

dr hab. inż. Marian Medwid, prof. Instytutu
dr inż. Paweł Daszkiewicz
dr inż. Jarosław Czerwiński
mgr inż. Wojciech Jakuszko
Łukasiewicz – Instytut Pojazdów Szynowych „TABOR”
mgr inż. Emil Kazimierzczak
CLAAS Polska

Rail-road tractor with diesel-electric drive

Ciągnik szynowo-drogowy z napędem spalinowo-elektrycznym

The paper presents the results of preliminary research works carried out in the ŁUKASIEWICZ Research Network - Rail Vehicles Institute "TABOR" in cooperation with CLAAS Polska on the development of a rail-road tractor concept for maneuvering works with the rolling stock in the open area and the closed spaces (maintenance and repair halls). As a result of the theoretical and design analyses, the concept of a two-drive (diesel-electric) rail-road tractor was developed. The general concept of the mechanical part of the tractor designed based on the mass-produced CLAAS ARION 610 tractor is shown. The variant solutions of electric drive of rail axles and braking systems of the vehicle are presented.

W opracowaniu zaprezentowano wyniki wstępnych prac badawczych prowadzonych w Sieci Badawczej Łukasiewicz - Instytut Pojazdów Szynowych „TABOR” we współpracy z CLAAS Polska nad opracowaniem koncepcji ciągnika szynowo-drogowego do prowadzenia prac manewrowych z taborem kolejowym w terenie otwartym i pomieszczeniach zamkniętych (halach remontowo-naprawczych). W efekcie prowadzonych analiz teoretycznych i projektowych opracowano koncepcję dwunapędowego (spalinowo-elektrycznego) ciągnika szynowo-drogowego. Zaprezentowano ogólną koncepcję części mechanicznej ciągnika zaprojektowanego na bazie seryjnie produkowanego ciągnika CLAAS ARION 610. Przedstawiono wariantowe rozwiązania napędu elektrycznego osi szynowych oraz układów hamulcowych pojazdu.

1. Introduction

The Rail Vehicles Institute "TABOR" (currently in the ŁUKASIEWICZ Research Network structure) is a contractor of rail-road vehicles, including tractors for maneuvering works on the railway sidings. The made rail-road tractors are built based on mass-produced agricultural tractors. The first generation of tractors was created on URSUS tractors in several its variants. The next generation is based on the tractor produced by CRYSTAL TRAKTOR company.

Currently produced rail-road tractors are based on the reliable CLAAS ARION 610 tractor that meets the current applied regulations regarding the exhaust gas purity and comfort of operator's work. Currently, in the European Union countries for the diesel engines used in NRMM (Non-Road Mobile Machinery) vehicles, the tests are carried out in accordance with the procedure for two test cycles. The NRSC (Non-Road Stationary Cycle) test is a stationary cycle used to measure the gaseous compounds and particles. It is carried out in standards of Stage I-IV standards for engines with self-ignition whose the range of net power is in the range of $19 \text{ kW} \leq P \leq 560 \text{ kW}$. The

1. Wstęp

Instytut Pojazdów Szynowych „TABOR” (obecnie w strukturze Sieci Badawcza Łukasiewicz) jest wykonawcą pojazdów szynowo-drogowych, w tym ciągników do prowadzenia prac manewrowych na bocznicach kolejowych [4]. Wykonane ciągniki szynowo-drogowe są budowane na bazie seryjnie produkowanych ciągników rolniczych. Pierwsza generacją ciągników powstała na ciągnikach URSUS w kilku jego odmianach. Następna generacja na bazie ciągnika wytwarzanego w firmie CRYSTAL TRAKTOR.

Obecnie produkowane ciągniki szynowo-drogowe bazują na niezawodnym ciągniku CLAAS ARION 610 spełniającym aktualnie obowiązujące przepisy dotyczące czystości spalin oraz komfortu pracy operatora. Aktualnie w krajach Unii Europejskiej dla silników spalinowych użytkowanych w pojazdach NRMM (Non-Road Mobile Machinery) badania przeprowadzane są zgodnie z procedurą dla dwóch cykli testowych. Test NRSC (Non-Road Stationary Cycle), to stacjonarny cykl, stosowany do pomiarów gazowych związków oraz cząstek stałych. Przeprowadza się go w standardach norm Stage I-IV dla silników o zapłonie samoczynnym, których zakres mocy netto mieści

detailed method of conducting the test cycle of vehicle is defined in Directive 2004/26/EC. The nonstationary NRTC cycle (Non-Road Transient Cycle) is used to measure the gaseous compounds and particles, for the driving units complying with Stage IIIB and IV standards, engines with the self-ignition with the net power of $19 \text{ kW} \leq P \leq 560 \text{ kW}$, working at the variable rotation speed. The measurement of concentration in the non-diluted exhaust gas by integration of signal of the exhaust gas analyzer for this test is carried out in accordance with the procedure described in Directive 2010/26 /EU [6-9]. IPS "TABOR" in the next generations of tractors introduced the improvements improving its traction parameters, movement safety on tracks and reliability of work.

From the previous experiences of ŁUKASIEWICZ – Rail Vehicles Institute "TABOR" the demand of users for rail-road tractors results, which would be adapted to operation in the open areas and in the closed rooms - inspection and repair halls, where the tractor's drive with the diesel engine is harmful to the environment. The users of rolling stock, in particular the traction vehicles, are obliged to carry out the periodic inspections and repairs P1÷P5 specified in the Rolling Stock Maintenance Documentation. There is a need for frequent rolling of rolling stock (locomotives, traction units) into the halls. Due to the lack of power supply (contact line), the rolling stock must be moved using the special winches, diesel or electric (battery) auxiliary vehicles, most often with the rail-road tractors [10].

