

Planowanie tras tramwajowych w miejskiej sieci ulic

Jeremi Rychlewski



dr inż. Jeremi Rychlewski

Instytut Inżynierii Lądowej
Politechniki Poznańskiej

jeremi.rychlewski@put.poznan.pl

Planowanie i projektowanie tras tramwajowych jest specyficznym działem projektowania tras kolejowych [40]. Z jednej strony dopuszczenie małych (jak na standardy dróg szynowych) promieni łuków poziomych i dużych pochyłeń, a także zasada jazdy na widoczność, ułatwiają projektowanie tras. Z drugiej strony z miejskiego charakteru transportu tramwajowego i obsługi zazwyczaj (z wyjątkiem konurbacji górnośląskiej i aglomeracji łódzkiej) małych odległości wynika konieczność lokalizowania peronów blisko początku i końca podróży pasażerów – inaczej transport tramwajowy będzie nieefektywny [15]. Dla konkurencyjności tramwajów ważna jest też ich odpowiednio duża prędkość handlowa [14].

Lokalizacja trasy tramwajowej

Model bliskiego dojścia. Pierwsze trasy tramwajowe budowano wykorzystując przestrzeń istniejących już ulic. Wadą tych tras jest z dzisiejszego punktu widzenia skomplikowana i ograniczająca prędkość geometria (choć w XIX w. prędkość ta była uznawana za dużą), duża ilość kolizji z ruchem poprzecznym i możliwości zablokowania przejazdu przez parkujący pojazd bądź zator samochodowy. Zaletą takiego podejścia jest jednak krótka droga dojścia do tramwaju, a więc jego duża dostępność [7,30]. Metodę trasowania charakteryzującą się dużą gęstością sieci, niewielkimi odległościami między przystankami i małymi (10-12 km/h) prędkościami handlowymi Beim [3] nazywa szkołą szwajcarską, wskazując, że często przynosi ona lepsze efekty niż opisana niżej szkoła niemiecka.

W Polsce jest wiele tras tego typu, szczególnie w centrach miast. Jako przykłady można wskazać centra Poznania, Krakowa (szczególnie tzw. I obwodnicę), a także niektóre części warszawskiej Pragi, a poza Polską oprócz wspomnianej Szwajcarii również Amsterdam czy Hagę. Warunkiem sukcesu jest duża ilość pasażerów wsiadających i wysiadających na każdym przystanku, co rekompensuje w bilansie konkurencyjności ograniczenie prędkości handlowej.

Tego typu trasy tramwajowe są zazwyczaj

prowadzone ulicami klasy L, deptakami, bądź ulicami tramwajowymi.

Zaletą dobrej dostępności nie oznacza zaniechania starań o poprawę jakości ruchu tramwajowego w centrach miast (czasami również osiedli). Wskazane jest utrzymywanie w miarę prostego przebiegu linii tramwajowych oraz pierwszeństwa, a na ewentualnych skrzyżowaniach z sygnalizacją świetlną pełnego priorytetu.

Model arterii. Okres rozwoju tramwajów, czyli przede wszystkim koniec XIX w., to również okres nowych tendencji w urbanistyce, w tym budowa szerokich i prostych bulwarów. Na takich bulwarach pojawił się drugi typ trasy tramwajowej: w ciągu prostej ulicy, na wydzielonym pasie terenu. Trasa taka charakteryzowała się brakiem (poza węzłami tramwajowymi) ograniczeń prędkości wynikających z geometrii i była wykorzystywana wyłącznie przez tramwaje. Pozwalała też osiągać, pod wpływem rozwoju techniki tramwajowej, znacznie większe prędkości. Wiele powojennych tras w polskich miastach (w tym trasy w odbudowanej lewobrzeżnej Warszawie) jest zbudowanych według tego wzoru [6,26,27], tyle że często liczne szpalery drzew i szeroka przestrzeń pieszka została zamieniona na jezdnie samochodowe [2].

Lokalizacja trasy tramwajowej wzdłuż głównej ulicy, ale na wydzielonym torowisku, stanowiła realizację idei monofunkcyjnych obszarów: tereny mieszkalne były lokalizowane obok terenów transportowych, ale osobno. Tramwaj jechał szybciej, ale pasażer miał dłuższą drogę dojścia, a także musiał przekraczać, często w drugim poziomie, ruchliwe jezdnie samochodowe. Opisane podejście do projektowania tras tramwajowych, nazwane przez Beima szkołą niemiecką, początkowo było efektywne, jednakże rozwój motoryzacji ujawnił jego istotne wady. Po pierwsze na przeznaczonych dla mieszkania i rekreacji terenach zaczęto budować parkingi dla samochodów, w rezultacie droga przejścia pieszego do własnego samochodu okazała się znacznie krótsza niż droga na przystanek tramwajowy [4,13]. Po drugie sterowanie ruchem na ulicach tramwajowo-samochodowych zaczęto dostosowywać do potrzeb przepustowości i płynności ruchu samochodowego, kosztem transportu zbiorowego i dojść pieszych [10,39]. W szczególności lokalizowanie peronów przystanków tramwajowych przed skrzyżowaniami, uzasadnione energetycznie i bezpieczeństwem ruchu, pozwalało ukryć część wydłużenia czasu przejazdu spowodowanego troską o jakość ruchu samochodowego.

