

Innowacyjny (nieznacznie) pojazd dla naziemnego transportu miejskiego

An (slightly) innovative vehicle for urban ground transport



Maciej Kruszyna

dr hab. inż. prof. PWR

*Politechnika Wrocławska,
Wydział Budownictwa Lądowego
i Wodnego, Katedra Dróg i Lotnisk*

maciej.kruszyna@pwr.edu.pl

Streszczenie: W artykule przedstawiono propozycję skonstruowania pojazdu dla naziemnego transportu miejskiego wykorzystującego system tramwajowy (pobór prądu z sieci trakcyjnej, wydzielone torowiska), ale z możliwością opuszczania torowiska i korzystania z akumulatorów lub stacji ładowania. Pozwoli to na tymczasowe lub docelowe wydłużanie istniejących tras i doprowadzenie wielkopojemnego taboru do gęsto zabudowanych osiedli. Na bazie przeglądu nowoczesnych rozwiązań sformułowano tezę że opracowanie (nieznacznie) innowacyjnego pojazdu jest „na wyciągnięcie ręki”. Pokazano możliwości wprowadzenia nowego taboru na przykładzie wrocławskim. Niemniej, proponowane rozwiązanie może być atrakcyjne także dla innych, co najmniej polskich miast.

Słowa kluczowe: *Tramwaj; Trolejbus; Autobus elektryczny, Innowacje*

Abstract: The article presents a proposal for constructing a vehicle for urban ground transport using a tram system (current consumption from the catenary, separate tracks), but with the option of leaving the track and using batteries or charging stations. This will allow for temporary or target extension of existing routes and for bringing large-scale rolling stock to densely built-up housing estates. Based on the review of modern solutions, the thesis was formulated that the development of an (slightly) innovative vehicle is "at your fingertips." The possibilities of introducing new rolling stock were shown on the example of Wrocław. Nevertheless, the proposed solution may also be attractive to other, at least Polish cities.

Keywords: *Tram; Trolleybus; Electric bus, Innovation*

Geneza pomysłu – uwarunkowania

W dużych (na skalę polską) miastach konieczna jest hierarchizacja sieci transportu publicznego. Przewozy w aglomeracji (miasto rdzeniowe – otoczenie) oraz najważniejsze relacje w mieście obsługiwać powinny „linie główne” [2] o specyficznym przebiegu oraz wysokim standardzie usługi. Poprzez standard obsługi rozumie się zarówno wysoką prędkość handlową, jak i zdolność przewozową. W tym drugim aspekcie istotne są: duża liczba kursów (częstotliwość) oraz stosowna pojemność taboru. W dalszych rozważaniach pominięty jest aspekt kolei miejskich, typu metro, SKM, Light

Rail stanowiących odrębny segment podróży. Treść artykułu koncentruje się w segmencie „naziemnego transportu miejskiego” tradycyjnie obsługiwanego tramwajami, trolejbusami lub autobusami. Taki segment jest wyłączny w miastach średniej wielkości, a występuje też w większych i największych jako uzupełnienie kolei miejskich. Środki naziemne mają niższe prędkości handlowe niż kolej miejska, choć można uzyskiwać przyzwoite wartości dzięki separacji (najczęściej poziomej) tras oraz nadawaniu priorytetów w sygnalizacji. Atutem tego segmentu jest bardzo dobra dostępność i możliwość penetracji obszarów zabudowy.

Środki „tradycyjne”, jak tramwaj, trolejbus i autobus przeszły w swo-

jej historii wiele zmian. Wprowadza się na rynek liczne innowacje, w tym proponując pojazdy hybrydowe o różnych formach trakcji, napędu, czy nawierzchni. Bardzo zróżnicowane są gabaryty takich pojazdów, przy czym nie można już dziś czytelnie rozdzielać: wszystkie tramwaje są dłuższe, a autobusy / trolejbusy krótsze. Przegląd najnowszych rozwiązań podano w dalszej części artykułu, natomiast tutaj formułuje się uwarunkowania dla pojazdu w segmencie naziemnego transportu miejskiego efektywnego w systemie linii głównych z uwzględnieniem specyfiki miast polskich, ale na tle rozwiązań z Europy i nie tylko.