The traction parameters produced in the ŁUKASIEWICZ Research Network - Rail Vehicles Institute "TABOR" of CLAAS ARION tractors guarantee the maneuvers on the railway tracks with coupled wagons with a total weight of 1000 tons. For the maneuvering work the tractor reaches 45÷64 kN of tractive force. Such a large tractive force on the tractor's hook at an approximate own weight of 10 tons it is possible to obtain by the drive with tires mounted on the track rail heads. The coefficient of friction of rubber wheel - rail reaches up to 1 on the dry rails. Therefore, for light vehicles there is an advantage of the implementation of the tire-rail drive in relation to the drive of the steel wheel - rail, where the coefficient of friction reaches a maximum of 0.35 on the dry rails. Assuming that the transport inside of the hall concerns a maximum of several unloading wagons or one traction vehicle, a vehicle with less tractive force is sufficient. Therefore it is possible to implement the drive through the railway driving system of the tractor with the electric drive of steel guide rollers.

The subject of this study is the presentation of the preliminary results of studied works on the development of the concept of a rail-road tractor with the die-

się w przedziale $19 \text{ kW} \leq P \leq 560 \text{ kW}$. Szczegółowy sposób przeprowadzania cyklu badawczego dla pojazdów zdefiniowany jest w dyrektywie 2004/26/WE. Niestacjonarny cykl NRTC (Non-Road Transient Cycle) jest wykorzystywany do pomiaru gazowych związków oraz cząstek stałych, dla jednostek napędowych spełniających normy Stage IIIB i IV, silników o zapłonie samoczynnym o mocy netto mieszczącego się w zakresie $19 \text{ kW} \leq P \leq 560 \text{ kW}$, pracujących przy zmiennej prędkości obrotowej. Pomiar stężenia w spalinach nierozcieńczonych poprzez całkowanie sygnału analizatora spalin dla tego testu odbywa się zgodnie z procedurą opisaną w Dyrektywie 2010/26/UE [6-9].

IPS „TABOR” w kolejnych generacjach ciągników wprowadzał udoskonalenia poprawiające jego parametry trakcyjne, bezpieczeństwo ruchu na torach oraz niezawodność pracy [3, 5].

Z dotychczasowych doświadczeń Łukasiewicz – IPS „TABOR” wynika zapotrzebowanie użytkowników na ciągniki szynowo-drogowe, które byłyby przystosowane do eksploatacji w terenie otwartym oraz w zamkniętych pomieszczeniach – halach przeglądowo-naprawczych, gdzie napęd ciągnika silnikiem spalinowym jest szkodliwy dla otoczenia. Użytkownicy taboru kolejowego, zwłaszcza pojazdów trakcyjnych są zobowiązani do prowadzenia przeglądów i napraw okresowych P1÷P5 określonych w Dokumentacji Systemu Utrzymania taboru. Zachodzi więc potrzeba częstego wtaczania taboru (lokomotyw, zespołów trakcyjnych) do hal. Ze względu na brak zasilania (sieci trakcyjnej), przemieszczanie taboru musi być realizowane za pomocą specjalnych wyciągarek, spalinowych lub elektrycznych (akumulatorowych) pojazdów pomocniczych, najczęściej za pomocą ciągników szynowo-drogowych [10].

Parametry trakcyjne wytwarzanych w Sieci Badawczej Łukasiewicz – Instytut Pojazdów Szynowych „TABOR” ciągników CLAAS ARION gwarantują manewry na torach kolejowych z doczepionymi wagonami o łącznej masie 1000 ton [1, 2]. Do realizacji prac manewrowych ciągnik osiąga 45÷64 kN siły pociągowej. Tak duża siła pociągowa na haku ciągnika przy masie własnej około 10 ton jest możliwa do uzyskania przez napęd oponami posadowionymi na główkach szyn toru. Współczynnik tarcia koło gumowe – szyna dochodzi do 1 na suchych szynach. Stąd dla lekkich pojazdów istnieje przewaga realizacji napędu opona-szyna w odniesieniu do napędu koło stalowe – szyna, gdzie współczynnik tarcia osiąga maksymalnie wartość 0,35 na suchych szynach. Zakładając, że transport wewnątrz hali dotyczy maksymalnie kilku niezaladowanych wagonów lub jednego pojazdu trakcyjnego, wystarczy pojazd dysponujący mniejszą siłą pociagową. Możliwa jest więc realizacja napędu poprzez kolejowy układ jezdny ciągnika przy napędzie elektrycznym stalowych rolek prowadzących.

sel-electric drive adopted to operation in the open area and closed spaces.

2. Presentation of the preliminary concept of tractor

The adopted design assumptions:

Own weight of rail-road tractor - 10 200 kg (homologated)

Rail running gear system two rail axles - (four guide rollers)

Basic drive of tractor's riding on the tracks -diesel engine

Additional drive of tractor's riding on the tracks - electric motor

Supplying the electric motors - a set of lithium-ion batteries

Maximum tractive force on the hook with diesel drive - 64 kN

Maximum tractive force on the hook with electric drive - 10 kN

Speed of movement with electric drive - $1\div 3$ km/h

Maximum speed of tractor empty with diesel drive - 20 km/h

Working time on the electric supply - minimum 0,5 hour.

Supply voltage for electric motors - 200 V

Maximum power of electric motors - 20 kW (4 motors of 5 kW each)

Battery capacity - minimum 10 kWh

Weight of coupled rolling stock maximum - 120 tons.

Figures 1 and 2 present the concept of two-drive engine.