Model arterii pozwalał na uzyskanie prędkości handlowej 18-21 km/h, uznawanej przez Krycha [16] za próg efektywności ekonomicznej tramwaju. Podobieństwo do modelu arterii można też zauważyć w Łodzi, dzięki sprzyjającemu takiemu modelowi prostopadłemu układowi ulic.

Premetro. Według Beima [3] szkoła niemiecka zareagowała na rozwój motoryzacji poprzez sprowadzanie tramwajów pod ziemię. Pozytywnym efektem było uzyskanie bardzo dużych prędkości (np. na trasie Poznańskiego Szybkiego Tramwaju – PST prędkość handlowa wynosi 35 km/h), wadą okazały się duże koszty budowy i wydłużenie drogi dojścia na perony. Zdaniem autora warto tą szkołę projektowania wydzielić i nazwać belgijską, ze względu na pozytywne efekty uzyskane w Brukseli [26,27]. W Brukseli sukcesywnie sprowadzano następujące po sobie odcinki tras tramwajowych pod ziemię, a gdy ich długość była odpowiednia – przekształcano w metro. W ten sposób zbudowano całą sieć metra w tym mieście, przy czym nadal buduje się odcinki podziemne użytkowane (pewnie do czasu) przez tramwaje.

Izolowanie tras tramwajowych poprzez budowę premetro, bądź tylko ograniczanie się do krytycznych dla prędkości odcinków sieci tramwajowej (w Niemczech oznaczanych jako U-Bahn, czyli lingwistycznie metro), odniosło sukcesy [27], ale i porażki. Swoistym memento może być przykład Ludwigshafen [32], gdzie bezkolizyjną trasę tramwajową omijającą centrum miasta ... zamknięto ze względu na bardzo małą ilość pasażerów, podczas gdy linie trasowane arteriami cieszą się sporą frekwencją. Problemy frekwencyjne dotyczą też linii U-2 metra w Wiedniu (oryginalnie budowanej jako premetro), prowadzonej wzdłuż słynnego Ringu – ratunkiem dla trasy metra ma być „wyprostowanie” jej tak, aby obsługiwała nie tylko centrum, ale też sięgała oddalonych osiedli.

W Polsce jako premetro zbudowano trasę PST w Poznaniu. Pełną izolacją od ruchu ulicznego zastosowano też na trasach szybkiego tramwaju w Krakowie i Szczecinie. Warto zauważyć, że sukces tych tras w Poznaniu (po otwarciu trasy PST kursowały na niej 3 linie, obecnie konieczne jest puszczanie w godzinach szczytu 6 linii) i Szczecinie wynika z łączenia dalekich osiedli z centrum miasta, a w Krakowie z niskiej prędkości trasy przez Planty i obsługi takich miejsc ruchotwórczych jak dworzec kolejowy czy Politechnika.

Model pośredni. W swoim zestawieniu Beim [3] wymienia również szkołę francuską, charak-

teryzując budowane według niej trasy jako z jednej strony meandrujące w celu obsłużenia dużych generatorów pasażerów, a z drugiej osiągające prędkość handlową na poziomie 25 km/h. Jako prekursora takiego modelu trasowania podaje Strasbourg, gdzie z jednej strony tramwaj zbudowano w przestrzeni staromiejskich ulic, a z drugiej w rejonie dworca kolejowego tramwaj ma bezkolizyjną trasę. Można uznać, że model pośredni bierze to co jest dobre z pozostałych, starszych modeli, warto bowiem pamiętać, że o ile w Niemczech, Szwajcarii, Belgii, a także Polsce, Czechach, Węgrzech, Austrii czy Holandii tramwaj zawsze funkcjonował w większych miastach, o tyle we Francji, Wielkiej Brytanii i Irlandii został praktycznie zlikwidowany i teraz jest odbudowywany.

Przykładami tramwaju budowanego według szkoły francuskiej mogą oprócz Strasbourg być chociażby tramwaj w centrum Sheffield (Anglia), prowadzony w przestrzeni ulicy, ale przekraczający ważniejsze dla ruchu samochodowego skrzyżowania w drugim poziomie [1,44]. Innym przykładem może być trasa tramwajowa przez Most Św. Rocha w Poznaniu, na której, pomimo trasowania ulicami XIX-wiecznego miasta tuż obok pozostałości średniowiecznych murów, średnia prędkość handlowa (od Pl. Wiosny Ludów do skrzyżowania z ul. Jana Pawła II) wynosi 21 km/h [36].

Prędkość a dostępność

Zestawione w poprzednim rozdziale metody trasowania tramwajów pokazują pewien dylemat między dostępnością i prędkością handlową tramwaju. Transport szynowy jest efektywny kiedy służy przewozowi pasażerów lub towarów:

- w dużej ilości (lub masie),
- na duże odległości,
- z dużą prędkością.

W centralnych obszarach miast konieczne jest więc szukanie optimum pozwalającego zachęcić jak najwięcej pasażerów, ale przy jak najmniejszym wydłużeniu czasu przejazdu. Dla określenia właściwej prędkości projektowej może być przydatne zestawienie podane w tabeli 1. Zestawienie to oparto o następujące założenia [33]:

- przyspieszenie rozruchu i opóźnienie hamowania 1,2 m/s²,
- średni czas postoju na przystanku 12 s,
- stosunek długości jazdy z pełną prędkością do długości jazdy hamowania i przy-

spieszania 3:2.

