

dr hab. inż. Jacek Pielecha, prof. PP
dr hab. Agnieszka Merkisz-Guranowska, prof. PP
Politechnika Poznańska,
dr inż. Maciej Andrzejewski
dr inż. Paweł Daszkiewicz
mgr inż. Hanna Stawecka
Instytut Pojazdów Szynowych „TABOR”

Aspekty ekologiczne zastosowania pojazdów szynowo-drogowych w pracach manewrowych

Ecological aspect of using road-rail vehicles for shunting operations

W artykule dokonano oceny korzystności zastosowania pojazdów szynowo-drogowych w prowadzeniu prac manewrowych na torach, zamiast stosowanych powszechnie, spalinowych lokomotyw manewrowych. Skupiono się głównie na aspektach ekologicznych – emisji toksycznych substancji w spalinach. Przedstawiono w nim między innymi przykładowe wyniki badań emisji zanieczyszczeń z wybranych pojazdów transportu masowego, użytkowanych na polskich liniach kolejowych. W celu dokonania analizy uciążliwości środowiskowej tych pojazdów wykonano pomiary toksyczności spalin w warunkach testu badawczego (ISO 8178-F) oraz, co jest znacznie istotniejsze, podczas rzeczywistego użytkowania pojazdów – przy wykorzystaniu mobilnej aparatury naukowo-badawczej.

The article assesses the advantages of utilizing road-rail vehicle in shunting operations on the tracks, instead of the commonly used shunting locomotives powered with a combustion engine. Ecological aspects were the main focus - the emission of toxic substances in exhaust gases. It presents, among others, an example of the emission results of pollutants from selected mass transit vehicles, operated on Polish railway lines. In order to analyze the environmental impact of these vehicles exhaust emissions measurements were performed in certification test conditions (ISO 8178-F) and, what is much more important, also the emissions during actual vehicle operation - using mobile measuring equipment.

1 WPROWADZENIE

Od wielu dziesięcioleci źródłem napędu pojazdów wykorzystywanych w drogowym i szynowym transporcie masowym są, w większości przypadków, silniki o zapłonie samoczynnym (ZS), charakteryzujące się dużą wartością mocy efektywnej i momentu obrotowego. Jeśli weźmie się pod uwagę pojazdy przeznaczone do najcięższych zastosowań, ich jednostki napędowe charakteryzują się ponadto dużą wartością objętości skokowej, z czego wynika także duże zużycie paliwa oraz duży wydatek spalin. Z powyższego wynika zatem, że eksploatacja pojazdów transportu masowego może powodować dużą energochłonność i znaczną emisję zanieczyszczeń, stąd należy zwracać szczególną uwagę na kwestie zmniejszania ich negatywnego oddziaływania na środowisko. Bardzo istotne znaczenie ma w tym względzie emisja związków toksycznych z tego rodzaju pojazdów poruszających się w centrach miast (autobusy miejskie, pojazdy komunalne i dystrybucyjne, lokomotywy manewrowe na dworcach kolejowych),

1 INTRODUCTION

For many decades the sources of power for vehicles used in road and rail mass transit are, in most cases, compression-ignition (CI) engines, characterized by high values of effective power and torque. If one takes into account vehicles designed for the most demanding operations, their engines are, in addition, characterized by a large displacement value, which also implies a high fuel consumption and high exhaust emissions. Therefore, the operation of mass transit vehicles can cause high energy consumption and substantial emissions, hence the need to pay special attention to issues of reducing their negative impact on the environment. As a result the toxic emissions from such vehicles operating in city centers (city buses, municipal vehicles and cargo trucks, shunting locomotives at railway stations), where they are in close proximity to a large number of people, are of great significance.

The main objective of the issues presented in the article was evaluation of advantages of using road-rail vehicles to carry out shunting operations on the

gdzie w ich bliskim otoczeniu przemieszcza się duża liczba osób.

Głównym celem zagadnienia przedstawionego w artykule była ocena korzystności zastosowania pojazdów szynowo-drogowych do prowadzenia prac manewrowych na torach, zamiast stosowanych powszechnie spalinowych lokomotyw manewrowych. Skupiono się głównie na aspektach ekologicznych – zmniejszeniu emisji toksycznych zanieczyszczeń do atmosfery. W celu dokonania analizy uciążliwości środowiskowej przedmiotowych pojazdów wykonano badania podczas rzeczywistego użytkowania pojazdów, przy wykorzystaniu mobilnej aparatury naukowo-badawczej typu PEMS (*Portable Emissions Measurement System*).

