

Ustalanie lokalizacji zajezdni tramwajowej w systemie komunikacji miejskiej z zastosowaniem metody wspomaganego decyzji¹

PIOTR SAWICKI

dr hab. inż., Politechnika Poznańska, ul. Piotrowo 3, 61-138 Poznań, tel.: +48 61 665 22 49, e-mail: piotr.sawicki@put.poznan.pl

PRZEMYSŁAW KUPKA

mgr inż., Miejskie Przedsiębiorstwo Komunikacyjne w Poznaniu Sp. z o.o., ul. Głogowska 131/133, 60-244 Poznań, tel.: +48 61 839 60 00, e-mail: kupkaprzemyslaw@gmail.com

Streszczenie: Artykuł dotyczy problemu ustalenia lokalizacji zajezdni tramwajowej w systemie transportowym miasta. Autorzy zaproponowali pięcioetapową procedurę podejmowania decyzji w tym zakresie, składającą się z: formułowania kryteriów oceny, modelowania alternatywnych lokalizacji, wyznaczania wartości kryteriów, wyboru metody wspomaganego decyzji wraz z budową modelu preferencji i ostatecznego uszeregowania wariantów. W artykule przedstawiono również uniwersalny zbiór kryteriów, stanowiący podstawę ustalenia lokalizacji zajezdni. Zbiór ten składa się z pięciu głównych kryteriów i trzech podkryteriów, odnosząc się do aspektów ekonomicznych, społecznych i technicznych. Problem ustalania lokalizacji zajezdni został przeanalizowany i rozwiązany dla tramwajowego systemu transportu w Poznaniu, a uzyskane rozwiązanie zostało porównane z podjętą decyzją lokalizacyjną.

Słowa kluczowe: transport pasażerski, lokalizacja zajezdni, wspomaganie decyzji, metoda AHP

Problematyka lokalizacji obiektów w systemie transportowym

Zarządzanie systemami transportowymi w aglomeracjach miejskich stanowi szerokie zagadnienie i powinno być prowadzone na wielu poziomach odniesienia, od strategicznego po operacyjny. Do decyzji zarządczych na poziomie strategicznym zaliczyć należy m.in.: projektowanie sieci transportowej, dobór rodzaju i liczebności taboru oraz lokalizacja zaplecza technicznego. Ten ostatni element spełnia w systemie transportowym szereg funkcji, wpływając bezpośrednio na jego sprawność i efektywność, głównie poprzez zapewnienie warunków do właściwego utrzymania posiadanego taboru. W aglomeracjach miejskich przewóz pasażerów realizowany jest zarówno z wykorzystaniem środków transportu autobusowego, jak i tramwajowego. Z racji swoich właściwości transport tramwajowy charakteryzuje się znacznie większą złożonością w porównaniu do autobusowego. Wynika to głównie z dostępności infrastruktury torowej, która jest znacznie mniej rozbudowana w porównaniu do sieci dróg. Ustalanie wielkości i skali zaplecza technicznego dla taboru tramwajowego jest więc zagadnieniem znacznie bardziej skomplikowanym niż w przypadku taboru autobusowego.

Zdaniem Sobolewskiego i in. [8] podstawowym zadaniem zaplecza technicznego jest gromadzenie środków transportu i zapewnienie warunków do prowadzenia obsługi i

praw taboru. W przypadku zaplecza technicznego dla taboru tramwajowego obiekty zajezdni muszą być zlokalizowane na powierzchni pozwalającej na zaprojektowanie wystarczającej sieci torów postojowych i manewrowych z układami zwrotnic, zapewniając nie tylko możliwość zgromadzenia taboru na terenie zajezdni, ale także sprawne jego ekspedowanie na linie komunikacyjne. Drugim podstawowym zadaniem zajezdni jest obsługa i konserwacja taboru w celu utrzymania go w codziennej gotowości ruchowej oraz niesienie pomocy technicznej w przypadku awarii taboru na trasie. Aby spełniać zadanie obsługowo-konserwacyjne, konieczne jest istnienie dobrze wyposażonego zaplecza technicznego, co wiąże się z istnieniem hal o dostatecznej kubaturze, dostosowanej do wymiarów zewnętrznych obsługiwanej taboru.

Oba wspomniane zadania stawiane zajezdniom tramwajowym implikują konieczność zapewnienia lokalizacji i powierzchni dostosowanej do potrzeb. W dzisiejszych czasach znalezienie odpowiedniej działki w centrum miasta ze względów finansowych jest zdecydowanie niemożliwe, dlatego w podejmowaniu decyzji lokalizacyjnej konieczne jest uzyskanie kompromisu pomiędzy potrzebami a możliwościami. Zdaniem autorów niniejszej pracy poruszone zagadnienie jest szczególnie istotne, zważywszy, że w warunkach polskich decyzja o lokalizacji nowej zajezdni tramwajowej nie była podejmowana od trzydziestu lat.

W literaturze spotkać można prace, w których poruszany jest problem zarządzania eksploatacją floty tramwajowej (np. Carrese i Ottone [9]), jednak bez nawiązania do decyzji lokalizacji zajezdni tramwajowych. Problematyka tego typu ma jedynie odniesienie do zajezdni autobusowych (np. Hamdouni i in. [10][11]). Przykładem pracy, w której poruszane jest zagadnienie lokalizacji zajezdni, jest publikacja Kupki i Sawickiego [5], którzy zaproponowali model optymalizacyjny z funkcją celu minimalizującą koszty strat z tytułu dojazdu i powrotu wszystkich składów z zajezdni do/z pierwszego przystanku na obsługiwanej linii.

Biorąc pod uwagę wszystkie wspomniane powyżej okoliczności, autorzy artykułu postawili za cel opracowanie i eksperymentalne zweryfikowanie procedury lokalizacji zajezdni tramwajowej w sieci transportowej, w której istnieje możliwość uwzględnienia szerszego wymiaru analizowanego problemu. Podjęto zatem próbę rozwiązania problemu lokalizacyjnego poprzez zastosowanie metody wspomaganego decyzji.

