

## Autonomiczne pojazdy

### *Autonomous vehicles*

Piotr Kardasz<sup>1</sup>, Onyshchuk Lyubov<sup>2</sup>, Ewa Kardasz<sup>3</sup>

**Streszczenie:** W niniejszym artykule przedstawiono sposób działania pojazdów. Przedstawiono wiele obliczeń uzasadniających pozytywne strony pojazdów autonomicznych oraz porównano koszty użytkowania pojazdów autonomicznych z autobusami i tramwajami. Omówiony został również przykładowy system komunikacji z wykorzystaniem pojazdów autonomicznych.

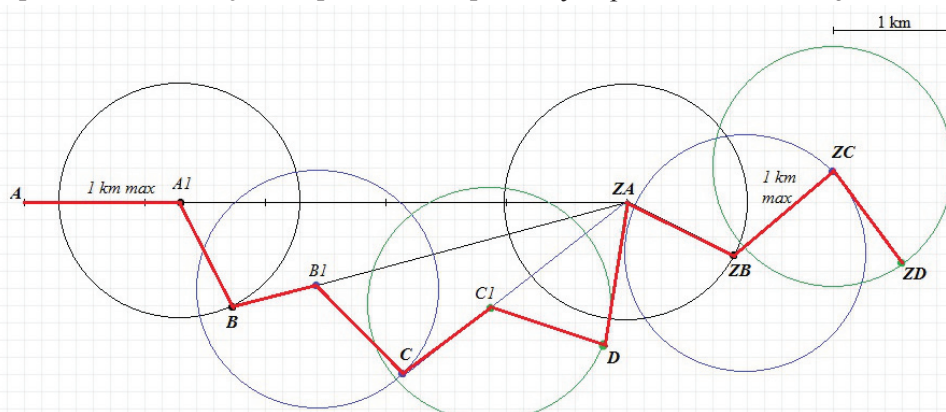
**Abstract:** The following article contains information about how autonomous vehicles works. It presents many calculations justifying positive sides of the autonomous vehicles, also the costs of using autonomous vehicles and trams, buses had been compared. The articles also contains example of city communications system with the use of autonomous vehicles

**Słowa kluczowe:** Autonomiczne pojazdy, Automatyczny system komunikacji miejskiej, komunikacja miejska, nowoczesna komunikacja miejska, przyszłość pojazdów

**Keywords:** Autonomous vehicles, autonomous city communication system, city communication system, modern city communication, the future of vehicles

Komunikacja miejska zderza się z wieloma problemami. Jednym z najczęściej wskazywanych przez osoby mieszkające we Wrocławiu jest spowolnienie ruchu i, co za tym idzie, spędzanie dużej liczby godzin w korkach. Jest to kwestia, o której mówią nie tylko posiadacze samochodów, lecz także ci, którzy poruszają się komunikacją zbiorową. Wprowadzono dużą liczbę rozwiązań, aby usprawnić działanie środków komunikacji miejskiej, przede wszystkim w tak zwanych godzinach szczytu. Nie przynoszą one jednak pożądanego rezultatu. Temat należy więc przeanalizować na nowo, poszukać innowacyjnych rozwiązań tego problemu. Trzeba jednak pamiętać, że po-

dane propozycje muszą mieć na względzie usprawnienie ruchu na drogach oraz kwestie związane z ochroną środowiska. W związku z wyżej wymienionymi pobudkami, w niniejszym artykule, postanowiłem poruszyć temat autonomicznych pojazdów i praktycznego ich wykorzystywania – wskazać ich mocne i słabe strony, skutki zastosowania oraz możliwe rezultaty dłuższego ich wykorzystywania. Kolejno – zestawie konwencjonalne metody traktowania komunikacji miejskiej z innowacyjnymi rozwiązaniami. Przedstawię też wstępny kosztorys zakupu oraz eksploatacji floty, która to miałaby być użyta we wszystkich podanych przeze mnie rozwiązaniach.