2. WŁAŚCIWOŚCI EKOLOGICZNE LOKOMOTYW MANEWROWYCH

W Polsce do rozrządzania wagonów kolejowych na bocznicach, czy też terminalach przeładunkowych oraz do operowania na dworcach kolejowych, wykorzystywane są spalinowe lokomotywy manewrowe (rys. 1). Pojazdy te, z racji swojego wieku i znacznego zużycia eksploatacyjnego, charakteryzują się często niekorzystnymi właściwościami ekonomicznymi i ekologicznymi. Objawia się to m.in. w postaci dużej energochłonności ruchu oraz dużej zawartości substancji toksycznych w emitowanych spalinach (silniki spalinowe lokomotyw były poddawane homologacji kilkadziesiąt lat temu; rys. 2).

Na polskich szlakach kolejowych użytkowanych jest obecnie 12 serii lokomotyw spalinowych normalnotorowych o różnych mocach silnika spalinowego: od 110 kW do 2200 kW (tab. 1). Wśród lokomotyw manewrowych wyszczególnić można 7 serii, z czego 4 są produkcji polskiej (SM03 – 40 sztuk, SM30 – 167, SM31 – 156 oraz SM42 – 1087) [3]. Jak wskazują analizy [8], rokrocznie liczba lokomotyw spalinowych, zarówno w Polsce, jak i pozostałych krajach Unii Europejskiej maleje wskutek zastępowania tej trakcji przez lokomotywy elektryczne.

Innym sposobem zmniejszenia negatywnego wpływu pojazdów przeznaczonych do ruchu manewrowego może być wprowadzenie układów napędu hybrydowego do użytkowanych lokomotyw spalinowych, co przyniosłoby znaczące efekty ekonomiczne i ekologiczne. Takiej gruntownej modernizacji w aspekcie hybrydyzacji układu napędowego, wobec dużej liczby spalinowych lokomotyw manewrowych eksploatowanych w kraju, należałoby poddać przede wszystkim lokomotywy serii SM42 oraz typu TEM2 (SM48) i 401Da. Szczegółowa analiza eksploatacyjna tych lokomotyw wykazała między innymi ich małą obciążalność, zwłaszcza podczas realizacji prac manewrowych – udział pracy silnika na biegu jałowym wynosi wtedy nawet około 80% [5]. Celowym byłoby więc wyposażenie tego rodzaju lokomotyw w wysokowydajne zasobniki energii. W konsekwencji dałoby to

tracks, instead of commonly used shunting locomotives powered with internal combustion engines. The main focus was put on ecological aspects – reducing emissions of toxic pollutants into the atmosphere. In order to analyze the environmental impact of the vehicles a study was performed of real operating conditions of vehicles, with the use of mobile research equipment PEMS (*Portable Emissions Measurement System*).

2. ECOLOGICAL PROPERTIES OF SHUNTING LOCOMOTIVES

In Poland, shunting railcars on sidings or re-loading terminals and for operations at railway stations is done using shunting locomotives, powered with internal combustion engines (Fig. 1). These vehicles, because of their age and considerable wear and tear, often have poor economic and ecological characteristics. Which results, among others, in high energy consumption during operation and high content of toxic substances in exhaust gases (combustion engines of locomotives were subject to type approval tests from decades ago; Fig. 2).



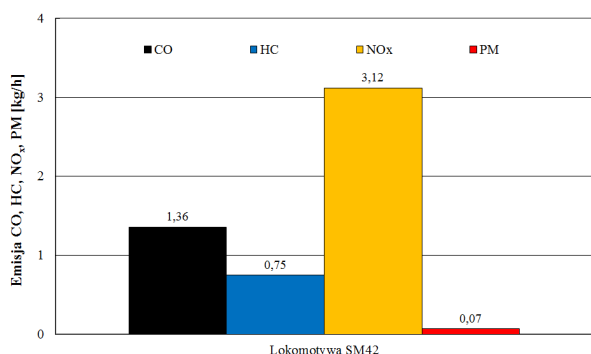
Rys. 1 – Spalinowa lokomotywa manewrowa SM42

Fig. 1 – Shunting combustion locomotive SM42

There are currently 12 series of standard-gauge diesel locomotives being operated on the Polish railway routes, having various engine powers from 110 kW to 2200 kW (Table. 1). Among shunting locomotives 7 series should be noted, of which 4 are of Polish production (SM03 - 40 units, SM30 - 167, SM31 – 156, and SM42 - 1087) [3]. As indicated by the analysis [8], each year the number of diesel locomotives, both in Poland and in other EU countries, decreases due to being replaced with electric locomotives.