¹ ©Transport Miejski i Regionalny, 2016. Wkład autorów w publikację: P. Sawicki 50%, P. Kupka 50%.

Propozycja procedury wyznaczania lokalizacji zajezdni tramwajowej

Autorzy artykułu zaproponowali pięcioetapową procedurę wyznaczania lokalizacji zajezdni tramwajowej w systemie transportowym miasta. Procedura ta z założenia stanowi uniwersalną metodykę rozwiązywania tej kategorii problemów decyzyjnych, możliwą do zastosowania w każdym przypadku lokalizacji zajezdni tramwajowej. Wśród głównych etapów procedury (por. rys. 1) znajdują się: formułowanie kryteriów oceny lokalizacji zajezdni (etap 1), modelowanie alternatywnych lokalizacji – wariantów (etap 2), wyznaczanie wartości kryteriów (etap 3), wybór metody wspomaganie decyzji i budowa modelu preferencji (etap 4) oraz wybór najkorzystniejszego wariantu (etap 5).

Należy zauważyć, że wariantem w rozumieniu opracowanej procedury jest zaproponowana lokalizacja zajezdni wraz z rozwiązaniami dostosowawczymi, pozwalającymi na efektywne korzystanie z zajezdni w ramach całego systemu transportowego.

Etap 1 – Formułowanie kryteriów oceny lokalizacji zajezdni

W celu przeprowadzenia kompleksowej oceny porównawczej proponowanych lokalizacji zajezdni tramwajowej w systemie transportowym miasta konieczne jest ustalenie kryteriów oceny poszczególnych rozwiązań. Zestaw kryteriów proponowany przez autorów ma charakter uniwersalny i stanowi kompozycję trzech wymiarów oceny, w tym: ekonomicznego, techniczno-technologicznego oraz społeczno-środowiskowego.

W ustaleniu lokalizacji zajezdni proponuje się zastosować zestaw pięciu głównych kryteriów oceny, przy czym jedno z kryteriów złożone jest z trzech podkryteriów, tj.:

- *kryterium 1*: efektywność trasy dojazdowej z zajezdni do obsługiwanych linii, w tym: *podkryterium 1a*: odległość dojazdu, *podkryterium 1b*: efektywność wykorzystania czasu pracy, *podkryterium 1c*: częstotliwość przejazdów okresowych,
- *kryterium 2*: koszt budowy torowiska,
- *kryterium 3*: niezawodność eksploatacyjna,
- *kryterium 4*: stopień uciążliwości zajezdni dla otoczenia,
- *kryterium 5*: stopień zagospodarowania terenu.

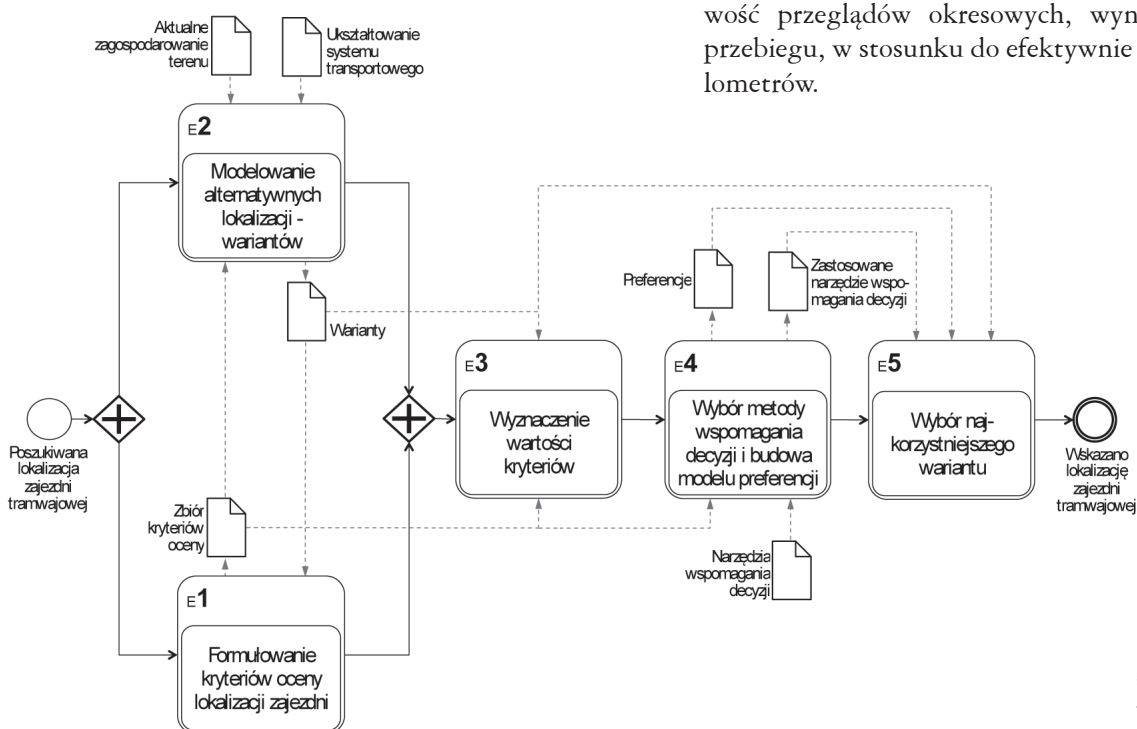
W tabeli 1 zaklasyfikowano poszczególne kryteria i podkryteria do jednej z trzech grup znaczeniowych. Grupa kryteriów ekonomicznych związana jest z trasą dojazdową, jej budową i eksploatacją. Aspekty techniczne związane są z: trasą dojazdową, długością i liczbą alternatywnych przebiegów. Aspekty społeczne związane z długością i przebiegiem trasy dojazdowej oraz z lokalizacją samej zajezdni.

