

**ZESZYTY NAUKOWO-TECHNICZNE
STOWARZYSZENIA INŻYNIERÓW I TECHNIKÓW KOMUNIKACJI
RZECZPOSPOLITEJ POLSKIEJ
ODDZIAŁ W KRAKOWIE
seria: MATERIAŁY KONFERENCYJNE
Nr 90
(Zeszyt 148)**

**RESEARCH AND TECHNICAL PAPERS
OF POLISH ASSOCIATION FOR TRANSPORTATION ENGINEERS
IN CRACOW
series: PROCEEDINGS
No 90
(vol. 148)**

MODELOWANIE PODRÓŻY I PROGNOZOWANIE RUCHU

TRAVEL MODELLING AND TRAFFIC FORECASTING

Kraków 2009

REDAKTOR NACZELNY ZESZYTÓW

Jolanta Żurowska

SEKRETARZ REDAKCJI

Danuta Schwertner

REDAKTOR TECHNICZNY ZESZYTU 148

Jolanta Żurowska

Wszystkie artykuły podlegały procedurze recenzowania

RECENZENCI

prof. dr hab. inż. Andrzej Rudnicki

dr inż. Marek Bauer

dr inż. Wiesław Dźwigoń

dr inż. Andrzej Szarata

dr inż. Jolanta Żurowska

TLUMACZENIE STRESZCZEŃ

Zofia Bryniarska – język angielski

Andrzej Chyba – język niemiecki

ISSN 1231- 9155

ORGANIZATORZY KONFERENCJI

- Stowarzyszenie Inżynierów i Techników Komunikacji Rzeczpospolitej Polskiej Oddział w Krakowie
- Politechnika Krakowska, Wydział Inżynierii Lądowej, Instytut Inżynierii Drogo-wej i Kolejowej, Katedra Systemów Komunikacyjnych

PROTEKTORAT HONOROWY

prof. dr hab. inż. Kazimierz Furtak - JM Rektor Politechniki Krakowskiej
dr hab. inż. Wiesław Starowicz, prof. PK - Zastępca Prezydenta M. Krakowa

KOMITET PROGRAMOWY I NAUKOWY

Przewodniczący	prof. dr hab. inż. Andrzej Rudnicki – Politechnika Krakowska
Wiceprzewodniczący	prof. dr inż. Wojciech Suchorzewski – Politechnika Warszawska
Sekretarz naukowy	dr inż. Andrzej Szarata – Politechnika Krakowska
Członkowie	prof. dr inż. Jurgen Beyer – wiceprezes PTV Vision Professional Service
	prof. dr hab. inż. Ryszard Krystek – Politechnika Gdańska
	prof. dr hab. inż. Tomasz Szczuraszek – Uniwersytet Technologiczno – Przyrodniczy
	prof. dr hab. inż. arch. Tadeusz Zipser – Politechnika Wrocławska
	dr inż. Janusz Bohatkiewicz – EKKOM, Kraków
	dr inż. Andrzej Brzeziński – Politechnika Warszawska
	dr inż. Andrzej Krych – Politechnika Poznańska
	dr inż. Andrzej Zalewski – Politechnika Łódzka
	dr inż. Jolanta Żurowska – Politechnika Krakowska
	mgr inż. Jan Friedberg – niezależny konsultant
	mgr inż. Jan Gregorowicz – INKOM, Katowice
	mgr inż. Waclaw Jastrzębski – Scott Wilson

KOMITET ORGANIZACYJNY

Przewodniczący	Mariusz Szałkowski
Wiceprzewodniczący	Marek Bauer
Członkowie	Anna Bujak
	Grzegorz Dyrkacz
	Łukasz Franek
	Danuta Schwertner

PATRONAT MEDIALNY



SPONSORZY KONFERENCJI 2009

Złoty Sponsor Konferencji

„Projektowanie i zarządzanie drogami - zasady, dobre praktyki, efektywność”

Przedsiębiorstwo Produkcyjno-Usługowo-Handlowe

PROWERK Sp. z o.o.

