

Michał Mirosław¹, Józef Suda²
Politechnika Warszawska, Wydział Transportu

Analiza trasy trzeciej linii metra w Warszawie

1. WPROWADZENIE

Warszawa posiada różne rodzaje transportu zbiorowego – metro, kolej metropolitalną, tramwaje i autobusy. Zgodnie z przyjętą strategią transportową Warszawy [2] podstawą systemu transportowego ma być sieć linii metra. Po otwarciu w marcu 2015 r. pierwszego odcinka II linii metra sieć ta składa się z dwóch linii, przecinających się w centrum miasta. Wkrótce budowa II linii metra będzie kontynuowana.

System transportu zbiorowego w Warszawie obciążony jest dużymi potokami pasażerskimi, dochodzącymi w wielu miejscach do zdolności przewozowej środków transportu. Bardzo duże obciążenie panuje na pierwszej linii metra. Wyniki warszawskiego kompleksowego badania ruchu (ostatnie wykonano w 2005 r.) pokazały, że podział zadań przewozowych pomiędzy transportem zbiorowym i indywidualnym wynosił w dzień powszedni 70% do 30% [4]. Pomimo bardzo korzystnego podziału zadań przewozowych problemem Warszawy jest znaczne zatłoczenie dróg. Wpływa to niekorzystnie na czas podróży samochodami osobowymi i obniża jakość usług miejskiego transportu autobusowego. Transport autobusowy w Warszawie zapewnia obsługę terenów nieobjętych szynowymi środkami transportu.

Zgodnie z planami strategicznymi m. st. Warszawy przewidywany jest intensywny rozwój sieci transportu publicznego. Plany obejmują rozbudowę drugiej oraz budowę nowej, trzeciej linii metra. Dynamicznie zmieniające się uwarunkowania m. in. w zabudowie miasta wymuszają prowadzenie studiów dotyczących rozwoju systemu transportowego. W szczególności należy weryfikować trasy planowanych linii metra. Temat analiz rozwoju sieci metra w Warszawie jest zatem ciągle aktualny.

2. ZAŁOŻENIA I ZAKRES ANALIZ WYBORU TRASY TRZECIEJ LINII METRA W WARSZAWIE

Celem artykułu jest prezentacja prac umożliwiających wybór optymalnego wariantu trasy trzeciej linii metra w Warszawie. Ocenę rozważanych wariantów wykonano, stosując społeczno – ekonomiczną analizę kosztów i korzyści. Realizacja przebiegała następującymi etapami:

- I. zaprojektowanie wariantów tras linii metra uwzględniających potencjalne źródła i cele podróży,
- II. wykonanie eksperymentów symulacyjnych dla prognozowanych potoków pasażerskich w różnych wariantach tras,
- III. wykonanie analizy kosztów i korzyści oceniającej warianty tras linii metra.

Na podstawie przeglądu dotychczasowych projektów rozbudowy sieci metra w Warszawie wybrano trasy, dla których wykonano symulacje potoków pasażerskich. Zaprojektowano także warianty autorskie. Łącznie rozważano 23 warianty tras. Część z nich odrzucono z uwagi na to, że cechowały się małymi potokami pasażerskimi. Do szczegółowej analizy wybrano 5 wariantów tras trzeciej linii metra.

Założono, że druga linia metra zostanie wybudowana na obecnie planowanej trasie. Przyjęcie takiego warunku wynika z trwających działań inwestycyjnych i planistycznych dla realizacji rozbudowy tej linii.

Dla każdego wariantu trasy trzeciej linii metra opracowano układy linii komunikacji naziemnej. Zaprojektowane warianty inwestycyjne porównywano z bezinwestycyjnym wariantem odniesienia. Wariant odniesienia przewiduje, że sieć metra składa się wyłącznie z pierwszej i drugiej linii metra wybudowanej w całości na obecnie planowanej trasie.

Do symulacji ruchu wykorzystano model ruchu transportu zbiorowego wykonany w programie Visum dla godziny szczytu porannego w roku 2040. Wykonano eksperymenty symulacyjne rozważanych

¹ michal.miroslaw@gmail.com

² jsu@wt.pw.edu.pl

wariantów tras linii metra. Na podstawie symulacji określone zostały potoki pasażerskie na poszczególnych liniach metra oraz na wybranych odcinkach sieci transportu tramwajowego i autobusowego. Efektem symulacji było wyznaczenie oszczędności całkowitego czasu podróży w wyniku funkcjonowania trzeciej linii metra.

W celu porównania wariantów wykorzystano uproszczoną społeczno – ekonomiczną analizę kosztów i korzyści. Jako kryterium oceny przyjęto różnicę pomiędzy ekwiwalentnymi rocznymi korzyściami a kosztami dla roku 2040. Jako pomocniczy wskaźnik do oceny wykorzystano stosunek rocznych korzyści do kosztów (BCR).

Nie analizowano rozkładu ruchu w sieci transportu indywidualnego. Założono stały podział zadań przewozowych pomiędzy transport zbiorowy i indywidualnym. Przyjęto, że analizowane odcinki metra budowane będą w tunelach. W wykonanych analizach nie rozważano różnych technologii budowy metra. Nie uwzględniano kolizji środowiskowych oraz kolizji z infrastrukturą techniczną. Nie rozpatrywano także lokalizacji stacji postojowo – technicznych.

Efektem wykonanych prac jest propozycja trasy trzeciej linii metra w Warszawie, optymalnej z punktu widzenia społeczno – ekonomicznych kosztów i korzyści.

3. WARIANTY TRAS TRZECIEJ LINII METRA

Na podstawie wyników eksperymentów symulacyjnych dokonano wstępnej selekcji 23 wariantów tras. Do szczegółowej analizy zakwalifikowano 5 wariantów. Wśród nich znalazły się 2 warianty tras zgodne z obowiązującymi planami m. st. Warszawy [3] oraz 3 warianty autorskie. Analizowano następujące grupy wariantów inwestycyjnych:

1) warianty W1a, W1b (warianty „krótkie”), w których trzecia linia metra (M3) położona jest tylko na terenie dzielnicy Praga Południe i ma stację krańcową Stadion Narodowy (przesiadkowa na drugą linię metra). W wariantcie W1a trasa linii M3 biegnie na Gocław zgodnie z obowiązującymi planami, w wariantcie W1b – w osi ul. Ostrobramskiej. Schemat tras trzeciej linii metra wraz z orientacyjnymi lokalizacjami stacji w poszczególnych wariantach przedstawiony jest na rys. 1.



