

ADRIAN SZAŁKOWSKI

<https://orcid.org/0009-0009-6004-5642>

Uniwersytet Marii Curie-Skłodowskiej w Lublinie

Wydział Nauk o Ziemi i Gospodarki Przestrzennej

al. Kraśnicka 2d, 20-718 Lublin, Polska

adrian.szalkowski@mail.umcs.pl

Wykorzystanie wielokryterialnej analizy przestrzennej w planowaniu przebiegu tras tramwajowych na przykładzie Lublina

The Use of Multi-Criteria Spatial Analysis in Planning
Tramway Route Alignment: The Case of Lublin

Abstract: Planning rail transport alignments requires balancing numerous, often competing conditions – technical, demographic, and functional. This paper presents a multi-criteria spatial analysis methodology for identifying corridors with the highest potential for a tramway alignment and illustrates its application to Lublin, the largest city in eastern Poland without rail-based public transport. The analysis covered 5,562 road sections totalling 426.8 km. Seven criteria were adopted: longitudinal terrain slope, minimum horizontal curve radius, carriageway width, population density derived by dasymetric mapping, accessibility of trip generators, distance to existing stops, and proximity to power supply infrastructure. Criteria weights were derived using the Analytic Hierarchy Process, yielding a consistency ratio of $CR = 0.010$. Route alignments were determined as least-cost paths in a network where the traversal cost of each section is inversely proportional to its score. Three weight sets produced variants between 12.2 and 13.9 km in length, serving from 16.8 to 22.3% of the city population within a ten-minute walking distance. All variants share a common section in the city centre, indicating a corridor whose potential is independent of the adopted planning priority.

Keywords: tramway; multi-criteria analysis; AHP; GIS; Lublin

Abstrakt: Planowanie przebiegu tras transportu szynowego wymaga uwzględnienia wielu, często konkurencyjnych, uwarunkowań: technicznych, demograficznych i funkcjonalnych. Celem artykułu jest przedstawienie metodyki wielokryterialnej analizy przestrzennej umożliwiającej identyfikację korytarzy o najwyższym potencjale dla trasy tramwajowej oraz zilustrowanie jej zastosowania na przykładzie Lublina – największego miasta Polski Wschodniej, pozbawionego transportu szynowego.

Analizą objęto 5562 odcinki sieci drogowej o łącznej długości 426,8 km. Przyjęto siedem kryteriów: pochylenie podłużne terenu, minimalny promień łuku poziomego, szerokość jezdni, gęstość zaludnienia wyznaczoną metodą dazymetryczną, dostępność generatorów ruchu, odległość od istniejących przystanków oraz bliskość infrastruktury zasilania. Wagi kryteriów wyznaczono metodą hierarchicznej analizy problemu, uzyskując wskaźnik spójności $CR = 0,010$. Przebiegi tras wyznaczono jako trasy najniższego kosztu w sieci, w której koszt przejazdu odcinka jest odwrotnie proporcjonalny do jego oceny. Trzy zestawy wag pozwoliły wskazać warianty o długości od 12,2 do 13,9 km, obsługujące od 16,8 do 22,3% mieszkańców miasta w zasięgu dziesięciominutowego dojścia pieszego. Wszystkie warianty przebiegają wspólnym odcinkiem w rejonie śródmieścia, co może wskazywać na istnienie potencjału niezależnego od przyjętego priorytetu planistycznego.

Słowa kluczowe: tramwaj; analiza wielokryterialna; AHP; GIS; Lublin

WSTĘP

Transport zbiorowy należy do podstawowych czynników kształtujących funkcjonowanie współczesnych miast, warunkuje bowiem dostępność miejsc pracy, nauki i usług oraz wpływa na jakość życia mieszkańców. Dostępność transportowa, rozumiana jako łatwość osiągnięcia celów podróży z danej lokalizacji, pozostaje jednym z centralnych pojęć geografii transportu i jest analizowana zarówno w ujęciu potencjałowym, jak i czasowym (Rosik, 2012; Rosik i in., 2017; Stępnia i Goliszek, 2017). W warunkach rosnącego wskaźnika motoryzacji oraz dążenia do ograniczania emisji w miastach szczególnego znaczenia nabiera rozwój wysokowydajnych środków transportu szynowego.

Tramwaj wyróżnia się spośród miejskich środków transportu wysoką zdolnością przewozową, niską energochłonnością w przeliczeniu na pasażera, długim okresem eksploatacji taboru oraz brakiem emisji zanieczyszczeń w miejscu użytkowania (Mikulski, 2021). Pomimo tych właściwości w Polsce funkcjonują duże miasta pozbawione komunikacji szynowej. Największym z nich jest Lublin – stolica województwa lubelskiego i największe miasto Polski Wschodniej, liczące ponad 330 tys. mieszkańców. Koncepcje wprowadzenia tramwaju pojawiały się tu wielokrotnie od końca XIX w., w tym zaawansowany projekt szybkiego tramwaju z lat 80. XX w., zakładający bezkolizyjne torowiska i tunelowe przejście przez śródmieście (Mikulski, 2021). Żadna z tych koncepcji nie została zrealizowana. Współcześnie transport zbiorowy w mieście opiera się na autobusach oraz na jednym z trzech krajowych systemów trolejbusowych, funkcjonującym od 1953 r., co czyni Lublin przypadkiem szczególnym – miastem dysponującym rozwiniętą infrastrukturą trakcji elektrycznej, lecz pozbawionym transportu szynowego.

Wybór przebiegu trasy transportu szynowego jest klasycznym problemem decyzyjnym o wielu kryteriach. Korytarz optymalny z punktu widzenia obsługi

ludności może okazać się niekorzystny pod względem ukształtowania terenu lub geometrii istniejących ulic, a trasa najkrótsza nie musi obsługiwać najważniejszych generatorów ruchu. Systemy informacji geograficznej umożliwiają integrację tych uwarunkowań i ich łączną ocenę (Beger i Połom, 2016; Rosik i in., 2017). W planowaniu tras tramwajowych powszechnie stosuje się metodę hierarchicznej analizy problemu, opracowaną przez Saaty'ego (1980), pozwalającą na jawne ujawnienie systemu preferencji przyjętego w analizie oraz na weryfikację jego wewnętrznej spójności (Banai, 2006; Bolakar Tosun, 2025; Halimergün i in., 2024).

Dotychczasowe propozycje przebiegu tras tramwajowych w Lublinie formułowano głównie na podstawie wiedzy eksperckiej, bez przejrzystej i powtarzalnej procedury wyboru korytarza. Podejście takie, choć wartościowe merytorycznie, utrudnia weryfikację przyjętych założeń oraz uniemożliwia sprawdzenie, jak by się zmienił przebieg trasy przy odmiennych priorytetach planistycznych.