Złoty Sponsor Konferencji

„Projektowanie i zarządzanie drogami - zasady, dobre praktyki, efektywność”

TM-VIA Sp. z o.o. Kraków

SPIS TREŚCI

ARTYKUŁY	7
Anna Bagnowska, Tomasz Kaczor Ocena oddziaływania inwestycji na system transportowy.....	9
Marek Bauer Wybór linii komunikacji zbiorowej w podróżach.....	19
Janusz Bohatkiewicz, Mariusz Dudek Wpływ prognozowania ruchu na analizy środowiskowe w drogownictwie.....	37
Tomasz Dybicz Modelowanie i symulacje ruchu, rys historyczny i aktualnie stosowane oprogramowanie	57
Tomasz Dybicz Wpływ lokalnych ograniczeń przepustowości na rozkład ruchu.....	75
Aleksandra Faron Wpływ instrumentów planistycznych na wielkość prognozowanego ruchu	91
Jan Friedberg Wykorzystanie analiz i prognoz ruchu w analizie marketingowej projektów transportowych.....	107
Andrzej Krych Modelowanie i symulacja ruchu tramwajów w projektach ITS	119
Rafał Kucharski Metoda detekcji Cellular Floating Data - możliwości i perspektywy.....	143
Tomasz Kulpa Transport ładunków – klasyfikacja i przegląd modeli podróży	155
Katarzyna Nosal Wpływ planów mobilności na zmianę zachowań komunikacyjnych	177
Andrzej Rudnicki, Iwona Wojnar Ruchotwórczość obiektów hotelowych na przykładzie Krakowa	197
Aleksander Sobota, Grzegorz Karoń Postrzeganie warunków ruchu miejskiego – płynność ruchu – wyniki badań ankietowych.....	215
Andrzej Szarata O celowości zastosowania wnioskowania rozmytego w modelowaniu zachowań komunikacyjnych.....	235
Mariusz Szubra, Małgorzata Broda Znaczenie prognoz ruchu w procesie oceny efektywności projektów transportowych.....	251
Andrzej Zalewski Modele ruchu rowerowego w miastach i aglomeracjach.....	263
Andrzej Żurkowski Modelowanie wyboru środka transportu w korytarzu transportowym	277
KOMUNIKATY	305
Mariusz Szubra Wariant bezinwestycyjny (wb) w studiach wykonalności projektów transportowych - przyczynek do dyskusji	307
INFORMACJE FIRM, PRZEDSIĘBIORSTW I ORGANIZACJI	311

Anna Bagnowska¹

Tomasz Kaczor²

OCENA ODDZIAŁYWANIA INWESTYCJI NA SYSTEM TRANSPORTOWY

Streszczenie

Artykuł prezentuje proponowaną procedurę oceny oddziaływania na system transportowy nowych obiektów kubaturowych. W warunkach krajowych podobne oceny prowadzi się często dla dużych inwestycji, lecz przyjęta procedura analizy zależy od autora. Wobec braku zasad przeprowadzenia tego typu oceny, autor przedstawia przykład Bahrajnu, gdzie odpowiednie instrukcje wymagają przeprowadzenia takich analiz oraz precyzują ich wartość.

Słowa kluczowe: efektywność funkcjonalna, wskaźniki generacji ruchu

1. Wstęp

Prognozowanie i modelowanie ruchu znajduje w Polsce zastosowanie głównie przy sporządzaniu studiów wykonalności przedsięwzięć, analiz efektywności ekonomicznej, raportów oddziaływania inwestycji na środowisko oraz przy projektowaniu inwestycji infrastrukturalnych w transporcie. Natomiast wciąż nie docenia się roli, jaką powinny odgrywać analizy oddziaływania inwestycji kubaturowych na system transportowy (TIA – ang.: Transport Impact Assessment), oceniające jak oddanie do użytkowania danego obiektu wpłynie na funk-

¹ mgr inż., Scott Wilson Ltd, Euro Tower, Office 31, Building 485, Road 1010 Sanabis 410, Kingdom of Bahrain, tel. +973 1755 6634, e-mail: anna.bagnowska@scottwilson.bh

² mgr inż., Scott Wilson Sp. z o.o., 02-516 Warszawa, ul. Rejtana 17, tel. (22) 427 37 00 wewn. 222, e-mail: tomasz.kaczor@scottwilson.com

cjonowanie układu drogowo-ulicznego i komunikacji zbiorowej w jego otoczeniu oraz jak łagodzić jego skutki.