Rys. 1. Zasady działania systemu sterowniczego. Źródło: Onyshchuk Lyubov Autonomiczne pojazdy jako nowy sposób rozwoju komunikacji miejskiej, praca dyplomowa 2017

1. Piotr Kardasz – Wrocławska Wyższa Szkoła Informatyki Stosowanej we Wrocławiu, Wydział Automatyki i Robotyki, ul. M. Lutra 4, 54-239 Wrocław

2. Onyshchuk Lyubov - Instytut Innowacyjności Sp. zo.o., Henryka Arctowskiego 28/1 53-211 Wrocław, Fundacja Badań Rozwoju i Innowacji Legnicka 65 54-206 Wrocław

3. Ewa Kardasz - Fundacja Badań Rozwoju i Innowacji Legnicka 65 54-206 Wrocław, Polski Instytut Eko Energii Sp. zo.o. Piłsudskiego 74 50-020 Wrocław

Powyższy rysunek ukazuje model działania systemu autonomicznych będących środkiem transportu komunikacji miejskiej w danym czasie, gdzie symbole oznaczają kolejno:

A, B, C, D – pasażer: pierwszy, drugi, trzeci, czwarty

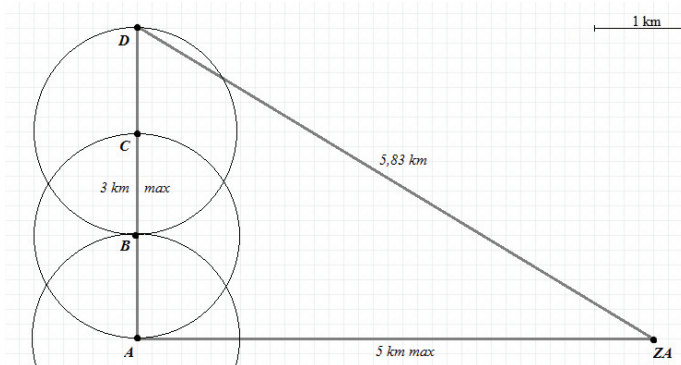
A1, B1, C1 – punkt reagowania systemu na pasażera: B, C, D

ZA, ZB, ZC, ZD – miejsce docelowe pasażera: A, B, C, D.

Pasażer pierwszy zgłasza miejsce, w którym się znajduje (punkt A) i miejsce docelowe (punkt ZA). Wtedy wolne auto zabiera go, a system wyszukuje, w promieniu 1 km, kolejnych pasażerów. Osoba w punkcie B zgłasza swoją pozycję i trasę do punktu ZB. Drugi pasażer znajduje się w odległości 1 km od trasy A – ZA, a punkt docelowy także jest w tej granicy, system zmienia kierunek jazdy i zabiera pasażera B. Pierwszeństwo ma pierwszy pasażer, dlatego trasa jest prowadzona do punktu ZA. W ten sposób system poszukuje kolejnych pasażerów. Na zabranie jednego pasażera pojazd dostaje 3 minuty, co zgodnie z powyższymi wytycznymi, daje prędkość 20 km/h. Istotny jest dobór trasy – miejsca docelowe pasażerów mogą być od siebie oddalone o najwyżej 1 km. W związku z tym maksymalny czas podróży może przedłużyć się zaledwie o 12 min dla każdego pasażera.

Rys. 2 Maksymalne wydłużenie podróży.

Źródło: Onyshchuk Lyubov Autonomiczne pojazdy jako nowy sposób rozwoju komunikacji miejskiej, praca dyplomowa 2017.

