

*dr inż. Zbigniew Durzyński, prof. Instytutu
ŁUKASIEWICZ – IPS „TABOR”
dr hab. inż. Małgorzata Orczyk
Politechnika Poznańska*

The tram-train as an element of ecological public transport system in the agglomeration in Poland (part 1)

Tram-train elementem proekologicznego systemu transportu zbiorowego w aglomeracjach w Polsce (cz. 1)

The article presents an adverse impact of the transport in agglomerations on the environment and climate conditions. The sources and acceptable levels of environmental pollution and climate degradation are presented as well as contribution of the cars to this process, together with the actions undertaken with a view to reduce the emission. The trends in modernizing of the public transport systems are pointed out, inclusive of justification of the ecological tram-train system implementation. The next part of the paper includes comparison of the features of the tram and passenger rail vehicles used for public transport in agglomerations. A brief outline of the actions initiated to implement the tram-train system in Poland is depicted. The final part of the article highlights the technical issues related to the difference between the tram and rail vehicle construction and equipment and discusses the scope of organizational and legal tasks necessary to undertake the practical measures. The Polish contractors potentially able to perform these tasks are indicated. In the last part a brief assessment of railway network suitability for implementation of the tram-train system was carried out on the example of the Poznań agglomeration. An extensive bibliography makes an essential part of the paper.

The present article is a continuation of the earlier papers developed with participation of the author. Some of these problems have been only identified in the former papers and, therefore, they are discussed here more clearly, due to their importance to the topic of the tram-train system.

The second part of the article will be published in the next issue of the quarterly Rail Vehicles.

W artykule przedstawiono negatywne oddziaływanie transportu w aglomeracjach na stan środowiska i klimat. Opisano źródła i dopuszczalne poziomy zanieczyszczeń środowiska i degradacji klimatu oraz udział samochodów w tym procesie oraz podejmowane działania dla ograniczenia emisji. Przedstawiono tendencje unowocześniania systemów komunikacji zbiorowej oraz uzasadnienie wdrażania ekologicznego systemu tram-train. W dalszej części artykułu porównano cechy tramwaju i pasażerskich pojazdów kolejowych jako środków transportu zbiorowego w aglomeracjach. W krótkim zarysie opisano działania, jakie zostały podjęte dla wdrożenia systemu tram-train w Polsce. W końcowej części artykułu odniesiono się do zagadnień technicznych związanych z różnicami w zakresie budowy i wyposażenia tramwajów i pojazdów kolejowych, a także omówiono zakres prac organizacyjno-prawnych, których podjęcie jest niezbędne dla rozpoczęcia działań praktycznych. Wskazano potencjalnych realizatorów tych działań na poziomie krajowym. W ostatniej części przeprowadzono, na przykładzie aglomeracji poznańskiej, krótką analizę przydatności sieci kolejowej do wprowadzenia systemu tram-train. Istotną częścią artykułu jest obszerna lista bibliografii.

Niniejszy artykuł jest kontynuacją wcześniejszych artykułów, których autor był współautorem. W poprzednich artykułach niektóre zagadnienia były tylko zasygnalizowane, dlatego jednak w związku z ich istotnym znaczeniem dla tematu systemu tram-train zostały omówione szerzej.

Druga część artykułu zostanie opublikowana w kolejnym numerze kwartalnika Pojazdy Szynowe.

1. Introduction

Searching for less energy-consuming and low-carbon transport systems in the agglomerations imposes a serious challenge for the people responsible for civilization development of the country, at all levels of state management. A responsible analysis of the current state and the state available in the future should be a

1. Wstęp

Poszukiwanie coraz mniej energochłonnych i niskoemisyjnych systemów transportowych w aglomeracjach staje się poważnym wyzwaniem dla ludzi odpowiedzialnych za rozwój cywilizacyjny kraju, na każdym szczeblu zarządzania państwem. Podstawą do

basis for such measures. Similar undertakings led, among others, to implementation of the tram-train system in several Western European countries.

The Conference of Parties 25 (COP25) in Madrid (December 2-13, 2019) confirmed the meaning of the subject of climate change and pointed out the huge threat to our planet in case the activity aimed at preventing the changes is not significantly intensified. The conference unfortunately came to the end without final agreement.

The examples of several European countries show that implementation of the tram-train systems is increasingly common, among others due to their favourable impact on the environment. It is also a result of development of the agglomerations, since the number of the people living in suburbia of large cities permanently grows. Taking into account their professional work, education, cultural and leisure needs they expect rational transport means on the route to the agglomeration centres.

Extensive civilization development and, in consequence, the economic development of the leading countries resulted in significant increase in the air pollution level. The pollution levels significantly exceeded the values considered safe for the health of inhabitants of large human populations. This particularly applies to the agglomerations.

Environmental devastation and global climate degradation have reached disastrous level. Under these circumstances an immediate action should be undertaken to withstand the dangerous tendency in all possible areas, even those seemingly less affecting the disadvantageous condition.

One of the elements affecting this is related to communication in the agglomerations. The problem was noticed in many Western European cities and began to be solved, among others by implementation of the tram-train systems. Such an approach does not eliminate the problem entirely, but significantly reduces the environment and climate pollution.

2. The agglomeration transport as a source of the environmental pollution and climate degradation

2.1. The sources and allowable levels of environmental pollution and climate degradation

Some of the air pollution sources are independent of human activity. These sources include:

- volcanoes (about 450 active ones) emitting, among others, volcanic ash and gases (CO₂, SO₂, H₂S);
- forest, savanna and grassland fires (CO₂, CO and dust emissions);
- marshes emitting, among others, CH₄, CO₂, H₂S, NH₃;
- soils and rocks subjected to erosion, sandstorms (globally up to 700 million tons of dust a year) ;
- green areas being the plant pollen sources.

takich działań powinny być odpowiedzialnie przeprowadzone analizy sytuacji obecnej i możliwej do uzyskania w przyszłości. Prace tego rodzaju zakończyły się m. in. wdrożeniem systemu tram-train w kilku krajach zachodniej Europy.

Konferencja COP 25 (Conference of Parties 25) w Madrycie (2–13 grudnia 2019) potwierdziła ważność tematu zmian klimatycznych i wskazała na olbrzymie zagrożenie dla naszej planety w sytuacji braku działań znacznie intensywniejszych niż dotychczasowe. Konferencja zakończyła się niestety bez końcowego porozumienia.

Przykłady kilku krajów europejskich wskazują, że wdrażanie systemów tram-train (tramwaj-pociąg) staje się coraz powszechniejsze, a jednym z powodów ich eksploatacji jest pozytywny wpływ na środowisko naturalne. Wiąże się to także z rozwojem aglomeracji, bowiem coraz więcej ludzi mieszka na obrzeżach dużych miast i z racji pracy zawodowej, nauki, korzystania z ofert w zakresie kultury i wypoczynku oczekują racjonalnej oferty przewozu do centrów tych aglomeracji.

Gwałtowny rozwój cywilizacyjny, a co za tym idzie także gospodarczy przodujących państw, stał się powodem intensywnego wzrostu poziomu zanieczyszczenia powietrza. Poziomy zanieczyszczeń w znaczący sposób zaczęły przekraczać poziomy uznane za bezpieczne dla zdrowia mieszkańców dużych skupisk ludzkich. Szczególnie odnosi się to do aglomeracji.

Dewastacja środowiska naturalnego i degradacja klimatu w skali globalnej osiągnęła katastrofalny poziom. W tej sytuacji należy podjąć natychmiastowe działania, aby tej groźnej tendencji się przeciwstawić, na wszystkich możliwie obszarach, nawet tych pozornie mniej wpływających na negatywną sytuację.

Jednym z wpływających na ten stan elementem jest komunikacja na obszarach aglomeracyjnych. Problem ten dostrzeżono i rozpoczęto go rozwiązywać w szeregu miast Zachodniej Europy, między innymi na drodze wdrażania systemów tram-train. To rozwiązanie nie likwiduje całkowicie problemu, lecz w znacznym stopniu wpływa na ograniczenie zanieczyszczeń środowiska i klimatu.

2. Transport w aglomeracjach źródłem zanieczyszczenia środowiska i degradacji klimatu

2.1. Źródła i dopuszczalne poziomy zanieczyszczeń środowiska i degradacji klimatu

Część źródeł zanieczyszczenia powietrza jest niezależna bezpośrednio od człowieka i do tych źródeł należą:

- wulkany (ok. 450 czynnych), z których wydobywają się m. in. popioły wulkaniczne i gazy (CO₂, SO₂, H₂S)
- pożary lasów, sawann i stepów (emisja CO₂, CO i pyłów)
- bagna wydzielające m. in. CH₄, CO₂, H₂S, NH₃

Aside from them, there are a number of emission sources resulting from human activity, called anthropogenic ones. Among them there are:

- of energetic origin – fuel combustion;
- industrial – resulting from technological processes in chemical plants, refineries, ironworks and cement plants;
- communication - mainly road transport;
- municipal – households, waste and sewage collection and utilization (e.g. rubbish dumps, sewage treatment plants) [33].

Communication in agglomerations includes both mobility of the inhabitants and the transport related to supplies. Therefore, it includes not only the public but also personal transport, mainly in passenger cars. Their impact on the environment and climate condition is significant within the agglomeration, as all these elements of transport substantially change the environment and climate. In order to assess properly the current condition, the allowable pollution level should be taken into account.

The European Union has set down only the acceptable threshold level for fine dust PM10 and PM2.5, i.e. 50µg/m³ (daily) and 40µg/m³ (average-annual) for PM10, and 25µg/m³ (average-annual) for PM2.5. Allowable level for carbon monoxide in ambient air amounts to 10.000µg/m³ [11].

In Poland, the standards related to PM10 fine dust are set at three levels [14]:

- allowable level 50 µg/m³ (daily);
- alert level 200 µg/m³ (daily);
- alarm level 300 µg/m³ (daily).