Jeżeli spojrzeć się na wcześniej wymienione powszechnie znane zastosowania modelowania ruchu, to zasady postępowania są określone przepisami instrukcjami lub wytycznymi (np. Niebieska Księga dla projektów drogowych Programu Infrastruktura i Środowisko). Oczywiście są wykonywane analizy oddziaływania inwestycji dla nowo otwieranych centrów handlowych (np. Manufaktura w Łodzi, Arkadia w Warszawie), jednak jak do tej pory nie zostało ustalone jaką formę i co powinien zawierać TIA. Stąd próba przybliżenia tego zagadnienia na przykładzie Bahrajnu, gdzie TIA jest wymaganym dokumentem, w którym zakres analiz został szczegółowo określony.

2. Cel TIA

TIA ma na celu odpowiedzieć z jednej strony potencjalnemu inwestorowi lub/i użytkownikowi jak analizowana inwestycja wpłynie na sytuację ruchową w jej pobliżu. Czyli powinna określić czy istniejąca i planowana w najbliższym czasie infrastruktura transportowa będzie wystarczająca do obsługi ruchu generowanego przez dany obiekt i jego otoczenie, a w szczególności - czy w ogóle da się dojechać do planowanej inwestycji. Z punktu widzenia potencjalnego nabywcy mieszkania lub najemcy powierzchni biurowej są to istotne informacje mogące wpłynąć na dokonanie wyboru. TIA powinna również ustalać niezbędną liczbę i lokalizację punktów powiązania inwestycji z istniejącym układem drogowo-ulicznym oraz określać jakie działania powinny zostać podjęte w celu ograniczenia strat czasu użytkowników i łagodzenia zatłoczenia w sieci drogowej.

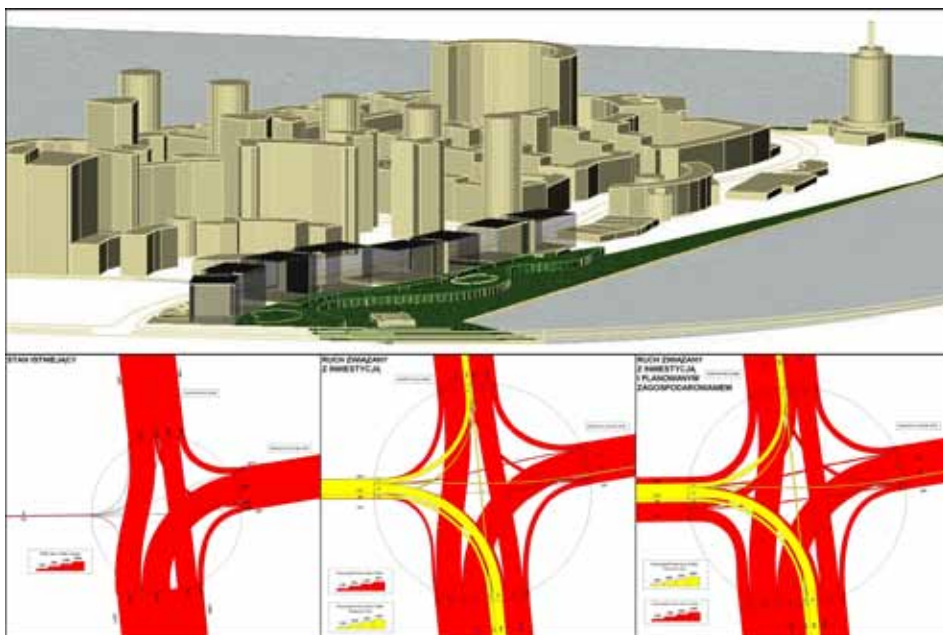
TIA powinno również ustalać wymagania odnośnie liczby planowanych miejsc parkingowych, a także sposób zapewnienia bezpieczeństwa wszystkim uczestnikom ruchu w otoczeniu inwestycji jak i na jej terenie.

Natomiast z drugiej strony - administratorowi infrastruktury umożliwi planowanie i zarządzanie przestrzenią miejską, pozwalając w sposób bardziej racjonalny zarządzać wydatkami na planowanie i projektowanie oraz budowę i utrzymanie infrastruktury transportowej. Mając wgląd we wszystkie zgłoszone inwestycje, zarządca infra-

struktury dysponuje przesłankami do ograniczenia programu inwestycyjnego w danym obszarze, jeśli okaże się, że nie ma racjonalnego rozwiązania dla obsługi analizowanego terenu.