Another way to reduce the negative environmental impact of vehicles used for shunting may be the introduction of hybrid drive systems for operating diesel locomotives, which would bring significant economic and ecological effects. Such a thorough overhaul in terms of powertrain hybridization, to a large number of shunting locomotives with combustion engines operating in the country, should be performed primarily on locomotives of SM42 series and types TEM2 (SM48) and 401Da. Detailed analysis of

możliwość zastosowania nowoczesnych silników spalinowych o mniejszej: mocy, energochłonności i emisji toksycznych zanieczyszczeń w spalinach.



operation of these locomotives showed, among other things, their low load factors, especially during shunting operations - the share of engine's operation at idle is then up to about 80% [5]. Thus equipping such locomotives in high-performance energy storage units would be justified. Consequently, it would provide an opportunity to utilize modern internal combustion engines with lower: power, energy intensity, and emissions of harmful pollutants in the exhaust gas.

Rys. 2 – Natężenie emisji toksycznych składników spalin (lokomotywa pracująca w ruchu manewrowym)

Fig. 2 – The intensity of harmful exhaust emissions (locomotive in shunting operations)

Tabela 1 – Serie lokomotyw manewrowych eksploatowanych w Polsce [1-4, 8]

Lp.	Seria lokomotywy /Series of locomotive	Kraj produkcji /Producer country	Rodzaj silnika / moc /Motor type / power [kW]	Masa służbowa /Service mass [Mg]	Maksymalna siła pociągowa /Max pulling effort [kG/kN]
1.	SM03	Polska/Poland	ZS, 4-suwowy/4-stroke (2DSR 150)/110	24	5850 / 57
2.	SM30	Polska/Poland	ZS, 4-suwowy/4-stroke (3DVSRa ? 350)/257	36	7500 / 73.5
3.	SM31	Polska/Poland	ZS, 4-suwowy/4-stroke (a8C22W)/883	116	22000 / 216
4.	SM40	Węgry/Hungary	ZS, 4-suwowy/4-stroke (XVI JV170/240)/441	62	18260 / 179
5.	SM41	Węgry/Hungary	ZS, 4-suwowy/4-stroke (XVI JV170/240)/441	62	18260 / 179
6.	SM42	Polska/Poland	ZS, 4-suwowy/4-stroke (a8C22)/588	70	22800 / 223
7.	SM48	ZSRR/Soviet Union	ZS, 4-suwowy/4-stroke (PD1M)/883	116	38000 / 373

3. ZASTOSOWANIE POJAZDÓW SPECJALNYCH

3.1. Charakterystyka ogólna

Skutecznym sposobem zmniejszenia uciążliwości środowiskowej prac manewrowych, wykonywanych przy zastosowaniu użytkowanych obecnie lokomotyw spalinowych, może być ich sukcesywne zastępowanie pojazdami specjalnymi, w tym szynowo-drogowymi. Są to pojazdy dwudrogowe, które mogą poruszać się zarówno po drogach kołowych, jak i po torach kolejowych. Polskie pojazdy szynowo-drogowe są budowane na bazie ciągników rolniczych lub samochodów użytkowych (lekkich i ciężkich). Pojazd drogowy osiąga cechy pojazdu dwudrogowego po wyposażeniu go w szynowy układ jezdny, który umożliwia mu jazdę po torach kolejowych lub tramwajowych.

Cechy konstrukcyjne, a przede wszystkim mobilność pojazdów szynowo-drogowych, zdecydowały o coraz szerszym ich zastosowaniu w europejskich zarządach kolejowych oraz u innych dysponentów torów kolejowych i tramwajowych. Datowany od lat 80. XX w. rozwój polskich pojazdów dwudrogowych,

3. USE OF SPECIAL PURPOSE VEHICLES

3.1. General characteristics

An effective way to reduce the environmental impact of shunting operations performed using diesel locomotives that are currently in use, may be their gradual replacement by special vehicles, including road-rail vehicles. These are dual mode vehicles that can move both on roads and railway tracks. Polish road-rail vehicles are built based on agricultural or commercial vehicles (light and heavy). Road vehicle gains the dual mode use characteristics when equipped with a rail chassis that allows it to ride on railway or tramway tracks.