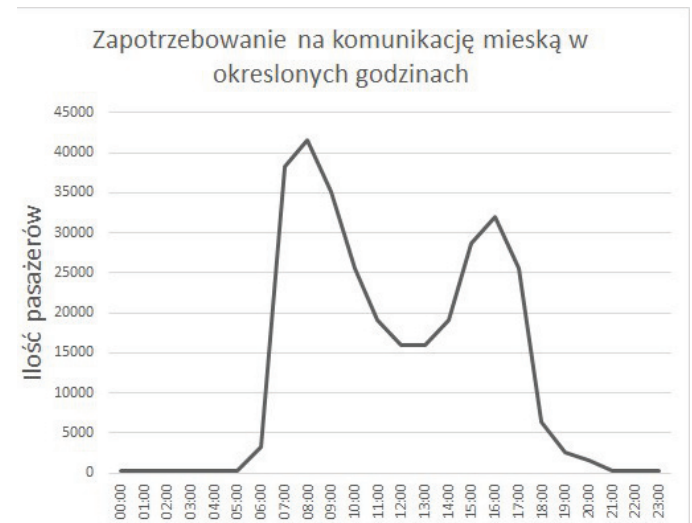


Powyżej ukazana została zastosowana metoda obliczeń, gdzie: droga A – ZA trwa 15 min przy prędkości 20 km/h. Przy wydłużeniu trasy o 3,83 km, czas wydłuży się o 11,5 min. Dane zostały wyliczone na podstawie trasy o maksymalnej długości 5 km. Wydłużenie trasy będzie równe wydłużeniu czasu oczekiwania. Użytkownik określa trasę przejazdu poprzez skorzystanie z aplikacji. System szuka podobnych kierunków w zasięgu 1 km od pasażera. jeśli taka trasa istnieje, następuje aktualizacja zadania dla pojazdu. Klient i operator w tym samym czasie dostają potwierdzenie i informację z miejscem zatrzymania. Jeśli podobna trasa nie istnieje, system generuje nowy przejazd i wysyła dane do pasażera oraz kierowcy. Proces wyszukiwania dostępnego pojazdu jest zakończony, gdy pasażer potwierdza otrzymanie miejsca w samochodzie, również poprzez aplikację.

Co do płatności – przyjmuje się stały koszt przewozu, taki jak w komunikacji miejskiej. W wypadku, gdy pasażer nie

ma dostępu do aplikacji, w mieście można zainstalować punkty dostępu do komunikacji miejskiej.

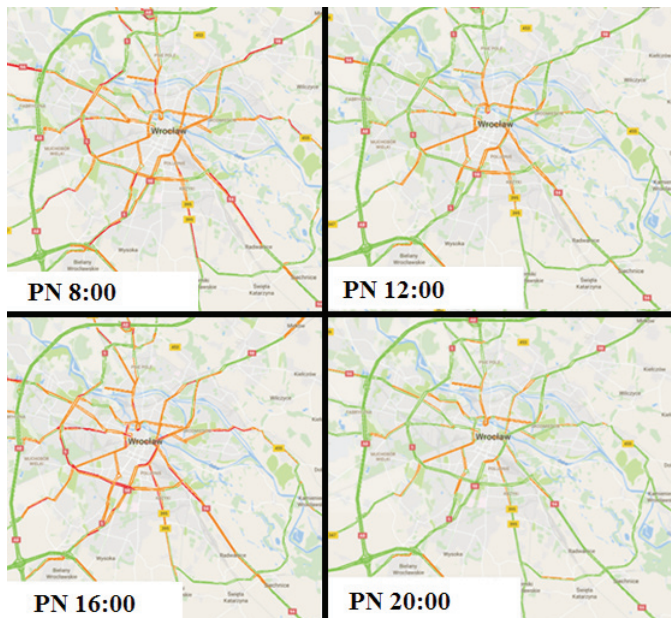
Flota MPK liczy 312 autobusów i 225 tramwajów. Komunikacją zbiorową przemieszcza się miesięcznie około 16500000 pasażerów. Z tramwajów oraz autobusów każdego dnia korzysta taka sama liczba osób, czego głównym powodem jest dojazd do pracy. Z wyliczeń wynika także, że z komunikacji miejskiej każdego dnia korzysta około 550000 osób. Na autobusy przypada 58,1% wszystkich pasażerów komunikacji zbiorowej, co daje wynik 319550 osób dziennie [5]. Liczba pasażerów korzystających codziennie z komunikacji w ciągu dnia nie jest stała – zależy ona przede wszystkim od godziny przejazdów



Rys. 3. Zależność zapotrzebowania na komunikację miejską w określonych godzinach.