Allowable level - 50 µg/m³ implies that the air quality is not good, but does not seriously affect the human health.

Alert level - 200 µg/m³ means that the inhabitants should limit their outdoor activities since the dust content exceeds four times the allowable level.

Alarm level - 300 µg/m³ means that the dust content six times exceeds the allowable level. The outdoor activity should be strictly limited and the inhabitants should preferably stay at home, especially in case of ill persons.

The alarm levels rarely occur in Poland. In 2018 the alarm level was exceeded once, in Zabrze - on November 5. The daily PM10 concentration was then 330 µg/m³. On the other hand, the alert levels are exceeded several dozen times a year in various regions, i.e. the daily concentration in several places in Poland exceeds 200µg/m³. This indicates that the air quality, particularly in southern Poland, is sometimes poor that is caused both by humans and the weather.

The air pollution level in Kraków and Poznań in 2019 is depicted in the figures below [10], [11], [25].

The graphs show that the levels of several pollutant components were exceeded already in autumn. High level of nitrogen oxides in Krakow throughout 2019 is

- gleby i skały ulegające erozji, burze piaskowe (globalnie do 700 mln ton pyłów/rok)
- tereny zielone, z których pochodzą pyłki roślinne.

Poza nimi istnieje szereg źródeł emisji wynikających z działalności człowieka, zwanych antropogenicznymi. Są to źródła:

- energetyczne - spalanie paliw
- przemysłowe - procesy technologiczne w zakładach chemicznych, rafineriach, hutach i cementowniach
- komunikacyjne - głównie transport samochodowy
- komunalne - gospodarstwa domowe oraz gromadzenie i utylizacja odpadów i ścieków (np. wysypiska, oczyszczalnie ścieków) [33].

Komunikacja w aglomeracjach obejmuje zarówno przemieszczanie się mieszkańców i jak transport związany z zaopatrzeniem, zatem obejmuje nie tylko transport zbiorowy lecz także indywidualny, głównie samochodami osobowymi. Ich wpływ na stan środowiska i klimatu jest w skali danej aglomeracji istotny, jako że wszystkie te elementy transportu w istotny sposób wpływają na zmianę stanu środowiska i klimatu. W celu właściwej oceny aktualnego stanu należy odnieść się dopuszczalnego poziomu zanieczyszczeń.

Unia Europejska dla pyłów drobnych PM10 i PM2,5 ustaliła jedynie poziom dopuszczalny, odpowiednio dla PM10 – 50 µg/m³ (dobowy) i 40 µg/m³ (średni-roczny), a dla pyłu PM2,5 - 25 µg/m³ (średni-roczny). Poziom dopuszczalny dla tlenu węgla w powietrzu wynosi 10.000 µg/m³ [11].

W Polsce normy dla pyłów drobnych PM10 są ustalone na trzech poziomach [14]:

- poziom dopuszczalny 50 µg/m³ (dobowy)
- poziom informowania 200 µg/m³ (dobowy)
- poziom alarmowy 300 µg/m³ (dobowy).

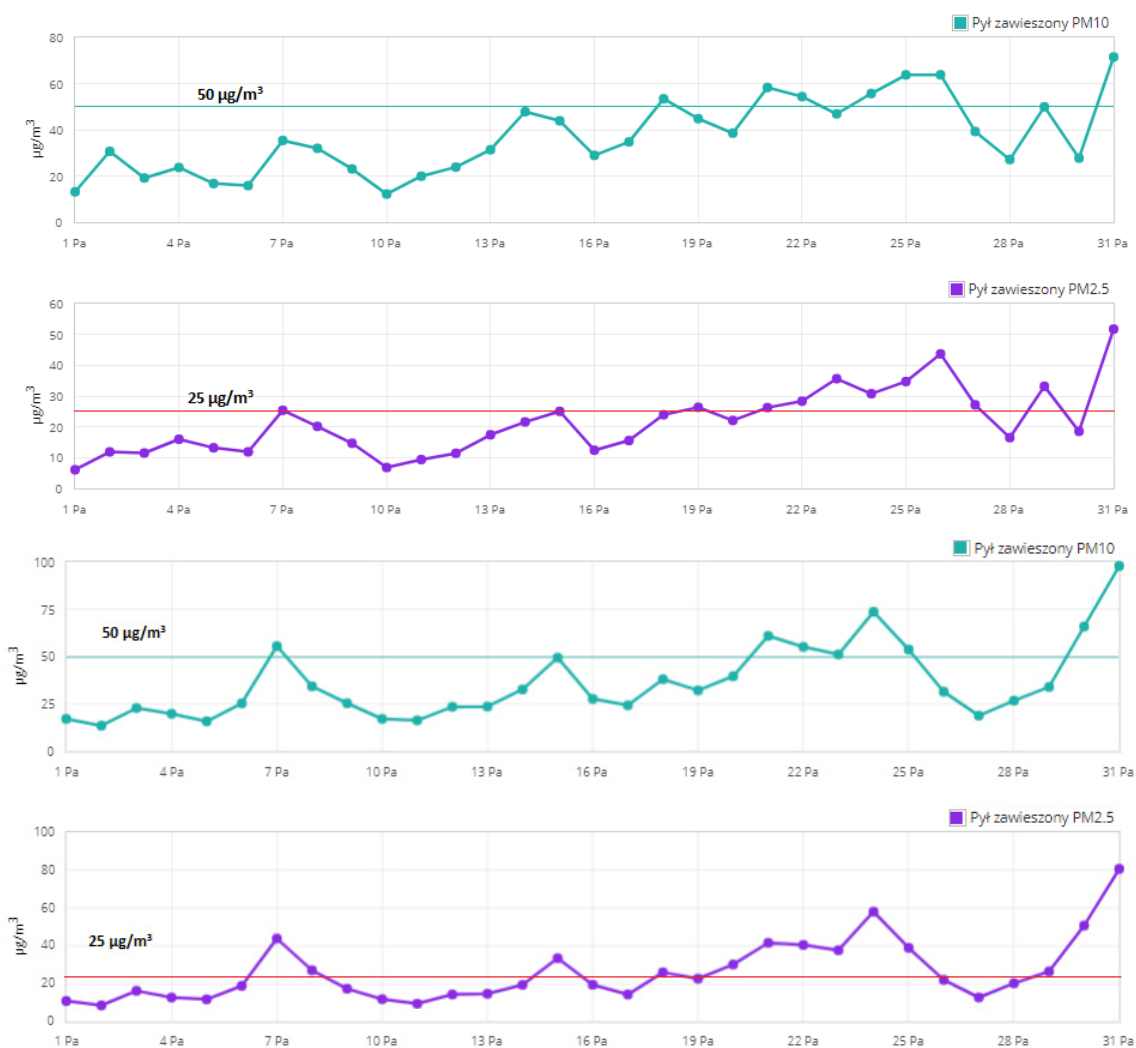
Poziom dopuszczalny – 50 µg/m³: mówi o tym, że jakość powietrza nie jest dobra, ale nie wywołuje ciężkich skutków dla ludzkiego zdrowia.

Poziom informowania - 200 µg/m³: oznacza, że mieszkańcy powinni ograniczyć swoją aktywności na powietrzu, bo norma przekroczona jest czterokrotnie.

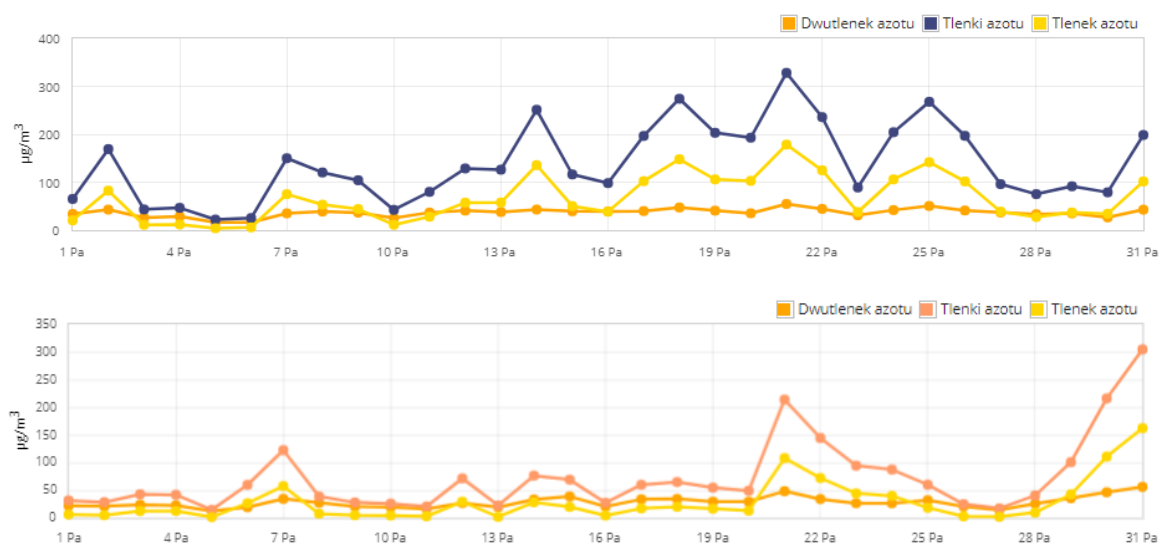
Poziom alarmowy – 300 µg/m³: oznacza, że norma przekroczona jest sześciokrotnie i należy bezwzględnie ograniczyć przebywanie na powietrzu, a najlepiej zostać w domu, szczególnie dotyczy to osób chorych.

Poziomy alarmowy zdarzają się w Polsce rzadko. W 2018 roku poziom alarmowy został przekroczony raz, w Zabrzu – 5 listopada. Wówczas dobowe stężenie pyłu PM10 wyniosło tam 330 µg/m³.