Biorąc pod uwagę powyższe rozważania, celem artykułu jest przedstawienie metodyki wielokryterialnej analizy przestrzennej umożliwiającej identyfikację korytarzy o najwyższym potencjale dla trasy tramwajowej oraz zilustrowanie jej zastosowania na przykładzie Lublina. Praca ma charakter metodyczny – nie wskazuje trasy rekomendowanej do realizacji, lecz przedstawia procedurę, którą można powtórzyć przy zmienionych założeniach, rozszerzyć o kolejne kryteria lub zastosować do innego obszaru. Uzyskane warianty przebiegu trasy traktowane są jako ilustracja możliwości narzędzia, a nie jako gotowa propozycja inwestycyjna.

OBSZAR BADAŃ

Obszar badań obejmuje miasto Lublin o powierzchni 147,5 km², położone na pograniczu Wyżyny Lubelskiej i Rostocza, na skrzyżowaniu dróg krajowych i ekspresowych oraz linii kolejowych nr 7 i 30. Dla podjętej problematyki istotne znaczenie ma rzeźba terenu. Zachodnia i południowo-zachodnia część miasta jest silnie rozczłonkowana przez suche doliny i wąwozy wykształcone w pokrywie lessowej, a dolina Bystrzycy dzieli obszar miasta na dwie części o odmiennym ukształtowaniu. Deniwelacje w granicach administracyjnych przekraczają 90 m, co przy wymaganiach dotyczących pochylenia podłużnego toru stanowi realne ograniczenie dla prowadzenia trasy szynowej.

Struktura funkcjonalno-przestrzenna miasta charakteryzuje się koncentracją funkcji metropolitalnych w rejonie śródmieścia oraz wyraźnym rozczłonkowaniem obszarów mieszkaniowych o wysokiej gęstości zabudowy, obejmujących dzielnice Czuby, Rury i Lubelską Spółdzielnię Mieszkaniową w części zachodniej oraz osiedla wschodnie. Największe generatory ruchu – dworce, kampusy uczelni

oraz obiekty handlowe wielkopowierzchniowe – rozmieszczone są nierównomiernie, co uzasadnia rozpatrywanie odmiennych priorytetów przy wyznaczaniu przebiegu trasy.

MATERIAŁY I METODY

W analizie wykorzystano dane pochodzące z publicznych rejestrów przestrzennych oraz z otwartych zbiorów danych. Ich zestawienie wraz ze wskazaniem źródła i stanu aktualności przedstawia tab. 1. Wszystkie warstwy zharmonizowano w układzie współrzędnych PL-1992 (EPSG:2180), a obliczenia wykonano w programie ArcGIS Pro z rozszerzeniami Spatial Analyst i Network Analyst. Pozyskanie i wstępne przetworzenie części danych wektorowych zrealizowano w programie QGIS.

Tab. 1. Dane wykorzystane w analizie (opracowanie własne)

Tab. 1. Data used in the analysis (own elaboration)

Warstwa / Layer	Źródło / Source	Postać danych / Data format	Stan na / As of
Numeryczny model terenu <i>Digital terrain model</i>	GUGiK	raster, 5 m	2025
Sieć drogowa <i>Road network</i>	OpenStreetMap	wektor liniowy	2025
Przystanki transportu zbiorowego <i>Public transport stops</i>	OpenStreetMap	wektor punktowy	2025
Generatory ruchu <i>Trip generators</i>	OpenStreetMap, Plan mobilności LOF	wektor punktowy	2025
Budynki mieszkalne <i>Residential buildings</i>	BDOT10k	wektor poligonowy	2025
Szerokość jezdni <i>Carriageway width</i>	BDOT10k	wektor liniowy	2025
Liczba ludności <i>Population data</i>	GUS BDL, UM Lublin	tabela	2026
Stacje elektroenergetyczne <i>Power substations</i>	OpenStreetMap	wektor punktowy	2026
Granice administracyjne <i>Administrative boundaries</i>	PRG (GUGiK)	wektor poligonowy	2025

Podstawę analizy stanowiła sieć drogowa pozyskana z zasobów OpenStreetMap, z której wyłączono drogi ekspresowe oraz drogi wewnętrzne i dojazdowe, pozostawiając klasy umożliwiające prowadzenie torowiska. Po przycięciu do granic miasta sieć obejmowała 5562 odcinki o łącznej długości 426,8 km.

Przyjęto siedem kryteriów pogrupowanych w trzy kategorie. Kryteria techniczne obejmują pochylenie podłużne terenu, minimalny promień łuku poziomego oraz szerokość jezdni. Kryteria społeczno-funkcjonalne to gęstość zaludnienia, dostępność

generatorów ruchu i odległość od istniejących przystanków. Kategorię infrastrukturalną reprezentuje bliskość infrastruktury zasilania elektroenergetycznego. Zestawienie kryteriów wraz z kierunkiem preferencji i wyznaczonymi wagami zawiera tab. 2.

Pochylenie podłużne wyznaczono z numerycznego modelu terenu o rozdzielczości 5 m, obliczając raster nachylenia wyrażonego w procentach. Świadomie zrezygnowano z wykorzystania numerycznego modelu pokrycia terenu, ponieważ zawarte w nim budynki i roślinność zniekształcałyby wartości nachylenia w pasie drogowym. Przy agregacji wartości do odcinków przyjęto wartość maksymalną, ponieważ nawet krótki fragment o nadmiernym pochyleniu dyskwalifikuje cały odcinek. Klasyfikację oparto na wartościach granicznych określonych w wytycznych projektowania infrastruktury tramwajowej (WR-D-43-3, 2022) oraz w przepisach techniczno-budowlanych dotyczących dróg publicznych (Rozporządzenie, 2022). Wyodrębniono przedziały: do 2,5%, od 2,5 do 4,0%, od 4,0 do 5,0%, od 5,0 do 6,0% oraz powyżej 6,0%, uznane za wykluczające dla tramwaju klasycznego.

Minimalny promień łuku poziomego obliczono metodą okręgu opisanego na trzech kolejnych wierzchołkach linii, przyjmując jako wartość opisującą odcinek minimum z uzyskanego zbioru. Wynik odniesiono do wymaganych wartości granicznych, wynoszących 50 m na szlaku i 25 m w obrębie skrzyżowań. Trzecim kryterium technicznym była szerokość jezdni pozyskana z bazy BDOT10k, znormalizowana liniowo z wartością progową 12 m odpowiadającą przekrojowi mieszczącemu torowisko dwutorowe wraz z pasami ruchu. Odcinkom pozbawionym danych o szerokości, stanowiącym 7,0% sieci, przypisano wartość neutralną.

