

Jacek OSKARBSKI, Michał MISZEWSKI

## OCENA FUNKCJONOWANIA SYSTEMU TRANSPORTU ZBIOROWEGO W GDYNI Z WYKORZYSTANIEM PROGRAMU VISUM

### *Streszczenie*

*W artykule przedstawiono ocenę funkcjonowania transportu zbiorowego w Gdyni. Kryteria oceny systemu transportu zbiorowego dobrano na podstawie analizy literatury w zakresie funkcjonalności i organizacji transportu zbiorowego w miastach oraz wyników badań marketingowych. Przedstawiono, jakie czynniki wpływają na jakość komunikacji miejskiej z punktu widzenia pasażerów i sposoby, które pozwalają tą jakość poprawić. Za zmienne diagnostyczne do analizy funkcjonowania transportu zbiorowego przyjęto wskaźniki obsługi uzyskane, jako rezultat modelu symulacyjnego. Klasyfikacji zmiennych dokonano, wykorzystując metody analizy przestrzennej, stosowane w planowaniu rozwoju lokalnego i regionalnego. Wizualizację wyników przedstawiono w postaci kartogramów, umożliwiających szybką identyfikację obszarów miasta, w których pożądana jest poprawa efektywności transportu zbiorowego.*

### WSTĘP

Planowanie transportu miejskiego jest procesem złożonym, wymagającym interdyscyplinarnego podejścia uwzględniającego aspekty związane z demografią, ekonomią, socjologią, czy planowaniem przestrzennym. Narzędziami wspomagającymi planowanie sieci transportowych oraz pozwalającymi na ocenę przyjętych założeń koncepcyjnych, są coraz częściej wykorzystywane modele symulacyjne. Mogą one służyć badaniom i ocenie bieżącego funkcjonowania systemu transportowego oraz prognozowaniu możliwych zmian w przyszłości. Niektóre z komputerowych narzędzi symulacyjnych umożliwiają prowadzenie szczegółowych analiz funkcjonowania komunikacji zbiorowej w miastach. Do jednego z nich należy program VISUM, za pomocą którego możliwa jest budowa modelu podróży, uwzględniającego możliwości obsługi pasażerów środkami transportu zbiorowego z dokładnością, umożliwiającą ocenę jego funkcjonowania. Ocena taka może być pomocna przy planowaniu zmian w organizacji transportu zbiorowego w miastach oraz podejmowaniu decyzji na poziomie strategicznym, jak również operacyjnym.

W artykule przedstawiono ocenę funkcjonowania transportu zbiorowego w Gdyni, która miała na celu wskazanie elementów, wymagających usprawnień. Jako podstawowy cel wprowadzenia proponowanych usprawnień systemu transportu zbiorowego w Gdyni przyjęto zwiększenie dostępności transportowej oraz redukcję czasów podróży na obszarach, gdzie aktualnie jakość obsługi jest niewystarczająca. Za cel strategiczny obrano efektywne wykorzystanie poszczególnych środków transportu miejskiego, zmierzające do ograniczenia

ruchu samochodów, co powinno spowodować zwiększenie udziału podróży komunikacją zbiorową. Ocena stanowi podstawę do przedstawienia propozycji wariantów koncepcyjnych, które umożliwią weryfikację kierunków rozwoju systemu transportowego Gdyni, wynikających z regionalnych i lokalnych dokumentów planistycznych i strategicznych.

## 1. MODEL SYSTEMÓW TRANSPORTU

W celu oceny systemu transportu zbiorowego opracowano czterostadiowy model podróży, który jest kompleksowym narzędziem służącym do prognozowania wielkości ruchu w sieci transportowej z uwzględnieniem wykorzystanych środków transportu indywidualnego i zbiorowego [1]. Nazwa nawiązuje do czterech etapów procesu budowy modelu, na które składają się [2] generacja podróży, rozkład przestrzenny podróży, podział zadań przewozowych oraz rozkład ruchu na sieć. Każdy z etapów wymaga zgromadzenia odpowiednich danych umożliwiających wyznaczenie funkcji matematycznych opisujących procesy transportowe, zachodzące w analizowanej sieci. Należy mieć na uwadze, że wszelkie prognozy opierają się na pewnych założeniach, które nie zawsze mogą być spełnione w rzeczywistości, a dokładność obliczeń zależy w dużej mierze od kompletności i wiarygodności danych wejściowych oraz przyjętego stopnia uogólnień [1]. Niemniej jednak, czteroetapowy model ruchu jest użytecznym narzędziem w przewidywaniu wielkości potrzeb transportowych i sposobów ich zaspokojenia przez mieszkańców miast.