Otóż, pojazd dla linii głównych musi mieć dużą pojemność. Pojem-

ność wyraża się w liczbie pasażerów, niemniej z uwagi na różne normatywy odnośnie zapewnienia 1m² oraz odmienne proporcje pomiędzy miejscami siedzącymi a stojącymi, kompleksowe porównywanie poszczególnych pojazdów jest trudne. Dla uproszczenia rozważań operuje się dalej długością pojazdów, przyjmując że im dłuższa jednostka tym większą ma pojemność. Do niedawna warunek dużej pojemności spełniały wyłącznie tramwaje, których wieloczlonek (a dawniej wielo-wagonowe) pociągi oferowały długości powyżej 30 m, a nawet w granicach 45 m. Należy dodać, że najdłuższe tramwaje Świata kursują w Budapeszcie, „Urbos” to produkt firmy CAF i ma prawie 56 m; w Polsce najdłuższe są „Krakowiaki” o długości prawie 43 m (produkcji PESA).

Autobusy i trolejbusy przegubowe (trzyosowe) o długościach rzędu 18 m wyraźnie odstawały w takim rankingu. Przyjmijmy, wstępnie, że efektywny pojazd w rozpatrywanym tu segmencie powinien być dłuższy niż 18 m.

Kolejny aspekt, to sprawa napędu (paliwa). Pożądane są pojazdy elektryczne. Na przykład w Ustawie [5] zapisano w artykule 35 że: „jednostka samorządu terytorialnego, z wyłączeniem gmin i powiatów, których liczba mieszkańców nie przekracza 50 000, zapewnia, aby udział pojazdów elektrycznych we flocie użytkowanych pojazdów w obsługującym ją urzędzie wynosił co najmniej 30% liczby użytkowanych pojazdów”. Oczywiście, z uwagi na dbałość o środowisko miejskie, pożądany jest wyższy udział pojazdów elektrycznych. Niektóre miasta osiągają już 100%. Niska podłoga, liczne drzwi, duże okna, klimatyzacja i udogodnienia typu ładowarki USB, panele informacyjne, praktyczny system biletowy (np. typu „wejście – wyjście”)



1. Autobus Mettis w Metz (street view)

to elementy które stają się już standardem w transporcie publicznym i jako takie nie wymagają tu szerszego komentarza.

Istotne są też uwarunkowania systemowe i finansowe. Te pierwsze oznaczają dylemat wprowadzania / modyfikacji nowych rozwiązań do istniejących. Nowy / dodatkowy tabor inny niż dotychczas używany wymaga szeregu inwestycji (sieć, zasilanie, zaplecze, personel). Koegzystencja różnych rozwiązań rodzi czasem problemy techniczne (np. krzyżowanie trakcji).

Odnośnie uwarunkowań finansowych należy podnieść aspekt kosztów rozbudowy infrastruktury (trasy, tabor, zaplecze) istotny w świetle uwarunkowań polskich miast (zob. raport ZGT TOR [4]). Zatem w studiach nad rozwojem miejskiego systemu transportu należy uwzględnić kompleks uwarunkowań oznaczających bilans kosztów i korzyści. Wybierać koncepcje najbardziej efektywne oraz wpisujące się w sytuację obecną. W uproszczeniu można przyjąć postulat jak największego wykorzystania istniejących zasobów i oszczędnego wprowadzania modyfikacji (zostanie to rozwinięte dalej).

Przegląd najnowszych rozwiązań oraz trendy

W artykule skoncentrowano się na próbie wskazania taboru (pojazdu) optymalnego dla szybkiego tempa rozwoju sieci naziemnego transportu zbiorowego dla polskich miast. Przegląd najnowszych rozwiązań oraz trendów wykonany jest pod kątem sformułowanych wyżej uwarunkowań.

