

Impact of operating conditions on tram technical solutions

Wpływ warunków eksploatacji na rozwiązania techniczne tramwajów

The article outlines a brief history of the development of the public transport system based on trams. Basic information about modern solutions of trams operated in Poland and in neighboring countries was presented. The main part of the article is a review of the construction of various types of modern trams. Tram types are grouped depending on the diversity of basic construction solutions. The last part of the article presents general comments on the directions of development of technical solutions to ensure their more efficient and environmentally friendly operation.

W artykule przedstawiono w zarysach krótką historię rozwoju systemu transportu zbiorowego realizowanego tramwajami. Przedstawiono podstawowe informacje o nowoczesnych rozwiązaniach tramwajów eksploatowanych w Polsce i u sąsiadów. Podstawową część artykułu stanowi przegląd konstrukcji różnego rodzaju nowoczesnych tramwajów. Rodzaje tramwajów pogrupowano w zależności od zróżnicowania podstawowych rozwiązań konstrukcyjnych. W ostatniej części artykułu przedstawione zostały ogólne uwagi na temat kierunków rozwoju rozwiązań technicznych mających zapewnić bardziej efektywną i sprzyjającą środowisku ich eksploatację.

Introduction

Urban transport plays an important role in the growth and development of cities in Europe. Many of them have electrified track infrastructure thanks to which people can be transported using rail vehicles. After the end of World War II, until the 1980s, the urban rail transport market stagnated and the number of rail transport systems decreased.

Starting from 1990, rapid economic development and an increased amount of funds have resulted in a technological leap for both track infrastructure and rail vehicles themselves. Cities began to invest and expand the existing systems. New transport systems in Europe began to appear. This situation also increased the demand for rolling stock, which resulted in increased competitiveness on this market and the emergence of new rolling stock manufacturers.

These factors resulted in a technological leap and increased innovation in the vehicles and technologies offered on the market.

Using the urban rail transport development in Poland, Germany and the Czech Republic as examples this article will present an analysis of the development of urban rail vehicles in the years 1990–2020.

2. General characteristics of urban trams

Tram - is a rail vehicle used for urban transport, traveling in mixed traffic on a road or on a separate or independent track [3].

Modern trams are normally powered by asynchronous electric motors supplied by an external overhead catenary. Hybrid designs with an internal com-

Wstęp

Miejski transport odgrywa istotną rolę w rozwoju miast w Europie. Wiele z nich posiada zelektryfikowaną infrastrukturę torową dzięki której transport ludzi może odbywać się przy użyciu pojazdów szynowych. Po zakończeniu II Wojny Światowej aż do lat 80-tych XX wieku na rynku miejskiego transportu szynowego panowało stagnacja, a ilość szynowych systemów transportowych zmniejszała się.

Od 1990 roku gwałtowny rozwój gospodarczy i zwiększona ilość funduszy spowodowała skok technologiczny zarówno dla infrastruktury torowej jak i dla samych pojazdów szynowych. Miasta zaczęły inwestować i rozbudowywać istniejące systemy. Powstawać zaczęły nowe systemy transportowe w Europie. Taka sytuacja spowodowała również wzrost zapotrzebowania na tabor, co spowodowało zwiększoną konkurencyjność na tym rynku i pojawienie się nowych producentów taboru.

Czynniki te spowodowały skok technologiczny i wzrost innowacyjności w oferowanych na rynku pojazdach [1].

Na przykładzie rozwoju szynowego transportu miejskiego w Polsce, Niemczech i Czechach zostanie w niniejszej pracy przedstawiona analiza rozwoju miejskich pojazdów szynowych w latach 1990÷2020.

2. Charakterystyka ogólna tramwaju miejskiego

Tramwaj – to pojazd szynowy służący do transportu miejskiego, poruszający się w ruchu mieszanym po jezdni lub na wydzielonym albo niezależnym torowisku [3].

bustion engine or batteries that allow driving without an external power source also exist. The first experimental electric tram constructed by Werner Siemens was launched in Gro-Lichterfelde (now a district of Berlin) in 1881.

The general construction of the tram will be discussed on the example of the NGT6 tram manufactured by Bombardier Transportation, 14 units of which have been supplied to the city of Kraków in the years 1999–2000. The choice of this model is deliberate due to the fact that it is a structure design from the period between the 20th and 21st centuries and contains features of both older constructions as carts with a classic axle, as well as newer constructions, e.g. a "wave" floor (which can result in a total of up to 70% of the vehicle floors being classified as low floor), air conditioning, IGBT drives with asynchronous motors.

NGT6 – low-floor articulated wagon with six axles (translated from German). The vehicle belongs to the FLEXITY Classic vehicle platform.

The NGT6 tram is a 3-section, one-way tram with a partial low floor (70% of the total floor has been lowered to the height of the stop platform).

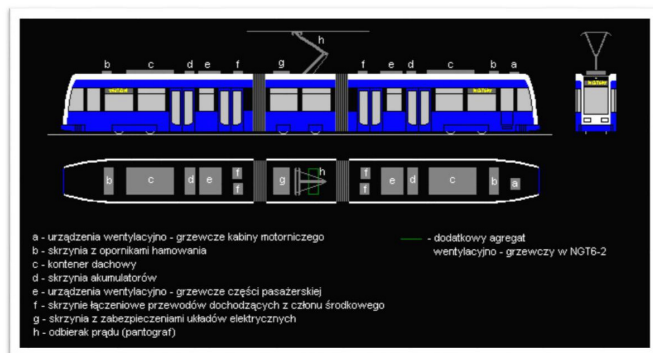


Fig. 2. View of devices on the roof in a NGT6 tram

Rys. 2. Widok urządzeniami na dachu w tramwaju NGT6

The basic technical data of this tram is as follows:

- manufacturer Bombardier Transportation
- years of production 1999 -2003
- supply voltage 600V_{DC}
- axle system Bo'+2+Bo'
- engine type MLU 3434, asynchronous
- number of engines 4X125 kW
- continuous power 500 kW
- startup type Pulse IGBT
- starting acceleration with load 1,1m/s²
- braking deceleration with load 1,14 m/s²
- emergency brakes deceleration 3 m/s²
- maximum speed 80 km/h
- curb weight 30 ton
- number of standing spaces/seats 100/76.