Natomiast poziomy informowania są przekraczane kilkadziesiąt razy w roku na różnych obszarach, czyli stężenie w kilku miejscach w Polsce przekracza 200 µg/m³ na dobę. Wynika z tego, że jakość powietrza,



Rys. 1. Poziomy zanieczyszczenia powietrza pyłami w 2019 r. (liniami zieloną i czerwoną zaznaczono poziom dopuszczalny) w Krakowie (Kurdwanów) b) Poznaniu (Dąbrowskiego)
 Fig. 1. Dust air pollution levels in 2019 (the allowable levels marked with green and red lines) a) in Krakow (Kurdwanów) b) in Poznan (Dąbrowskiego Str.) - (pył zawieszony = particulate matter)



Rys. 2. Poziomy zanieczyszczenia powietrza tlenkami w 2019 r. (poziom dopuszczalny dla tlenku azotu to 200 µg/m³) w Krakowie (Kurdwanów) b) w Poznaniu (Dąbrowskiego)
 Fig. 2. Oxide air pollution levels in 2019 (the allowable level of nitric oxide amounts to 200) a) in Krakow (Kurdwanów) b) in Poznan (Dąbrowskiego Str.) (dwutlenek azotu = nitrogen dioxide, tlenki azotu = nitric oxides, tlenek azotu = nitric oxide)

particularly worrying.

This is mainly due to the fact that the number of the apartments heated with coal furnaces and with the use of other unacceptable substances is still significant. Similar situation also occurs in other large cities in Poland.

2.2. The cars as a meaningful reason of environmental pollution and climate degradation

Specification of the pollution sources indicates a significant impact of car transport on the air quality, mainly in agglomerations. Passenger cars are one of essential emission sources. Therefore, it would be useful to pay attention to the growth rate of their number (the data per 1000 inhabitants) [36÷39].

Przyrost samochodów w wybranych aglomeracjach w Polsce
Tablica 1
The increase in the number of the cars in selected agglomerations in Poland
Table 1

Miasto/rok City/year	2014	2015	2016	2017	Województwo w 2017 / Province in 2017
Poznań	601	625	660	690	648
Wrocław	575	601	632	659	603
Gdańsk	543	552	572	593	577
Kraków	534	557	585	611	5554

The chart below presents total numbers of the cars registered in Poland (in thousands) at the end of subsequent years [40].

It could seem that various types of the cars (i.e. the passenger cars, vans, buses) emit mainly the gaseous pollutants (CO, NO_x). Nevertheless, the particulate pollution (PM 2.5, PM 10) caused by these vehicles should also be taken into account. Their sources are as follows:

- abrasion of the street surface (mainly asphalt);
- tire abrasion;
- wear of friction brake parts;
- crumbling the pavement particles from road surface damages (the holes, chuckholes).

Total mass of these particles is close to the mass of the exhaust emitted by internal combustion engines of these vehicles [8].

Furthermore, the age of passenger cars used in Poland should be taken into account. In case of earlier year of manufacture the older technological solutions result in an unfavorable impact on the environment. This ranking unfortunately gives Poland the shameful last place. In case of vans and trucks the situation is very similar [17], [32].

One of currently recommended ways aimed at reducing the pollution emitted by the cars consists in launching electric cars on the market. In consequence, this concept should be followed by extensive development of renewable energy technologies. Otherwise, the problem will relocate from the "exhaust pipe" to the "chimneys of coal power plants".

szczególnie w regionach Polski południowej, okresowo jest zła i mają na to wpływ zarówno czynniki ludzkie jak i pogoda.

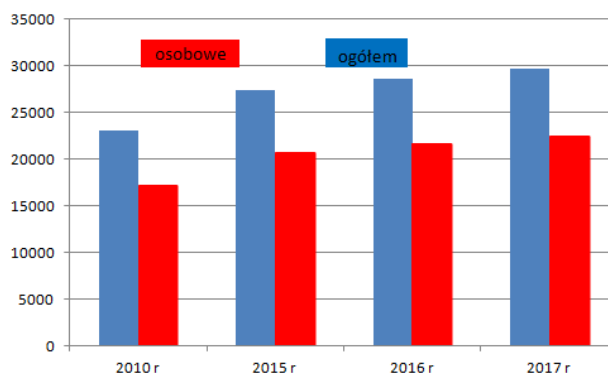
Poziom zanieczyszczeń powietrza w Krakowie i w Poznaniu w roku 2019 przedstawiono na poniższych rysunkach [10], [11], [25].

Jak wynika z tych wykresów poziomy dla kilku składników zanieczyszczeń już w okresie jesiennym zostały przekroczone. Szczególnie niepokojący jest wysoki poziom tlenków azotu trwający w Krakowie przez cały okres roku 2019.

Wynika to głównie z faktu, że do ogrzewania mieszkań nadal mają znaczący udział piece opalane węglem i innym niedopuszczalnymi substancjami. Podobna sytuacja jest także w innych dużych miastach w Polsce.

2.2. Samochody istotnym elementem zanieczyszczenia środowiska i degradacji klimatu

Z zestawienia źródeł zanieczyszczeń wynika istotny wpływ transportu samochodowego na stan jakości powietrza, zwłaszcza w aglomeracjach. Samochody osobowe są jednym z istotnych źródeł emisji zanieczyszczeń, zatem warto zestawić w jakim tempie narasta ich liczba (dane na 1000 mieszkańców) [36÷39]. Łączna liczba (w tysiącach) samochodów zarejestrowanych w Polsce w końcu kolejnych lat przedstawia poniższy wykres [40].



Rys. 3. Przyrost liczby samochodów w Polsce (w tysiącach pojazdów)

Fig. 3. Growth of the car number in Poland (in thousands) (osobowe = passenger, ogółem = generally)

Pozornie mogłoby się wydawać, że różnego typu samochody (osobowe, dostawcze, autobusy) generują głównie zanieczyszczenia gazowe (CO, NO_x). Należy jednak brać także pod uwagę ich udział w zanieczyszczeniu cząstkami stałymi (PM 2.5, PM 10). Ich źródłem są następujące czynniki:

- - ścieranie nawierzchni ulic (głównie asfaltu)
- - ścieranie opon
- - zużywanie się elementów hamulców ciernych
- - wykruszanie cząstek nawierzchni z ubytków drogi (dziury, wyboje).

Sumaryczna masa tych cząstek jest porównywalna z masą spalin pochodzących z pracujących silników

Systematic limitation of the number of cars causing the above-mentioned detrimental impact on the environment and climate may also result from improving of the offer of the carriers providing the public transport. In order to reach such an objective the carriers should regularly put into operation modern means of public transport.

Wiek samochodów w krajach europejskich
Age of the cars in the European countries

Tablica 2
Table 2

Country / Kraj	The age of passenger cars / wiek aut osobowych	The age of vans / wiek aut dostawczych	The age of trucks / wiek aut ciężarowych
Austria	8,9	8,1	8,4
Belgia / Belgium	7,7	8,2	9,8
Chorwacja / Croatia	14,1	12,0	14,3
Czechy / Czech Republic	14,5	12,0	13,9
Dania / Denmark	8,5	8,6	7,7
Estonia	15,1	12,8	16,3
Finlandia / Finland	12,7	12,2	12,5
Francja / France	9,0	8,3	7,5
Grecja / Greece	13,5	16,7	18,7
Hiszpania / Spain	11,4	12,1	12,6
Holandia / Netherlands	9,5	8,8	7,9
Irlandia / Ireland	9,0	8,8	9,8
Litwa / Lithuania	16,7	12,2	12,7
Łotwa / Latvia	16,3	12,8	12,7
Luksemburg / Luxembourg	6,2	6,3	6,6
Niemcy / Germany	8,9	7,3	8,0
Polska / Poland	17,2	16,0	16,7
Portugalia / Portugal	12,6	14,0	13,7
Słowacja / Slovakia	13,4	11,3	12,7
Słowenia / Slovenia	11,2	9,0	10,4
Szwecja / Sweden	9,6	8,0	8,5
Rumunia / Romania	15,3	13,5	13,8
Węgry / Hungary	14,5	13,4	12,8
Wielka Brytania / Great Britain	8,5	8,5	8,8
Włochy / Italy	10,7	11,9	13,2

2.3. The action aimed at reducing the emission

One of commonly applied ways of improving the situation in Western Europe consists in development and implementation of renewable energy technologies (i.e. solar batteries, wind and water power plants).

Abandonment of supporting construction of large-scale wind farms, according to current policy of our country, remains incomprehensive. Based on the strategic document devoted to renewable energy sources the topic of was addressed only to the farms [35].

Another government document pertaining to the country's development strategy indicates that the planned increase in the share of the energy coming from renewable sources amounts from 11.45% (2014) to 15% in 2020, giving only about 0.5% of annual growth rate [41].

Both of these government documents related to the country's development strategy entirely neglect the

spalinowych tych pojazdów [8].

Ponadto należy mieć na uwadze wiek eksploatowanych w Polsce samochodów osobowych, co w przypadku ich wcześniejszych lat produkcji przekłada się na starsze rozwiązania techniczne, a to skutkuje negatywnym oddziaływaniem na środowisko. Polska w tym zestawieniu zajmuje niestety niechlubne ostatnie miejsce. W odniesieniu do samochodów dostawczych i ciężarowych sytuacja jest bardzo podobna [17], [32].

Jednym z obecnie rekomendowanych sposobów ograniczania zanieczyszczeń pochodzących z eksploatowanych samochodów jest wprowadzanie na rynek samochodów z napędem elektrycznym. Konsekwentnie za tym kierunkiem działania musi jednak iść intensywne rozwijanie technologii odnawialnych źródeł energii. W przeciwnym razie problem z "rury wydechowej" przeniesie się na "kominy elektrowni węglowych".