TIA powinno także dać informację czy i na ile dana inwestycja skomplikuje sytuację ruchową w analizowanym obszarze i dostarczyć argumentów do negocjacji z inwestorem kwestię współfinansowania ewentualnych usprawnień mających na celu łagodzenie negatywnego wpływu inwestycji na układ drogowo-uliczny jak i zapewnienie wysokiego standardu dostępu do planowanej inwestycji oraz określenia ich kosztów, w których deweloper powinien uczestniczyć.

Na rys.1 przedstawiono przykładowy wpływ planowanej inwestycji drogowej oraz przyległego projektowanego zagospodarowania na natężenia ruchu kołowego.



Rys. 1. Natężenia pojazdów w godzinie szczytu bez i z nowoplanowanym zagospodarowaniem

Sumaryczny ruch na skrzyżowaniu wzrasta o 66%, a natężenie ruchu na wlocie wschodnim osiąga wartość przeszło 1400 poj./h, gdy w stanie istniejącym wynosił zaledwie 30 poj./h. Ponieważ zachodni wlot na skrzyżowanie przy istniejącym stałoczasowym programie sygnalizacji osiągał poziom swobody ruchu (PSR E), oczywistym jest, że skrzyżowanie to nie mogło przenieść dodatkowego prognozowanego

ruchu (osiągnięty został PSR F, a średnie straty na pojazd wyniosły ponad 130 s.).

3. Kiedy TIA

Bazując na wzorcach brytyjskich (standardy Institution of Highways and Transportation) Dyrekcja Planowania i Projektowania Drogowego (The Roads Planning and Design Directorate - RPDD) w Bahrajnie określa kiedy TIA jest obowiązkowy. Dotyczy to wszystkich istotnych inwestycji dla których ruch z i do inwestycji przekracza 5% natężenia pojazdów na przylegającej sieci drogowo-ulicznej w okresie analizy wynoszącym zasadniczo 20 lat, a także w sytuacji gdy już występuje zatłoczenie w danym obszarze oraz w innych szczególnych przypadkach.

Dla projektów w mniejszej skali nie mających znaczącego wpływu na system transportowy jako taki, a tylko oddziałujących lokalnie na ruch drogowy może być wymagana okrojona analiza tzw. TIS (Traffic Impact Statement) skupiająca się na określeniu punktów powiązań z siecią transportową oraz na wewnętrznym układzie drogowym.

Takie podejście można porównać do Ustawy (Prawo ochrony środowiska) określającej: rodzaje przedsięwzięć mogących znacząco oddziaływać na środowisko, wymagających sporządzenia raportu o oddziaływaniu na środowisko; rodzaje przedsięwzięć, dla których obowiązek sporządzenia raportu o oddziaływaniu na środowisko może być wymagany; przypadki, w jakich zmiany dokonywane w obiektach są kwalifikowane jako przedsięwzięcia mogące znacząco oddziaływać na środowisko oraz szczegółowe uwarunkowania związane z kwalifikowaniem przedsięwzięcia do sporządzenia raportu o oddziaływaniu na środowisko.

Dodatkowo w procesie zatwierdzania TIA zaangażowane są: Ministry of Works (MOW), Ministry of Municipalities and Agriculture (MOMA) and Urban Planning Affairs.

4. Co powinien zawierać TIA

Bazując na standardach brytyjskich został w Bahrajnie stworzony ramowy kształt TIA, tak jak to np. ma miejsce w przypadku Progra-

mów Operacyjnych w Polsce, gdzie określono szczegółowe wytyczne odnośnie studiów wykonalności. Przykładowy TIA powinien swoim zakresem obejmować:

- Opis otoczenia projektu wskazujący lokalizację projektu w powiązaniu z istniejącym układem drogowo-ulicznym oraz zagospodarowaniem terenu w otoczeniu projektu. Punkt ten powinien odnieść się do istniejących natężeń ruchu oraz wskazania krytycznych odcinków sieci i skrzyżowań, na które dana inwestycja może wpłynąć.



Rys. 2. Przykładowa lokalizacja inwestycji, w powiązaniu z istniejącą siecią uliczną

- Opis inwestycji zawierający szczegółowe dane dotyczące planowanej powierzchni i charakteru jej użytkowania oraz punktów powiązania z istniejącą siecią.

