_{red}$  in individual structural elements, which are determined in accordance with the straining hypothesis of Treska's strain energy. Stress values must not exceed the limit values  $\sigma_{dop}$  at any point.

However, if stresses are determined for plastic materials, the phenomenon of local stress concentration may not be taken into account. If the calculations include local stress concentrations, then the theoretical stresses may exceed the yield point or the conventional yield point at 0.2% elongation. The area of local plastic deformations associated with the stress concentration should, however, be small enough that significant permanent deformations will not remain once the load is removed.

Table 2 presents the material characteristics of steel used for the construction of pushback couplers and flat bar mechanisms.

The values of the permitted stresses for each load case were taken at the yield point  $R_e$ .

When modeling the object, the geometrical dimensions and shapes of the model of the front and rear pushback coupler mechanism, all elements that play a significant role in the operation of the vehicle and the correct introduction of forces were taken into account. The model of the engine body as well as the transmission was made on the basis of sketches and is an approximate model. An example schematic of transferring individual loads is shown in Figure 7. Figure 8 presents an example of the distribution of the reduced stresses of the load-bearing structure of the tractor.

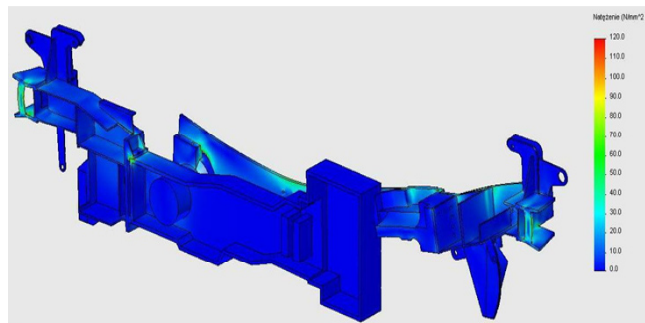


Fig. 8. Reduced stresses distribution in [MPa] arising during tractor stretching with a force of 100kN in the axis of the coupling and vertical load derived from the tractor's weight - general view of the model, the scale of deformation is 250

Rys. 8. Rozkład naprężeń zredukowanych w [MPa] powstających podczas rozciągania ciągnika siłą 100kN w osi sprzęgu i obciążenia pionowego pochodzącego od ciężaru ciągnika – widok ogólny modelu, skala deformacji 250

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 powinny być jednak dostatecznie małe, aby po zdjęciu obciążenia nie pozostały znaczące trwałe deformacje.

W tabelicy 2 przedstawiono charakterystykę materiałową stali zastosowanej do budowy mechanizmów ciągnikowo-zderznych i płaskowników.

Table 2 Basic material characteristics of 18G2A steel  
Tabela 2. 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	
Steel type	Element thickness [mm]	Plasticity limit $R_e$ [MPa]	Fatigue strength $R_m$ [MPa]
18G2A E355	up to 16	355	490 – 625
	16 - 30	345	

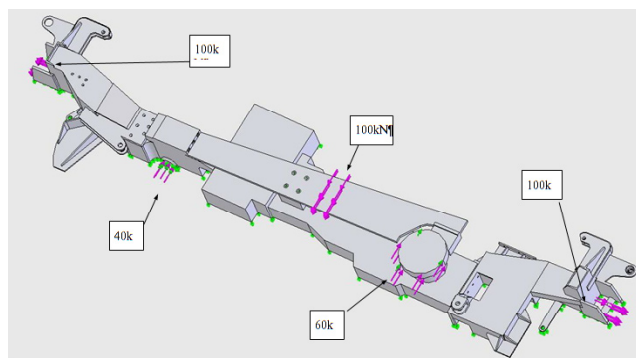


Fig.7. Loading schematic of the calculation model with longitudinal force and vertical load from the weight of the tractor

Rys.7. Schemat obciążenia modelu obliczeniowego siłą wzdłużną i obciążeniem pionowym pochodzącym od ciężaru ciągnika

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

Podczas modelowania obiektu uwzględniono wymiary geometryczne i kształty modelu mechanizmu ciągnikowo-zderznego przedniego i tylnego, uwzględniono 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. Przykładowy schemat wprowadzenia i odebrania poszczególnych obciążeń przedstawiono na rysunku 7. Na rysunku 8 przedstawiono przykładowy rozkład zredukowanych naprężeń konstrukcji nośnej ciągnika.