Systematyczne ograniczanie liczby samochodów wywołujących opisane wyżej negatywne oddziaływanie na środowisko i klimat może być także skutkiem uatrakcyjnienia oferty przewoźników realizujących transport zbiorowy. Do takich działań przewoźnicy powinni sukcesywnie wdrażać do eksploatacji nowoczesne środki transportu zbiorowego.

2.3. Działania w celu ograniczenia emisji zanieczyszczeń

Jednym z powszechnie wdrażanym w Zachodniej Europie sposobów poprawy sytuacji jest rozwijanie i wdrażanie technologii źródeł odnawialnych (baterie słoneczne, elektrownie wiatrowe i wodne).

Niezrozumiałe jest zaniechanie wspierania budowy na szeroką skalę elektrowni wiatrowych w aktualnej polityce naszego kraju. Przykładowo w strategicznym dokumencie temat odnawialnych źródeł energii odniesiony został tylko do gospodarstw rolnych [35].

Z innego dokumentu rządowego dotyczącego strategii rozwoju państwa wynika, że planuje się wzrost udziału energii ze źródeł odnawialnych z 11.45% (rok 2014) do 15% w roku 2020, co daje tylko ok. 0,5% rocznie [41].

W obu tych dokumentach rządowych dotyczących strategii rozwoju kraju nie znalazły się żadne plany dotyczące uruchomienia działań dla wdrożenia systemu tram-train w polskich aglomeracjach.

Zarówno dane w tablicy 1 jak i na rys. 3 wskazują wyraźnie, że jednym ze sposobów ograniczenia szkodliwej dla zdrowia człowieka emisji zanieczyszczeń stałych i gazowych z samochodów jest stopniowe ograniczanie ich liczby w ruchu aglomeracyjnym poprzez tworzenie lepszej oferty przewozowej na tym obszarze [4], [5], [42].

Ograniczenie emisji może być wynikiem m. in. wymiany spalinowych autobusów do obsługi transportu zbiorowego w aglomeracjach na autobusy elektryczne. Przykładowo, planuje się że do grudnia 2019 r. na ulicach Poznania pojawią się pierwsze kursowe auto-

implementation of the tram-train system in Polish agglomerations.

The data of the Table 1 and Figure 3 clearly indicate that one of the ways to reduce the harmful solid and gaseous pollutants emitted by the cars consists in gradual reduction of their number in the agglomeration traffic by ensuring better transportation offer in this area [4], [5], [42].

Reduction of the emission may result, among others, from replacing the buses of public transport in agglomerations, powered by combustion engines, with the electric ones.

It is foreseen for example that the first electric buses should appear on the streets of Poznań by December 2019. The Poznań authorities decided to purchase 21 such ecological buses [7]. Implementation of the system designed for charging the energy storage of motor vehicles (buses and cars) is a minor issue. On the other hand, the current state of implementation of the renewable energy sources enabling the escape from the exhaust pipes and chimneys of coal power plants, is of higher concern.

The main changes should be related to subsidiary purchases and tram modernization plans, as well as the purchases of new vehicles intended for new lines to be launched. These should be modern and energy-efficient trams, provided with high-efficiency energy storage devices or even photovoltaic sources.

The tram driver should be assisted by intelligent, computer systems, allowing to determine the parameters of energy-saving driving behaviour [6].

Equipment of the substation supplying the overhead contact lines should be retrofitted with photovoltaic sources and high-efficiency energy reservoirs able to absorb the power generated during regenerative braking, in case it cannot be received by another tram. This shall significantly reduce the energy demand from the fossil fuel power plants that will operate still a long time, contaminating the atmosphere.

3. Implementation of ecological public transport systems in the agglomerations

3.1. A fast tram as a part of the public transport in agglomerations

At first the activities of the management boards of large cities in Poland should be considered aimed at creation of agglomeration and metropolitan areas. The "ESPON project 1.4.3. Study on Urban Functions. Final Report. March 2007", developed under the ESPON program (*European Observation Network for Territorial Development and Cohesion*) [31] identified the Functional Urban Areas, specifying the *Metropolitan European Growth Areas* (MEGA). Four characteristic metropolis categories have been distinguished among the MEGA. Among the areas of lower category there are 8 centres in Poland:

- ✓ Warsaw: potential 3rd order MEGA;

buses elektryczne. Władze Poznania zdecydowały się na zakup 21 takich ekologicznych autobusów [7]. Mniejszym kłopotem jest wdrożenie systemów ładowania zasobników energii pojazdów samochodowych (autobusów i aut), większym natomiast jest aktualny stan wdrażania odnawialnych źródeł energii, czyli ucieczka od przysłowiowej rury wydechowej, jak również od kominów elektrowni węglowych.

Zasadnicze zmiany powinny dotyczyć zakupów uzupełniających i planów modernizacji tramwajów, a także zakupów dla nowych linii planowanych do uruchomienia. Powinny to być nowoczesne tramwaje, energooszczędne, wyposażone w wysokowydajne zasobniki energii, a nawet źródła fotowoltaiczne.

Prowadzenie tramwaju przez motorniczych powinno być wspomagane przez inteligentne, komputerowe systemy wyznaczania parametrów energooszczędnej jazdy [6].

Wyposażenie podstacji zasilających sieci trakcyjne powinno być unowocześniane na drodze ich wyposażania w źródła fotowoltaiczne oraz wysokowydajne zasobniki energii, które absorbowałyby energię wytwarzaną w trakcie hamowania odzyskowego, w przypadku braku jej odbioru przez inny tramwaj w będący w fazie poboru energii. To w znacznym stopniu odciąży elektrownie, które przez długi jeszcze czas będą spalały paliwa kopalne, zanieczyszczając atmosferę.

3. Wdrażanie ekologicznych systemów komunikacji zbiorowej w aglomeracjach

3.1. Szybki tramwaj elementem komunikacji zbiorowej w aglomeracjach

Na wstępie należy odnieść się do działań zarządów dużych miast w Polsce dotyczących tworzenia aglomeracji i metropolii. W dokumencie "ESPON project 1.4.3. Study on Urban Functions. Final Report. March 2007", opracowanym w ramach programu ESPON (*European Observation Network for Territorial Development and Cohesion*) [31], zidentyfikowano obszary funkcjonalne FUA (ang. *Functional Urban Area*), gdzie wyróżniono Europejskie Metropolitalne Obszary Wzrostu MEGA (ang. *Metropolitan European Growth Areas*). Wśród MEGA wydzielono 4 charakterystyczne kategorie metropolii. Do obszarów niższych kategorii zaliczono 8 ośrodków w Polsce:

- ✓ Warszawa: potencjalna metropolia europejska III rzędu (ang. *potential MEGA*)
- ✓ Kraków, Katowice, Trójmiasto, Poznań, Wrocław, Łódź, Szczecin: słabo wykształcone metropolie europejskie IV rzędu (ang. *weak MEGA*).

W celu odniesienia się do zagadnienia komunikacji zbiorowej w aglomeracji warto przytoczyć jej definicję, z której wynikają powody intensywnego przemieszczania się jej mieszkańców. Definicja aglomeracji wg [28] jest następująca: *aglomeracja to zespół miast i osiedli, skupionych wokół dużego miasta lub*

- ✓ Kraków, Katowice, Tri-City, Poznań, Wrocław, Łódź, Szczecin: poorly developed 4th order European Metropolitan Areas (weak MEGA).

In order to consider the public transport in an agglomeration its definition should be highlighted which indicates the reasons for intensive movement of its inhabitants. According to [28] *the agglomeration* is defined as *a set of cities and settlements, gathered around a large city or industrial centre*. Taking this into account the above mentioned Polish cities classified among the lower-class metropolitan areas may be certainly considered as agglomerations.

Therefore, consideration of development of the agglomerations is justified. At the same time, prior to implementation of the long-term plans of developing the metropolitan areas in Poland attention should be paid to the amenities for their residents. One of the elements of such amenities is the public transport.

One of the ways to make the public transport offer in the agglomerations more attractive consists in building fast, collision-free tram routes. Such communication is already implemented in several Polish cities.

The first and most modern fast public transport route in Poland, the Poznań Fast Tram (PST) was opened in 1997. The route is 6.1 km long, or 6.4 km including the tram reversing loops. The overhead contact line is 13 km long. Traveling speed on the PST without taking into account the stops on the final loops amounts on the average to 34.9 km/h. For comparison – on the other tram lines it is 17.7 km/h. The PST route in its prevailing part runs along a former railway infrastructure and makes use of some facilities of the infrastructure [15], [23].

In 1994 the General Development Plan of the City of Cracow was approved, in which the subway construction was abandoned in favour of a fast tram. The new investment was intended to use the already built tunnel section, however, to be completed for the north-south instead of east-west communication.

Between 1995 and 1999, another 605 m tunnel was built under Lubomirskiego Str. Shortly after that construction of the tram route from Wielicka Str. to the Kurdwanów housing estate was launched, where the first KST corridor connecting the north with the south of the city was intended to end.

The tram line 52 is currently 18 km long and the entire travel lasts less than an hour. The tram line 50 is currently 14 km long (inclusive of a 1,538 m tunnel), but its final length will grow after termination of the next construction stage. The KST route intersects the railway lines several times. The tram track runs through the first tram tunnel in Poland where the vehicles shall run with a maximum safe speed of 60 km/h. At present the speed limit amounts to 30 and 40 km/h. Under the assumptions the entire travel should last 30 minutes. The city's plans include the KST

ośrodka przemysłowego. W takim ujęciu ww. polskie miasta kwalifikowane do metropolii niższych kategorii są z pewnością aglomeracjami.

Zasadne jest zatem skoncentrowanie się na rozwoju aglomeracji, w tym na udogodnieniach dla ich mieszkańców, jako działaniem podstawowym, realizowanym przed odległymi, perspektywicznymi planami rozwijania metropolii w Polsce. Jednym z takich elementów udogodnień dla mieszkańców jest komunikacja zbiorowa.

