

The premisses for adapting tram for driving on various types of track in an urban agglomeration

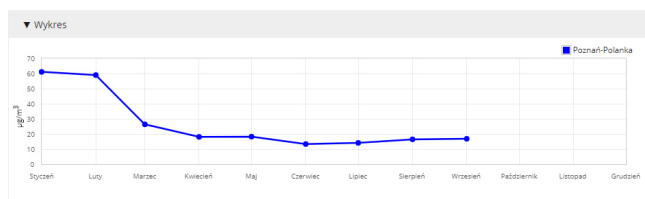
Przesłanki do przystosowania tramwaju do jazdy na różnego rodzaju torowiskach na obszarze aglomeracji

In the paper premisses and justification for searching for an effective, energy-efficient mass communication system in agglomerations in Poland are described. One way of relieving the density of the means of communication on the streets of Polish cities is to extend the offer of tram transport by the partial use of railway networks and running on trackway sections without catenary. Solutions introduced in other European countries are also described. Technical, organizational and formal-and-legal barriers which are to be overcome for receiving the presented advantages are described.

W artykule opisane zostały przesłanki i uzasadnienie dla poszukiwania efektywnego, energooszczędnego systemu komunikacji zbiorowej w aglomeracjach w Polsce. Jednym ze sposobów rozładowania zagęszczenia środków komunikacji na ulicach polskich miast jest rozszerzenie oferty przewozowej komunikacji tramwajowej na drodze częściowego wykorzystania sieci torów kolejowych i jazdy na torowisku bez sieci trakcyjnej. Opisane zostały rozwiązania wdrożone w innych krajach europejskich. Przedstawiono bariery techniczne, organizacyjne i formalno-prawne, jakie trzeba pokonać dla uzyskania przedstawionych korzyści.

1. Introduction

A growing threat inherent when living in urban agglomerations is an increasing level of generated pollution. For instance Fig. 1÷4 shows levels of air pollutants in Poznan [14] and in Warsaw in 2017 [15]. The dashed lines indicate the permissible pollutant levels in accordance with [13].



Rys. 1. Dane pomiarowe dla parametru pył zawieszony PM10 dla stacji Poznań – Polanka w roku 2017 r.

Fig. 1. Measurement data for PM10 suspended particulate matter for Poznan - Polanka station in 2017.

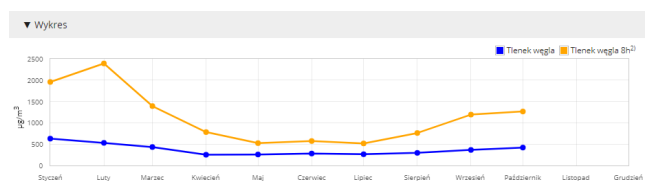


Fig. 3. Measurement data for the carbon monoxide content for Poznań - Polanka station in 2017.

Rys. 3. Dane pomiarowe dla parametru tlenek węgla dla stacji Poznań – Polanka w roku 2017 r.

1. Wstęp

Istotnym zagrożeniem dla normalnego życia w aglomeracjach jest stale narastające zanieczyszczenie środowiska naturalnego. Przykładowo na rys. 1÷4 przedstawiono poziomy zanieczyszczeń powietrza w Poznaniu [14] i w Warszawie w 2017 r. [15]. Linia przerywaną zaznaczono poziomy dopuszczalne wg [13].

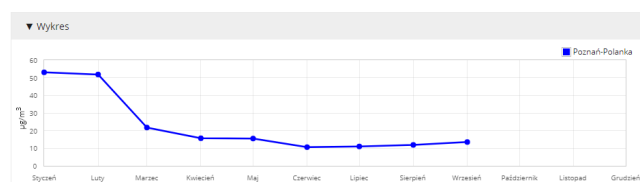


Fig. 2. Measurement data for PM2.5 suspended particulate matter for Poznan - Polanka station in 2017.

Rys. 2. Dane pomiarowe dla parametru pył zawieszony PM2.5 dla stacji Poznań – Polanka w roku 2017 r.

Utrzymanie takiego stanu, dotyczącego przecież nie tylko miast w Polsce, spowoduje katastrofalne zmiany klimatyczne zaprezentowane na rys. 5, których efektem będzie np. zalanie Wenecji w 2100 r.

2. Efekty wzmożonego ruchu samochodów w miastach

Źródłem zanieczyszczeń będących efektem poruszania się różnego typu samochodów na ulicach miast są spaliny, a również ścieranie się asfaltu, opon, hamulców oraz wyrywanie z powodu drobnych cząstek

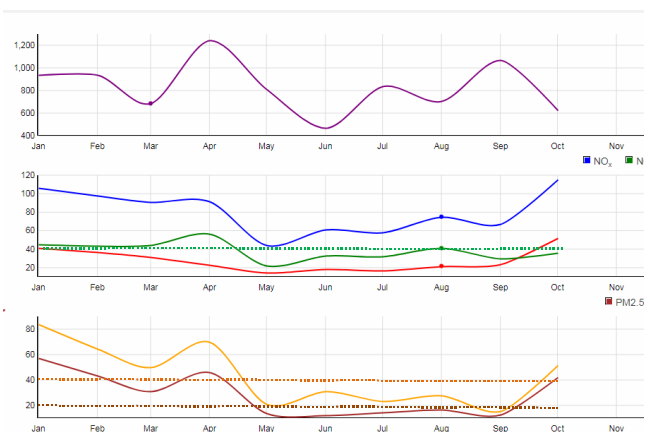


Fig. 4. Measurement data of all pollutants for Warszawa-Marszałkowska station in 2017

Rys. 4. Dane pomiarowe wszystkich substancji dla stacji Warszawa-Marszałkowska w 2017 r.

Maintaining such a trend, which is present not only in Polish cities, will cause catastrophic climate change presented in Figure 5, which may result, for example, in the flooding of Venice by the year 2100.

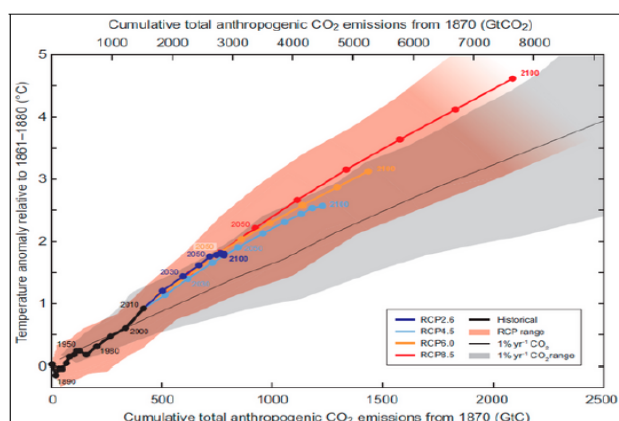


Fig. 5. Forecast of temperature increase due to global CO₂ emissions [21]

Rys. 5. Prognoza wzrostu temperatury w wyniku globalnej emisji CO₂ [21]

2. The effects of increased urban car traffic

The source of this pollution, caused by the movement of different types of vehicles through city streets, are the exhaust gases, as well as the abrasive erosion of asphalt road surface, car tires, brakes and pulling particulates out of small holes in the road surface.

Table 1 shows the data concerning the primary air pollutants emission level from road transport in Poland.

Poland is not an exception in this field. This problem is the same in other countries, such as the United Kingdom, which has decided to revitalize tram traffic in several cities.

The figures for sources of pollution in UK cities in 2006 are as follows [12]:

z powierzchni jezdni.

W tabelicy 1 ujęto dane dotyczące poziomu emisji podstawowych zanieczyszczeń powietrza pochodzących z transportu drogowego w Polsce.

Air pollution level in Poland [17] Table 1
Poziom zanieczyszczeń powietrza w Polsce [17] Tablica 1

Rodzaj zanieczyszczeń/ Type of pollutant	Emisja w tonach w 2003 r./ Emission in tons in 2003
Dwutlenek węgla/ Carbon dioxide	28,989
Metan/ Methane	4,2
Podtlenek azotu/ Nitrous oxide	1,94
Tlenek węgla/ Carbon monoxide	609,3
Niemetanowe lotne związki organiczne/ Non-methane volatile organic compounds	111,1
Tlenki azotu/ Nitrogen oxides	234,5
Cząstki stałe/ Particulate matter	14,94
Dwutlenek siarki/ Sulphur dioxide	2,52
Ołów/ Lead	0,021

Polska nie jest w tym obszarze wyjątkiem. Problem ten dotyczy w tym samym stopniu innych państw, czego przykładem może być Wielka Brytania, która zdecydowała się na rewitalizację komunikacji tramwajowej w kilku miastach.