A comprehensive analysis of structure loads is presented in [10]. By analyzing the results of calculations the authors of the article concluded, that it is possible to state that the road-rail tractor construction together with the pushback coupling mechanisms and the additional flat bar meets the strength criteria for individual load cases specified in table 2. It is important, however, that in the described solution there is the possibility of creating such a support system that isolates the engine body and the tractor's transmission from the transmission of longitudinal forces. Flat bars together with the tractor adapter and pullback coupling mechanisms form such a system and minimize the share of the tractor block in the transmission of longitudinal forces.

The described change was qualified as significant. The vehicle underwent both computer simulations and stationary bench tests.

Figure 9 shows the tests of a road-rail vehicle on a test bench.

The example presented above may provide guidelines for the manufacturers seeking type approval for category 9 road-rail vehicles according to the standard [3], which include the possibility of towing other vehicles. The presented course of proceedings covers the project, numerical calculations and laboratory tests. The results obtained this way, including blueprints and schematics, results of calculations and bench tests are evidence in proceedings that will allow obtaining an operational permission for a road-rail vehicle intended for towing other vehicles.

#### 4. Conclusions

Obtaining a vehicle operating permit is one of the most important parts of the entire life cycle of the machine. The range of requirements set for road-rail vehicles presented in the article is just one of the prerequisites for a selected group of vehicles in the type approval process. However, in the given example it has already been shown how much work should be performed into properly conducting the type approval process. The strength durability requirement for vehicles intended for towing other vehicles presented in the article is important due to the numbers of vehicles equipped with traction devices and the lack of appropriate evidence for their structural safety. A big problem is The prominence of vehicle series manufactured in small numbers or individual units is a real problem, which is associated with significant costs of design and research works. However, safety requirements should be a priority when producing road-rail vehicles.

At present, the vehicle type approval process does not distinguish between vehicle categories in the same way as the available normative provisions. As a result, in accordance with the applicable regulations, all types of vehicles are subject to the same require-

Całościowa analiza obciążeń konstrukcji została przedstawiona w artykule [10]. Autorzy artykułu analizując wyniki obliczeń doszli do wniosku, że można stwierdzić, iż konstrukcja podwozia ciągnika szynowo - drogowego wraz z mechanizmami ciągnikowo-zderzonymi oraz dodatkowym płaskownikiem spełnia kryteria wytrzymałości dla poszczególnych przypadków obciążeń określonych tabeli 2. Istotne jest jednak to, iż w opisanym rozwiązaniu istnieje możliwość stworzenia takiego układu nośnego, który odizoluje korpus silnika i przekładnię ciągnika od przenoszenia sił wzdłużnych. Płaskowniki wraz z adapterem ciągnika i mechanizmami ciągnikowo-zderzonymi tworzą taki układ i minimalizują udział bloku ciągnika w przenoszeniu sił wzdłużnych.

Opisana zmiana została zakwalifikowana jako istotna. Pojazd został poddany zarówno symulacjom komputerowym jak i badaniom stanowiskowym.

Na rysunku 9 przedstawiono badania pojazdu dwudrogowego na stanowisku badawczym.



Fig. 9. Tensile test of a road-rail vehicle [archives of IPS „TABOR”]

Rys. 9. Próba rozciągania pojazdu szynowo drogowego [archiwum IPS „TABOR”]

Przedstawiony powyżej przykład stanowi może wytyczne do postępowania dla producentów ubiegających się o homologację dla pojazdów szynowo - drogowych kategorii 9 wg normy [3], w których przewidziano możliwość holowania innych pojazdów. Przedstawiony tok postępowania obejmuje projekt, obliczenia numeryczne i badania stanowiskowe. Uzyskane tą drogą wyniki obejmujące rysunki konstrukcyjne, wyniki obliczeń i badań stanowiskowych są dowodami w postępowaniu, które umożliwi uzyskanie zezwolenia na eksploatację pojazdu szynowo - drogowego przeznaczonego do holowania innych pojazdów.

#### 4. Podsumowanie

Uzyskanie zezwolenia na eksploatację pojazdów stanowi jeden z najistotniejszych elementów w

ments. It is particularly necessary to separate the requirements for category 8 and 9 vehicles.

An important aspect of vehicle type approval is the involvement of the line operator on which the vehicle operates in the type approval process. These operators know the track characteristics best along with all restrictions that may occur on them and should be accounted for.

The UTK has recently, with the support of authorized units, taken measures to allow the type approval of road-rail vehicles. These activities are to lead to the creation of a list of regulations allowing the safe operation of road-rail vehicles.