Jednym ze sposobów uatrakcyjniania oferty w komunikacji zbiorowej w aglomeracjach jest budowa szybkich, bezkolizyjnych tras tramwajowych. Takie elementy komunikacji wdrożono już w kilku polskich miastach.

Jako pierwszą i najnowocześniejszą w Polsce trasę szybkiej komunikacji miejskiej, Poznański Szybki Tramwaj (PST), oddano do użytku w 1997 roku. Długość trasy wynosi 6,1 km, a wraz z pętlą 6.4 km. Sieć trakcyjna ma 13 km. Prędkość komunikacyjna na PST bez postoju na pętlach końcowych wynosi średnio 34,9 km/h, a dla porównania na innych liniach tramwajowych to 17,7 km/h. Trasa PST w znaczącej części przebiega na dawniejszej infrastrukturze kolejowej, wykorzystuje niektóre obiekty infrastruktury kolejowej [15], [23].

W 1994 uchwalono Plan Ogólnego Zagospodarowania Miasta Krakowa, w którym zrezygnowano z budowy metra na rzecz szybkiego tramwaju. Nowa inwestycja miała wykorzystywać wybudowany już odcinek tunelu, który miał być jednak dokończony dla komunikacji północ-południe zamiast wschód-zachód.

Między 1995 a 1999 r. wybudowano kolejne 605 m tunelu pod ulicą Lubomirskiego, a niedługo później rozpoczęto budowę trasy tramwajowej z ul. Wielickiej do osiedla Kurdwanów, gdzie miał kończyć się pierwszy korytarz KST łączący północ z południem miasta. Linia tramwajowa 52 ma obecnie długość 18 km i pokonanie całej trasy trwa niecałą godzinę. Linia tramwajowa 50 ma obecnie długość 14 km (w tym 1538 m w tunelu), jednak docelowa długość ulegnie zmianie po uruchomieniu kolejnego etapu. Trasa KST kilkakrotnie krzyżuje się z liniami kolejowymi. Tory tramwajowe prowadzą przez pierwszy w Polsce tunel tramwajowy, w którym pojazdy będą mogły rozwijać maksymalną bezpieczną prędkość 60 km/h. Obecnie obowiązuje ograniczenie do 30 i 40 km/h. Według założeń cały odcinek ma być pokonywany w 30 minut. W planach miasta jest rozbudowa systemu KST poprzez późniejsze wdrożenie systemu tram-train.

Inwestycje obejmują elementy integrujące obie sieci, modernizację wybranych elementów sieci kolejowej i tramwajowej, szczególnie realizację energetycznych sieci zasilających i przystanków, realizację systemów sterowania i zabezpieczenia ruchu oraz zakup taboru i realizację zaplecza niezbędnego do jego funkcjonowania [21], [43].

expansion by future implementation of the tram-train system.

The investments include the elements integrating both networks, modernization of selected parts of the rail and tram network, with special attention paid to implementation of power supply networks and stops, control systems and traffic protection, as well as the rolling stock purchases and implementation of the facilities necessary for its operation [21], [43].

The Szczecin Fast Tram (SST) is a collision-free tram route in Szczecin, connecting the right-hand and left-hand banks of the city. The investment is designed to provide a quick and efficient connection, combining the advantages of a classic tram and subway. The first section of the 4.0 km route was launched on August 29, 2015. The next one, 2.9 km long, is planned to be built in future years [24].

The construction of a fast tram is also planned in Warsaw. The Municipal Transport Company (MTC) in Warsaw declared in November 2019 that nothing hampers anymore to begin constructions of a fast line connecting the Połczyńska and Kasprzaka Streets. It should be ready within four years. MTC has already obtained a key document including a final and enforceable environmental decision [29].

3.2. Benefits of the tram-train system used in the agglomerations

One of the benefits of the tram-train system implementation consists in the use of the railway lines already existing in the agglomeration. At the same time, their previous use for purposes of the railway traffic results in their more extensive use by sharing them with the trams. The conditions of tram introduction on the railway lines are related both to technical (tram adaptation to the railway infrastructure) and organizational-legal matters [4], [34].

Another benefit lies in increase in the transport offer being a part of public transport, especially for the population living in the so-called agglomeration peripheries. The need of their mobility results from several reasons, like the employment, learning, shopping, participation in cultural events, various forms of recreation in the places located far from the place of residence.

The tram-train system may be implemented in the agglomerations provided with a rail network suitable for it. Taking into account similarity of the tram and railway infrastructure, the latter may be used by the tram-train system after several adaptation steps or after proper retrofitting of the tram to running on railway tracks. The decision on appropriate steps should be preceded by careful analysis.

For example, in most cities in Poland the tram track gauge amounts to 1435 m, just like that of railroad. The height of the overhead contact line is also similar for both vehicle types:

Szczeciński Szybki Tramwaj (SST) to bezkolizyjne połączenie tramwajowe w Szczecinie, łączące prawobrzeżną i lewobrzeżną część miasta. Inwestycja ma za zadanie zapewnić szybkie i sprawne połączenie łączące zalety klasycznego tramwaju i metra. Pierwszy odcinek trasy o długości 4,0 km został uruchomiony 29 sierpnia 2015 roku. Realizacja następnego odcinka o długości 2,9 km jest planowana w późniejszych latach [24].

Budowa szybkiego tramwaju planowana jest także w Warszawie. Tramwaje Warszawskie poinformowały w listopadzie 2019 r., że nic już nie stoi na przeszkodzie, by budować szybką linię łączącą ul. Połczyńską z ul. Kasprzaka. Ma być gotowa w ciągu czterech lat. Spółka tramwajowa uzyskała już kluczowy dokument, jakim jest ostateczna, prawomocna i wykonalna decyzja środowiskowa [29].

3.2. Korzyści ze stosowanie systemów tram-train w aglomeracjach

Jedną z korzyści wdrożenia tego systemu jest wykorzystanie istniejących już linii kolejowych na obszarze aglomeracji, a ich dotychczasowe wykorzystanie do celu prowadzenia ruchu pojazdów kolejowych stwarza możliwości ich bardziej intensywnego wykorzystania, poprzez udostępnienie ich do ruchu pojazdów tramwajowych. Warunki ich wprowadzenia na linie kolejowe dotyczą zarówno spraw technicznych, poprzez ich przystosowanie do infrastruktury kolejowej, jak i organizacyjno-prawnych [4], [34].

Drugą korzyścią jest zwiększenie oferty przewozowej w ramach komunikacji zbiorowej, zwłaszcza dla ludności zamieszkującej tzw. peryferia aglomeracji. Konieczność ich przemieszczania się wynika z kilku powodów: zatrudnienie, nauka, zakupy, uczestnictwo w wydarzeniach kulturalnych, korzystanie z różnych form wypoczynku w miejscach odległych od miejsca zamieszkania.

System tram-train może być wdrażany w aglomeracjach posiadających odpowiednią dla tego systemu sieć tras kolejowych. Infrastruktura kolejowa z uwagi na podobieństwo niektórych rozwiązań do infrastruktury tramwajowej może zostać wykorzystana do wprowadzenia systemu tram-train po zastosowaniu kilku kroków dostosowujących lub też po dostosowaniu wyposażenia tramwaju do jazdy po torach kolejowych. Decyzja o odpowiednich do tego krokach powinna być podjęta po wnikliwych analizach.

Przykładowo w większości miast w Polsce szerokość toru tramwajowego wznosi 1435 m, dokładnie jak kolejowego. Kolejnym podobieństwem technicznym jest wysokość sieci trakcyjnej, która dla obu rodzajów pojazdów jest podobna:

- kolejowa - minimalna wysokość zawieszania przewodów jezdnych ponad główkę szyny według przepisów obowiązujących na PKP S.A. wynosi 4,9 m. Możliwe jest zejście z przewodami jezdny- mi do wysokości 4,85 m na liniach lokalnych,

- on the rail network – according to the regulations binding in PKP S.A. the minimum height of the contact wires above the rail head is 4.9 m. It is possible to lower the contact wire down to 4.85 m on the local lines where the trains run slowly. According to the regulations the normal contact wire height amounts to 5.6 m;
- on the tram network – the overhead contact line is usually suspended at a height of 5.5 m above the rail head. In special cases it may be lower. For example, in a depot or under a bridge, tunnel or other similar structure, the minimum suspension height of the overhead contact line amounts to 4.2 m.

The first attempts to implement the tram-train system should be attributed to Gdansk. Already in 2009 a project was launched, in which the use of newly built rail track for the tram traffic was foreseen.

The assumptions provided that nearly the entire new line should be double-track and non-electrified, with the railway parameters allowing to run with the speed of 120 km/h. According to the agreement between the Marshal's Office of the Pomeranian Voivodeship (the main investor of the Pomeranian Metropolitan Railway) and the City Hall in Gdańsk, a part of this line should also be adapted to tram traffic. Between the Abraham and Rakoczy Streets a two-system line will be built where the tram shall run at the railway track. The Gdańsk tram-train investment will be the first such undertaking in Poland [19].

3.3. Implementation of new public transport systems in the European countries

At present a tendency to develop the ecological transport systems in large agglomerations can be reported. The return to public transport based on the modern trams can be noted, among others in the UK. A special All Party Parliamentary Light Rail Group team has been established in the British Parliament whose task is to initiate implementation of the modern public transport systems such as trams and tram-train solutions.

For example, on February 7, 2019, the APPLRG team arranged a working visit to Sheffield, where the "Sheffield TramTrain" Project is implemented, 15 years after visiting the system in Kassel. The project from *Penistone Line* was transferred to the *Sheffield Rotherham Line*. The Vossloh - Kiepe - Stadler Companies supplied 7 tram-train vehicles [30].