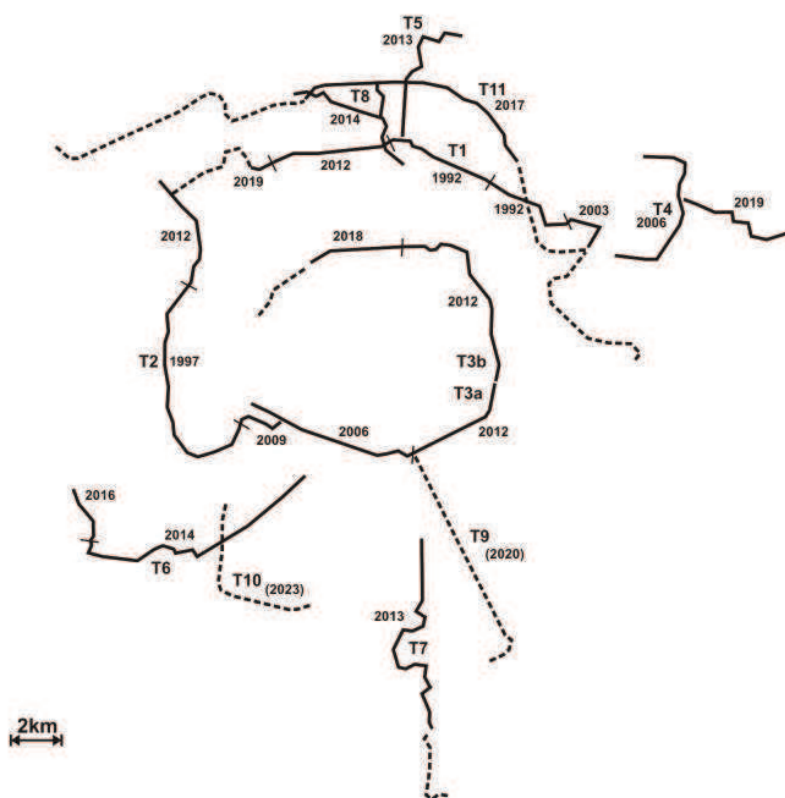
W pierwszej kolejności warto wskazać na długie autobusy: czterosiowe, trzyczłonowe i dwuprzegubowe. Nie zawsze są to pojazdy wyłącznie elektryczne. Na przykład w francuskim Metz, w roku 2013 uruchomiono system „Mettis” bazujący na autobusach częściowo elektrycznych (silnik jest typu hybrydowego), o długości 23,8 m, producent: Van Hool, Belgia. Ilustracja 1 prezentuje taki autobus na wydzielonej trasie w centrum miasta. Jednymi z pierwszych długich autobusów były pojazdy „Phileas” (najpierw w holenderskim Eindhoven, następnie w Korei Południowej, Turcji, Izraelu), co ciekawe pierwotnie planowane jako pojazdy autonomiczne. Ilustracja 2 pokazuje Phileasa systemu Metrobus w Istanbule. Wielu wiodących producentów autobusów ma w swojej



2. Autobus Phileas w Istanbule (street view)



3. Autobus Volvo 7900 Electric ([6])



4. Trasy tramwajowe w Ile de France

ofercie podobnie duże jednostki (Mercedes, Scania, ...).

Kolejny trend w produkcji autobusów to pojazdy w pełni elektryczne. Na przykład przegubowy Volvo 7900 Electric jest dostępny w dwóch długościach: 18 i 18,7 m. W pierwszym wypadku pomieści 150 pasażerów (ilustracja 3). Zasilany jest przez dwa silniki elektryczne produkowane przez Volvo o mocy 200 kW. Zamontowano w nim baterie o pojemności prawie 400 kWh. W zależności od potrzeb klienta szwedzki producent może umożliwić ładowanie zarówno poprzez stacje szybkiego ładowania na trasie (OppCharge), jak i przez ładowarki stacjonarne [6].