Źródło: Onyshchuk Lyubov Autonomiczne pojazdy jako nowy sposób rozwoju komunikacji miejskiej, praca dyplomowa 2017

Największa liczba osób korzystających ze środków komunikacji miejskiej jest zainteresowana skorzystaniem z usługi przewozowej rano, w okolicach godziny 8.00. Na podstawie wyliczeń należy przyjąć, że na usługi komunikacji miejskiej oczekuje wówczas mniej więcej 41542 osób. Aby zwizualizować tę kwestię postanowiłem poniżej umieścić mapy ukazujące natężenie ruchu w mieście w poniedziałki oraz soboty w godzinach: 8:00, 12:00, 16:00 i 20:00. W dni robocze najwięcej pasażerów korzysta z komunikacji w godzinach 8:00 i 16:00, natomiast w sobotę maksymalne natężenie ruchu można zaobserwować około godziny 12:00 [6].



Rys. 4. Porównanie natężenia ruchu w poniedziałki.

Źródło: Onyshchuk Lyubov Autonomiczne pojazdy jako nowy sposób rozwoju komunikacji miejskiej, praca dyplomowa 2017

Widocznym problemem komunikacyjnym są niewątpliwie korki, a także wysoka emisja spalin.

Flota komunikacji zbiorowej Wrocławia składa się z autobusów i tramwajów.

Tramwaje posiadają osobno wydzieloną kolej, poprzez co w czasie dużego natężenia ruchu stanowią jeden z najszybszych środków komunikacji. Kolejną istotną pozytywną cechą tramwajów jest brak emisji spalin, co ma ogromne znaczenie dla przyszłości miast. Problem stanowią autobusy charakteryzujące się dużą emisją spalin, a także swoją zbytnią wielkością względem węższych ulic, co generuje spowolnienie ruchu na drodze przy przystankach. Trzeba wskazać, w jaki sposób można by dokonać zmiany autobusów na auta elektryczne, a w przyszłości – autonomiczne [2], [4].

Należy więc logistycznie podzielić Wrocław na strefy. Każda strefa będzie wyposażona w stację ładowania pojazdów, a jej cel stanowić będzie łączenie każdego samochodu z systemem sterowniczym. Przyjmuje się, że średnia odległość trasy to 10 km. Biorąc to pod uwagę, teren miasta podzielono na 11 stref o promieniu 5 km. Jeśli zasięg trasy będzie wychodzić za ramy określonej strefy, system będzie miał możliwość monitorowania samochodu i zmieniania zadań pojazdów między strefami względem potrzeb i natężenia ruchu [7]

Elementarną zmianą w transporcie zbiorowym powinno być wprowadzenie samochodów z operatorem mającym możliwość, w razie potrzeby, przejęcia kontroli nad autem. Kierowca ten jednak powinien bezwzględnie dostosowywać się do zadań, jakie otrzymuje poprzez system. Kolejną wytyczną powinno być zamienienie wszystkich samochodów na samochody bez kierowców będące autonomicznymi. Tego typu pojazdy oferuje firma Waymo. Wprowadzenie autonomicznych aut jest jednak uzależnione od skonstruowania i zatwierdzenia odpowiednich przepisów względem ich użytkowania.