Design features, and above all the mobility of road-rail vehicles, were the deciding factors leading to their increasing popularity in European railway management and among other operators of railway and tramway tracks. The development of Polish dual mode vehicles dates back to the 80s, and it has resulted in the development of several solutions for rail driving systems, which can be used in mass-produced agricultural tractors and motor vehicles of varying

zaowocował opracowaniem konstrukcji kilku rozwiązań szynowych układów jezdnych, które mogą mieć zastosowanie w seryjnie produkowanych ciągnikach rolniczych i pojazdach samochodowych o zróżnicowanej ładowności. W efekcie daje to szerokie możliwości stałej produkcji w kraju pojazdów szynowo-drogowych o różnym zastosowaniu i przeznaczeniu. W ostatnich latach przeważa zainteresowanie dostawą ciągników szynowo-drogowych do prowadzenia wszelkich prac manewrowych.

3.2. Ciągnik szynowo-kołowy

Przykładem ciągnika szynowo-drogowego jest Orion Crystal 13, przeznaczony na tor normalny i szeroki oraz wyposażony w hamulec do hamowania składem doczepionych wagonów (rys. 3). Pojazd ten jest produkowany przez spółkę Crystal Traktor z Sieradza i doposażony w układ szynowy w Instytucie Pojazdów Szynowych „Tabor” w Poznaniu.

Ciągnik Orion Crystal 13 budowany jest na zespołach napędowych ciągnika rolniczego Ursus 1224 i ma napęd na dwie osie, co zwiększa jego możliwości trakcyjne na torze po jego adaptacji na ciągnik szynowo-kołowy. Wyposażony jest między innymi w szynowy układ jezdny oraz układ pociągowo-zderzny przedni i tylny. Jak już wspomniano ciągnik szynowo-drogowy Orion Crystal 13, w wersji wzbogaconej, może być wyposażony w pneumatyczny układ hamulcowy do hamowania składem doczepionych wagonów. Zarówno w wersji podstawowej wykonania, bez hamulca do hamowania składem doczepionych wagonów, jak i we wzbogaconej wersji, z hamulcem do hamowania wagonów, ciągnik jest produkowany w następujących odmianach [9]:

- na tor normalny i szeroki, wyposażony z przodu i z tyłu ciągnika w zderzaki i haki pociągowe,
- na tor normalny i szeroki, wyposażony w przestawny szynowy układ jezdny 1435/1520 mm, zaopatrzone z przodu ciągnika w zderzaki i hak pociągowy, a z tyłu – w sprzęg samoczynny SA3,
- na tor szeroki, wyposażony sprzęg samoczynny SA3, zabudowany z przodu i z tyłu ciągnika.



capacity. This opens wide possibilities of continued production of road-rail vehicles for different applications and purposes in the country. In recent years, the interest in road-rail tractors for carrying out various shunting operations has become dominant.

3.2. Road-rail tractor

Orion Crystal 13 is an example of a road-rail tractor, designed to move on standard and wide tracks and equipped with a brake to keep the connected railcars in place (Fig. 3). This vehicle is manufactured by Crystal Tractor company from Sieradz, and retrofitted with the rail system at the Rail Vehicles Institute "TABOR" in Poznan.

Orion Crystal Tractor 13 is built with power units used in Ursus 1224 tractor and has a drive on two axles, which increases its traction potential on rail tracks after modification into a road-rail tractor. It is equipped with a rail chassis and a front and rear buffer system. As already mentioned the Orion Crystal 13 road-rail tractor, in the enhanced version, can be equipped with a pneumatic brake system for better control over attached railcars. For both types: the basic version without the brake, as well as the enhanced version with a brake for railcars, the tractor is produced in the following variants [9]:

- for standard and wide tracks, equipped with buffers and towing hook at the front and the rear of the cart,
- for standard and wide track, equipped with an adjustable rail chassis 1435/1520 mm, with buffers and towing hook at the front and a SA3 automatic coupler at the rear,
- for wide tracks, equipped with a SA3 automatic coupler mounted at the front and the rear of the tractor.

Basic technical parameters of the Orion Crystal 13 vehicle are as follows [9]:

- engine power – 88 kW,
- maximum vehicle mass – 8100 kg,
- maximum traction force when operating on tracks – 38 kN,
- maximum speed on tracks – 25 km/h,
- maximum speed when driving through curves, switches and junctions – 5 km/h,
- maximum weight of attached railcars (for tractors equipped with a pneumatic brake for stopping attached railcars) – 700 Mg.