Tabela 1. Przykładowe dane dotyczące planowanej inwestycji

Typ jednostki	Powierzchnia [m ²]	Powierzchnia jednostki	Liczba jednostek
MIESZKANIA DO WYNAJĘCIA	13,512.35	-	221
Studio (garsoniera)		40.00	157
Mieszkanie z 1 sypialnią		85.00	35
Mieszkanie z 2 sypialniami		127.00	29
MIESZKANIA NA SPRZEDAŻ	33,773.97	-	313
Mieszkanie z 1 sypialnią		80.00	162
Mieszkanie z 2 sypialniami – typ A		116.00	108
Mieszkanie z 2 sypialniami – typ B		137.00	33
Penthouse (luksusowy apartament na ostatnim piętrze)		196.00	10
OBIEKTY HANDLOWE	8,819.84	-	-
RESTAURACJE	6,371.18	-	-

- Generację ruchu obejmującą opis metodologii oraz wyznaczenie szczytowych natężeń ruchu związanych z planowaną inwestycją.

Tablica 2. Przykładowa generacja ruchu [w poj./h] w okresach szczytowych

Jednostka	SZCZYT PORANNY			PORA LUNCHU			SZCZYT POPOŁUDNIOWY		
Mieszkania	48	181	230	104	88	192	119	73	192
Restauracje	0	0	0	55	65	120	114	86	199
Handel	41	23	64	107	88	195	120	90	210
Suma	89	204	293	266	241	508	353	249	602

- Opis przyjętej metodologii modelowania ruchu obejmujący: określenie przedziałów doby, dla których zostanie wykonana analiza (np. 7.30 ÷ 8.30, 13.00 ÷ 14.00, 16.30 ÷ 17.30); rozkład przestrzenny ruchu oraz sprawdzanych wariantów przebudowy infrastruktury.
- Analizę warunków ruchu obejmującą wyznaczenie strat czasu użytkowników oraz poziomów swobody ruchu dla rozpatrywanych wariantów przebudowy infrastruktury drogowej.

**Rys. 3. Analizowane warianty organizacji ruchu na skrzyżowaniu**

Tabela 3. Przykładowe porównanie wyników poziomu swobody ruchu (PSR) dla analizowanych wariantów skrzyżowania

Wariant	Straty czasu (s)	Natężenie ruchu [P/h]	PSR
1	55.9	3687	E
2	49.1	3490	D
3	31.4	3497	C

- Analizę wewnętrznego układu drogowego pod kątem zgodności z obowiązującymi przepisami (np. oznakowanie poziome, warunki widoczności BRD), obejmującą również sprawdzenie dostępności obiektu dla pieszych, osób niepełnosprawnych pojazdów uprzywilejowanych, dojeżdż do przystanków komunikacji zbiorowej.
- Określenie strategii parkingowej dla inwestycji, obejmującej liczbę i rozmieszczenie miejsc parkingowych oraz sprawdzenie przepustowości korytarzy ruchu.

Tabela 4. Przykładowe zestawienie wymaganej liczby miejsc parkingowych

Rodzaj obiektu	Powierzchnia brutto [m ²]	Liczba miejsc parkingowych			
		dla mieszkańców/użytkowników	dla gości	Razem	dla dostaw (50% miejsc dla sam. ciężarowych)
Hotele	24 416	182		182	12
Biura	10 532	256		256	4
Mieszkania	52 959	134	10	144	2
Suma		572	10	582	18

- Rekomendacje wynikające z przeprowadzonej analizy.

5. Niezbędne dane

Podstawą do wykonania TIA są uzyskanie w wyniku przeprowadzonych badań ankietowych gospodarstw domowych informacje o zachowaniach komunikacyjnych mieszkańców oraz dane o wielkościach natężenia ruchu pojazdów i potokach pasażerskich w komunikacji zbiorowej. Dodatkowo, w zależności od charakteru planowanej inwestycji niezbędne jest określenie wskaźników, na podstawie których będzie możliwe wyznaczenie generacji ruchu dla konkretnego obiektu. Przykładem może być Instrukcja obliczania generacji ruchu dla Dubaju (Dubai Municipality's Trip Generation and Parking Rates Manual), w której podano wskaźniki generacji dla przeszło 40 rodzajów budyn-

ków o różnym przeznaczeniu i położeniu względem obszaru centralnego – w odniesieniu np. do całkowitej powierzchni brutto budynku. W przypadku braku takich danych niezbędne jest wykonanie badań dla istniejącego obiektu o podobnej funkcji i w podobnej lokalizacji. Przykładem mogą być badania ankietowe osób odwiedzających wielkopowierzchniowe obiekty handlowe.