Dane liczbowe dotyczące miast Wielkiej Brytanii w 2006 r. w odniesieniu do źródeł zanieczyszczeń są następujące [12]:

- wydzielanie spalin: 332,5 t w tym PM 2,5 i PM 10 – 133 t/rok (samochody prywatne ok. 75 %)
- zużywanie asfaltu: 125,3 t w tym PM 2,5 i PM 10 – 179 t/rok (samochody prywatne ok. 93 %)
- ścieranie się opon: 81,2 t w tym PM 2,5 i PM 10 – 116 t/rok (samochody prywatne ok. 93 %)
- wycieranie się hamulców ciemnych: PM 2,5 i PM 10 – 55 t/rok (samochody prywatne ok. 90 %)
- wyrwanie cząstek z nawierzchni drogi: 46,8 t, (samochody prywatne ok. 94 %).

Łącznie te zanieczyszczenia to 640,8 t.

Każdego dnia pojazdy przemierzające się drogami Wielkiej Brytanii „gubią” ok. 9 kg pyłu z opon.

W USA rokrocznie z pojazdów drogowych do środowiska wydostaje się ok. 600.000 t drobin opon. Alarmujące są liczby dotyczące bezpośredniego wpływu zanieczyszczeń zagrażających zdrowiu i życiu. W USA stwierdzono 153 tys. wypadków śmierci z powodów oddechowych, głównie osób młodych i starszych, w tym 38.250 do 61.100 z powodu zanieczyszczeń spalinami.

Można też przytoczyć dalsze dane dotyczące wpływu ruchu samochodów na środowisko [22]:

- exhaust emission: 332.5 t in which PM 2.5 and PM 10 – 133 t/year (personal cars approx. 75 %)
- road Surface wear: 125.3 t in which PM 2.5 and PM 10 – 179 t/year (personal cars approx. 93 %)
- tire wear: 81.2 t in which PM 2.5 and PM 10 – 116 t/year (personal cars approx. 93 %)
- brakes wear: PM 2.5 and PM 10 – 55 t/year (personal cars approx. 90 %)
- pulling particles out of the road: 46.8 t, (personal cars approx. 94 %).

This brings the amounts to 640,8 t in total.

Every day vehicles traveling on the roads of Great Britain lose about 9 kg of tire mass in the form of dust. In the US, about 600.000 tons of tire dust from road vehicles is released to the environment each year. The numbers relating to the direct health impact of the life-threatening pollutants emission are alarming. There are 153.000 deaths from respiratory causes in the US, mainly among the young and old people, of which 38.250 to 61.100 was due to exhaust gas pollution.

Further data on the impact of car traffic on the environment can also be quoted [22]:

- by 2030 approx. 80 % of population in Europe will live in urban agglomerations (an increase by 10 %),
- in Poland the number of people using vehicles increased from 138 per 1000 people in 1990 to 546 in 2015, and in EU as a whole from 335 to 498,
- individual mobility in urban areas is responsible for 64% of all travel,
- in 2010 the time spent in traffic jams by each person living in an urban agglomeration was slightly over 50 h/year, and in 2050 this time will be 106 h/year.

Counterweight to this data the transport capacity values (belt/hour) show the directions of change necessary to limit these negative phenomena:

- rail – 15.000,
- underground – 16.500,
- tram – 3.400,
- bus – 2.800.

Apart from environmental factors, the costs of congestion in cities are also significant. A detailed cost analysis can be found in article [9], which presents the results of a report study on urban mobility and estimated congestion costs. In the cities covered by the report these costs range from € 144 - € 913 yearly per capita. As the authors point out, although Poland was included in the group of countries with low congestion costs, Poland is in the group of countries with the highest congestion costs relative to GDP.

In the described situations it is necessary to seek technical and organizational measures to limit urban car traffic as a result of developing more efficient public transport systems based on energy-efficient means of transport.

One such way is to increase the share of trams in transport in the urban agglomerations, also as a result of the partial use of railway infrastructure in

- do 2030 r w Europie ok. 80 % ludności będzie zamieszkiwało w miastach (wzrost o 10 %),
- w Polsce liczba zmotoryzowanej ludności wzrosła z 138 na 1000 mieszkańców w 1990 r. do 546 w 2015 r., a w Unii to 335 do 498,
- indywidualne przemieszczanie się po terenach miejskich to 64 % wszystkich podróży,
- w 2010 r. czas spędzany w korkach przez mieszkańca miasta wynosił nieco ponad 50 godz./rok, a w 2050 r. będzie to 106 godz./rok

Przeciwstawić tym danym można przykładowe zdolności przewozowe (pas/godz), co wskazuje kierunki zmian dla ograniczenia tych negatywnych zjawisk:

- kolej – 15.000
- metro – 16.500
- tramwaj – 3.400
- autokar – 2.800.

Poza czynnikami środowiskowymi również niebagatelne znaczenie mają koszty kongestii w miastach. Szczegółową analizę kosztów można znaleźć w artykule [9], gdzie przedstawiono wyniki raportu z badań dotyczących mobilności w miastach oraz oszacowano koszty kongestii. W miastach objętych raportem koszty te kształtują się w granicach od 144 ÷ 913 euro rocznie na jednego mieszkańca. Jak podkreślają autorzy, mimo że Polska zaliczona została do grupy państw o niskim poziomie kosztów kongestii, to w przypadku odniesienia kosztów kongestii do PKB Polska znajduje się w grupie państw ponoszących najwyższe koszty.

W opisanych sytuacjach konieczne jest poszukiwanie środków technicznych i organizacyjnych dla ograniczenia ruchu samochodów w miastach w wyniku rozwijania efektywniejszych systemów komunikacji zbiorowej opartej na energooszczędnych środkach transportu.

Jednym z takich sposobów jest zwiększenie udziału tramwajów w transporcie zbiorowym na terenie aglomeracji i metropolii, także w wyniku częściowego wykorzystania infrastruktury kolejowej.

Takie systemy, zwane tram-train (*tramwaj – pociąg*) są już wdrożone w kilku miastach europejskich, dlatego warto przeanalizować problemy techniczne i organizacyjne, które wiążą się z wprowadzeniem takiego rozwiązania w Polsce.

Temat ten był już poruszany przez specjalistów na łamach różnych czasopism technicznych [1÷7, 10, 18, 23, 24], jednak omawiane były tam tylko wybrane aspekty tego problemu.

3. Wykorzystanie pojazdów dwusystemowych w komunikacji zbiorowej

Główne wdrożone w Europie rozwiązania są następujące:

- Najbardziej popularnym tramwajem dwusystemowym jest tramwaj w Karlsruhe w Niemczech [19].

agglomeration and metropolitan areas for tram traffic. Such systems, called tram-train systems, have already been implemented in several European cities, so it is important to analyze the technical and organizational problems that are associated with such implementation in Poland.

This subject has already been discussed by specialists in various technical journals [1÷7, 10, 18, 23, 24], but some aspects of this problem were discussed.

3. Application of the dual-mode vehicles in public transport

Main existing solutions implemented in Europe are as follow:

a) The most popular tram system is the tram in Karlsruhe, Germany [14]. Since September 25, 1992, the first time a Siemens dual-mode tram course took place in the city for the first time in the world. This has five times increased the number of passengers. Over time, the dual-track tram route began to expand and in the end there were 12 dual-mode tram lines within a radius of up to 70 km from the city center, serving 190 stations. The Karlsruhe model is mainly based on the vehicle's ability to travel on lines of two different supply voltages: 15 kV 162/3 Hz for rail and 750 V for tram. On urban roads, vehicles follow traditional tram traffic rules and on railways according to the DB rules. This solution uses already existing sections of railway lines. The introduction of the twin-track tramway in Karlsruhe has been successful, among other things, by the fact that the train station is about 2 km from the city center. This change allowed people to reach the exact center without having to switch to a tram.

Od 25 września 1992 w tym mieście po raz pierwszy na świecie odbył się pierwszy kurs tramwaju dwusystemowego produkcji firmy Siemens. Przedsięwzięcie to zwiększyło liczbę podróżujących pasażerów pięciokrotnie. Z czasem trasa tramwajów dwusystemowych zaczęła się zwiększać i finalnie w mieście funkcjonuje 12 linii tramwaju dwusystemowego w promieniu do 70 km od centrum miasta, obsługujących 190 stacji. Model Karlsruhe bazuje głównie na możliwości poruszania się pojazdu na liniach o dwóch różnych napięciach zasilania: 15 kV 162/3 Hz dla kolei i 750 V dla tramwaju. Po torach miejskich pojazdy poruszają się zgodnie z tradycyjnymi zasadami ruchu tramwajowego natomiast na torach kolejowych zgodnie z zasadami obowiązującymi na szlakach DB. W rozwiązaniu tym wykorzystano istniejące już odcinki linii kolejowych. Wprowadzenie tramwaju dwusystemowego w Karlsruhe odniosło sukces między innymi przez to, że dworzec kolejowy jest oddalony od centrum miasta o ok. 2 km. Zmiana ta pozwoliła ludziom na dotarcie do ścisłego centrum bez konieczności przesiadania się w tramwaj.



