

**KRYSTIAN BANET**

mgr inż., Politechnika Krakowska,  
Katedra Systemów Transportowych,  
ul. Warszawska 24, 31-155 Kraków,  
email: kbanet@pk.edu.pl

**ANDRZEJ SZARATA**

dr hab. inż., prof. Politechniki  
Krakowskiej, Katedra Systemów  
Transportowych, ul. Warszawska 24,  
31-155 Kraków, email: aszarata@  
pk.edu.pl

# Kształtowanie optymalnego systemu miejskiego transportu zbiorowego w miastach średniej wielkości na przykładzie Częstochowy<sup>1</sup>

**Streszczenie:** Planowanie optymalnej siatki połączeń transportu publicznego wpisuje się w problem decyzyjny i optymalizacyjny zwany problemem marszrutyzacji. W artykule skupiono się na sieci transportu zbiorowego w Częstochowie i zaproponowano kilka wariantów modyfikacji jej istniejącego układu. W tym celu przeprowadzono analizy symulacyjne bazujące na modelu stanu istniejącego systemu transportowego Częstochowy. Na potrzeby analiz wzięto pod uwagę łącznie dziewięć kombinacji (wariantów), w ramach których założono trzy możliwości kształtowania układu (dostępności) linii miejskiej komunikacji zbiorowej oraz pięć możliwych układów częstotliwości ich kursowania. W każdym z wariantów przeprowadzono pełny rozkład modelu podróży, a poprzez szereg analiz symulacyjnych obserwowano wpływ zmian częstotliwości i dostępności linii miejskiego transportu zbiorowego na wyniki symulacji. Na podstawie kryteriów wyjściowych (liczba pasażerów, koszty funkcjonowania linii oraz średni czas podróży) dokonano porównania wariantów i wyboru wariantu rekomendowanego. W przypadku miasta średniej wielkości, jakim jest Częstochowa, optymalnym rozwiązaniem okazał się wariant pośredni – tj. zakładający średni stopień częstotliwości kursowania przy niepełnym stopniu zasięgu obsługi liniami miejskiego transportu zbiorowego.

**Słowa kluczowe:** transport zbiorowy, marszrutyzacja, model makroskopowy.

## Wprowadzenie

Kształtowanie optymalnej sieci transportu zbiorowego w miastach różnej wielkości bywa często jednym z głównych problemów systemu transportu zbiorowego. Planowanie optymalnej siatki połączeń transportu publicznego wpisuje się w problem decyzyjny i optymalizacyjny zwany problemem marszrutyzacji. Zaplanowane trasy uwzględniać muszą możliwie wysoki stopień obsługi potencjalnych pasażerów. W rozwiązywaniu zadanego problemu należy mieć na uwadze dostosowanie do szeregu ograniczeń, jak np. flota pojazdów przewoźników realizujących przewozy komunikacji miejskiej czy budżet przeznaczony w danej gminie na funkcjonowanie transportu publicznego. Koszt całkowity transportu jest często głównym kryterium optymalizacji marszrut w miastach, choć w jego rozwiązywaniu brane są pod uwagę także inne kryteria optymalizacyjne, a sam problem marszrutyzacji w miastach jest problemem ewoluującym i kompleksowym.

W artykule przeanalizowano problem kształtowania sieci transportu zbiorowego w Częstochowie, mieście na prawach powiatu położonego w północnej części województwa

śląskiego [12]. Sieć transportu zbiorowego w Częstochowie składa się z sieci tramwajowej oraz autobusowej. Łączna długość sieci tramwajowej wynosi 14,8 km [7]. Od ukończonej w 2012 roku rozbudowy sieci tramwajowej na os. Błęszno i Wrzosowiak kursują trzy linie tramwajowe, stanowiąc główną oś systemu transportu zbiorowego na kierunku północ-południe. Mimo istnienia podsystemu tramwajowego ten środek transportu nie może być uznany za podstawowy, w istotnym stopniu uzupełniany jest przez komunikacją autobusową. Przykład przebiegu powstałej w ostatnich latach linii tramwajowej na os. Wrzosowiak pokazuje, że część linii miejskiego transportu zbiorowego Częstochowy nie jest wytrasowana w sposób optymalny dla pasażerów. Trasa ta w istotnym stopniu wydłuża czas i odległość dojazdu w porównaniu do dotychczasowego układu linii autobusowych. Artykuł stał się próbą odpowiedzi na pytanie, w jaki sposób optymalnie kształtować linie miejskiej komunikacji zbiorowej w Częstochowie. Odpowiedź uzyskano poprzez porównanie zaproponowanych wariantów z wariantem bazowym. W wariantach tych modyfikowane były dwa zasadnicze kryteria kształtowania sieci: dostępność (zasięg obsługi miejskim transportem zbiorowym) oraz częstotliwość (interwały kursowania linii autobusowych i tramwajowych).

## Problem marszrutyzacji w literaturze

Problem marszrutyzacji polega na wyznaczeniu optymalnych tras przewozowych i jest rozwinięciem problemu komiwojażera [15]. Znalazienie najlepszej struktury linii komunikacji zbiorowej dla miast jest problemem, do rozwiązania którego należy używać metod heurystycznych [5]. Celem pracy [5] było opisanie, jak parametry struktury przestrzennej miasta oddziałują na optymalną strategię transportu publicznego, a w szczególności jak struktura miasta wpływa na przebieg linii komunikacji zbiorowej. Autorzy do rozważań nad problemem marszrutyzacji przyjęli symetryczny model miasta Fielbauma. W literaturze pojawiają się różne modele struktury przestrzennej miasta związane z rozlokowaniem popytu na terenie organizmu miejskiego, tj. model monocentryczny, policentryczny oraz rozproszony [5]. W rozważaniach w [5] wzięto pod uwagę miasto złożone z CBD (*Central Business District*) oraz otaczających dzielnic, z których każda zawiera dzielnicowe subcentrum i węzeł na peryferiach. Problem marszrutyzacji przez autorów [5] rozwiązywany został dla porannej godziny szczytu przy założeniu, że CBD jedynie absorbuje podróże, peryferia jedynie je generują,