Tablica 4. Przykładowe źródła danych dla generacji ruchu

Parametr	Wartość	Jednostka	Źródło
Liczba m ² powierzchni przypadającej na jednego pracownika w budynkach biurowych	15	m ²	Na podstawie innych projektów o podobnym charakterze
Średnia liczba gości przypadająca na jednego pracownika	0,05	-	Szacunkowe dane na podstawie rejestru gości w budynku biurowym
Średnia powierzchnia mieszkania	50	m ²	Dane z pracowni architektonicznej
Średnia liczebność rodziny	3	-	Na podstawie KBR 2000 w Poznaniu ³
Średnia ruchliwość mieszkańca w podróżach z domu	0,908	-	Na podstawie KBR 2000 w Poznaniu
Średnia powierzchnia pokoju hotelowego	30	m ²	Dane z pracowni architektonicznej
Średnia liczba klientów centrum handlowego przypadających na jeden m ² powierzchni	0,29	osób	Na podstawie badań w centrach handlowych na Franowie w Poznaniu ⁴
Liczba miejsc w kinie	2800	szt.	Dane z pracowni architektonicznej
Średnia liczba seansów w dniu roboczym przypadająca na jedną salę kinową	6	szt.	Szacunkowe dane dla kina z wieloma salami
Procent wykorzystania miejsc w kinie w dzień roboczy	6	%	Szacunkowe dane dla kina z wieloma salami

6. Podsumowanie

Patrząc na przykład Bahrajnu wydaje się słuszne, aby także w Polsce określić rodzaje inwestycji, dla których konieczne będzie sporządzenie raportu oddziaływania inwestycji na system transportowy. Istotne jest również określenie wytycznych, co taki raport powinien obejmować, aby ujednoczyć sposób jego przygotowywania. Równie ważnym jest stworzenie reguł wyliczania generacji ruchu w zależności od przeznaczenia obiektu i jej lokalizacji względem centrum miasta, tak jak to zostało zrobione np. w Dubaju. Dubai Municipality's Trip

3 Kompleksowe Badania Ruchu Poznań 2000, Bit s.c.

4 Thiem J.: Generacja ruchu przez wielkopowierzchniowe obiekty handlowe – badania ankietowe klientów w marketach poznańskich. Materiały konferencyjne z VI konferencji naukowo-technicznej z cyklu: Problemy komunikacyjne miast w warunkach zatłoczenia motoryzacyjnego, Poznań 2007.

Generation and Parking Rates Manual zawierają równania regresji do wyliczania generacji ruchu, których przytoczenie w niniejszym referacie nie było fizycznie możliwe – opis liczy kilkaset stron). Dlatego przy wykonywaniu kompleksowych badań ruchu należałoby (poza ankietowaniem gospodarstw domowych) przeprowadzić badania ankietowe wśród pracowników/użytkowników obiektów o różnej funkcji. Przykładem takich badań są badania zaplanowane we Wrocławiu, gdzie ankietowani będą klienci wybranych centrów handlowych. Jeśli nie wypracuje się dobrych praktyk w tej dziedzinie, to narastać będą problemy wywołane pojawieniem się nowych dużych generatorów ruchu w centrach miast, bez dostosowania otaczającego je systemu transportowego.

ASSESSMENT OF INVESTMENT IMPACT ON TRANSPORT SYSTEM

Summary

The procedure for assessment of new engineering objects impact on transport system has been presented in the paper. In our conditions such assessments are often run for large scale investments, but the undertaken procedure of analysis depends on the author. There are nothing rules for assessment execution and the author has presented the case of Bahrain, where the adequate instructions require the analysis and define their content.