### 1.1. Model sieci transportowej

Model podróży w środowisku VISUM [3] stanowi użyteczne narzędzie dla każdego organizatora transportu miejskiego. Umożliwia on między innymi określenie zmian obciążenia poszczególnych elementów infrastruktury transportowej w zależności od założonych zmian funkcjonowania systemów transportowych, zapotrzebowania na podróże oraz kierunków rozwoju przestrzennego analizowanego obszaru. Przyjęte cele modelowania determinują stopień dokładności, z jaką należy odwzorować analizowaną sieć transportową. Precyzja odwzorowania ma szczególnie istotne znaczenie dla możliwości uzyskania rzetelnych wartości wskaźników operacyjnych transportu zbiorowego. W celu możliwości odwzorowania systemu transportu szynowego, jako osobny typ odcinków zakodowano linie kolejowe. Model sieci transportowej miasta zakłada podział na 117 rejonów komunikacyjnych. Wydzielono bezpośrednie podłączenia do wybranych węzłów dla pojazdów oraz podłączenia stanowiące dojścia piesze do przystanków transportu zbiorowego. W Gdyni wydzielono cztery systemy transportu zbiorowego autobusowy, trolejbusowy, kolejowy miejski (Szybka Kolej Miejska), kolejowy regionalny. Celem uzyskania możliwości dokładnego symulowania przesiadek w dużych węzłach transportu zbiorowego, zespoły przystanków połączono w przystanki zintegrowane. Podejście to pozwala na dokładne określenie czasu potrzebnego pasażerowi do przemieszczenia się pomiędzy zespołami przystanków. Taki stopień dokładności odwzorowania zastosowano głównie w rejonie węzłów przesiadkowych, do których należą przystanki Szybkiej Kolei Miejskiej oraz ważniejsze przystanki węzłowe linii autobusowych i trolejbusowych. Ponadto, w celu uzyskania większej zbieżności rozkładu potoku pasażerów na środki transportu zbiorowego, środkiem transportu kolejowego przypisano dodatkową wartość oporu, wpływającą na zwiększenie postrzeganego czasu podróży. Ma to na celu lepsze dopasowanie symulacji do istniejących zachowań transportowych mieszkańców Gdyni, którzy w podrózach wewnętrznych zdecydowanie preferują komunikację autobusową i trolejbusową. System transportu zbiorowego w mieście funkcjonuje w oparciu o przebieg linii komunikacyjnych. W modelu Gdyni odwzorowano przebieg tras linii wszystkich rodzajów transportu zbiorowego. Dla każdej z 69 linii wprowadzono dokładne godziny odjazdów z przystanków krańcowych wraz z czasem przejazdu poszczególnych odcinków. Uwzględnienie w modelu sieci

transportowej typów skrzyżowań umożliwiło na pewne modyfikacje czasu przejazdu odcinków przez pojazdy komunikacji zbiorowej w celu uzyskania większej dokładności. Łącznie w rozkładzie jazdy modelowanej sieci zakodowano 4082 kursy linii autobusowych i trolejbusowych, które są codziennie wykonywane przez pojazdy transportu zbiorowego na ulicach Gdyni. Ponadto uwzględniono 222 kursy kolei SKM i 57 odjazdów pociągów regionalnych z dworca głównego.

## 1.2. Generacja podróży

Celem matematycznego modelowania generacji ruchu na poziomie rejonów komunikacyjnych miasta jest określenie formuł opisujących ilości podróży wyjazdowych i wjazdowych do każdego z nich, tj. wielkość produkcji i atrakcji. Potencjały ruchotwórcze określone na podstawie badań podróży zostają skonfrontowane z niezależnymi zmiennymi opisującymi rejon w zakresie zagospodarowania przestrzennego i ich charakterystyki społeczno-ekonomicznej. Do konstrukcji modeli generacji ruchu wybrano metodę regresji liniowej, polegającą na estymacji wartości zmiennej zależnej przy znanych wartościach zmiennych objaśniających, przypisanych do każdego z badanych rejonów. Polega ona na oszacowaniu wartości współczynników przy zmiennych niezależnych w równaniu regresji, tak aby wartość zmiennej objaśnianej była jak najbardziej zbliżona do wartości obserwowanej. W celu estymacji parametrów funkcji wykorzystano metodę najmniejszych kwadratów, a uzyskane wyniki weryfikowano na podstawie wartości prawdopodobieństwa testowego  $p$ . Jeśli była ona mniejsza od przyjętego poziomu istotności równego 0,05, to estymowany wynik należało uznać za istotny statystycznie, co oznacza, że wynika on z występowania pewnej prawidłowości i nie jest jedynie skutkiem splotu przyczyn losowych [4]. W pracy zastosowano podział podróży ze względu na siedem motywacji, w związku z tym celem modelowania generacji ruchu było wyznaczenie wielkości produkcji i atrakcji rejonów z uwzględnieniem charakteru podróży. Na podstawie doboru opisanych zmiennych, dla każdej z motywacji skonstruowano matematyczne modele produkcji i atrakcji podróży. W tym celu posłużoną się metodą estymacji regresji liniowej w programie STATISTICA. Uzyskane formuły wraz z wartościami współczynników determinacji  $R^2$  przedstawiono w Tab. 1.

**Tab. 1.** Modele produkcji i atrakcji podróży w rejonach komunikacyjnych Gdyni

Motywacja	Produkcja (podróże generowane)	$R^2$	Atrakcja (podróże absorbowane)	$R^2$
dom – praca	$P_{DP} = 0,405 \cdot LM_{PROD}$	0,76	$A_{DP} = 0,444 \cdot W + 0,509 \cdot A_{IND} +$ $+ 0,038 \cdot A_{HAN}$	0,74
praca – dom	$P_{PD} = 0,534 \cdot W_{IND} + 0,41 \cdot W_{USL} +$ $+ 0,035 \cdot A_{HAN}$	0,74	$A_{PD} = 0,375 \cdot LM_{PROD}$	0,74
dom – nauka	$P_{DN} = 0,297 \cdot LM_{PRZED}$	0,39	$A_{DN} = 0,258 \cdot LU + 0,226 \cdot LS$	0,45
nauka – dom	$P_{ND} = 0,24 \cdot LU + 0,213 \cdot LS$	0,43	$A_{ND} = 0,289 \cdot LM_{PRZED}$	0,36
dom – inne	$P_{DI} = 0,239 \cdot LM$	0,34	$A_{DI} = 0,625 \cdot W_{USL} + 0,072 \cdot A_{HAN}$	0,73
inne – dom	$P_{ID} = 0,57 \cdot W_{USL} + 0,088 \cdot A_{HAN}$	0,75	$A_{ID} = 0,241 \cdot LM$	0,35
nie związane z domem	$P_{NZD} = 0,144 \cdot W_{USL} + 0,019 \cdot A_{HAN}$	0,59	$A_{NZD} = 0,163 \cdot W_{USL} + 0,023 \cdot A_{HAN}$	0,63

**Źródło:** opracowanie własne

gdzie:

$P_{DP}$  – produkcja rejonu w motywacji dom – praca;

$A_{DP}$  – atrakcja rejonu w motywacji dom – praca;

$P_{PD}$  – produkcja rejonu w motywacji praca – dom;

$A_{PD}$  – atrakcja rejonu w motywacji praca – dom;