<sup>1</sup> ©Transport Miejski i Regionalny, 2017. Wkład autorów w publikację: K. Banet 75%, A. Szarata 25%.

a subcentra są jednocześnie generatorami jak i absorbentami podróży. Na bazie opisanego wyżej modelu struktury przestrzennej miasta porównano cztery rodzaje struktury linii komunikacji zbiorowej:

- bezpośredni – zakłada, że każdy pasażer może odbyć podróż między swoim źródłem i celem podróży bez przesiadki; model jest najlepszy w sytuacji zmniejszenia poziomu dyspersji podróży;
- tzw. *hub and spoke* – bazuje na założeniu, że większość podróży wymaga dojazdu do CBD i przesiadki na połączenie do celu podróży; najlepszy model przy znaczącym CBD;
- tzw. *feeder-trunk* – zakłada istnienie jednej linii dowozowej z peryferiów do subcentrum, dalsze podróże odbywają się na bazie modelu bezpośredniego, ale nie uwzględniającego przedmieść; najlepszy model w przypadku rosnących na znaczeniu suburbiów;
- ekskluzywny – bez przystanków pośrednich, zapewniający połączenia wszystkich par źródeł i celów podróży; rekomendowany jest przy rosnącym udziale użytkowników transportu zbiorowego.

Ukształtowanie idealnej sieci transportu zbiorowego, która uwzględnia potrzeby wszystkich, nie jest możliwe, ale istnieje zbiór dobrych praktyk i wskazówek, jak kształtować sieć połączeń, by dążyć do stanu optymalnego. Aby optymalnie wykorzystać potencjał transportu zbiorowego, należy przede wszystkim dążyć do dopasowania układu linii do przemieszczeń pasażerów, które z reguły są przemieszczeniami codziennymi, odbywającymi się w motywacjach obligatoryjnych, czyli tych związanych z pracą i nauką. To stanowi wskazówkę do kształtowania linii transportu zbiorowego nawet w przypadku braku aktualnych danych na temat struktury podróży. Jak ukazano w [5], pasażerowie negatywnie odbierają przesiadki, toteż powinno się zapewnić bezpośrednie połączenia na najważniejszych relacjach poprzez jak najlepsze połączenie obszarów o odpowiadających sobie potencjałach [1]. By dana linia komunikacji zbiorowej stała się atrakcyjną alternatywą podróżowania względem transportu indywidualnego, oprócz atrakcyjnej trasy musi się także charakteryzować względnie wysoką częstotliwością. Według [1] należy dążyć na najważniejszych liniach do zapewnienia przynajmniej od czterech do sześciu autobusów w ciągu godziny w szczytach komunikacyjnych oraz nie mniej niż trzech w okresie tzw. międzyszczytu. Nie zawsze jednak możliwe jest uzyskanie satysfakcjonujących częstotliwości na kilku liniach. Rozwiązaniem tego problemu jest kumulacja linii w korytarzach, co pozwoli na zapewnienie wysokiej częstotliwości wiązki linii. Tworzenie wiązek linii wiąże się z kolejnym aspektem marszrutyzacji, jakim jest zapewnienie układu opartego na czytelnym interwałach międzypojazdowych, które winny być oparte o podzielnik liczby 60 i jego wielokrotności. To ułatwia synchronizację linii w korytarzach oraz pomaga zaznaczyć hierarchizację linii [2]. W trasowaniu linii miejskich najlepszym wariantem jest dążenie do zapewnienia obsługi liniami średnicowymi, przechodzącymi przez obszar cen-

trum miasta z dopuszczonym meandrowaniem tylko na ich końcowych odcinkach [1].

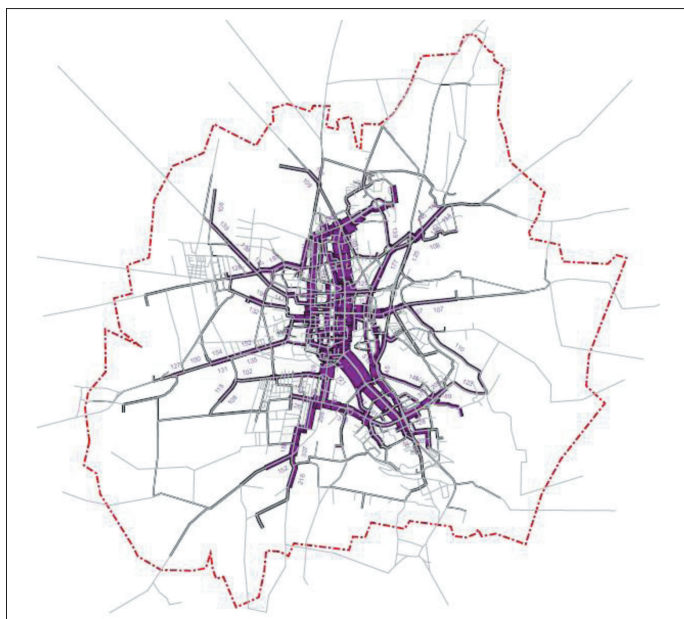
Wszystkie wymienione zasady nie są zazwyczaj możliwe do spełnienia, co wynika z szeregu ograniczeń zewnętrznych, z których największym jest konieczność kontroli kosztów działania systemu transportu zbiorowego. Należy jednak pamiętać, że nawet w sytuacji gdy uda się zminimalizować wpływ ograniczeń zewnętrznych i wypracować optymalny kształt siatki połączeń, nie spowoduje to istotnego wzrostu liczby podróży, jeśli nie zostaną wprowadzone odpowiednie środki zwiększające atrakcyjność podróży transportem zbiorowym, takie jak wydzielone pasy ruchu dla autobusów [1] czy atrakcyjny system taryfowy. Ważne jest także, by układ linii transportu zbiorowego w mieście nie był traktowany jako rzecz niezmienna przez lata. Musi on nadążać za zmianami potrzeb komunikacyjnych mieszkańców. Wynika to ze zmieniającej się więzby podróży, czego powodem są zmiany w strukturze przestrzennej miasta [2].