Ciekawe są niekonwencjonalne wersje tramwajów, na przykład rozwiązanie „tramway sur pneus”. Sieci tramwaju „na kołach gumowych” są popularne zwłaszcza we Francji (system Translohr opracowany przez Lohr Industrie z Francji, a obecnie we własności konsorcjum Alstom Transport z Fonds Stratégique d'Investissement jako „newTL”. Jest stosowany w otoczeniu Paryża i w Clermont-Ferrand we Francji, w Medellín, Kolumbia, Tianjin i Szanghaju, Chiny oraz w Wenecji-Mestre i Padwie we Włoszech. Mapa 4 pokazuje aktualny stan tras tramwajowych w Ile-de-France (Paryż plus otoczenie). Większość z prezentowanych linii powstała w XXI wieku (por. z [1]). Linie: T5 i T6 funkcjonują w opisanym wyżej formie. Ilustracja 5 pokazuje tramwaj na kołach gumowych linii T6 w Chatillon (Ile-de-France). Podobne rozwiązania zastosowano w innych miastach. W Caen od roku 2002 szyna prowadząca służy jako przewód zwrotny dla prądu (na terenie zajezdni porusza się z napędem diesla). W Nancy, od roku 2000 sieć napowietrzna na części trasy jest typu trolejbusowe-

go (dwa przewody), reszta bez sieci napowietrznej.

Pojawia się problem zapewnienia zasilania przy rezygnacji z sieci trakcyjnej (co jest atrakcyjne szczególnie w centralnych, zabytkowych częściach miast). W Bordeaux tramwaj na śródmiejskiej części tras nie korzysta z sieci napowietrznej. Jest zasilany systemem „naziemnym” (aktywowanym w momencie przejazdu tramwaju). Jest to rozwiązanie firmy Alstom o nazwie APS (ilustracja 6). Podobnie jest w Nicei (Nice), Orleanie, Reims i Tours. Natomiast w Saragossie (Zaragoza) część trasy tramwajowej bez sieci trakcyjnej ma zasilanie z akumulatorów (ilustracja 7).

Podobne rozwiązania dotyczą także trolejbusów. W Opawie część trasy funkcjonuje bez napięcia z sieci napowietrznej, ale działa wtedy silnik spalinowy (diesel).

Castello (Hiszpania) posiada jedyną w tym kraju trakcję trolejbusową, produkcji Solarisa (krótkie wersje), na odcinku śródmiejskim bez sieci trakcyjnej – akumulator. Limoges używa (między innymi) długich trolejbusów (18,7 m), trzyosiowych produkcji szwajcarskiej (Hess) o nazwie Swiss Trolley 4. Istnieją jednak trolejbusy dłuższe, np. tego producenta. Takie najdłuższe trolejbusy nazywane Light Tram są popularne w Szwajcarii (Genewa, Lucerna, Zurych, St. Gallen) - ilustracja 8.

W swoich trolejbusach Solaris [7] oferuje trzy typy opcjonalnych dodatkowych układów jazdy awaryjnej. Pierwszym z nich są baterie trakcyjne na dachu pojazdu, które umożliwiają pokonanie od kilku do kilkudziesięciu kilometrów bez zasilania trakcyjnego. Kolejnym rozwiązaniem jest zastosowanie silnika wysokoprężnego niewielkiej mocy, który pełni rolę generatora prądu na odcinkach bez trakcji elektrycz-



5. Tramwaj systemu Translohr, linia T6, Chatillon (street view)



6. Tramwaj bez sieci trakcyjnej, Bordeaux (street view)



7. Tramwaj bez sieci trakcyjnej, Saragossa (street view)

nej. Trzecim rozwiązaniem jest zastosowanie jako generatora energii elektrycznej wodorowego ogniwa paliwowego. Pozwala ono na prze-

jechać nawet 100 km bez sieci trakcyjnej przy zerowej emisji spalin. Przykładem jest pojazd Solaris Trollino z możliwością pokonania części



8. Trolejbus Swiss Trolley w Zurychu (street view)

trasy (do 5 km) bez zasilania z sieci napowietrznej jako część floty Lublina. Trolejbusy tego typu (Solaris Turbino Hybryd) mają długość 18 m i trzy osie. Są to jak dotąd najdłuższe z eksploatowanych w Polsce trolejbusów. Niemniej, z uwagi na zapotrzebowanie rynku (na razie zachodniej Europy) opracowano już większy pojazd. Prace nad dwuprzegubową wersją modelu Solaris Urbino zaowocowały niedawno testami w Gdyni (ilustracja 9) oraz prezentacją na targach w Brukseli (październik 2019).