Rys. 1. Przebiegi tras trzeciej linii metra w wariantach W1a i W1b. Kolorem granatowym i czerwonym oznaczono pierwszą i drugą linię metra, a kolorem zielonym – warianty trzeciej linii metra. Prostokątami na trasie linii oznaczono stacje metra.

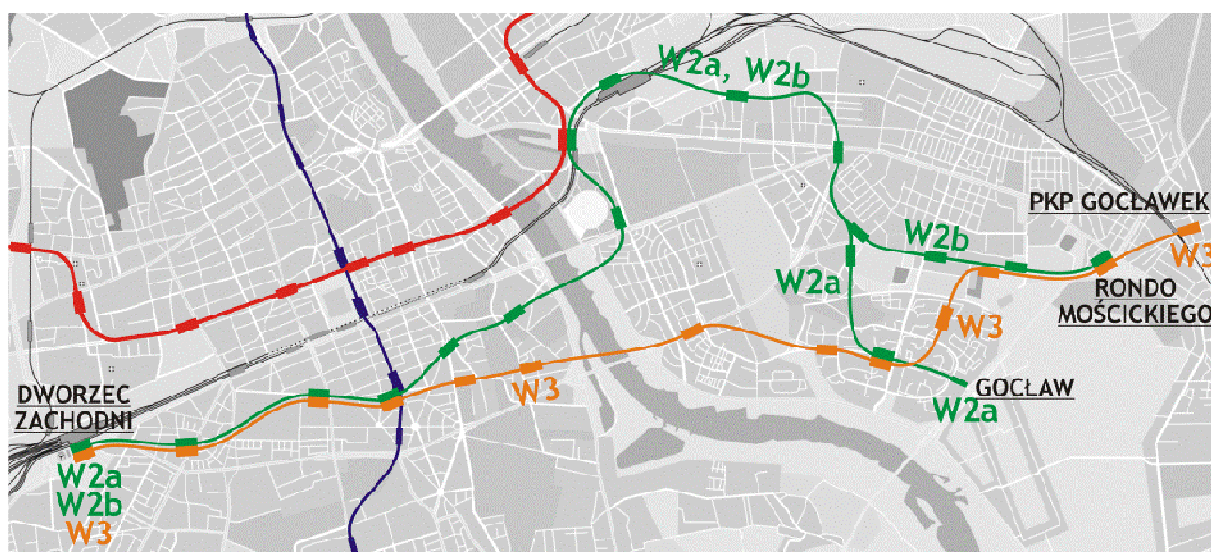
W tabeli 1 zamieszczono wykaz wszystkich stacji trzeciej linii metra w wariantach **W1a, W1b** wraz z ich orientacyjnymi lokalizacjami.

Tabela. 1. Wykaz stacji trzeciej linii metra w wariantach W1a i W1b

Wariant W1a	Wariant W1b
GOŁAW (skrzyżowanie Bora-Komorowskiego/Umińskiego)	RONDO MOŚCICKIEGO (węzeł „Marsa”)
FIELDORFA (ulica Bora-Komorowskiego na odcinku Fieldorfa - Abrahama)	WITOLIN (ul. Ostrobramska w rejonie skrzyżowania z Rodziewiczówny)
	ZAMIENIECKA (skrzyżowanie Ostrobramska/Zamieniecka)
OSTROBRAMSKA (skrzyżowanie Ostrobramska/Poligonowa)	
RONDO WIATRACZNA	
MIŃSKA (skrzyżowanie Mińska/Stanisławowska)	
DW. WSCHODNI	
STADION NARODOWY (stacja przesiadkowa z linią M2)	

W celu porównania atrakcyjności każdej z tras założono jednakowe częstotliwości kursowania pociągów trzeciej linii metra. Przyjęto 5 minutowe odstępy między pociągami dla obu wariantów.

2) Warianty W2a, W2b, W3 (warianty „długie”), w których trzecia linia metra łączy Pragę Południe z Dw. Zachodnim przez Śródmieście Południowe. Warianty W2a, W2b są przedłużeniami linii M3 z wariantów W1a, W1b na trasie do Dw. Zachodniego. Na odcinku Stadion – Dw. Zachodni będą tą samą trasą. W wariantcie W3 linia metra przebiega na odcinku korytarza ul. Ostrobramskiej oraz przez Goław. Na odcinku pl. Konstytucji – Dw. Zachodni ma tę samą trasę co warianty W2a i W2b. Schemat tras trzeciej linii metra w poszczególnych wariantach przedstawiony jest na rys. 2. Tabela 2 zawiera wykaz wszystkich stacji trzeciej linii metra w wariantach W2a, W2b i W3 wraz z ich orientacyjnymi lokalizacjami.



Rys. 2. Przebiegi tras trzeciej linii metra w wariantach W2a, W2b i W3. Kolorem granatowym i czerwonym oznaczono pierwszą i drugą linię metra. Warianty W2a i W2b trzeciej linii metra oznaczono kolorem zielonym, a wariant W3 – kolorem pomarańczowym. Prostokątami na trasie linii oznaczono stacje metra.

We wszystkich trzech wariantach linia M3 przecina pierwszą linię metra na stacji pl. Konstytucji, gdzie wybudowana jest stacja przesiadkowa.

Z uwagi na większe potoki pasażerskie w wariantach W2a, W2b oraz W3 dla każdego z wariantów założono odstęp między pociągami dla trzeciej linii metra równy 4 min (w odróżnieniu do interwału 5 min dla wariantów W1a i W1b).