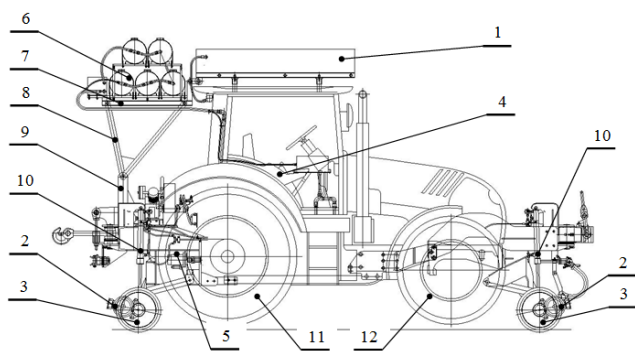


Fig. 1. General view of a rail-road tractor with diesel - electric drive

Rys. 1. Widok ogólny ciągnika szynowo-drogowego z napędem spalinowo – elektrycznym

Adaptation of the tractor to electric traction was carried out as follows. On the roof of the tractor there is a battery package 1, which feeds the electric motors 2 adequately built on the axles of the rail running gear system, which drive the guide rollers 3 through the toothed gear. The control system 4 also allows riding and regenerative braking of the vehicle. To charge the

Przedmiotem niniejszego opracowania jest prezentacja wyników wstępnych prac studialnych nad opracowaniem koncepcji ciągnika szynowo-drogowego z napędem spalinowo-elektrycznym przystosowanym do eksploatacji w terenie otwartym oraz w pomieszczeniach zamkniętych.

2. Prezentacja wstępnej koncepcji ciągnika

Przyjęte założenia projektowe:

Masa własna ciągnika szynowo-drogowego - 10 200 kg (homologowana)

Szynowy układ jezdny dwie osie szynowe - (cztery Rolki)

Podstawowy napęd jazdy ciągnika po torach - silnik spalinowy

Dodatkowy napęd jazdy ciągnika po torach - silniki elektryczne

Zasilanie silników elektrycznych - zespół baterii litowo-jonowych

Maksymalna siła pociągowa na haku przy napędzie spalinowym - 64 kN

Maksymalna siła pociągowa na haku przy napędzie elektrycznym - 10 kN

Prędkość ruchu przy napędzie elektrycznym - $1\div 3$ km/h

Maksymalna prędkość ciągnika luzem przy napędzie spalinowym - 20 km/h

Czas pracy na zasilaniu elektrycznym - minimum 0,5 godz.

Napięcie zasilania silników elektrycznych - 200 V

Maksymalna moc silników elektrycznych - 20 kW (4 silniki po 5 kW)

Pojemność baterii - minimum 10 kWh

Masa doczepionego taboru - maksimum 120 ton.

Na rysunkach 1 i 2 przedstawiono koncepcję dwunapędowego ciągnika.

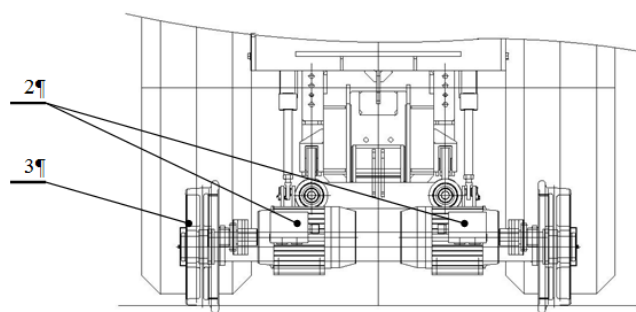


Fig. 2. General view of a rail-road tractor with diesel - electric drive

Rys. 2. Widok ogólny ciągnika szynowo-drogowego z napędem spalinowo - elektrycznym

Adaptację ciągnika do trakcji elektrycznej przeprowadzono w następujący sposób. Na dachu ciągnika umieszczono pakiet baterii 1, które zasilają silniki elektryczne 2 odpowiednio zabudowane na osiach szynowego układu jezdny, które za pośrednictwem przekładni zębatej napędzają rolki prowadzące 3..

battery while riding with the switched diesel engine on, an alternator 5 driven from the PTO shaft via a suitable transmission gear is provided. The air tanks 6 now placed on the roof of the cab are mounted on a suitable frame 7 attached to the brackets 8 and the frame 9 by articulation. Before switching the tractor into the electric riding mode, the tractor should be lifted on hydraulic cylinders 10 to the height of losing the contact of tires 11 and 12 with the ground to all weight of the tractor rested on the axles of the rail running gear system.

While riding in the electric mode the compressor of the train braking system does not work, so it must be provided the sufficient air supply in the braking system of tractor and train for the working time of the tractor in the closed room.

The distribution of masses per tractor's wheels and guide rollers during riding in the diesel mode is:

- tractor's wheels ~ 8000kg, tractive force is $80 \times 0,8 = 64$ kN
- guide rollers ~ 2000kg, tractive force is $20 \times 0,35 = 6$ kN.

The distribution of masses per rollers of the rail running gear system during riding in the electric mode is:

- guide rollers of the rail rear axle – 60 kN
- guide rollers of the rail front axle – 40 kN.

The maximum tractive force of tractor during riding in the electric mode is: $100 \times 0,35 = 35$ kN.

It is a force that allows to pull a much larger number of wagons than the assumed in the study. The limitation may be the power of installed batteries and sizes of electric motors that drive the rail running gear systems.

In the outside area, at the diesel drive it is used the tractive force realized between the tractor's tires and track rails.

The electric drive of the guide rollers can be used with the active diesel drive, especially at the start-up of the set of train wagons, increasing the tractor's tractive force.

During riding of the empty tractor in the electric mode, the braking of the tractor is possible with the electric motors. It is also possible to use the friction block brakes mounted on the rollers guiding the rail running gear system or the disc brake on the shaft of the electric motor.

3. Rail running gear system

The rail running gear system with the diesel engine only serves as driving the vehicle in the track, while at the electric power it carries out the drive of tractor driving while still keeping the role of the vehicle guiding team in the track.