Określenie innowacji – wymagania

Mając na uwadze uwarunkowania sformułowane na początku artykułu oraz przegląd najnowszych rozwiązań i trendów można zaproponować rozwiązanie „nieznacznie” innowacyjne, prawdopodobnie najefektywniejsze w obecnej sytuacji dla wielu polskich miast, pod roboczą nazwą „AtTraction (AT)”. AT lub AtTraction daje różnorodne konotacje, od angielskiej pełnej nazwy oznaczającej: „atrakcyjny” lub „przy trakcji”, po polski skrót nazwy „autobus – tramwaj”. Oczywiście jest to propozycja robocza, do wykorzystania bądź nie.

Zatem byłby to pojazd poruszający się na gumowych kołach, o na-

pędzie elektrycznym z możliwością poboru prądu z sieci napowietrznej lub korzystania z akumulatorów. Nowość polega na umożliwieniu poboru energii z trakcji typowej dla tramwajów (jedнопроводова), co wymaga jedynie (a może aż?) opracowania sposobu przekazywania prądu do szyny tramwajowej. Nie jest to rozwiązanie nieznanie technice. Swojego czasu (lata 30. XX. wieku) trolejbusy w Poznaniu używały sieci tramwajowej w trakcie ruchu po zajezdni (podłączenie do torowiska jako szyny zwrotnej pałąkiem).

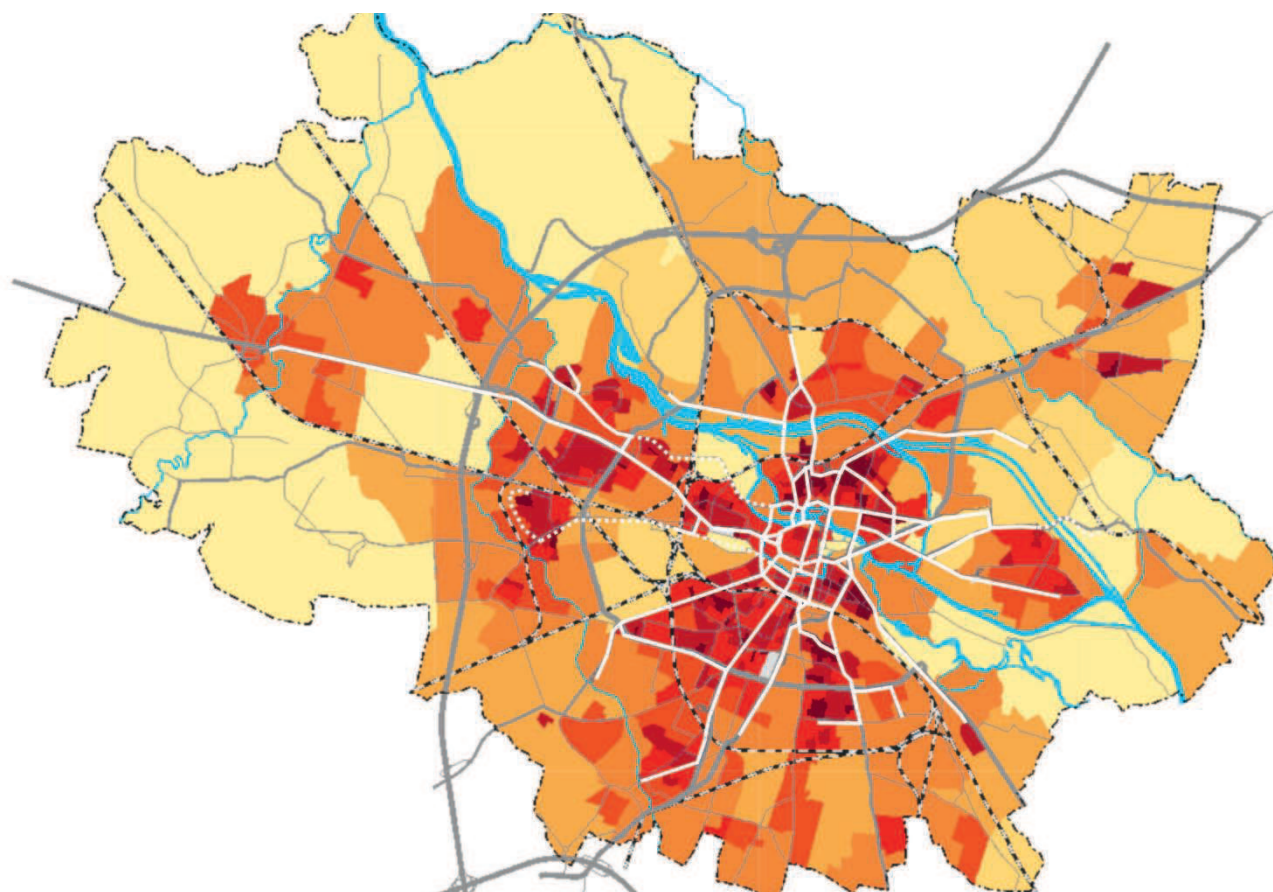
Zalecana długość taboru to 24 – 25 metry (trzy przeguby, cztery