Implementation of the tram-train systems is becoming a common trend in technologically developed countries. This applies not only to the cities of Western Europe, but also to those on other continents:

- Austria: Gmunden, Traunsee
- France: Lyon, Mulhouse, Nantes, Île-de-France (the Paris region – the lines 4 and 11)
- Germany: Chemnitz, Karlsruhe, Kassel, Nordhausen, Saarbrücken, Zwickau

gdzie są małe prędkości kursowania pociągów. Wysokość normalna zawieszenia przewodów jezdnych według przepisów wynosi 5,6 m

- tramwajowa - część napowietrzna sieci trakcyjnej jest zawieszona nad torami na wysokości zwykle 5,5 m mierząc od główki szyny. W szczególnych przypadkach może być ona niższa. Przykładowo, na terenie zajezdni albo jeśli trasa tramwaju przebiega pod mostem, tunelem czy inną tego typu budowlą, minimalna wysokość zawieszenia sieci jezdnej to 4,2 m.

Pierwsze próby wdrożenia systemu tram-train należy przypisać Gdańsku. Już w roku 2009 uruchomiono projekt, w którym przewidywano wykorzystanie nowobudowanych torów kolejowych do ruchu tramwajowego.

Zgodnie z założeniami, prawie na całym odcinku nowa linia ma być dwutorowa i niezelektryfikowana, o parametrach kolejowych, przystosowana do prędkości 120 km na godz. Zgodnie z ustaleniami między Urzędem Marszałkowskim Województwa Pomorskiego (głównym inwestorem Pomorskiej Kolei Metropolitalnej) a Urzędem Miejskim w Gdańsku, fragment tej linii zostanie też przystosowany do ruchu tramwajowego. Pomiędzy ul. Abrahama a ul. Rakoczego powstanie linia dwusystemowa i tramwaj będzie mógł kursować po torach kolejowych. Gdańska inwestycja kolejowo-tramwajowa będzie pierwszym tego typu przedsięwzięciem w Polsce [19].

3.3. Wdrażanie nowych systemów komunikacji zbiorowej w krajach europejskich

Obecnie daje się zauważyć tendencję do rozwijania ekologicznych systemów transportu w dużych aglomeracjach.

Renesans komunikacji zbiorowej opartej na wykorzystaniu nowoczesnych tramwajów można zauważyć m. in. w Wielkiej Brytanii. Przy parlamencie brytyjskim powstał specjalny zespół *All Party Parliamentary Light Rail Group*, którego zadaniem jest inicjowanie wdrożeń nowoczesnych systemów komunikacji zbiorowej, takich jak tramwaje i systemy tram-train.

Przykładowo w dniu 7 lutego br. zespół APPLRG zorganizował wizytę roboczą w Sheffield, gdzie realizowany jest Projekt "Sheffield TramTrain", 15 lat po wizytowaniu systemu w Kassel. Projekt z *Penistone Line* został przeniesiony do *Sheffield Rotherham Line*. Firmy Vossloh – Kiepe – Stadler dostarczyły 7 pojazdów typu tram-train [30].

Wdrażanie systemów tram-train staje się powszechną tendencją w krajach rozwiniętych technologicznie. Dotyczy to już miast nie tylko w zachodniej Europie, lecz także na innych kontynentach:

- Austria: Gmunden, Traunsee
- Francja: Lyon, Mulhouse, Nantes, Île-de-France (region paryski - linie 4 i 11)
- Niemcy: Chemnitz, Karlsruhe, Kassel, Nordhausen, Saarbrücken, Zwickau

- Italy: Cagliari, Sassari
- Spain: Alicante, Cádiz
- Great Britain: Sheffield-Rotherham
- North America: Austin (Texas), New Jersey, Pennsylvania, Salt Lake City, Oceanside (Kalifornia), San Diego [4], [18].

A brief description of the tram-train systems implemented in four exemplary European countries is presented below.

The first two-system tram (the tram-train) in Great Britain was launched on October 25, 2018. It will be operated by Stagecoach Supertram, Network Rail and South Yorkshire Passenger Transport Executive (SYPTTE) Companies.

Passengers in South Yorkshire will first in the country benefit from an innovative tram-train system running on the city tram lines and railway network between Sheffield and Rotherham, that is operated by specially trained tram drivers.

The government-funded venture is a partnership program between SYPTTE, Network Rail, Stagecoach Supertram and Northern Rail, aimed at piloting the pioneering technology.

Three trams per hour will run on the Supertram network from Sheffield Cathedral to Meadowhall South, then they will enter a new track section connecting the tram line with the Tinsley Chord railway line and, afterwards, they will run on the national rail network to Parkgate Shopping Center via Rotherham Central Station.

The South Yorkshire pilot program shall operate for two years with a view to test and assess the level of passenger acceptance, the number of passengers, reliability and costs [27].

The tram-train system has also been launched in Lugano.

Ferrovie Luganesi SA (FLP) ordered nine Tramlink units from Stadler Rail. The CHF 47 million order is a significant investment that shall improve mobility in a region known for its communication problems. Nine new vehicles are expected to be put into regular service within two years. They will run on a route with 1 m track gauge connecting the centre of Lugano with Ponte Tresa.

Over the past 10 years, the number of FLP courses has increased by over 70%. With currently used EMU, type Be 4/12, manufactured in the late 1970s, it was no longer possible to meet the transport requirements in the Lugano urban area.

Additional advantageous effects consist in reduced vibration and noise, and reduction of the travel time.

During peak hours the train capacity will almost double, from 320 to nearly 600 passengers [26].

The first tram of the tram-train system in France was launched in December 2010 in Mulhouse. The rolling stock consists of the Siemens vehicles. At InnoTrans

- Włochy: Cagliari, Sassari
- Hiszpania: Alicante, Cádiz
- Wielka Brytania: Sheffield-Rotherham
- Ameryka Północna: Austin (Texas), New Jersey, Pennsylvania, Salt Lake City, Oceanside (Kalifornia), San Diego [4], [18].

Poniżej przedstawiono skrótoowo charakterystykę wdrożonych systemów tram-train w czterech przykładowych europejskich krajach.

Pierwszy w Wielkiej Brytanii tramwaj dwusystemowy (tram-train) został uruchomiony w 25 października 2018 r. Eksploatowany będzie przez firmy: Stagecoach Supertram, Network Rail i South Yorkshire Passenger Transport Executive (SYPTTE).

Pasażerowie w South Yorkshire jako pierwsi w kraju skorzystają z innowacyjnego systemu tram-train kursującego na miejskich liniach tramwajowych oraz na sieci kolejowej między Sheffield i Rotherham i kierowanego przez specjalnie przeszkolonych motorniczych.

Finansowane przez rząd przedsięwzięcie jest programem partnerskim między SYPTTE, Network Rail, Stagecoach Supertram i Northern Rail i ma na celu pilotowanie pionierskiej technologii.

Trzy tramwaje na godzinę będą kursować w sieci Supertram z Sheffield Cathedral do Meadowhall South, następnie wjadą na nowy odcinek torów łączących linię tramwajową z linią kolejową o nazwie Tinsley Chord, a następnie do krajowej sieci kolejowej do Centrum Handlowego Parkgate przez dworzec centralny Rotherham.

Program pilotażowy w South Yorkshire będzie działał przez dwa lata, w celu testowania i oceny poziomu akceptacji pasażerów, liczby pasażerów, niezawodności i kosztów [27].

System tram-train został uruchomiony także w Lugano.

Firma Ferrovie Luganesi SA (FLP) zamówiła dziewięć jednostek Tramlink od Stadler Rail. Zamówienie za 47 milionów CHF stanowi ważną inwestycję, która pozwoli poprawić mobilność w regionie znanym z problemów komunikacyjnych. Oczekuje się, że dziewięć nowych pojazdów wejdzie do regularnej eksploatacji w ciągu dwóch lat. Będą kursować na trasie z torami o szerokości 1 m, łączącej centrum Lugano z Ponte Tresa.

W ciągu ostatnich 10 lat liczba kursów FLP wzrosła o ponad 70%. Przy obecnie używanych e.z.t. typu Be 4/12, z późnych lat 70. nie było już możliwe spełnienie wymagań transportowych w obszarze miejskim Lugano.

Dodatkowymi pozytywnymi efektami jest zmniejszenie wibracji i hałasu, a także skrócony zostanie czas podróży.

W godzinach szczytu zostanie prawie podwojona pojemność pociągów z 320 do prawie 600 pasażerów [26].

2012 Alstom presented the Citadis Dualis tram, designed for operation both on the tram and rail network. The Dualis trams are operated by French SNCF railways on the TER (Transport Express Regional) network. The first Dualis trams were delivered to Nantes in January 2010. Inauguration of the first 30-kilometer tram-train line from Nantes to Clisson took place in June 2011. In the beginning the trams were running 6 times a day, with the target frequency amounting to 30 minutes. The tram does not run on tram track, but only on the railway line [9], [20].

Another tram-train line from Nantes shall lead to Chateaubriant. The tram is fitted with 6 synchronous permanent magnet motors, developing a power of 150 kW. They are controlled by IGBT inverters. Available power systems are 750 V_{DC} and 25 kV 50 Hz as well as 750 V_{DC} and 1500 V_{DC}.

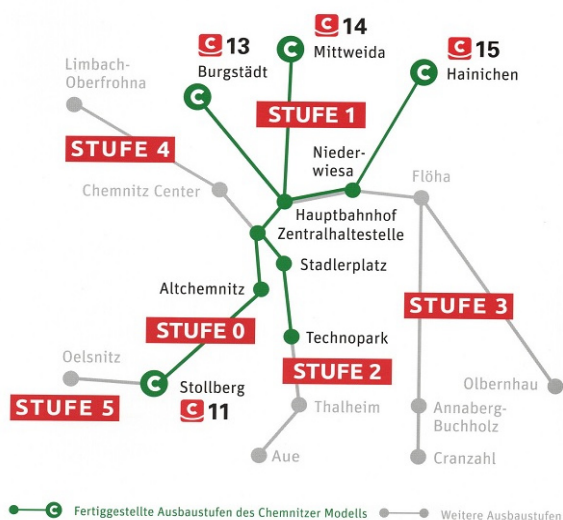
An interesting solution of the tram-train system is used in Chemnitz, Germany [1–3]. The network plan of this system is shown in Fig. 4.