$P_{DN}$  – produkcja rejonu w motywacji dom – nauka;



$A_{DN}$  – atrakcja rejonu w motywacji dom – nauka;  
 $P_{ND}$  – produkcja rejonu w motywacji nauka – dom;  
 $A_{ND}$  – atrakcja rejonu w motywacji nauka – dom;  
 $P_{DI}$  – produkcja rejonu w motywacji dom – inne;  
 $A_{DI}$  – atrakcja rejonu w motywacji dom – inne;  
 $P_{ID}$  – produkcja rejonu w motywacji inne – dom;  
 $A_{ID}$  – atrakcja rejonu w motywacji inne – dom;  
 $P_{NZD}$  – produkcja rejonu w motywacji nie związanej z domem;  
 $A_{NZD}$  – atrakcja rejonu w motywacji nie związanej z domem.  
 $LM$  – liczba mieszkańców [osoby];  
 $LM_{PRZED}$  – liczba mieszkańców w wieku przedprodukcyjnym [osoby];  
 $LM_{PROD}$  – liczba mieszkańców w wieku produkcyjnym [osoby];  
 $LU$  – liczba uczniów w szkołach [osoby];  
 $LS$  – liczba studentów [osoby];  
 $W$  – łączna liczba miejsc pracy [-];  
 $W_{IND}$  – liczba miejsc pracy w przemyśle [-];  
 $W_{USL}$  – liczba miejsc pracy w usługach [-];  
 $A_{IND}$  – powierzchnia terenów przemysłowych [tys. m<sup>2</sup>];  
 $A_{HAN}$  – powierzchnia wielkopowierzchniowych obiektów handlowych [m<sup>2</sup>].

### 1.3. Rozkład przestrzenny

Drugi etap budowy modelu transportowego miasta polega na opracowaniu więzby podróży pomiędzy wszystkimi rejonami komunikacyjnymi bez podziału na środki transportu. W tym celu zastosowano metodę grawitacyjną wykorzystując edytor macierzy MUULI stanowiący dodatek do programu VISUM. Ponieważ badania zachowań komunikacyjnych obejmowały wyłącznie mieszkańców Gdyni, zastosowanie tej metody jest niemożliwe do przeprowadzenia rozkładu przestrzennego podróży zewnętrznych. W związku z tym macierze podróży wjazdowych i wyjazdowych z miasta wynikające z badań ankietowych zostały skalibrowane do istniejącego natężenia ruchu na punktach kordonowych za pomocą odpowiednich wskaźników. Danymi wejściowymi do modelu rozkładu przestrzennego są wyznaczone na poziomie pierwszego etapu potencjały ruchotwórcze rejonów określające ilości podróży wjazdowych i wyjazdowych we wszystkich motywacjach dla każdego z nich. Rozkład podróży pomiędzy poszczególne pary rejonów z zastosowaniem modelu grawitacyjnego wymaga określenia funkcji oporu przestrzeni, która uwzględnia czynnik czasu jako decydujący o wyborze celu podróży. W modelu Gdyni zastosowano funkcję potęgowo-wykładniczą postaci:

$$f(t_{ij}) = a \cdot t_{ij}^b \cdot e^{c \cdot t_{ij}} \quad (1)$$

gdzie:

$t_{ij}$  – czas podróży pomiędzy rejonami  $i$  oraz  $j$ ,  
 $a$ ,  $b$ ,  $c$  – parametry funkcji.

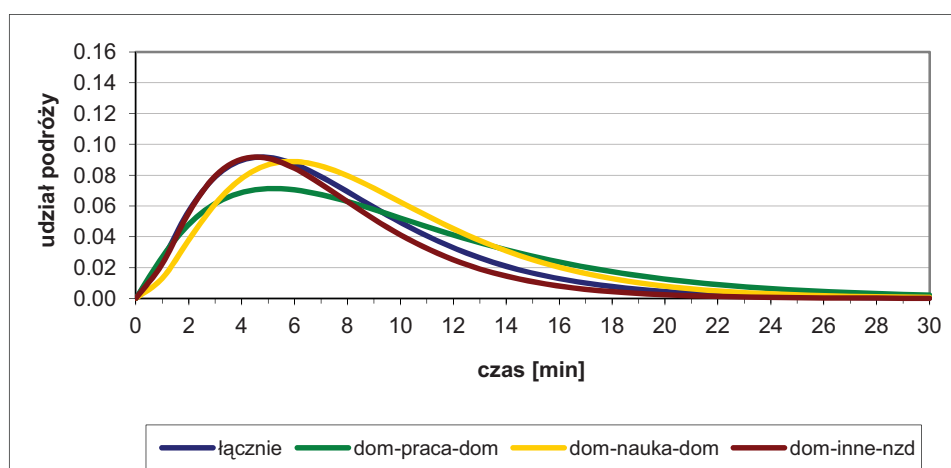
Funkcję oporu kalibruje się na podstawie udziałów podróży o określonym czasie trwania w ogólnej liczbie podróży realizowanych przez mieszkańców. W związku z tym pierwszym elementem kalibracji jest stworzenie szeregu rozdzielczego, przypisującego do założonych przedziałów czasowych liczby podróży wyznaczone na podstawie badań ankietowych. Ponieważ podczas badań zachowań komunikacyjnych mieszkańcy Gdyni nie deklarowali czasu trwania swoich podróży, co i tak zwykle obarczone jest dużym błędem, zdecydowano się na określenie długości ich trwania na podstawie modelu sieci transportowej. W tym celu wygenerowano macierz czasów podróży pomiędzy wszystkimi parami rejonów uwzględniając czas jazdy samochodem w sieci nieobciążonej ruchem. Dla każdej z założonych grup motywacji określono sumaryczną macierz O-D (źródło-cel) dla okresu doby i skonfrontowano z macierzą czasów podróży w sieci nieobciążonej. Dzięki temu możliwe było stworzenie szeregów określających udziały podróży o określonym czasie trwania z interwałem jednogodzinowym. Dysponując udziałami podróży o określonym czasie trwania

oraz wielkością potencjałów ruchotwórczych w rejonach właściwych dla danej motywacji, za pomocą programu MUULI skalibrowano parametry funkcji oporu przestrzeni dla trzech grup motywacyjnych. Postanowiono także uwzględnić sumaryczną macierz podróży bez podziału na motywacje. Uzyskane wyniki przedstawia Tab. 2. Krzywe oporu przestrzeni przedstawiono na Rys. 1.