Osobną kwestią jest dostępność peronów [5,23,24,30,35]. Im większa prędkość, tym większe są wymagania bezpieczeństwa, co często wydłuża czas podróży pasażera. W szczególności problem dostępności może dotyczyć osób niepełnosprawnych [19], a także miejsc przesiadkowych. Poniżej zestawiono kilka obserwacji związanych z dojściem na perony:

- Na węźle sieci tramwajowej prędkość tramwajów jest ograniczona do 10-15 km/h. Przy tej prędkości pasażerowie mogą (o ile dzieje się to na deptaku, a nie skrzyżowaniu z ruchem samochodowym) bezpiecznie przechodzić najkrótszą drogą między peronami. Wniosek o bezpiecznym przejściu oparto o własne obserwacje z Poznania (węzeł Most Teatralny, ul. Gwarna), Wrocławia i Chorzowa, a także Niemiec i Holandii [32]. Wniosek ten oparto również o publikację [38], a rozwiązanie postulowano także w [5,22,43].
- Za bezpieczną dla umożliwienia pieszym przechodzenia bez sygnalizacji świetlnej prędkość tramwaju można uznać 28, 37 lub 50 km/h. Pierwsza prędkość związana jest z możliwością łagodnego hamowania tramwaju (jego droga hamowania odpowiada drodze hamowania samochodu z prędkości 50 km/h) przed przejściem dla pieszych, druga jest analogiczna, tyle że zakłada hamowanie awaryjne (niebezpieczne dla niektórych pasażerów), trzecia natomiast wynika z możliwości oceny przez pieszo prędkości tramwaju w sytuacji gdy tramwaj ma pierwszeństwo (jeżeli nie wyznaczono przejść dla pieszych) [41]. Przyjęto więc, że granicą dla stosowania niesygnalizowanych przejść dla pieszych przez torowiska tramwajowe powinna być prędkość tramwaju 30 km/h, natomiast granicą dla przechodzenia przez torowisko bez pierwszeństwa – 50 km/h.
- Konieczność skorzystania z przejścia podziemnego może nawet kilkukrotnie wydłużyć czas przejścia między równoległymi peronami [28]. Badania z węzła Ronda Kaponiera w Poznaniu wykazały że w takiej sytuacji 5% przesiadających się osób korzysta z przejścia podziemnego, a 95% przechodzi w poziomie wbrew przepisom. Jeżeli w danym kierunku tramwaje odjeżdżają z dwóch sąsiednich

peronów (taka sytuacja była np. na węźle Marymont w Warszawie), to brak możliwości przejścia praktycznie uniemożliwia pasażerowi skorzystanie z tramwaju który przyjechał na drugi peron.

- Dojście na peron tylko z jednej strony (w pewnym sensie wymagane na ulicach klasy G i GP) może wydłużyć średnią drogę dojścia o 18 m (dla 30-metrowej długości peronu) do 48 m (dla długości peronu 2 x 45 m), co biorąc pod uwagę standardowy konkurencyjny zasięg dojścia pieszego 200-300 m oznacza wydłużenie o 7-19%.

Parametry techniczne trasy tramwajowej i ulicy

Prowadzenie tras tramwajowych w mieście oznacza zazwyczaj wspólne wykorzystanie przestrzeni ulicy przez różnych użytkowników: tramwaje, pieszych, samochody i rowerzystów [12,21,23,32]. Wybrane parametry tras tramwajowych i ulic porównano w tabeli 2.

Porównywanie w tabeli 2 drogi hamowania tramwajów i samochodów wynika z różnicy opóźnienia hamowania. Maksymalna wartość opóźnienia hamowania dla tramwajów ($a = 2,5 \text{ m/s}^2$) jest znacząco mniejsza niż wymagana dla samochodów ($a = 3,5 \text{ m/s}^2$, nie dotyczy ciężarówek). Obliczono więc drogę hamowania Sh tramwajów (przy czasie reakcji $Tr = 2 \text{ s}$) i samochodów (przy czasie reakcji $Tr = 1 \text{ s}$) według wzoru:

$$Sh = V \cdot Tr + V^2 / (2 \cdot a),$$

gdzie V – prędkość, a następnie sprawdzono jaką prędkość samochodowa uzyskała taką samą drogę hamowania jak tramwaj.

Zwrócenie uwagi na minimalną odległość między skrzyżowaniami wynika z ograniczeń gęstości przejść dla pieszych stawianych przez Rozporządzenie [42] dla ulic klasy G i wyższych. Limity te w praktyce wymuszają dostęp do peronu tylko z jednej strony, wydłużając niekiedy znacząco drogę dojścia pasażera.

W oparciu o powyższe analizy, a także publikacje [4,6,8,10,12,16,17,20,21,22,25,28,30,33,34,41,43], zaproponowano do dyskusji następujące zasady planowania tras tramwajowych w zależności od przyjętej prędkości tramwajów. Zasady te uzupełniono o przykłady, głównie z terenu miasta Poznania.

15 km/h. Odcinki tras tramwajowych o takiej prędkości powinny być stosowane rzadko i na krótkich odcinkach. Optymalne jest lokalizowanie takich odcinków przy węzłach tramwajowych lub przy przystankach. Ulica powinna mieć charakter deptaku bądź strefy zamieszkania. Możliwe jest zarówno pierwszeństwo tramwaju, jak i pieszych, z preferencją dla pierwszeństwa tramwajów, zwłaszcza przy dużym ruchu pieszym. Torowisko powinno być zabudowane nawierzchnią pieszą lub

Tab. 1. Zależność między prędkością projektową a odległością między przystankami. Opracowanie własne na podstawie [16,26,27,40]

Prędkość projektowa [km/h]	*15	30	40	50	60	70
Właściwa odległość między przystankami [m]	bez ograniczeń	100-200	200-300	300-500	400-600	600-1000
Prędkość handlowa [km/h]**	5	14	21	28	34	41
Dojście (1 lub 2 poziomowe)	1	1	1/2	1/2	2	2

* Prędkość 15 km/h powinna być stosowana jedynie przy węzłach sieci tramwajowej lub na krótkich deptakach.

