

Prace Komisji Geografii Komunikacji PTG

2016, 19(1), 69-80

DOI 10.4467/2543859XPKG.16.006.6304

OCENA MODELU ZRÓWNOWAŻONEGO TRANSPORTU ZBIOROWEGO W ŁODZI 2020+ W ŚWIETLE ANALIZ ROZMIESZCZENIA PUNKTOWYCH ELEMENTÓW SIECI LOKALNEGO TRANSPORTU ZBIOROWEGO

Assessment of Model for sustainable transport in Lodz 2020+ in the light of the analysis of the distribution point elements of the network of local public transport

Bartosz Bartosiewicz (1), Szymon Wiśniewski (2)

(1) Instytut Zagospodarowania Środowiska i Polityki Przestrzennej, Wydział Nauk Geograficznych, Uniwersytet Łódzki, Kopcińskiego 31, 90-142 Łódź
e-mail: b.bartosiewicz@wp.pl

(2) Instytut Zagospodarowania Środowiska i Polityki Przestrzennej, Wydział Nauk Geograficznych, Uniwersytet Łódzki, Kopcińskiego 31, 90-142 Łódź
e-mail: szymon.wisniewski@geo.uni.lodz.pl

Cytacja:

Bartosiewicz B., Wiśniewski S., 2016, Ocena Modelu zrównoważonego transportu zbiorowego w Łodzi 2020+ w świetle analiz rozmieszczenia punktowych elementów sieci lokalnego transportu zbiorowego, *Prace Komisji Geografii Komunikacji PTG*, 19(1), 70-81.

Streszczenie: W niniejszym artykule skupiono się na weryfikacji dwóch wybranych założeń strategicznych Modelu zrównoważonego transportu zbiorowego w Łodzi 2020+. Badaniu poddano zasadność zaproponowanej w dokumencie gradacji węzłów przesiadkowych oraz ograniczenia konkurencji autobus – tramwaj na pewnych odcinkach sieci transportowej w granicach Łodzi. Do analizy wykorzystano podejście potencjałowe, poszerzone o statystyki przestrzenne. Artykuł uzupełniono o autorską recenzję Modelu w zakresie zapisów odnoszących się do punktowych elementów sieci lokalnego transportu zbiorowego. Badanie zamyka część wnioskowa zawierająca ponadto rekomendacje dla postulatów Modelu.

Słowa kluczowe: dostępność, Łódź, transport zbiorowy, węzły transportowe.

Abstract: This article focuses on the verification of two selected strategic objectives *Model of sustainable transport in Lodz 2020+*. The study has been subjected to the legitimacy of the proposed document gradation interchanges and restriction of competition bus - tram on certain sections of the transport network within Lodz. For the analysis was used potential method, expanded to spatial statistics. The article was accompanied by an original review model in terms of the provisions relating to the point of network elements of the local public transport. The survey closes some of the conclusions and further comprising recommendations for the demands in model.

Key words: accessibility, Łódź, public transport, transport hubs.

1. Wstęp

W 2015 r. władze samorządowe Łodzi przystąpiły do prac nad nowym modelem organizacji transportu zbiorowego w mieście. Prace te zostały zainicjowane w gronie przedstawicieli różnych komórek organizacyjnych miasta (w tym Miejskiego Przedsiębiorstwa Komunikacyjnego – MPK – miejskiego przewoźnika oraz Zarządu Dróg i Transportu – ZDiT – komórki odpowiadającej z organizację ruchu kołowego w mieście oraz infrastrukturę transportową). Prace zespołu nie zostały poprzedzone badaniami poświęconymi ocenie funkcjonowania transportu zbiorowego w Łodzi, preferencji i ocenie systemu przez mieszkańców. Tym bardziej nie zostały dokonane żadne badania nt. ruchu samochodowego w mieście. Ocena, jak i rekomendacje powstałe w wyniku prac zespołu, opierały się przede wszystkim na podstawie doświadczeń przedstawicieli komórek organizacyjnych wchodzących w skład zespołu i wybiórczych opracowań transportowych wykonywanych w ostatnich latach na zlecenie Miasta. Z tego powodu już na początku prac założono, że opracowany przez zespół dokument będzie podlegał szerokim konsultacjom społecznym, co zresztą miało miejsce przez blisko pół roku na przełomie 2015 oraz 2016 r.

Uczestnikami tych konsultacji byli również autorzy niniejszego opracowania. W trakcie ich trwania pojawiła się koncepcja realizacji badania, z której wyłonił się główny cel niniejszej pracy. Jest nim ocena *Modelu zrównoważonego transportu zbiorowego w Łodzi 2020+* w świetle analiz rozmieszczenia punktowych elementów sieci lokalnego transportu zbiorowego. Cel ten wpisuje się w problematykę badań nad dostępnością transportową w miastach i stanowi kolejny element szeregu badań prowadzonych w tym zakresie w Polsce (por. m.in. Gadziński, 2010).

Badania zostały wykonane przy zastosowaniu dwóch głównych baz danych. Pierwsza baza, otrzymana od Zarządu Dróg i Transportu w Łodzi, to wykaz wszystkich przystanków, linii autobusowych i tramwajowych, czasów przejazdu pomiędzy przystankami, częstotliwości oraz rodzaju taboru obsługującego poszczególne trasy komunikacyjne. Druga baza to informacje nt. liczby, rozmieszczenia oraz struktury wieku i płci mieszkańców Łodzi wg danych ewidencyjnych ludności Urzędu Miasta w Łodzi. Aktualność obu baz to I kwartał 2016 r.

Dodatkowo w trakcie badań, przy opracowaniu wyników, posłużono się powszechnie dostępnymi danymi z BDL GUS (Bank Danych Lokalnych Głównego Urzędu Statystycznego) oraz materiałami kartograficznymi z portalu Open Street Map (dane nt. układu drogowego oraz sposobu zagospodarowania miasta). Wszelkie analizy w opracowaniu zostały wy-

konane z wykorzystaniem oprogramowania GIS (Geographic Information System) – ArcMap firmy ESRI.

2. Przegląd literatury

Wprowadzone do *Modelu...* zapisy odnoszące się do punktowych elementów sieci lokalnego transportu zbiorowego należało poddać weryfikacji przy użyciu stosowanego narzędzia. Powinno ono uwzględniać zarówno element sieci transportowej, jak i pozostałe elementy zagospodarowania przestrzeni miasta, na terenie którego taka sieć funkcjonuje. Dlatego też wprowadzone metody badawcze wykorzystano przy użyciu systemu informacji przestrzennej. Badania prowadzone na styku geografii transportu i analiz przestrzennych z wykorzystaniem oprogramowania GIS znajdują odzwierciedlenie w licznych publikacjach naukowych (Yigitcanlar i in., 2007; Alonso i in., 2013; Das, Pandit, 2016) i ekspertyzach wykonywanych na potrzeby samorządów terytorialnych (Jakimavičius, Burinskienė, 2009) czy zarządców transportu. Badania transportowe prowadzone z wykorzystaniem narzędzi GIS koncentrują się zazwyczaj na jednym z trzech nurtów: infrastrukturalnym (Banister, Berechman, 2002; Łatuszyńska, 2004; Domańska, 2006; Komornicki i in., 2013; Michniak i in., 2015), transporcie indywidualnym (Rosik i in., 2012; Rosik, Stępnik, 2015) lub transporcie zbiorowym (Bryniarska, 2008, 2013; Rechłowicz, 2010). Znacznie rzadziej realizowane są badania wielopłaszczyznowe, co wynikać może zapewne z rozległości wątków każdego z nurtów. Bardzo szeroki zestaw narzędziowy, jakim dysponują programy GIS, pozwala na badania każdego z elementów wchodzących w skład systemu transportowego (Goodchild, 2013). Posłużyć mogą do tego zarówno uniwersalne narzędzia do prowadzenia analiz przestrzennych, jak i te dedykowane problematyce transportowej.