3. Design review and parameter comparison

After the fall of the Berlin Wall, the concept of a "United Europe" developed intensively. More and

Współczesne tramwaje standardowo napędzane są asynchronicznymi silnikami elektrycznymi zasilanymi z zewnętrznej sieci trakcyjnej. Występują również konstrukcje hybrydowe posiadające silnik spalinowy lub akumulatory pozwalające na jazdę bez zewnętrznego źródła zasilania. Pierwszy eksperymentalny tramwaj elektryczny skonstruowany przez Wernera Siemensa uruchomiono w Gro-Lichterfelde (obecnie dzielnica Berlina) w 1881.

Ogólna budowa tramwaju zostanie omówiona na przykładzie tramwaju NGT6 produkcji Bombardier Transportation, dostarczonego w latach 1999–2000 do miasta Kraków w ilości 14 sztuk. Wybór właśnie tego modelu jest celowy ze względu na fakt iż jest to konstrukcja z przełomu XX i XXI wieku. Zawiera cechy zarówno starszych konstrukcji jak wózki z klasyczną osią, jak i nowszych konstrukcji, np. podłoga w kształcie „fali” (co daje łącznie do 70% niskiej podłogi), klimatyzację, napędy IGBT wraz z silnikami asynchronicznymi.

NGT6 – niskopodłogowy wagon przegubowy z sześcioma osiami (tłumaczenie z j. niemieckiego). Pojazd należy do platformy pojazdów FLEXITY Classic.

Tramwaj NGT6 jest tramwajem 3 członowym, jednokierunkowym z częściową niską podłogą (70% całości podłogi zostało obniżone do wysokości wyspki przystankowej).

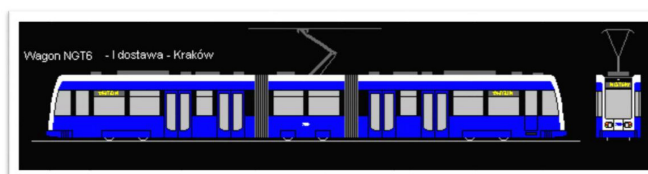


Fig. 1. The NGT6 tram design

Rys. 1. Widok tramwaju NGT6

Podstawowe dane techniczne tego tramwaju są następujące:

- producent Bombardier Transportation
- lata produkcji 1999 -2003
- napięcie zasilania 600V_{DC}
- układ osi Bo'+2+Bo'
- typ silnika MLU 3434, asynchroniczny
- liczba silników 4X125 kW
- moc ciągła 500 kW
- rodzaj rozruchu Impulsowy IGBT
- przyspieszenie rozruchu z obciążeniem 1,1m/s²
- opóźnienie hamowania z obciążeniem 1,14 m/s²
- opóźnienie hamowania z awaryjnego 3 m/s²
- prędkość maksymalna 80 km/h
- masa własna 30 ton
- Liczba miejsc stojących/siedzących 100/76.

3. Przegląd konstrukcji i porównanie parametrów.

Po upadku muru berlińskiego nastąpił intensywny

more countries continued to join the union, including Poland.

A Community budget has been created that supports the development of cities and thus also urban transport systems.

Thanks to this initiative, many tram manufacturers have been established in Europe. The diagram below presents European manufacturers of tram rolling stock divided into countries of origin.

rozwój idei „Wspólnej Europy”. Do tej idei przestępowały kolejne kraj, w tym Polska.

Powstał wspólnotowy budżet, który wspiera rozwój miast a co za tym idzie również miejskich systemów transportowych.

Dzięki tej inicjatywie powstało wielu producentów tramwajów w Europie. Poniższy schemat przedstawia europejskich producentów taboru tramwajowego z podziałem na kraje pochodzenia.

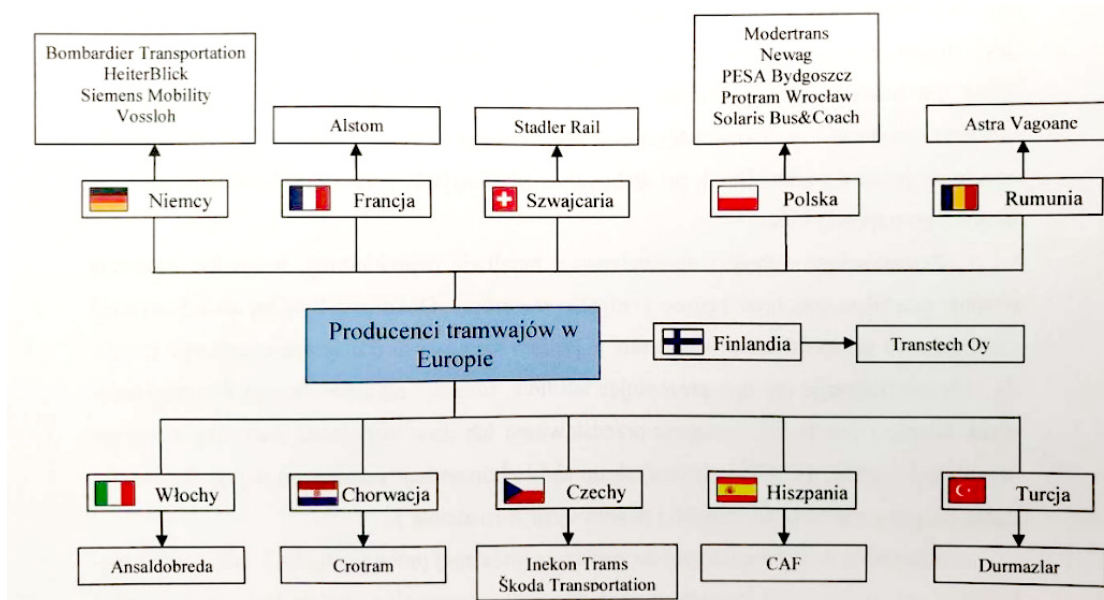


Fig. 3. European tram manufacturers

Rys. 3. Producenci tramwajów w Europie [2]