Fig. 6. Tram-train operating in Karlsruhe [27]

Rys. 6. Tramwaj dwusystemowy kursujący w Karlsruhe [27]



Fig. 7. Tram-train (left) at the stop for the tram line in Zwickau [26]

Rys. 7. Tramwaj dwusystemowy (po lewej) na przystanku przelotowym dla linii tramwajowej w Zwickau [26]



Fig. 8. Tram-train operating in Kassel [20]

Rys. 8. Tramwaj dwusystemowy w Kassel [20]



Fig. 9. Tram-train operating in Nordhausen [25]

Rys. 9. Tramwaj dwusystemowy w Nordhausen [25]

b) The German city of Zwickau has adopted a completely different model of integration of the tram and rail system than Karlsruhe. In order to ensure smooth and uninterrupted commuter traffic to the city center, it was decided to allow light rail vehicles on tramway tracks. To make it possible, it was necessary to rebuild about one kilometer length

b) Niemieckie miasto Zwickau przyjęło zupełnie odmienny model integracji systemu tramwajowego i kolejowego aniżeli Karlsruhe. Aby zapewnić sprawne i bezprzesiadkowe dojazdy mieszkańców przedmieść do centrum postanowiono dopuścić na torowiska tramwajowe lekkie pojazdy kolejowe. Aby to było możliwe należało przebudować torowisko na odcinku ok. kilometra, aby możliwe było przejechanie

of the track in order to allow vehicles wider than the trams to travel through. In addition, it was necessary to add a third rail to the track - the width of the tram tracks was 1000 mm and the rail was 1435 mm. Additionally, the construction of tram tracks has been strengthened to withstand higher loads. From the side of the rolling stock it was necessary to adapt it to the requirements of tram wagons, among others, to equip the vehicles with the turn indicators. But the most important difference in the solution introduced in Zwickau as compared to Karlsruhe is the use of diesel rolling stock in urban traffic. In consequence, adaptation of the vehicles to various traction network voltages has been avoided [20].

- c) Another city also in Germany, which effectively implemented two-system tram is Kassel. Two types of tram-train connections are used here. In the first case, it consisted in modernization of the single-track approach from Kassel to Lichtenau formerly used to transport freight. This line was electrified with a tram voltage of 600V. The stops are equipped with so-called additional track weights to enable to continue railway operation in the area. The second way to introduce trams to the railway was the introduction of two-system trams adapted to run on the tram and railway network. The supplier of such vehicles was Alstom, offering a RegioCitadis vehicle. Up to now, two-system trams in Kassel serve four lines of total length of 145 km, but on the RT4 section, which has not been electrified, only hybrid-electric vehicles operate. Other lines support two-system vehicle solution with a 600 V power supply system for trams along a 15 kV - $16^{2/3}$ Hz.
- d) The concept of a dual-mode tram was used in the German city of Nordhausen in a slightly different way, as compared to Karlsruhe. In this case, the choice was a hybrid fleet equipped with an additional diesel engine used for travelling on the off-street traction. In addition, in order to make this connection between tram and rail infrastructure possible, it was necessary to build a link between the tram loop and the narrow-gauge railway station in 2002. Two more years have passed before the dual-mode tram line No. 10 to Ilfeld was launched. This line is 11 km long, and the time it takes to travel using a the two-system tram ranges between 27 and 35 minutes. Three Siemens Combino Duo vehicles with a total capacity of 34 tonnes were purchased for this line. The vehicle has 27 seats and a capacity for additional 68 standing passengers. It moves at a maximum speed of 70 km/h [11].

szerszych niż tramwaje pojazdów. Ponadto konieczne było dołożenie do torowiska trzeciej szyny – szerokość torów tramwajowych wynosiła 1000 mm natomiast kolejowych 1435 mm. Dodatkowo wzmocniono konstrukcję torowisk tramwajowych, aby mogły wytrzymać większe obciążenia. Ze strony taboru należało dostosować go do wymogów wagonów tramwajowych m.in. doposażyć w kierunkowskazy. Najważniejszą jednak różnicą w rozwiązaniu wprowadzonym w Zwickau w stosunku do Karlsruhe jest zastosowanie taboru spalinowego w ruchu miejskim. Nie było wobec tego konieczności dostosowywania pojazdu do zasilania różnymi napięciami sieci trakcyjnej [20].

- c) Kolejnym miastem również w Niemczech, w którym sprawnie zaimplementowano tramwaje dwusystemowe jest Kassel. Zastosowano tutaj dwa typy połączeń systemu kolejowego z tramwajowym. W pierwszym przypadku polegało to na modernizacji jednotorowej kolei dojazdowej z Kassel do Lichtenau służącej w przeszłości do przewozów towarowych. Zelektryfikowano tę linię napięciem tramwajowym wynoszącym 600 V. Przystanki wyposażono w tzw. dodatkowe sploty torowe, dzięki którym możliwe jest dalsze prowadzenie ruchu kolejowego w tym obszarze. Drugim sposobem wprowadzenia tramwajów na linie kolejowe było wprowadzenie tramwajów dwusystemowych przystosowanych do poruszania się po sieci tramwajowej i kolejowej. Dostawcą takich pojazdów była firma Alstom oferując pojazd z serii RegioCitadis. Do chwili obecnej tramwaje dwusystemowe w Kassel obsługują cztery linie na trasach o łącznej długości 145 km jednak na odcinku trasy RT4, która nie została zelektryfikowana kursują pojazdy o napędzie hybrydowym, czyli spalinowo-elektrycznym. Pozostałe linie obsługują pojazd dwusystemowe obsługiwane system zasilania o napięciu 600 V dla tramwajów i 15 kV - $16^{2/3}$ Hz.
- d) Nieco inaczej, w stosunku do Karlsruhe, koncepcję tramwaju dwusystemowego zastosowano w niemieckim mieście Nordhausen. W tym przypadku postawiono na tabor hybrydowy wyposażony w dodatkowy silnik diesla używanym w ruchu poza miejską trakcją. Ponadto aby takie połączenie infrastruktury tramwajowej z kolejową było możliwe konieczne było wybudowanie w 2002 r. łącznika pomiędzy pętlą tramwajową a stacją kolei wąskotorowej. Od tego czasu upłynęły dwa lata zanim uruchomiono linię tramwaju dwusystemowego nr 10 kursującą do Ilfeld. Linia ta ma 11 km długości a czas jej pokonania tramwajem dwusystemowym wynosi od ok. 27 do 35 min. Zakupiono do obsługi tej linii trzy pojazdy Siemens Combino Duo o masie całkowitej (z pasażerami) wynoszącej 34 t. Pojazd dysponuje 27 miejscami siedzącymi i 68 miejscami stojącymi. Porusza się z prędkością maksymalną wynoszącą 70 km/h [11].

- f) Not only German cities observe the trend in the use of railway lines for tram vehicles. France has followed the trend of its neighbors. In 2006 Île de France launched the first dual track-tram system in France. A fragment of a closed railway linking Aulnay sous Bois and Bondy was used. Stops along the lines have been adapted to handle trams by mounting a passenger information system and ticket machines. Two-system trams were provided by Siemens. These trams are powered by 750 V for tram traction and 25 kV 50 Hz for rail traction. Apart from adapting vehicles to these changes the city has decided to introduce a number of infrastructure improvements. One of them was to prioritize tramways on pedestrian crossings by using appropriate traffic lights and GPS devices. For pedestrians, a red light signaling on the STOP sign board was added and marking the nearest crossing with black-and-white checkered pattern [8].
- f) Apart from France and Germany, two-mode trams can be found in other European countries such as Italy, Spain, the Netherlands as well as North America. These systems are the most well-known models. Other solutions in other cities rely directly on these systems to match the infrastructure to their requirements [9, 15].