Wektorowy obraz rzeczywistości, w którym poszczególne elementy przedstawiane są za pomocą obiektów punktowych, liniowych lub powierzchniowych, idealnie nadaje się do przeniesienia poszczególnych realnych elementów systemu transportowego do analitycznej przestrzeni programów GIS (LaGro, 2013). Rozpoczynając rozważania od strony popytowej, należy wskazać liczbę, rozmieszczenie i cechy potencjalnych pasażerów komunikacji zbiorowej. Może być ona reprezentowana w ujęciu punktowym, kiedy to do punktu przypisany jest atrybut w postaci informacji o konkretnej osobie lub grupie osób zamieszkujących w danej lokalizacji. Innym podejściem jest analiza oparta na rejonach komunikacyjnych – poligonach, których tabela atrybutów zawiera dane o zamieszkującej dany region ludności

(Zeng i in., 2010). Część z metod badawczych (np. metody oparte na potencjale) zmuszają do wyznaczenia punktu – reprezentanta (np. centroidu) dla danego regionu, który na zasadzie złączenia przestrzennego przejmuje niejako atrybuty całego poligonu (Rosik, 2009). Sama informacja o rozmieszczeniu potencjalnych użytkowników transportu zbiorowego stanowić może podstawę do postępowania badawczego z wykorzystaniem narzędzi z zakresu analiz przestrzennych. Wprowadzenie do badania różnego rodzaju strukturyzacji (np. płciowych, wiekowych, poziomu wykształcenia, wysokości zarobków itd.) potencjalnych użytkowników pozwala na dynamiczny przyrost kierunków analizy np. w poszukiwaniu prawidłowości rozmieszczenia. W przypadku badań transportu zbiorowego, realnie występującymi reprezentantami pewnego obszaru poddanego analizie są przystanki. Przystanki stanowią bowiem jedyne miejsce, gdzie potencjalny pasażer ma możliwość włączenia się w sieć połączeń. Przyjmując, że w ujęciu punktowym przedstawione może być rozmieszczenie potencjalnych pasażerów transportu zbiorowego, przystanki jako miejsca, gdzie podróż środkiem transportu się zaczyna i w którym kończy, to punktowo ująć można również generatory ruchu. Gęstość generatorów ruchu i siłę, z jaką ów ruch generują, uznać należy za stymulantę rozwoju transportowego. Elementy punktowe w analizach GIS mogą również pełnić funkcję destymulant – barier działania transportu zbiorowego. Tego rodzaju punkty wprowadzone do analiz sieciowych odzwierciedlać mogą np. czasowe wyłączenie skrzyżowania dróg z ruchu na skutek remontu czy wypadku drogowego.

Naturalnym przedstawieniem powiązań pomiędzy źródłem podróży a jej celem jest obiekt liniowy. Niezależnie, z jakiego rodzaju transportem zbiorowym badacz ma do czynienia, to powiązania poszczególnych punktów przemieszczania się środków transportu przyjmują postać liniową. Może odzwierciedlać ona różnie pojmowane odległości (czas, koszt itd.) i przyjmować różny przebieg (fizyczny, fizyczny rzeczywisty itd.). Tym samym linie prezentować będą w środowisku GIS wektor przemieszczenia czy w postaci infrastruktury drogowej, po której przemieszcza się środek transportu lub grafu prezentującego w sposób uproszczony linie środków transportu zbiorowego. W analizach poświęconych funkcjonowaniu systemów transportu zbiorowego uzasadnione jest włączanie do badania większego zakresu sieci infrastrukturalnej niżeli tylko tą, która jest niezbędna do funkcjonowania połączeń konkretnych środków transportu. Niezwykle rzadko zdarza się bowiem sytuacja, w której pasażer wsiada i wysiada z transportu zbiorowego w początkowym i końcowym punkcie

swojej podróży (Wibowo, Olszewski, 2005). Transport zbiorowy nie realizuje z założenia połączeń od drzwi do drzwi. Dlatego też konieczne jest włączanie do badania ciągów pieszych czy pieszo-jezdných, którymi potencjalni pasażerowie mogą poruszać się z krańcowych przystanków lub zmieniać pojazd w ramach przesiadki.

Zakres przestrzenny sieci, która pozostaje w zasięgu pieszego, jest różnie definiowany. W zależności od środka transportu, zagospodarowania przestrzeni czy cech samego pieszego przyjmowane są różne wartości izochron czy ekwidystant, stanowiących granicę akceptowalnej do przejścia odległości. Tak samo jak w przypadku elementów punktowych, również obiekty liniowe ujmowane mogą być w charakterze barier dla funkcjonowania transportu. Liniowe obiekty przyrodnicze (np. cieki) czy antropogeniczne (np. trasa kolejowa, autostrada) w skali lokalnej stanowią mogą obiekty zmuszające organizatorów transportu zbiorowego do znacznego wydłużania linii i relokacji sieci przystanków.

Zbiór danych zawierający wymienione powyżej elementy pozwala na utworzenie zestawu danych sieciowych, w oparciu o który rozpocząć można prowadzenie analiz sieciowych. Oczywiście im bogatszy będzie opis atrybutowy każdego z elementów wprowadzanych do badania, tym szerszy jest wachlarz możliwych do uzyskania analiz wyjściowych.

3. Model zrównoważonego transportu zbiorowego w Łodzi 2020+ – autorska recenzja dokumentu

Opublikowany na portalu Urzędu Miasta Łodzi dokument pt. *Model zrównoważonego transportu zbiorowego w Łodzi 2020+* to opracowanie, które w sposób syntetyczny prezentuje proponowane kierunki zmian w zakresie funkcjonowania LTZ (Lokalny Transport Zbiorowy) w Łodzi w najbliższych latach. Dokument w swojej treści ogranicza się jedynie do zadań strategicznych. Brak jest części diagnostycznej. Zarysowano jedynie, w formie równoważników zdań, osiem problemów transportu zbiorowego w Łodzi. Jest to chyba największy mankament omawianego dokumentu, gdyż nie zaprezentowano wyników jakichkolwiek analiz, które potwierdzałyby potrzebę realizacji, choćby tych najbardziej dyskusyjnych, pomysłów z części strategicznej dokumentu. Opracowaniu modelu nie towarzyszyły jakiekolwiek badania i analizy nt. obecnego funkcjonowania transportu zbiorowego, a być one powinny jedną z głównych podstaw do formułowania propozycji zmian. Wśród ocen stanu istniejącego pojawiają się sformułowania w rodzaju: „czarne dziury komunikacyjne” czy też „wewnętrzna

konkurencja między autobusem i tramwajem". Jednocześnie brakuje choćby krótkiego uzasadnienia, na jakiej podstawie takie wnioski autorzy dokumentu stawiają.

Kolejne fragmenty *Modelu...* odnoszą się już w całości do proponowanych zmian.

W oparciu o założenia strategiczne sformułowanych jest 6 głównych rekomendacji (dalsza analiza zgodnie z przyjętym głównym celem badania odnosić będzie się jedynie do rekomendacji B i D):

- A – szybki tramwaj z priorytetem przejazdu,
- B – gradacja węzłów przesiadkowych,
- C – uspokojenie ruchu w centrum miasta,
- D – ograniczenie konkurencji autobus – tramwaj (12 km uwolnionych linii autobusowych),
- E – autobus w osiedlach,
- F – specjalne linie – przystanki autobusowe na żądanie.

Dwie z rekomendacji, pierwsza oraz trzecia (A i C), wpisują się we współczesne trendy w zakresie organizacji transportu w centrach miast, czyli ograniczania ruchu kołowego na rzecz transportu zbiorowego, w tym tramwajowego. Są to założenia słuszne i na chwilę obecną wydają się być jedynymi, które mogłyby wpłynąć na zmniejszenie kongestii w ścisłym centrum miasta. Dla obu tych rekomendacji zostały przedstawione propozycje rozwiązań zarówno bieżących (bezkosztowych bądź niskokosztowych), jak i inwestycyjnych.