Liczbę ludności przypisano poszczególnym budynkom metodą dazymetryczną (Bielecka, 2005; Eicher i Brewer, 2001). Dla każdego budynku mieszkalnego obliczono wagę stanowiącą iloczyn powierzchni użytkowej oraz współczynnika typu zabudowy, przyjętego na poziomie 1,0 dla zabudowy jednorodzinnej i 1,4 dla zabudowy wielorodzinnej. Przyjęte wartości mają charakter empiryczny, zgodny z praktyką standardowo stosowaną w badaniach dazymetrycznych (Eicher i Brewer, 2001). Ich precyzyjna kalibracja wymagałaby danych referencyjnych, takich jak wyniki Narodowego Spisu Powszechnego 2021 udostępnione przez Główny Urząd Statystyczny w siatce 500x500 m, nieuwzględnionych w niniejszej pracy. Liczbę mieszkańców budynku wyznaczono jako iloraz jego wagi i sumy wag w obrębie jednostki statystycznej pomnożony przez liczbę ludności tej jednostki. W ten sposób rozdzielono 313 504 mieszkańców, co stanowi około 98% ludności miasta według danych statystycznych. Różnica wynika z pominięcia obiektów zbiorowego zamieszkania nieuwjętych w bazie danych jako budynki mieszkalne. Na podstawie tak przygotowanej warstwy punktowej wygenerowano raster gęstości zaludnienia metodą estymacji jądrowej (Silverman, 1986), przyjmując rozmiar komórki 20 m i promień wyszukiwania 500 m.

Warstwę generatorów ruchu zbudowano na podstawie zasobów Open-StreetMap, weryfikując jej kompletność wykazem obiektów zawartym w Planie mobilności Lubelskiego Obszaru Funkcjonalnego na lata 2017–2025 (2017). Wobec braku otwartych danych o rzeczywistej frekwencji obiektów przyjęto wagi klasowe oparte na typie i randze generatora – rozwiązanie stosowane standardowo w analizach wielokryterialnych lokalizacji tras (Bolakar Tosun, 2025). Klasie najwyższej przypisano dworce kolejowe i autobusowe, klasie średniej – centra handlowe wielkopowierzchniowe, kampusy uczelni, szpitale o zasięgu wojewódzkim, obiekty sportowo-widowiskowe i największe zakłady pracy, a klasie najniższej – pozostałe obiekty usługowe i administracyjne. Warstwę generatorów ograniczono do obiektów położonych w granicach administracyjnych Lublina zgodnie z przyjętym zakresem przestrzennym analizy. Port lotniczy w Świdniku, rozważany na wstępnym etapie prac jako potencjalny element analizy o charakterze aglomeracyjnym, ostatecznie nie został uwzględniony.

Warstwę istniejących przystanków poddano generalizacji, ponieważ w danych źródłowych zespoły przystankowe zapisane są jako odrębne obiekty dla każdego kierunku ruchu. Nazwy oczyszczono z końcowej numeracji, a następnie dla każdej grupy obiektów o wspólnej nazwie wyznaczono medianowy środek geometryczny, uzyskując pojedynczy punkt reprezentujący zespół przystankowy. Kryterium infrastrukturalne oparto na odległości od stacji elektroenergetycznych 110/15 kV, pomijając sieć średniego napięcia ze względu na jej równomierne rozmieszczenie w obszarze zurbanizowanym, uniemożliwiające różnicowanie korzyarzy.

Wartości kryteriów przeniesiono na sieć drogową w jednolitej procedurze: odcinki dróg zamieniono na zbiór wierzchołków, którym przypisano wartości poszczególnych rastrów, a następnie zagregowano je do odcinków i złączono przestrzennie z warstwą liniową. Ze względu na zróżnicowane jednostki i zakresy zmienności kryteria znormalizowano do wspólnej skali od 0 do 100. Dla kryteriów o ostrych progach technicznych zastosowano normalizację skokową opartą na wartościach granicznych wynikających z wytycznych projektowych, a dla pozostałych – normalizację liniową, rosnącą dla gęstości zaludnienia i malejącą dla kryteriów odległościowych.

Wagi kryteriów wyznaczono metodą hierarchicznej analizy problemu. Zbudowano macierze porównań parami w dziewięciostopniowej skali Saaty’ego, a wektory wag obliczono jako znormalizowane wektory własne odpowiadające największej wartości własnej każdej macierzy. Opracowano trzy zestawy wag odpowiadające odmiennym priorytetom planistycznym: demograficznemu, w którym największe znaczenie przypisano gęstości zaludnienia; generatorowemu, uprzywilejowującemu dostępność obiektów generujących ruch; integracyjnemu, premiującemu powiązanie z istniejącą siecią transportu zbiorowego. Wynik oceny każdego odcinka

obliczono jako sumę ważoną znormalizowanych kryteriów. Wagi kryteriów technicznych oraz kryterium zasilania utrzymano na identycznym poziomie we wszystkich trzech wariantach, różnicując wyłącznie wagę kryterium wiodącego kosztem pozostałych kryteriów społeczno-funkcjonalnych. Konsekwencją tego założenia jest identyczna (do czwartego miejsca po przecinku) wartość wskaźnika spójności CR uzyskana z każdego wariantu.

Przebiegi tras wyznaczono w sposób automatyczny, rezygnując z ręcznego wskazywania odcinków. Dla każdego wariantu obliczono koszt przejazdu odcinka według wzoru: $\text{koszt} = \text{długość odcinka} \times (101 - \text{wynik oceny}) / 100$, gdzie stała +1 w liczniku zapewnia, że koszt nie osiąga zera nawet dla odcinka o maksymalnej ocenie równej 100, co zapobiega powstawaniu ścieżek o zerowym koszcie całkowitym. Odcinków niespełniających wymogów technicznych nie usuwano z sieci, lecz przypisywano im koszt zaporowy (999999), zachowujący spójność topologiczną zbioru danych sieciowych przy jednoczesnym praktycznym wykluczeniu tych odcinków z możliwego przebiegu trasy. Na tak przygotowanej sieci wyznaczono trasy najniższego kosztu pomiędzy dwoma punktami – początkowym i końcowym – zlokalizowanymi na obrzeżach miasta, w rejonach odpowiadających logice każdego wariantu. Nie zastosowano dodatkowych punktów pośrednich, pozostawiając wybór całego przebiegu algorytmowi na podstawie uzyskanych wag. Takie podejście stanowiło wstępny test działania procedury i ograniczało wpływ decyzji autora na kształt wyznaczonej trasy do wyboru dwóch punktów krańcowych. Analiza nie uwzględnia kierunkowości dróg jednokierunkowych ani zakazów skrętu, co stanowi uproszczenie względem rzeczywistych warunków ruchu, omówione w dalszej części pracy. Nie uwzględniono również natężenia ruchu samochodowego na poszczególnych odcinkach. Jego włączenie, na podstawie danych Zarządu Dróg i Mostów w Lublinie, mogłoby obniżyć ocenę odcinków o przekroju jednej jezdni dwupasmowej, na których prowadzenie trasy szynowej groziłoby pogłębieniem istniejących zatorów, w tym w rejonie rogatki lubartowskiej oraz ulic Obywatelskiej, Unickiej i Podzamcze.