Układ sterowania 4 umożliwia również jazdę oraz hamowanie odzyskowe pojazdu. Do ładowania baterii podczas jazdy z włączonym silnikiem spalinowym przewidziano alternator 5 napędzany od wałka WOM za pośrednictwem odpowiedniej przekładni. Zbiorniki powietrza 6 umieszczone obecnie na dachu kabiny zamontowano na odpowiedniej ramie 7 przymocowanej przegubowo do wsporników 8 i ramy 9. Przed przełączeniem ciągnika na tryb jazdy elektrycznej należy unieść ciągnik na siłownikach hydraulicznych 10 na wysokość do utraty kontaktu opon 11 i 12 z podłożem, aby cały ciężar ciągnika spoczywał na osiach szynowego układu jezdnego.

Podczas jazdy w trybie elektrycznym nie pracuje sprzężarka układu hamulcowego pociągu, należy więc zapewnić odpowiedni zapas powietrza w instalacji hamulcowej ciągnika oraz pociągu na czas pracy ciągnika w pomieszczeniu zamkniętym.

Rozkład mas przypadających na koła ciągnika i rolki prowadzące podczas jazdy w trybie spalinowym wynosi:

- koła ciągnika ~ 8000kg, siła pociągowa wynosi $80 \times 0,8 = 64$ kN
- rolki prowadzące ~ 2000kg, siła pociągowa wynosi $20 \times 0,35 = 6$ kN.

Rozkład mas przypadających na rolki szynowego układu jezdnego podczas jazdy w trybie elektrycznym wynosi:

- rolki prowadzące tylnej osi szynowej – 60 kN
- rolki prowadzące przedniej osi szynowej – 40 kN.

Maks. siła pociągowa ciągnika podczas jazdy w trybie elektrycznym wynosi: $100 \times 0,35 = 35$ kN.

Jest to siła, która pozwala pociągnąć dużo większą liczbę wagonów od założonej w opracowaniu. Ograniczenie może stanowić moc zainstalowanych baterii oraz rozmiary silników elektrycznych napędzających szynowe układy jezdne.

Na terenie zewnętrznym, przy napędzie spalinowym wykorzystana jest siła pociągowa realizowana między oponami ciągnika i szynami toru.

Napęd elektryczny rolek prowadzących można wykorzystać przy działającym napędzie spalinowym, zwłaszcza przy rozruchu składu wagonów, zwiększając siłę pociągową ciągnika.

Podczas jazdy ciągnika luzem w trybie elektrycznym hamowanie ciągnika jest możliwe silnikami elektrycznymi. Przewidziano również możliwość zastosowania ciernych hamulców klockowych zabudowanych na rolkach prowadzących szynowy układ jezdny lub hamulca tarczowego na wale silnika elektrycznego.

3. Szynowy układ jezdny

Szynowy układ jezdny przy napędzie spalinowym pełni jedynie funkcję prowadzenia pojazdu w torze, natomiast przy zasilaniu elektrycznym realizuje napęd jazdy ciągnika zachowując nadal rolę zespołu prowadzącego pojazd w torze.

Two solutions for drive of rail axle rollers are proposed:

- one 10 kW asynchronous motor with a double-sided drive shaft
- two asynchronous motors with 5 kW each, driving each roller of the rail axle separately.

In both cases the transmission of torque from the motor shaft to the guide rollers is carried out via electromagnetic couplings that are disconnected while riding of the diesel-powered tractor.

The ratio between the revolutions of the motor shaft and the guide roller is 8.6.

3.1. Assembly of rail axle of rail-road vehicle with electric drive (one motor)

The unit of rail axle shown in Fig. 3 is one of the units of components of the rail running gear system of the rail-road vehicle. The ride rollers 1 mounted with bearings on pivots 2 coming out of axle 3, guide the vehicle in the track and realize the drive and braking of the vehicle in the riding mode with the electric drive. The electric drive is provided by the motor 4 with a drive shaft 5 extending to both sides of the motor. The torque is transmitted from the motor 4 to the two ride rollers 1 via a flexible coupling 6, a shaft 7, an electromagnetic coupling 8, a shaft 9 and a small toothed wheel 10 engaged with a toothed ring 11 made on the inside diameter of the ride roller 1. On the drive shaft 5 of the motor 4, a part of the flexible coupling 6 is mounted on the groove and the other part is mounted on the groove of the shaft 7, which is mounted with bearings in the sleeve 12 of the bracket 13 welded to the axle 3. At the other end of the shaft 7, the electromagnetic coupling element 8 is attached, and the second element of coupling is attached to the shaft flange 9, which is mounted in the bracket 14. At the other end of the shaft 9 a small toothed wheel 10 engaged with the toothed ring 11 is mounted.

The electric motor 4 does not have a brake. The brake 15 is installed in the cavity of the ride rollers 1. The rail axle is connected to the supporting structure of the vehicle by means of rocker arms 16 and hydraulic cylinders (item 10, figure 1).

Zaproponowano dwa rozwiązania napędu rolek jezdnych osi szynowej:

- jeden silnik asynchroniczny o mocy 10 kW z dwustronnym wałem napędowym
- dwa silniki asynchroniczne o mocy 5 kW każdy, napędzające oddzielnie każdą rolkę jezdną osi szynowej.

W obu przypadkach przeniesienie momentu obrotowego z wału silnika na rolki prowadzące zrealizowano za pośrednictwem elektromagnetycznych sprzęgieł, rozłączanych w czasie jazdy ciągnika z napędem spalinowym.

Przełożenie między obrotami wału silnika i rolki prowadzącej wynosi 8,6.