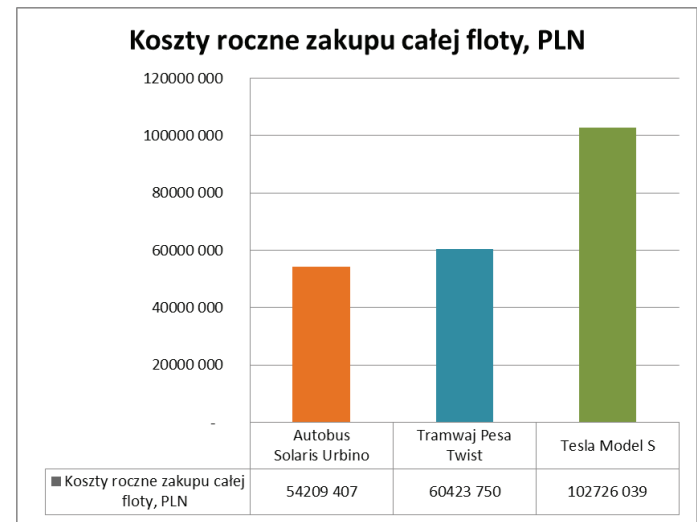
Wszystkie auta Tesla Model S są dostosowane dla 5 osób.

Po uwzględnieniu miejsca dla kierowcy, wszystkie te pojazdy będą mogły obsługiwać 4 pasażerów w jednym czasie. W związku z wyżej opisanym podziałem na sfery, dla zaspokojenia potrzeb pasażerów w godzinach szczytu (8:00), konieczne będzie zapewnienie 944 aut dla każdej strefy. Obsługa całego Wrocławia wygenerowałaby zapotrzebowanie na 10384 pojazdów [8].

Poniżej umieszczam tabelę, w której wyliczone są koszty zakupu tradycyjnych środków komunikacji miejskiej, a także zestawienie ich z kosztami zakupu pojazdów Tesla.

Tabela 1. Porównanie rocznych kosztów zakupu floty dla potrzeb MPK Wrocław.

Źródło: Onyshchuk Lyubov Autonomiczne pojazdy jako nowy sposób rozwoju komunikacji miejskiej, praca dyplomowa 2017



Zakłada się, że pojazdy komunikacji miejskiej powinny być wykorzystywane przez 30 lat. Cena dzierżawy autobusu Solaris wynosi 1737481 zł na 10 lat. W związku z tym w każdej dekadzie koszty utrzymania tego typu pojazdów będą wzrastać. Koszty całoroczne zakupu autobusów będą wynosić 54209407 zł.

Zasięg samochodu Tesla w wersji I wynosi 356 km na jednym ładowaniu, w wersji II - 441,5 km, a w wersji trzeciej – 545,5 km.

Jak nietrudno zauważyć najbardziej opłacalny jest zakup pierwszej wersji auta Tesla, który ma zasięg 356 km. Stacja do ładowania pojazdu znajdowałaby się w każdej wyznaczonej strefie miasta. Pierwszy etap wdrażania projektu to ładowanie pojazdu przez jego kierowcę. Drugi etap – zamocowanie specjalnych gniazd do ładowania na stacjach. Autonomiczne auto będzie mogło podłączyć się do ładowarki samodzielnie. Kurs wyniesie średnio 10 km, więc jedno ładowanie samochodu wystarczy na około 35 kursów. Z wyliczeń wynika, że jeden samochód może być w ciągłej eksploatacji od godziny 6:00 do 23:30. Wszystkie ładowania będą przeprowadzane w nocy, w godzinach od 20:00 do 5:00 ze względu na niskie w tym czasie zapotrzebowanie na środki transportu.

Pojazdy Tesla posiadają producentką gwarancję na baterię na 200 tys. km lub na 8 lat dla wersji 60 kWh. Stacje Tesla Superchargers są w stanie przeprowadzać ładowania równe 120 kW, czyli w 30 min bateria 60 kWh będzie cał-

kowicie naładowana. Zakładając, że koszt 1 kWh wynosi 0,52 zł, cena naładowania jednej baterii to około 31,2 zł. Poniżej umieszczona została cena przejazdu kilometrowego odcinka trasy samochodem Tesla Model S. [1].