### Charakterystyka przyjętych wariantów

Miasto Częstochowa zamieszkiwane przez 228 179 osób [13] wpisuje się w ogólnopolski trend spadku liczby mieszkańców. Według prognoz Częstochowa w roku 2030 ma liczyć 191 700 mieszkańców [9]. W mieście obserwowany jest także spadek udziału ludności w wieku produkcyjnym: z 63% w roku 2013 do 61,2% w roku 2015 [6]. Zwiększający się udział osób w wieku poprodukcyjnym jest jednym z czynników wpływających na zmianę zachowań komunikacyjnych ogółu mieszkańców. Jest to jeden z czynników, jaki należy mieć na uwadze przy planowaniu rozwoju systemu transportowego miasta.

Na potrzeby analiz stan istniejącej komunikacji zbiorowej w Częstochowie potraktowano jako wariant bazowy W0. Główną oś tramwajową stanowi w nim połączenie północ-południe z os. Tysiąclecia na Raków. Dodatkowo linia rozgałęzia się w stronę dawnej Huty Częstochowa i szpitala na Kucelinie oraz na ulicę Jagiellońską, gdzie tramwaj meandruje ulicami os. Wrzosowiak i Bleszno, by okręzną trasą dotrzeć do pętli przy Stadionie Raków. Traktowane jako jedna linia, linie 1 i 2 (linia 2 jest jednokierunkowa na skróconej trasie linii nr 1, powrót jako linia nr 1) oraz linia nr 3 funkcjonują w dni powszednie w interwale 12 minut [14]. Mimo istnienia komunikacji tramwajowej bardzo istotną rolę w mieście pełni komunikacja autobusowa. Składa się ona z 26 linii miejskich uzupełnionych o 8 linii podmiejskich, które łączą na bazie porozumień międzygminnych Częstochowę z gminami ościennymi. Stosunkowo wysoka liczba linii przy tej wielkości miasta wskazuje na dominację połączeń o charakterze bezpośrednim między poszczególnymi obszarami. Na potrzeby analiz w wariantcie W0 pominięto linie podmiejskie, gdyż głównym celem było zaplanowanie układu sieci odniesionego do więzby podróży miejskich (wewnętrznych), wobec których linie autobusowe podmiejskie mają marginalne znaczenie. Większość linii autobusowych miejskich kursuje w dni powszednie w interwale 30 minut, a ważniejsze z nich co 15 minut [14].

Do oceny procesów transportowych i modelowania zachowań komunikacyjnych mieszkańców stosuje się narzędzia analityczne oraz symulacyjne. W badaniach jako narzędzie posłużył makrosymulacyjny model transportowy dla Częstochowy z 2015 roku wykonany w programie PTV Visum [11]. Jako wariant bazowy (tzw. wariant W0) przyjęto model sieci zaktualizowany i skalibrowany na 2015 r. (od tego czasu nie zaszły istotne zmiany w sieci transportowej miasta), który posłużył następnie do przygotowywania wariantów remarszrutyzacji w odniesieniu do istniejącej sieci połączeń autobusowych i tramwajowych. W pierwszym kroku analiz przeprowadzono rozkład tzw. *TSys-based* w formie testowej, który pozwolił zaobserwować preferowane (pożądane) korytarze podróży, w przypadku wyboru trasy przejazdu niezależnie od jakiegokolwiek układu linii transportu zbiorowego. Wynik tego rozkładu (rys. 1) wskazał na potencjalne korytarze trasowania linii miejskiego transportu zbiorowego. Najchętniej wykorzystywany przez pasażerów jest ciąg alei: Armii Krajowej, Wolności i Niepodległości, który odpowiada przebiegowi istniejącej linii tramwajowej i odzwierciedla empiryczną obserwację, według której większość podróży miejskich odbywa się na osi północ-południe. W tej osi zaobserwowano duże potoki pasażerskie także na trzech ciągach równoległych do ciągu tramwajowego: po jego wschodniej (tj. aleją Wojska Polskiego i ulicą Krakowską/Kanałem Kohna) oraz zachodniej stronie (ulicami: Szajnowicza-Iwanowa i Popieluszki oraz ulicami: Kilińskiego, Dąbrowskiego, Nowowiejskiego, Śląską i aleją Bohaterów Monte Cassino). Według „testowego” rozkładu podróży pasażerowie podróżujący wzdłuż mniej obciążonej niż oś północ-południe osi wschód-zachód wybraliby podróż przez reprezentacyjną, przechodzącą przez ścisłe centrum miasta, Aleję Najświętszej Maryi Panny na odcinku od placu Daszyńskiego do alei Wolności (1,3 tys. osób), a także korytarzem położonym na północy