Tabela. 2. Wykaz stacji trzeciej linii metra w wariantach W2a, W2b i W3

Wariant W2a	Wariant W2b	Wariant W3
GOŚLAW (skrzyżowanie Bora-Komorowskiego/Umińskiego)		PKP GOŚLAWEK (stacja kolejowa Gośławek)
	RONDO MOŚCICKIEGO (węzeł „Marsa”)	
FIELDORFA (ulica Bora-Komorowskiego na odcinku Fieldorfa - Abrahama)	WITOLIN (ul. Ostrobramska w rejonie skrzyżowania z Rodziewiczówny)	WITOLIN (ul. Ostrobramska pomiędzy ulicami Rodziewiczówny i Zamieniecką)
	ZAMIENIECKA (skrzyżowanie Ostrobramska/Zamieniecka)	WILGA (rejon ul. Okulickiego)
OSTROBRAMSKA (skrzyżowanie Ostrobramska/Poligonowa)		FIELDORFA (skrzyżowanie Bora-Komorowskiego/Fieldorfa)
RONDO WIATRACZNA		ABRAHAMA (skrzyżowanie Bora-Komorowskiego/Abrahama)
MIŃSKA (skrzyżowanie Mińska/Stanisławowska)		SASKA (skrzyżowanie Trasa Łazienkowska/Saska)
DW. WSCHODNI		
STADION NARODOWY (stacja wspólna z linią M2)		
RONDO WASZYGTONA		SOLEC (skrzyżowanie Rozbrat/Górnośląska)
SOLEC (skrzyżowanie Rozbrat/Ludna)		
PL. TRZECH KRZYŻY		
PL. KONSTYTUCJI (stacja przesiadkowa z linią M1)		
AL. NIEPODLEGŁOŚCI (skrzyżowanie Koszykowa/Al. Niepodległości)		
PL. NARUTOWICZA		
DW. ZACHODNI		

W tabeli 3 podano zbiorcze zestawienie wybranych parametrów techniczno – eksploatacyjnych dla wszystkich linii metra we wszystkich wariantach.

Tabela. 3. Wykaz parametrów techniczno– eksploatacyjnych dla linii metra w poszczególnych wariantach

Linia metra	Wariant	długość trasy linii [km]	czas przejazdu [h:min:s]	średnia prędkość komunikacyjna [km/h]	liczba stacji	średnia odległość międzystacyjna [km]
Linia M1	wszystkie warianty	21,611	0:36:41	34,95	23	0,982
Linia M2	wszystkie warianty	21,847	0:35:27	36,98	22	1,040
Linia M3	W1a	6,436	0:11:38	33,19	7	1,073
	W1b	7,072	0:14:26	29,40	8	1,010
	W2a	14,13	0:26:01	32,59	14	1,087
	W2b	14,767	0:28:49	30,75	15	1,055
	W3	12,285	0:22:39	32,54	13	1,024

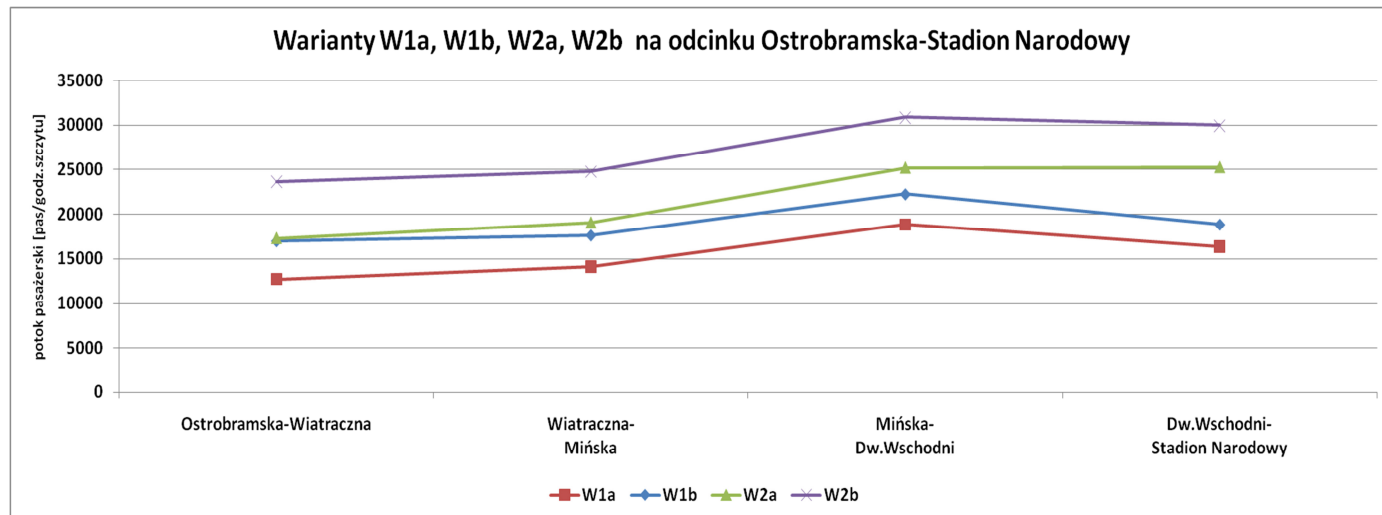
4. WYNIKI SYMULACJI ROZKŁADU RUCHU W SIECI

Dla każdego wariantu wykonano symulacje rozkładu ruchu w sieci transportu zbiorowego. Wykorzystano model transportu zbiorowego skonstruowany w programie Visum dla godziny szczytu porannego w roku 2040. W wyniku przeprowadzonych symulacji otrzymano:

- potoki pasażerskie na poszczególnych liniach komunikacyjnych oraz na poszczególnych odcinkach sieci komunikacyjnej,
- zmianę całkowitej ilości taboru poszczególnych rodzajów (metro, tramwaje, autobusy),
- zmianę całkowitej pracy przewozowej w pojazdokilometrach,