Określono również parametry eksploatacyjne, przyjmując prędkość jazdy między przystankami 28 km/h, czas postoju na przystanku 30 sekund oraz stratę czasu 20 sekund na każdym skrzyżowaniu z sygnalizacją świetlną, przy założeniu braku priorytetu dla pojazdów szynowych. Przystanki rozmieszczono wzdłuż tras w regularnych odstępach co 450 m, bez korekty względem lokalizacji skrzyżowań lub generatorów ruchu. Taka korekta mogłaby nieznacznie zmienić liczbę i lokalizację przystanków, nie wpływając istotnie na ich łączną liczbę wynikającą z długości trasy. Zasięg obsługi określono metodą obszarów dostępności na sieci pieszej obejmującej całą sieć drogową wraz z ciągami pieszymi, wyznaczając strefy dojścia w czasie 5, 10 i 15 minut przy prędkości 4,5 km/h i sumując liczbę

bę mieszkańców budynków położonych w ich obrębie. Zastosowanie opcji łączenia zasięgów na etapie generowania stref dostępności wykluczyło podwójne liczenie mieszkańców w obrębie nakładających się zasięgów przystanków tej samej trasy.

WYNIKI

Spośród 5562 analizowanych odcinków 524, stanowiące 9,4% sieci, uzyskały ocenę wykluczającą. W 464 przypadkach przyczyną było przekroczenie dopuszczalnego pochylenia podłużnego, a w 63 – zbyt mały promień łuku poziomego; w pozostałych wystąpiły obie przesłanki jednocześnie. Odcinki wykluczone koncentrują się w zachodniej części miasta, w rejonach rozcięć erozyjnych pokrywy lessowej, oraz w obrębie historycznego śródmieścia o zwartej i nieregularnej strukturze ulic.

Rozkłady wyniku oceny różnią się między wariantami. Dla wariantu demograficznego wartości mieszczą się w przedziale od 24,6 do 96,6 przy średniej 65,5 i odchyleniu standardowym 10,6; dla wariantu generatorowego – od 28,4 do 94,7 przy średniej 72,1 i odchyleniu 9,9; dla wariantu integracyjnego – od 34,0 do 96,0 przy średniej 76,6 i odchyleniu 8,3. Malejące odchylenie standardowe wskazuje, że kryterium dostępności przystanków, wiodące w trzecim wariancie, różnicuje odcinki najsłabiej.

Tab. 2. Kryteria przyjęte w analizie wraz z wagami wyznaczonymi metodą AHP (opracowanie własne)

Tab. 2. Criteria adopted in the analysis and weights derived by AHP (own elaboration)

Kryterium / Criterion	Preferencja / Preference	W1	W2	W3
Pochylenie podłużne terenu / <i>Terrain slope</i>	malejąca	0,158	0,158	0,158
Minimalny promień łuku / <i>Minimum curve radius</i>	rosnąca	0,158	0,158	0,158
Szerokość jezdni / <i>Carriageway width</i>	rosnąca	0,132	0,132	0,132
Gęstość zaludnienia / <i>Population density</i>	rosnąca	0,290	0,092	0,092
Dostępność generatorów ruchu / <i>Accessibility of trip generators</i>	rosnąca	0,092	0,290	0,092
Odległość od przystanków / <i>Distance to existing stops</i>	malejąca	0,092	0,092	0,290
Bliskość infrastruktury zasilania / <i>Proximity to power supply</i>	malejąca	0,079	0,079	0,079
Wskaźnik spójności CR / <i>Consistency ratio CR</i>	—	0,010	0,010	0,010

Objaśnienie: W1 – wariant demograficzny; W2 – wariant generatorowy; W3 – wariant integracyjny.

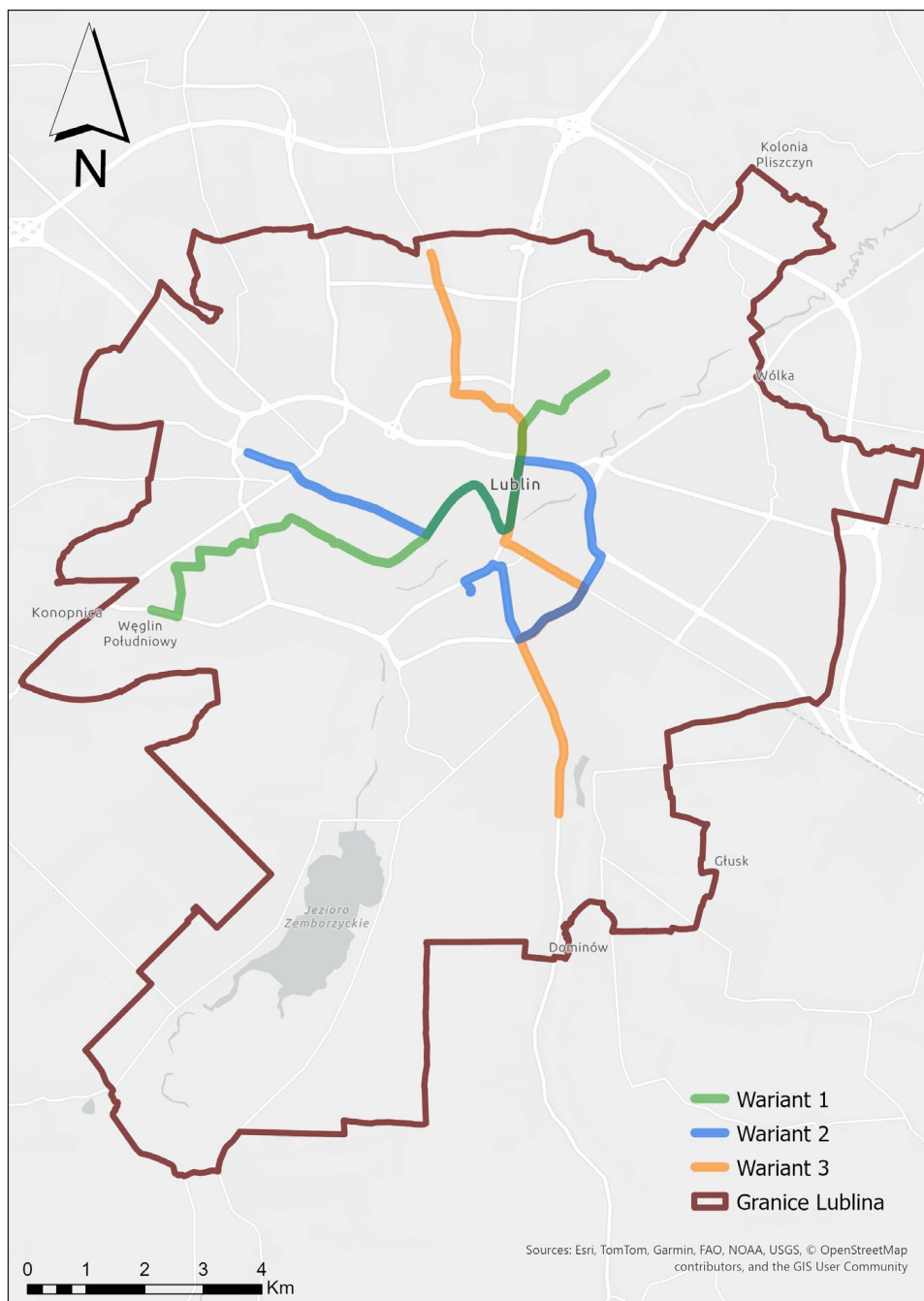
Explanation: W1 – demographic variant; W2 – generator-oriented variant; W3 – integrative variant.