Due to the type of transport work performed (road traffic), technical requirements for the construction of new vehicles are regulated by road traffic laws in each European country separately. In European cities, tram systems developed individually, which in turn resulted in their unique shape. For example, different track widths (e.g. 960, 1000 and 1425 mm), different lengths and heights of bus stop platforms, as well as numerous violations of the vehicle gauge by municipal buildings can be mentioned. To date, regulations regarding trams have not been unified in EU countries, despite the fact that many requirements are already described in Community standards (EN - European Standards). This is due to financial reasons, cities cannot afford redevelopment of their entire track infrastructure to full compliance with EU (European Union) requirements.

The diversity of urban systems naturally resulted in a variety of trams offered on the market.

For the purposes of this study and better understanding of the issue, the author has divided trams according to the following criteria:

- a) based on the vehicle kinematic system
 - type „A” – multi-articulated trams
 - type „B” – articulated trams with swivel bogies

Ze względu na rodzaj prowadzonej eksploatacji (ruch drogowy), wymagania techniczne dotyczące budowy nowych pojazdów regulują ustawy o ruchu drogowych w każdym z krajów europejskich odrębnie. W europejskich miastach systemy tramwajowe rozwijały się indywidualnie, co w konsekwencji spowodowało ich unikatowe ukształtowanie. Dla przykładu można wymienić różne szerokości torów (np. 960, 1000 oraz 1425 mm), różne długości i wysokości wyspek przystankowych, a także liczne naruszenia skrajni pojazdu przez budowle miejskie. Do dnia dzisiejszego nie zunifikowano w krajach UE przepisów dotyczących tramwajów, mimo faktu iż wiele wymagań opisują już normy wspólnotowe (EN – Europejskie Normy). Dzieje się tak ze względów finansowych, miast nie stać na przebudowę do infrastruktury torowej do pełnej zgodności z wymaganiami UE (Unii Europejskiej).

Różnorodność systemów miejskich spowodowała różnorodność oferowanych na rynku tramwajów.

Do celów niniejszego opracowania i lepszego zrozumienia zagadnienia autor dokonał podziału tramwajów wg następujących kryteriów:

- a) ze względu na układ kinematyczny pojazdu
 - typ „A” – tramwaje wieloprzegubowe
 - typ „B” – tramwaje przegubowe, z wózkami

- type „C” – articulated trams with a bogie under each section,
- b) based on the floor type
 - wave-shaped floor (stepless)
 - floor with steps
 - 100% low floor (no steps, no wave),
- c) based on the bogie type used
 - axle bogie vehicle
 - vehicle with bogies without axles
 - vehicle with axial drive bogies and non-axial passive bogies.

Available literature gives many different divisions and varieties of trams. Articles discussing the development of trams are also available, but they relate to the tram development at a particular manufacturer. To compare individual solutions, the characteristic trams in their segments were selected (according to the above proposed division criteria) with innovative solutions.

Examples of type „A” trams (multi-articulated) operated on the Polish, German and Czech markets are shown in Fig. 4-7.



Rys. 4. Widok tramwaju typu Flexity (Bombardier)
Fig. 4. Flexity tram type (Bombardier)



Rys. 6. Widok tramwaju typu 14T (Skoda)

- skrętnymi
- typ „C” – Tramwaje przegubowe z wózkiem pod każdym członem
- b) ze względu na ukształtowanie podłogi
 - podłoga w kształcie fali (bezstopniowe)
 - podłoga ze stopniami
 - 100% niskiej podłogi (bez stopni, bez fali)
- c) ze względu na rodzaj zastosowanych wózków
 - pojazd z wózkami osiowymi
 - pojazd z wózkami bez osiowymi
 - pojazd z wózkami napędowymi osiowymi i tocznymi bez osiowymi.

Dostępna literatura podaje wiele różnych podziałów i odmian tramwajów. Dostępne są również artykuły omawiające rozwój tramwajów, dotyczą one jednak rozwoju tramwaju u poszczególnego producenta. Do porównania poszczególnych rozwiązań wybrano tramwaje charakterystyczne w swoich segmentach (wg wyżej zaproponowanych kryteriów podziału) cechujące się rozwiązaniami o charakterze innowacyjnym.

Przykłady tramwajów typu „A” (wieloprzegubowych) eksploatowanych na rynkach polskim, niemieckim i czeskim przedstawiono na rys. 4÷7.



Rys. 5. Widok tramwaju typu Variotram (Stadler)
Fig. 5. Variotram tram type (Stadler)



Rys. 7. Widok tramwaju typu Swing (PESA)

Table 1 below presents selected technical parameters of type "A" trams, i.e. multi-articulated trams. The vehicle data is compiled from the catalog cards of the manufacturers of the presented vehicles.

W tablicy 1 poniżej zestawiono wybrane parametry techniczne tramwajów typu „A”, czyli wieloprzegubowych. Dane pojazdów zestawiono z kart katalogowych producentów przedstawionych pojazdów.