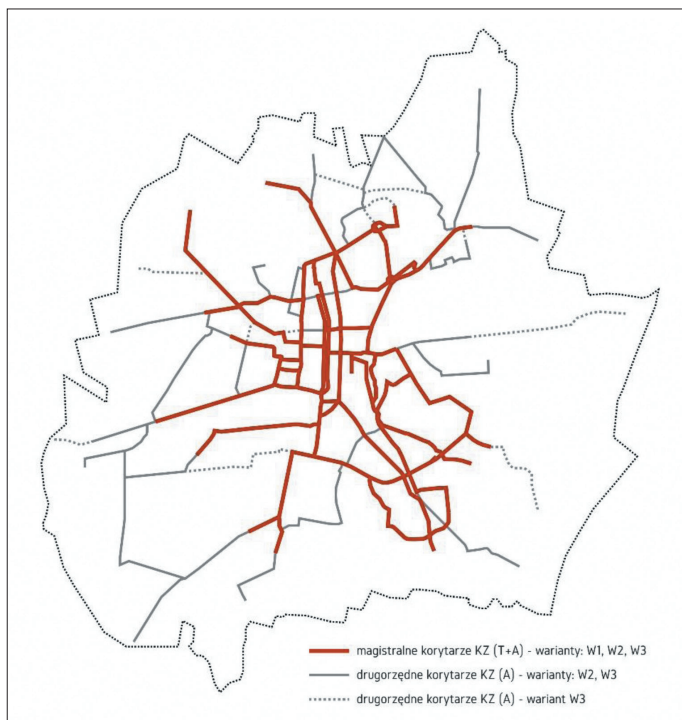


Rys. 1. Preferowane korytarze w przypadku wyboru trasy przejazdu niezależnej od obecnego układu linii transportu zbiorowego – wynik rozkładu *TSys-based*  
Źródło: opracowanie własne

miasta, częściowo obsługiwanym przez komunikację tramwajową (aleją Wyzwolenia i ulicą Obrońców Westerplatte). Pasażerowie prawie w ogóle nie wybierają podróży tzw. III Aleją oraz głównym, położonym w ciągu drogi krajowej nr 46 korytarzu na osi wschód-zachód (tj. ulicą Dekabrystów).

Otrzymane wyniki posłużyły do zdefiniowania wariantów trasowania linii miejskiego transportu zbiorowego. W pierwszej kolejności wyznaczono korytarze tramwajowe zgodnie z istniejącym układem. Analizy wykazały wyraźne uzasadnienie dla linii tramwajowej od Rakowa do pętli przy Fieldorfa-Niła, która pokrywa się z otrzymanymi symulacyjnie pożądanymi kierunkami przepływu podróży. Tak też ukształtowano główny korytarz tramwajowy, stanowiący trzon komunikacji zbiorowej w mieście. Dużo mniejsze potoki pasażerskie zaobserwowano wzdłuż korytarza tramwajowego od Rakowa do Kucelina (wschodnia odnoga sieci), mimo to są one większe niż na zachodnim odgałęzieniu sieci (linia na os. Błęszno i Wrzosowiak). W toku prac analitycznych symulacje wykazały brak uzasadnienia dla przebiegu istniejącej linii tramwajowej na os. Błęszno i Wrzosowiak. Zamiast tego korytarza pasażerowie wybierają podróż równoległym, zapewniającym szybszy dojazd ciągiem (ulicą Bohaterów Katynia oraz aleją 11 Listopada), który został zakwalifikowany jako główny korytarz autobusowy.

Sieć tramwajowa w Częstochowie nie pozwala na wyodrębnienie jedynie podsystemu tramwajowego jako podstawowego środka transportu. Stąd wyznaczenie głównych korytarzy transportowych obsługiwanych zarówno przez tramwaje, jak i autobusy. Magistralne oraz drugorzędne korytarze autobusowe uzupełniają główną, tramwajową oś (rys. 2) [3]. Wyznaczenie magistralnych oraz drugorzędnych korytarzy autobusowych zostało dokonane celem



Rys. 2. Wyznaczone korytarze magistralne oraz drugorzędne linii miejskiego transportu zbiorowego w Częstochowie  
Źródło: opracowanie własne





nych obszarów. Istotnymi generatorami podróży są także dwa główne tereny zabudowy mieszkaniowej wielorodzinnej, tj. os. Tysiąclecie z os. Północ oraz os. Raków. Dodatkowym założeniem przy kształtowaniu układu linii było unikanie pokrywania się linii tramwajowych i autobusowych, co osiągnięto na większości odcinków tramwajowych, przede wszystkim na głównej osi, tj. na alejach Wolności i Niepodległości.

Drugim kryterium doboru wariantów było zróżnicowanie kształtowania częstotliwości linii. Stworzono pięć wariantów interwałów międzypojazdowych w godzinach szczytów komunikacyjnych:

- A – 3/7,5/15 min,
- B – 5/10/20 min,
- C – 6/12/24 min,
- D – 7,5/15/30 min,
- E – 10/20/40 min.

Każdy z nich opisany jest przez trzy interwały kursowania pojazdów: pierwszy dotyczy głównej linii tramwajowej, drugi to interwał wspomagającej linii tramwajowej oraz autobusów magistralnych, a trzeci wskazuje interwał linii wspomagających. W obrębie każdego z wariantów zasięgu obsługi (W1, W2, W3) wzięto pod uwagę trzy warianty częstotliwości, co dało łącznie dziewięć wariantów. Na potrzeby artykułu zastosowano oznaczenia trzyliterowe, np. W2C, co oznacza wariant W2 dostępności sieci, w którym linie kursują z interwałami zdefiniowanymi przez wariant C. W obrębie wariantów dostępności sieci stworzono następujące podwarianty interwałów w szczytach komunikacyjnych:

- w wariantcie W1: 3/7,5/15 minut (wariant W1A), 5/10/20 minut (wariant W1B) oraz 6/12/24 minut (wariant W1C);
- w wariantcie W2: 5/10/20 minut (wariant W2B), 6/12/24 minut (wariant W2C) oraz 7,5/15/30 minut (wariant W2D);
- w wariantcie W3: 6/12/24 minut (wariant W3C), 7,5/15/30 minut (wariant W3D) oraz 10/20/40 minut (wariant W3E).

Każdy z dziewięciu przedstawionych wariantów jest możliwy do wprowadzenia w stanie istniejącym z ewentualnym powiększeniem parku taborowego. Każdy z nich bazuje jedynie na zmianie układu linii i częstotliwości – natomiast bez zakładania realizacji nowych inwestycji czy wdrażania usprawnień w transporcie zbiorowym, np. dodatkowych pasów dla ruchu autobusów czy rozwoju systemu sterowania ruchem i priorytetów dla komunikacji zbiorowej. Pełne zestawienie proponowanych wariantów przedstawiono w tabeli 1.