3.1. Zespół osi szynowej pojazdu szynowo-drogowego z napędem elektrycznym (jeden silnik)

Zespół osi szynowej przedstawiony na rys. 3 jest jednym z zespołów części składowych szynowego układu jezdnego pojazdu szynowo-drogowego. Rolki jezdne 1 ułożyskowane na czopach 2 wychodzących z osi 3, prowadzą pojazd w torze oraz realizują napęd i hamowanie pojazdu w trybie jazdy z napędem elektrycznym. Napęd elektryczny zapewnia silnik 4 z wałem napędowym 5 wychodzącym na obie strony silnika. Moment obrotowy jest przekazywany z silnika 4 na dwie rolki jezdne 1 za pośrednictwem sprzęgła elastycznego 6, wałka 7, sprzęgła elektromagnetycznego 8, wałka 9 i małego koła zębatego 10 zazębianego z wieńcem zębatym 11 wykonanym na wewnętrznej średnicy rolki jezdnej 1. Na wale napędowym 5 silnika 4 jest osadzona jedna część sprzęgła elastycznego 6, a druga część jest osadzona na wpuście wałka 7, który ułożyskowany w tulei 12 wspornika 13 przyspawanego do osi 3. Na drugim końcu wałka 7 zamocowano element sprzęgła elektromagnetycznego 8, a drugi element sprzęgła zamocowano do kołnierza wałka 9, który ułożyskowany we wsporniku 14. Na drugim końcu wałka 9 osadzono małe koło zębate 10 zazębiane z wieńcem zębatym 11. Silnik elektryczny 4 nie posiada hamulca. Hamulec 15 zabudowano we wnęce rolek jezdnych 1. Oś szynowa jest połączona z konstrukcją nośną pojazdu za pomocą wahaczy 16 oraz cylindrów hydraulicznych (poz. 10, rys.1).

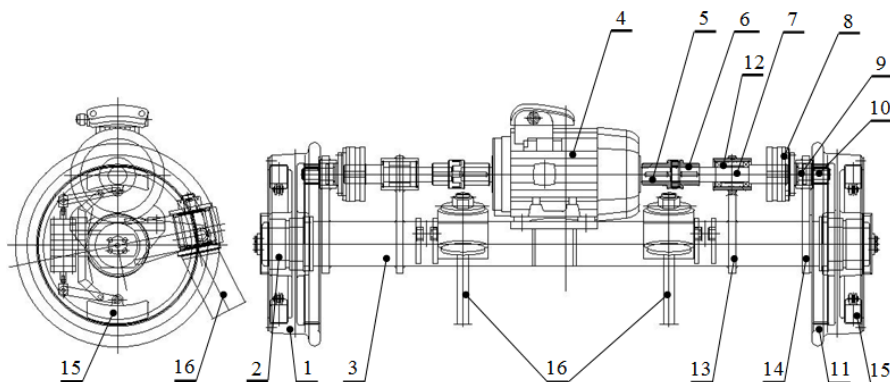


Fig. 3. Assembly of rail axle with one motor

Rys. 3. Zespół osi szynowej z jednym silnikiem

3.2. Assembly of rail axle of rail-road vehicle with electric drive (two motors)

The ride rollers mounted at the ends of the axle are designed to lead the vehicle in the track and realize the drive and braking of the vehicle. The disconnectable (electromagnetic) couplings are necessary to disconnect the motors while riding with the diesel engine.

An example of a rail axle solution is shown in Fig. 4. The rail axle assembly is constructed from axle 1 ended with journals 2, on which three ride rollers 3 are mounted. On axle 1 the brackets 4 are welded, in which the bases 5 of electric motors 6 are mounted.

One part of the electromagnetic coupling 7 is mounted on the shaft pivot of each motors and the other part of the coupling is mounted on the shaft 8, and on the other end of the shaft 8 a small toothed wheel 9 engaged with a toothed ring 10 made on the inside diameter of the ride roller 3. The shaft 8 is mounted in a sleeve 11 of a bracket 12 welded to the axle 1. The electric motors 6 drive the ride rollers 3 via the electromagnetic couplings 7. The electric motors are factory-equipped with the brakes. The rail axle is mounted to the supporting structure of the tractor by means of rocker arms 13.

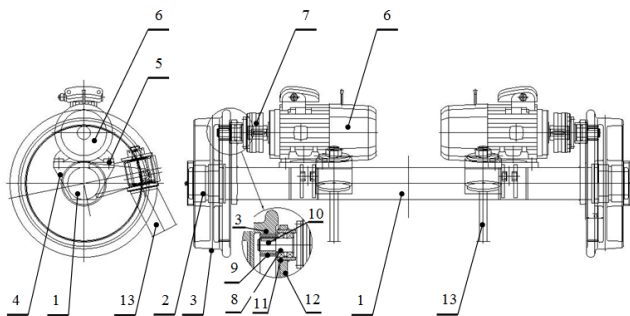


Fig. 4. Assembly of rail axle with two motors
Rys. 4. Zespół osi szynowej z dwoma silnikami

4. Block brake system

During riding of the tractor in the electric mode, the tires are not in contact with the track rails, so braking of the tractor with the friction forces between the tires and the rails is not possible. Three conceptions of mounting of the pneumatic block brake on the ride rollers of the rail axles are analyzed: two with an inner brake mounted in the internal space of the ride roller and the concept with friction blocks cooperating with the running surface of the ride rollers.

It is also possible to mount the disc brake on the shaft of electric motor.

4.1. External brake of rail axle

While the vehicle is riding on tracks in the diesel mode (vehicle drive with diesel engine), the vehicle tires rest on the track rail heads, providing the drive and braking of the vehicle with the friction forces between the tires and the track rails.

3.2. Zespół osi szynowej pojazdu szynowo-drogowego z napędem elektrycznym (dwa silniki)

Rolki jezdne zamontowane na końcach osi mają za zadanie prowadzić pojazd w torze oraz realizować napęd i hamowanie pojazdu. Sprzęgła rozłączalne (elektromagnetyczne) są niezbędne do odłączenia silników podczas jazdy przy napędzie spalinowym.

Przykładowe rozwiązanie osi szynowej przedstawiono na rys. 4. Zespół osi szynowej jest zbudowany z osi 1 zakończonej czopami 2, na których ułożyskowano rolki jezdne 3. Na osi 1 dospawano wsporniki 4, w których zamocowano podstawy 5 silników elektrycznych 6.