Tabela 1

Klasyfikacja kryteriów i podkryteriów w ramach grup znaczeniowych							
Grupy znaczeniowe – wymiary oceny	Kryteria						
	1			2	3	4	5
	a	b	c				
ekonomiczne	+	+	+	+			
techniczno-technologiczne			+		+		
społeczno-środowiskowe					+	+	+

Źródło: opracowanie własne

Kryterium 1, oznaczane jako κ_1 , określa efektywność trasy dojazdowej z zajezdni, której lokalizacja jest ustalana, do obsługiwanych linii. Kryterium to wyrażone jest poprzez zestaw trzech podkryteriów κ_{1a} , κ_{1b} oraz κ_{1c} . Podkryterium κ_{1a} oznacza odległość dojazdu na trasie pomiędzy zajezdnią a pierwszym przystankiem na linii; κ_{1b} efektywność wykorzystania czasu pracy motorniczego, związaną z dojazdem i powrotem do/z obsługiwanej linii, natomiast κ_{1c} częstotliwość przejazdów okresowych, wynikających z pełnego przebiegu, w stosunku do efektywnie wykonanych wozokilometrów.



Rys. 1. Główne etapy procedury wyznaczania lokalizacji zajezdni tramwajowej
Źródło: opracowanie własne

Kryterium 2, oznaczone jako κ_2 , określa koszt budowy torowiska pomiędzy istniejącą infrastrukturą torową a zajezdnią; nie jest ono wprost proporcjonalnie uzależnione od długości budowanego toru lecz zależy od lokalizacji i zastosowanej technologii budowy torowiska.

Kryterium 3, oznaczone jako κ_3 , wyraża niezawodność eksploatacyjną przyjętego rozwiązania, tj. lokalizacji zajezdni i zaproponowanego układu torowego. Niezawodność rozumiana jest jako zapewnienie wielu możliwości ekspedycjonowania taboru z zajezdni na sieć.

Kryterium 4, oznaczone jako κ_4 , określa stopień uciążliwości zajezdni dla otoczenia. Określa ono zarówno, jak budowa i użytkowanie torowiska wpłynę na dostępność terenów do niego przyległych oraz jak sama zajezdnia i torowisko dojazdowe będzie oddziaływać na środowisko i mieszkańców, głównie w postaci zwiększonego hałasu i drgań.

Kryterium 5, oznaczone jako κ_5 , określa stopień zagospodarowania terenu i stanowi ocenę wpływu inwestycji na istniejący układ urbanistyczny rejonu. W kryterium tym oceniana jest zgodność lokalizacji zajezdni tramwajowej z istniejącym rodzajem zagospodarowania obszaru, tj. lokalizacja zajezdni na terenie: przemysłowym, mieszkalnym, niezabudowanym.

Konsekwencją ustalenia kryteriów oceny wariantów jest wpływ na późniejszy dobór metody wspomaganie decyzji, który pozwala na uwzględnienie przyjętego zestawu kryteriów i sposobu ustalenia ich wartości.

Etap 2 – Modelowanie alternatywnych lokalizacji – wariantów

Poszukując lokalizacji zajezdni tramwajowej wpisującej się w system transportowy miasta, konieczne jest zaprojektowanie rozwiązania z taką szczegółowością, która pozwoli na ustalenie jej wpływu na wszystkie aspekty podejmowanej decyzji, a więc: ekonomiczne, techniczno-technologiczne oraz społeczno-środowiskowe.

Etap 3 – Wyznaczenie wartości kryteriów

Ocena każdego z opracowanych wariantów lokalizacji zajezdni tramwajowej w systemie transportowym miasta jest prowadzona z dokładnością do przyjętego zbioru kryteriów. Każde z kryteriów charakteryzuje się swoją specyfiką, głównie z uwagi na możliwość precyzyjnego określenia jego wartości. Z tego punktu widzenia wartość kryterium może być ustalona precyzyjnie lub szacunkowo – ekspercko.

Etap 4 – Wybór metody wspomaganie decyzji i budowa modelu preferencji

Wybór metody wspomaganie decyzji jest etapem, w którym następuje wybór metody zbieżnej ze specyfiką problemu i sposobem jego modelowania. W pracy H. Sawickiej [4] wskazuje się, że dobór metody odbywa się pięcioetapowo, w tym: rozpoznanie sytuacji decyzyjnej, przegląd dostępnych metod wspomaganie decyzji, analiza aspektów doboru metody wspomaganie decyzji, porównanie wyników analiz oraz finalny wybór metody. Autorka w swojej pracy szczegółowo omawia każdy ze wspomnianych etapów procesu wyboru.

Budowa modelu preferencji jest silnie uzależniona od specyfiki metody jaka zostanie wybrana do wsparcia podejmowania decyzji. Formułowanie preferencji w ogólności polega na ustaleniu: istotności kryteriów oceny oraz gradacji preferencji ocen poszczególnych wariantów pomiędzy sobą.

Etap 5 – Wybór najkorzystniejszego wariantu

Realizacja ostatniego etapu procedury, zależnie od przyjętej metody, odbywa się w oparciu o wartościowaną relację pozwalającą na ustalenie wzajemnych zależności pomiędzy poszczególnymi wariantami. Generalną zasadą jest uznanie, że rozwiązanie posiadające najwyższą ocenę jest rozwiązaniem najkorzystniejszym i co do zasady jest rozwiązaniem rekomendowanym do zastosowania.