** Jest to wartość orientacyjna. Widać że dla prędkości projektowej 40 km/h jest ona na granicy efektywności, projektowanie tras dla tej i mniejszych prędkości powinno więc być uzasadnione dużymi potokami podróży.

Tab. 2. Porównanie parametrów tras tramwajowych i ulic. Opracowanie własne na podstawie [26,27,33,37,42,46]

Prędkość projektowa trasy tramwajowej Vt [km/h]	15	30	40	50	60	70
Klasa ulicy odpowiadająca prędk. Vt	P#	D,L	L	Z,G	G	G,GP
Prędkość samochodów Vs [km/h] odpowiadająca drodze hamowania tramwajów z prędkości Vt	22	42	54	66	78	90
Klasa ulicy odpowiadająca prędk. Vs	P#,D	L	Z,G	GP	GP,S	S
Zalecany sposób przejścia pieszych: przez torowisko*:	TU	UW	U(W)X	UX(Z)	XYZ	XYZ
przez jezdnię dla prędk. pojazdów Vt:	T	U	WX	WX	(W)XZ	XZ
przez jezdnię dla prędk. pojazdów Vs:	T	UW	UW	X(Z)	Z	Z
Zalecana odległość między przystankami [m]	brak	100-200	200-300	300-500	400-600	600-1000
Klasa ulicy właściwa dla odległości między skrzyżowaniami równej zalecanej odlegl. między przystankami	D,L	D,L (Z)	D,L, Z	D,L, Z(G)	D,L, Z,G	D,L, Z,G, GP
Minimalny normalny promień łuku poziomego toru tramwajowego [m]	25	50	100	150	200	300
Odpowiadająca powyższemu promieniowi klasa ulicy	brak	D,L	D,L, Z	D,L, Z,G	D,L,Z, G,GP	wszystkie

P – ulica piesza czyli deptak.

* T – strefa zamieszkania; U – strefa 30 km/h; W – przejście dla pieszych; X – przejście sterowane sygnalizacją świetlną; Y – specjalne sterowanie ruchem (odpowiadające kolejowemu); Z – przejście w drugim poziomie (nadziemne, podziemne).

samochodową. Pozytywnymi przykładami takich odcinków są ul. Gwarna w Poznaniu czy Pl. Teatralny we Wrocławiu.

30 km/h. Prędkość 30 km/h powinna wynikać z gęstej lokalizacji przystanków i dużego popytu na transport tramwajowy; może też obejmować miejsca opisane dla prędkości 15 km/h. Ulica powinna mieć klasę D lub L, z dopuszczalną prędkością samochodów 20-40 km/h. Możliwe jest zarówno pierwszeństwo tramwaju, jak i pieszych, z preferencją dla pierwszeństwa tramwajów, zwłaszcza przy dużym ruchu pieszym. Torowisko powinno być wbudowane w jezdnię. Pozytywnymi przykładami takich odcinków są ze względu na łukowy przebieg ulicy ul. Strzelecka, Wołyńska, Górna Wilda i 28 Czerwca 1956 w Poznaniu czy, ze względu na gęstość węzłów tramwajowych, I obwodnica w Krakowie. Warto zwrócić uwagę na ul. Wołyńską w Poznaniu, na której natężenie ruchu samochodowego jest właściwe dla ulicy klasy L (ulica jest chroniona przed nadmiernym ruchem samochodowym odpowiednim układem ulic jednokierunkowych), w związku z czym wspólny pas tramwajowo-samochodowy nie stanowi dla ruchu tramwajów problemu.

40 km/h. Prędkość 40 km/h powinna wynikać z gęstej lokalizacji przystanków i większego od przeciętnego popytu na transport tramwajowy. Ulica powinna mieć klasę L lub Z, z dopuszczalną prędkością samochodów 40-50 km/h. Piesi powinni ustępować pierwszeństwo tramwajom bądź być puszczani przez sygnalizację świetlną z priorytetem tramwajowym. Torowisko może być wbudowane w jezdnię bądź wydzielone. Pozytywnymi przykładami tras gdzie wystarczy projektowanie

dla prędkości 40 km/h są ul. Kraszewskiego i Winogrody w Poznaniu.

50 km/h. Trasa projektowana dla prędkości 50 km/h zapewnia właściwą prędkość handlową dla konkurencyjności tramwaju. Ulica powinna mieć klasę Z, ewentualnie G, z dopuszczalną prędkością samochodów 50 (ewentualnie 50-70) km/h. Uzasadnione może być też prowadzenie trasy ulicą tramwajową, bądź torowiskiem wydzielonym w przestrzeni ulicy klasy L, ze świadomością że parametry trasy tramwajowej będą istotnie lepsze od parametrów ulicy. Piesi powinni ustępować pierwszeństwo tramwajom bądź być puszczani przez sygnalizację świetlną z priorytetem tramwajowym, ewentualnie można też dopuścić dojeżdżenie w drugim poziomie. Torowisko powinno być wydzielone z jezdni (przynajmniej oznakowaniem i zachowaniem skrajni), co nie wyklucza zabudowy nawierzchni samochodową dla sytuacji awaryjnych, autobusów czy pojazdów alarmowych. Pozytywnymi przykładami tras z prędkością tramwajową 50 km/h są al. Wielkopolska (klasy L), Trasa Kórnicka, ul. Murawa (klasy Z) czy ul. Grunwaldzka (klasy G) w Poznaniu.