Tabela 2. Koszt przejazdu 1 km dla Tesla Model S z baterią 60 kWh.  
Źródło: Onyshchuk Lyubov Autonomiczne pojazdy jako nowy sposób rozwoju komunikacji miejskiej, praca dyplomowa 2017.

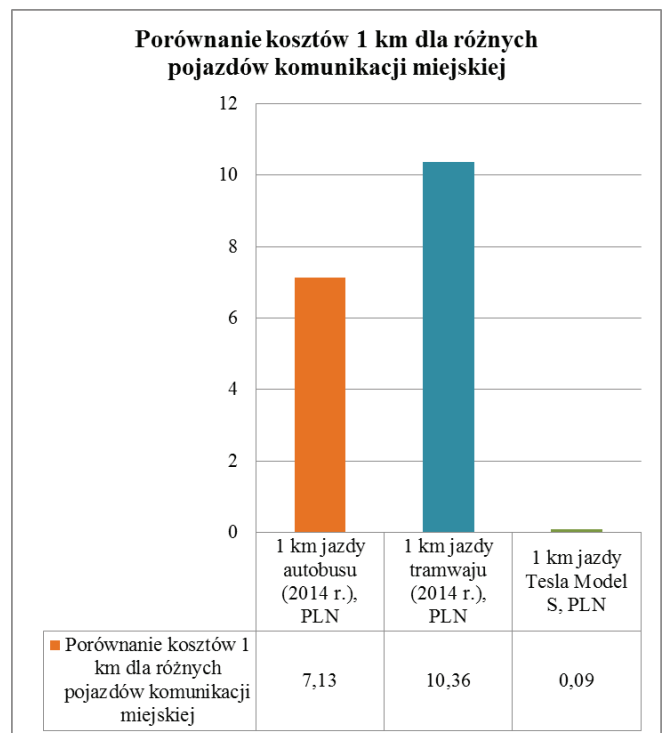
	1 km jazdy Tesla Model S
Zużycie energii elektrycznej przy 1 ładowaniu, kWh	60
Koszt 1 kWh, PLN	0,52
Koszt naładowania 1 baterii, PLN	31,2
Zasięg, km	356
Koszt 1 km, PLN	0,09

Z informacji zawartych w tabeli należy wywnioskować, że cena przejazdu kilometrowego odcinka trasy dla Modelu S producenta Tesla będzie równa 0,09 zł.

Tabela 3. Koszt użytkowania pojazdu Tesla Model S rocznie.  
Źródło: Onyshchuk Lyubov Autonomiczne pojazdy jako nowy sposób rozwoju komunikacji miejskiej, praca dyplomowa 2017.

	Tesla Model S
Ilość km za 1 kurs, km	10
Średni czas 1 kursu, godz	0,5
Ilość godzin w 1 dobie, godz	24
Ilość kursów dziennie	48
Ilość km dziennie, km	480
Ilość km rocznie, km	175200
Zasięg na 1 baterii, km	356
Ilość ładowań rocznie	492
Koszt 1 ładowania, PLN	31,2
Koszt ładowań rocznie, PLN	15355

W powyższej tabeli przedstawiono cenę przejazdu kilometrowego odcinka trasy dla rozmaitych środków komunikacji miejskiej.



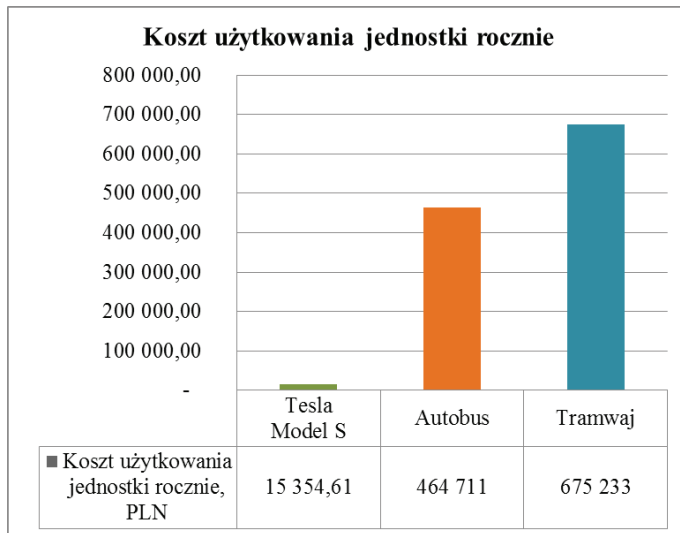
Rys. 5. Porównanie kosztów przejazdu kilometrowego odcinka trasy dla różnych pojazdów komunikacji miejskiej.  
Źródło: Onyshchuk Lyubov Autonomiczne pojazdy jako nowy sposób rozwoju komunikacji miejskiej, praca dyplomowa 2017