Istnieje spora grupa metod wspomaganie decyzji, których zastosowanie może doprowadzić do sytuacji, w której kilka wariantów uznaje się za równoważne, a zatem ich ostateczna selekcja musi odbyć się poprzez pogłębienie dotychczasowej analizy lub korektę dotychczasowych założeń. Innym rozwiązaniem jest podjęcie decyzji eksperckiej – wybór jednego wariantu spośród kilku równoważnych.

Ustalenie lokalizacji zajezdni tramwajowej w Poznaniu, w oparciu o zaproponowaną procedurę

System transportu tramwajowego w Poznaniu posiada blisko 215 km torowiska; w jego obrębie funkcjonuje 19 linii tramwajowych o numeracji {1, ..., 18, 26} i posiada 14 pętli tramwajowych {Junikowo, Budziszynska, Ogrody, Piątkowska, os. Jana III Sobieskiego, Połabska, Wilczak, Zawady, Miłostowo, os. Lecha, Stomil, Starołęka, Dębiec i Górczyn}. Łącznie w systemie komunikacji tramwajowej eksploatowanych jest 174 pociągów (6 różnych typów), które utrzymywane są w ramach 3 zajezdni tramwajowych: S1 = {Głogowska}, S2 = {Madalińskiego} oraz S3 = {Forteczna}. Kluczowe elementy sieci transportowej oraz lokalizacja poszczególnych pętli i zajezdni tramwajowych zostały przedstawione na rysunku 2.

Przewoźnik – Miejskie Przedsiębiorstwo Komunikacyjne w Poznaniu stanął przed koniecznością likwidacji jednej z trzech lokalizacji zajezdni tramwajowych – przy ulicy Madalińskiego {S2}. Jest to spowodowane zarówno niewielką powierzchnią tej zajezdni, jak również brakiem możliwości dalszej rozbudowy oraz bliskością zabudowań mieszkalnych. Przewoźnik przygotowując się do wymiany znacznej części taboru, a co z tym związane, zmiany technologii obsługi i napraw, powinien dostosować swój potencjał do zmian w taborze. W tej sytuacji zdecydowano się na określenie jednej nowej lokalizacji zajezdni tramwajowej, spełniającej wszystkie stawiane wymagania związane z technologią obsługi i napraw taboru tramwajowego.

Etap 1 – Formułowanie kryteriów oceny lokalizacji zajezdni

W pierwszym etapie przyjęto zestaw 5 głównych kryteriów i 3 podkryteriów zaproponowany przez autorów artykułu w rozdziale 2.2; obejmuje on:

- κ_1 - efektywność trasy dojazdowej z zajezdni do obsługiwanych linii komunikacyjnych, w tym: κ_{1a} - odległość dojazdu, κ_{1b} - efektywność wykorzystania czasu pracy, κ_{1c} - częstotliwość przeglądów okresowych,
- κ_2 - koszt budowy torowiska,
- κ_3 - niezawodność eksploatacyjną,
- κ_4 - stopień uciążliwości zajezdni dla otoczenia,
- κ_5 - stopień zagospodarowania terenu.

Etap 2 – Modelowanie alternatywnych lokalizacji – wariantów

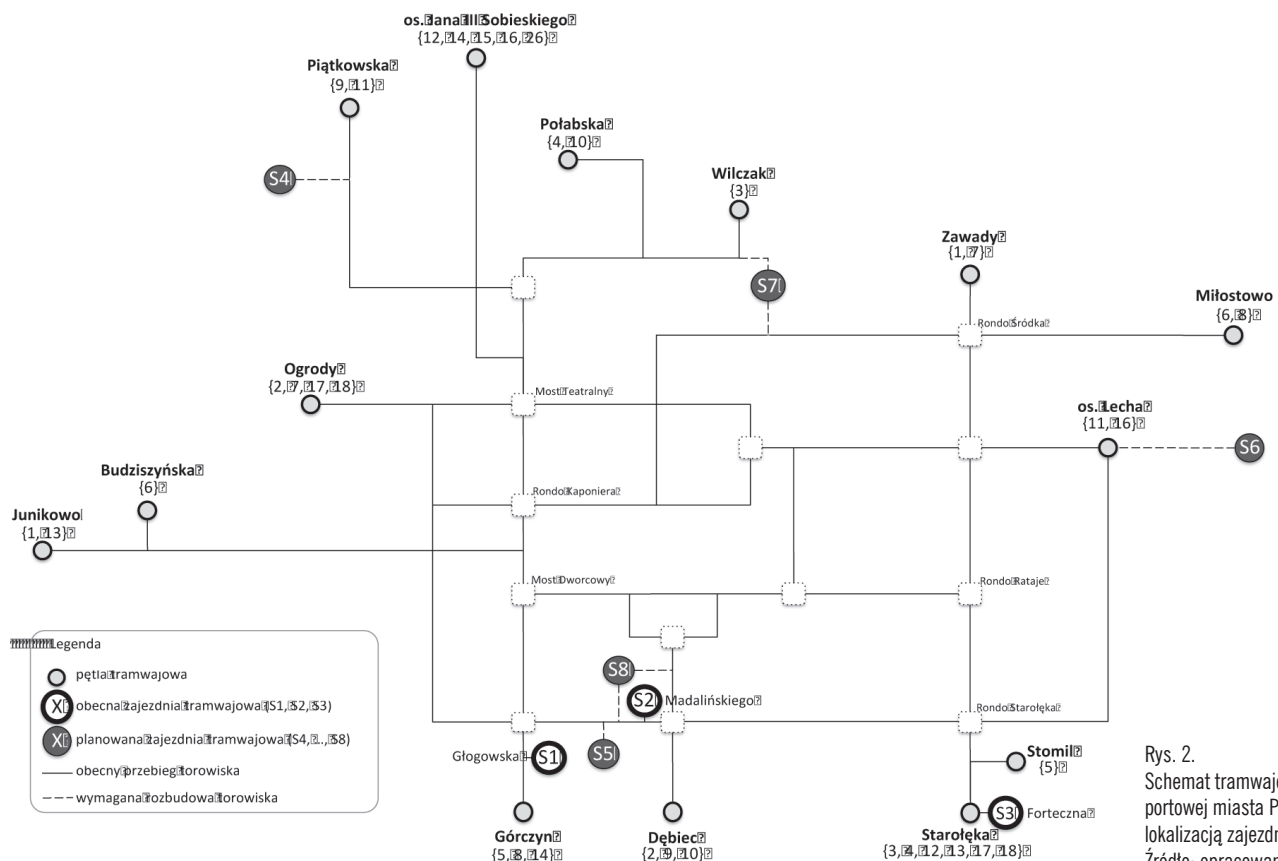
W ramach drugiego etapu procedury zaproponowano 5 alternatywnych lokalizacji zajezdni tramwajowych na terenie miasta Poznania. Wszystkie te warianty syntetycznie przedstawiono poniżej.