**Tab. 2.** Kalibracja funkcji oporu przestrzeni w modelu podróży mieszkańców Gdyni

Grupa motywacji	a	b	c	Współczynnik korelacji $r$
dom – praca – dom	0,0336	1,161	-0,2235	0,96
dom – nauka – dom	0,0185	2,0433	-0,3487	0,96
dom – inne – dom, nie związane z domem	0,0343	1,926	-0,425	0,92
macierz sumaryczna	0,0359	1,6934	-0,3582	0,97

Źródło: opracowanie własne



**Rys. 1.** Krzywe oporu przestrzeni w modelu grawitacyjnym

Źródło: opracowanie własne

Analizy wskazują, że na wpływ czasu jako czynnika determinującego wybór celu podróży jest najmniejszy w motywacjach związanych z pracą. Jest to uzasadnione z tego powodu, że są to podróże obligatoryjne, gdzie pasażer nie ma wpływu na wybór alternatywnego celu podróży. Z drugiej strony, według krzywej funkcji dla motywacji dom – inne – dom i nie związane z domem, kryterium czasu ma największe znaczenie. Trudno bowiem wyobrazić sobie fakt, że udział dojazdów do centrum handlowego położonego np. w południowej części miasta będzie większy z rejonów północnych, niż tych sąsiadujących bezpośrednio z obiektem. Dysponując funkcjami oporu przestrzeni można przystąpić do kalibracji macierzy O-D w poszczególnych motywacjach. W tym celu również wykorzystuje się edytor MUULI stosując funkcję kalkulacji modelu grawitacyjnego. W podróżach związanych z pracą dominują połączenia ze Śródmieściem Gdyni. Jest to spowodowane nagromadzeniem miejsc pracy i usług w obszarze centralnym. Drugim ważnym ośrodkiem jest dzielnica Chylonia, w której koncentruje się ruch z dzielnic sąsiednich. Dość dużą rozbieżność celów podróży do pracy wykazują mieszkańcy południowych rejonów miasta. Należy jednak pamiętać, że w tych obszarach dużą część codziennych podróży stanowią podróże wyjazdowe w kierunku Gdańska lub Sopotu. Podróże do szkół lub uczelni stanowią zdecydowanie najmniejszy udział spośród analizowanych grup motywacji. Na uwagę zasługuje jednak koncentracja dużej

liczby podróży do Grabówka, gdzie znajduje się kilka szkół ponadgimnazjalnych oraz przede wszystkim Akademia Morska. Mieszkańcy dzielnic peryferyjnych często dojeżdżają do miejsc nauki do centrum miasta, gdzie znajduje się kilka szkół średnich oraz niektóre wydziały trójmiejskich uczelni wyższych. W grupie motywacji określonych jako „inne” zdecydowanie najwięcej podróży koncentruje się w Śródmieściu. Ma to związek z nagromadzeniem wszelkiego rodzaju usług w tej części miasta, a także obecnością obiektów rekreacyjnych i kulturalnych. Znaczne ilości podróży można zaobserwować także w rejonach, gdzie występują duże obiekty i centra handlowe, czyli np. w Orłowie, Chyloni, czy Grabówku.

#### 1.4. Podział zadań przewozowych

Zasadniczy cel budowy modelu podziału zadań przewozowych w symulacyjnym modelu podróży na potrzeby niniejszej pracy stanowi określenie wielkości zapotrzebowania mieszkańców Gdyni na przewozy środkami transportu zbiorowego. Dysponując skalibrowaną macierzą wszystkich podróży w obrębie miasta należy określić, jaki udział w ogólnej liczbie przemieszczeń w danej relacji mają podróże realizowane transportem zbiorowym. W tym celu zastosowano powszechnie wykorzystywany model matematyczny, który uzależnia preferencje transportowe mieszkańców od długości trwania podróży poszczególnymi środkami transportu. Pierwszym elementem podziału modalnego jest wydzielenie przemieszczeń pieszych z sumarycznej macierzy podróży. Ponieważ gdyńskie badania preferencji i zachowań komunikacyjnych mieszkańców nie obejmowały podróży realizowanych pieszo, nie było możliwości określenia funkcji wydzielenia podróży pieszych. W związku z tym, wykorzystano wzór opracowany na podstawie krakowskich kompleksowych badań ruchu przeprowadzonych w roku 2003 [5]. Na podstawie bazy danych podróży mieszkańców wyznaczono udziały wykorzystywanych środków transportu w poszczególnych parach rejonów komunikacyjnych. Otrzymane rezultaty skonfrontowano z macierzą ilorazów czasów podróży samochodem osobowym i postrzeganego czasu podróży komunikacją zbiorową wyznaczonych z modelu sieci transportowej miasta dla każdej pary rejonów. Postrzegany czas podróży wyznaczono na podstawie następującej zależności:

$$PJT = IVT + AT + ET + WT + OWT + TWT + 10 \cdot NT + 5 \cdot OC + IMP \quad (2)$$

gdzie:

- PJT* – postrzegany czas podróży [min],
- IVT* – czas jazdy środkiem transportu zbiorowego [min],
- AT* – czas dojścia do przystanku [min],
- ET* – czas odejścia z przystanku [min],
- WT* – czas przejścia odcinków pieszych [min],
- OWT* – czas oczekiwania na przystanku [min],
- TWT* – czas oczekiwania na przesiadkę [min],
- NT* – liczba przesiadek,
- OC* – liczba zmian operatora,
- IMP* – dodatkowy opór środka transportu [min].