Na czopie wału każdego z silników zabudowano jedną część sprzęgła elektromagnetycznego 7, a drugą część sprzęgła osadzono na wałku 8, a na drugim końcu wałka 8 umieszczono małe koło zębate 9 zazębiane z wieńcem zębatym 10 wykonanym na wewnętrznej średnicy rolki jezdnej 3. Wałek 8 ułożyskowano w tulei 11 wspornika 12 przyspawanego do osi 1. Silniki elektryczne 6 napędzają rolki jezdne 3 za pośrednictwem sprzęgieł elektromagnetycznych 7. Silniki elektryczne są fabrycznie wyposażone w hamulce. Oś szynowa jest zamontowana do konstrukcji nośnej ciągnika za pomocą wahaczy 13.

4. Układ hamulca klockowego

Podczas jazdy ciągnika w trybie elektrycznym opony nie mają kontaktu z szynami toru, więc hamowanie ciągnika za pomocą sił tarcia między oponami a szynami nie jest możliwe. Przeanalizowano trzy koncepcje zabudowy pneumatycznego hamulca klockowego na rolkach jezdnych osi szynowych: dwie z hamulcem wewnętrznym zamontowanym w przestrzeni wewnętrznej rolki jezdnej oraz koncepcję z klockami ciemnymi współpracującymi z powierzchnią toczną rolek jezdnych.

Istnieje również możliwość zabudowy hamulca tarczowego na wale silnika elektrycznego.

4.1. Zewnętrzny hamulec osi szynowej

Podczas jazdy pojazdu po torach w trybie spalinowym (napęd pojazdu silnikiem spalinowym) opony pojazdu spoczywają na główkach szyn toru, zapewniając napęd i hamowanie pojazdu siłami tarcia między oponami a szynami toru.

W trybie pracy elektrycznej pojazd jest unoszony na wysokość do utraty kontaktu opon z szynami toru. Cały ciężar pojazdu spoczywa na rolkach prowadzących osi szynowych, a napęd i hamowanie przejmują rolki prowadzące pojazdu.

Na rysunku 5 przedstawiono końcówkę osi szynowej pojazdu z napędem elektrycznym i hamulcem klockowym.

Na osi szynowej 1 zakończonej czopem 2 ułożyskowano rolkę prowadzącą 3 z naciętym uzębieniem wewnętrznym 4, z którym współpracuje koło zębate 5

In the electric mode the vehicle is lifted up to the loss of contact of tires with the track rails. The entire weight of the vehicle rests on the guide rollers of rail axles, and the drive and the braking are taken over by the guide rollers of the vehicle.

Figure 5 presents the end of rail axle of the vehicle with the electric drive and the block brake.

A guide roller 3 with a cut internal tooth 4 is mounted with bearings on the rail axle 1 ended with a journal 2, with which a toothed wheel 5 is mounted on a shaft 6 driven by the electric motor 7. The shaft 6 is mounted in a sleeve 8 welded to the bracket 9 mounted on the axle 1. In the upper part of the bracket 9 flat bars 10 are welded to which the pneumatic cylinders 12 are fixed by means of screw connections 11. The piston rods 13 of the pneumatic cylinders are rotatably connected to levers 14 mounted rotatably in the horizontal bracket 15 coupled to the vertical bracket 9. At the lower ends of lever 14 the brake blocks 16 are suspended. The brake cylinders 12 are fed with air from the piston side through the pipes 17.

The supplied air under the proper pressure pushes on the piston by extending the piston rods together with the upper part of the lever 14, causing the pressure of the brake blocks to the rolling surface of the guide rollers.

4.2. Internal brake of rail axle

Figure 6 shows the guide roller 1 supported by tapered roller bearings 2 on the journal 3 of the rail axle 4. The drive of the guide roller 1 is realized by the electric motor 5 attached to the rail axle 4. The motor shaft 6 is mounted in a sleeve 7 fixed in the bracket 8. At the end of the shaft 6 the small toothed wheel 9 cooperating with a tooth ring 10, made on the inner diameter of the guide roller 1, is fastened.

On the opposite side, the block brake is mounted in the roller recess. The bracket 11 composed of a flat bar 12, brackets 13 and the flat bar 14 is fastened to the front surface of the journal 3, to which the pneumatic cylinders 15, to which compressed air is supplied, are fastened with pipes 16.

The levers 18, on which the blocks 19 are rotatably mounted, are attached by articulation to the piston rods 17 of the cylinders 15. The levers 18 are rotatably suspended to the lower part of a flat bar 12 equipped with brackets 13.

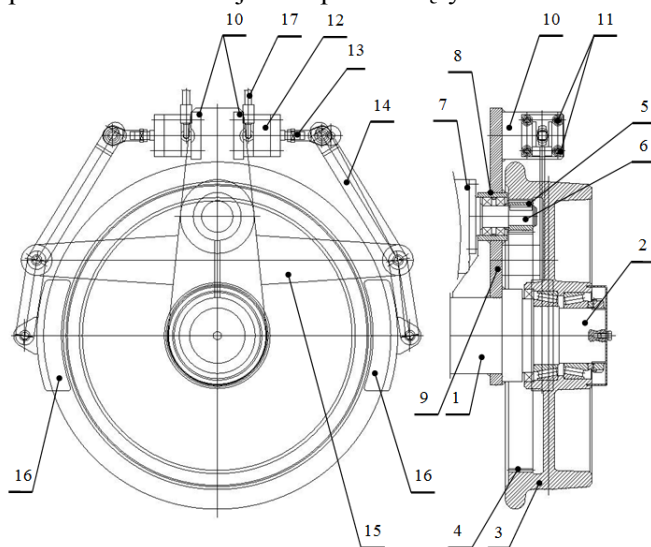
The brake cylinders 15 are attached to the flat bar 14 by means of screw connections 20.