List of selected technical parameters of type „A” trams

Tabl. 1

Zestawienie wybranych parametrów technicznych tramwajów typu „A”. Tabl. 1

Parametr	Flexity	Variotram	14T	Swing
Producent	Bombardier	Stadler	Skoda	Pesa
Kraj eksploatacji	Niemcy, Polska	Niemcy, Austria, Szwajcaria	Czechy, Polska	Polska
Długość całkowita	30,8m	32,37m	30,25m	30,12m
Wysokość	3,45m	3,54m	3,6m	3,4m
Szerokość	2,4m	2,65m	2,46m	2,4m
Liczba członów	5	5	5	5
Liczba wózków	3	3	3	3
Wózki pędne	2	2	3	2
Wózki skrętne	Brak	Brak	Brak	Brak
Wysokość podłogi	295mm	385mm	350mm	350mm
% niskiej podłogi	100%	100%	50%	100%
Prędkość max	70km/h	80km/h	60km/h	70km/h
Silniki trakcyjne	4x50kW	8x45kW	6x90kW	4x105kW
Masa własna	37 900kg	41 500kg	37 360kg	39 800kg
Liczba miejsc siedzących	60	72	69	44
Całkowita liczba miejsc	189	206	174	252
Klimatyzacja	Tak	Tak	Tak	Tak
Masa/ilość pasażerów	200,5kg	201,5	214/7kg	157,9kg
Masa/mb tramwaju	1230,5kg	1282kg	1235kg	1321kg

Descriptions (left column): parameter, manufacturer, exploitation country, total length, height, width, number of segments, number of bogies, drive bogies, twisted bogies, height of floor, % of low floor, max speed, traction motors, tare weight, number of seats, total capacity, air condition, weight/number of passengers, weight/meter of tram

Examples of type "B" trams, i.e. articulated trams, with swivel bogies offered on the Polish, German and Czech markets have been shown in Figs. 8-11.

Przykłady tramwajów typu „B”, czyli przegubowych, z wózkami skrętnymi oferowanych na rynki polskie, niemieckie i czeskie pokazano na rys. 8-11.



Rys. 8. Widok tramwaju typu Flexity Classic (Bombardier)
Fig. 8. Flexity Classic tram type (Bombardier)



Rys. 9. Widok tramwaju typu Twist (PESA)
Fig. 9. Twist tram type (PESA)



Fig. 10. Superior tram type (INEKON)
Rys. 10. Widok tramwaju typu Superior (INEKON)



Fig. 11. Citadis tram type (Alstom)
Rys. 11. Widok tramwaju typu Citadis (Alstom)

Table 2 below presents selected technical parameters of type “B” trams, i.e. articulated trams with swivel bogies. Vehicle data was compiled from the catalog cards of the manufacturers of the presented vehicles.

W tabelicy 2 poniżej zestawiono wybrane parametry techniczne tramwajów typu „B”, czyli przegubowych z wózkami skrętnymi. Dane pojazdów zestawiono na podstawie kart katalogowych producentów przedstawionych pojazdów.

List of selected technical parameters of type „B” trams Tabl. 2
Zestawienie wybranych parametrów technicznych tramwajów typu „B”. Tabl. 2

Parametr	Flexity Classic	Twist	Superior	Citadis
Producent	Bombardier	Pesa	Inekon	Alstom
Kraj eksploatacji	Niemcy, Polska	Polska	Czechy	Niemcy
Długość całkowita	32,83m	32m	32,62	33,5m
Wysokość	3,6m	3,4m	3,46m	3,45m
Szerokość	2,4m	2,4m	2,4m	2,4m
Liczba członów	3	3	3	3
Liczba wózków	4	4	4	4
Wózki pędne	2	2	2	2
Wózki skrętne	Tak	Tak	Tak	Tak
Wysokość podłogi	300mm	350mm	350	330
% niskiej podłogi	70%	100%	100%	100%
Prędkość max	80km/h	75km/h	70km/h	70km/h
Silniki trakcyjne	4x105kW	4x105kW	4x105kW	b.d.
Masa własna	40 900kg	42 500kg	42 000kg	38 000kg
Liczba miejsc siedzących	64	59	77	64
Całkowita liczba miejsc	179	248	277	213
Klimatyzacja	tak	tak	Tak	Tak
Masa/ilość pasażerów	228,4kg	171,4kg	151,6kg	178,4kg
Masa/mb tramwaju	1 245,8kg	1 328,1kg	1287,6kg	1 134kg

Description: see table 1

Przykłady tramwajów typu „C”, czyli przegubowych z wózkami pod każdym członem pokazano na rys. 12 i 13.

Examples of type "C" trams, i.e. articulated trams with bogies for each section have been shown in Figs. 12 and 13.



Fig. 12. AVENIO tram type (Siemens)

Rys. 12. Widok tramwaju typu AVENIO (Siemens)



Fig. 13. Tramino tram type (Solaris)

Rys. 13. Widok tramwaju typu Tramino (Solaris)

Table 3 below presents selected technical parameters of type “C” trams, i.e. articulated trams with bogies for each vehicle section. Vehicle data was compiled from the catalog cards of the manufacturers of the presented vehicles.

Another **division of tram types can be made using the floor shape** and the following types can be distinguished:

a) high-floor trams

Trams of this type were characterized by a high floor throughout the wagon and stairs behind the door, which needed to be overcome when entering the tram.

W tabelicy 3 poniżej zestawiono wybrane parametry techniczne tramwajów typu „C”, czyli przegubowych z wózkami pod każdym członem. Dane pojazdów zestawiono na podstawie kart katalogowych producentów przedstawionych pojazdów.