Oczywiście, czas podróży samochodem w zdecydowanej większości przypadków jest mniejszy w porównaniu z transportem zbiorowym, co utrudnia estymację parametrów modelu. W celu zniwelowania tej różnicy, czas podróży transportem indywidualnym zwiększono o wartość czasów dojścia ze źródła i odejścia do celu, co uzyskano za pomocą odpowiednio zakodowanej sieci połączeń do rejonów. Na podstawie kalibracji współczynników funkcji logitowej otrzymano następujący wzór:

$$U_{TZ} = \frac{1}{1 + 1,634 \cdot e^{-0,765 \cdot x}} \quad (3)$$

gdzie:

$U_{TZ}$  – udział podróży realizowanych transportem zbiorowym;

$x$  – iloraz czasu podróży transportem indywidualnym i PJT dla transportu zbiorowego.

Zastosowanie powyższej formuły do rozdziału podróży pieszych pomiędzy poszczególne systemy transportu pozwoliło na określenie modelowanego udziału podróży transportem zbiorowym na poziomie 50% wszystkich przemieszczeń zmotoryzowanych, co odpowiada wynikom badań ankietowych podróży wewnętrznych gdynian.

### 1.5. Rozkład ruchu w sieci transportowej

Ostatni element budowy czterostopniowego modelu transportowego stanowi rozkład otrzymanych macierzy O-D na sieć transportową. W tym celu zastosowano odpowiednie procedury programu VISUM – equilibrium assignment dla transportu indywidualnego oraz timetable-based assignment dla transportu zbiorowego. Rozkład podróży na sieć jest także elementem pozwalającym ocenić użyteczność zbudowanego modelu i poprawność wykonania wszystkich jego etapów na podstawie konfrontacji wartości prognozowanych z pomiarowymi. Aby uzyskać wyniki rozkładu bardziej zbliżone do rzeczywistych, każdemu typowi odcinka w modelowanej sieci drogowej przypisano odpowiednią funkcję oporu. Zastosowanie funkcji oporu umożliwia wyznaczenie czasów przejazdu danego odcinka w modelu sieci obciążonej ruchem. Ma ona także znaczenie w wybranej procedurze równoważenia rozkładu ruchu, ponieważ na podstawie informacji o aktualnym czasie przejazdu poszczególnych fragmentów sieci ulicznej, kierowcy podejmują decyzję o wyborze trasy [3]. W modelu zastosowano funkcję BPR2 opisaną wzorem:

$$t_{cur} = t_0 \cdot (1 + a \cdot sat^b), \text{ gdy } sat \leq sat_{crit} \quad (4)$$

$$t_{cur} = t_0 \cdot (1 + a \cdot sat^{b'}), \text{ gdy } sat \geq sat_{crit} \quad (5)$$

w powyższych wzorach:

$$sat = \frac{q}{q_{max} \cdot c} \quad (6)$$

$$sat_{crit} = 1 \quad (7)$$

gdzie:

$t_{cur}$  – czas przejazdu odcinka w sieci obciążonej ruchem,

$t_0$  – czas przejazdu odcinka w ruchu swobodnym,

$q$  – natężenie ruchu na odcinku,

$q_{max}$  – przepustowość odcinka,

$a, b, b', c$  – parametry funkcji.

## 2. OCENA FUNKCJONOWANIA TRANSPORTU ZBIOROWEGO

### 2.1. Dostępność transportowa

Zasięg funkcjonowania transportu zbiorowego w Gdyni obejmuje zasadniczo obszar całego miasta. Każde z osiedli posiada dostęp do przynajmniej jednej linii. Najwięcej tras linii autobusowych i trolejbusowych przebiega wzdłuż głównych arterii Gdyni – ulicy Morskiej, Alei Zwycięstwa oraz ciągu ulic Wielkopolskiej i Chwaszczyńskiej. Dla obsługi północnej części miasta kluczowe znaczenie ma Estakada Kwiatkowskiego, którą przebiegają prawie wszystkie linie łączące dzielnice Pogórze, Obłuże i Oksywie z centralną częścią Gdyni. Jednym z wyznaczników dostępności transportu zbiorowego jest odległość do najbliższego



przystanku. W obrębie dzielnic Gdyni cechujących się dużą gęstością zaludnienia, odległości międzyprzystankowe wynoszą około 300 metrów, co umożliwia szybkie dotarcie do najbliższego przystanku źródłowego. Obszar śródmiejski charakteryzuje się bardzo dobrą dostępnością komunikacji miejskiej. W ciągu głównych ulic przebiegających przez centrum miasta – Świętojańskiej, Władysława IV i 10 Lutego zlokalizowanych jest wiele przystanków obsługiwanych przez linie autobusowe i trolejbusowe. Trasy większości linii przebiegających przez centrum Gdyni zbiegają się w rejonie węzła św. Maksymiliana, który pełni rolę bardzo ważnego węzła przesiadkowego. Na jego znaczenie wpływa również sąsiedztwo przystanku Szybkiej Kolei Miejskiej. Największe problemy związane z dostępnością komunikacji występują w rejonach, gdzie miejsca zamieszkania oddalone są od głównych ulic. Dotyczy to przede wszystkim zachodniej części dzielnicy Chwarzno-Wiczlino. Cechuje się ona szybkim dynamicznym wzrostem liczby ludności, który jednak nie jest powiązany z równomiernym rozwojem infrastruktury drogowej. Z tego względu, nie ma możliwości wytyczania nowych tras linii komunikacyjnych i lokalizacji przystanków. Ograniczona dostępność komunikacji miejskiej w rejonie Wiczlina znajduje swoje odzwierciedlenie w badaniach podróży, ponieważ mieszkańcy tego obszaru zdecydowanie preferują przejazdy transportem indywidualnym. Na ogólną dostępność komunikacyjną rejonów Gdyni wpływa także bliskość przystanków Szybkiej Kolei Miejskiej. Co prawda, ma ona marginalne znaczenie w przejazdach mieszkańców wewnątrz miasta, jednak ze względu na dużą ilość podróży do Gdańska i Sopotu, niewielka odległość od przystanków SKM znacznie poprawia jakość obsługi transportowej rejonów.