60 km/h. W Poznaniu dopuszczenie prędkości 60 km/h występuje jedynie na odcinku ul. Hetmańskiej, można jednak obserwować motorniczych rozwijających taką prędkość na kilku innych odcinkach. Ulica powinna mieć klasę G, ewentualnie GP, z dopuszczalną prędkością samochodów 50-70 km/h. Uzasadnione może być też prowadzenie trasy ulicą tramwajową, bądź torowiskiem wydzielonym w przestrzeni ulicy klasy Z, ze świadomością że parametry trasy tramwajowej będą istotnie lepsze od parametrów ulicy. Przejazd tramwaju powinien

być chroniony przed wejściem pieszych sygnalizacją o standardzie kolejowym bądź poprzez rozwiązania dwupoziomowe. Torowisko musi być wydzielone z jezdni.

70 km/h. Prędkość 70 km/h obowiązuje na trasie PST (za wyjątkiem wybranych fragmentów). Przy tej prędkości konieczne jest wyodrębnienie trasy z ruchu ulicznego, bądź fizycznie poprzez prowadzenie jej w drugim poziomie, bądź przez ochronę przejazdów i przejść sygnalizacją o standardzie kolejowym. Właściwe jest odrębne trasowanie bądź prowadzenie w przestrzeni (lub równoległe do) ulic klasy G, GP lub S.

Doświadczenia poznańskie warto uzupełnić o stwierdzenia, że:

- konieczna jest ochrona torowisk wbudowanych w jezdnię i nie wydzielonych przynajmniej oznakowaniem przed dużym natężeniem ruchu samochodowego, co można zrealizować odpowiednią sygnalizacją lub organizacją ruchu;
- na ulicach klasy L i Z konieczne dla zapewnienia dobrej jakości ruchu tramwajowego jest odpowiednie zarządzanie parkowaniem, w tym odsuwanie miejsc parkingowych od torowiska i ochrona przed „chwilowym” parkowaniem;
- trasowanie wzdłuż ulic klasy GP i S, a często też G, ogranicza dostępność przystanków;
- budowa rozwiązań dwupoziomowych o substandardowych parametrach może stanowić większe ograniczenie prędkości i płynności ruchu tramwajów niż jedno-poziomowe skrzyżowanie z sygnalizacją świetlną i priorytetem tramwajowym.

Skrzyżowania

Kształtowanie sieci tramwajowej według modelu arterii jest najłatwiejsze, rodzi jednak problemy na skrzyżowaniach. Problemy te wynikają z dążenia do zapewnienia dobrej jakości ruchu samochodowego, co jest uzasadnione wysoką klasą ulicy, ale jednocześnie bywa sprzeczne z dobrą jakością ruchu tramwajowego. Wśród problemów koegzystencji w jednej przestrzeni tras tramwajowych i ważnych ulic samochodowych można wymienić:

- problemy z koordynacją sygnalizacji, zwłaszcza jeżeli skrzyżowania są gęściej niż wynika z przepisów Rozporządzenia [10,31,34,42],
- ograniczanie dojeżdżania na perony – dojeżdżenie to lokalizuje się tylko od strony skrzyżowania [5,23,30],
- problemy z obsługą strumieni skracających kolizyjnych z torem tramwajowym (a także z drogami dojeżdżania pieszych na perony) [35],
- problemy ze sterowaniem ruchem jeżeli, wbrew klasie ulicy, nie ma miejsca na wydzielone pasy do skręcania [32,37].

Problemy ze sterowaniem ruchem stają się znacznie poważniejsze gdy na takiej arterii

trzeba zlokalizować węzeł sieci tramwajowej. Ze względu na obowiązek ograniczenia prędkości do 10-15 km/h [18], przejazd tramwaju o długości 30 m przez pełny czterokierunkowy węzeł zajmuje 20-34 s. Obsługa stałoczasowa wszystkich relacji tramwajowych zajmuje więc 120-136 s w cyklu, przy czym długość cyklu nie powinna przekraczać ... 130 s. Sterowanie ruchem tramwajowym w dużej mierze determinuje więc program sygnalizacji, utrudniając jej dostosowanie do potrzeb ruchu samochodowego [31,34].

Rozwiązaniem problemu może być inteligentna sygnalizacja [11], wykorzystująca fakt pojawiania się tramwajów w danej relacji tylko w niektórych cyklach, albo skrzyżowanie z ruchem samochodowym wokół dużej wyspy pozwalającej na zatrzymanie tramwaju [9]. To ostatnie rozwiązanie jest często stosowane kosztem konieczności zatrzymania tramwaju (kosztem pogorszenia jakości ruchu tramwajowego) i przy dopuszczeniu, wbrew Rozporządzeniu [45], kolizyjnych relacji między tramwajami.