Inny **podział tramwajów wynika ze względu na ukształtowanie podłogi** i można tu wyróżnić następujące rodzaje:

a) tramwaje wysokopodłogowe

Tramwaje tego typu charakteryzowały się wysoką podłogą w całym wagonie i schodami za drzwiami, które należy pokonać wchodząc do tramwaju.



Fig. 14. 105Na tram type (Konstal) [4]
Currently, high-floor trams are ordered only where high stop platforms are installed on their routes.

Rys. 14. Tramwaj 105Na (Konstal) [4]
Obecnie tramwaje wysokopodłogowe są zamawiane jedynie tam, gdzie na ich trasach zainstalowane są wysokie wysepki przystankowe.

Description: manufacturer, years of production, production place, number of segments, length, width, height, mass, track gauge, wheelbase, number and power of motors, max speed, interior: number of seats, total capacity, height of floor

Tram 105Na parameters Tabl. 4
Parametry tramwaju 105Na Tabl. 4

Producent	Konstal
Lata produkcji	1979–1992
Miejsce produkcji	Chorzów
Dane techniczne	
Liczba członów	1
Długość	13 500 mm
Szerokość	2400 mm
Wysokość	3060 mm
Masa	17 000 kg
Rozstaw <u>wózków</u>	1435 mm
Rozstaw <u>osi</u> w wózkach	1900 mm
Liczba i moc silników	4 × 41,5 kW
Prędkość maksymalna	72 km/h
Wnętrze	
Liczba miejsc siedzących	20
Liczba miejsc ogółem	125
Wysokość podłogi	890 mm

b) trams with a „wave” type floor

This category includes all trams in which the floor gently rises and falls over the length of the tram. This floor layout is known as low floor, but allows the use of older drive system solutions. Figure 15 shows a schematic layout of the floor of such a tram.

b) tramwaje z podłogą w kształcie „fali”

Do tej kategorii zaliczamy wszystkie tramwaje, w których podłoga łagodnie wznosi się i opada nad wózkami tramwaju. Taki układ podłogi zaliczany jest do tzw. podłogi niskiej, ale pozwala zastosować rozwiązania układu biegowego starszego typu. Na rysunku 15 przedstawiono układ schematyczny podłogi takiego tramwaju.

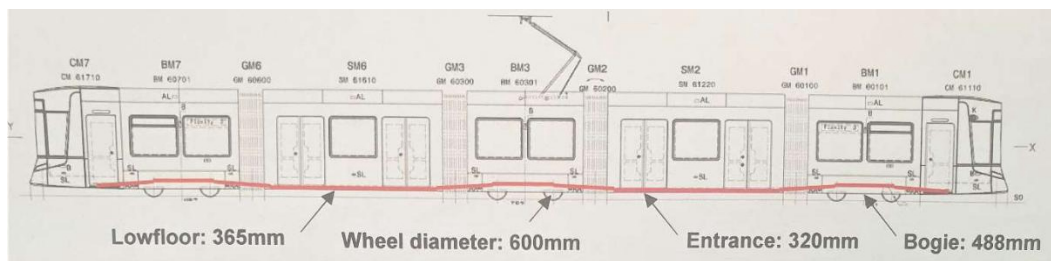


Fig. 15. Schematic of a „wave” type floor in a tram

Rys. 15. Schemat układu podłogi w kształcie „fali”

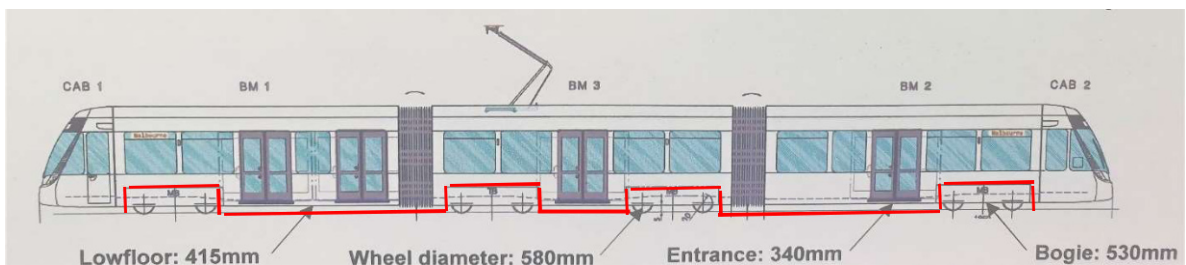


Fig. 16. Floor schematic with steps

Rys. 16. Schemat układu podłogi ze stopniami

c) trams where the floor has steps

This category includes all trams in which the floor rises and falls as steps over the length of the tram. In this case, it is considered a partially low-floor tram, i.e. the points of elevation are excluded from

c) tramwaje z podłogą ze stopniami

Do tej kategorii zaliczamy wszystkie tramwaje, w których podłoga łagodnie wznosi się i opada nad wózkami tramwaju. W tym przypadku mówimy o tramwajach częściowo niskopodłogowych, czyli

the share of the low floor in the tram.

miejsca podwyższenia są wyłączone z udziału podłogi niskiej w tramwaju.



Rys. 17. Schemat układu podłogi bez fali

Fig. 17. Flat floor schematic

Currently built trams can also have a mixed arrangement of both of these varieties, i.e. in places where it is necessary a solution with a step onto raised floor is used, while in places where it is possible, manufacturers use the gently rising, so-called “wave” type floor, which effectively increases the share of low floor to 70% of its total.

d) fully low-floor trams, with no steps or “wave”

Trams in which the floor layout is flat throughout their entire length and has no obstacles in the form of steps or slants, can be considered as fully low-floor trams. This solution, however, relies on a number of new solutions in the field of design and construction of the body structure and the drive system.