Keywords: functional efficiency, traffic generation indicator

BEURTEILUNG DER EINWIRKUNG VON INVESTITIONEN AUF DAS VERKEHRSSYSTEM

Zusammenfassung

Der Vortrag präsentiert die vorgeschlagene Beurteilungsprozedur der Einwirkung von neuen Raumobjekten auf das Verkehrssystem. In den Landbedingungen werden ähnliche Analysen oft für die großen Investitionen durchgeführt, aber die Prozedur der Analyse hängt vom Verfasser ab. Wegen des Mangels von Grundsätzen für die Durchführung solcher Beurteilung stellt der

Verfasser ein Beispiel aus Bahrain, wo die entsprechenden Instruktionen die Ausführung solcher Analysen erfordern und ihr Inhalt bestimmen, dar.

Die Schlüsselwörter: *die funktionelle Wirksamkeit, die Kennziffer der Betriebsgeneration*

Marek Bauer¹

WYBÓR LINII KOMUNIKACJI ZBIOROWEJ W PODRÓŻACH

Streszczenie

W artykule zarysowano problem decyzji podejmowanych przez pasażerów, związanych z wyborem linii komunikacji zbiorowej w podróży. Jest to drugi etap decyzji o wyborze środka transportu, podejmowanej w momencie, gdy podróżny już zdecydował się na skorzystanie z komunikacji zbiorowej. Musi wówczas podjąć decyzję o wyborze środka komunikacji zbiorowej (tramwaj, autobus, trolejbus, metro, kolej) oraz konkretnej linii. W referacie zaprezentowano zbiór kryteriów wyboru linii, branych pod uwagę przez pasażera. W oparciu o wyniki eksperymentu komunikacyjnego, przedstawiono analizę zdolności identyfikowania możliwych połączeń zarówno podczas odbywania podróży z mało istotnym czasem osiągnięcia celu, jak również podróży realizowanych pod presją czasu.

Słowa kluczowe: komunikacja zbiorowa, planowanie linii komunikacji zbiorowej, problemy decyzyjne w transporcie

1. Decyzje komunikacyjne pasażerów

Podział zadań przewozowych jest niezwykle istotnym elementem modelu cztero-stadiowego, służącego do planowania układów komunikacyjnych miast. Właściwe odwzorowanie rzeczywistej ilości podróży odbywanych różnymi środkami transportu jest kluczowe dla modelu komunikacyjnego, wykonywanego w każdej skali. Jednak najczęściej w modelowaniu podziału zadań przewozowych przyjmowany jest jedy-

¹ dr inż., Katedra Systemów Komunikacyjnych, Politechnika Krakowska, mbauer@pk.edu.pl

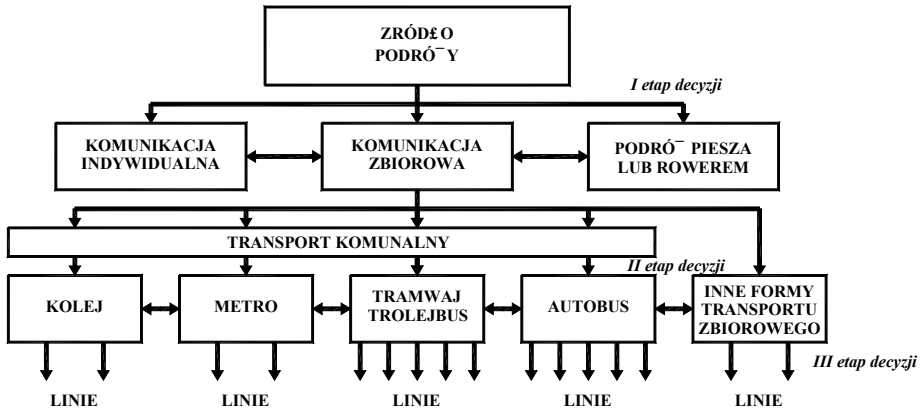
nie rozdział na podróże nie piesze, odbywane komunikacją indywidualną bądź zbiorową, który tak naprawdę jest dopiero I etapem wyboru środka transportu, choć w przypadku wyboru komunikacji indywidualnej – zazwyczaj zarazem ostatnim (za wyjątkiem podróży w systemie Parkuj i Jedź). Dla wielu ogólnych zastosowań jest to zakres w pełni wystarczający, jednak dla określenia sensowności i efektywności wdrażanych inwestycji z zakresu komunikacji zbiorowej, wydaje się konieczne uwzględnienie również liczby podróży odbywanych poszczególnymi środkami komunikacji zbiorowej, najlepiej z rozbiciem na konkretne linie. Umożliwi to na przykład zbadanie czy budowa linii metra będzie rozwiązaniem bardziej efektywnym niż rozbudowa sieci tramwaju szybkiego, lub na poziomie bardziej szczegółowym – rozstrzygnięcie który wariant przebiegu trasy będzie się charakteryzował najwyższymi wskaźnikami jej wykorzystania. Takie możliwości oceny stwarzają niektóre programy symulacyjne (np. Visum), niemniej kalibracja tak uszczegółowionego modelu transportowego miasta jest trudna do wykonania (niekiedy niemożliwa), bez znajomości zachowań komunikacyjnych pasażerów.