In the presented solution, Fig. 6, the catalog pneumatic cylinders are used, in which air is supplied from the side of the pistons, which extend the piston rods from the cylinder rotating the levers 18 relative to the bottom rotary fixing in the supports 13.

The possible variant of the solution is presented in Fig. 7. The air is supplied to the cylinders 15 by pipes 16 from the side of the piston rod 17, which before

osadzone na wałku 6 napędzanego silnikiem elektrycznym 7. Wałek 6 ułożyskowano w tulei 8 przyspawanej do wspornika 9 zamocowanego na osi 1. W górnej części wspornika 9 przyspawano płaskowniki 10, do których za pomocą połączeń śrubowych 11 przytwierdzono cylindry pneumatyczne 12. Tłoczyska 13 cylindrów pneumatycznych połączono obrotowo z dźwigniami 14 zamocowanymi obrotowo we wsporniku poziomym 15 zespolonym ze wspornikiem pionowym 9. Na dolnych końcach dźwigni 14 zawieszono klocki hamulcowe 16. Do cylindrów hamulcowych 12 doprowadzono powietrze od strony tłoka przewodami 17.

Doprowadzone powietrze pod odpowiednim ciśnieniem napiera na tłok wysuwając tłoczyska wraz z górną częścią dźwigni 14 powodując docisk klocków do powierzchni toczonej rolek prowadzących.



Rys. 5. Zewnętrzny hamulec klockowy
Fig. 5. External block brake

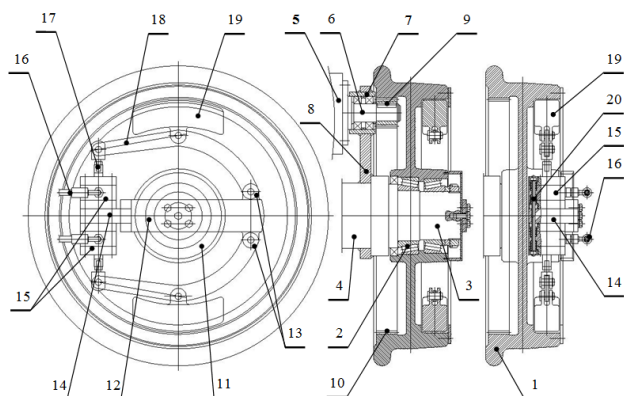
4.2. Wewnętrzny hamulec osi szynowej

Na rysunku 6 pokazano rolkę prowadzącą 1 ułożyskowaną za pomocą łożysk stożkowych 2 na czopie 3 osi szynowej 4. Napęd rolki prowadzącej 1 jest realizowany silnikiem elektrycznym 5 przymocowanym do osi szynowej 4. Wałek 6 silnika 5 ułożyskowano w tulei 7 umocowanej we wsporniku 8. Na końcu wałka 6 zamocowano małe koło zębate 9 współpracujące z wieńcem zębatym 10 wykonanym na wewnętrznej średnicy rolki prowadzącej 1.

Po przeciwnej stronie we wnęce rolki zabudowano hamulec klockowy. Do powierzchni czołowej czopa 3 zamocowano wspornik 11 złożony z płaskownika 12, wsporników 13 i płaskownika 14, do którego zamocowano cylindry pneumatyczne 15, do których doprowadzono sprężone powietrze przewodami 16.

Do tłoczków 17 cylindrów 15 zamocowano przegubowo dźwignie 18, na których zamontowano obrotowo klocki 19. Dźwignie 18 są zawieszane obrotowo do dolnej części płaskownika 12 wyposażonego we wsporniki 13.

supplying the air are in the extended position maintained in this position by means of springs built in the cylinders on the side of the piston. The piston rods 17 sliding into the cylinders 15 pull the levers 22, which rotating at the fastening point in the connector 21 with the second end, press the blocks to the inner surface of the guide roller. The connector 21 is constantly connected to the flat bar 12 of the bracket 11.



Rys. 6. Wewnętrzny hamulec klockowy
Fig. 6. Internal block brake

5. Conclusions

The article presents the initial concept of solutions of mechanical tractor systems (drive and braking systems), whose parameters were selected on the basis of the balance of power required to ride of the tractor with the coupled rolling stock of 120 – 150 tons.

In the further theoretical works, the accepted assumptions of technical parameters should be verified, especially paying attention to the selection of the parameters of the electrical equipment.

Proposed directions for the further research.

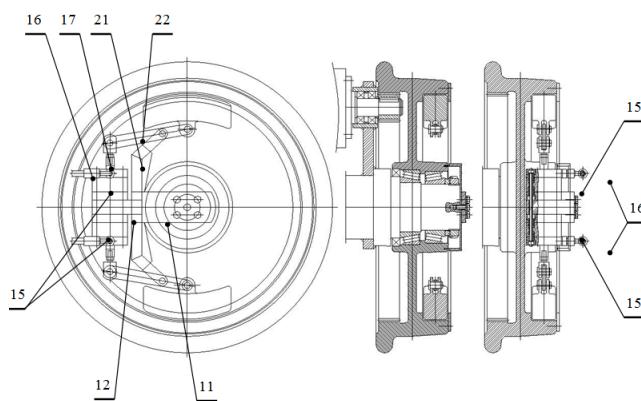
- analysis of the electric drive system:
 - selection of the work parameters of the asynchronous motor of the rollers drive
 - selection of parameters of batteries supplying the drive of running gear system
 - development of vehicle's traction characteristics
- analysis of the engine power system
- analysis of the electric drive control system
- analysis of the battery charging system – selection of alternator
- analysis of the air resources in tanks
- development of tractor's traction characteristics
- analysis of rail axle strength (axle load front ~40kN, rear ~ 60kN)
- analysis of the rail-road tractor braking system
- power balance analysis (supply of electric motors and additional equipment of tractor e.g. air conditioner).