osie), ale możliwe jest też stosowanie krótszych jednostek (klasyczny przegubowiec, 18 m). Taki tabor jest obecnie w użyciu (lub w opracowywaniu) w kontekście autobusów lub trolejbusów. Modyfikacja dostępnych pojazdów względem sformułowanych wymagań wydaje się być prosta i możliwa do wykonania w krótkim czasie. Należy także tak długie pojazdy dopuścić do regularnego stosowania na polskich drogach (w kontekście przepisów).

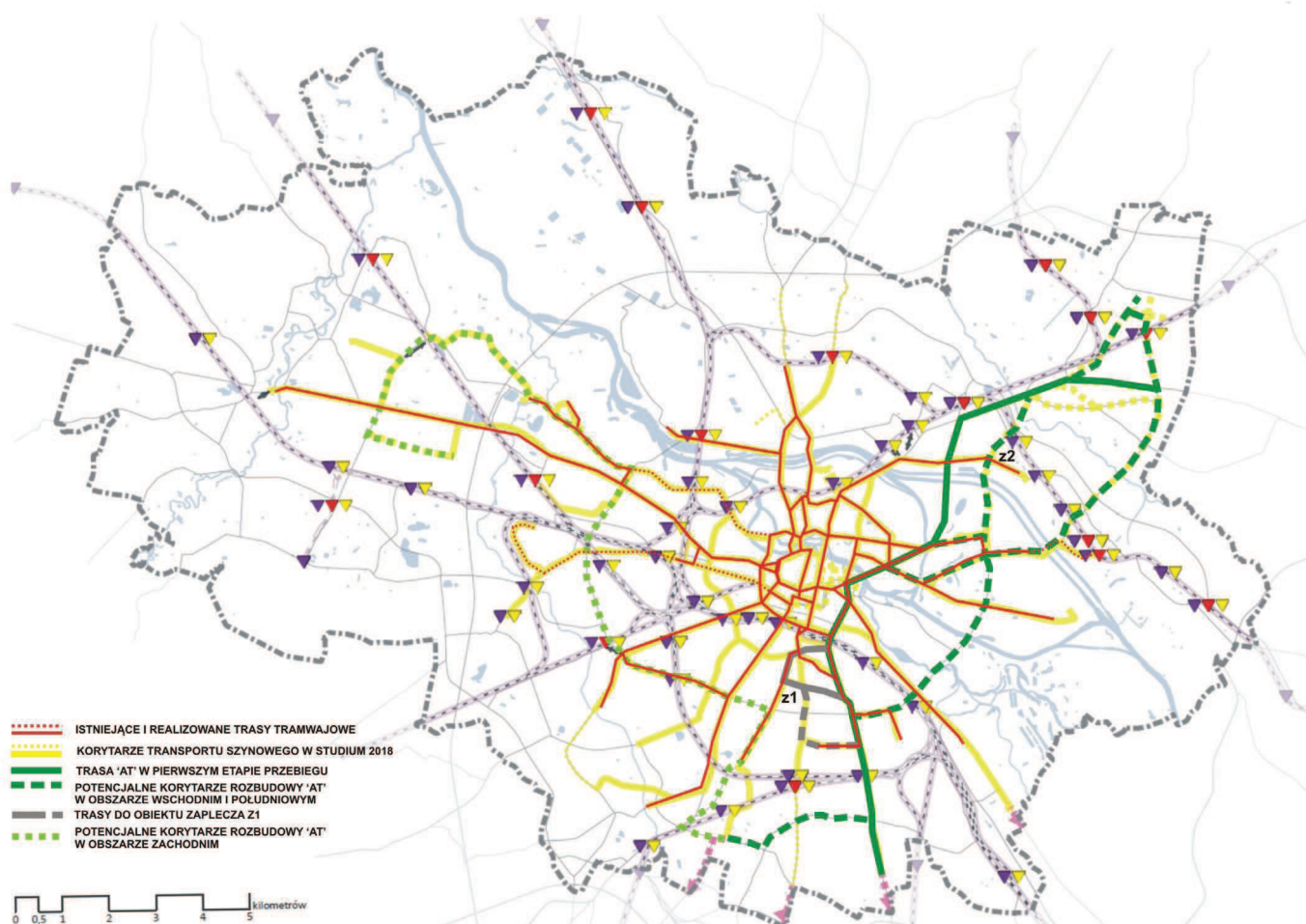
Podstawową zaletą proponowanego rozwiązania jest możliwość korzystania z istniejących i rozległych sieci tramwajowych (pod warunkiem zabudowania torowiska) wraz z dotychczasowymi systemami napięcia. Ekspansja sieci może zrealizować się w formie AT, jako rozwiązanie doraźne lub docelowe. Pomijając aspekt finansowy, wydłużanie istniejących torowisk tramwajowych może napotykać na specyficzne bariery: strome podjazdy, skrzyżowania z torami kolejowymi, brak rezerwy terenu. W najprostszej opcji kontynuacja linii AT prowadzonej torowiskiem tramwajowym może odbywać się zwykłą ulicą śred-