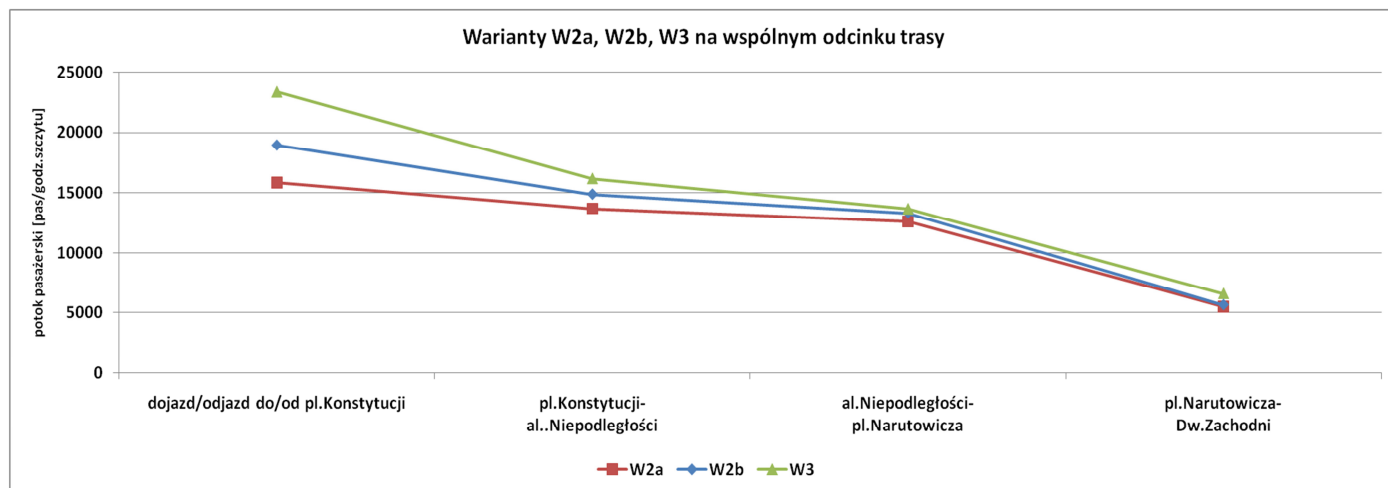
- zmianę całkowitej pracy przewozowej w pasażerogodzinach.

Na rys. 3 zamieszczono wykresy potoków pasażerskich dla wariantów W1a, W1b, W2a i W2b na wspólnym odcinku trasy. Są to potoki sumaryczne dla obu kierunków. Warianty trzeciej linii metra przebiegające na drugą stronę Wisły (W2a i W2b) charakteryzują się potokami większymi od krótszych wariantów tras (W1a i W1b). Widoczne jest również, że zarówno dla wariantów „krótkiej” jak i „długiej” trzeciej linii metra warianty „b” cechują się większymi potokami niż warianty „a”. Na wspólnym odcinku tras największymi potokami pasażerskimi cechuje się wariant W2b.



Rys. 3. Sumaryczne potoki pasażerskie dla obu kierunków w wariantach W1a, W1b, W2a i W2b na odcinku Ostrobramska-Stadion Narodowy

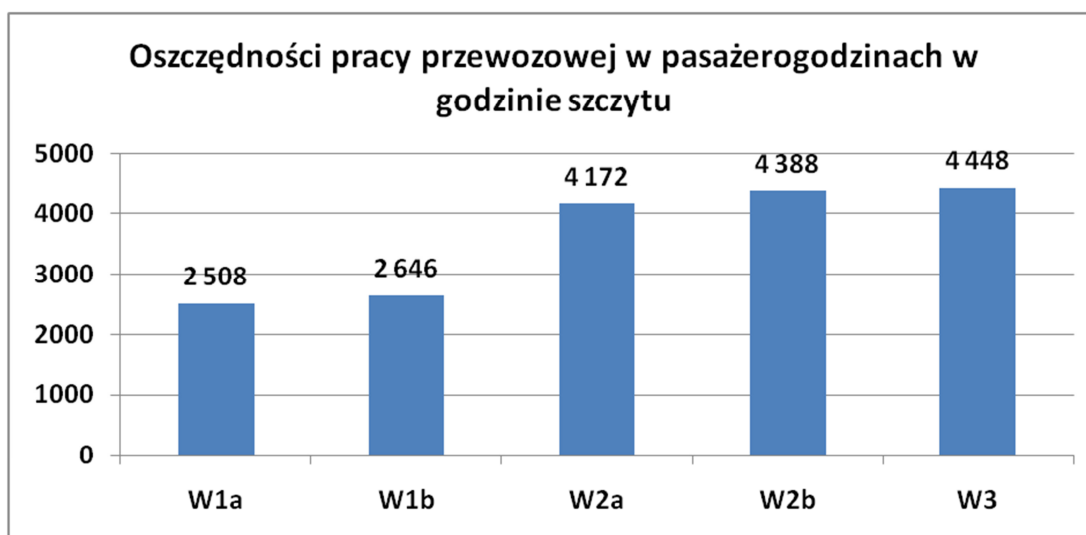
Na rys. 4 porównano także potoki pasażerskie na odcinku pl. Konstytucji – Dw. Zachodni dla wariantów trasy „długich” trzeciej linii metra. Największym potokiem na całym odcinku cechuje się wariant W3 i następnie W2b i W2a.



Rys. 4. Sumaryczne potoki pasażerskie dla obu kierunków na odcinku pl. Konstytucji - Dw. Zachodni dla wariantów W2a, W2b, W3

Na podstawie wyników symulacji ruchu dokonano korekt w układzie komunikacji tramwajowej i autobusowej. Miało to na celu zapewnienie odpowiedniej dostępności analizowanej linii metra oraz racjonalizację układu komunikacji naziemnej w dostosowaniu do zmiany potoków pasażerskich. Modyfikacje wpłynęły na zmianę ilości taboru poszczególnych rodzajów jak i na wielkość pracy przewozowej w pojazdokilometrach.

Pracę przewozową w pasażerogodzinach w systemie transportu zbiorowego przedstawiono na rys. 5.



Rys. 5. Oszczędności pracy przewozowej w pasażerogodzinach w godzinie szczytu dla poszczególnych wariantów

Wariantem o największej oszczędności pracy przewozowej w stosunku do wariantu bezinwestycyjnego jest wariant W3, dla którego wynosi ona 4 448 pasażerogodzin w godzinie szczytu. Niewiele mniejszą oszczędność daje wariant W2b. Kolejnymi wariantami o coraz mniejszych oszczędnościach pracy przewozowej są W2a, W1b i W1a. Warianty zakładające trzecią linię metra przechodzącą na lewą stronę Wisły cechują się o około 2/3 większymi oszczędnościami pracy przewozowej od odpowiednich wariantów zakładających linię M3 tylko do stacji Stadion Narodowy. Warianty „b” dawały oszczędności większe o 5÷6% od wariantów „a”. Oszczędność pracy przewozowej dla wariantu W3 (największa oszczędność) jest większa o 77% od wariantu W1a (najmniejsza oszczędność).