## 2.2. Analiza wskaźników obsługi

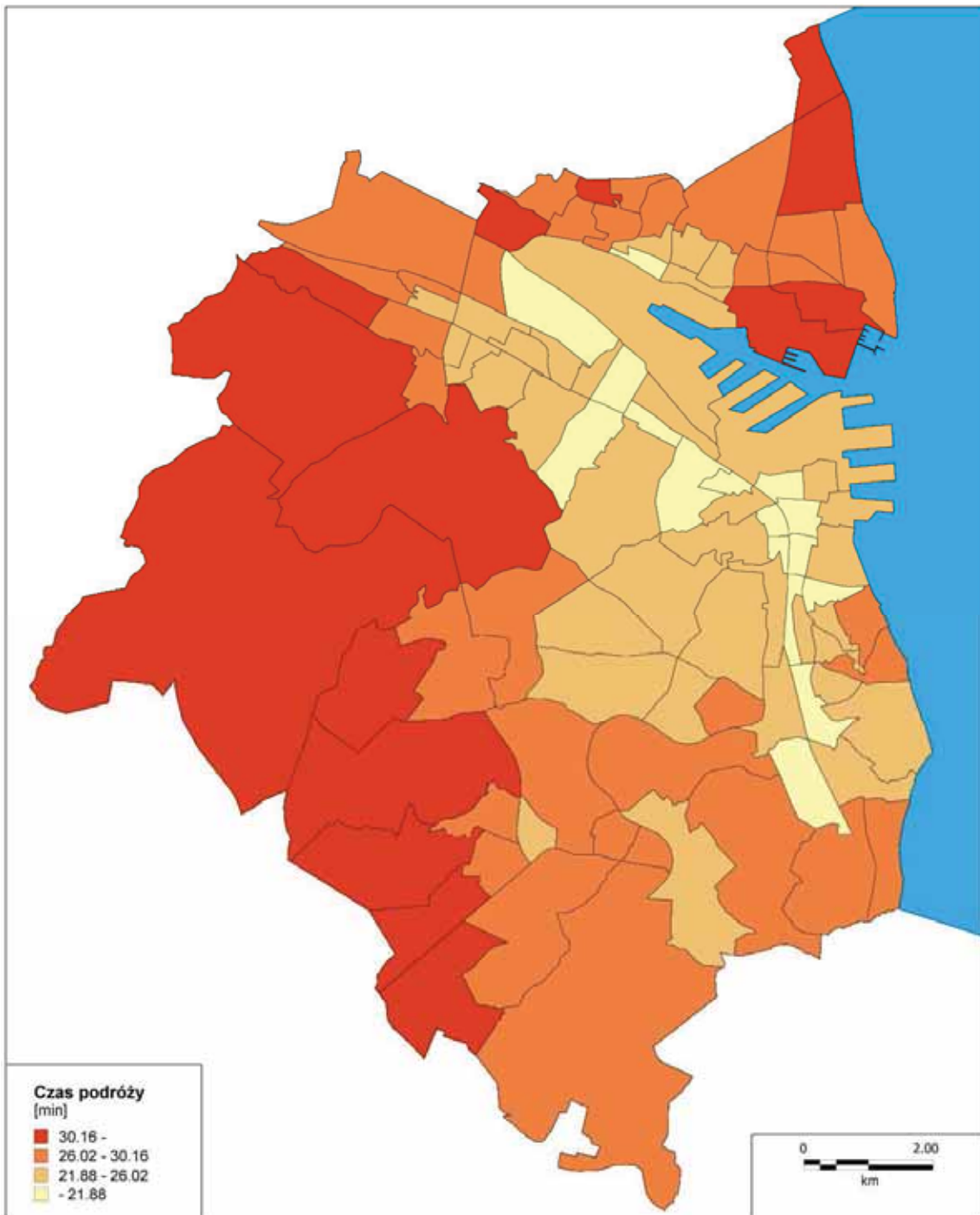
Zastosowanie programu VISUM do rozkładu podróży na sieć transportu zbiorowego umożliwia uzyskanie szeregu wskaźników określających jakość funkcjonowania systemu transportowego w poszczególnych rejonach. Dotyczą one przede wszystkim aspektów związanych z czasem trwania podróży i dostępnością środków transportu. Średnie wartości wskaźników są przyporządkowane do każdej pary rejonów komunikacyjnych i zestawione w postaci macierzy. Obliczenie średniej ważonej, gdzie wagi stanowią wielkości potoków pasażerów pomiędzy rejonami, pozwala na uzyskanie wartości danego wskaźnika na poziomie pojedynczego rejonu. Zbudowany model symulacyjny odwzorowuje podróże mieszkańców w Gdyni z podziałem na dwa okresy szczytowe. Prezentowane wskaźniki obsługi zostały obliczone z uwzględnieniem wielkości i charakterystyk podróży w obu szczytach. Znaczna część przemieszczeń realizowanych w godzinach popołudniowych jest bowiem przeciwieństwem relacji obserwowanych rano. Dzięki temu uzyskane wartości wskaźników w dobry sposób odwzorowują jakość transportu zbiorowego w poszczególnych częściach miasta, odnosząc się do przedziałów czasu zwiększonej ruchliwości mieszkańców. Wskaźniki zostały obliczone tylko dla relacji wewnątrz Gdyni. Jest to spowodowane faktem, że za pomocą modelu nie można określić dokładnego czasu długości podróży i jej cech poza granicami miasta. Wartości poszczególnych wskaźników w rejonach Gdyni można w prosty sposób zobrazować za pomocą kartogramów, umożliwiających szybką i czytelną prezentację poziomu danego zjawiska. Podział rejonów na grupy przeprowadzono za pomocą metod klasyfikacji jednocechowej. W większości przypadków zastosowano podział na cztery klasy w oparciu o klasyczne miary statystyczne. Granice przedziałów w tej metodzie wyznaczają średnia arytmetyczna minus odchylenie standardowe cechy, średnia, oraz średnia plus odchylenie. Jednym z badanych wskaźników jest czas podróży (*JRT*), na który składa się łączny czas upływający od rozpoczęcia podróży w rejonie źródłowym do osiągnięcia celu. Pasmowo-strefowy charakter zagospodarowania Gdyni powoduje, że znaczna część odbywanych przez mieszkańców podróży ma swój cel lub przebiega przez Śródmieście. W związku z tym, można zaobserwować zjawisko, że im większa jest odległość rejonu od centrum miasta, tym większy jest średni czas podróży z tego rejonu. Głównymi składowymi