The above criteria for the division of trams can be included in a group of ergonomic criteria and are one of the most important issues when announcing purchase orders for rolling stock. In general high-floor trams are no longer purchased in recent years, most operators focusing only on low-floor trams. These are sought in all three of the above variants, depending on the operational experience of rolling stock owners and political pressure resulting from the implementation of urban development strategies. Two types of tram division were presented above, one based on the kinematic system and the other based on ergonomic requirements. The combination of these requirements created a third method of trams division: by the type of bogies used, i.e. the tram drive system. It is this subsystem that in today's trams bears the responsibility for many of the tram functions and for its safe operation.

The division of trams by type of drive system is presented below.

➤ By the boogie types:

a) axle bogies using classic axles in a wheelset (Fig. 18)

The bogie shown can be used for a multi-articulated tram with a "wave" type floor. The wave shape is forced by the use of a classic axle in the bogie, which is located at a height of 340 mm above the top of rail (ATR).

This floor design solution is possible thanks to the location of drive motors and axial gears

W obecnie budowanych tramwajach spotykamy również układ mieszany obu powyższych odmian, czyli w miejscach gdzie jest to konieczne stosuje się rozwiązanie z podwyższeniem podłogi (stopniem) natomiast w miejscach gdzie jest to możliwe producenci stosują tzw. Falę na podłodze, co efektywnie zwiększa udział niskiej podłogi do 70% jej udziału w całości.

d) tramwaje z całkowicie niską podłogą, czyli bez stopni, bez fali.

Tramwaje w których przebieg podłogi przez całą jego długość jest płaski i nie posiada żadnych przeszkód w postaci stopni czy skosów, można zaliczyć do tramwaju w pełni niskopodłogowego. Rozwiązanie takie jednak zastosowania szeregu rozwiązań w zakresie projektowania i budowy konstrukcji nadwozia i układu biegowego.

Powyższe kryteria podziału tramwajów pochodzą z grupy kryteriów ergonomicznych i jest jednym ważniejszych podczas ogłaszania przetargów na zakup taboru. O ostatnich latach można zauważyć, że w zasadzie nie są już kupowane tramwaje wysokopodłogowe, a jedynie niskopodłogowe, w wszystkich trzech powyższych odmianach zależnie od doświadczeń eksploatacyjnych właścicieli taboru i nacisków politycznych zależnych od realizacji strategii rozwojowych miast.

Powyżej zaprezentowano dwa rodzaje podziału tramwajów, jeden ze względu na układ kinematyczny, a drugi ze względu na wymagania ergonomiczne. Połączenie tych wymagań stworzyło trzeci podział tramwajów ze względu na rodzaj zastosowanych wózków, czyli układu biegowego tramwaju. To właśnie na tym podsystemie spoczywa dzisiaj odpowiedzialność za wiele funkcji tramwaju oraz za jego bezpieczną eksploatację.

Podział tramwajów ze względu na zastosowany typ układu biegowego przedstawiono poniżej.

➤ wg rodzajów wózków:

a) wózki osiowe wykorzystujące klasyczne osie w zestawie kołowym (rys. 18). Są to wózki których parę kół połączoną sztywną osią przy pomocy wcisku, tworząc zestaw kołowy.

Przedstawiony wózek może być stosowany do tramwaju wieloprzegubowego z „falą” na pod-

transverse to the axle of the wheel set. Bogies of this type have a small angle of rotation around their axis, (from 1.2 to 2°). All the necessary tram movement that is required when entering a curve is implemented through the many joints that connect the individual body parts.

- b) bogies without axles, in which the classic axle has been replaced by a portal beam with pivots embedded in it, on which the wheels of a tram are mounted (Fig. 19).

The presented bogie can be used in multi-articulated trams with a completely flat floor. These types of bogies are available in several variants, depending on how the traction force is transferred from the bogie to the vehicle frame. The trolley in the picture transfers power using a traction rod. There are also variants available on the market that transfer traction by means of a pivot or a bearing. The last two solutions can be used for articulated trams, because their angle of rotation around their axis is up to 8 degrees.

- c) axial drive bogies are designs with a classic axle and a traction motor and axle gear mounted in the middle of the bogie (fig. 20).

The presented bogie can be used in articulated trams with a partial low floor. The tram body must be designed in such a way that it provides space for the whole bogie to be built under the floor.

Inside these trams, steps are used to overcome the difference in floor height. By combining drive bogies shown in the picture (Fig. 19) with a rolling carriage (from point b), it is possible to achieve up to 70% of the floor in a tram being considered low floor.

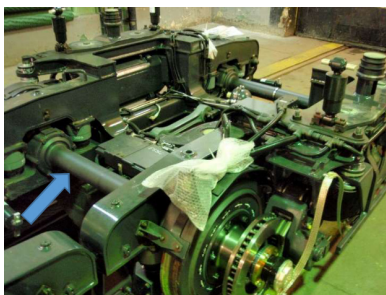


Fig. 18. Classic axle bogie

Rys. 18. Widok wózka z klasycznymi osiami



Fig. 19. Bogie with no axles

Rys. 19. Widok wózka bezosiowego

łodze. Kształt fali jest wymuszony zastosowaniem w wózku klasycznej osi, która znajduje się na wysokości 340 mm na poziomem główki szyny (n.p.g.s).

Takie rozwiązanie podłogi możliwe jest dzięki umiejscowieniu silników trakcyjnych i przekładni osiowych poprzeczni do osi zestawu kołowego. Wózki tego typu mają mały kąt obrotu wokół własnej osi, (od 1,2 do 2 °). Całość niezbędnego ruchu tramwaju jaki jest wymagany podczas wjazdu w łuk drogi realizowany jest poprzez wiele przegubów, które łączą ze sobą poszczególne człony nadwozia.