Symulacje ruchu w sieci transportu zbiorowego pokazały, że warianty tras „długich” w większym stopniu skracają łączny czas podróży w systemie transportu zbiorowego. Wśród nich największą oszczędność pracy przewozowej daje wariant W3, który cechuje się również największymi potokami pasażerskimi na wspólnym odcinku trasy w centrum miasta. Zarówno wśród tras „długich” jak i „krótkich” warianty „b” cechują się większymi oszczędnościami pracy przewozowej w pasażerogodzinach od wariantów „a” oraz większą liczbą pasażerów na wspólnym odcinku trasy. Wyniki symulacji ruchu oraz obliczeń wykonanych na ich podstawie posłużyły do obliczeń kosztów i korzyści w analizie społeczno – ekonomicznej.

5. WYNIKI SPOŁECZNO – EKONOMICZNEJ ANALIZY KOSZTY – KORZYŚCI.

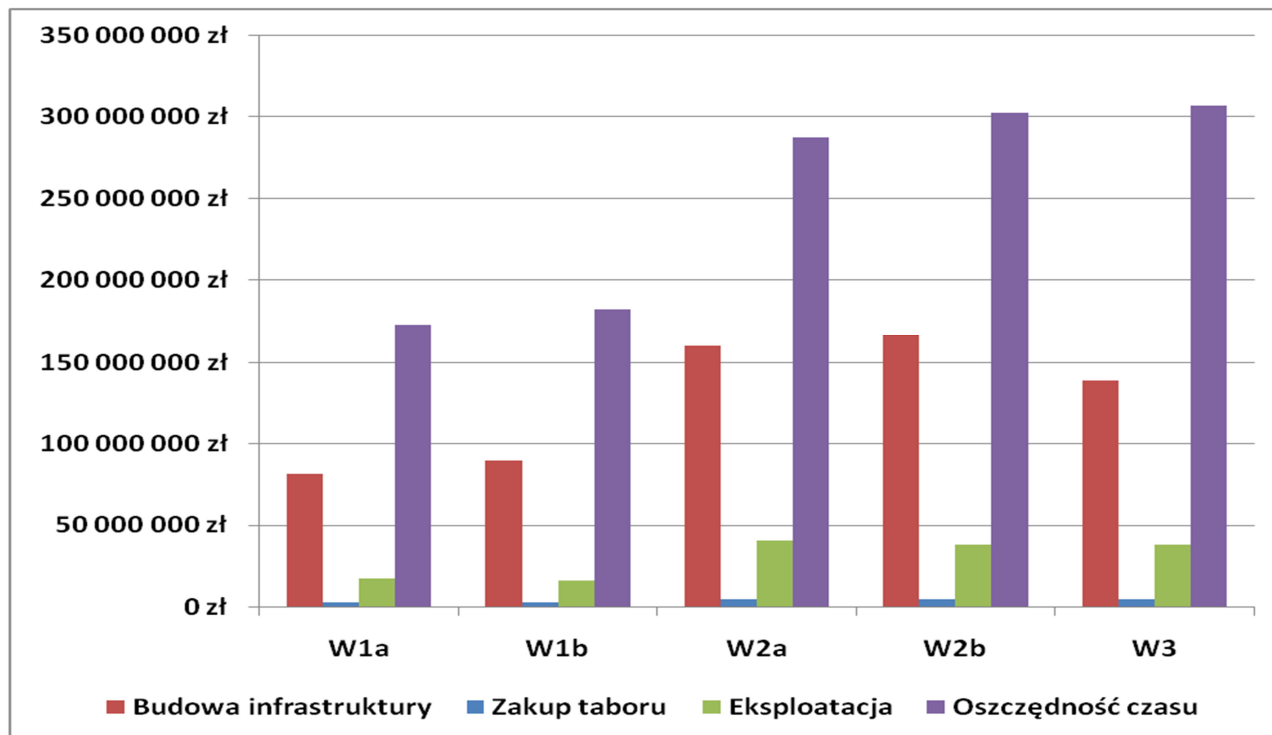
Za miernik oceny porównywanych wariantów rozbudowy sieci metra przyjęto społeczno – ekonomiczną analizę koszty – korzyści. Jej celem był wybór optymalnego wariantu rozbudowy metra, uwzględniając dobrobyt ekonomiczny miasta w imieniu całego społeczeństwa. Zastosowano uproszczoną metodę analizy opisaną w *Niebieskiej Księdze dot. sektora transportu publicznego* [1]. W odróżnieniu od pełnych analiz opisywanych w dokumencie symulacje ruchu wykonano dla jednego horyzontu czasowego. Na ich podstawie obliczono ekwiwalentne roczne koszty i korzyści dla roku 2040 dla poszczególnych wariantów. Przyjęto obliczeniowy okres analizy o wartości 25 lat. Uwzględnionymi w analizie grupami kosztów i korzyści były:

- koszty budowy infrastruktury metra,
- koszty zakupu taboru (metro, tramwaje, autobusy),
- koszty eksploatacji (metro, tramwaje, autobusy),
- korzyści z oszczędności czasu dla pasażerów transportu zbiorowego.