czasu podróży są czas jazdy oraz łączny czas pokonania wszelkich odcinków pieszych na trasie. Z tego powodu, czas podróży będzie rósł w przypadku konieczności realizacji przejść pomiędzy różnymi przystankami lub przesiadek na linii o niewielkiej częstotliwości kursowania. Największe wartości wskaźnika czasu podróży wynoszące powyżej pół godziny odnotowano w rejonie Babich Dołów oraz całego obszaru tzw. Gdyni-Zachód. Wynika stąd wniosek, że mieszkańcy rejonów peryferyjnych Gdyni muszą poświęcać najwięcej czasu na realizację swoich potrzeb transportowych. Obszary, w których czas podróży jest najmniejszy, zlokalizowane są przede wszystkim wzdłuż głównej arterii Gdyni. Cechują się one dużą dostępnością przystanków i linii komunikacyjnych, co pozwala na możliwość wyboru optymalnych połączeń w danej relacji. Najmniejszy czas podróży zaobserwowano we wschodniej części Grabówka sąsiadującej bezpośrednio z głównym dworcem kolejowym, gdzie wyniósł on 16,5 minuty. Biorąc pod uwagę obszar całego miasta, średni czas podróży od źródła do celu w granicach Gdyni z wykorzystaniem transportu zbiorowego wynosi około 25 minut. Wartości wskaźnika w poszczególnych rejonach Gdyni przedstawiono na rys. 2.

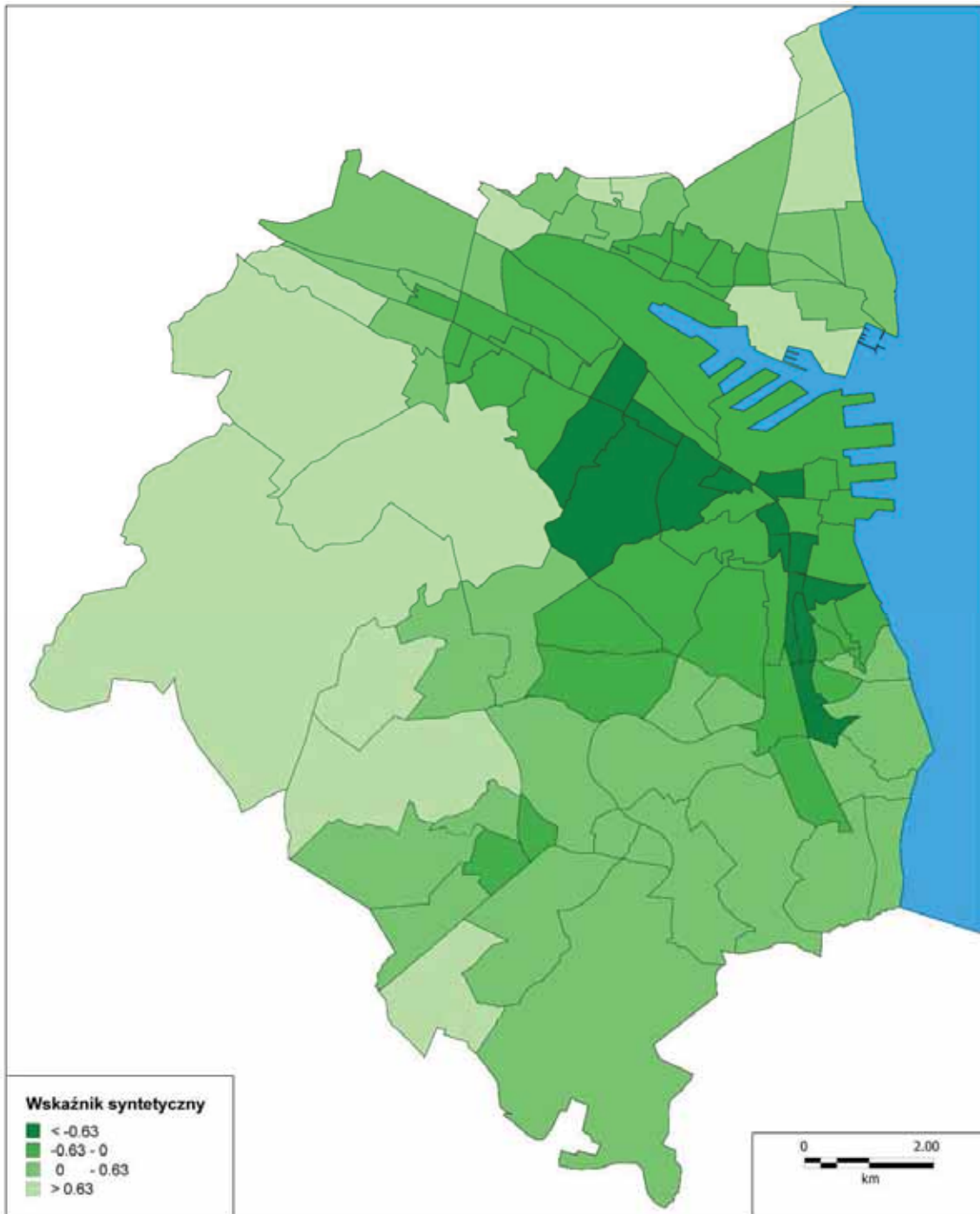
### **2.3. Ocena za pomocą miar syntetycznych**