4. Status of the work on implementation of two tram-train types in Poland

The concepts for construction of a tram-train running on the railway and tram tracks appeared also in Poland. Such solutions were considered among others in Wrocław [10], Cracow [2, 3, 23] and Gdańsk [16]. Under the sector programme INNOTABOR named "Innovative rolling stock for passenger, freight and special purpose transport", launched by the National Centre for Research and Development, a project "Tram and railway vehicle adapted for use on tram and railway lines" was submitted with a view to implement a tram offering such features [28]. Another possible solution consists in development of another type of dual-mode tram able to run on the track sections without the overhead power supply. This should allow to introduce the tram traffic among others to those parts of cities where the overhead network would spoil historical character of the buildings or aesthetic appearance of narrow streets. Under the aforementioned INNOTABOR sectoral programme several proposals for implementation of such a tram type have been submitted [28]:

- R&D work on the development of high-performance driving technology of a tram without overhead line, avoiding interference with the network infrastructure, and construction of a prototype of the first such a vehicle in Poland;
- New generation, fully low-floor tram, with innovative on-board systems and energy storage

e) Nie tylko w Niemczech zaobserwować można trend w wykorzystywaniu linii kolejowych na potrzeby poruszania się na nich pojazdów tramwajowych. Śladami swoich sąsiadów poszła również Francja. W 2006 roku w obrębie *Ile de France* uruchomiono pierwszą we Francji linię tramwaju dwusystemowego. Wykorzystano fragment zamkniętej linii kolejowej łączącej *Aulnay sous Bois* i *Bondy*. Przystanki wzdłuż linii zostały przystosowane do obsługi tramwajów poprzez zamontowanie systemu informacji pasażerskiej i biletomatów. Tramwaje dwusystemowe dostarczyła firma Siemens. Tramwaje te zasilane są napięciem 750 V dla trakcji tramwajowej i 25 kV 50 Hz dla trakcji kolejowej. Poza dostosowaniem pojazdów do nowych rozwiązań miasto zdecydowało się na wprowadzenie szeregu usprawnień infrastrukturalnych. Jednym z nich było wprowadzenie priorytetu dla przejazdu tramwajów na skrzyżowaniach z przejściami dla pieszych poprzez zastosowanie odpowiednich sterowników sygnalizacji świetlnej i urządzeń GPS. Dla pieszych przewidziano sygnalizację w postaci czerwonego światła na tablicy znaku STOP oraz oznakowania najbliższego skrzyżowania poziomą czarno-białą szachownicą [8].

f) Poza Francją i Niemcami tramwaje dwusystemowe można spotkać w innych Państwach Europy takich jak Włochy, Hiszpania, Holandia oraz w Ameryce Północnej. Rozwiązania w innych miastach bazują bezpośrednio na ww. systemach dopasowując infrastrukturę do swoich wymagań.

4. Stan prac przy wdrożeniu dwóch typów tramwaju dwusystemowego w Polsce

W Polsce również pojawiały się koncepcje budowy tramwaju dwusystemowego wykorzystującego tory kolejowe do poruszania się tramwajów. Takie rozwiązania były rozważane m. in. we Wrocławiu [10], Krakowie [2, 3, 23], Gdańsku [16].

W ramach uruchomionego przez Narodowe Centrum Badań i Rozwoju programu sektorowego INNOTABOR - "Innowacyjny tabor szynowy do przewozów pasażerskich, towarowych i specjalnego przeznaczenia" zgłoszono projekt „Pojazd tramwajowo-kolejowy przystosowany do eksploatacji na torowiskach tramwajowych i na liniach kolejowych”, w ramach którego wdrożony zostałby tramwaj o takich cechach [28].

Innym rozwiązaniem możliwym do wprowadzenia jest wprowadzenie innego rodzaju dwusystemowego tramwaju, który będzie mógł pokonywać fragmenty torowisk bez napowietrznej sieci zasilającej. Jest to rozwiązanie umożliwiające wprowadzenie tramwaju m. in. do tych fragmentów miast, w których sieć napowietrzna psułaby historyczny charakter zabudowań lub wygląd estetyczny wąskich ulic.

W ramach ww. programu sektorowego INNOTABOR zgłoszono kilka projektów proponujących wdrożenie takiego typu tramwaju [28]:

- for driving beyond the traction line;
- An integrated powertrain of a light rail vehicle, matched with hybrid SiC semiconductor energy storage, allowing for driving outside the traction network and enabling several dozen percent reduction in the dynamic losses, mass and powertrain size;
- Energy buffer for a light rail vehicle, with 10 kWh energy storage.

5. Barriers to putting a tram on the railroad tracks

5.1. Technical difficulties

a) Different wheel and track profiles

Different shape of the wheel rim and tilt of the rail. On the rail track, the tilt is 1:20 and 1:40 inward, while in the tram network the inclination is contained in the rail profile by the appropriate configuration of the rail head (the most commonly used rails are R160N, S49, LK1). In addition, the issue of track crossing is different. For trams, this takes place along the perimeter of the gently rising ramp inside the crossing groove – see Fig. 10. In case of railway the crosses are done by passing the rim over the groove in the crossroads of railroad tracks – see Fig 11. Possible solution is the selection and use of an intermediate wheel profile.

Dual-track trams can be extended with 135 mm wide rims, so it is necessary to raise the rail above the track base by 10÷15 mm to avoid overriding the rail head and avoid contact of the extended wheel rim with the track. It would also be advisable to use rails with a groove depth of 45÷47 mm so as to prevent the wheel contact with the rim in the event of significant vertical wear of the rails.

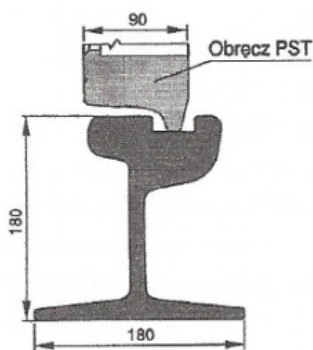


Fig. 10. Image of a tram wheel when crossing a switch or a tram intersection [4].

Rys. 10. Widok koła tramwajowego podczas przejazdu przez krzyżownicę rozjazdu lub skrzyżowania tramwajowego [4]

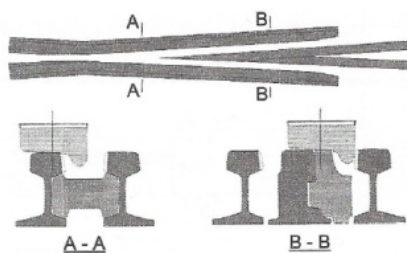


Fig. 11. Image of a rail wheel when crossing a switch [4].

Rys. 11. Widok koła kolejowego podczas przejazdu przez krzyżownicę [4]

- Prace B+R nad opracowaniem wysokowydajnej technologii jazdy beztrakcyjnej tramwaju, bez konieczności ingerencji w infrastrukturę liniową i budowa prototypu pierwszego tego typu pojazdu w Polsce
- Tramwaj nowej generacji ze 100% niską podłogą i z innowacyjnymi systemami pokładowymi oraz z zasobnikami energii do jazdy poza siecią trakcyjną
- Zintegrowany układ napędowy lekkich pojazdów szynowych współpracujący z hybrydowym zasobnikiem energii z wykorzystaniem elementów półprzewodnikowych SiC pozwalający na jazdę bez zasilania z trakcji, umożliwiającą kilkudziesięcioprocentowe ograniczenie strat dynamicznych oraz masy i rozmiarów układu napędowego
- Bufor energetyczny dla lekkiego pojazdu szynowego, z 10 kWh zasobnikiem energii.

5. Bariery dla wprowadzenia tramwaju na tory kolejowe

5.1. Bariery techniczne

- odmienne profile koła i szyny: odmienne ukształtowanie obręczy kół oraz pochylenia toków szynowych. Na kolei pochylenie to wynosi 1:20 i 1:40 do wewnątrz, natomiast w sieci tramwajowej pochylenie to zawarto w profilu szyny poprzez odpowiednie ukształtowanie główki szyny (najczęściej stosowane szyny to R160N, S49, LK1). Ponadto inaczej wygląda kwestia przejazdu przez krzyżownice. W tramwajach przejazd ten odbywa się po obrzeżu po łagodnie wznoszącej się rampie wewnątrz rowka krzyżownicy (rys. 6). Na kolei krzyżownice pokonuje się przejeżdżając na obręczy, przechodząc nad rowkiem na szynę skrzydłową w miejscu skrzyżowania toków szynowych (rys. 7). Możliwym rozwiązaniem jest dobór i zastosowanie pośredniego profilu koła. W tramwajach dwusystemowych istnieje możliwość zastosowania poszerzonych obręczy o szerokości 135 mm, generuje to konieczność wyniesienia szyny powyżej zabudowy torowiska o 10÷15 mm, aby uniknąć przewyższenia poziomu główki szyny i uniknięcie kontaktu poszerzonego obrzeża koła z torowiskiem. Należałoby również stosować szyny o głębokości rowka 45÷47 mm, aby niemożliwe było przejechanie kołami po obrzeżu w przypadku wystąpienia znacznego pionowego zużycia szyn.
- tolerancje poszerzeń w łukach: na kolei stosuje się na podkładach drewnianych poszerzenie rozstawu toków szynowych, aby zapewnić spokojność przejazdu przez łuk. Stosowanie poszerzeń z wykorzystaniem podkładów żelbetonowych jest niemożliwe ze względu na jednoznacznie określenie punktu mocowania przytwierdzenia. Dla przykładu dla łuku mniejszego niż 160 m poszerzenie może wynosić nawet 25 mm, co daje rozstaw szyn 1460 mm (tab. 1. TTS 2010/11). Natomiast w torach tramwajowych nie praktykuje się takiego poszerzenia, a tolerancja rozstawu kół wynosi ± 2 mm na prostej i -0 i +4 na