Tabela 1

Interwały kursowania pojazdów w opracowanych wariantach									
środek transportu	interwał w godzinach szczytu komunikacyjnego [min]								
	W1A	W1B	W1C	W2B	W2C	W2D	W3C	W3D	W3E
tramwaje	3/7,5	5/10	6/12	5/10	6/12	7,5/15	6/12	7,5/15	10/20
autobusy	7,5/15	10/20	12/24	10/20	12/24	15/30	12/24	15/30	20/40

Źródło: opracowanie własne

W analizach symulacyjnych uwzględniono także aspekt zróżnicowanej uciążliwości poszczególnych składowych czasów podróży [8]. Jednym z głównych czynników standardu podróży jest czas jej trwania [4]. W poszczególnych wariantach o zróżnicowanej częstotliwości uwzględniono zmienną wartość tzw. kary czasowej odpowiadającej uciążliwości przesiadki postrzeganej przez pasażerów. Jest ona najniższa w wariantach, które bazują na liniach tramwajowych kursujących co 3–6 minut – gdzie kara czasowa za przesiadkę wynosi od 3 do 5 minut, natomiast w pozostałych wariantach o niższych częstotliwościach wzrasta ona do 10 minut.

W badaniach skupiono się na analizie parametrów sieci transportu zbiorowego i znalezieniu zależności między zasięgiem obsługi transportem zbiorowym a częstotliwością pojazdów. W każdym z wariantów wzięto pod uwagę parametry dla rozkładu ruchu w godzinie szczytu popołudniowego (15:00–16:00) i porównano je z parametrami wariantu bazowego W0. W każdym z wariantów zastosowano rozkład bazujący na częstotliwościach zamiast rozkładu bazującego na rozkładach jazdy. Zastosowany rozkład rekomendowany jest w przypadku sieci o wysokich, czytelnych interwałach, a takie cechy spełniają zaproponowane warianty. W każdym z wariantów wykonano rozkład w trzech krokach iteracyjnych celem stabilizacji podziału zadań przewozowych i odczytano następujące parametry ilościowe:

- liczbę pasażerów korzystających z transportu zbiorowego;
- pracę przewozową dla autobusów (w pojkm, pojh i wozokm);
- pracę przewozową dla tramwajów (w pojkm, pojh i wozokm);
- średnią prędkość podróży: autobusem, tramwajem (km/h);
- średni czas podróży transportem zbiorowym (min);
- średni udział podróży z przesiadkami.

Poza czynnikami ilościowymi charakteryzującymi funkcjonowanie systemu transportowego, rozpatrzono również aspekty finansowe, które w sposób istotny wpływają na ocenę celowości procesu inwestycyjnego [10] czy procesu remarszrutyzacji. Na podstawie informacji nt. pracy przewozowej w wozokilometrach i danych na temat stawek za wozokilometry możliwe było oszacowanie kosztu funkcjonowania transportu zbiorowego, jaki jest ponoszony przez miasto (w przeliczeniu na jedną godzinę szczytu). Do obliczeń przyjęto stawkę 6,45 zł netto za 1 wozokilometr (autobusy) i 17,00 zł netto za 1 pociągokilometr (tramwaje).

### Wyniki symulacji w modelu transportowym

Rozkład ruchu w transporcie zbiorowym w stanie istniejącym (wariant W0) pokazał, że mimo istnienia sieci tramwajowej bardziej obciążone są trasy autobusowe. Najwięcej pasażerów przewożą linie kursujące w osi północ–południe po obu stronach korytarza tramwajowego (ulicami: Krakowską/Kanałem Kohna i aleją Wolności oraz Śląską/Nowowiejskiego). Duże potoki pasażerskie obserwowane

są także na osi wschód–zachód, łączącym główny ciąg tramwajowy z równoległymi do niego ciągami autobusowymi po zachodniej stronie Śródmieścia (ulica Jana III Sobieskiego). Najbardziej obciążonymi w mieście trasami są trasy w stronę północnych osiedli tj. os. Tysiąclecia i os. Północ oraz południowych: Rakowa i Sabinowa. Pełne zestawienie parametrów dla wariantu bazowego W0 przedstawiono w tabeli 2.

Tabela 2

Parametry sieci transportu zbiorowego w godzinie szczytu popołudniowego dla wariantu W0	
Parametr	Wartość
Interwał T [min]	12/24
Interwał A [min]	15/30/60
Liczba pasażerów TZ	9427
Praca przewozowa T [pash]	257
Praca przewozowa T [paskm]	5133
Praca przewozowa A [pash]	1690
Praca przewozowa A [paskm]	42 683
Liczba wozokm T	209
Liczba wozokm A	1749
Liczba wozokm T+A	1958
Koszt funkcjonowania TZ [zł]	14 837
Średnia prędkość podróży T [km/h]	20,0
Średnia prędkość podróży A [km/h]	25,2
Średni czas podróży TZ [min]	40,5
Kara za przesiadki [min]	10
Średni udział przesiadek	0,2
Praca przewozowa SO [poj/h]	9591
Praca przewozowa SO [pojkm]	32 7957
Średnia prędkość podróży SO [km/h]	34,2

Źródło: opracowanie własne

Rozkład ruchu w transporcie zbiorowym w każdym z podwariantów wariantu W1 pokazuje, że pomimo silnej osi tramwajowej najczęściej wybierane są linie autobusowe, które obsługują równoległy do tramwajowego, położony na zachodzie Śródmieścia ciąg (Bohaterów Monte Cassino – Słowackiego – Pułaskiego – Popiełuszki – Szajnowicza-Iwanowa) wraz z jego rozgałęzieniami do obsługiwanych liniami tramwajowymi obszarów: os. Tysiąclecie na północy (ulica Obrońców Westerplatte) oraz os. Wrzosowiak na południu (ulica Jagiellońska). Potoki te są widocznie większe aniżeli wzdłuż tras tramwajowych. Nadal jednak widać duże obciążenie ciągów w osi północ–południe, np. główny ciąg tramwajowy (aleja Niepodległości/Wolności) oraz równoległy do niego, po jego wschodniej stronie ciąg autobusowy (ulice: Krakowska/Kanał Kohna). Duże potoki pasażerskie obserwowane są także w I Alei NMP (os. wschód–zachód). Najbardziej obciążone są trasy w stronę: Rakowa, os. Tysiąclecia, os. Północ, ale także Sabinowa, Wyczerpów (północny wschód) i Gnaszyna (południowy zachód). Zestawienie parametrów sieci dla wariantów W1 w godzinie popołudniowego szczytu komunikacyjnego przedstawiono w tabeli 3.