The advantages of special road-rail vehicles like tractors, compared with shunting locomotives, include mainly [6]: 3-fold lower purchase price of the road-rail tractor compared to the price of the cheapest shunting locomotive, 6-fold lower operating costs of

Rys. 3 – Ciągnik szynowo-kołowy przygotowany do prac manewrowych

Fig. 3 – Road-rail tractor prepared for shunting

Podstawowe parametry techniczno-eksploatacyjne pojazdu Orion Crystal 13 są następujące [9]:

- moc silnika – 88 kW,
- maksymalna masa ciągnika – 8100 kg,
- maksymalna siła pociągowa ciągnika na torze – 38 kN,
- maksymalna prędkość ruchu na torze – 25 km/h,
- maksymalna prędkość podczas przejazdu przez łuki, zwrotnice i rozjazdy – 5 km/h,
- maksymalna masa doczepionych wagonów (dla ciągnika wyposażonego w hamulec pneumatyczny do hamowania składem doczepionych wagonów) – 700 Mg.

Zalety specjalnych pojazdów szynowo-drogowych w postaci ciągników, w porównaniu z lokomotywami manewrowymi, to głównie [6]: 3-krotnie niższa cena zakupu ciągnika szynowo-kołowego w stosunku do ceny najtańszej lokomotywy, 6-krotnie niższe koszty eksploatacji ciągnika, 3-krotnie wyższe właściwości trakcyjne, możliwość prowadzenia pojazdów bez uprawnień kolejowych na bocznicach własnych, możliwość adaptacji użytkowanych pojazdów drogowych na pojazdy szynowo-drogowe.

Wykonane badania w warunkach rzeczywistego użytkowania porównywanych pojazdów wskazują ponadto na liczne korzyści ekologiczne płynące z zastosowania pojazdów szynowo-drogowych do prac manewrowych. Uzyskane wartości emisji toksycznych substancji

w spalinach (tlenku węgla, węglowodorów, tlenków azotu i cząstek stałych), określone dla ciągnika szynowo-kołowego, zestawiono z wartościami obliczonymi dla lokomotywy manewrowej SM42 (rys. 4). Należy zaznaczyć, że dokonano tego przy założeniu, że ciągnik szynowo-kołowy ma pięciokrotnie zwiększone czasy przetoków, wymuszone dopuszczalną liczbą ciągniętych wagonów, a więc pięciokrotnie większy czas pracy wobec analizowanej lokomotywy.

Ocena pracy lokomotywy manewrowej SM42 i ciągnika szynowo-drogowego Orion Crystal 13 wykazuje znacznie mniejsze wartości emisji wszystkich substancji toksycznych do atmosfery. Maksymalna różnica w masie wyemitowanych zanieczyszczeń w spalinach wyniosła aż 95% (węglowodory). Na podstawie wykonanych pomiarów toksyczności spalin należy stwierdzić, iż pomimo wydłużenia czasu pracy ciągnika szynowo-kołowego C13 możliwe jest oszczędzenie podczas 2 godzin pracy lokomotywy SM42: ponad 2 kg tlenku węgla, 1,5 kg węglowodorów, 5 kg tlenków azotu a także 100 g cząstek stałych [6].

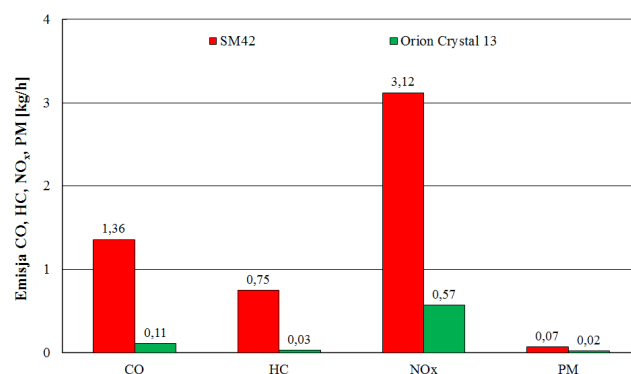
3.3. Samochód szynowo-drogowy

Pojazdem o większej masie obsługiwanego składu jest samochód użytkowy o nazwie Unimog, przystosowany do ruchu kolejowego (rys. 5). Może on

the tractor, 3-fold better traction properties, the ability to drive without a train driving license on owned rail sidings, the option of modifying operated road vehicles into road-rail vehicles.

Research done in real operating conditions on comparable vehicles also indicate a number of environmental benefits resulting from the use of road-rail vehicles for shunting operations. The obtained values of emissions of toxic substances in exhaust gases (carbon monoxide, hydrocarbons, nitrogen oxides, and particulate matter), specified for a road-rail tractor were compared with the emission values obtained for a SM42 shunting locomotive (Fig. 4). It should be noted that this research was done with the assumption that a road-rail tractor operates five times longer, forced by the limit on the number of railcars that can be pulled at a time, which means five times longer operating time compared to the analyzed shunting locomotive.