- b) wózki bez osiowe, w których klasyczna oś zastąpiona została belką portalową (nie obrotową) z osadzonymi w niej czopami, na które montowano obracające się koła tramwaju (rys. 19).

Zaprezentowany wózek może być stosowany w tramwajach wieloprzegubowych z całkowicie płaską podłogą. Wózki tego typu występują w kilku wariantach, zależnie od sposobu przeniesienia siły trakcyjnej z wózka na pudło. Wózek na zdjęciu przenosi siłę za pomocą cięgła trakcyjnego. Dostępne na rynku są również warianty, które przenoszą siłę trakcyjną za pomocą czopa skreśtu lub łożyska. Dwa ostatnie rozwiązania mogą być stosowane do tramwajów przegubowych, ponieważ ich kąt obrotu wokół własnej osi wynosi nawet 8 stopni.

- c) wózki napędowe osiowe klasyczne to wózki z osią łączącą koła oraz silnikiem trakcyjnym i przekładnią osiową zamontowaną między kołami wózka (rys. 20).

Zaprezentowany wózek, może być stosowany w tramwajach przegubowych z częściową niską podłogą. Nadwozie tramwaju musi być zaprojektowane w taki sposób, żeby przewidywało przestrzeń do zabudowy całego wózka pod podłogą.

W tego rodzaju tramwajach w ich wnętrzu stosuje się stopnie do pokonania różnicy wysokości podłóg. Łącząc wózki napędowe przedstawione na zdjęciu (rys. 20) z wózkiem tocznym (z pkt. b) można uzyskać w tramwaju do 70% niskiej podłogi.

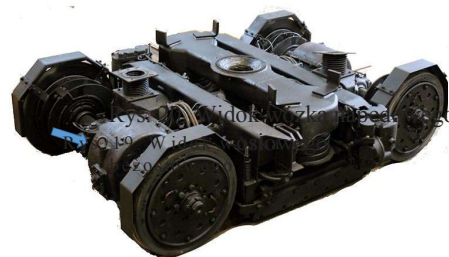


Fig. 20. Drive bogie with axle Rys. 20. Widok wózka napędowego osiowego

Conclusion

In the years 1990–2020 intensive tram development was carried out in all Western European countries. Poland and the Czech Republic joined these countries only from the year 2000 onwards.

Trams with partially low floors were introduced on the German market in 1990 (NG6 trams manufactured by Bombardier), where at the same time only high-floor trams (105N trams manufactured by Konstal Chorzów) were produced in Poland.

In all countries, innovative solutions were carried out in a similar way, although in different years.

The first trams were classic (wagon) solutions, where the tram was placed on a system of two bogies. In order to facilitate the exchange of passenger flow, a part of the trams floor area was lowered to the platform level. Another innovation was the market launch of a tram with a completely low floor (wave-type floor).

Trams with a completely flat floor (without a wave) are currently being launched. The introduction of this innovation took manufacturers 40 years of tram technology development to achieve a completely flat floor. To make this possible, a number of innovations had to be created in the solutions that made it possible. In the field of drive systems, bogies have evolved from a classic bogie with traction motors and gears placed between the wheels (e.g., Bombardier NGT6) to a solution in which classic axles have been eliminated, and each wheel is individually driven from engines and gears mounted on the outside of the bogie (e.g. Jazz by PESA), where a completely flat floor was obtained.

There has also been a lot of development in the field of propulsion systems. Innovative IGBT drives and asynchronous motors were used, which significantly reduced the size of the propulsion systems used.

Some manufacturers used aluminum to build the body structure, which also reduced the weight of the tram.

The use of modern technologies and significant weight reduction in almost all aspects allowed for a reduction in the amount of required traction power (fewer bogies in the tram) as the years passed, and the power available was being used more efficiently.

High demand for modern trams increases competitiveness on the market, more and more new rolling stock manufacturers who are looking for competitive advantages on the market are emerging. This situation, in turn, is conducive to bringing new innovations to the market.

Each of the innovations (innovative trams) introduced to the market has both advantages and disadvantages. The introduction of multi-articulated technology in trams allowed to improve the ergonomics for the passenger, allowed to build a

Podsumowanie

W latach 1990–2020 prowadzony był intensywny rozwój tramwajów we wszystkich krajach Europy zachodniej. Polska i Czechy dołączyły do tych krajów dopiero po 2000 roku.

Na rynku niemieckim już w 1990 roku wprowadzane były tramwaje z częściową niską podłogą (tramwaje typu NG6 produkcji Bombardier), gdzie w tym samym czasie w Polsce produkowane jedynie były tramwaje wysokopodłogowe (tramwaje typu 105N produkcji Konstal Chorzów).

We wszystkich krajach rozwiązania innowacyjne przebiegały w analogiczny sposób, choć w różnych latach.

Pierwsze tramwaje były rozwiązaniami klasycznymi (wagonowymi), gdzie człon tramwaju był posadowiony na układzie dwóch wózków. W celu ułatwienia wymiany potoków pasażerów wprowadzono w tramwajach obniżenie części podłogi do wysokości wysepki przystankowej. Kolejną innowacją było wprowadzenie na rynek tramwaju z całkowicie niską podłogą (podłoga w kształcie „fali”).

Obecnie wprowadzane są na rynek tramwaje z całkowicie płaską podłogą (bez fali). Wprowadzenie tej innowacji zajęło producentom 40 lat rozwoju technologii tramwajowej, żeby możliwe było uzyskanie całkowicie płaskiej podłogi. Żeby było to możliwe w rozwiązaniach musiało powstać szereg innowacji, które to umożliwiły. W obszarze układów biegowych wózki ewoluowały od rozwiązania klasycznego wózka z silnikami trakcyjnymi i przekładniami umieszczonymi między kołami (np. NGT6 produkcji Bombardier) do rozwiązania w którym wyeliminowano klasyczne osie, a każde koło napędzane jest indywidualnie z silników i przekładni zamontowanych na zewnątrz wózka (np. Jazz produkcji PESA), gdzie uzyskano całkowicie płaską podłogę.