Wariant demograficzny (W1) łączy zachodnią część miasta z częścią północno-wschodnią, prowadząc od rejonu Węglina, ze skrzyżowania ulic Jana Pawła II i Gęsiej, ulicami Roztocze, Władysława Orkana i Ułanów do ciągu Bohaterów Monte Cassino. Dalej przebiega ulicą Tomasza Zana, w sąsiedztwie obiektów handlowych i skupisk zabudowy wielorodzinnej Lubelskiej Spółdzielni Mieszkaniowej, oraz ulicą Nadbystrzycką w rejonie kampusu Politechniki Lubelskiej. Po przejściu przez skrzyżowanie z ulicą Muzyczną trasa prowadzi ulicami Gabriela Narutowicza i Bernardyńską w bezpośrednim sąsiedztwie Starego Miasta, następnie Aleją Unii Lubelskiej obok centrum handlowego i Zamku Lubelskiego, Aleją Andersa, kończąc bieg przy ulicy Trześniowskiej na Ponikwodzie.

Wariant generatorowy (W2) rozpoczyna się przy ulicy Nałęczowskiej w zachodniej części miasta i prowadzi ulicą Głęboką, obsługując zabudowę Lubelskiej Spółdzielni Mieszkaniowej oraz kampus Uniwersytetu Marii Curie-Skłodowskiej. Na odcinku od skrzyżowania z ulicą Muzyczną do rejonu Zamku Lubelskiego pokrywa się z wariantem demograficznym, po czym skręca w Aleję Tysiąclecia i przez węzeł z Aleją Witosa prowadzi ulicą Krańcową w sąsiedztwie obiektów handlowych wielkopowierzchniowych. Dalej przez ulice Pawią i Lubelskiego Lipca '80, w pobliżu Areny Lublin, dociera do Dworca Głównego PKP i Dworca Autobusowego, kończąc bieg w głównym węźle przesiadkowym miasta.

Wariant integracyjny (W3) łączy południową część miasta z osiedlem Choiny w części północnej. Rozpoczyna się przy ulicy Abramowickiej, w sąsiedztwie stacji elektroenergetycznej i zaplecza komunikacji autobusowej. Prowadzi przez rejon Zamku Lubelskiego i Alei Unii Lubelskiej, obsługując Uniwersytet Medyczny wraz z zespołem domów studenckich, a jego wschodni odcinek przebiega Drogą Męczenników Majdanka i ulicą Krańcową w kierunku ulicy Adama Mickiewicza. Charakter tego wariantu wynika przede wszystkim z geometrii przebiegu łączącego oddalone części miasta, a nie z oddziaływania kryterium wiodącego.

Przebieg wszystkich trzech wariantów przedstawiono na ryc. 1. Trasy pokrywają się na odcinku prowadzącym przez śródmieście, w rejonie Alei Unii Lubelskiej i Zamku Lubelskiego, przez który przechodzą wszystkie warianty niezależnie od przyjętego priorytetu. Warianty demograficzny i generatorowy mają również wspólny dłuższy odcinek od skrzyżowania z ulicą Muzyczną.



Ryc. 1. Warianty przebiegu trasy tramwajowej wyznaczone na podstawie analizy wielokryterialnej (opracowanie własne)

Fig. 1. Tramway route variants determined by multi-criteria analysis (own elaboration)

Średnie znormalizowane wartości kryteriów dla odcinków tworzących poszczególne trasy (zob. tab. 3) potwierdzają, że każdy wariant realizuje przyjęty priorytet. Wariant demograficzny osiąga najwyższą wartość kryterium gęstości zaludnienia (52,2 wobec 34,5 dla całej sieci), a wariant generatorowy – kryterium dostępności generatorów ruchu (86,0 wobec 67,8). Wszystkie warianty przewyższają średnią sieci pod względem wyniku oceny, przy czym największą przewagę wykazuje wariant generatorowy (+14,4%), a najmniejszą wariant integracyjny (+8,9%).

Tab. 3. Średnie znormalizowane wartości kryteriów dla wytypowanych tras (opracowanie własne)

Tab. 3. Mean normalised criterion values for the identified routes (own elaboration)

Kryterium / Criterion	W1	W2	W3	Sieć ogółem / Whole network
Pochylenie podłużne terenu / Terrain slope	71,2	78,9	78,3	71,8
Minimalny promień łuku / Minimum curve radius	98,9	98,8	99,4	97,4
Szerokość jezdni / Carriageway width	72,2	76,5	74,4	58,9
Gęstość zaludnienia / Population density	52,2	44,4	43,4	34,5
Dostępność generatorów ruchu / Accessibility of trip generators	77,3	86,0	80,5	67,8
Odległość od przystanków / Distance to existing stops	92,1	92,0	93,2	90,1
Bliskość infrastruktury zasilania / Proximity to power supply	87,5	86,8	90,3	83,1
Wynik oceny wielokryterialnej / Multi-criteria score	74,0	82,5	83,4	–

Objaśnienie: wartości w skali 0–100; kolumna „Sieć ogółem” obejmuje wszystkie 5562 odcinki.

Explanation: values on a 0–100 scale; the “Whole network” column covers all 5,562 sections.

Parametry eksploatacyjne wytypowanych tras zestawiono w tab. 4. Długości wariantów mieszczą się w wąskim przedziale od 12,15 do 13,87 km, a rozstaw przystanków – od 447 do 450 m, co odpowiada standardom eksploatacyjnym tramwaju miejskiego. Szacowany czas przejazdu waha się od 48,4 do 59,3 minut, czemu odpowiada prędkość komunikacyjna od 13,9 do 15,6 km/h. Różnice wynikają przede wszystkim z liczby skrzyżowań z sygnalizacją świetlną: wariant generatorowy, przechodzący przez 41 takich skrzyżowań, jest najwolniejszy pomimo zbliżonej długości trasy, natomiast wariant demograficzny, z 21 skrzyżowaniami sygnalizowanymi, osiąga prędkość najwyższą.