Wśród zadań inwestycyjnych znajdują się trzy działania modernizacyjno-budowlane związane z: poprawą stanu technicznego torowisk tramwajowych w mieście, budową wspólnych pasów autobusowo-tramwajowych (pięć propozycji) oraz rozbudową linii tramwajowych (są to działania raczej kosmetyczne, polegające na wydłużeniu kilku linii tramwajowych, a nie rewolucyjne, związane z budową nowych linii). W przypadku ostatniego z tych działań warto dodatkowo rozważyć możliwość budowy łącznic pomiędzy istniejącymi głównymi trasami tramwajowymi (w szczególności w śródmieściu). Dzięki tym łącznikom wzrosłaby elastyczność transportu tramwajowego, co w sytuacjach nadzwyczajnych (wypadki czy awarie), zwiększyłoby możliwości rozprządzenia ruchu tramwajowego na linie objazdowe. Z koncepcją uprzywilejowania transportu tramwajowego wiąże się również rekomendacja dotycząca pomysłu likwidacji linii autobusowych, które pokrywają się z liniami tramwajowymi. Jest to rozwiązanie budzące w trakcie konsultacji społecznych wiele wątpliwości. Po pierwsze, zastanawia metoda doboru tych linii, bo nie są to wszystkie linie pokrywające się w mieście. Po drugie, jakie przesłanki stoją za taką decyzją. Jedyne argumenty, który się pojawia, to „oszczędność taboru” i dzięki temu możliwość wpro-

wadzenia autobusów na tereny pozbawione dotychczas transportu zbiorowego.

Czwartą rekomendacją stanowi gradacja węzłów transportowych. Jest to koncepcja, która wiąże się z założeniem, że organizacja transportu zbiorowego w Łodzi przyjmie charakter systemu dowozowo-przesiadkowego. Oznacza to, że mieszkańcy ze swoich miejsc zamieszkania będą dojeżdżać do węzłów, gdzie koncentrować się będzie ruch autobusowy, tramwajowy, ewentualnie kolejowy w postaci ŁKA, umożliwiając dojazd do węzłów wyższego rzędu itd. Według dokumentu, przy ich wyznaczaniu kierowano się lokalizacją przystanków ŁKA, dworców kolejowych oraz stacji bazowych roweru miejskiego. W ten sposób wyznaczono cztery typy węzłów: główny (1), aglomeracyjne (3), miejskie (12) oraz osiedlowe (28). Jednocześnie zastrzeżono w *Modelu...*, że przedstawiona lokalizacja węzłów może ulec zmianie po konsultacjach społecznych. Z gradacją węzłów wiążą się propozycje ich lokalizacji wskazane w działaniach inwestycyjnych, jak i propozycje zmian linii autobusów w ramach działań bieżących.

Konsekwencją proponowanego modelu dowozowo-przesiadkowego są ostatnie dwie rekomendacje: dotycząca wprowadzenia autobusów w osiedlach oraz wprowadzenia linii specjalnych (z przystankami na żądanie). Ma to służyć podniesieniu dostępności do transportu zbiorowego terenów peryferyjnych (obecnie wykluczonych z systemu LTZ).

Część końcową dokumentu stanowią tzw. dodatkowe rekomendacje wynikające z prac zespołu. Wśród nich należy wskazać na potrzebę współpracy pomiędzy miastem, PKP i ŁKA (przede wszystkim poprzez poprawę dostępności do LTZ przez przyjeżdżających koleją oraz wprowadzenie wspólnej taryfy biletowej).

Poddając ocenie *Model zrównoważonego transportu zbiorowego Łodzi do 2020+*, należy pozytywnie odnieść się do samej inicjatywy w tym zakresie. W ostatnich kilkunastu latach, mimo przemian społecznych, gospodarczych i przestrzenno-funkcjonalnych, jakie obserwowane są w Łodzi, podejmowano szereg, głównie wybiórczych decyzji w zakresie organizacji i funkcjonowania transportu zbiorowego. Duża ich część była oczywiście trafna i odpowiadała potrzebom, które pojawiały się w mieście (np. otwarcie linii autobusowych MPK do gmin sąsiadujących z Łodzią). Były to jednakże pojedyncze działania, nietworzące spójnej wizji reorganizacji LTZ. Przy obecnych priorytetach rozwoju przestrzennego miasta oraz zmianach, jakie bardzo intensywnie zachodzą w ostatnich latach w przestrzeni Łodzi (w szczególności w zakresie układu drogowego) – trasa WZ, Fabryczna, WZ Bis itd., niezbędne jest podjęcie działań i wypracowanie rozwiązań w zakresie

reorganizacji systemu transportu zbiorowego w mieście.

Recenzowany dokument, o ile potrzebny, budzi szereg wątpliwości. Najważniejszą jego wadą jest brak popartego odpowiednimi badaniami analitycznymi uzasadnienia proponowanych rozwiązań. Czytelnikowi dokumentu *Modelu...* (uczestnikowi konsultacji) trudno jest zrozumieć, dlaczego (zgodnie z zapisami *Modelu...*) ma być lepiej, kiedy będzie dojeżdżał do pracy z przesiadkami, dlaczego trzeba ograniczyć ruch samochodowy w centrum miasta kosztem tramwaju czy autobusu w tej jego części? Wyjaśnienia takich informacji należałoby oczekiwać od dokumentu, stanowiącego podstawę konsultacji społecznych.

4. Metodologia badań

Rozmieszczenie punktowych elementów sieci transportu zbiorowego stanowi jeden z kluczowych czynników decydujących o spełnieniu postulatów przewozowych potencjalnych pasażerów MPK w Łodzi. Dlatego też dla zbadania tego elementu systemu transportowego zaprojektowanego w *Modelu...*, zdecydowano się na zastosowanie m.in. podejścia potencjałowego oraz statystyk przestrzennych. Należy w tym miejscu zwrócić uwagę także na kwestię potencjalnych pasażerów. Badanie bierze pod uwagę rozmieszczenie mieszkańców Łodzi, ale pamiętać należy, że z usług miejskiego przewoźnika korzystają również osoby, które w mieście nie mieszkają. Powodować to może m.in. niedoszacowanie ważności węzłów w centrum Łodzi.

Przystanki i węzły

Na potrzeby oceny *Modelu zrównoważonego transportu zbiorowego w Łodzi 2020+ w świetle analiz rozmieszczenia punktowych elementów sieci lokalnego transportu zbiorowego* konieczne było przekształcenie sieci przystanków na system węzłów. Przebiegało ono według następującego algorytmu postępowania. W pierwszym kroku łódzkie przystanki zostały pogrupowane. O utworzeniu grupy decydowała bliskość przestrzenna. Grupy stanowią więc np. przystanki po przeciwnych stronach ulicy, z których pasażer może rozpocząć podróż w dwóch kierunkach, czy też przystanki rozmieszczone w obrębie jednego skrzyżowania, z których podróż jest najczęściej możliwa w więcej niż dwóch kierunkach. W przypadku, kiedy dany przystanek nie pozostawał w bezpośredniej bliskości z innymi, stanowił grupę jednoelementową. W drugim kroku każdemu z przystanków z danej grupy przypisywano numer identyfikacyjny danej grupy. Następnie, bazując na współrzędnych

geograficznych przystanków należących do danej grupy, wygenerowano punkty o współrzędnych stanowiących ich średnią arytmetyczną. Wygenerowanym punktom przypisano zarówno numer identyfikacyjny grupy, jak również ID każdego z przystanków stanowiących grupę. W ten sposób otrzymano system punktów – węzłów, które stanowią rzeczywisty obraz punktowych elementów sieci transportowych, jednocześnie upraszczając jego obraz i przystosowując do dalszych analiz, w tym budowy grafu.