W obszarze układów napędowych nastąpił również duży rozwój. Zastosowano innowacyjne napędy IGBT oraz silniki asynchroniczne, co znacznie pozwoliło zmniejszyć gabaryty stosowanych urządzeń.

Do budowy konstrukcji nadwozia część producentów zastosowała aluminium, co również wpłynęło na obniżenie masy tramwaju.

Stosowanie nowoczesnych technologii i znaczne obniżanie mas w niemal wszystkich obszarach pozwoliło na zmniejszenie ilości zainstalowanej mocy trakcyjnej (mniejsza ilość wózków w tramwaju) na przełomie lat a tą zainstalowaną wykorzystywano bardziej efektywnie.

Duży popyt na nowoczesne tramwaje zwiększa konkurencyjność na rynku, powstaje coraz więcej nowych producentów taboru, którzy poszukują na rynku przewag konkurencyjnych. Taka sytuacja z kolei sprzyja wprowadzaniu na rynek coraz to nowych innowacji.

single-space vehicle, increased modularity of the solution, etc. This type of public transport eliminates the problem of exclusion for the elderly and people with reduced mobility by placing all doors at the height of stop platforms, elimination of obstacles (steps, and in the optimal variant also the "wave" floor) inside the tram, or the placement of wheelchair spaces. This type of tram is available to everyone along its entire length without the need for special handling procedures.

This solution also has disadvantages, mainly related to maintenance and service. The tram wears down the track infrastructure and its own wheels at a much higher rate. The tram maintenance work is difficult due to the difficulty of reaching the devices that are mostly installed on the roof of the tram.

As a result the supporting structure of the vehicle body is exposed to significantly higher operational loads than conventional trams, which may cause cracks in the body or frame of the bogies.

Such conclusions have been presented at numerous maintenance conferences both by the tram depot in Berlin and in Warsaw where such trams are used in large quantities.

The challenges for trams past year 2020.

Currently, the main directions of innovation in trams include:

- Reducing the energy consumption, obtaining energy from renewable sources,
- non-powered driving - trams that can operate continuously without access to the overhead catenary,
- reduction of noise generated by trams,
- autonomous driving - elimination of the human factor.

Photo of vehicles using for paper needs: [youtube.com>esbek2](https://www.youtube.com/watch?v=esbek2) Data of vehicles acc. to website of manufacturers of these vehicles and catalogues of products

Bibliography / Bibliografia

- [1] *Hondius H.: Rozwój tramwajów i kolejek miejskich o niskiej i średniej wysokości podłogi, cz. 2. Technika Transportu Szynowego 7-8/2007 (za Stadtverkehr 1-2/2007).*
- [2] *Staśkiewicz T.: Przegląd współcześnie produkowanych tramwajów w Europie. Politechnika Poznańska. Poznań 2013*
- [3] <https://pl.wikipedia.org/wiki/Tramwaj>
- [4] https://pl.wikipedia.org/wiki/Konstal_105Na

Każde z wprowadzonych na rynek innowacji (innowacyjnych tramwajów) posiada zarówno zalety jak i wady. Wprowadzenie technologii wieloprzegubowej w tramwajach pozwoliło na poprawienie parametrów ergonomii dla pasażera, pozwoliło na zbudowanie pojazdu jednoprzestrzennego, zwiększyło modułowość rozwiązania, itp. Taki rodzaj transportu zbiorowego eliminuje problem wykluczenia dla osób starszych oraz osób o ograniczonych możliwościach ruchowych poprzez umiejscowienie wszystkich drzwi na wysokości wysepek przystankowych, likwidacji barier (stopni, a w optymalnym wariantcie również „fali) wewnątrz tramwaju, czy umiejscowieniu miejsc na wózki inwalidzkie. Tego rodzaju tramwaj jest dostępny dla wszystkich na całej jego długości bez konieczności wprowadzania specjalnych procedur dla obsługi.

Rozwiązanie to posiada również wady, głównie utrzymaniowe i obsługowe. Tramwaj w dużym stopniu zużywa infrastrukturę torową oraz własne koła. Obsługa tramwaju jest utrudniona ze względu na małą dostępność do urządzeń, które w dużej mierze zabudowane są na dachu tramwaju.

Konstrukcja nośna nadwozia narażona jest na znacząco większe obciążenia eksploatacyjne niż klasyczne tramwaje co może powodować pęknięcia nadwozia czy ram wózków.

Takie wnioski zostały zaprezentowane na licznych konferencjach utrzymaniowych zarówno przez zajezdnię tramwajową w Berlinie jak i w Warszawie gdzie w dużych ilościach eksploatowane są tego typu tramwaje

Wyzwanie dla tramwajów po roku 2020.

Obecnie główne kierunki innowacyjności w tramwajach zmierzają w kilku kierunkach:

- oszczędność zużycia energii, pozyskiwanie energii ze źródeł odnawialnych
- jada beztracyjna – tramwaje które mogą poruszać się bez ciągłego dostępu do sieci trakcyjnej
- obniżenie emisji hałasu emitowanego przez tramwaje
- jazda autonomiczna – eliminacja udziału czynnika ludzkiego.

Zdjęcia pojazdów użyte na potrzeby niniejszego referatu: [youtube.com>esbek2](https://www.youtube.com/watch?v=esbek2). Dane techniczne pojazdów wg stron internetowych producentów tych pojazdów oraz katalogów wyrobów.