Analiza zasięgu obsługi wykazała, że w strefie dziesięciominutowego dojścia pieszego do przystanków znajduje się od 52,6 do 70,1 tys. mieszkańców, co odpowiada od 16,8 do 22,3% ludności miasta. Najwyższą wartość tego wskaźnika

osiągnął wariant demograficzny, co wynika z jego przebiegu przez rejony o najwyższej gęstości zabudowy wielorodzinnej. Przy wydłużeniu proggu czasowego do 15 minut zasięg obsługi obejmuje od 25,0 do 31,6% ludności.

Tab. 4. Parametry eksploatacyjne i zasięg obsługi wytypowanych tras (opracowanie własne)

Tab. 4. Operational parameters and service coverage of the identified routes (own elaboration)

Parametr / Parameter	W1	W2	W3
Długość trasy [km] / Route length [km]	12,58	13,87	12,15
Liczba przystanków / Number of stops	29	32	28
Rozstaw przystanków [m] / Stop spacing [m]	449	447	450
Liczba skrzyżowań / Number of intersections	56	71	86
w tym z sygnalizacją świetlną / of which signalised	21	41	38
Czas przejazdu [min] / Travel time [min]	48,4	59,3	52,6
Prędkość komunikacyjna [km/h] / Operating speed [km/h]	15,6	14,0	13,9
Ludność w zasięgu 5 min [tys.] / Population within 5 min [thous.]	29,3	22,1	23,8
Ludność w zasięgu 10 min [tys.] / Population within 10 min [thous.]	70,1	52,6	54,0
Ludność w zasięgu 15 min [tys.] / Population within 15 min [thous.]	99,1	85,9	78,4
Udział ludności miasta (10 min)* [%] / Share of city population (10 min) [%]	22,3	16,8	17,2

Objaśnienie: wartości ludnościowe skumulowane; udział odniesiony do 313 504 mieszkańców rozdzielonych metodą dazy-metryczną; * zasięg dziesięciominutowego dojścia pieszego.

Explanation: cumulative population values; share calculated against 313,504 inhabitants distributed by dasymetric mapping;

* ten-minute walking distance.

DYSKUSJA

Najistotniejszym wynikiem przeprowadzonej analizy nie jest przebieg poszczególnych wariantów, lecz stwierdzenie istnienia korytarza wspólnego. Wszystkie trzy trasy, wyznaczone przy odmiennych zestawach wag, przechodzą przez ten sam odcinek w rejonie śródmieścia, w ciągu Alei Unii Lubelskiej i Zamku Lubelskiego, co może wskazywać na istnienie potencjału niezależnego od przyjętego priorytetu planistycznego. Obserwację tę należy jednak interpretować z ostrożnością: zbieżność przebiegu mogła wynikać nie tylko z trwałych uwarunkowań przestrzennych – układu doliny Bystrzycy, koncentracji funkcji śródmiejskich oraz ograniczeń wynikających z rzeźby terenu, lecz także częściowo z konstrukcji samego eksperymentu, w tym z utrzymania identycznych wag kryteriów technicznych we wszystkich wariantach oraz z podobieństwa lokalizacji punktów krańcowych. Rozstrzygnięcie, w jakim stopniu każdy z tych czynników odpowiada za obserwowaną zbieżność, wymagałoby powtórzenia procedury przy odmiennie dobranych punktach krańcowych i istotnie zróżnicowanych wagach kryteriów technicznych. Jeśli zbieżność zostanie potwierdzona w dalszych testach, wskaże ona odcinek, którego budowa mogłaby być uzasadniona niezależnie od ostatecznego kształtu całego układu.

Drugim wynikiem wartym podkreślenia jest ujawniony przez analizę konflikt między kryteriami. Wariant demograficzny osiąga najwyższą wartość kryterium gęstości zaludnienia, a jednocześnie najniższą wartość kryterium pochylenia podłużnego spośród trzech tras (71,2 wobec 78,9 i 78,3). Rejony o najwyższej koncentracji mieszkańców w Lublinie sąsiadują bowiem z obszarami silnie zróżnicowanymi wysokościowo, zwłaszcza w ciągu ulic Gabriela Narutowicza i Bernardyńskiej. Wskazuje to na trudność, którą trudno uchwycić metodami eksperckimi: korytarz najlepiej obsługujący ludność nie jest korytarzem najłatwiejszym technicznie, natomiast rozstrzygnięcie tego napięcia wymaga decyzji planistycznej, a nie obliczeniowej.

Uzyskane wartości zasięgu obsługi warto odnieść do celów zapisanych w Strategii Rozwoju Lublina 2030 (2021), w której sformułowano koncepcję miasta piętnastominutowego, zakładającą zapewnienie mieszkańcom dostępu do podstawowych usług w zasięgu krótkiego dojścia pieszo lub dojazdu rowerowego. Wariant demograficzny, obejmujący zasięgiem dziesięciminutowego dojścia 22,3% mieszkańców miasta, w największym stopniu odpowiada temu założeniu. Pełna ocena stopnia realizacji celu wymagałaby jednak uwzględnienia istniejącej sieci autobusowej i trolejbusowej, wobec której trasa tramwajowa pełniłaby funkcję uzupełniającą.

Uzyskane wyniki można odnieść do wcześniejszych koncepcji tramwaju w Lublinie, w szczególności do propozycji Mikulskiego (2021), sformułowanej na podstawie analizy eksperckiej. Bezpośrednie porównanie przebiegu tras nie było przedmiotem niniejszej pracy. Zbieżność dotyczy zestawu obsługiwanych węzłów: obie metody wskazują jako kluczowe Dworzec Główny, kampusy Uniwersytetu Marii Curie-Skłodowskiej i Politechniki Lubelskiej, zespół zabudowy Lubelskiej Spółdzielni Mieszkaniowej oraz rejon śródmieścia. Zbieżność ta, uzyskana przy zupełnie odmiennym podejściu metodycznym, stanowi argument na rzecz zasadności obu ujęć i wskazuje, że analiza wielokryterialna może pełnić funkcję narzędzia weryfikującego propozycje formułowane na podstawie doświadczenia planistycznego.

Walidacja względem koncepcji Mikulskiego (2021) ma w niniejszej pracy charakter jakościowy, ograniczony do porównania zestawu obsługiwanych węzłów. Wspomniana koncepcja opiera się na doborze punktów istotnych z perspektywy doświadczenia planistycznego, nie zaś na sparametryzowanej geometrii, której odtworzenie w formie wektorowej byłoby obarczone znacznym marginesem interpretacji autora niniejszej pracy. Ilościowa walidacja przestrzenna – określenie udziału wspólnych odcinków lub odległości między trasami – wymagałaby wcześniejszej digitalizacji trasy źródłowej opartej na jednoznacznych założeniach geometrycznych i stanowi kierunek dalszych badań. Warto również podkreślić, że

trzy wyznaczone warianty realizują odmienne relacje przestrzenne: łączą różne pary punktów krańcowych i obsługują częściowo odmienne obszary miasta. Porównywane w pracy parametry eksploatacyjne, takie jak długość, czas przejazdu czy liczba obsługiwanej ludności, nie powinny być zatem odczytywane jako podstawa do wskazania wariantu obiektywnie najlepszego, lecz jako opis odrębnych scenariuszy przestrzennych, z których każdy odpowiada innemu priorytetowi planistycznemu.