Potencjał węzłów

Jedną z metod oceny efektywności systemów transportowych względem struktury funkcjonalno-prze-strzennej danego obszaru, zastosowaną w niniejszym badaniu, jest metoda oceny potencjału transportowo-osadniczego. Wśród najważniejszych założeń przyjętej analizy znajduje się wykorzystanie modelu grawitacji znanego z nauk fizycznych. Zależność oddziaływania dwóch przystanków/węzłów o określonych masach (M_1 i M_2), położonych w odległości s wyraża się ogólnym wzorem:

$$G = \frac{M_1^a M_2^a}{s^b}$$

Masy (M) (obciążenia) dwóch punktów wyrażone są liczbą mieszkańców Łodzi zamieszkujących w ekwidystancie 400 m do danego przystanku/węzła. Zasadniczo w literaturze napotyka się metodologiczne problemy związane z odległością graniczną dla różnych typów transportu. W Wielkiej Brytanii za maksymalny dystans dojazdu do przystanku autobusowego w mieście przyjmuje się ekwidystantę 640 m, zaś do kolei regionalnej bądź metra 960 m. Niemieccy urbaniści uznają natomiast za maksymalną drogę dojazdu do przystanku autobusowego odległość 300 m, tramwajowego 400 m, zaś do kolei regionalnych 500 m. W artykule zdecydowano się na zastosowanie odległości 400 m jako pośredniej pomiędzy skrajnymi stosowanymi w literaturze oraz odpowiadającej strukturze przestrzenno-funkcjonalnej Łodzi (np. długości przecznicy w kratowym układzie ulic centrum miasta). Natomiast odległość (s) w jednostkach czasu to czas przejazdu pomiędzy danymi dwoma przystankami zgodnie z rozkładem jazdy lokalnego przewoźnika. Wykładnikowi a odpowiada wartość jeden, natomiast b to kwadrat, zgodnie z metodą P. Śleszyńskiego (2009) zastosowaną do analizy rozwoju nowoczesnej drogowej sieci transportowej.

Jedną z kluczowych kwestii przy badaniach dostępności stanowi określenie cech charakterystycznych celu podróży – jego atrakcyjności i sposobu pomiaru. Może być ona mierzona w wielkościach fizycznych

(np. liczba ludności), ale również np. ekonomicznych. Funkcja atrakcyjności masy może przybierać m.in. formę funkcji liniowej (według wielkości masy) czy też nieliniowej, w celu uchwycenia tzw. efektów aglomeracji (Rosik, 2012 za Baradaran, Ramjerdi, 2001).

W modelach dostępności opartych na metodach grawitacji czy potencjału dla funkcji oporu przestrzeni wykorzystuje się różne funkcje matematyczne. P. Rosik (2012) podaje m.in.: funkcję rozkładu normalnego, logarytmiczno-normalnego, wykładniczego, logarytmiczno-wykładniczego, hiperbolicznego (potęgowego), potęgowego w postaci logarytmicznej czy rozkładu funkcji Gamma. Wskazuje on również na szybki spadek atrakcyjności celu podróży w przypadku podróży na krótszych dystansach, dla zastosowanej w artykule funkcji potęgowej.

Konstrukcja wskaźnika przyjmuje następujący algorytm. Pierwszym elementem jest wyznaczenie sieci przystanków/węzłów i stworzenie macierzy połączeń transportu lokalnego pomiędzy nimi. W drugim kroku, na bazie przedstawionego powyżej modelu grawitacyjnego, obliczane są, a następnie kumulowane siły oddziaływań pomiędzy danym przystankiem/węzłem a wszystkimi pozostałymi (Wiśniewski, 2015).

Statystyki przestrzenne

Badania potencjału przystanków/węzłów rozszerzono o statystyki tendencji centralnej oraz dyspersji. Przestrzenne statystyki opisowe to istotne narzędzie w charakterystyce geograficznej dostępności czy dyspersji przestrzennej opisywanych zjawisk (Rogerson, 2006). Centrograficzny odpowiednik odchylenia przestrzennego wprowadzono m.in. w pracach F.J. Lindersa (1931) czy D.W. Lefevera (1926). Powszechną ilustracją wykorzystywania miar centralnych jest wyznaczenie optymalnej lokalizacji obiektów infrastruktury technicznej ze względu na możliwy łatwy dostęp dla potencjalnych użytkowników.

Średnia centralna (\bar{x}_c, \bar{y}_c) sieci transportu lokalnego Łodzi stanowi środek ciężkości wyznaczonych na podstawie długości (x_i) i szerokości (y_i) geograficznej poszczególnych przystanków/węzłów rozproszonych w przestrzeni miasta.

$$\bar{x}_c = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n}, \quad \bar{y}_c = \frac{\sum_{i=1}^n y_i}{n}$$

Aby uwzględnić wielkość potencjału poszczególnych przystanków/węzłów, wprowadzono do analizy średnią centralną ważoną ($\bar{x}_{wc}, \bar{y}_{wc}$). Uwzględnia ona bowiem wartości zjawiska w poszczególnych miejscach. W niniejszym badaniu wagami średniej (p_i) są wartości potencjału przystanków/węzłów (wielkości w wyrażeniu absolutnym).

$$\bar{x}_{wc} = \frac{\sum_{i=1}^n p_i x_i}{\sum_{i=1}^n p_i}, \quad \bar{y}_{wc} = \frac{\sum_{i=1}^n p_i y_i}{\sum_{i=1}^n p_i}$$

W oparciu o wyznaczone średnie centralne określono również odległości standardowe (d). Jest to absolutna miara rozproszenia punktów w przestrzeni geograficznej. W przeciwieństwie do średniej odległości, która opiera się na odległościach pomiędzy wszystkimi punktami, odległość standardowa wyraża średnią odległość punktów od punktu centralnego liczoną w obu kierunkach. Podobnie jak w przypadku odchylenia standardowego, również wartości odległości standardowej podlegają wpływom lokalizacji peryferyjnych. Wartość standardowej odległości określa promień okręgu o środku wyznaczonym przez średnią centralną (Suchecka, 2014).

$$d = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n d_{ic}^2}{n}} \quad \text{gdzie: } d_{ic}^2 = (x_i - \bar{x}_c)^2 + (y_i - \bar{y}_c)^2$$

Dla ważonych średnich centralnych określono również ważne potencjałem w ujęciu relatywnym (d) odległości standardowe.

$$d = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n f_i d_{ic}^2}{n}}$$

Średnia centralna i odległość standardowa są miarami komplementarnymi względem siebie. Wzajemne powiązanie sprawia, że opisane miary charakteryzują się również podobnymi właściwościami, tj. odpornością na rotację, zmianę systemu współrzędnych geograficznych (Kellerman, 1981), brakiem odporności na zmiany położenia punktów oraz istnieniem lokalizacji peryferyjnych.

Aby wykreślić elipsę odchylen standardowych, należy ponadto obliczyć kąt nachylenia α osi elipsy (Y) wobec układu współrzędnych (osi OY) oraz długość półosi elipsy (σ_x, σ_y). Punkt przecięcia maksymalnej osi symetrii i minimalnej osi symetrii elipsy stanowi graficzne odwzorowanie średniej centralnej. Połączenie punktów przecięcia osi symetrii z elipsą wyznacza odcinek odpowiadający odległości standardowej. Odcinek ten jest przeciwprostokątną trójkąta prostokątnego, w którym przyprostokątnymi są odchylenia standardowe współrzędnych od średniej centralnej (Suchecka, 2014).