Tabela 4. Roczny koszt użytkowania floty komunikacji miejskiej.  
Źródło: Onyshchuk Lyubov Autonomiczne pojazdy jako nowy sposób rozwoju komunikacji miejskiej, praca dyplomowa 2017

	Tesla Model S	Autobus	Tramwaj
Ilość jednostek	10 384	312	225
Ilość km rocznie, km	1 819 276 800	20 335	14 664 804
Koszt ładowania dla 1 pojazdu rocznie, PLN	15 354,61	-----	-----
Koszt ładowania dla całej floty rocznie, PLN	159 442	-----	-----
Koszt 1 km, PLN	0,09	7,13	10,36
Koszt użytkowania jednostki rocznie, PLN	15 354,61	464 711	675 233
Koszt użytkowania floty pojazdów rocznie, PLN	159 442	144 989	151 927
	236,40	944	374

Powyższa tabela przedstawia przewidywaną dwunastomiesięczną cenę użytkowania całej floty komunikacji miejskiej. Biorąc pod uwagę dane zamieszczone na stronie MPK Wrocław, zaprezentować można proporcjonalną liczbę km dla każdego środka transportu, gdzie zakłada się jednakową liczbę transportowanych pasażerów zarówno w autobusie, jak i w tramwaju. Obliczono też cenę ładowania wszystkich baterii dla floty pojazdów Tesla. Rocznie wyniesie ona około 15944236,4 zł [3], [5]. Na kolejnym wykresie, znajdującym się poniżej ukazana jest roczna cena użytkowania wszystkich analizowanych

pojazdów.



Rys. 6. Porównanie rocznych kosztów użytkowania jednostki pojazdu. Źródło: Onyshchuk Lyubov Autonomiczne pojazdy jako nowy sposób rozwoju komunikacji miejskiej, praca dyplomowa 2017.

Wykres ten pokazuje, że cena użytkowania autonomicznego auta jest aż o 99,98% niższa od kosztów wytwarzanych przez autobus. Na 1000 mieszkańców Wrocławia przypada około 500 aut. Na każdego człowieka przypada więc ½ pojazdu. Przyszłościowy model komunikacji miejskiej powinien bazować na wyliczeniu liczby pojazdów autonomicznych kompletnie zastępujących pojazdy własne.

637100 – tyle wynosi liczba mieszkańców Wrocławia na 30 czerwca 2016 roku. 318550 – to z kolei przybliżona liczba pojazdów wrocławskich. Niemalże wszyscy mieszkańcy posiadający pięciosobowy pojazd, wykorzystują go do samodzielnych lub dwuosobowych podróży. Aplikacja pozwalająca automatycznie łączyć podobne trasy, zmniejszy wykorzystanie pojazdów we Wrocławiu. Przy samodzielnym korzystaniu z samochodu, liczba aut na drogach wyniesie nawet do 318550. Jeżeli w aucie będą dwie osoby, ich liczba zmniejszy się dwa razy i będzie wynosiła 159275. Najkorzystniejszy wynik osiągnąć można jednak podczas wykorzystywania jednego pojazdu przez pięć osób. W tym wypadku, największa możliwa liczba samochodów w mieście będzie wynosiła zaledwie 63710. Aby zminimalizować peyoratywne skutki użytkowania pojazdów, warto zredukować niezbędną liczbę samochodów nie tylko we Wrocławiu, ale w każdej miejscowości [9], [11].