W wariantcie pierwszym – W_1 , nowa zajezdnia tramwajowa zlokalizowana jest w północno-zachodniej części miasta, przy ulicy Dojazd (oznaczenie S_4 na rys. 2), na działce o powierzchni 75 tysięcy m^2 . Lokalizacja ta wymaga wybudowania 700-metrowego pojedynczego toru dojazdowego do najbliższego rozjazdu, co pozwala na ekspediowanie tramwajów w dwóch kierunkach, lecz w przypadku awarii jednego z pociągów, może to powodować zablokowanie dostępu do zajezdni. Torowisko dojazdowe nie będzie przebiegać w terenie ściślej zabudowy, a zatem nie jest wymagane stosowanie zaawansowanych technologii budowy. Niemniej, zajezdnia w tym wariantcie zlokalizowana jest w pobliżu osiedla domów jednorodzinnych, co może powodować niezadowolenie mieszkańców.

W wariantcie W_2 zajezdnia zlokalizowana jest w południowej części miasta, przy ulicy Dwatory (oznaczenie S_5 na rys. 2), częściowo na nieużytkach wzdłuż linii kolejowej północ-południe, a częściowo na terenie składu opału. Działka ma powierzchnię około 65 tysięcy m^2 , a w bezpośrednim jej sąsiedztwie brak jest budownictwa mieszkalnego, głównie ze względu na bliskość torów kolejowych; po drugiej ich stronie znajduje się teren przemysłowy Zakładów H. Cegielskiego. Lokalizacja zajezdni przy ulicy Dwatory wymaga wybudowania 300-metrowego toru dojazdowego do najbliższego rozjazdu. Odległość od rozjazdu do przystanku w kierunku ulicy Głogowskiej wynosi 30 m, natomiast przystanek w kierunku ulicy 28 czerwca 1956 r. należy dodatkowo wybudować (odległość od rozjazdu wynosiłaby również około 30 m).

Wariant W_2 wprowadza lokalizację zajezdni we wschodniej części miasta – na Franowie (oznaczenie S_6 na rys. 2), na nieużytkach położonych wzdłuż magistrali kolejowej, a od osiedli mieszkaniowych jest oddzielona wielkokubaturowymi halami centrów handlowych M1 oraz budynkami browaru KP SA. Powierzchnia działki przeznaczonej na nową zajezdnię wynosi około 290 tysięcy m^2 . Długość toru dojazdowego do najbliższego istniejącego rozjazdu wynosi 2000 m, a po przebudowie istniejącego układu torowego, odległość od rozjazdu do pierwszego przystanku w kierunku ulicy Kórnickiej wyniesie 100 m, natomiast w kierunku Żegrza 200 m.

W wariantcie W_4 zajezdnia zlokalizowana jest w północnej części miasta, przy ulicy Północnej (oznaczenie S_7 na rys. 2). W sąsiedztwie tej lokalizacji znajduje się nowo powstałe osiedle mieszkaniowe przy ulicy Gen. T. Kutrzeby,



Rys. 2. Schemat tramwajowej sieci transportowej miasta Poznania wraz z lokalizacją zajezdni
Źródło: opracowanie własne

biorąc jednak pod uwagę przebiegające w pobliżu torowisko kolejowe, wpływ zajezdni na otoczenie należy uznać za znikomy. Powierzchnia działki na której mogłaby powstać zajezdnia wynosi około 62 tysięcy m², a obecnie znajduje się tam składnica surowców wtórnych oraz firmy spedycyjne. Lokalizacja dla W_4 pozwala na ekspediowanie pociągów w dwóch kierunkach: ulicy Estkowskiego (konieczna budowa torowiska o długości 500 m, a odległość od rozjazdu do przystanku w kierunku placu Wielkopolskiego i Ronda Śródką wyniosłaby odpowiednio 30 i 50 m), ulicy Przepadek (konieczna budowa torowiska o długości 1000 m, a odległości od rozjazdu do przystanków w kierunku Winograd i ulicy Poznańskiej wyniosłaby odpowiednio 150 i 50 m).

Wariant W_5 wprowadza lokalizację zajezdni w centralnej części Poznania, na terenie dawnych Zakładów Naprawczych Taboru Kolejowego (w skr. ZNTK), przy ulicy Roboczej (oznaczenie S_7 na rys. 2). Teren ma charakter przemysłowo-transportowy i położony jest wzdłuż toru kolejowego w kierunku dworca kolejowego Poznań Główny. Z uwagi na swój charakter i poprzednie przeznaczenie teren ten wyposażony jest w infrastrukturę torową oraz obiekty, które można zaadoptować dla celów nowej zajezdni tramwajowej. Teren ma powierzchnię ponad 250 tysięcy m²; a położenie na terenie ZNTK pozwala na przeprowadzenie trzech niezależnych tras wyjazdowych, tj. w kierunku: ulicy Hetmańskiej (konieczne wybudowanie odcinka dojazdowego o długości 1000 m, a odległości od rozjazdu do przystanku w kierunku ulicy 28 czerwca 1956 r. oraz ulicy Głogowskiej wynoszą odpowiednio 300 i 400 m), Rynku Wildeckiego (długość trasy dojazdowej do dowolnego przystanku wynosi ok. 350 m), ul. Towarowej (długość trasy dojazdowej wynosi 800 m, a przed wyjazdem w ulicę S. Matyi powinny zostać utworzone przystanki).