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{\sum x_i^2 - \sum y_i^2 + \sqrt{(\sum x_i^2 - \sum y_i^2)^2 + 4(\sum x_i y_i)^2}}{2 \sum x_i y_i}$$

$$\sigma_x = \sqrt{\frac{(\sum x_i^2) \cos^2 \alpha - 2(\sum x_i y_i) \sin \alpha \cos \alpha + (\sum y_i^2) \sin^2 \alpha}{n}}$$

$$\sigma_y = \sqrt{\frac{(\sum x_i^2) \sin^2 \alpha + 2(\sum x_i y_i) \sin \alpha \cos \alpha + (\sum y_i^2) \cos^2 \alpha}{n}}$$

gdzie:

$$x' = x - \bar{x}, \quad y' = y - \bar{y}$$

Pomiar dyspersji przestrzennej, choć jest odnośny do analizy rozproszenia w ujęciu klasycznym, ze względu na dwuwymiarowość opisywanych obiektów (przystanków/węzłów) wymaga zastosowania statystyk uwzględniających cechy związane z ich lokalizacją. Jednostki przestrzenne nie są ani w równym stopniu, ani równomiernie we wszystkich kierunkach oddalone od średniej centralnej. W przeciwieństwie do standardowej odległości, elipsa od-

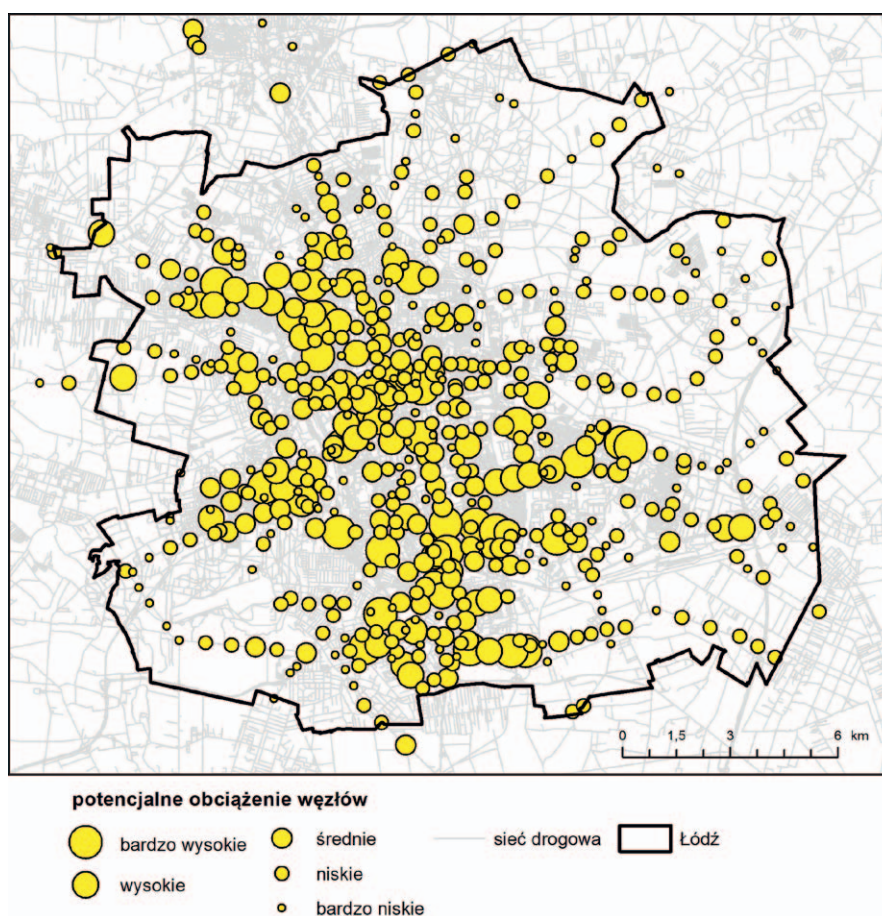
chyień standardowych daje możliwość określenia kierunków rozrzutu obiektów w przestrzeni.

Osie symetrii elipsy obrócone o określony kąt nie tylko ilustrują kierunek dyspersji wokół średniej centralnej, ale również kierunek i wielkość minimalnego i maksymalnego rozproszenia (Wiśniewski, 2016).

5. Obciążenie i potencjał węzłów transportowych w Łodzi

Z punktu widzenia poprawy organizacji transportu zbiorowego istotne jest odpowiednie rozpoznanie pozycji (znaczenia) węzłów transportowych. Chodzi tu o ich obciążenie wyrażone poprzez liczbę potencjalnych użytkowników (liczbę ludności zamieszkującej otoczenie przystanku – w tym konkretnym przypadku 400 m). Jest to zagadnienie ważne ze względu na potrzebę dostosowania częstotliwości kursowania i pojemności taboru do wielkości obciążenia danego przystanku.

Potencjalne obciążenie węzłów transportowych w Łodzi cechuje bardzo duże zróżnicowanie (ryc. 1).

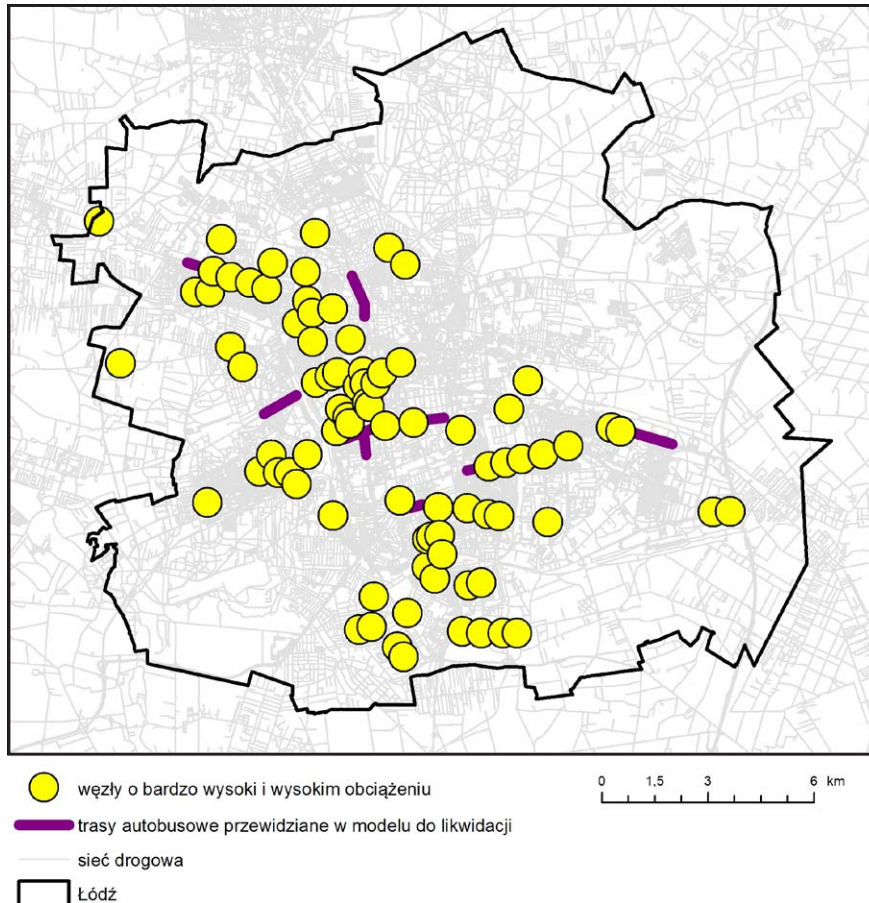


Ryc. 1. Potencjalne obciążenie węzłów transportowych w Łodzi (wg liczby osób mieszkających w ekwidystancie 400 m do węzła)

Źródło: opracowanie własne.

Pośród 870 węzłów transportowych (są to wszystkie węzły w systemie LTZ obsługiwany przez MPK, czyli również te położone poza Łodzią) dla 270 liczba mieszkańców w ekwidystancji dojazdu 400 m wynosi 0. Większość z nich położona jest peryferyjnie w stosunku do centrum miasta, w dużej mierze są to zespoły przystanków leżące poza granicami Łodzi. Jednak nie każdy

przystanek pełni w systemie taką samą funkcję. Mogą być one lokalizowane również w pobliżu ważnych z punktu widzenia obsługi mieszkańców placówek publicznych (szkoły, szpitale itd.) lub na terenach przemysłowych, czyli w miejscach pracy. Dlatego też zerowe obciążenie nie oznacza z założenia, że dany węzeł/przystanek należy od razu zlikwidować.



Ryc. 2. Rozmieszczenie węzłów o bardzo wysokim i wysokim potencjalnym obciążeniu a przebieg linii autobusowych pokrywających się z liniami tramwajowymi proponowanymi do likwidacji wg *Modelu...*

Źródło: opracowanie własne.