Evaluation of the SM42 shunting locomotives and road-rail tractor Crystal Orion 13 has shown substantially reduced emissions of all toxic substances into the atmosphere. The maximum difference in the mass of pollutants emitted in the exhaust amounted to as much as 95% (for hydrocarbons). Based on measurements of exhaust emissions it should be noted that, despite the extended operating time of a road-rail C13 tractor, it would still decrease the emissions during 2 hours operation compared to SM42 by: more than 2 kg of carbon monoxide, 1.5 kg of hydrocarbons, 5 kg of nitrogen oxides, and 100 g of particulate matter [6].



Rys. 4 – Zestawienie emisyjności lokomotywy SM42 i ciągnika szynowo-kołowego w warunkach pracy manewrowej [6]

Fig. 4 – Comparison of emissions of SM42 locomotive and a road-rail tractor in shunting operation [6]

3.3. Road-rail vehicle

Unimog is a utility vehicle that is designed to support a heavier load of railcars and is adapted to rail traffic (Fig. 5). It can be used for the following operations:

być wykorzystywany m.in. do następujących czynności:

- utrzymania sieci trakcyjnej,
- naprawy torowisk,
- przetaczania wagonów,
- wymiany nawierzchni,
- badań diagnostycznych,
- ratownictwa technicznego,
- czyszczenia, odśnieżania, koszenia itp.

W zaprezentowanym na ubiegłorocznych targach InnoTrans w Berlinie samochodzie szynowo-drogowym Unimog U423 zastosowano najnowsze rozwiązania technologiczne dedykowane pojazdom wielozadaniowym. Nowy Unimog produkcji firmy Mercedes-Benz (koncern Daimler AG) jest następcą poprzedniej wersji tego pojazdu, spełniającego normę emisji spalin Euro V (tab. 2). W celu sprostania wymagom najnowszej normy Euro VI w opisywanym samochodzie wykorzystuje się zarówno nowoczesne rozwiązania silnikowe, jak i pozasilnikowe – wydajne układy oczyszczania spalin. Porównywalnie niższy koszt zakupu ww. pojazdu czyni go korzystną alternatywą wobec lokomotyw manewrowych. Dotychczasowi użytkownicy określają zużycie paliwa Unimoga U423 na poziomie ok. 5–6 dm³ oleju napędowego na każdą godzinę pracy [7].

Unimog U423 dzięki dużej mocy silnika (170 kW) umożliwia prowadzenie prac manewrowych o łącznej maksymalnej masie obsługiwanego składu wynoszącej 1000 Mg. Zawdzięcza to również wykorzystaniu dużego współczynnika tarcia między oponami a szynami, co zapewnia właściwą trakcję. Dzięki компактным wymiarom osi, pojazd ten nie potrzebuje osobnego napędu na szyny i może operować na różnych szerokościach torów. Hydrauliczny system opuszczania układu prowadzącego pozwala na bezpieczne przyłączenie się do torów na prostym odcinku o długości zaledwie 5 m (rys. 6b). Przedmiotowy układ zapewnia stabilną i bezpieczną jazdę zarówno na prostych odcinkach linii kolejowych, jak również w ciasnych łukach o promieniu równym lub mniejszym niż 17 m. Producent pojazdu umożliwia zamówienie fabrycznie zwiększonej przestrzeni podwoziowej, dzięki której (mimo rozstawu osi równego 3000 mm) możliwe jest pełne podniesienie układu szynowego by wykonywać jazdę po drodze. Unimog U423 w wersji do prac manewrowych jest wyposażony w system hamowania firmy Knorr-Bremse, który wykorzystuje sprężone powietrze do zatrzymywania pojazdu pod dużym obciążeniem (rys. 6a). Posiada on napęd na cztery koła oraz skrzynię biegów z ośmioma biegami w przód i ośmioma wstecznymi, które pozwalają mu osiągać maksymalną prędkość jazdy 50 km/h na torach (zarówno w jeździe do przodu, jak i wstecz). Zamontowany w nim system EasyDrive pozwala na łatwą zmianę w czasie jazdy między napędem hydrostatycz-

- catenary maintenance,
- track repairs,
- railcar shunting,
- resurfacing,
- diagnostic tests,
- technical rescue,
- cleaning, snow removal, mowing, etc.

The road-rail vehicle Unimog U423, presented at last year's InnoTrans in Berlin, uses the latest technological solutions dedicated for multi-purpose vehicles. The new Unimog produced by Mercedes-Benz (Daimler AG) is the successor to a previous version of this vehicle in Euro V emission standard (Tab. 2). In order to meet the strict requirements of the latest Euro VI standard the vehicle uses both modern engine solutions and efficient exhaust aftertreatment systems. The comparably low cost of purchase of the road-rail vehicle makes it a favorable alternative to shunting locomotives. Existing users determine the Unimog U423 fuel consumption at approx. 5-6 dm³ of diesel oil for every hour of work [7].