Etap 3 – Wyznaczenie wartości kryteriów

Na podstawie przedstawionych analiz, ocen eksperckich i obliczeń zbudowano tablicę ocen poszczególnych wariantów W_1, \dots, W_5 . Kryteria K_1 , wraz z podkryteriami K_{1a} i K_{1b} , a także K_2 zostały ustalone w sposób analityczny. Pozostałe kryteria, tj. K_3, K_4, K_5 oraz podkryterium K_{1c} zostały wyznaczone ekspercko. Rezultat tego etapu procedury został przedstawiony w tabeli 2.

Tabela 2

Tablica ocen poszczególnych wariantów						
Kryteria / podkryteria	Jednostki miary	Warianty				
		W_1	W_2	W_3	W_4	W_5
K_{1a}	[km]	463,7	362,2	512,2	355,0	182,7
K_{1b}	[%]	95	96	93	96	97
K_{1c}	[szt.]	3	3	4	4	8
K_2	[tys. zł]	52,5	22,5	269,3	116,7	176,7
K_3	[pkt.]	4	3	5	2	1
K_4	[pkt.]	4	1	5	2	2
K_5	[pkt.]	5	2	2	2	1

Źródło: opracowanie własne

Etap 4 – Wybór metody podejmowania decyzji i budowa modelu preferencji

Zgodnie z wytycznymi przedstawionymi w rozdziale 2.5 w analizowanym problemie zastosowano co do zasady metodę *Analytical Hierarchy Process*, w skr. AHP [5], a wykorzystanym narzędziem analitycznym, zgodnym z metodyką AHP, jest MakeItRational [6]. W tym przypadku określanie preferencji dotyczy zarówno ustalenia ważności poszczególnych kryteriów, w tym ważności podkryteriów w obrębie kryterium nadrzędnego, jak również wyrażenie preferencji na zbiorze rozważanych wariantów, osobno dla każdego z kryteriów. W analizowanym przypadku decydującym jest przewoźnik (MPK Poznań Sp. z o.o.), który w bezpośredni sposób będzie użytkownikiem zajezdni tramwajowej, której lokalizacja jest ustalana.

Prowadząc hierarchizację zgodną z metodą AHP, zarówno w odniesieniu do kryteriów, jak i wariantów, posłużono się jednolitą 5-stopniową skalą ocen, w której poszczególne oceny oznaczają:

- 1: dla przypadku równoważnych porównywanych elementów,
- 3: dla słabej preferencji jednego elementu nad drugim,
- 5: dla silnej preferencji jednego elementu nad drugim,
- 7: dla bardzo silnej preferencji jednego elementu nad drugim,
- 9: dla ekstremalnie silnej preferencji jednego elementu nad drugim,

przy czym przez element rozumie się zarówno wariant, jak i kryterium (podkryterium), zależnie od kontekstu porównania.

Stosując powyższą skalę, zbudowano model preferencji względem kryteriów, prowadząc porównanie kryteriów parami; rezultat został przedstawiony w tab. 3. Z uwagi na fakt, że kryterium K_1 zbudowane jest z trzech podkryteriów, identycznego ustalenia preferencji dokonano na poziomie podkryteriów, a rezultat został przedstawiony w tabeli 4.

Tabela 3

Hierarchia kryteriów oceny wariantów						
Kryteria						
		K_1	K_2	K_3	K_4	K_5
Kryteria	K_1	1	5	3	7	9
	K_2	1/5	1	3	5	5
	K_3	1/3	1/3	1	7	7
	K_4	1/7	1/5	1/7	1	3
	K_5	1/9	1/5	1/7	1/3	1

Źródło: opracowanie własne

Tabela 4

Hierarchia podkryteriów dla kryterium				
Podkryteria				
Podkryteria		K_{1a}	K_{1b}	K_{1c}
	K_{1a}	1	1/3	9
	K_{1b}	3	1	9
	K_{1c}	1/9	1/9	1

Źródło: opracowanie własne

W kolejnym kroku procesu decyzyjnego, zgodnego z metodą AHP, przeprowadzono porównania parami wszystkich wariantów, budując pięć osobnych macierzy preferencji dla każdego z kryteriów. Rezultaty modelowania preferencji na tym etapie przedstawiono w kolejnych tablicach 5–9.

Tabela 5

Hierarchia wariantów wzgl. kryterium K_1						
		Warianty				
		W_1	W_2	W_3	W_4	W_5
Warianty	W_1	1	1/3	3	1/3	1/7
	W_2	3	1	5	1	1/5
	W_3	1/3	1/5	1	1/5	1/9
	W_4	3	1	5	1	1/5
	W_5	7	5	9	5	1

Źródło: opracowanie własne

Tabela 6

Hierarchia wariantów wzgl. kryterium K_2						
		Warianty				
		W_1	W_2	W_3	W_4	W_5
Warianty	W_1	1	1/3	9	5	7
	W_2	3	1	9	7	7
	W_3	1/9	1/9	1	1/5	1/3
	W_4	1/5	1/7	5	1	3
	W_5	1/7	1/7	3	1/3	1

Źródło: opracowanie własne

Tabela 7

Hierarchia wariantów wzgl. kryterium K_3						
		Warianty				
		W_1	W_2	W_3	W_4	W_5
Warianty	W_1	1	1/3	5	1/5	1/7
	W_2	3	1	7	1/3	1/5
	W_3	1/5	1/7	1	1/9	1/9
	W_4	5	3	9	1	1/3
	W_5	7	5	9	3	1