Rozmieszczenie węzłów transportowych o bardzo wysokim potencjalnym obciążeniu (liczba mieszkańców pow. 4000 osób) nawiązuje do gęstości zaludnienia w Łodzi. Przeważają one w śródmieściu miasta, wzdłuż głównych dróg wylotowych z centrum oraz na dużych osiedlach mieszkaniowych. Jest ich łącznie 36 i należy je traktować jako jedne z najważniejszych zworników systemu transportowego. Dwa najbardziej obciążone, pod względem potencjalnych użytkowników, węzły transportowe w Łodzi to: Plac Dąbrowskiego (8 tys. osób) oraz Rondo Lotników Lwowskich (7 tys.). Oba węzły to jednocześnie miejsca koncentracji wielu usług publicznych o znaczeniu ponadmiejskim (szpital wojewódzki, wyższe uczelnie, sąd okręgowy).

Obciążeniem węzłów transportowych należałoby się kierować przy wyborze tych linii autobusowych, które w ramach modelu transportowego miasta przewidziane są do likwidacji w związku z pokrywaniem się ich z równoległymi liniami tramwajowymi. Z punktu widzenia ekonomicznego likwidacja linii autobusowych konkurujących z tramwajowymi w sytuacji dużego obciążenia ruchem pasażerskim jest uzasadniona. Komunikacja szynowa przy dużych potokach przewozowych i odwrotnie jest tańsza niż drogową. Jednocześnie nie w każdym przypadku rozsądne wydaje się kierowanie jedynie zasadami ekonomicznymi. Likwidacja taka może mieć też wiele skutków negatywnych, zarówno społecznych, jak i transportowych.

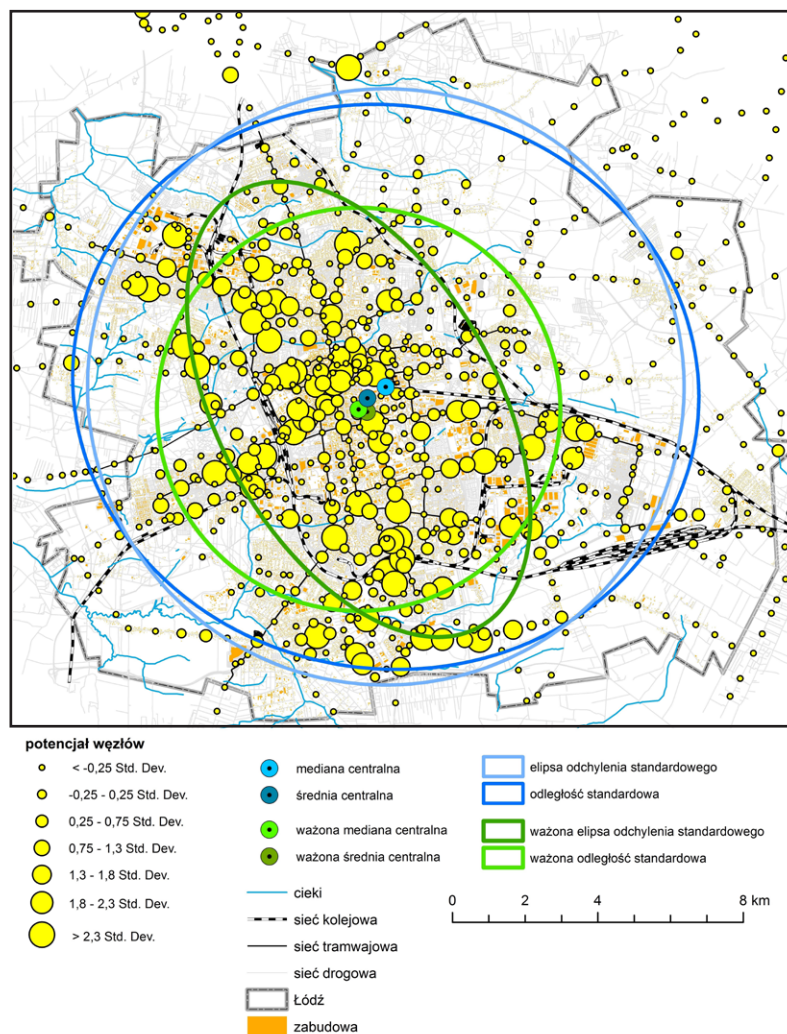
W dokumencie wskazywanych jest 11 takich linii o łącznej długości 12 km. Jedynie w trzech przypadkach położenie węzłów o wysokim lub bardzo wysokim obciążeniu nie pokrywa się z przebiegiem proponowanych do likwidacji linii autobusowych (ryc. 2). Jest to odcinek wzdłuż ul. Konstantynowskiej, odcinek ul. Żeromskiego pomiędzy ulicami Mickiewicza i Radwańska oraz odcinek w ciągu ulic Zachodniej i Zgierskiej pomiędzy Pojezierską oraz Limanowskiego. W dwóch pierwszych przypadkach likwidacja linii autobusowych jest uzasadniona. W trzecim przypadku można rozważyć poprowadzenie linii autobusowej równoległe do tych ulic.

W przypadku pozostałych odcinków linii proponowanych do likwidacji należy ponownie rozpatrzyć decyzję w tym zakresie. Większość z nich przebiega wzdłuż ważnych miejskich arterii komunikacyjnych łączących dzielnice miasta oraz największe osiedla mieszkaniowe. Wśród linii autobusowych, których zachowanie powinno się rozpatrzyć w pierwszej kolejności, są: odcinek

ul. Przybyszewskiego (Niciarniana – Tatrzńska), ciąg ulic Zachodniej i Kościuszki (Więckowskiego – Struga), oraz odcinek ul. Aleksandrowskiej (Rydzowa – Traktorowa).

Drugą, obok obciążenia, miarą jest potencjał węzła transportowego rozumiany jako pozycja węzła w systemie, zarówno w świetle potencjalnej liczby użytkowników, jak i jego dostępności. Potencjał węzłów transportowych w Łodzi nie odbiega znacząco od ich obciążenia. Pomimo tego wyznaczanie pozycji węzłów w systemie transportowym za pomocą ich potencjału ma tę przewagę, że uwzględnia nie tylko obsługiwaną liczbę ludności, ale również czasy przejazdu pomiędzy węzłami. Tym samym wskazuje na te węzły, które cechują się jednocześnie potencjalnie dużym popytem ze strony użytkowników oraz wysoką dostępnością czasową z różnych miejsc w Łodzi.

O ile wskaźnik obciążenia jest dobry do wskazania ewentualnej likwidacji bądź dodania nowych linii transportu zbiorowego, to potencjał wskazuje na hierarchię węzłów transportowych (ryc. 3). Oczywiście