Thanks to its high engine power (170 kW) Unimog U423 allows for shunting operations with a total maximum supported weight of 1000 Mg. This is in part thanks to the use of a high coefficient of friction between the tires and the rail, which ensures proper traction. With its compact axle dimensions, the vehicle does not require a separate drive on the rails and can operate on different track widths. Hydraulic lowering guidance system allows for securely joining the track on a straight section with a length of just 5 meters (Fig. 6b). The track guidance system provides a stable and safe driving both on straight stretches of railway lines, as well as tight curves with a radius equal to or less than 17 m. The vehicle manufacturer allows orders with custom factory increased chassis height, as a result (despite the wheelbase height being equal to 3000 mm) the rail system can be fully lifted to allow the vehicle to drive on roads. The shunting version of Unimog U423 is equipped with a Knorr-Bremse braking system, which uses compressed air to stop the vehicle under heavy load (Fig. 6a).



Rys. 5 – Samochód Mercedes-Benz Unimog U423 do zastosowań kolejowych [10]

Fig. 5 – Mercedes-Benz Unimog U423 vehicle for rail applications [10]

nym a przekładnią mechaniczną. Opisany Unimog jest ponadto wyposażony w system zdalnej kontroli pracy [7].

It has a four-wheel drive and a transmission with eight forward and eight reverse gears that allow it to reach its maximum speed of 50 km/h on the track (both when driving forwards and backwards). The Easy-Drive system allows users to change between hydrostatic drive and mechanical transmission while driving. The described Unimog is also equipped with a system of remote operation control [7].

Tabela 2 – Podstawowe parametry techniczne modeli Unimog firmy Mercedes-Benz [7]

Parametr / Parameter	Unimog U400	Unimog U423
Moc / Power	130 kW	170 kW
Norma emisyjności / Emissivity standard	Euro V	Euro VI
Dopuszczalna masa całkowita / Allowable total mass	11 990 kg	13 000 kg
Wymiary (dl. x szer. x wys.) / Dimension (L x W x H)	5500 x 2300 x 3000 mm	5500 x 2300 x 3000 mm
Skrzynia biegów / Gearbox	8 biegów do przodu / 8 gears forward 8 biegów wstecznych / 8 gears backwards	8 biegów do przodu / 8 gears forward 8 biegów wstecznych / 8 gears backwards
Rodzaj sprzęgła / Clutch type	przekładnia hydrokinetyczna / torque converter	przekładnia hydrokinetyczna / torque converter
Rozstaw osi / Wheel base	3080 mm/3600 mm	3000 mm/3600 mm
Prędkość / Velocity: na drodze / on road na torach bez obciążenia / on track without load na torach z obciążeniem / on track with load	85 km/h 50 km/h 20 km/h	90 km/h 50 km/h 20 km/h

a)



b)



Rys. 6 – Elementy składowe układów zastosowanych w samochodzie U423: a) pneumatycznego, b) hydraulicznego [10]

Fig. 6 – Components of the systems used in the U423 road-rail vehicle: a) pneumatic, b) hydraulic [10]

4. ZAKOŃCZENIE

Na potrzeby analiz, podjętych w artykule, oprócz pomiarów toksyczności spalin w warunkach rzeczywistego użytkowania lokomotyw manewrowych i pojazdów szynowo-drogowych, przeprowadzono także pomiary stanowiskowe. Poziom emisji jednostkowej (rys. 7) poszczególnych składników toksycznych spalin określono między innymi w wyniku badań emisji zanieczyszczeń na oporniku wodnym – 3-fazowy test ISO 8178-F.

4. CONCLUSIONS

For the needs of the analysis undertaken in the article, in addition to measuring exhaust emissions in real operating conditions for shunting locomotives and road-rail vehicles, the measurements were also carried out on a stationary test bench. The level of unit emissions (Fig. 7) of the individual components of toxic fumes were defined, among others, as a result of emission tests with a water resistor – 3-phase ISO 8178-F test.