Źródło: opracowanie własne

Tabela 8

Hierarchia wariantów wzgl. kryterium K_4						
		Warianty				
		W_1	W_2	W_3	W_4	W_5
Warianty	W_1	1	1/5	3	1/3	1/3
	W_2	5	1	7	3	3
	W_3	1/3	1/7	1	1/5	1/5
	W_4	3	1/3	5	1	1
	W_5	3	1/3	5	1	1

Źródło: opracowanie własne

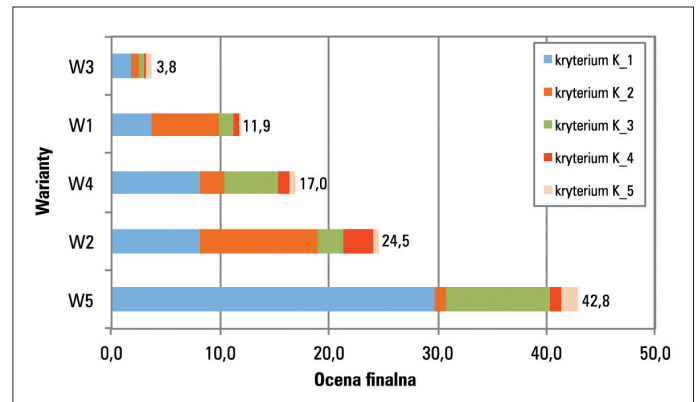
Tabela 9

Hierarchia wariantów wzgl. kryterium K_5						
		Warianty				
		W_1	W_2	W_3	W_4	W_5
Warianty	W_1	1	1/3	1/3	1/3	1/5
	W_2	3	1	1	1	1/3
	W_3	3	1	1	1	1/3
	W_4	3	1	1	1	1/3
	W_5	5	3	3	3	1

Źródło: opracowanie własne

Etap 5 – Wybór najkorzystniejszego wariantu

Stosując zbudowany wcześniej model preferencji w odniesieniu do kryteriów, jak i wariantów, zgodnie z istotą metody AHP, zostało wyznaczone ostateczne uszeregowanie. Wartości uzyskane przez poszczególne warianty w odniesieniu do każdego kryterium oceny, jak również zbiorczy rezultat stanowiący podstawę uszeregowania wszystkich wariantów, zaprezentowano na rys. 3.



Rys. 3. Ostateczne uszeregowanie wariantów lokalizacji zajezdni tramwajowej w systemie transportowym Poznania. Źródło: opracowanie własne

Zestawienie to wskazuje wariant W_5 , zakładający zlokalizowanie zajezdni na terenie ZNTK jako rozwiązanie najlepsze. Najwyższa lokata tego rozwiązania (ocena finalna wynosi 42,8 pkt) wynika przede wszystkim z bardzo wysokich ocen tego wariantu, uzyskanych w ramach kryteriów: K_1 – efektywność trasy dojazdowej, K_3 – niezawodność eksploatacyjna oraz K_5 – stopień zagospodarowania terenu. W ramach kryterium koszt budowy torowiska – K_2 wariant ten uzyskał jeden z gorszych rezultatów, natomiast względem kryterium stopnia uciążliwości zajezdni dla otoczenia – K_4 jest to rozwiązanie identyczne jak w przypadku wariantu W_4 .

Uwzględniając kryterium kosztu budowy torowiska – K_2 oraz stopnia uciążliwości zajezdni dla otoczenia – K_4 , najkorzystniejszym wariantem jest W_2 , zakładający zlokalizowanie zajezdni przy ulicy Dwatory. W ogólnym rankingu, na pierwszym miejscu, znalazła się lokalizacja ZNTK (W_5), na drugim Dwatory (W_2); trzecią lokatę zajmuje lokalizacja przy ulicy Północnej (W_4), czwartą przy ulicy Dojazd (W_1), a piątą lokalizacja zajezdni na Franowie (W_3).

Podsumowanie

W artykule przedstawiono autorską propozycję wyznaczania lokalizacji zajezdni tramwajowej w systemie transportowym miasta. Problem został przedstawiony w postaci zadania szeregowania wariantów, gdzie wariantem jest lokalizacja zajezdni wraz z koniecznymi działaniami dostosowawczymi. Autorzy zaproponowali pięcioetapową procedurę postępowania, a dodatkowo został przedstawiony uniwersalny zbiór kryteriów uwzględniających aspekty ekonomiczne, społeczne i techniczne towarzyszące procesowi decyzyjnemu.

Dokończenie tekstu na stronie 31

4. *Plan działania na rzecz mobilności w miastach*, Komunikat Komisji do Parlamentu Europejskiego, Rady, Europejskiego Komitetu Ekonomiczno-Społecznego i Komitetu Regionów COM (2009) 490, Bruksela 2009.
5. Dupontail V., Meerschaert V., *ADVANCE better planning, better cities. Audyt ADVANCE. Przebieg audytu i wytyczne*, 2013, www.eu-advance.eu.
6. Flejterski S., Panasiuk A., Perenc J., Rosa G., *Współczesna ekonomika usług*. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2008.
7. Kruszyna M., *Inżynieria ruchu a kształtowanie mobilności*. „Przegląd Komunikacyjny”, 2010, nr 11–12.
8. Kruszyna M., *Dworzec kolejowy jako węzeł mobilności*. „Przegląd Komunikacyjny”, 2012, nr 10.
9. Szarata A., *Modelowanie podróży wzbudzonych oraz tłumionych zmianą stanu infrastruktury transportowej*, Wydawnictwo Politechniki