W ramach analizy nie wykonano dynamicznego podziału zadań przewozowych oraz nie wykonywano symulacji ruchu w sieci komunikacji indywidualnej. Dlatego wśród grup kosztów nie rozpatrywano kosztów

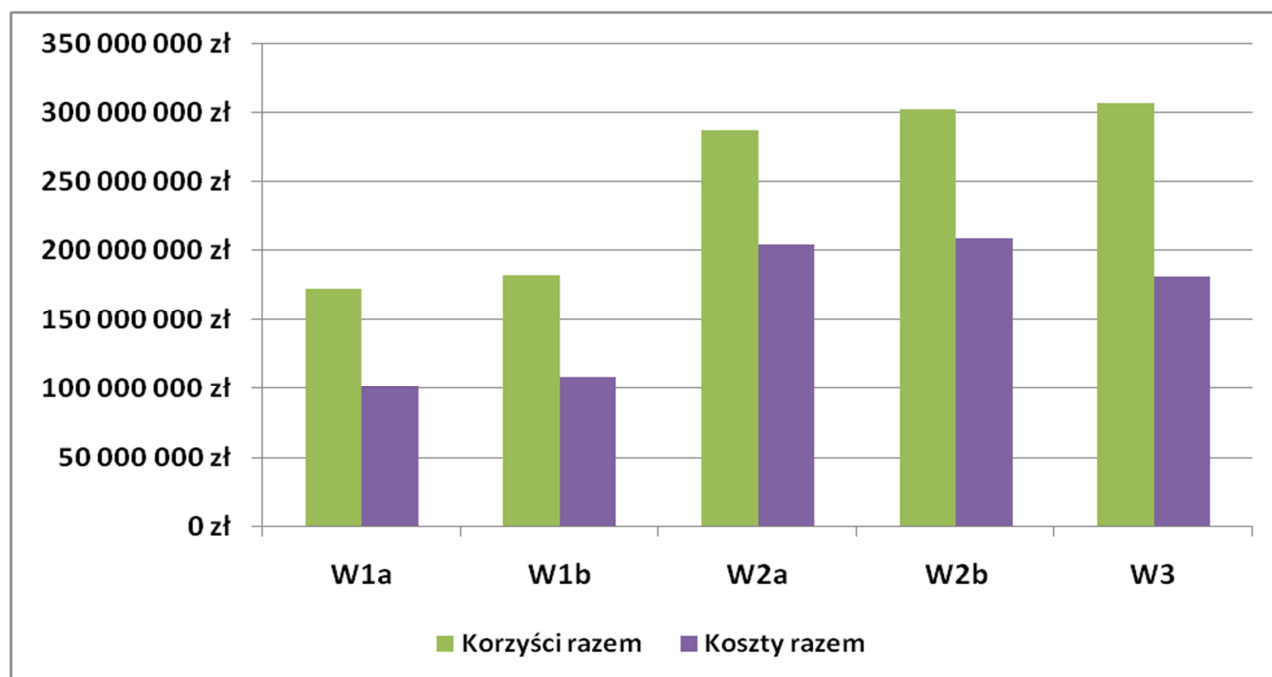
zewnętrznych transportu (wypadków, zanieczyszczenia środowiska, hałasu) jak również kosztów eksploatacji samochodów indywidualnych.

Koszty i korzyści poszczególnych rodzajów dla poszczególnych wariantów przedstawiono na rys. 6. Dla każdego wariantu największą wartością cechowały się korzyści wynikające z oszczędności pracy przewozowej w pasażerogodzinach. Wśród kosztów największym składnikiem był koszt budowy infrastruktury (77÷83% kosztów łącznych), drugim w kolejności koszt eksploatacji (15÷21% kosztów łącznych), a najmniejszym – koszt zakupu taboru.



Rys. 6. Roczne koszty i korzyści poszczególnych rodzajów w roku 2040

Całkowite koszty i korzyści w roku 2040 przedstawiono na rys. 7.



Rys. 7. Całkowite koszty i korzyści roczne dla poszczególnych wariantów w roku 2040

- Kolejności wariantów według wartości korzyści i kosztów łącznych przedstawiają się następująco:
- korzyści w kolejności malejącej (od największych do najmniejszych): W3, W2b, W2a, W1b, W1a,
 - koszty w kolejności rosnącej (od najmniejszych do największych): W1a, W1b, W3, W2a, W2b.

Wariantem o największych korzyściach jest W3, a wariantem o najmniejszych kosztach – W1a.

Kryterium oceny maksymalizacja korzyści ma znaczenie, gdy celem jest identyfikacja rozwiązania najlepszego z punktu widzenia pasażerów, a ponoszone koszty mają znaczenie drugorzędne. Może tak wystąpić, gdy inwestycja jest dofinansowana np. z funduszy Unii Europejskiej. Warianty „b” cechowały większe korzyści niż warianty „a”. Warianty „długie” dawały większe korzyści niż warianty „krótkie”.

Kryterium oceny minimalizacja kosztów ma znaczenie, gdy decyzje dotyczące kierunku rozwoju sieci transportowej są uwarunkowane przede wszystkim możliwościami finansowymi, a w mniejszym stopniu atrakcyjnością samego układu komunikacyjnego. Warianty W1a i W1b cechują się kosztami rocznymi ok. dwukrotnie mniejszymi niż warianty W2a i W2b. Warianty „a” dają roczne koszty całkowite mniejsze o ok. 5÷7 mln zł od wariantów „b”. Dla wariantu W3 roczne koszty są mniejsze niż dla wariantów W2a i W2b o ok. 22÷28 mln zł.

Za funkcję celu w analizie przyjęto maksymalizację różnicy rocznych korzyści i kosztów w roku 2040:

$$F(w) = B(w) - C(w) \rightarrow \max \quad (1)$$

gdzie:

$B(w)$ – ekwiwalentne roczne korzyści dla roku 2040 dla wariantu w [zł],

$C(w)$ – ekwiwalentne roczne koszty dla roku 2040 dla wariantu w [zł].

Pomocniczym wskaźnikiem oceny był stosunek rocznych korzyści do kosztów w roku 2040 (BCR):

$$BCR(w) = B(w)/C(w) \quad (2)$$

gdzie oznaczenia jak we wzorze (1).

Wartości obu wskaźników dla poszczególnych wariantów podano w tabeli 4.