Construction of the network has been divided into 6 stages.

Particularly important feature of this system consists in the use of the trams provided with an additional power-pack drive, allowing to drive on the track sections without the overhead contact line.

There are two variants of the tram doors – in one of them the thresholds are located at the railway platform level, in the other at the height of the tram platform.

Year by year the system is enjoying increasing demand. Number of the passengers more than doubled in the last few years.



Rys. 4. Schemat sieci tram-train w Chemnitz
Fig. 4. Scheme of the Chemnitz tram-train network

The examples of the tram-train systems implemented in European cities as well as the external conditions relating to generating the energy for the means of transport in the agglomerations, inclusive of the negative impact of individual means of transport on the environment condition, clearly indicate validity of

Pierwszy we Francji tramwaj w systemie tram-train uruchomiono w grudniu 2010 r. w Mulhouse. Tabor stanowią tramwaje firmy Siemens. Na InnoTrans 2012 Alstom zaprezentował tramwaj Citadis Dualis, przeznaczony do eksploatacji zarówno na sieci tramwajowej, jak i kolejowej. Tramwaje Dualis są eksploatowane przez koleje francuskie SNCF na sieci TER (Transport Express Regional). Pierwsze tramwaje Dualis dostarczono w styczniu 2010 r. do Nantes. Inauguracja pierwszej, 30-kilometrowej linii tram-train z Nantes do Clisson miała miejsce w czerwcu 2011 r. Tramwaje kursowały początkowo 6 razy dziennie, a docelowa częstotliwość to 30 minut. Tramwaj nie porusza się po torach tramwajowych, a jedynie na linii kolejowej [9], [20].

Druga linia tram-train z Nantes ma prowadzić do Chateaubriant. Tramwaj posiada napęd z 6. silnikami synchronicznymi z magnesami trwałymi o mocy 150 kW. Są one sterowane poprzez falowniki IGBT. Dostępne systemy zasilania to 750 V_{DC} i 25 kV 50 Hz oraz 750 V_{DC} i 1500 V_{DC}.

Ciekawym rozwiązaniem jest system tram-train w niemieckim Chemnitz [1+3]. Plan sieci tego systemu przedstawiono na rys. 4.

Budowa sieci została podzielona na 6 etapów.

Istotniejszą cechą tego systemu to zastosowanie tramwajów z dodatkowym napędem typu power-pack, co umożliwi jazdę na odcinkach torów bez sieci trakcyjnej.

Drzwi tramwaju są zróżnicowane i część ma progi na wysokości peronu kolejowego, a część na wysokości wysepki tramwajowej.

System cieszy się narastającym z roku na rok coraz większym popytem, zanotowano ponad dwukrotny wzrost pasażerów w ostatnich kilku latach.

Podane przykłady wdrożonych systemów tram-train w miastach europejskich oraz warunki zewnętrzne dotyczące pozyskiwania energii do środków transportu w aglomeracjach oraz negatywnego wpływu środków transportu indywidualnego na stan środowiska, wyraźnie wskazują na zasadność podjęcia w skali kraju konkretnych działań związanych z tym systemem, począwszy od uruchomienia prac wstępnych, tj. studium wykonalności, *bussines planu* i analiz typu SWOT (*Strengths, Weaknesses, Opportunities, Threats*).

3.4. Porównanie cech tramwaju i pasażerskich pojazdów kolejowych jako środków transportu w aglomeracjach

Dla porównania zdolności przewozowych tramwaju i pasażerskiego pojazdu kolejowego wzięto pod uwagę dwa typy tramwaju dwukierunkowego oraz dwa typy elektrycznych zespołów trakcyjnych. Dwukierunkowość tramwaju jest istotna ze względu na wyeliminowanie konieczności rozbudowy infrastruktury kolejowej o pętlę wykorzystywaną tylko przez tramwaj.

specific measures to be undertaken on a national scale to manage the problems. The measures should start from the preliminary works, i.e. feasibility study, *business plan* and SWOT (*Strengths, Weaknesses, Opportunities, Threats*) analyses.

3.4. Comparison of the qualities of a tram and railway passenger car to be used for transport purposes in agglomerations

In order to compare the capacity of a tram and railway passenger car, two types of shuttle trams and two EMU types were considered. The shuttle feature of the tram is important since the railway infrastructure needs not necessarily be supplemented by the reversing loops used only by the trams.

The latest types of currently manufactured vehicles [12], [13], [16], [22] were chosen for purpose of the analysis. The compared data are presented in the Table below.

General conclusions concerning the differences between the tram and EMU used for purposes of public transport in an agglomeration are as follows:

- the energy consumption in case of equal transport tasks is several times smaller, nevertheless, it decreases even up to several times higher value when the vehicle is not full. The energy consumption during full-power run over a distance of 1 km in the case of average filling of the vehicle, e.g. with 150 passengers, ranges from 18 and 25 Wh for a tram, and from 79 to 94 Wh for EMU. Energy consumption during full-power run over a section of 3.5 km (assumed as an average length of a suburban section route) and for average filling as above varies between 62 and 87 Wh for a tram, and from 140 to 152 Wh for EMU. The discrepancy is a consequence of various parameters of the drivetrain.
- lower impact on the track resulting from considerably lower vehicle mass (lower cost of the railway structure maintenance);
- possible application of flexible timetables, i.e. increased frequency of the trams as compared to EMU, at similar operating costs.

Moreover, it should be noticed that electricity in Poland still a long time will be generated by coal-fired power plants, as the plan of the renewable energy implementation is spread over many years. Increase in application of the renewable energy assumed in the government projects amounts about to 0.5% yearly.

All these circumstances indicate advisability of immediate intensification of the efforts aimed at using the existing railway infrastructure for purposes of the tram-train public transport system. This applies to all the fields of activity necessary for positive and quick implementation, such as adaptation of the tram construction and equipment allowing to operate it on the railway tracks, as well as the legal regulations pertain-

Do analizy wybrano najnowsze typy aktualnie produkowanych pojazdów [12], [13], [16], [22]. Dane do porównania przedstawiono w poniższej tablicy.

Zestawienie danych do szacunkowego porównania poboru energii przez pojazdy w ruchu aglomeracyjnym **Tablica 3**
The data set for rough comparison of the energy demand of the vehicles in agglomeration traffic **Table 3**

Parametr Parameter	Tramwaj Tram		E.z.t. EMU	
	Nevelo (Newag)	Twist (PESA)	Elf (27WE) (PESA)	Impuls (Newag)
Masa pojazdu pustego [t] Mass of an empty vehicle	42,5	64	190,5	197
Maksymalna liczba pasażerów Maximum number of the passengers	239	284	975	903
Masa pojazdu obciążonego *) [t] Mass of a laden vehicle	59,23	83,9	258,75	260,2
Moc nominalna [kW] Rated power	420	630	1960	2340
V_{max} przejazdu V_{max} of the travel	75	80	100	100
Przybliżony czas jazdy forsownej na odcinku 1 km [s] Approximate duration of 1 km full-power run	65,4	65,2	66	70
Szacunkowy pobór energii na odcinku 1 km [kWh] Estimated power consumption at 1 km section	5,6	7,8	17,9	15,0
Szacunkowy pobór energii na pasażera (1 km) ** [Wh] Estimated power consumption per one passenger (1 km)	14	17	15	18
Szacunkowy pobór energii na pasażera (1 km) *** [Wh] Estimated power consumption per one passenger (1 km)	18	25	79	94
Przybliżony czas jazdy forsownej na odcinku 3,5 km [s] Approximate duration of 3.5 km full-power run	185	178	155	159
Szacunkowy pobór energii na odcinku 3,5 km [kWh] Estimated power consumption at 3.5 km section	11,8	16,5	29,0	22,7
Szacunkowy pobór energii na pasażera (3,5 km) ** [Wh] Estimated power consumption per one passenger (3.5 km)	49	58	30	27
Szacunkowy pobór energii na pasażera (3,5 km) *** [Wh] Estimated power consumption per one passenger (3.5 km)	62	87	152	140

*) - do obliczenia masy pojazdu obciążonego przyjęto masę pasażera 70 kg
- the mass of laden vehicle is calculated assuming the passenger mass of 70 kg

**) - przy pełnym zapelnieniu pojazdu, jazda forsowna
- with full vehicle and full-power run

***) - dla 150 pasażerów, jazda forsowna
- with 150 passengers, full-power run

Wnioski ogólne dotyczące różnic między zastosowaniem tramwaju i e.z.t. w komunikacji zbiorowej w aglomeracji są następujące:

- kilkakrotnie mniejsze jest zużycie energii przy tych samych zadaniach przewozowych, osiągając wartości nawet kilkakrotnie mniejsze w sytuacji braku pełnego zapelnienia pojazdu. Zużycie energii podczas jazdy forsownej na odcinku 1 km w przypadku przeciętnego zapelnienia, np. 150 pasażerami, kształtuje się na poziomie od 18 do 25 Wh dla tramwaju, a dla e.z.t. od 79 do 94 Wh. Zużycie energii podczas jazdy forsownej na odcinku 3,5 km (przyjęto średnią długość odcinka dla tras podmiejskich) w

ing to the certificates of entry the trams into service and their subsequent operation.

During analysis of economic efficiency the other costs associated with operation of the tram-train system should also be considered. It is necessary to take into account not only the above-estimated cost of the energy consumption during day-to-day operation, but also the other causes of the cost growth that affect the comparative assessment of the tram-train system:

- the investment preparation stage: design studies, feasibility study, construction plans;
- supplementing or construction of the infrastructure, technical facilities;
- management of the infrastructure;
- employment costs of the staff for all tasks;
- inspection and repair work.