- Krakowskiej, Seria Inżynieria Lądowa, Monografia 439, Kraków 2013.
10. Szoltysek J., *Kreowanie mobilności mieszkańców miast*. Wolters Kluwer, Warszawa 2011.
11. Ustawa z dnia 16 grudnia 2010 roku o publicznym transporcie zbiorowym. Dziennik Ustaw z 2011 r. Nr 5 poz. 13.
12. Wefering F., Rupprecht S., Bührmann S., Böhler-Baedeker S., *Wytyczne. Opracowanie i udrożnienie planu zrównoważonej mobilności miejskiej*. Rupprecht Consult – Forschung und Beratung GmbH, Bruksela 2013, [dokument przetłumaczony przez Regionalne Centrum Ekologiczne w ramach Akronim Projektu BUMP, <http://www.bump-mobility.eu>].
13. Załoga E., Dudek E., *Wybrane problemy mobilności społeczeństwa europejskiego*. Zeszyty Naukowe Uniwersytetu Szczecińskiego, Problemy Transportu i Logistyki, z. 9, Szczecin 2009.

Dokończenie tekstu ze strony 11

Opracowaną metodę zastosowano post factum w procesie podejmowania decyzji o wyborze lokalizacji zajezdni tramwajowej w systemie transportowym Poznania. Decyzja sugerowana w wyniku zastosowania procedury zaproponowanej w tym artykule – ustalenie lokalizacji zgodnej z W_5 (na terenie ZNTK) odbiega od decyzji podjętej wcześniej w trybie administracyjnym – lokalizacja na Franowie (W_3), podjętej bez stosowania metod wspomagających podejmowanie decyzji. Nie oznacza to, że lokalizując zajezdnię tramwajową na Franowie, dokonano najmniej korzystnego z wyborów, gdyż jak autorzy wskazali decyzja miała charakter administracyjny i mogła uwzględniać inny zakres analiz, niż przedstawiony w artykule. Tym samym autorzy uznają procedurę przedstawioną w tym artykule, jak również propozycję podejścia optymalizacyjnego, przedstawionego w pracy Kupka i Sawicki [5], jako rozwiązanie prototypowe, które należy poddać szerszej dyskusji i doskonaleniu.

Dokończenie tekstu ze strony 19

Jak wynika z badań ankietowych mieszkańców, istnieją różnice w zachowaniach transportowych mieszkańców obszarów centralnych i peryferyjnych miasta, osiedli o zabudowie wielo- i jednorodzinnej czy też obszarów o zróżnicowanym zagospodarowaniu przestrzennym.

Ostateczne wyniki przeprowadzonej analizy wykazały, iż ponad 95% odcinków w transporcie publicznym oraz ponad 92% odcinków transportu indywidualnego spełniało warunek wskaźnika GEH mniejszego od 5.

Podsumowanie

Przedstawiony zarys konstrukcji symulacyjnego modelu transportowego wraz z opisem idei prowadzenia obliczeń symulacyjnych dotyczy matematycznego odtworzenia procesów transportowych w stanie bieżącym. Tak opracowany model umożliwił charakterystykę funkcjonowania transportu Bydgosko-Toruńskiego Obszaru Partnerstwa, przeprowadzenie analizy SWOT systemów transportowych oraz postawienie diagnozy z zakresu niezbędnych działań na rzecz zrównoważonego rozwoju transportu w analizowanym obszarze. Dodatkowo umożliwił określenie efektów działań doraźnych, przede wszystkim z zakresu zmian

Literatura

1. Carrese S., Ottone G., *A model for the management of a tram fleet*, “European Journal of Operational Research”, 2006, vol. 175, No 3.
2. Hamdouni M., Desaulniers G., Soumis F., *Parking buses in a depot using block patterns: A Benders decomposition approach for minimizing type mismatches*, “Computers and Operations Research”, 2007, vol. 34, no 11.
3. Hamdouni M., Soumis F., Desaulniers G., *Parking buses in a depot with stochastic arrival times*, “European Journal of Operational Research”, 2007, vol. 183.
4. <http://makeitrational.com>
5. Kupka P., Sawicki P., *Optymalizacja lokalizacji zajezdni tramwajowej w systemie komunikacji miejskiej*, „Logistyka”, 2015, nr 2.
6. Saaty T.L., *The Analytic Hierarchy Process*, McGraw-Hill, New York, 1980.
7. Sawicka H., *Metoda reorganizacji systemu dystrybucji towarów*, Politechnika Warszawska, Rozprawa doktorska, 2012.
8. Sobolewski E., Łowiński J., Sikorski A., *Miejska komunikacja szynowa*. Wydawnictwo Arkady, Warszawa 1971.

w funkcjonowaniu transportu publicznego (zmian tras linii miejskiego transportu publicznego, zmian częstotliwości kursowania w transporcie kolejowym, efektów dyslokacji stacji i przystanków). Jednocześnie, dzięki przejrzystej budowie i parametryzacji poszczególnych kroków obliczeniowych, model ten stał się bazą do opracowania modeli prognostycznych umożliwiających określenie koncepcji rozwoju wszystkich podsystemów transportowych, przy danych scenariuszach rozwoju gospodarczego i zmian w zagospodarowaniu przestrzennym zarówno Bydgoszczy i Torunia, jak i pozostałych analizowanych obszarów, a także działań na rzecz jego zrównoważonego rozwoju.

Literatura

1. *Studium zrównoważonego rozwoju systemów transportowych powiatów bydgoskiego i toruńskiego ze szczególnym uwzględnieniem miast Bydgoszczy i Torunia*, Fundacja Rozwój UTP, Bydgoszcz, kwiecień 2016.
2. *Studium transportowe województwa kujawsko-pomorskiego na potrzeby planu zrównoważonego rozwoju publicznego transportu zbiorowego*, Fundacja Rozwój UTP, Bydgoszcz, grudzień 2013.
3. *PTV VISUM Manual*, PTV AGD Karlsruhe, październik 2014.