Ryc. 3. Potencjał węzłów transportowych w Łodzi

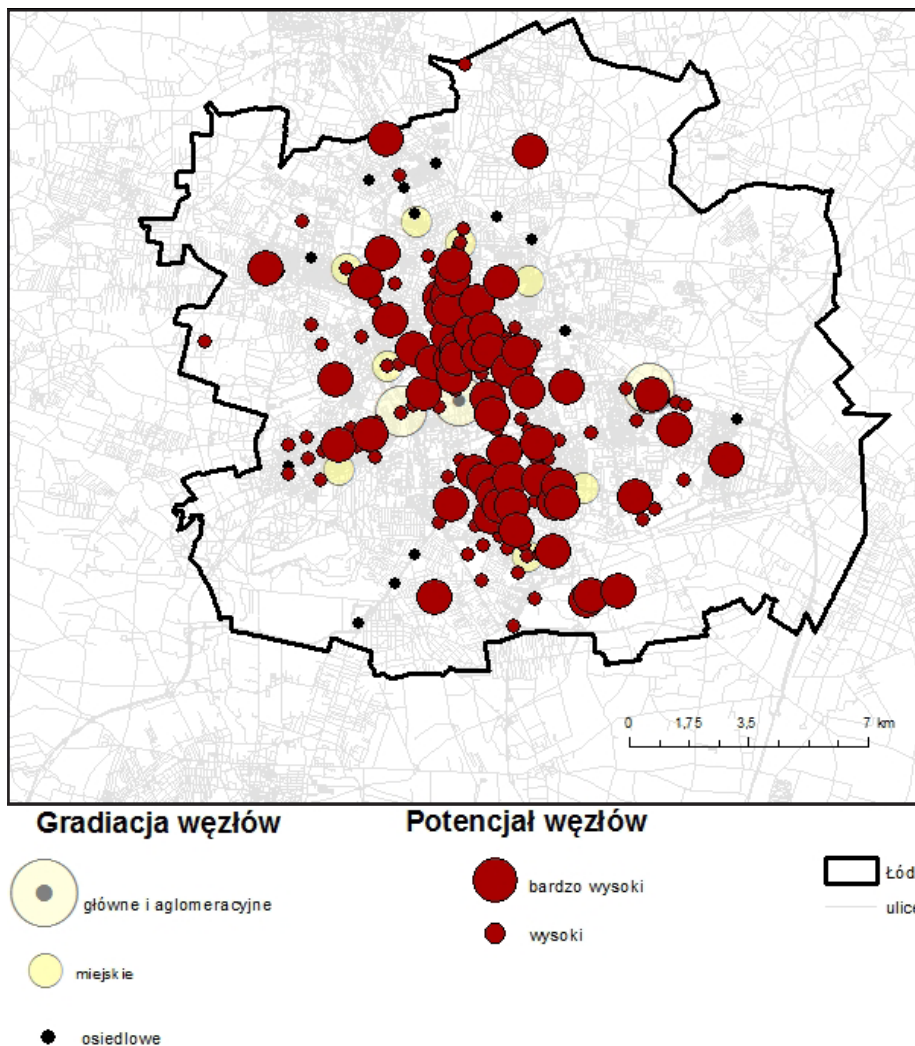
Źródło: opracowanie własne.

hierarchia ta nie bierze pod uwagę obowiązującego rozkładu jazdy (częstotliwości i kierunków linii), rozpatruje system jedynie pod względem dwóch opisanych już powyżej cech (ludność oraz czas przejazdu).

Najwyższym potencjałem w Łodzi cechują się trzy węzły: pierwszy, zlokalizowany przy ulicach Jaracza i Piotrkowskiej, drugi, u zbiegu ulic Piłsudskiego i Kielińskiego, oraz trzeci, w okolicach skrzyżowania Śmigłego-Rydza i Dąbrowskiego. Trzy wymienione lokalizacje nie oznaczają, że tam powinny być położone główne węzły transportowe. Lokalizacje te wskazują najlepiej dostępne transportem zbiorowym miejsca w Łodzi. W poszukiwaniu najbardziej dogodnej lokalizacji głównych węzłów transportowych należy kierować się również miarami centralnymi. Miary centralne w tym ich ważone wersje, każą szczególną uwagę otoczyć węzeł/węzły w okolicach stacji Łódź Fabryczna (ryc. 3).

Z punktu widzenia modelu transportowego miasta, metoda potencjałowa znajduje swoje zasto-

sowanie w ocenie zaproponowanej gradacji węzłów przesiadkowych, w których ma się koncentrować ruch pasażerski. Model przewiduje cztery typy węzłów przesiadkowych. Ich położenie skonfrontowano z rozmieszczeniem węzłów transportowych o bardzo wysokim i wysokim potencjale (wg węzłów sklasyfikowanych do czterech najwyższych klas – por ryc. 1). Największe dopasowanie w tym zakresie występuje, co rozumiałe, w grupie węzłów głównych i aglomeracyjnych, przy czym nie pokrywają się one wprost z potencjałem danych węzłów. Najlepiej wpasowują się one w przypadku dworców: Fabryczna i Widzew. Dla przystanku Centrum i dworca Kaliska obserwujemy pewne przesunięcie tych potencjałów. Sytuacja zmienia się, kiedy analizie poddane zostaną węzły niższego szczebla. Na poziomie węzłów miejskich, na 12 wyznaczonych w modelu 8 pokrywa się z węzłami o wysokim potencjale (ryc. 4). Od tej reguły odbiegają węzły zlokalizowane na Retkini, Dąbrowej, przy ul. Zgierskiej, róg ul. Liściastej oraz na rondzie Po-



Ryc. 4. Gradacja a potencjał węzłów transportowych w Łodzi

Źródło: opracowanie własne.

wstańców. W szczególności zastanawia lokalizacja węzłów na przystanku ŁKA – Dąbrowa oraz projektowanym przystanku Retkinia. W tym drugim przypadku należałoby zastanowić się nad węzłem Wyszyńskiego, który wskazywany jest w modelu jako węzeł osiedlowy, a z punktu widzenia potencjałowego jego ranga jest największa spośród wszystkich węzłów położonych na osiedlu Retkinia.

Należy także zweryfikować wskazywanie węzła miejskiego na stacji ŁKA Dąbrowa. Jest to miejsce trudno dostępne z punktu widzenia ruchu pieszego, a dodatkowo przystanek kolejowy ten nie będzie generował w przyszłości większego ruchu pasażerskiego.

Najwięcej niezgodności pomiędzy potencjałem a rangą węzła występuje w kategorii węzłów osiedlowych. Położenie połowy z nich nie nawiązuje do rozmieszczenia węzłów o wysokim potencjale. Samo wyróżnianie węzłów osiedlowych budzi pewne wątpliwości. Czy nie lepszym rozwiązaniem byłoby poszerzenie grupy węzłów miejskich o węzły osiedlowe o wysokim potencjale i ograniczenie gradacji węzłów do trzech kategorii? Z pewnością posłużyłoby to poprawie czytelności systemu dla mieszkańców, czyli pasażerów, którzy będą z niego docelowo korzystać. Jako ewentualne węzły miejskie, uwzględniając ich potencjał i położenie, można wskazać m.in.: okolice ulic Puszkina i Dąbrowskiego, ul. Augustów, węzeł Wyszyńskiego, węzeł Dolna, węzeł Plac Barlickiego.

5. Wnioski i rekomendacje dla modelu transportu zbiorowego w Łodzi

Przeprowadzona ocena potwierdza potrzebę wprowadzenia miar dostępności do prac nad dokumentami strategicznymi szczebla miejskiego z zakresu transportu zbiorowego miar dostępności. Pozwala to na wychwycenie różnych prawidłowości, które trudne są do zdiagnozowania z zastosowaniem metod heurystycznych (opisowych). O ile poniższe wnioski nie mają wymiaru uniwersalnego – odnoszą się do konkretnej sytuacji w Łodzi – to z pewnością powinny być sygnałem do inicjonowania tego typu badań w Polsce.