Tabela 4. Wskaźniki $F(w)$ i $BCR(w)$ dla poszczególnych wariantów

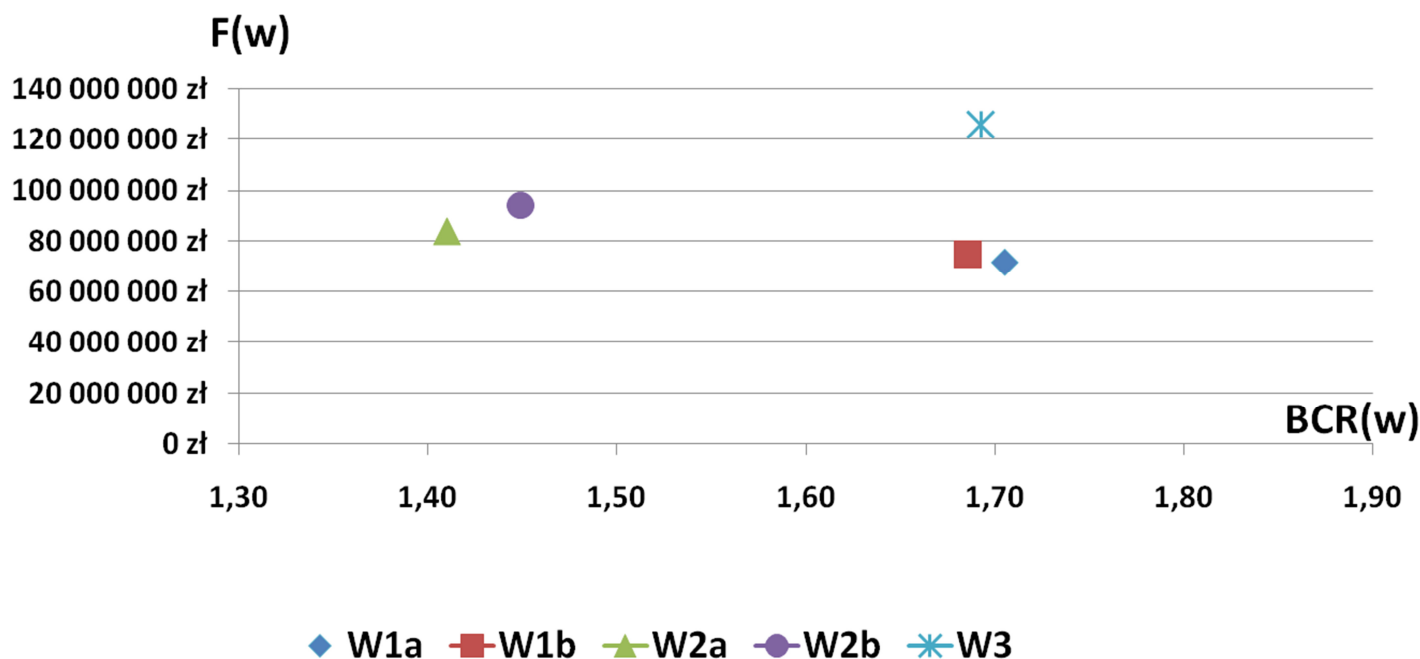
Wariant	Funkcja celu $F(w)$	Stosunek korzyści do kosztów $BCR(w)$
W1a	71 608 432 zł	1,705
W1b	74 336 324 zł	1,686
W2a	83 790 835 zł	1,410
W2b	93 923 632 zł	1,449
W3	125 652 615 zł	1,693

Kolejność wariantów wg malejącej funkcji celu (od największej do najmniejszej) przedstawia się następująco: W3, W2b, W2a, W1b, W1a. Wariantem optymalnym jest wariant W3. Wartość funkcji celu dla tego wariantu równa się ok. 125,7 mln zł. Drugim w kolejności jest wariant W2b dający wartość funkcji $F(w)$ o 32 mln zł mniejszą. Różnica funkcji celu pomiędzy drugim a trzecim wariantem (W2a) równa się ok. 10 mln zł. Warianty „krótkie” (W1a, W1b) cechują się funkcją celu mniejszą o ok. 12÷20 mln zł niż warianty „długie” (W2a, W2b). Dla wariantów „b” funkcja celu jest większa o ok. 2,7÷10 mln zł niż dla odpowiednich wariantów „a”.

Kolejność wariantów wg malejącej wartości BCR (od największej do najmniejszej) przedstawia się następująco: W1a, W3, W1b, W2b, W2a. W odróżnieniu od funkcji celu wariantem o największym wskaźniku BCR jest wariant W1a. Warianty W3 i W1b mają niemalże równe wartości tego wskaźnika, niewiele mniejsze od wariantu W1a. Wśród wariantów „długich” nieznacznie większą wartość wskaźnika BCR posiada wariant W2b. Wyniki analizy pokazały, że wszystkie oceniane warianty tras III linii metra cechują się dodatnią wartością funkcji celu (i większą od 1 wartością wskaźnika BCR). Dlatego są uzasadnione do realizacji z punktu widzenia przyjętej analizy społeczno – ekonomicznej.

Wariant obecnie planowany do realizacji przez m. st. Warszawę (W2a) znajduje się dopiero na 3. miejscu w rankingu wg funkcji celu oraz na ostatnim miejscu w rankingu wg wskaźnika BCR. Ocena za pomocą obu wskaźników pokazuje, że wariant ten jest gorszy niż warianty W3 i W2b.

Na rys. 8 przedstawiono wykresy wskaźników $F(w)$ i $BCR(w)$ dla poszczególnych wariantów.



Rys. 8. Wskaźniki $F(w)$ i $BCR(w)$ w roku 2040 dla poszczególnych wariantów. Oś odciętych stanowi oś wartości $BCR(w)$, oś rzędnych – oś wartości $F(w)$. Im wyżej jest położony punkt tym większą wartością funkcji celu charakteryzuje wariant mu odpowiadający. Im punkt jest położony bardziej na prawo, tym wariantowi odpowiada większa wartość wskaźnika BCR.