9. Solaris Trollino 24 podczas testów w Gdyni ([7])



10. Sieć tramwajowa Wrocławia na tle gęstości zaludnienia (podkład mapowy z [8])



11. Propozycja wprowadzenia systemu AT do Wrocławia (podkład mapowy z [8])

niej klasy (z uwzględnieniem gabarytów dwuprzegubowego pojazdu) na zasadzie autobusu (z postulatem zastosowania pasa wydzielonego z ruchu). W dalszej kolejności można zrealizować wydzieloną trasę (jezdnię) w konwencji TAT (TAT = Trasa Autobusowo Tramwajowa, w tym przypadku również dla pojazdów AT) lub o parametrach właściwych dla AT (na przykład z rozwieszeniem sieci trakcyjnej). Pokazuje to elastyczność wariantów rozwoju sieci i wprowadzania nowego taboru. Za-

lety te zostaną omówione szerzej na przykładzie propozycji dla Wrocławia.

Istotne są też zalety operacyjne polegające na „uwolnieniu się” od toru. W sytuacjach awaryjnych lub na czas remontów / modernizacji bezproblemowe będą zmiany trasy przejazdu. Korzystanie z tramwajowej sieci trakcyjnej oraz z autonomicznych akumulatorów oznaczają oszczędności w zużyciu energii oraz minimalizację kosztów związanych z budową stacji zasilania.

Przykład do zastosowania

Przedstawia się przykład możliwości wprowadzenia pojazdów i linii AT we Wrocławiu, który z pewnością może być inspirujący dla innych miast (nie tylko w Polsce). Wrocław wdraża ambitny „Program Tramwajowy” [3] mierząc się jednocześnie z ograniczeniami budżetowymi oraz z potrzebą uruchomienia linii głównych na wybranych relacjach „od zaraz”. Prowadzone obecnie inwestycje tramwajowe zostaną zrealizowane w perspektywie kilku lat. Natomiast relacje przewidywane w dalszych horyzontach już obecnie mierzą się z potrzebą ulepszenia transportu. Zatem, dla takich relacji proponuje się wprowadzenie AT nie przesądzając o zastosowaniu go w innych relacjach. Mapa 10 pokazuje obszary o największej gęstości zaludnienia w konfrontacji z istniejącą siecią tramwajową. Nietrudno wskazać rejonów gdzie wymagane jest wprowadzenie wielkopojemnego taboru transportu miejskiego.