- b) Expansion tolerances in arches
The rail uses wooden sleepers to widen the rail track to ensure smooth passage through bends. In case of reinforced concrete sleepers widening is impossible due to closely determined anchorage fixing point. For example, in case of the bend radius below 160 m, the width can be as high as 25 mm, giving a 1460 mm track spacing [10]. In contrast, in tram tracks there is no such widening, and the wheelbase tolerance is ± 2 mm on the straight line and -0 and +4 on the bends (according to PN-K-92011:1998).
- c) Different drive systems
The electric railway traction voltage in Poland is 3 kV and the tram system is 600 V. It will be necessary to adjust the vehicle to operate using two voltages. Inverters and circuit switches must be used. This solution also requires adapting the infrastructure, which must have a de-energized traction section of the overhead contact line. An alternative to this solution is to equip the vehicle with an internal combustion engine. Then the vehicle could move on tram tracks using traction and on train tracks using an internal combustion engine and vice versa.
- d) Different vehicle signaling and marking systems
It is necessary to adapt the vehicle to two traffic systems. Trams must be equipped with, among others, turn indicators, which are not required for rail traffic. On the other hand, the light marking of a railway vehicle needs to be adapted to railway requirements, among others, to properly mark the beginning and end of the vehicle in signal lights.
- e) Strength in crash
There are no specific Polish requirements for endurance and durability requirements for tram frames. Thus the vehicles will have to meet the railway requirements. Railway requirements for maximum thrust longitudinal force are specified in PN-EN 12663-1:2010+A1:2014 according to vehicle category. For P II passenger vehicles (train-sets and coaches), this force is 1500 kN. Increase in structural strength of the vehicle frame results directly in growth of the vehicle mass. A tram track can be traversed by a vehicle with a maximum axle load of 100 kN at maximum allowable tram weight.
- f) Different width of the track
In Poland there is also a narrow gauge tram track width of 1000 mm. If it is necessary to adapt such a track to a two-system vehicle, it would be necessary to equip the track with a third rail (e.g. as it was done in Zwickau). In Poland, the narrow gauge tram tracks are found in Bydgoszcz, Torun, Elblag, Lodz and Grudziądz.
- g) Traffic control systems
In the case of trams the signal is coupled with the street signal, while on the railway tracks the traffic
- lukach (zgodnie z PN-K-92011:1998).
- odmienny system napędu: napięcie kolejowej trakcji elektrycznej w Polsce wynosi 3 kV, natomiast sieci tramwajowej 600 V. Konieczne będzie dostosowanie pojazdu do obsługi dwóch napięć. Aby to było możliwe stosuje się przetwornice i przełączniki obwodów. Do tego rozwiązania należy dostosować również infrastrukturę, która musi posiadać bezprądowy odcinek sieci trakcyjnej. Alternatywą do takiego rozwiązania jest wyposażenie pojazdu w silnik spalinowy. Wówczas pojazd mógłby poruszać się po torach tramwajowych z wykorzystaniem trakcji a po torach kolejowych z wykorzystaniem silnika spalinowego i na odwrót.
 - inne systemy sygnalizacji i oznakowania zewnętrznego pojazdu: konieczne jest dostosowanie pojazdu do dwóch systemów ruchu. Tramwaje muszą być wyposażone m. in. w kierunkowskazy, których nie wymaga kolej. Natomiast oznakowanie świetlne pojazdu kolejowego wymaga dostosowania do wymagań kolejowych m.in. do odpowiedniego oznakowania początku i końca pojazdu w światła sygnałowe.
 - wytrzymałość przy zderzeniu: brak jest konkretnych polskich wymagań dopuszczających dotyczących wymagań wytrzymałościowych pudeł tramwajów. W przypadku pojazdu dwusystemowego będzie on musiał spełniać wymagania kolejowe. Wymagania kolejowe dot. maksymalnej siły wzdłużnej ściskającej zawarto w PN-EN 12663-1:2010+A1:2014 w zależności od kategorii pojazdu. Na przykład dla pojazdów pasażerskich kategorii P-II (jednostki stałe i wagony) siła ta wynosi 1500 kN. Zwiększenie wytrzymałości konstrukcyjnej pudła wiąże się bezpośrednio ze zwiększeniem masy pojazdu. Po torach tramwajowych poruszać się może pojazd o maksymalnym nacisku osi na tor wynoszącym 100 kN przy dopuszczalnej masie całkowitej tramwaju.
 - inny rozstaw szyn: w Polsce występuje również wąskotorowy rozstaw szyn tramwajowych wynoszący 1000 mm. W przypadku konieczności dostosowania takiego torowiska do pojazdu dwusystemowego należałoby wyposażyć torowiska w trzecią szynę (np. w niemieckim Zwickau). W Polsce wąskotorowy rozstaw szyn tramwajowych występuje w Bydgoszczy, Toruniu, Elblągu, Łodzi i Grudziądzu.
 - systemy sterowania ruchem i kontroli ruchu: w przypadku tramwajów sygnalizacja sprzężona jest z sygnalizacją uliczną natomiast na szlakach kolejowych ruch prowadzony jest z nastawni przez dyżurnych ruchu i opiera się na systemach blokady liniowej i stacyjnej. Rozwiązaniem jest dostosowanie pojazdu dwusystemowego do standardów kolejowych i tramwajowych (wyposażenie systemów sterowania ruchem kolejowym). Ponadto pojazd musiałby być wyposażony w urządzenia bezpieczeństwa ruchu – czuwak aktywny, SHP i radiostop.

is driven from the dashboard and is based on the line and station lock systems. The solution is to adapt the two-mode vehicle to railway and tramway standards (rail traffic control equipment). In addition, the vehicle would have to be equipped with traffic safety devices - active dead man's switch, SHP and radio.

5.2. Organizational difficulties

a) Traffic intensity on the railway tracks and priority for the tram-train vehicle.

It would be troublesome to add extra journeys on routes with heavy traffic. For example, in Karlsruhe, tram traffic jams occur in the morning and in the afternoon, where the capacity of tram routes is insufficient and the vehicles can not be extended due to the regulations in force (in Poland the maximum tram length can be 65 m). All traffic control issues should be covered by appropriate instructions, regulations and internal PKP instructions. A two-system tram entering a railroad track would have to have a train number. There is also a large variation in the rules of tram and train traffic. Trams are driven using visibility - one behind the other, keeping a safe distance between each other. Trains, on the other hand, are managed on a "track section" basis, which means that only one vehicle can be present on a given section of the trail.

b) Driver or motorman?

The next organizational issue is the lack of coherence of traffic regulations on railway and tramway tracks. It will be necessary to train staff to navigate two types of roads. A person operating a two-mode vehicle on railway tracks should have a train driver's license with knowledge of rail traffic and traffic posts. On the other hand, a person running a tram in urban traffic should have the qualifications of a train operator. It will be easier to train drivers into operators due to the long duration of train drivers training. Alternatively, it is possible to make changes to the instructions on professional training of the PKP to include a provision on the two-system tram.

c) Adjustment of platform/tram stop information boards/passenger service (information boards showing waiting times for the nearest tram, ticket machines etc.). Introducing a uniform system of single and periodical tickets valid for both rail and tram travel.

5.3. Legal difficulties

a) Approval processes for the vehicle to train and tram exploitation

In order for the vehicle to be able to move on tram tracks it must meet the conditions set out in the Regulation of the Minister of Infrastructure of March 2, 2011 on the technical conditions of trams and trolleybuses and the scope of their necessary equipment (Journal of Laws 2011 No. 65 item 344)

5.2. Bariery organizacyjne

- natężenie ruchu na szlakach kolejowych i ustalenie priorytetu dla pojazdu tram-train: na szlakach mocno obciążonych przewozami dołożenie dodatkowych przejazdów byłoby kłopotliwe. Dla przykładu w mieście Karlsruhe dochodzi do powstawania korków tramwajowych w godzinach porannych i popołudniowych gdzie przepustowość tras tramwajowych nie jest wystarczająca a pojazdów nie można wydłużyć ze względu na obowiązujące przepisy (w Polsce maksymalna długość tramwaju może wynosić 65 m). Wszelkie zagadnienia sterowania ruchem powinny być ujęte w odpowiednich instrukcjach, regulaminach oraz wewnętrznej instrukcji PKP. Tramwaj dwusystemowy wjeżdżając na tory kolejowe musiałby mieć nadawany numer pociągu. Istnieje również duża rozbieżność w zasadach prowadzenia ruchu tramwajów i pociągów. Tramwaje prowadzi się na widoczność – jeden za drugim, z zachowaniem bezpiecznej odległości pomiędzy sobą. Pociągi natomiast prowadzi się na zasadzie „w odstępie drogi”, znaczy to, że na danym odcinku szlaku może znajdować się wyłącznie jeden pojazd.