W celu standaryzowanej oceny jakości funkcjonowania transportu zbiorowego w rejonach Gdyni posłużono się metodą wskaźnika syntetycznego. W konstrukcji wskaźnika wykorzystano miary jakości obsługi komunikacyjnej uzyskane za pomocą rozkładu podróży oraz dodatkowo wskaźniki czasu odejścia i liczby zmian operatora dla podróży rozpoczynających się w poszczególnych rejonach. Ponieważ wszystkie badane wskaźniki, z wyjątkiem średniej prędkości, są destymulantami, wartość tego ostatniego należy również zamienić na destymulantę. Ostateczną wartość wskaźnika, należy także interpretować jako destymulantę, tzn. im większa wartość wskaźnika, tym jakość obsługi rejonu transportem zbiorowym rejonu jest gorsza. Rejony pogrupowano w cztery klasy, zgodnie z zasadą stosowaną przy analizie poszczególnych wskaźników oceny. Wartości obliczonych wskaźników syntetycznych przedstawiono na rys. 3. Najlepsze funkcjonowanie transportu zbiorowego zaobserwowano w rejonach centralnych lub sąsiadujących z centrum miasta, przez które przebiega główna oś komunikacyjna Trójmiasta. Bardzo dobre warunki funkcjonowania komunikacji zbiorowej występują także w rejonie Grabówka i części Leszczynek. Niektórzy pasażerowie z tych dzielnic muszą pokonywać znaczne odległości, aby dostać się na właściwy przystanek, jednak mimo tego wykorzystują przede wszystkim bezpośrednie połączenia, które gwarantują im linie kursujące ulicą Morską. Należy też zwrócić uwagę na położenie tych rejonów w środkowej części miasta, co powoduje, że większość celów podróży znajduje się stosunkowo niedaleko. Najwyższe wartości wskaźnika syntetycznego, świadczące o uciążliwości podróżowania komunikacją miejską, można zaobserwować na osiedlach Babie Doły, Wiczlino, Pustki Cisowskie, Demptowo, Pogórze Górne oraz Oksywie Dolne. Czas podróży transportem zbiorowym z tych obszarów w przeważającej ilości przypadków przewyższa czas jazdy z wykorzystaniem samochodu osobowego. Dodatkowo, peryferyjne położenie rejonów powoduje, że pasażerowie muszą często dokonywać przesiadek, co stanowi dla nich istotną niedogodność.



**Rys. 2.** Średni czas podróży z rejonów komunikacyjnych Gdyni

**Źródło:** opracowanie własne



**Rys. 3.** Kartogram wskaźników syntetycznych obsługi transportem zbiorowym w rejonach komunikacyjnych Gdyni.

**Źródło:** opracowanie własne

## PODSUMOWANIE

Metodą, która może znaleźć zastosowanie w systemie kontroli funkcjonowania komunikacji miejskiej jest wykorzystanie symulacyjnych modeli ruchu. Przy odpowiednim wykorzystaniu informacji dotyczących charakterystyki funkcjonowania systemu transportu w mieście możliwe jest szacowanie wskaźników dotyczących obsługi pasażerów komunikacją miejską, dzięki czemu można oceniać efektywność planowanych zmian w systemach transportu miejskiego. Zaawansowane modelowanie ruchu w kontekście transportu

zbiorowego umożliwiła precyzyjne określenie wykorzystania zdolności przewozowej w danych warunkach, a także efektywność ekonomiczną funkcjonowania komunikacji miejskiej w zależności od aktualnego popytu i podaży transportowej. Dokładne odwzorowanie sieci miejskiego transportu zbiorowego w programach symulacyjnych ułatwia możliwości kształtowania optymalnych tras linii komunikacyjnych wraz ze skoordynowanymi rozkładami jazdy. Można się spodziewać, że badania komunikacji miejskiej prowadzone za pomocą modeli symulacyjnych będą stawać się coraz bardziej popularne i wpłyną znacząco na poprawę jakości systemów transportu publicznego w miastach.

## BIBLIOGRAFIA

1. Podoski J.: *Transport w miastach*. WKiŁ, Warszawa 1977.
2. Szarata A.: *Kalibracja i weryfikacja wyników KBR narzędziami symulacyjnymi*. Zeszyty Naukowo-Techniczne Stowarzyszenia Inżynierów Komunikacji Rzeczpospolitej Polskiej, Seria: Materiały Konferencyjne Nr 93 (Zeszyt 152), Kraków 2010.
3. *Visum 10.0. Podręcznik użytkownika*, PTV Vision, Karlsruhe 2007.
4. Stanisław A.: *Wypadki Przystępny kurs statystyki z zastosowaniem STATISTICA PL na przykładach medycyny*. StatSoft Polska, Kraków 2003.
5. Szarata A.: *Prognozowanie podróży Park & Ride metodą modelowania*. Transport Miejski i Regionalny, 7-8/2007, s. 11-16.

## ASSESSMENT OF PUBLIC TRANSPORT SYSTEM OPERATING IN GDYNIA USING THE VISUM SOFTWARE

### *Abstract*

*Paper presents an assessment of public transport in Gdynia. The criteria for evaluation of public transport system was selected on the basis of the literature in terms of functionality and organization of public transport in the cities and the results of marketing research. The paper presents the factors that affect the quality of public transport in terms of passenger and methods that allow to improve this quality. The diagnostic variables for the analysis of public transport service factors were obtained as a result of the simulation model. Classification of variables was performed using spatial analysis methods used in the planning of local and regional development. Visualization of results is presented in the form of cartograms, enabling rapid identification of areas in which it is desirable to improve the efficiency of public transport..*

### **Autorzy:**

**dr inż. Jacek OSKARBSKI** – Politechnika Gdańska

**mgr inż. Michał MISZEWSKI** – Zarząd Dróg i Zieleni w Gdyni