Rozkład ruchu w transporcie zbiorowym w wariantach W2 pokazał, że najchętniej wybieranymi przez pasażerów

Tabela 3

Parametry sieci transportu zbiorowego w godzinie szczytu popołudniowego dla podwariantów wariantu W1			
Parametr	Wartości dla podwariantów		
	W1A	W1B	W1C
Interwał T [min]	3/7,5	5/10	6/12
Interwał A [min]	7,5/15	10/20	12/24
Liczba pasażerów TZ	8990	8870	8776
Praca przewozowa T [pash]	307	313	317
Praca przewozowa T [paskm]	6130	6262	6331
Praca przewozowa A [pash]	1389	1341	1318
Praca przewozowa A [paskm]	34 757	33 555	32 973
Liczba wozokm T	588	381	318
Liczba wozokm A	1302	977	814
Liczba wozokm T+A	1890	1358	1132
Koszt funkcjonowania TZ [zł]	18 399	12 780	10 651
Średnia prędkość podróży T [km/h]	20,0	20,0	20,0
Średnia prędkość podróży A [km/h]	25,0	25,0	25,0
Średni czas podróży TZ [min]	36,0	37,4	38,6
Kara za przesiadki [min]	3	5	5
Średni udział przesiadek	0,5	0,3	0,3
Praca przewozowa SO [poj/h]	12 699	12 713	12 725
Praca przewozowa SO [pojkm]	391 547	391 777	391 977
Średnia prędkość podróży SO [km/h]	30,8	30,8	30,8

Źródło: opracowanie własne

ciągami są te same ciągi jak w wariantcie W1. Duże potoki pasażerskie obserwowane są także w głównym, położonym w ciągu drogi krajowej nr 46 korytarzu na osi wschód–zachód (aleja Jana Pawła II) oraz w dwóch innych ciągach na osi wschód–zachód: na południu (ulica Piastowska) i zachodzie miasta (ulica Wyszyńskiego). Najbardziej obciążone są podobne trasy jak w wariantcie W1, a także w stronę Lisińca/Grabówki (północny zachód). Zestawienie parametrów sieci dla wariantów W2 w godzinie popołudniowego szczytu komunikacyjnego przedstawiono w tabeli 4.

Tabela 4

Parametry sieci transportu zbiorowego w godzinie szczytu popołudniowego dla podwariantów wariantu W2			
Parametr	Wartości dla podwariantów		
	W2B	W2C	W2D
Interwał T [min]	5/10	6/12	7,5/15
Interwał A [min]	10/20	12/24	15/30
Liczba pasażerów TZ	9613	9512	9375
Praca przewozowa T [pash]	284	288	295
Praca przewozowa T [paskm]	5682	5755	5901
Praca przewozowa A [pash]	1669	1646	1578
Praca przewozowa A [paskm]	41 769	41 190	39 487
Liczba wozokm T	361	301	241
Liczba wozokm A	1595	1329	1063
Liczba wozokm T+A	1956	1630	1304
Koszt funkcjonowania TZ [zł]	16 420	13 682	10 946
Średnia prędkość podróży T [km/h]	20,0	20,0	20,0
Średnia prędkość podróży A [km/h]	25,0	25,0	25,0
Średni czas podróży TZ [min]	37,5	38,8	40,6
Kara za przesiadki [min]	5	5	10
Średni udział przesiadek	0,4	0,4	0,2
Praca przewozowa SO [poj/h]	10 794	10 807	10 822
Praca przewozowa SO [pojkm]	356 996	357 238	357 521
Średnia prędkość podróży SO [km/h]	33,1	33,1	33,0

Źródło: opracowanie własne



Rozkład ruchu w transporcie zbiorowym w wariantach W3 pokazał, że najbardziej obciążonym ciągiem jest ponownie równoległy do tramwajowego, położony na zachodzie Śródmieścia ciąg (Bohaterów Monte Cassino – Słowackiego – Pułaskiego – Popiełuszki – Szajnowicza – Iwanowa) wraz z jego rozgałęzieniami os. Tysiąclecia na północy (ulica Obrońców Westerplatte) oraz os. Wrzosowiak na południu (ulica Jagiellońska). Zauważono także duże obciążenie innych, równoległych do opisanego ciągów (Krakowska/Kanał Kohna oraz ciąg tramwajowy wzdłuż alej: Niepodległości i Wolności). Dodatkowo w osi wschód–zachód najbardziej obciążone są: I Aleja NMP, Okulickiego, Mirowska, Piastowska, Wyszyńskiego, aleja Jana Pawła II. Największe potoki pasażerskie obserwowane są na trasach w stronę Rakowa, os. Tysiąclecia i os. Północ. Parametry charakteryzujące sieć komunikacji zbiorowej w Częstochowie w godzinie popołudniowego szczytu komunikacyjnego w wariantach W3 przedstawiono w tabeli 5.