BIBLIOGRAPHY / BIBLIOGRAFIA

- [1] 2002-2018. *Das Chemnitzer model. Folder firmy Verkehrsverbund Mittelsachsen GmbH*
- [2] *Ab Ende 2020 mit der "Straßenbahn" von Chemnitz nach Aue.* <https://www.mdr.de/sachsen/chemnitz/chemnitz-stollberg/vms-ausbau-chemnitzer-modell-aue-100.html>
- [3] *Chemnitz tram-train passenger traffic doubles.* <https://www.railjournal.com/passenger/light-rail/chemnitz-tram-train-passenger-traffic-doubles/>
- [4] Durzyński Z., Pacholek M, Cichy R.: *Conditions for using of trams on railway tracks sections in agglomeration communication in Poland. Materiały konferencyjne MET'2017. MATEC Web of Conferences 180, 03002 (2018)*
- [5] Durzyński Z., Pacholek M, Cichy R.: *The premisses for adapting tram for driving on various types of track in an urban agglomeration. Pojazdy Szynowe 4/2017*
- [6] Durzyński Z.: *Podstawy metody wyznaczania parametrów energooszczędnej jazdy pojazdów trakcyjnych na obszarach aglomeracyjnych. Pojazdy Szynowe 2011 nr 3*
- [7] *Głos Wielkopolski. 10 października 2018*
- [8] Harkins J.: *Oslo Effect2. Trams' effective role in tackling urban air quality. Materiały Konferencyjne MET2017. Warszawa*
- [9] http://infotram.pl/alstom-citadis-dualis-tramwaj-dwusystemowy_more_49354.html
- [10] <http://monitoring.krakow.pios.gov.pl/dane-pomiarowe/automatyczne/stacja/16/parametry/2032-144-149-146-148-242-143-145/roczny/2019>
- [11] http://powietrze.gios.gov.pl/pjp/content/annual_assessment_air_acceptable_level
- [12] <http://skm.warszawa.pl/ezt-27-we.html>
- [13] <http://skm.warszawa.pl/ezt-35-we.html>
- [14] <http://www.gios.gov.pl/pl/aktualnosci/294-normy-dla-pylow-drobnych-w-polsce>
- [15] <http://www.mpk.poznan.pl/inwestycje/infrastruktura/182-pst-poznanski-szybki-tramwaj/228-poznanski-szybki-tramwaj>

przypadku przeciętnego zapełnienia jw. kształtuje się na poziomie od 62 do 87 Wh dla tramwaju, a dla e.z.t. od 140 do 152 Wh. Rozrzut wynika z różnych parametrów układu napędowego.

- mniejsze oddziaływanie na tor wynikające ze znacznie mniejszej masy pojazdu (niższe koszty utrzymania struktury kolejowej)
- możliwość stosowania elastycznych rozkładów jazdy, tzn. zwiększona częstość kursowania tramwajów w stosunku do e.z.t., przy porównywalnych kosztach eksploatacji.

Ponadto należy mieć na uwadze, że energia elektryczna w Polsce w długim jeszcze okresie czasu będzie uzyskiwana z elektrowni węglowych, jako że plan wdrażania odnawialnych źródeł energii został rozpisany na długie lata, bowiem zakładany w planach rządowych przyrost to ok. 0,5 % rocznie.

Wszystkie te okoliczności wskazują na celowość bezwzględnej intensyfikacji działań dla wykorzystania istniejącej infrastruktury kolejowej przez systemu transportu zbiorowego typu tram-train. Dotyczy to wszystkich obszarów działań koniecznych dla pozytywnego i szybkiego wdrożenia, takich jak przystosowanie budowy i wyposażenia tramwaju w zakresie niezbędnym do jazdy po torach kolejowych oraz regulacji prawnych w zakresie świadectw dopuszczania tramwajów do ruchu jak i ich późniejszej eksploatacji. W analizach efektywności ekonomicznej należy brać także pod uwagę inne koszty związane z eksploatacją systemu tram-train. Należy uwzględnić nie tylko wyżej szacowane koszty związane z poborem energii w bieżącej eksploatacji, lecz także inne elementy generujące koszty wpływające na ocenę porównawczą systemu tram-train:

- etap przygotowania inwestycji: prace projektowe, studium wykonalności, plany budowlane
- uzupełnienie lub budowa infrastruktury, zaplecza technicznego
- obsługa infrastruktury
- koszty zatrudnienia pracowników do realizacji wszystkich zadań
- prace przeglądowo-naprawcze.

[16] http://www.pesa.pl/wp-content/uploads/2018/07/tramwaje_PL.pdf

[17] <https://ec.europa.eu/eurostat/web/transport/data/database>

[18] <https://en.wikipedia.org/wiki/Tram-train>

[19] <https://gdansk.naszemiasto.pl/w-gdansk-tramwaje-|beda-jezdzic-po-torach-kolejowych/ar/c4-16915>

[20] <https://kurierkolejowy.eu/aktualnosci/18292/citadis-dualis--czyli-tramwaj-na-torach-kolejowych.html>

[21] https://pl.wikipedia.org/wiki/Krakowski_Szybki_Tramwaj

[22] https://pl.wikipedia.org/wiki/Newag_Nevelo

[23] https://pl.wikipedia.org/wiki/Pozna%C5%84ski_Szybki_Tramwaj

- [24] [https://pl.wikipedia.org/wiki/Szczeci%C5%84ski_Szybki_Tr
amwaj](https://pl.wikipedia.org/wiki/Szczeci%C5%84ski_Szybki_Tramwaj)
- [25] [https://powietrze.poznan.wios.gov.pl/dane-
pomiarowe/automatyczne/stacja/2/parametry/16-23-30-25-
28-3032-22-17-24/roczny/2019](https://powietrze.poznan.wios.gov.pl/dane-pomiarowe/automatyczne/stacja/2/parametry/16-23-30-25-28-3032-22-17-24/roczny/2019)
- [26] [https://railcolornews.com/2018/07/09/ch-stadler-rail-tram-
trains-for-lugano/](https://railcolornews.com/2018/07/09/ch-stadler-rail-tram-trains-for-lugano/)
- [27] [https://sheffieldnewsroom.co.uk/partner-
news/tram_train_launch/](https://sheffieldnewsroom.co.uk/partner-news/tram_train_launch/)
- [28] <https://sjp.pwn.pl/sjp/aglomeracja;2549040.html>
- [29] [https://warszawa.wyborcza.pl/warszawa/1,34862,20901960,
komunikacja-w-warszawie-szybki-tramwaj-na-woli-zbudujana.html](https://warszawa.wyborcza.pl/warszawa/1,34862,20901960,komunikacja-w-warszawie-szybki-tramwaj-na-woli-zbudujana.html)
- [30] <https://www.applrguk.co.uk/Latest-news>
- [31] [https://www.espon.eu/programme/projects/espon-
2006/studies-and-scientific-support-projects/study-urban-
functions](https://www.espon.eu/programme/projects/espon-2006/studies-and-scientific-support-projects/study-urban-functions)
- [32] [https://www.wyorkierowcow.pl/wiek-samochodow-w-
europie-wiadomosci/](https://www.wyorkierowcow.pl/wiek-samochodow-w-europie-wiadomosci/)
- [33] Makowska M.: Źródła i skutki zanieczyszczeń powietrza. 2016 r. [http://ooidkz.wckp.lodz.pl/sites/default
/files/%C5%B9r%C3%B3d%C5%82a%20i%20skutki%20za-
nieczyszcze%C5%84%20powietrza.pdf](http://ooidkz.wckp.lodz.pl/sites/default/files/%C5%B9r%C3%B3d%C5%82a%20i%20skutki%20zanieczyszcze%C5%84%20powietrza.pdf)
- [34] Maternini G. i inni: *Effect of realization of a new tram-train*
- [35] *system for the regeneration of urban areas. The case of the metropolitan area of Brescia.* [https://www.academia
/edu/29020646](https://www.academia.edu/29020646)
- [36] *Plan na rzecz Odpowiedzialnego Rozwoju. Ministerstwo Rozwoju.* Warszawa 2016
- [37] *Raport SVS_2017.rdl.* [https://gdansk.stat.gov.pl/statystyczne-vademecum-
samorzadowca/](https://gdansk.stat.gov.pl/statystyczne-vademecum-samorzadowca/)
- [38] *Raport SVS_2017.rdl.* [https://krakow.stat.gov.pl/statystyczne-vademecum-
samorzadowca/](https://krakow.stat.gov.pl/statystyczne-vademecum-samorzadowca/)
- [39] *Raport SVS_2017.rdl.* [https://poznan.stat.gov.pl/statystyczne-vademecum-
samorzadowca/](https://poznan.stat.gov.pl/statystyczne-vademecum-samorzadowca/)
- [40] *Raport SVS_2017.rdl.* [https://wroclaw.stat.gov.pl/statystyczne-vademecum-
samorzadowca/](https://wroclaw.stat.gov.pl/statystyczne-vademecum-samorzadowca/)
- [41] *Rocznik Statystyczny Rzeczypospolitej Polskiej. GUS. 2018*
- [42] *Strategia na rzecz Odpowiedzialnego Rozwoju do roku 2020 (z perspektywą do 2030 r.).* Warszawa. 2017
- [43] Szczyt A., Żurawlew J., Krawczyk L.: *Modernizacja infrastruktury tramwajowej w Gdańsku jako działanie na rzecz promocji transportu zbiorowego. XII Konferencja Naukowa "Drogi Kolejowe 2003".* [http://www.dk2003.pg.gda.pl/
konferencja-dk2003.pdf](http://www.dk2003.pg.gda.pl/konferencja-dk2003.pdf)
- [44] Wańkowicz W.: *Zagadnienia formalnoprawne, a dwusystemowy Krakowski Szybki Tramwaj.* TTS nr 1-2/2000