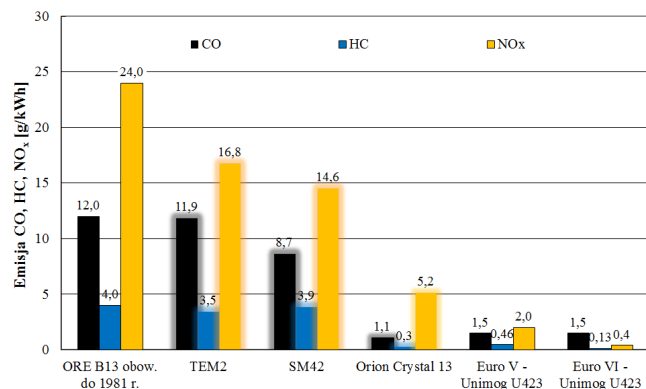
Przedstawione wyniki badań i dokonane analizy środków transportu masowego wskazują m.in. na bardzo intensywny sposób oddziaływania wiekowych lokomotyw manewrowych na środowisko naturalne. Bardzo korzystnie przedstawia się natomiast sytuacja dotycząca zastępowania tychże lokomotyw specjalnymi pojazdami szynowo-drogowymi, takimi choćby jak ciągniki szynowo-kołowe. Największe zyski ekologiczne dotyczą emisji jednostkowej tlenku węgla i węglowodorów – nawet 10-krotne zmniejszenie z wykorzystaniem ciągnika w stosunku do lokomotywy. Na uwagę zasługuje również fakt ponad 70-procentowego zmniejszenia emisji tlenków azotu przy prowadzeniu prac ciągnikiem szynowo-drogowym w stosunku do lokomotywy manewrowej.

Przedstawione możliwości zamiany tradycyjnych pojazdów szynowych w postaci lokomotyw manewrowych na lekkie pojazdy szynowo-drogowe o szerokim zastosowaniu, wpisują się w aktualnie dominujące kierunki prac naukowo-badawczych i trendy ekologiczne, dotyczące środków transportu masowego. Obok nich należy również wymienić np. zastępowanie wyeksploatowanych silników spalinowych jednostkami nowocześniejszymi oraz hybrydyzację układów napędowych.

BIBLIOGRAFIA

- [1] Bolewski S., Kowalczyk E.: *Lokomotywy spalinowe serii SM42 i SP42*. Wydawnictwa Komunikacji i Łączności, Warszawa 1986.
- [2] Gronowicz J.: *Ochrona środowiska w transporcie lądowym*. Wydawnictwo Politechniki Szczecińskiej, Szczecin 1996.
- [3] Gronowicz J., Kasprzak B.: *Lokomotywy spalinowe*. Wydawnictwo Komunikacji i Łączności, Warszawa 1989.
- [4] Krzemieniecki A.: *Tabor kolejowy*. Wydawnictwa Komunikacji i Łączności, Warszawa 1976.
- [5] Marciniak Z., Jakuszko W.: *Koncepcja polskiej lokomotywy spalinowej z hybrydowym układem napędowym*, XX Międzynarodowa Konferencja Naukowa „Pojazdy Szynowe 2012” – Poznań.
- [6] Marciniak Z., Stawecki W., Pielecha I., Pielecha J.: *Ekologiczne aspekty spalinowych pojazdów szynowych eksploatowanych na krajowych liniach kolejowych*. Logistyka, nr 4, 2010.
- [7] *Materiały koncernu Daimler: www.daimler.com, www.mercedes-benz.com (dostęp z dnia 13.03.2015)*.
- [8] *Materiały Polskich Kolei Państwowych*.
- [9] Medwid M.: *Hybrydowe pojazdy kolejowo-drogowe zaprojektowane i wytwarzane w Polsce*. Technika Transportu Szynowego, 7? 8/2005, s. 45? 53.
- [10] *www.zwiehoff.com (dostęp z dnia 24.03.2015)*.

The test results and analysis of the means of mass transit indicate a very significant influence of old shunting locomotives on the environment. The replacement of these locomotives with special road-rail vehicles, such as tractors, appears to be highly preferable. The best ecological gains relate to the emissions of carbon monoxide and hydrocarbons – up to 10-fold emission reduction for the use of the tractor in place of the locomotive. Also significant is the fact that more than 70 percent reduction in nitrogen oxide emissions was achieved by utilizing a road-rail tractor in place of a shunting locomotive.



Rys. 7 – Emisja jednostkowa toksycznych związków w spalinach – wyniki pomiarów na tle unormowań emisyjnych

Fig. 7 – Emission of toxic compounds in exhaust gases – the results of measurements compared to the background emission norms

The substitution of traditional rail vehicles, in the form of shunting locomotives, with light road-rail vehicles with a wide range applications, fit into the currently prevailing directions of scientific research and environmental trends, relating to means of mass transportation. Aside from that the replacement of worn out power units with more modern internal combustion engines and powertrain hybridization should also be mentioned.