Zastosowane podejście pozostaje zgodne ze standardami stosowanymi w literaturze przedmiotu. W badaniu przeprowadzonym przez Bolakar Tosun (2025) wykorzystano analogiczne połączenie metody hierarchicznej analizy problemu z oceną wrażliwości wyniku przy wyborze przebiegu trasy tramwajowej w mieście średniej wielkości w oparciu o zbliżony zestaw kryteriów. Zbliżone podejście, łączące GIS z metodą AHP w planowaniu przebiegu tras liniowych, zastosowali również Singh i in. (2024). Podobne wnioski co do przydatności narzędzi GIS w planowaniu sieci tramwajowej sformułowali Banai (2006) oraz Halimerğün i in. (2024), zwracając uwagę na znaczenie analiz zasięgu obsługi przystanków dla oceny rzeczywistej wartości projektowanej trasy. Elementem wyróżniającym zastosowaną procedurę jest automatyczne wyznaczanie przebiegu jako trasy najniższego kosztu, co eliminuje uznaniowość na etapie wyboru odcinków i zapewnia powtarzalność wyniku.

Odrębnego komentarza wymaga relacja pomiędzy transportem szynowym a istniejącym w Lublinie systemem trolejbusowym. Przedstawiona analiza nie zakłada zastąpienia tego systemu, tylko wskazuje korytarze, w których koncentracja potencjału przewozowego uzasadniałaby rozważenie środka transportu o wyższej zdolności przewozowej jako uzupełnienia dla istniejącej oferty. Argumentem przemawiającym za takim rozwiązaniem jest możliwość współdzielenia infrastruktury zasilania, obie trakcje wykorzystują bowiem prąd stały o tym samym napięciu znamionowym. Warto odnotować, że wariant integracyjny rozpoczyna i kończy bieg w sąsiedztwie istniejących zapleczy komunikacji autobusowej, co mogłoby ograniczyć nakłady na budowę odrębnego zaplecza technicznego.

Przeprowadzona analiza wiąże się z ograniczeniami, które należy uwzględnić przy interpretacji wyników. Dokładność wyznaczenia promienia łuku poziomego zależy od jakości geometrii źródłowej. Dane OpenStreetMap zawierają mikrozałamania powstałe na etapie digitalizacji, które zawyżają krzywiznę na odcinkach faktycznie prostoliniowych. Wpływ tej niedokładności na wynik końcowy był ograniczony, ponieważ kryterium osiągało wartości bliskie maksymalnym na przeważającej części sieci (97,4 dla całej sieci), a odcinki wykluczone z tego powodu stanowiły jedynie 1,1% zbioru. Precyzyjne wyznaczenie parametrów geometrycznych wymagałoby danych z ewidencji dróg lub pomiaru geodezyjnego. Pomimo tego ograniczenia kryterium zastosowano jako wykluczające, ponie-

waż odzwierciedla ono wymóg natywny (WR-D-43-3, 2022), a nie próg przyjęty arbitralnie. Złagodzenie go do formy punktowanej osłabiłoby zgodność analizy z rzeczywistymi wymaganiami technicznymi prowadzenia toru.

Kryterium odległości od istniejących przystanków okazało się nasycone. Jego średnia wartość dla całej sieci wynosi 90,1, a dla wytypowanych tras 92,0–93,2, co oznacza, że w mieście o gęstej sieci autobusowo-trolejbusowej odległość do przystanku przestaje różnicować korytarze. Tłumaczy to najniższą przewagę wariantu integracyjnego nad średnią sieci oraz najmniejsze odchylenie standardowe wyniku oceny w tym wariancie. Obserwacja ta ma znaczenie metodyczne: przy przenoszeniu procedury do innych miast kryteria należy dobierać z uwzględnieniem ich rzeczywistej zmienności w danym obszarze.

Z analizy wyłączono kryterium pokrycia miejscowymi planami zagospodarowania przestrzennego oraz gęstości uzbrojenia podziemnego. W pierwszym przypadku przyczyną był brak danych wektorowych – plany udostępniane są wyłącznie w postaci usługi przeglądania, co uniemożliwia wykonanie operacji przestrzennych. W drugim zaś ograniczeniem była dostępność mapy zasadniczej wyłącznie dla części obszaru, co przy jednoczesnym uwzględnieniu terenów sąsiednich prowadziłoby do systematycznego zniekształcenia wyniku. Oba kryteria pozostają istotnymi kierunkami rozwoju analizy, przy czym uzbrojenie podziemne ma bezpośredni wpływ na koszty inwestycji.

Ocena popytu opiera się na rozmieszczeniu ludności i generatorów ruchu, a nie na rzeczywistych potokach pasażerskich, których określenie wymagałoby kompleksowych badań ruchu. Czas przejazdu oszacowano przy założeniu stałej prędkości jazdy, co upraszcza rzeczywiste warunki eksploatacji zależne od organizacji ruchu na poszczególnych odcinkach. Poza zakresem pracy pozostała także lokalizacja zaplecza technicznego wymagająca analizy struktury własnościowej gruntów i uzgodnień planistycznych. Analiza nie uwzględnia też kierunkowości dróg jednokierunkowych ani zakazów skrętu, co mogło w pojedynczych przypadkach dopuścić przebieg trasy niezgodny z obowiązującą organizacją ruchu. Uwzględnienie tych ograniczeń w zbiorze danych sieciowych stanowi naturalny element dalszego rozwoju metodyki.

Przedstawiona procedura może być rozwijana w kilku kierunkach. Naturalnym rozszerzeniem jest objęcie analizą obszaru sąsiednich gmin, w szczególności miasta Świdnika wraz z portem lotniczym, co pozwoliłoby ocenić potencjał połączeń o charakterze aglomeracyjnym. Możliwe jest również rozbudowanie zestawu kryteriów o uwarunkowania kosztowe i własnościowe. Przyjęte trzy warianty stanowią wstępną, jakościową formę analizy wrażliwości wyniku na zmianę priorytetu planistycznego. Naturalnym rozwinięciem byłoby przeprowadzenie systematycznej, ilościowej analizy wrażliwości, polegającej na zmianie pojedynczych wag

o określony krok przy niezmiennych pozostałych elementach (Feizizadeh i in., 2014), a także powtórzenie procedury wyznaczania tras przy odmiennie dobranych punktach krańcowych w celu oddzielenia wpływu konstrukcji eksperymentu od rzeczywistych uwarunkowań przestrzennych. Największą wartość miałoby jednak połączenie procedury obliczeniowej z wiedzą planistyczną – analiza wielokryterialna wskazuje korytarze o wysokim potencjale, lecz o wyborze rozwiązania docelowego powinny rozstrzygać uwarunkowania, których nie sposób w pełni sformalizować.