### **Bibliography / Literatura:**

- [1] *Rozporządzenie Ministra Infrastruktury i Budownictwa z dnia 21 kwietnia 2017 r. w sprawie interoperacyjności systemu kolei (DZ. U. 2017 poz.934).*
- [2] *Lista Prezesa Urzędu Transportu Kolejowego w sprawie właściwych krajowych specyfikacji technicznych i dokumentów normatywnych, których zastosowanie umożliwia spełnienie zasadniczych wymagań dotyczących interoperacyjności systemu kolei.*
- [3] *Norma PN-EN-15746-1+A1:2012. Kolejnictwo. Tor. Maszyny drogowo torowe i ich wyposażenie – część 1: Wymagania techniczne dla ruchu i pracy.*
- [4] *Norma PN-EN 14033. Kolejnictwo. Tor – Maszyny do budowy i utrzymania toru.*
- [5] *Norma PN-EN 12663-1+A1 Kolejnictwo. Wymagania konstrukcyjno-wytrzymałościowe dotyczące pułków kolejowych pojazdów szynowych. Część 1: Lokomotywy i tabor pasażerski (i metoda alternatywna dla wagonów towarowych)*
- [6] *Medwid M.: Przykład zastosowania pojazdu szynowo-drogowego w służbach budowy i utrzymania infrastruktury kolejowej PKP. Pojazdy Szynowe 4/02r.*
- [7] *Medwid M., Sienicki A.: Pojazd szynowo-drogowy z bębnowym napędem ciernym szynowego układu jezdnego. Pojazdy Szynowe 1/03r.*
- [8] *Medwid M., Cichy R., Przepióra K.: Ciągnik szynowo drogowy do prowadzenia prac manewrowych na bocznicach kolejowych, Zeszyty Naukowe Instytutu Pojazdów 2(61)/2006Wydział Samochodów i Maszyn Roboczych, Politechnika Warszawska*
- [9] *Medwid M., Cichy R., Jakuszko W.: Modelowanie kolumnowej struktury szynowego układu jezdnego na przykładzie maszyny roboczej typu „MERLO”. Pojazdy Szynowe 01/2014.*
- [10] *Medwid M., Cichy R.: Ciągnik szynowo drogowy o zwiększonej wytrzymałości mechanicznej na działanie sił wzdłużnych. Pojazdy Szynowe 1/2010*
- [11] *Medwid M., Przepióra K.: Pojazd szynowo-drogowy do oczyszczania infrastruktury tramwajowej. Pojazdy Szynowe, nr 4/03, 2003, s. 1-20.*

całym cyklu życia maszyny. Zaprezentowany w artykule zakres wymagań stawianych pojazdom szynowo - drogowym to tylko jedno z wymagań stawianych wybranej grupie pojazdów w procesie homologacji. Niemniej już na tym przykładzie można pokazać jak wiele prac należy wykonać aby właściwie przeprowadzić proces dopuszczenia. Prezentowany w artykule zakres obejmujący wytrzymałość pojazdów przeznaczonych do holowania innych pojazdów jest istotny z uwagi na częste wyposażanie pojazdów w urządzenia pociągowe i braku odpowiednich dowodów na bezpieczeństwo konstrukcji. Dużym utrudnieniem jest fakt występowania niewielkich serii pojazdów lub pojedynczych sztuk, co wiąże się ze znacznymi kosztami prac projektowych i badawczych. Niemniej wymagania bezpieczeństwa powinny być priorytetem podczas produkcji pojazdów dwudrogowych.

Obecnie proces homologacji pojazdu nie rozgranicza kategorii pojazdów tak jak dostępne przepisy normatywne. Powoduje to, że zgodnie z obowiązującymi przepisami wszystkie typy pojazdów podlegają tym samym wymaganiom. Szczególnie niezbędne jest rozdzielenie wymagań dla pojazdów kategorii 8 i 9.

Istotnym elementem dla homologacji pojazdów jest zaangażowanie w proces dopuszczenia pojazdu operatora linii, po której porusza się pojazd. Podmioty te najlepiej znają charakterystykę torów wraz ze wszystkimi ograniczeniami, które mogą się na nich pojawić.

W ostatnim czasie UTK przy wsparciu jednostek upoważnionych podjęło działania mające umożliwić homologację pojazdów szynowo - drogowych. Działania te mają doprowadzić do stworzenia wykazu przepisów pozwalających na bezpieczną eksploatację pojazdów dwudrogowych.