Na węzłach trójkierunkowych liczba możliwych relacji stanowi połowę liczby dla węzłów czterokierunkowych, w związku z czym węzły te są mniej problematyczne. Warto

jednak pamiętać, że zamiana węzła czterokierunkowego na dwa trójkierunkowe w zauważalny sposób może zredukować prędkość handlową tramwajów. Pozytywnie można natomiast odnieść się do przeplotu tras tramwajowych połączonego z przystankiem (np. na Pl. Słowiańskim we Wrocławiu), gdyż w takim rozwiązaniu rozjazdy ograniczają prędkość tramwajów jedynie w sąsiedztwie peronów.

W tabeli 3 zestawiono poznańskie trój i czterokierunkowe węzły sieci tramwajowej, z oceną jakości ruchu na skrzyżowaniu. Jakość ruchu samochodowego oceniano sprawdzając czy skrzyżowanie nie jest krytyczne dla przepustowości ważnych ulic, jakoś ruchu tramwajowego oceniano analizując zatrzymanie innego tramwaju, natomiast do oceny jakości ruchu pieszego brano pod uwagę czas czekania na zielone światło. Można zauważyć, że dobrą jakość ruchu osiągają węzły zlokalizowane poza podstawowym układem drogowym, nieco gorszą na węzłach zlokalizowanych na skrzyżowaniach ulicy klasy G z ulicą lokalną. Dużą rolę odgrywa jakość sterowania, natomiast intensywność ruchu tramwajowego już nie. Wśród propozycji rozwiązań poprawiających jakość ruchu na węzłach tram-

wajowych Poznania zlokalizowanych w ciągu ulic układu podstawowego można wymienić [31,34]:

- likwidację liniowych relacji skrajnych tramwajów na węźle Rondo Kaponiera,
- poprowadzenie samochodów tunelem pod węzłami Most Teatralny i Rondo Rataje, zostawiając na powierzchni tramwaje, pieszych i rowerzystów,
- koordynację tramwajową wzdłuż części II ramy, czyli obwodnicy śródmieścia w klasie GP (węzły Żeromskiego, Rondo Jeziorańskiego, Hetmańska – Głogowska, Hetmańska – 28 Czerwca),
- koordynację tramwajową wzdłuż części I ramy, czyli obwodnicy centrum w klasie G (węzły Wierzbicice, Półwiejska i Brama Dębińska),
- poprawę sterowania na węźle Rynek Jeżycki.

Wnioski

Nowoczesne planowanie tras tramwajowych wymaga ich zbliżenia do źródeł i celów podróży pasażerów. Wskazane jest stosowanie modelu mieszanego, a więc w miarę możliwości:

- trasowanie środkiem istniejącej zabudowy [4],
- trasowanie po linii zbliżonej do prostej (im gorsza dostępność peronów, tym mniejsza powinna być różnica między przebiegiem trasy a łąčeniem przystanków linią prostą),
- ograniczenie stosowania rozwiązań dwupoziomowych do miejsc krytycznych dla prędkości handlowej tramwaju [17],
- Uwzględnianie przy trasowaniu profilu prędkości, w tym lokalizowanie rozjazdów czy łuków o małych promieniach przy przystankach [18,34].

Trasowanie metodą arterii jest najprostsze, jednakże może powodować poważne negatywne skutki w postaci ograniczonej dostępności, problemów z jakością sygnalizacji oraz problemów z kształtowaniem węzłów tramwajowych. Innymi słowy proste trasowanie na etapie koncepcji może mieć duże negatywne konsekwencje na etapie projektu organizacji ruchu czy eksploatacji. Odradza się planowanie tras tramwajowych w przestrzeni ulic klasy S i GP (gdyż wymaga się dla nich dobrej jakości ruchu samochodowego), natomiast trasowanie ich w przestrzeni ulic klasy G wymaga rozważań.

Wskazane są badania nad poprawą dostępności tras tramwajowych dla pasażerów, w tym zasad trasowania tramwajów przez deptaki, dopuszczania projektowania tras bez przejść dla pieszych, zmian w prawie w celu umożliwienia dostępności peronów z obu ich końców. Ważne jest też stosowanie priorytetu tramwajowego, rozumianego jednak jako dawanie sygnału „jedź” wtedy kiedy tramwaj go potrzebuje, ale też tylko wtedy [34].

Dla jakości ruchu tramwajowego wskazane jest planowanie węzłów czterokierunkowych,

Tab. 3. Jakość ruchu na węzłach tramwajowych Poznania. Opracowanie własne

Węzły czterokierunkowe							
Węzeł	K	X	S	JT	JS	JP	NT
Okrągłak	L,P	Zwykłe	B	+	+	+	108
Most Teatralny	G,P	Skanalizowane	B	+	–	+	168
Most Teatralny	G,P	Skanalizowane	I	–	–	–	168
Rondo Kaponiera	G,Z	Z wyspą centr.	A	–	–	Podz.	120
Rondo J. N.-Jeziorańskiego	GP,G	Z wyspą centr.	A	–	–	+	60
Rondo Starołęka	GP,G	Z wyspą centr.	A	–	–	–	84
Rondo Śródka	GP,G	Z wyspą centr.	A	–	–	–	60
Hetmańska – Głogowska	GP,G	Skanalizowane	A	–	–	–	72
Hetmańska – 28 Czerwca	GP,L	Skanalizowane	A	–	+	–	66
Jana Pawła II – Kórnicka	GP,L	Na prawe skrzy	I	+	–	–	96
Węzły trójkierunkowe							
Węzeł	K	X	S	JT	JS	JP	NT
Rynek Wildecki	L	Zwykłe	B	+	+	+	36
Rynek Jeżycki	G,L	Zwykłe	S/B	–	–	+	48
Głogowska PST	G,T	Zwykłe	I	+	+	+	60
Wierzbicice	G,L	Skanalizowane	S	–	–	Podz.	48
Półwiejska	G,L	Skanalizowane	A	–	–	–	60
Brama Dębińska	G,Z	Skanalizowane	S	–	–	–	60
Roosevelta – Bukowska	G	Skanalizowane	A	–	+	–	108
Żeromskiego	GP,G	Skanalizowane	A	–	–	–	48
Rondo Rataje	GP,G	Rondo	A	–	–	–	72
Os. Lecha	T	Tramwajowe	I	+	Nadz	Nadz	60