- motorniczy czy maszynista?: kolejną kwestią organizacyjną jest brak spójności przepisów ruchu na torach kolejowych i tramwajowych. Konieczne będzie wyszkolenie personelu do poruszania się po dwóch typach dróg. Osoba prowadząca pojazd dwusystemowy po torach kolejowych powinna posiadać uprawnienia maszynisty ze znajomością szlaków i posterunków ruchu. Natomiast osoba prowadząca tramwaj w ruchu miejskim powinna mieć uprawnienia motorniczego. Łatwiejsze będzie przeszkolenie maszynistów na motorniczych ze względu na długi okres trwania szkolenia maszynistów. Ewentualnie istnieje możliwość wprowadzenia zmian do instrukcji o przygotowaniu zawodowym na PKP i zawarciu w niej przepisu dotyczącego tramwaju dwusystemowego.

- dostosowanie peronowej/przystankowej informacji i obsługa pasażerów: konieczne będzie wprowadzenie tablic informacyjnych na peronach pokazujących czas oczekiwania na najbliższy tramwaj i biletomatów, a także wprowadzenie jednolitego systemu biletów jednorazowych i okresowych, obowiązującego zarówno dla przejazdów odbywających się po torach kolejowych jak i tramwajowych.

5.3. Bariery formalne

- proces dopuszczenia pojazdu do ruchu kolejowego i tramwajowego: aby pojazd mógł się poruszać po torach tramwajowych musi spełniać warunki zawarte w Rozporządzeniu Ministra Infrastruktury z dnia 2 marca 2011 w sprawie warunków technicznych tramwajów i trolejbusów oraz zakresu ich niezbędnego wyposażenia (Dz. U. 2011 nr 65 poz. 344) oraz Rozporządzeniu Ministra Transportu, Budownictwa i

and the Regulation of the Minister of Transport, Construction and Commerce of May 28, 2013, on type-approval of trams and trolleybuses (Journal of Laws 2015, item 38). On the other hand, a vehicle traveling on railway lines in Poland must obtain a permit from the Railway Transport Office for a free passage on railway tracks. This approval is granted on the basis of meeting the requirements set out in the Ordinance of the Minister of Infrastructure and Construction of April 21, 2017, on rail interoperability (Journal of Laws 2017, item 934) and related documents. These permits are issued in two variants: TSI compliant or non-TSI compliant. In the case of a vehicle conforming to the TSI and meeting the requirements specified therein, the authorized entity shall issue an EC Verification Certificate, under which the manufacturer creates an EC Declaration of Conformity. These two documents in turn are submitted to the Rail Transport Authority for authorization. In the case of a vehicle not compliant with the TSI, the requirements of standards and regulations published in the current Letter of the President of the UTK shall apply. Then, for a TSI-compliant part, the authorized body issues an EC Verification Certificate under which the manufacturer creates an EC Declaration of Conformity and for the non-TSI compliant entity the authorized body issues a Certificate of Conformity under which the manufacturer creates a Declaration of Conformity. On the basis of these documents, the Office of Rail Transport issues a permit of unlimited duration. The range of tram and rail requirements is different. It can be assumed that the requirements for trams are less restrictive than for rail vehicles.

b) Introducing new normative legislation

The implementation of the tram-train system in Poland will require introduction of the legal regulations coherent for two systems, related to design, construction and operation of rolling stock and infrastructure maintenance.

6. Comparison of basic requirements for trams and passenger rail vehicles

Direct comparison of the requirements for tram and train traffic is impossible. These vehicles have completely different requirements backed by different standards and documents.

Examples of the tests to be carried out to approve a vehicle (tram or train) for operation are:

- braking system tests
- testing the acoustic properties
- axle load testing
- light and marking tests
- tests of the combustible non-metallic materials used in the interior of the vehicle.

The approval requirements result from the documents listed in Table 2.

Gospodarki Morskiej z dnia 28 maja 2013 r, w sprawie homologacji typu tramwajów i trolejbusów (Dz. U. 2015 poz. 38). Natomiast pojazd poruszający się po liniach kolejowych w Polsce musi otrzymać z Urzędu Transportu Kolejowego bezterminowe zezwolenie na poruszanie się po torach kolejowych. Dopuszczenie to uzyskuje się na podstawie spełnienia wymagań postawionych w Rozporządzeniu Ministra Infrastruktury i Budownictwa z dnia 21 kwietnia 2017 r., w sprawie interoperacyjności kolei (Dz. U. 2017 poz. 934) oraz dokumentów powiązanych. Zezwolenia tego dokonuje się w dwóch wariantach: zgodnym z TSI lub niezgodnym z TSI. W przypadku pojazdu zgodnego z TSI i spełnieniu określonych w nich wymagań jednostka upoważniona wystawia Certyfikat Weryfikacji WE, na podstawie którego producent tworzy Deklarację Zgodności WE. Te dwa dokumenty kolejno składa się do Urzędu Transportu Kolejowego celem uzyskania zezwolenia. W przypadku pojazdu niezgodnego z TSI w stosuje się wymagania norm i przepisów opublikowanych w aktualnej Liście Prezesa UTK. Wówczas na jednostka upoważniona wystawia Certyfikat Weryfikacji, na podstawie którego producent tworzy Deklarację Zgodności. Na podstawie tych dokumentów Urząd Transportu Kolejowego wystawia bezterminowe zezwolenie. Zakres wymagań tramwajowych i kolejowych różni się od siebie. Można przyjąć, że wymagania dotyczące tramwajów są mniej restrykcyjne aniżeli dla pojazdów kolejowych.

- wprowadzenie nowych aktów normatywnych: wdrożenie systemu tram-train w Polsce będzie wymagało wprowadzenia spójnych dla dwóch systemów przepisów prawnych dotyczących projektowania, budowy i eksploatacji taboru oraz utrzymania infrastruktury.

6. Porównanie podstawowych wymagań dla pojazdu tramwajowego i pasażerskiego kolejowego

Nie ma możliwości bezpośredniego porównania wymagań dopuszczających tramwaj i pojazd kolejowy do ruchu. Pojazdy mają zupełnie różne od siebie wymagania poparte innymi normami i dokumentami.

Przykładowymi badaniami, jakie należy wykonać celem dopuszczenia pojazdu (tramwajowego lub kolejowego) są m.in.:

- badanie układu hamulcowego,
- badanie właściwości akustycznych
- badanie nacisków osi na tor
- badanie oświetlenia i oznakowania
- badanie właściwości palnych materiałów niemetalowych użytych we wnętrzu pojazdu.

Wymagania związane z dopuszczeniami wynikają z dokumentów zestawionych w poniższej tabelicy 2.

Przedstawione w tabelicy 2 wymagania pokazują różne podejście do zagadnień homologacji. Dotyczy to np. hamulca, gdzie dla pojazdów tramwajowych wymagane jest badanie z prędkości 30 km/godz., a dla pojaz-

Documents containing requirements for the admission of the tram and train to service Table 2
Dokumenty zawierające wymagania związane z dopuszczeniem tramwaju i pociągu do eksploatacji Tablica 2