Powyższy postulat dotyczy m.in. obszaru Psiego Pola oraz Jagodna z ich otoczeniem. Bariery prowadzenia tam tramwajów oprócz kosztów inwestycji są także przecięcia z liniami kolejowymi. Stąd proponuje się wykreowanie trasy AT łączącej właśnie te obszary. Wielowariantowe ujęcie tematu oraz możliwe etapy realizacji i dalszej ekspansji systemu pokazano na mapie 11. Pokazano tam też proponowane lokalizacje obiektów zaplecza (tymczasowo, z1 i docelowo, z2). Szczegóły trasowania w jednym z wariantów pokazano na mapie 12 (część południowa) i 13 (część północna). Wyróżniono na nich: odcinki z obecnie zabudowanym torowiskiem, torowiska do zabudowy oraz nowe odcinki w standardzie AT (w tym część jako zalecany TAT). Prezentuje to poten-



12. Szczegóły jednego z wariantów pierwszej trasy AT we Wrocławiu – część południowa (podkład mapowy z [8])

cialnie docelowy przebieg tras AT. Możliwe jest etapowanie i wariantowanie realizacji tak jak to pokazano na mapie 11. Uszczegółowienie powyższej propozycji, w tym zagadnienia: częstotliwości kursowania i liczności taboru będą przedmiotem dalszych prac.

Podsumowanie

Zaproponowano wprowadzenie nowatorskiego rozwiązania, ale osadzonego w dzisiejszych realiach i bazującego w większości na istniejących technologiach. Wdrożenie pojazdu i systemu AT wydaje się być atrakcyjną opcją, szczególnie w warunkach polskich miast. Niemniej, należy porównać dostępne warianty (klasyczny tramwaj, klasyczny trolejbus, autobus elektryczny, inne) w celu wskazania najkorzystniejszej opcji. Pożądane jest wykonanie AKK (Analiza Kosztów i Korzyści) lub wstępnych SW (Studiów Wykonalności). Pożądana jest współpraca z wiodącymi producentami taboru z zaproszeniem do opracowania nowego, eksperymentalnego pojazdu. Istotna jest też elastyczność wprowadzania AT. Może to być rozwiązanie docelowe lub tymczasowe. W danej aglomeracji można typować trasy do obu powyższych etapów funkcjonowania. ◀

Materiały źródłowe

- [1] Kruszyna M. „Powrót tramwajów do Londynu i Paryża” Transport Miejski 4/03
- [2] Kruszyna M. „Klucz do planowania transportu publicznego w aglomeracji 30/6”, Studia nad rozwojem Dolnego Śląska nr 3 / 55 / 2014
- [3] Kruszyna M. „Dlaczego tramwaj - rozważania na bazie Wrocławskiego Programu Tramwa-



13. Szczegóły jednego z wariantów pierwszej trasy AT we Wrocławiu – część północna (podkład mapowy z [8])

- owego” w: Polskie inwestycje transportowe : doświadczenia, badania i przyszłość, Poznań : Annały Inżynierii Ruchu i Planowania Transportu; t. 1 (XI), 2017
- [4] „Renesans tramwaju w Polsce. Czy kłopoty branży budowlanej zagrażą planowanym inwestycjom?”, raport ZGT TOR, Warszawa 2019.
- [5] Ustawa o elektromobilności z dnia 11 stycznia 2018 r. „O elek-

- tromobilności i paliwach alternatywnych”, Dz. U. z 2019 r. poz. 1124, 1495, 1527, 1716
- [6] <https://www.volvobuses.pl/pl-pl/our-offering/buses/volvo-7900-electric.html>
- [7] <https://www.solarisbus.com/pl/pojazdy/napedy-zeroemisyjne/grupa-trollino>
- [8] www.geoportal.wroclaw.pl