Tabela 5

Parametry sieci transportu zbiorowego w godzinie szczytu popołudniowego dla podwariantów wariantu W3			
Parametr	Wartości dla podwariantów		
	W3C	W3D	W3E
Interwał T [min]	6/12	7,5/15	10/20
Interwał A [min]	12/24	15/30	20/40
Liczba pasażerów TZ	9582	9438	9212
Praca przewozowa T [pash]	282	290	293
Praca przewozowa T [paskm]	5647	5801	5863
Praca przewozowa A [pash]	1648	1578	1531
Praca przewozowa A [paskm]	41 219	39 460	38 299
Liczba wozokm T	301	241	180
Liczba wozokm A	1628	1302	977
Liczba wozokm T+A	1929	1543	1157
Koszt funkcjonowania TZ [zł]	15 610	12 488	9367
Średnia prędkość podróży T [km/h]	20,0	20,0	20,0
Średnia prędkość podróży A [km/h]	25,0	25,0	25,0
Średni czas podróży TZ [min]	38,1	41,6	43,2
Kara za przesiadki [min]	5	10	10
Średni udział przesiadek	0,3	0,2	0,1
Praca przewozowa SO [poj]	10 515	10 532	10 557
Praca przewozowa SO [pojkm]	350 386	350 719	351 189
Średnia prędkość podróży SO [km/h]	33,3	33,3	33,3

Źródło: opracowanie własne

## Porównanie wariantów

Każdy z wariantów proponowanych zmian został porównany z wariantem bazowym W0. W analizie porównawczej za najbardziej istotne parametry do oceny końcowej wariantów uznano:

- liczbę pasażerów korzystających z transportu zbiorowego w godzinie szczytu popołudniowego;
- koszt funkcjonowania transportu zbiorowego, jaki jest ponoszony przez miasto (w przeliczeniu na jedną godzinę szczytu);
- średni czas podróży.

W tabelach 6–8 porównano parametry każdego z wariantów z wariantem W0.

Tabela 6

Zmiana procentowa liczby pasażerów w badanych wariantach w porównaniu z wariantem bazowym W0					
Warianty dostępności sieci	Warianty interwałów kursowania				
	A	B	C	D	E
W1	-4,6%	-5,9%	-6,9%	-	-
W2	-	+2,0%	+0,9%	-0,6%	-
W3	-	-	+1,6%	+0,1%	-2,3%

Źródło: opracowanie własne

Analizując liczbę pasażerów w wariantach W1, W2 i W3 (tab. 6), można zaobserwować jej spadek wraz ze zmniejszaniem częstotliwości kursowania – ale także i stopniem dostępności sieci. W wariantcie W1, w którym obsługiwane są tylko główne korytarze, spadki liczby pasażerów są najbardziej istotne (o ok. 4,6% do 6,9% w stosunku do wariantu W0). W pozostałych dwóch wariantach, tj. W2 i W3 przy najlepszej i średniej częstotliwości kursowania liczba pasażerów jest większa niż w wariantcie bazowym. W wariantcie W2B liczba pasażerów wzrasta o 2,0%, a w W3C o 1,6%. W ogólnym podsumowaniu zmiany liczby pasażerów przemawiają za wariantami W2B i W3C, jednakże wiąże się z nimi wzrost kosztów funkcjonowania transportu zbiorowego, który wzrasta m.in. przez wyższy udział pracy przewozowej tramwajów.

Tabela 7

Zmiana procentowa kosztu funkcjonowania transportu zbiorowego w badanych wariantach w porównaniu z wariantem bazowym W0					
Warianty dostępności sieci	Warianty interwałów kursowania				
	A	B	C	D	E
W1	+24,0%	-13,9%	-28,2%	-	-
W2	-	+10,7%	-7,8%	-26,2%	-
W3	-	-	+5,2%	-15,8%	-36,9%

Źródło: opracowanie własne

Analizując koszt funkcjonowania transportu zbiorowego (tab. 7), widoczna jest zależność jego spadku w obrębie każdego z wariantów dostępności sieci wraz ze zmniejszaniem częstotliwości kursowania. Spadek całościowej pracy przewozowej nie jest równoznaczny ze spadkiem kosztów funkcjonowania, na co wpływ ma udział poszczególnych środków transportu w wykonywaniu pracy przewozowej. W wariantcie W2C, który podobnie jak wariant W2B cechuje się wzrostem liczby pasażerów, koszty funkcjonowania transportu spadają o 7,8%. Lepiej kształtuje się wariant W3, gdzie spadek kosztów jest największy mimo zwiększenia zasięgu obsługi. Największy spadek kosztów widoczny jest w wariantcie W3E – o 36,9% – jednak wiąże się z tym także spadek liczby pasażerów o 2,3%. Sięgające 13–28% spadki kosztów obserwowane są także w wariantach: W1B i W1C, nie mniej jednak spadki liczby pasażerów w nich są zbyt duże. Najmniejsze koszty generuje wariant bezpośrednich połączeń, ale za to z najgorszą częstotliwością, tj. wariant W3E.

Analizując czas podróży (tab. 8), widoczna jest zależność jego wzrostu w każdym z wariantów wraz ze spad-

kiem częstotliwości kursowania, ale także ze wzrostem dostępności sieci. Jest on najniższy w wariantcie W1, czyli tam, gdzie oferowane są często kursujące pojazdy, ale obsługujące tylko główne ciągi transportowe (tj. model przesiadkowy). W porównaniu do wariantu bazowego największemu skróceniu, tj. o 11,1% czas podróży uległ w wariantcie W1A. Największy jego wzrost widoczny jest w modelu bezpośrednim o najmniejszej częstotliwości, czyli w wariantcie W3E – całkowity czas podróży wzrósł tu o 6,7%.