Wymagania dot. Tramwajów/ Tram requirements	Wymagania kolejowe zgodne z TSI/ TSI conforming rail- way requirements	Wymaganie kolejowe niezgodne z TSI/ TSI non- compliant railway requirements
Badanie układu hamulcowego / Braking system		
Dz. U. 2011 nr 65 poz. 344; § 16-18	TSI 1302/2014 z 18.11.2014 i dokumenty powiązane	PN-EN 16452:2015-08, PN-EN 14198:2005, PN-EN 15734-1:2011, UIC 540, UIC 541-03, UIC 541-5, UIC 541-6, UIC 544-2, UIC 546, PN-K-88177:1998+A1:2002, PN-EN 16334:2014-10, PN-EN 15612+A1:2011, UIC 541-1, UIC 612-1, UIC 544-1, UIC 543, UIC 567-1, UIC 567-2, PN-EN 14531-1:2016-02, PN-EN 15595+A1:2011,
Badanie właściwości akustycznych/ Acoustic properties		
§ 3 pkt. 8 i § 5 pkt. 3 Dz. U. 2011 nr 65 poz. 344	TSI 1304/2014 z dnia 26.11.2014 i dokumenty powiązane	PN-EN ISO 3095:2013-12, Zał. TM-2, PN-EN 15153-2:2013-06, UIC 644 (sygnalizacja dźwiękowa)
Badanie nacisków osi na tor/ Axle Loads		
§ 3 pkt. 5 Dz. U. 2011 nr 65 poz. 344	TSI 1299/2014 z dnia 18.11.2014 i dokumenty powiązane	PN-EN 14363:2016-04, Zał. TM-1
Badanie oświetlenia i oznakowania/ Lighting and signalling		
Załącznik nr 2 do Dz. U. 2011 nr 65 poz. 344.	TSI 1302/2014 z dnia 18.11.2014 i dokumenty powiązane	PN-EN 15153-1:2013-06, PN-EN 13272:2012, UIC 534
Właściwości palne materiałów niemetalowych użytych we wnętrzu pojazdu / Properties of combustible non-metallic materials used in the vehicle interior		
PN-K-02511:2000	TSI 1302/2014 z dnia 18.11.2014 i dokumenty powiązane	PN-EN 45545-2+A1:2015-12
Skrajnia taboru / Loading gauge		
PN-K-92008:1998/ Ap1:1999	TSI 1302/2014 z dnia 18.11.2014 i dokumenty powiązane	PN-EN 14033 (seria), PN-EN 15273-2:2013-09, PN-EN 15746 (seria), UIC 505-1, UIC 505-6, UIC 506, Rozporządzenie w sprawie eksploatacji pojazdów kolejowych (patrz zał. A-1); § 4

The requirements listed in Table 2 show a different approach to homologation. This applies, for example, to the brakes, where a 30 km/h braking test is required for trams and for rail vehicles a braking test from the maximum speed and intermediate speeds. There are no tests for different vehicle load conditions for the tram vehicle. However, these rules can be standardized by adopting similar vehicle testing principles.

The lighting and signaling tests are more difficult. Lighting and signaling of vehicles requires the reconciliation of two independent transport systems, i.e. road and rail transport. In both systems, operators have been accustomed to properly signaling the vehicles for years. This issue has already been partially discussed in point 4.1. However, the necessity of placing a top light on the trams that should serve as a headlamp must be added. Such a solution is not required for trams that are used on roads.

Another issue is the use of non-metallic materials for the flammability assessment. The requirements for trams are based on the PN-K-02511:2000 standard. This standard was already withdrawn by the Polish Committee for Standardization, but its entry into the Regulation (Journal of Laws 2011 no 65 item 344) necessitates its application. Railway requirements are based on the European standard PN-EN 45545-

dów kolejowych hamowanie odbywa się z prędkości maksymalnej oraz prędkości pośrednich. Dla pojazdu tramwajowego brak jest również badań przy różnych stanach obciążenia pojazdu. Przepisy te można jednak ujednoczyć przyjmując podobne zasady badań pojazdów.

Trudniejszym zagadnieniem jest badanie oświetlenia i oznakowania. Oświetlenie i oznakowanie pojazdów wiąże się z koniecznością pogodzenia dwóch niezależnych systemów transportowych, czyli transportu drogowego i kolejowego. W obu systemach od lat operatorzy są przyzwyczajeni do odpowiedniego oznakowania pojazdów. Problem ten został już częściowo omówiony w pkt 4.1. Należy jednak dodać konieczność umieszczania na pojazdach tramwajowych światła górnego, które winno spełniać rolę reflektora. Rozwiązanie takie nie jest wymagane w tramwajach, które są uczestnikami ruchu drogowego. Innym zagadnieniem jest zastosowanie do oceny badań odporności pożarowej materiałów niemetalowych. Wymagania stawiane tramwajom oparte są na normie PN-K-02511:2000. Norma ta jest już wycofana przez Polski Komitet Normalizacyjny, niemniej jej wpisanie do Rozporządzenia (Dz. U. 2011 nr 65 poz. 344) powoduje konieczność jej stosowania. Wymagania kolejowe oparte są na normie europejskiej PN-EN 45545-

2+A1:2015-12. Studies conducted in accordance with these standards are incomparable, which makes it impossible to compare research results. Incorporation of standards into the law makes it mandatory for use.

7. Legal barriers arising from the provisions on the use of railway infrastructure

a) Adjusting the height of the floor in a two-system vehicle to the edge height of the platform.

The height of the tram platforms is smaller than the typical railway platforms. The possible solution is to rebuild the infrastructure or adapt the vehicle to the existing railway platforms by adding a deployable step. These elements should automatically hide when closing the door.

b) rolling stock gauge - distance from the platforms
According to the tram regulations (Journal of Laws 2011 No. 65 item 344) the maximum width of the tram can be 2.65 m without mirrors (e.g. RegioCitadis manufactured by Alstom). It generates a problem of bigger distance between tram and platform. The solution is to adjust the existing infrastructure by reconstructing platforms or using the so-called track splices, or platforms adapted to handle two types of vehicles, each on a different platform side. This solution allows to use the stops by the classic tram by driving up to the very edge of the platform. In case it is not possible to rebuild the infrastructure, as in the case of different platform heights, a retractable stairs or ramp can be used. This will not only reduce the height difference, but also reduce the distance between the door and the distant platform.

8. Suggestions for alternative solutions for agglomeration communication by using trams

a) An alternative method of reducing the load on public transport, without investing in new rolling stock and railway infrastructure, is to build park & ride parking spaces at tram or bus loops. This would allow a significant relief of traffic flows in the center of cities. This solution is justified in cases where the suburban network is not significantly expanded and the frequency of intercity rail services is low. The idea of the park and ride system is to reach the city's outskirts by private transport and change to public transport to access the city centre. This arrangement should include an estimate of the size of the car parks based on local conditions. These parking lots should be equipped not only with parking spaces for cars, but equally important is the provision of bike space.

b) The designation of urban lanes for public transport buses will streamline bus journeys through the often crowded streets. This will allow the shortening of the passenger travel time making the journey more competitive. Moreover, thanks to such a solution, it would be possible to move

2+A1:2015-12. Badania prowadzone zgodnie z wymienionymi normami są nieporównywalne, co powoduje, że nie można porównać wyników badań. Wpisanie norm do przepisów prawa czyni je obligatoryjnymi do stosowania.

7. Bariery formalne wynikające z przepisów o wykorzystaniu infrastruktury kolejowej

- dopasowanie wysokości podłogi w pojeździe dwusystemowym do wysokości krawędzi peronów: wysokość peronów tramwajowych jest mniejsza niż typowych peronów kolejowych. Możliwym rozwiązaniem jest przebudowanie infrastruktury lub dostosowanie pojazdu do istniejących peronów kolejowych poprzez zastosowanie odkładanego stopnia. Elementy te powinny automatycznie chować się w momencie zamykania drzwi.

- skrajnia taboru – odległość od peronów: zgodnie z przepisami technicznymi tramwajów (Dz. U. 2011 nr 65 poz. 344) maksymalna szerokość tramwaju może wynosić 2,65 m bez lusterek (np. RegioCitadis produkcji Alstomu). Generuje to problem w postaci większej odległości tramwaju od peronu kolejowego. Rozwiązaniem jest dostosowanie istniejącej infrastruktury poprzez przebudowę peronów lub zastosowanie tzw. zaplotów torów, czyli peronów dostosowanych do obsługi dwóch typów pojazdów, każdy z innej strony. Rozwiązanie to pozwala na obsługę przystanków przez klasyczny tramwaj dzięki podjechaniu pod samą krawędź peronu. W przypadku, gdy niemożliwe jest przebudowanie infrastruktury, podobnie jak w przypadku odmiennej wysokości peronów, można zastosować wysuwany schodek lub rampę. Pozwoli to nie tylko na zmniejszenie różnicy wysokości, ale również na zmniejszenie dystansu pomiędzy drzwiami a odległym peronem.