Warto przyjrzeć się dokładniej strategii niezakładającej udziału kierowców w trakcie jazdy, czyli wymienianym już pojazdom promowanym przez grupę Waymo. Zespół ten od 2009 roku poszerza pomysł wprowadzania aut bez kierowców. Pierwszą nazwą projektu było The Google self-driving car, a jego prymarny cel stanowiło utrzymanie bezpieczeństwa na drogach, ulepszenie mobilności osób, a także zminimalizowanie czasu na transport. Wdrożenie projektu było związane z pokonaniem całkowicie autonomicznym autem marki Toyota Prius odcinka o długości około 162 km. Realizacja zadania powiodła się i dowiodła, że istnieje też możliwość zwiększenia liczby km do pokonania.

Już w 2012 roku autonomiczne auta pokonały bez udziału kierowców więcej niż 450000 km. Firma Waymo dodała do swojej floty samochód Lexus RX450H oraz kontynuowała testy z jego udziałem. Dla skuteczniejszego rozwoju, firma zaprosiła do badania kilku pracowników i zaczęła używać tego auta jako samochodu służbowego. W tym samym roku została zorganizowana pierwsza jazda testowa. W 2014 roku ukazał się projekt nowego wyglądu pojazdów. Zespół Waymo zaproponował pojazd posiadający: radary, komputery, opcję zmieniania prędkości jazdy, ale nieposiadający kierownicy i pedałów. W stanie Texas, precyzyjnie w Austin, w 2015 roku odbyło się badanie autonomicznego pojazdu na drodze publicznej. Do 2016 roku samochody przejechały bez udziału kierowców już ponad 3 miliony km [10].

Wprowadzenie całkowicie autonomicznych aut na rynek światowy będzie mogło się rozpocząć, gdy prowadzone od wielu lat badań zostaną sfinalizowane. Przeanalizowanie rozmaitych usterek oraz błędów da możliwość usprawnienia działalności bezzałogowych pojazdów. Biorąc pod uwagę plusy stosowania tej nowoczesnej technologii, trzeba wciąż prowadzić rozmaite badania i testy, które mogą doprowadzić do przykładowych sytuacji niebezpiecznych podczas trasy. W związku z tym na wprowadzenie alternatywnych, ekonomicznych rozwiązań usprawniających system transportu zbiorowego będziemy musieli jeszcze trochę poczekać.

## Bibliografia

- [1] Cena prądu: cenapradu.strefa.pl [dostęp 20.05.2017]
- [2] Hands off : the future of self-driving cars, Washington : U.S. Government Publishing Office, 2016
- [3] Ile kosztuje Wrocław: wroclaw.pl/ile-kosztuja-tramwaje-i-autobusy-we-wroclawiu [dostęp 20.05.2017]
- [4] Kardasz P., Mech A., Hejduk M., Wiejkut P., Szmyd R., "Analiza zmian taboru MPK Wrocław", Aura, 2014, ISSN 0137-3668
- [5] MPK w liczbach: pasazer.mpk.wroc.pl/content/mpk [dostęp 20.05.2017]
- [6] Należenie ruchu: google.pl/maps [dostęp 20.05.2017]
- [7] Onyshchuk Lyubov Autonomiczne pojazdy jako nowy sposób rozwoju komunikacji miejskiej, praca dyplomowa 2017
- [8] Tesla Motors: tesla.com [dostęp 20.05.2017]
- [9] Urząd Statystyczny we Wrocławiu: wroclaw.stat.gov.pl [dostęp 20.05.2017]
- [10] Waymo: waymo.com [dostęp 20.05.2017]
- [11] Zieliński A., "Rozwój koncepcji samochodu osobowego w XX wieku", Instytut Historii Nauki PAN