Na podstawie przeprowadzonych analiz i ocen proponuje się uzupełnienie lub wprowadzenie zmian w *Modelu zrównoważonego transportu zbiorowego w Łodzi 2020+* w oparciu o następujące wnioski i rekomendacje w zakresie punktowych elementów LTZ. Zrealizowane badanie wskazuje, że:

- najlepszą dostępnością czasową dojazdu lokalnym transportem zbiorowym cechuje się węzeł transportowy zlokalizowany przy dworcu Łódź Fabryczna, dla którego czas dojazdu z najdalszych części miasta generalnie nie przekracza 35 min;

- dwa najbardziej obciążone, pod względem liczby osób mieszkających w ich otoczeniu, węzły transportowe w Łodzi to: Plac Dąbrowskiego (8 tys. osób) oraz Rondo Lotników Lwowskich (7 tys.);
- największym potencjałem w Łodzi cechują się trzy węzły – pierwszy u zbiegu ulic Jaracza i Piotrkowskiej, drugi u zbiegu ulic Piłsudskiego i Kilińskiego oraz trzeci w okolicach skrzyżowania Śmigłogo-Rydzka oraz Dąbrowskiego;
- zaproponowana gradacja węzłów przesiadkowych jest trafna w odniesieniu do węzłów głównych i aglomeracyjnych oraz w dużym stopniu miejskich;
- położenie połowy węzłów osiedlowych nie nawiązuje do rozmieszczenia węzłów o wysokim potencjale. Wykonane analizy pozwalają również na wskazanie kierunków postulowanych zmian w postaci:
 - likwidacji dwóch odcinków linii autobusowych pokrywających się z liniami tramwajowymi: odcinek wzdłuż ul. Konstantynowskiej oraz odcinek wzdłuż ul. Żeromskiego pomiędzy ulicami Mickiewicza i Radwańską. W przypadku kolejnego: odcinek w ciągu ulic Zachodniej i Zgierskiej pomiędzy ul. Pojezierską oraz ul. Limanowskiego można rozważyć poprowadzenie linii autobusowej równoległą ulicą;
 - utrzymania pozostałych ośmiu planowanych do likwidacji linii autobusowych pokrywających się z liniami tramwajowymi, w szczególności: odcinka ul. Przybyszewskiego (Niciarniana – Tatrzańska), ciągu ulic Zachodniej i Kościuszki (Więckowskiego – Struga), oraz odcinka ul. Aleksandrowskiej (Rydzowa – Traktorowa);
 - zwiększenia liczby węzłów miejskich o węzły osiedlowe o wysokim potencjale i ograniczenie gradacji węzłów do trzech typów. Z pewnością posłuży to poprawie czytelności systemu dla mieszkańców, czyli pasażerów, którzy będą z niego docelowo korzystać. Jako potencjalne węzły miejskie, uwzględniając ich potencjał i położenie, można wskazać m.in. węzły: Puszkina/Dąbrowskiego, Augustów, Wyszyńskiego, Dolna, Plac Barlickiego.

Piśmiennictwo

- Alonso B., Moura L.J., Ibeas A., dell’Olio L., 2013, Using O–D matrices for decision making in road network management, *Transport*, 28(1), 31–37.
- Banister D., Berechman J., 2002, The Economic Development Effects of Transport Investments [w:] A. Pearman, P. Mackie, J. Nellthorp, L. Giorgi (red.), *Transport Projects, Programmes and Policies: Evaluation, Needs and Capabilities*, Ashgate, Aldershot.

- Baradaran S., Ramjerdi F., 2001, Performance of accessibility measures in Europe, *Journal of Transportation and Statistics*, 4(2-3), 31–48.
- Bryniarska Z., 2008, Komunikacja nocna w dużych miastach, *Transport Miejski i Regionalny*, 2, 13–22.
- Bryniarska Z., 2013, Komunikacja nocna w Krakowie w latach 2007–2013, *Transport Miejski i Regionalny*, 9, 27–36.
- Das S., Pandit D., 2016, Methodology to determine service delivery levels for public transportation, *Transportation Planning and Technology*, 39(2), 195–217.
- Domańska A., 2006, *Wpływ infrastruktury transportu drogowego na rozwój regionalny*, PWN, Warszawa.
- Gadziński J., 2010, *Ocena dostępności komunikacyjnej przestrzeni miejskiej na przykładzie Poznania*, Wyd. Bogucki, Poznań.
- Goodchild M.F., 2013, Geographic Information Systems [w:] Gomez B., Jones III J.P. (red.), *Research Methods in Geography*, Wiley-Blackwell, 376–391.
- Jakimavičius M., Burinskienė M., 2009, A GIS and multi-criteria based analysis and ranking of transportation zones of Vilnius city. Technological and economic development of economy, *Baltic Journal on Sustainability*, 15(1), 39–48.
- Kellerman A., 1981, *Centographic Measures in Geography*, CAT MOG 32.
- Komornicki T., Rosik P., Śleszyński P., Solon J., Wiśniewski R., Stępnia M., Czapiński K., Goliszek S., 2013, *Wpływ budowy autostrad i dróg ekspresowych na rozwój społeczno-gospodarczy i terytorialny Polski*, Opracowanie wykonane przez Instytut Geografii i Przestrzennego Zagospodarowania Polskiej Akademii Nauk na zlecenie Ministerstwa Rozwoju Regionalnego, Warszawa.
- LaGro Jr. J.A., 2013, *Site Analysis. Informing Context-Sensitive and Sustainable Site Planning and Design*, Wiley, New Jersey.
- Łatuszyńska M., 2004, Metody przewidywania efektów rozwoju międzynarodowej infrastruktury transportu, *Problemy Ekonomiki Transportu*, 1, 29–39.
- Lefever D.W., 1926, Measuring geographic concentration by the means of the standard deviational ellipse, *American Journal of Sociology*, 32.
- Linders F.J., 1931, *Über die berechnung des schwerpunkt und der tragheits ellipse einer bevölkerung*, Atti del Congresso Internazionale per lo Studio dei Problemi della Popolazione.
- Michniak D., Więckowski M., Stępnia M., Rosik P., 2015, The impact of selected planned motorways and expressways on the potential accessibility of the Polish-Slovak borderland with respect to tourism development, *Moravian Geographical Reports*, 23(1), 13–20.
- Rechłowicz M., 2010, Wykorzystanie tramwajów w komunikacji nocnej, *Transport Miejski i Regionalny*, 6, 9–15.
- Rogerson P., 2006, *Statistical Methods for Geography. A Student's Guide*, Second Edition, Sage Publication, London.
- Rosik P., 2009, Potencjał własny oraz szacowanie parametrów modelu dostępności wewnętrznej na przykładzie Warszawy, *Czasopismo Geograficzne*, 80(1–2), 78–95.
- Rosik P., 2012, Dostępność lądowa przestrzeni Polski w wymiarze europejskim, *Prace Geograficzne*, 233, IGiPZ PAN, Warszawa.
- Rosik P., Stępnia M., 2015, Monitoring of changes in road potential accessibility at municipality level in Poland, 1995–2015, *Geographia Polonica*, 88(4), 607–620.
- Rosik P., Stępnia M., Komornicki T., Pomianowski P., 2012, *Monitoring spójności terytorialnej gmin w skali krajowej i międzynarodowej w latach 1995–2030*, IV edycja konkursu dotacji Ministerstwa Rozwoju Regionalnego.
- Śleszyński P., 2009, Dostępność metropolii jako warunek konkurencyjności polskiej przestrzeni, *Mazowsze Studia Regionalne*, Mazowieckie Biuro Planowania Regionalnego, 2, Warszawa, 53–71.
- Suchocka J., 2014, *Statystyka przestrzenna. Metody analiz struktur przestrzennych*, Warszawa.
- Wibowo S.S., Olszewski P., 2005, Modeling walking accessibility to public transport terminals: case study of Singapore mass rapid transit, *Journal of the Eastern Asia Society for Transportation Studies*, 6, 147–156.
- Wiśniewski S., 2015, Potencjał transportowo-osadniczy małych miast województwa łódzkiego, [w:] Bartosiewicz B., Marszał T. (red.), *Acta Universitatis Lodzianensis. Folia Geographica Socio-Oeconomica. Małe miasta. Wybrane problemy zagospodarowania*, 19, 113–128.
- Wiśniewski S., 2016, Changes to the centroid of Łódź province towns in the light of transport potential [w:] Leśniewska K., Wiśniewski S. (red.), *Acta Universitatis Lodzianensis. Folia Geographica Socio-Oeconomica*, 24, 61–71.
- Witryna internetowa Miejskiego Przedsiębiorstwa Komunikacyjnego w Łodzi, <http://www.mpk.lodz.pl/rozklady/linie.jsp>. [01.02.2016]
- Yigitcanlar T., Sipe N., Evans R., Pitot M., 2007, A GIS-based land use and public transport accessibility indexing model, *Australian Planner*, 44(3), 30–37.
- Zeng W., Chang X., Lv J., 2010, Design of Data Model for Urban Transport GIS, *Journal of Geographic Information System*, 2, 106–112.