8. Propozycje rozwiązań wspierających komunikację tramwajową w aglomeracjach

a) Wsparciem dla komunikacji miejskiej, bez inwestowania w nowy tabor i infrastrukturę kolejową jest wybudowanie przy pętlach tramwajowych lub autobusowych parkingów park&ride. Pozwoliłoby to na znaczne odciążenie ulic w ścisłym centrum miast. Rozwiązanie to ma swoje uzasadnienie w przypadku, gdy sieć podmiejska nie jest znacznie rozbudowana a częstotliwość występowania połączeń międzymiastowych nie jest duża. Ideą systemu parkuj i jedź jest dojazd do obrzeży miasta transportem indywidualnym i przesiadka w komunikację zbiorową. Taki układ powinien uwzględnić oszacowanie wielkości parkingów przesiadkowych na podstawie uwarunkowań lokalnych. Parkingi te powinny być wyposażone nie tylko w miejsca postojowe dla samochodów, ale równie ważne jest zapewnienie miejsc dla rowerów.

b) Wydzielanie pasów w obrębie miejskim dla autobusów komunikacji miejskiej usprawni ich przejazdy

from the suburban areas quickly and without vehicle changes to reach the city center. In the case where it is not possible to drive a separate bus lane in the center of the city, a separate tramway track can be used (as far as its construction permits it), considered as a bus – tram lane. It is also important to establish a priority system for bus crossings with traffic lights.

- c) An alternative to the creation or adjustment of railway tracks for two-system trams is the creation of a perimeter railway ring, as it was done in the city of Ringbahn in Berlin. This railway bypass is designed to connect public transport lines (e.g. tram, metro) located on the outskirts of the city and downtown directly with inner city lines. In addition, it will allow for bypassing the city by freight trains.

Summary

The development of public transport in agglomerations and metropolitan areas is undoubtedly necessary. All technically available and economically viable means should be used for this purpose. One of them is the use of railway infrastructure for tram traffic in Poland, like in some Western European countries.

The track width of 1435 mm, common in most cases, and the level of development of power electronics allowing to adjust the traction drive to various voltage levels are favourable circumstances. In order to put a tram into service on the railway track several above mentioned constructional measures are required.

It is also important to overcome the formal barriers associated with admission of a vehicle to railway and tram traffic. This requires the development and establishment of new technical standards for tram-train vehicles. At this stage the Office of Rail Transport and the Transport Technical Supervision should be involved, supported by the experts from authorized scientific-research bodies.

Bibliography / Bibliografia

- [1] Czauderna T.: *Próbné jazdy wagonu tramwajowego 105NT po torach kolejowych*. TTS nr 7-8/1998
[2] Czyczula W.: *Koncepcja zintegrowanego systemu transportu szynowego dla Krakowa*. TTS nr 9/1999
[3] Czyczula W.: *Koncepcja zintegrowanego systemu transportu zbiorowego dla Krakowa – dlaczego tramwaj dwusystemowy?*. TTS nr 1-2/2000
[4] Czyczula W.: *Warunki techniczne jakim powinna odpowiadać infrastruktura kolejowa i tramwajowa ze względu na ruch pojazdów dwusystemowych*. TTS nr 1-2/2000
[5] Czyczula W., Raczyński J.: *Pojazd dwusystemowy jako środek transportu regionalnego*. TTS nr 11/2000
[6] Dąbrowski J.: *Dwusystemowe tramwaje – czyli tramwaj na torach kolejowych*. TTS nr 7-8/1998
[7] Dąbrowski J.: *Rozważania nad koncepcją napędu tramwaju dwusystemowego w warunkach polskich*. TTS nr 9/1999

przez często zakorkowane ulice. Pozwoli to na skrócenie podróży tym środkiem transportu czyniąc go bardziej konkurencyjnym. Ponadto dzięki takiemu rozwiązaniu można by z terenów podmiejskich szybko i bez przesiadek dotrzeć do centrum miast. W przypadku, gdy nie ma możliwości poprowadzenia odrębnego buspasa na terenach ścisłego centrum, można wykorzystać wydzielone torowisko tramwajowe (o ile jego konstrukcja na to pozwoli) i potraktować je jako pas autobusowo-tramwajowy. Ważne jest też, aby ustanowić system pierwszeństwa dla przejazdu autobusów przez skrzyżowania z sygnalizacją świetlną.

- c) Alternatywą do tworzenia lub dostosowywania torów kolejowych pod tramwaje dwusystemowe jest stworzenie w obrębie miasta kolei obwodowej na wzór Ringbahnu w Berlinie. Taka obwodnica kolejowa ma na celu łączenie kilku linii transportu publicznego (np. tramwaj, metro) znajdujących się na obrzeżu miasta z liniami ścisłego centrum i śródmieścia. Ponadto pozwoli to ponadto na omijanie miasta przez pociągi towarowe.

Podsumowanie

Bezsprzeczny jest fakt, że rozwijanie zbiorowej komunikacji w aglomeracjach i metropoliach jest koniecznością. W tym celu należy wykorzystywać wszelkie dostępne technicznie i opłacalne ekonomicznie środki. Jednym z nich jest wykorzystanie istniejącej na terenie dużych miast w Polsce infrastruktury kolejowej do ruchu tramwajowego, jak to uczyniono w niektórych krajach zachodniej Europy.

Sprzyjającą okolicznością jest jednakowa w większości przypadków szerokość toru 1435 mm oraz poziom rozwoju energoelektroniki, umożliwiającej dostosowanie napędu trakcyjnego do różnych poziomów napięć. Dopuszczenie tramwaju na tory kolejowe wymagają kilku przedsięwzięć natury konstrukcyjnej, opisanych powyżej.

Niemniej ważne jest przełamanie barier formalnych, związanych z dopuszczeniem pojazdu do ruchu kolejowego i tramwajowego, wymagających opracowania i ustanowienia nowych norm technicznych dla pojazdu typu *tram-train*. W ten etap będą musiały być zaangażowane Urząd Transportu Kolejowego i Transportowy Dozór Techniczny, wsparte ekspertami z upoważnionych jednostek naukowo-badawczych.

- [8] *Drapała A.: Pierwszy tramwaj dwusystemowy we Francji. Transport miejski i regionalny nr 2/2007*
- [9] *Dyr T., Kozłowska M.: Koszty kongestii w Unii Europejskiej. TTS nr 7-8/2017*
- [10] *Gisterek I., Krużyński M.: Ocena możliwości i zasadności uruchomienia tramwaju dwusystemowego we Wrocławiu. Transport miejski i regionalny nr 11/2010*
- [11] *Harassek A.: Dwusystemowy tramwaj w Nordhausen. TTS nr 6/2004*
- [12] *Harkins J.: Oslo Effect2. Trams' effective role in tackling urban air quality. Materiały konferencyjne "Modern Electrified Transport". Warszawa 2017*
- [13] http://powietrze.gios.gov.pl/pjp/content/annual_assessment_air_acceptable_level
- [14] <https://powietrze.poznan.wios.gov.pl/>
- [15] <http://sojpwios.warszawa.pl/dane-pomiarowe/?q=type:n,site:194>
- [16] <http://warszawa.naszemiasto.pl/artykul/w-gdansk-tramwaje-beda-jezdzic-po-torach-kolejowych,16915,art,t,id,tm.html>
- [17] http://www.zm.org.pl/?a=koalicja.broszuras_03#Dwutlenek_wegla
- [18] *Kraśkiewicz C., Oleksiewicz W.: Tramwaj dwusystemowy – moda czy trend rozwojowy aglomeracyjnego transportu szynowego? Logistyka nr 4/2015*
- [19] *Kraśkiewicz C., Oleksiewicz W.: Tramwaj dwusystemowy w Karlsruhe. Logistyka nr 4/2015*
- [20] *Kraśkiewicz C., Oleksiewicz W.: Tramwaje dwusystemowe w wybranych miastach niemieckich. TTS nr 12/2016 – str. 452*
- [21] *Merkisz J., Lijewski P., Fuć P., Pielecha J.: Exhaust emission tests from agricultural machinery under real operating conditions. SAE 2010 Commercial Vehicle Engineering Congress, October, Chicago, IL, USA, SAE Paper 2010-01-1949, 2010.*
- [22] *Pomykała A.: Effectiveness of urban transport modes. Materiały konferencyjne "Modern Electrified Transport". Warszawa 2017*
- [23] *Wańkiewicz W.: Zagadnienia formalnoprawne a dwusystemowy Krakowski Szybki Tramwaj. TTS nr 1-2/2000*
- [24] *Wieczorek J.: Problemy eksploatacyjno-ruchowe związane z wprowadzeniem pojazdów dwusystemowych na sieć PKP. TTS nr 1-2/2000*
- [25] *Wikipedia.org., https://de.wikipedia.org/wiki/Siemens_Combino_Duo*
- [26] *Wikipedia.org., https://de.wikipedia.org/wiki/Stra%C3%9Fenbahn_Zwickau*
- [27] *Wikipedia.org., https://pl.wikipedia.org/wiki/Tramwaj_dwusystemowy*
- [28] www.ncbr.gov.pl/gfx/ncbir/userfiles/_public/fundusze_europejskie/inteligentny_rozwoj/innotabor/agenda_badawcza_ks13072016_-_na_strone_www.pdf