Tabela 8

Zmiana procentowa czasu trwania podróży w badanych wariantach w porównaniu z wariantem bazowym W0					
Warianty dostępności sieci	Warianty interwałów kursowania				
	A	B	C	D	E
W1	-11,1%	-7,7%	-4,7%	-	-
W2	-	-7,4%	-4,2%	+0,2%	-
W3	-	-	-5,9%	+2,7%	+6,7%

Źródło: opracowanie własne

## Rekomendacje

Biorąc pod uwagę przeanalizowane warianty, opisane różnymi parametrami, a zwłaszcza liczbą pasażerów, kosztem funkcjonowania transportu zbiorowego i średnim czasem podróży transportem zbiorowym, postanowiono zarekomendować wariant, który dał pozytywne wyniki we wszystkich trzech analizowanych parametrach tj. wariant W2C. Wariant W1 został odrzucony głównie ze względu na widoczne spadki liczby pasażerów w każdym przypadku, mimo jednoczesnych spadków kosztów funkcjonowania transportu zbiorowego oraz średniego czasu podróży. Lepsze wyniki pod względem kosztu funkcjonowania transportu zbiorowego dał wariant W3 niż wariant W2, aczkolwiek w wariantcie W3D i W3E czas podróży i liczba pasażerów osiągają gorsze wartości niż w wariantcie W2C, który jako jedyny przy jednoczesnym wzroście liczby pasażerów pozwolił na spadek kosztów funkcjonowania transportu zbiorowego i czasu trwania podróży:

- liczba pasażerów wzrosła o 0,9%,
- koszty funkcjonowania spadły o 7,8%,
- średni czas podróży spadł o niemal 2 minuty, tj. o 4,4%.

Lepsze parametry pod względem liczby pasażerów i czasu podróży osiąga wprawdzie wariant W2B, jednak jego wprowadzenie wiąże się ze wzrostem kosztów funkcjonowania transportu o 10,7%.

Drugim z wariantów, który można zarekomendować, jest wariant W3C. Daje on lepszy niż wariant W2C wynik pod względem liczby pasażerów i średniego czasu podróży, jednak wiąże się, ze wzrostem kosztów funkcjonowania transportu zbiorowego o 5,2%. Wobec powyższego widać, że oba rekomendowane warianty to warianty bazujące na interwale 6/12/24 minuty i pozwalające na zwiększenie liczby pasażerów. W przypadku możliwości zwiększenia nakładów finansowych na transport zbiorowy zarekomendowano wariant W3C.

## Podsumowanie

Wyniki przeprowadzonych w artykule analiz wskazują na potencjalną możliwość bardziej efektywnego wykorzystania systemu transportu zbiorowego w podróży wewnętrznych w obrębie Częstochowy, poprzez optymalizację jego obecnego układu połączeń oraz interwału kursowania. Wskazują one, że możliwe jest utrzymanie stałej lub nieco wyższej liczby pasażerów przy jednoczesnej redukcji kosztów funkcjonowania transportu zbiorowego oraz pewnego spadku czasu podróży. Sugeruje to, że istniejący układ linii transportu zbiorowego w Częstochowie bazuje na zbyt dużej liczbie linii o charakterze bezpośrednim o stosunkowo niskich interwałach kursowania. Na podstawie podjętego w badaniach klasycznego problemu marszrutyzacji transportu zbiorowego wykazano optymalne efekty w wariantcie pośrednim, tj. W2C, który pozwala na rozwiązania pośrednie, a nie skrajne, tj. niepełna dostępność sieci oraz średni takt kursowania pojazdów: 12/24 minuty dla większości linii.

## Literatura

1. Bauer M., *Zasady kształtowania marszrut linii autobusowych w miastach średnich*, „Transport Miejski i Regionalny”, 2012, nr 11.
2. Bauer M., Szalkowski M., *Propozycje zmian układu linii transportu zbiorowego w Krakowie*, „Transport Miejski i Regionalny”, 2012, nr 9.
3. Dąbek P., *Transport zbiorowy jako podstawa atrakcyjności centrum miasta*, „Transport Miejski i Regionalny”, 2013, nr 1.
4. Dudek M., Rudnicki A., *Wpływ czynnika jakości na dobór rodzaju środka przewozowego miejskim transportem zbiorowym*, „Transport Miejski i Regionalny”, 2008, nr 2.
5. Fielbaum A., Jara-Diaz S., Gschwender A., *Optimal public transport networks for a general urban structure*, “Transportation Research”, Part B 94, 2016.
6. *Miasto Częstochowa*, Statystyczne Vademecum Samorządowca, Urząd Statystyczny w Katowicach, 2016.
7. *Plan zrównoważonego rozwoju publicznego transportu zbiorowego dla Miasta Częstochowy* – Załącznik do Uchwały Nr 238/XX/2015 Rady Miasta Częstochowy z dnia 30 grudnia 2015 r.
8. Rudnicki, A., *Jakość komunikacji miejskiej*, Zeszyty Naukowo-Techniczne Oddziału Stowarzyszenia Inżynierów i Techników Komunikacji w Krakowie, 1999.
9. *Studium Uwarunkowań i Kierunków Zagospodarowania Przestrzennego Miasta Częstochowy* – tekst ujednoczony, lipiec 2015 r.
10. Szarata A., *Metodyka badań strategicznych wariantów rozwoju systemu transportu zbiorowego w obszarach zurbanizowanych*, „Transport Miejski i Regionalny”, 2015, nr 7.
11. Szarata A. z zespołem, *Model transportowy dla miasta Częstochowy*, Opracowanie dla Urzędu Miasta Częstochowa, 2015.

## Źródła internetowe

12. Częstochowa – informacje o mieście, <http://www.czestochowa.pl/page/21,informacje-o-miescie.html> – dostęp 30.04.2017 r.
13. Miasta największe pod względem liczby ludności, <http://stat.gov.pl/statystyka-regionalna/rankingi-statystyczne/miasta-najwiesze-pod-wzgledem-liczby-ludnosci/> – dostęp 30.04.2017 r.
14. Miejski Zarząd Dróg i Transportu w Częstochowie – Rozkład jazdy, <http://mzd.czest.pl/publiczny-transport-zbiorowy/rozklady-jazdy> – dostęp 1.05.2017 r.
15. Problem komiwojażera, <http://www.mini.pw.edu.pl/MiNI>wyklady/grafy/prob-komiw.html> – dostęp 23.05.2017 r.