K – klasy ulic zbiegające się w węzle tramwajowym, w tym piesze (P) i tramwajowe (T);

X – typ skrzyżowania;

S – typ sygnalizacji: B – brak, S – stało czasowa, A – akomodacyjna z niewielką swobodą sterowania lokalnego, I – zależna od ruchu;

JT, JS, JP – jakość ruchu tramwajowego, samochodowego, pieszego, o ile obsługa nie następuje w innym poziomie (nadziemnie lub podziemnie);

NT – natężenie ruchu tramwajowego w godzinie szczytu (niektóre dane przyjęto dla sytuacji sprzed kilku lat).

optymalnie poza ulicami wyższych klas. Lokalizacja węzła tramwajowego w ciągu ważnej ulicy samochodowej może skłaniać węzły takie mogą jednak stanowić problem dla dobrego sterowania ruchem samochodowym. ◀

Materiały źródłowe

- [1] Bauer M., Klimontowska N.: Możliwości przyspieszenia linii nr 50 Krakowskiego Szybkiego Tramwaju. w: Krych A.: Celowość, efektywność i skuteczność projektu transportowego, SITK, Poznań 2015, str. 249-268.
- [2] Beim M.: Długoterminowe planowanie inwestycji w systemy tramwajowe. Materiały Instytutu Sobieskiego, Warszawa 2012.
- [3] Beim M.: Trzy szkoły planowania tramwajów. <http://www.transport-publiczny.pl>.
- [4] Beim M., Hague M.: Freiburg's way to sustainability: the role of integrated urban and transport planning. Proceedings of Real Corp, 2010.
- [5] Beim A., Rychlewski J.: Ocena jakości przestrzeni ruchu pieszego na przykładzie śródmieścia Poznania. w: Kaczmarek M., Krych A.: „Skuteczne zmniejszanie zatłoczenia miast” SITK, Poznań 2009, str. 236-247.
- [6] Gaca S., Suchorzewski W., Tracz M.: Inżynieria ruchu drogowego. Teoria i praktyka. WKiŁ, Warszawa 2008.
- [7] Gadziński J., Beim M.: Dostępność przestrzeni lokalnego transportu publicznego w Poznaniu. Transport miejski i regionalny 5/2009, str. 10-16.
- [8] Gehl J.: Cities for people. Island Press, Washington DC 2010.
- [9] Kaczmarek M., Rychlewski J.: Sterowanie ruchem na rondach. Materiały II Międzynarodowej Konferencji Naukowo-Technicznej „Problemy komunikacyjne miast w warunkach zatłoczenia motoryzacyjnego”, SITK, Poznań 1999, str. 128-137.
- [10] Kaczmarek M., Rychlewski J.: Sterowanie skoordynowane ruchem w arterii komunikacyjnej z priorytetem dla tramwajów. Materiały Międzynarodowej Konferencji Naukowej „Transport XXI wieku”, Warszawa 2001, str. 85-92.
- [11] Kaczmarek M., Rychlewski J.: Sterowanie zależne od ruchu z priorytetem dla tramwajów na skrzyżowaniu ulic. Materiały VI Konferencji Naukowo - Technicznej „Transport a rozwój zrównoważony”, SITK, Poznań 2007, str. 455-462.
- [12] Kiecana K.: Ocena jakości ruchu tramwajowego w Poznaniu na trasie linii nr 17 od pętli Ogrody do Pl. Cyryla Ratajskiego. praca inżynierska, Politechnika Poznańska, Poznań 2013.
- [13] Kopta T.: Konferencja OECD „Środowisko zrównoważony transport” – część II. Transport Miejski 12/2000, str. 23-25.
- [14] K3 Krych A.: Prędkość normatywna i straty czasu w ruchu tramwajowym. w: Kaczmarek M., Krych A.: „Skuteczne zmniejszanie zatłoczenia miast”, SITK, Poznań 2009, str. 285-298.
- [15] Krych, A.: Tramwaj jako podmiot strategii i logiki interwencji. w: Krych A.: Celowość, efektywność i skuteczność projektu transportowego, SITK, Poznań 2015, str. 485-518.
- [16] Krych, A.: Straty i koszty strat czasu w komunikacji publicznej. w: Materiały III Konferencji Naukowo-Technicznej „Problemy komunikacyjne miast w warunkach zatłoczenia motoryzacyjnego”, SITK, Poznań 2001, str. 229-244.
- [17] Krych A. i inni: Efektywność priorytetów dla ruchu tramwajów w ruchu ulicznym. w: Krych A.: „Nowoczesny transport publiczny w obszarach zurbanizowanych”, SITK, Poznań 2011, str. 450-486.
- [18] Kupś R., Majchrzycki A., Rychlewski J.: Wpływ rozjazdów na jakość ruchu tramwajowego. Archiwum Instytutu Inżynierii Lądowej 3/2007, str. 183-196.
- [19] Makuch J.: Udostępnianie komunikacji tramwajowej osobom niepełnosprawnym. w: Materiały Międzynarodowej Konferencji Naukowo-Technicznej „Nowoczesne rozwiązania techniczne w komunikacji tramwajowej”, Wrocław 2000, str. 159-168.