The values of engine power and operating time proposed in the work time in the electric mode should be

Cylindry hamulcowe 15 zamocowano do płaskownika 14 za pomocą połączeń śrubowych 20.

W prezentowanym rozwiązaniu Rys. 6 zastosowano katalogowe cylindry pneumatyczne, w których powietrze jest doprowadzone od strony tłoków, które wysuwają tłoczyska z cylindra obracając dźwignie 18 względem dolnego mocowania obrotowego we wspornikach 13.

Możliwą odmianą rozwiązania zaprezentowano na Rys. 7. Powietrze do cylindrów 15 doprowadzono przewodami 16 od strony tłoczyska 17, które przed doprowadzeniem powietrza są w pozycji wysuniętej utrzymywanej w tej pozycji za pomocą sprężyn zabudowanych w cylindrach po stronie tłoka. Tłoczyska 17 wsuwając się do cylindrów 15 pociągają dźwignie 22, które obracając się w miejscu mocowania obrotowego w łączniku 21 drugim końcem dociskają klocki do wewnętrznej powierzchni rolki prowadzącej. Łącznik 21 jest na stałe połączony z płaskownikiem 12 wspornika 11.



Rys. 7. Wewnętrzny hamulec klockowy
Fig. 7. Internal block brake

5. Podsumowanie

W artykule zaprezentowano wstępną koncepcję rozwiązań układów mechanicznych ciągnika (układu napędu i hamowania), których parametry dobrano na podstawie przeprowadzonego bilansu mocy niezbędnej do jazdy ciągnika z doczepionym taborem o masie 120 – 150 ton.

W dalszych pracach teoretycznych należy zweryfikować przyjęte założenia parametrów technicznych zwłaszcza pod kątem doboru parametrów aparatury elektrycznej.

Proponowane kierunki dalszych badań.

- analiza elektrycznego układu napędowego:
 - dobór parametrów pracy silnika asynchronicznego napędu rolek
 - dobór parametrów baterii zasilających napęd układu jazdy
 - opracowanie charakterystyk trakcyjnych pojazdu
- analiza układu zasilania silników
- analiza układu sterowania napędem elektrycznym

considered as minimal. It should be aimed at increasing the given values of these parameters.

Packages of batteries installed on the roof of the cab require a controlled ambient temperature (cooling in summer, heating in winter). For this purpose it can be used the air-conditioning system of inside of the operator's cab supplying the air from the cab to the interior of the battery package's housing.

The presented solutions have been submitted for protection in the Patent Office of the R.P.

Bibliography / Bibliografia

- [1] Medwid M., Jakuszko W., Kazimierczak E.: *Cechy konstrukcyjne ciągnika bazowego wybranego do adaptacji na pojazd szynowo-drogowy nowej generacji. Pojazdy Szynowe, 2017, nr 3.*
- [2] Medwid M., Stawecki W., Czerwiński J., Jakuszko W., Kazimierczak E.: *Modelowanie struktury manewrowego ciągnika szynowo-drogowego CLAAS ARION 620. Pojazdy Szynowe, 2017, nr 2.*
- [3] Bryk K., Łukaszewski K., Medwid M.: *Symulacyjne badania bezpieczeństwa ruchu ciągnika szynowo-drogowego CLAAS ARION 620. Międzynarodowa Konferencja Naukowa TRANSPORT XXI WIEKU. Arłamów, 30.08. ÷ 02.09.2016.*
- [4] Medwid M.: *Hybrydowe pojazdy kolejowo-drogowe zaprojektowane i wytwarzane w Polsce. Technika Transportu Szynowego, 2005, nr 7-8.*
- [5] Medwid M., Stawecki W., Czerwiński J., Jakuszko W.: *Wielozadaniowy ciągnik szynowo-drogowy nowej generacji. Pojazdy Szynowe, 2016, nr 3.*
- [6] Rymaniak L., *MATEC Web of Conferences 2017, Volume: 118, Article Number: UNSP 00009, DOI: 10.1051/mateconf/201711800009.*
- [7] Rymaniak L., Daszkiewicz P., Merkisz J., Bolzhelarskyi Y.V., *AIP Conference Proceedings, 2078 (2019).*
- [8] P. Daszkiewicz, M. Andrzejewski, *MATEC Web of Conferences, Volume: 118, Article Number: UNSP 00014, DOI: 10.1051/mateconf/201711800014, Published: (2017).*
- [9] M. Andrzejewski, D. Gallas, P. Daszkiewicz, A. Merkisz-Guranowska, H. Stawecka, *MATEC Web of Conferences, Volume: 118, Article Number: UNSP 00015, DOI: 10.1051/mateconf/201711800015, Published: (2017).*
- [10] Jacyna M., Gołębiowski P., Pyza D., *Archives of Transport System Telematics, 11(1), 27-33 (2018).*

- analiza układu ładowania baterii – dobór alternatora
- analiza zasobu powietrza w zbiornikach
- opracowanie charakterystyk trakcyjnych ciągnika
- analiza wytrzymałości osi szynowych (obciążenie osi przód ~40kN, tył ~ 60kN)
- analiza układu hamulcowego ciągnika szynowo-drogowego
- analiza bilansu mocy (zasilanie silników elektrycznych i dodatkowych urządzeń ciągnika np. klimatyzatora).

Proponowane w założeniach wartości mocy silników oraz czasu pracy w trybie czasu pracy w trybie elektrycznym należy traktować jako minimalne. Należy zmierzać w kierunku zwiększenia podanych wartości tych parametrów.

Zabudowane na dachu kabiny pakiety baterii wymagają kontrolowanej temperatury otoczenia (chłodzenie latem, podgrzewanie zimą). Do tego celu można wykorzystać układ klimatyzacji wnętrza kabiny operatora dostarczając powietrze z kabiny do wnętrza obudowy pakietu baterii.

Prezentowane rozwiązania zgłoszono do ochrony w Urzędzie Patentowym R.P.