WNIOSKI

Wielokryterialna analiza przestrzenna wykonana w środowisku GIS pozwala na przejrzyste i powtarzalne wskazanie odcinków sieci drogowej najlepiej odpowiadających wymaganiom transportu szynowego. Zastosowanie jawnie określonego zestawu kryteriów oraz wag wyznaczonych metodą hierarchicznej analizy problemu umożliwia prześledzenie, które uwarunkowania decydują o ocenie danego korytarza, natomiast wyznaczanie przebiegu jako trasy najniższego kosztu eliminuje uznaniowość na etapie wyboru odcinków.

Zmiana priorytetu planistycznego, wyrażona odmiennym zestawem wag, prowadzi do wskazania odmiennych korytarzy przy zachowaniu wspólnego odcinka śródmiejskiego. Procedura umożliwia zatem testowanie scenariuszy planistycznych bez konieczności powtarzania całego procesu analitycznego, a wyniki poszczególnych wariantów można porównywać za pomocą jednolitego zestawu parametrów operacyjnych.

Uwarunkowania techniczne, przede wszystkim pochylenie podłużne terenu, stanowią w warunkach lubelskich czynnik istotnie ograniczający swobodę prowadzenia trasy. Wykluczeniu podlegało 9,4% analizowanej sieci, głównie w zachodniej części miasta i w obrębie historycznego śródmieścia. Uwzględnienie tych kryteriów na wczesnym etapie analizy pozwala uniknąć wskazywania korytarzy niemożliwych do realizacji ze względów geometrycznych.

Przedstawione wyniki nie stanowią rekomendacji inwestycyjnej, lecz ilustrację możliwości narzędzia analitycznego. Pełne wykorzystanie metodyki wymaga jej uzupełnienia o dane niedostępne w otwartych zbiorach: informacje o uzbrojeniu podziemnym, strukturze własnościowej gruntów oraz rzeczywistych potokach pasażerskich, a przede wszystkim o współpracy ze służbami planistycznymi miasta. Procedura może w takim ujęciu pełnić rolę narzędzia wspomagającego, zawężającego pole poszukiwań na wstępnym etapie prac koncepcyjnych.

BIBLIOGRAFIA

- Banaï, R. (2006). Public Transportation Decision-Making: A Case Analysis of the Memphis Light Rail Corridor and Route Selection with Analytic Hierarchy Process. *Journal of Public Transportation*, 9(2), 1–24. DOI: <https://doi.org/10.5038/2375-0901.9.2.1>
- Beger, M., Połom, M. (2016). Wykorzystanie programu ArcGIS w analizach funkcjonowania transportu miejskiego na przykładzie komunikacji tramwajowej w Gdańsku. *Technika Transportu Szybowego*, 23(7–8), 32–37.
- Bielecka, E. (2005). *A Dasymetric Population Density Map of Poland*. Online: https://icaci.org/files/documents/ICC_proceedings/ICC2005/htm/pdf/oral/TEMA5/Session%209/ELZBIETA%20BIELECKA.pdf (dostęp: 16.09.2026).
- Bolakar Tosun, H. (2025). Engineering Urban Mobility through a Strategic Framework for Tram Route Design. *Scientific Reports*, 15, artykuł 41123. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41598-025-24987-5>
- Eicher, C.L., Brewer, C.A. (2001). Dasymetric Mapping and Areal Interpolation: Implementation and Evaluation. *Cartography and Geographic Information Science*, 28(2), 125–138. DOI: <https://doi.org/10.1559/152304001782173727>
- Feizizadeh, B., Jankowski, P., Blaschke, T. (2014). A GIS Based Spatially-Explicit Sensitivity and Uncertainty Analysis Approach for Multi-Criteria Decision Analysis. *Computers & Geosciences*, 64, 81–95. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cageo.2013.11.009>
- Halimergün, Y., Özden, A., Adahi Şahin, S.N., Kocaman, H. (2024). Will New Tram Lines Enhance the Connectivity and Walkability? A Case Study of Sakarya. *Sustainable Social Development*, 2(5), artykuł 2886. DOI: <https://doi.org/10.54517/ssd.v2i5.2886>
- Mikulski, M. (2021). Tramwaje w Lublinie – miejskie koncepcje oraz pozostałe opracowania w ujęciu historycznym i współczesnej perspektywie. *Transport Miejski i Regionalny*, (1), 20–25.
- Plan mobilności Lubelskiego Obszaru Funkcjonalnego na lata 2017–2025 (2017). Gmina Lublin.
- Rosik, P. (2012). *Dostępność lądowa przestrzeni Polski w wymiarze europejskim*. Instytut Geografii i Przestrzennego Zagospodarowania PAN im. Stanisława Leszczyckiego.
- Rosik, P., Pomianowski, W., Goliszek, S., Stępiak, M., Kowalczyk, K., Guzik, R., Kołoś, A., Komornicki, T. (2017). *Multimodalna dostępność transportem publicznym gmin w Polsce (MULTIMODACC)*. Instytut Geografii i Przestrzennego Zagospodarowania PAN im. Stanisława Leszczyckiego.
- Rozporządzenie (2022). Rozporządzenie Ministra Transportu i Gospodarki Morskiej z dnia 24 czerwca 2022 r. w sprawie przepisów techniczno-budowlanych dotyczących dróg publicznych (Dz.U. 2022, poz. 1518).
- Saaty, T.L. (1980). *The Analytic Hierarchy Process: Planning, Priority Setting, Resource Allocation*. McGraw-Hill.
- Silverman, B.W. (1986). *Density Estimation for Statistics and Data Analysis*. Chapman and Hall.
- Singh, M.P., Singh, P., Singh, P. (2024). Multi-Criteria Decision Analysis for Route Alignment Planning Using GIS and AHP. *Chinese Journal of Urban and Environmental Studies*, 12(1), artykuł 2450006. DOI: <https://doi.org/10.1142/S2345748124500064>
- Stępiak, M., Goliszek, S. (2017). Spatio-Temporal Variation of Accessibility by Public Transport – the Equity Perspective. W: I. Ivan, A. Singleton, J. Horák, T. Inspektor (Eds.), *The Rise of Big Spatial Data* (s. 241–261). Springer. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-319-45123-7_18
- Strategia Rozwoju Lublina 2030 (2021). Gmina Lublin.
- WR-D-43-3 (2022). *Wytyczne projektowania infrastruktury transportu zbiorowego. Cz. 3: Projektowanie infrastruktury transportu tramwajowego*. Ministerstwo Infrastruktury.

PUBLICATION INFO		
SUBMITTED: 2026.08.19	ACCEPTED: 2026.09.15	PUBLISHED ONLINE: 2026.09.24