- [20] Makuch J., Kruszyna M.: Separacyjny model uprzywilejowania transportu zbiorowego na poziomie ulicy. w: Materiały IV Konferencji Naukowo-Technicznej „Problemy komunikacyjne miast w warunkach zatłoczenia motoryzacyjnego”, SITK, Poznań 2003, str. 321-332.
- [21] Meredith D., van Egeraat C.: Revisiting the National Spatial Strategy ten years on. Administration nr 60/2013, str. 3-9.
- [22] Molecki A.: Trasy tramwajowe wbudowane w deptaki atrakcyjną formą urbanistyczną. Transport Miejski i Regionalny 6/2006.
- [23] Molecki A.: Czas dostępu jako miara efektywności przebudowy węzłów komunikacji miejskiej – na przykładzie Placu Grunwaldzkiego we Wrocławiu. w: Woch J., Janecki R., Sierpiński G.: „Współczesne systemy transportowe – wybrane problemy teorii i praktyki”. Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice 2009.
- [24] Molecki A., Skupień E.: Zachowania pieszych w obrębie dużych skrzyżowań z sygnalizacją świetlną na przykładzie Placu Grunwaldzkiego we Wrocławiu. Transport Miejski i Regionalny 6/2010, str. 31-36.
- [25] Moughtin C., Shirley P.: Urban design – green dimensions. Elsevier, Oxford 2005.
- [26] J. Ostaszewicz, M. Rataj: Szybka komunikacja miejska. WKiŁ, Warszawa 1979.
- [27] Podolski J.: Transport w miastach. WKiŁ, Warszawa 1977.
- [28] Plucińska E.: Kształtowanie przesiadek w miejskim transporcie zbiorowym. w: Krych A.: „Celowość, efektywność i skuteczność projektu transportowego”. SITK, Poznań 2015, str. 169-182.
- [29] Reichow H. B.: Die autogerechte Stadt – Ein Weg aus dem Verkehrs-Chaos. Otto-Meier Verlag, Ravensburg 1959.
- [30] Rychlewski J.: Accessibility of Public Transport Stops on the Example of the City of Poznań. w: Janecki R., Sierpiński G.: „The Development of Transportation Systems”. Wyd. Politechniki Śląskiej, Gliwice 2010, str. 341-350.
- [31] Rychlewski J.: Doświadczenia ze stosowania priorytetu tramwajowego w Poznaniu. Przegląd Komunikacyjny 4-6/2010, str. 42-47.
- [32] Rychlewski J.: Dylematy między współdzieleniem przestrzeni ulicy a separacją różnych jej użytkowników. w: Krych A., Rychlewski J.: „Wydajność systemów transportowych” SITK, Poznań 2013, str. 433-448.
- [33] Rychlewski J.: Modelowanie ruchu tramwajów. Przegląd ITS 5/2008, str. 29-38.
- [34] Rychlewski J.: Priorytet tramwajowy w Poznaniu. Archiwum Instytutu Inżynierii Lądowej 12/2012, str. 33-60.
- [35] Rychlewski J., Beim M.: Ruch pieszego na skrzyżowaniach z inteligentną sygnalizacją świetlną. Transport Miejski i Regionalny 11/2005 str. 17-23.
- [36] J6 – Rychlewski J.: Sygnalizacja na tramwajowej trasie przez most św. Rocha w Poznaniu z punktu widzenia pasażera. Przegląd Komunikacyjny 11-12/2011, str. 66-71.
- [37] Rychlewski J.: Street classification problems. w: Janecki R., Krawiec S.: „Contemporary Transportations Systems. Selected theoretical and practical problems – Modelling of change in transport subsystems”. Wyd. Politechniki Śląskiej, Gliwice 2011, str. 255-264.
- [38] Schmidt M.: Straßenbahnen in Fußgängerzonen. Imove, TU Kaiserslautern, 2008.
- [39] Schmucki B.: Der Traum von Verkehrsfluss. Campus, Frankfurt am Main 2001.
- [40] Sysak J.: Podstawy dróg kolejowych. WKiŁ, Warszawa 1982.
- [41] Szczuraszek T.: Bezpieczeństwo ruchu miejskiego. WKiŁ, Warszawa 2005.
- [42] Rozporządzenie Ministra Transportu i Gospodarki Morskiej z dnia 2 marca 1999 r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać drogi publiczne i ich usytuowanie, Dz. U, poz. 430, 1999 z późniejszymi zmianami.
- [43] Shared space – room for everyone. Plantijn Casparie, Groningen 2005.
- [44] South Yorkshire supertram information. South Yorkshire Passenger Transport Authority, Sheffield 1995.
- [45] Szczegółowe warunki techniczne dla znaków i sygnałów drogowych oraz urządzeń bezpieczeństwa ruchu drogowego i warunki ich umieszczania. Załączniki 1-4 do rozporządzenia Ministra Infrastruktury z dnia 3 lipca 2003 z późniejszymi poprawkami. Dz. U. 220 (2003) poz. 2181.
- [46] Wytyczne techniczne projektowania budowy i utrzymania torów tramwajowych, MAGTiOŚ, Warszawa 1983.