6. PODSUMOWANIE

Wykonanie analizy społeczno – ekonomicznej umożliwiło sformułowanie następujących wniosków:

- **budowa trzeciej linii metra jest uzasadniona**, gdyż wszystkie analizowane warianty cechują się dodatnimi wartościami funkcji celu.
- **Wariantem najlepszym wg przyjętej funkcji celu jest wariant W3** zakładający linię metra w relacji Ostrobramska – Gocław – Dw. Zachodni z pominięciem stacji Stadion Narodowy. Kolejnymi wariantami wg wartości funkcji celu były W2b, W2a, W1b, W1a. Kolejność wariantów w rankingu wg maksymalizacji wskaźnika korzyści cechuje taka sama kolejność wariantów jak w przypadku rankingu wg maksymalizacji funkcji celu.
- **Warianty „b” (ul. Ostrobramska) cechują się większymi wartościami funkcji celu niż warianty „a” (Gocław)**, które są zgodne z obecnymi planami rozwoju metra w Warszawie.
Ponadto stwierdzić można, że:
 - Warianty „długie” W1b, W2b posiadają większą wartość funkcji celu niż odpowiednie warianty „krótkie” W1a i W1b. Cechują je jednak mniejsze wartości wskaźnika BCR.
 - Wariantem najlepszym wg wskaźnika BCR jest wariant W1a. Warianty „krótkie” cechują się większymi wartościami wskaźnika BCR niż warianty „długie”. Należy mieć na uwadze, że różnice wartości wskaźnika dla par wariantów W1a i W1b oraz W2a i W2b są niewielkie.
 - Wariantem o najmniejszych kosztach jest wariant W1a. Kolejnymi wariantami wg rosnących kosztów są W1b, W3, W2a, W2b. Wśród wariantów „długich” wariantem o najmniejszych kosztach jest wariant W3. Warianty „b” cechują się większymi kosztami niż warianty „a”.

Wśród analizowanych wariantów aż dwa (W3 i W2b) cechują się większą wartością funkcji celu niż wariant obecnie planowany w dokumentach miejskich (W2a). Należy mieć na uwadze, że wariant

optymalny W3 omija stację Stadion Narodowy, która już została wybudowana i przystosowana do podłączenia trzeciej linii metra. W przypadku realizacji tego wariantu należałoby rozważyć inne wykorzystanie wybudowanego już peronu stacji podziemnej. Mogłoby być to np. wprowadzenie do tunelu trasy tramwajowej z jednego z okolicznych ciągów tramwajowych, np. z ul. Grochowskiej. Pozwoliłoby to na skrócenie drogi przejścia pieszego przy przesiadkach z tramwaju do metra oraz poprawiłoby dojazd tramwajem do drugiej linii metra. Pozostałe analizowane warianty trasy trzeciej linii metra zakładają jej przebieg przez stację Stadion Narodowy.

Z uwagi na wskazane w niniejszym artykule możliwe trasy przebiegu trzeciej linii metra, cechujące się dobrymi wartościami parametrów oceny, zasadne wydają się analizy rozpatrujące inne niż obecnie ustalony przebieg trzeciej linii metra. Szczególnego znaczenia nabiera to w związku z realizowanym nowym kompleksowym badaniem ruchu w Warszawie, którego wynikiem będzie zaktualizowany model ruchu. Będzie on mógł posłużyć do analiz na zaktualizowanych danych, które w lepszy sposób będą obrazowały przewidywany sposób przemieszczeń osób zamieszkujących aglomerację warszawską.

Przeprowadzoną analizę w istotny sposób można wzbogacić poprzez przeprowadzenie dynamicznego podziału zadań przewozowych pomiędzy transportem zbiorowym i komunikacją indywidualną. Odzwierciedliłoby to wpływ budowy metra na zmniejszenie popytu na przejazdy samochodami osobowymi. W konsekwencji w obliczeniach uwzględniona zostałaby redukcja zanieczyszczenia środowiska, hałasu i liczby wypadków, pochodzące od ruchu drogowego.

Streszczenie

Celem pracy jest wybór optymalnej trasy trzeciej linii metra w Warszawie. Rozważane warianty oceniono, stosując społeczno – ekonomiczną analizę kosztów i korzyści. Zaprojektowano warianty autorskie tras trzeciej linii metra, które porównywano z obecnymi planami trasy tej linii. Zrealizowano eksperymenty symulacji ruchu wariantów tras na modelu ruchu transportu zbiorowego dla roku 2040 wykonanym w programie Visum. Omówiono wyniki symulacji, w tym potoki pasażerskie na sieci metra oraz zmiany w pracy przewozowej w pasażerogodzinach. Na podstawie wyników symulacji wykonano analizę społeczno – ekonomiczną rozważanych wariantów trasy trzeciej linii metra. Wyznaczono koszty i korzyści poszczególnych rodzajów oraz łączne koszty i korzyści roczne. Obliczono wskaźniki oceny rozwiązań – różnicę korzyści i kosztów oraz stosunek korzyści do kosztów. Dokonano rankingów wariantów wg poszczególnych wskaźników oceny. Efektem pracy jest propozycja optymalnej sieci linii metra w Warszawie z punktu widzenia społeczno – ekonomicznej analizy kosztów i korzyści.

Słowa kluczowe: analizy koszty – korzyści, marszrutyzacja, metro, modelowanie ruchu, transport miejski

Analysis of Warsaw third metro line route

Abstract

The objective of the work is to choose the optimal option of 3rd metro route in Warsaw. Options considered have been evaluated using cost-benefit analysis. Route options designed by authors have been introduced. They have been compared with route options contained in current municipal plans. The next part shows traffic simulation experiments. They have been conducted for selected route options using Visum software basing on the public transport model for 2040 year. Results of experiments have been presented, including passenger flow differences and total journey time savings. In subsequent phase selected route options have been evaluated using the cost – benefit analysis. Two indicators have been used: benefit cost ratio and the difference between benefits and costs. In the last part rankings of route options have been constructed using different criteria. The result of the work is a proposal of optimal Warsaw metro network development selected using cost-benefit analysis.

Keywords: cost benefit analysis, line routing, metro, traffic modeling, urban transport

LITERATURA

- [1] Niebieska Księga, Sektor transportu publicznego. Jaspers, 2008.
- [2] Strategia Zrównoważonego Rozwoju Systemu Transportowego Warszawy do roku 2015 i na lata kolejne. Biuro Drogownictwa i Komunikacji Urzędu m. st. Warszawy, Warszawa 2009.
- [3] Studium Uwarunkowań i Kierunków Zagospodarowania Przestrzennego m. st. Warszawy.
- [4] Warszawskie Badanie Ruchu 2005, Raport Końcowy. Biuro Drogownictwa i Komunikacji Urzędu m. st. Warszawy, Warszawa 2005.