Poziom tej wiedzy ma kluczowe znaczenie również w przypadku optymalizacji sieci komunikacji zbiorowej pod względem m.in. czasów przejazdu, częstotliwości kursowania i wykorzystywanego taboru.

Proces wyboru środka transportu ma charakter złożony (Rys. 1), jest sekwencją trzech etapów, które mogą się jednak ze sobą zająć. W I etapie podejmowana jest podstawowa decyzja o odbyciu podróży bądź pieszej (ewentualnie rowerem) bądź zmotoryzowanej, a następnie w przypadku drugiej z opcji – wybór pomiędzy komunikacją indywidualną i zbiorową. II etap decyzji (może mieć miejsce nawet dopiero na przystanku) dotyczy wyboru środka komunikacji zbiorowej – czy ma to być któryś z reprezentantów transportu komunalnego (metro, tramwaj, trolejbus, autobus), czy inna forma transportu zbiorowego. Czynnikiem decydującym jest często wysokość opłaty za przejazd (w przypadku transportu komunalnego – często zintegrowanej w ramach wspólnego biletu).

Z kolei w III etapie podejmowana jest decyzja o wyborze konkretnej linii. Decyzja ta może być nawet wielokrotnie zmieniana w miarę rozwoju sytuacji ruchowej na przystanku (opóźnienia i przyspieszenia pojazdów, utrudnione wejście do pojazdu spowodowane zatłoczeniem), z rezygnacją z odbycia podróży włącznie. Etapy II i III bywają

często sprzężone – gdy np. na przystanku jest tylko (lub w zespole przystanków) jedna linia metra do wyboru lub gdy wybór autobusu bądź tramwaju następuje równocześnie z wyborem linii.



Rys. 1. Uproszczony schemat procesu decyzyjnego podróżnego

Wyodrębnić przy tym można podróże pierwotne i wtórne, które będą się różniły liczbą potencjalnych możliwości. Rysunek 1 przedstawia wachlarz możliwości przy odbywaniu podróży pierwotnej. Jeżeli osoba rozpoczynająca podróż w motywacji DOM-PRACA zdecyduje się na skorzystanie z komunikacji zbiorowej (podróż pierwotna – odbywana do pracy), to również podróż wtórna (motywacja odwrotna) z bardzo wysokim prawdopodobieństwem odbędzie się również z jej wykorzystaniem, choć nadal pozostanie wybór środka komunikacji zbiorowej, trasy przejazdu, ilości przesiadek i numeru linii. I odwrotnie – jeżeli w podróży pierwotnej zostanie użyty samochód, to najprawdopodobniej w podróży wtórnej – także.

W dalszej części artykułu pod uwagę będą brane decyzje podejmowane w III etapie procesu decyzyjnego, dotyczące wyboru linii komunikacji autobusowych i tramwajowych.

2. Eksperyment komunikacyjny

Pełna znajomość preferencji pasażerów, a w szczególności ich zachowań komunikacyjnych nie jest możliwa ze względu na dużą liczebność pasażerów i zróżnicowanie ich indywidualnych cech, a także wpływ losowości procesów ruchu pojazdów komunikacji miejskiej.

Pasażer podejmuje decyzje komunikacyjne w różnych sytuacjach, czasem w sposób metodyczny i przemyślany, zgodnie z nakreślonym wcześniej planem, innym razem – w sposób przypadkowy. W wielu sytuacjach są to decyzje nietrafne, wybór konkretnej linii może się okazać gorszy od innego rozwiązania, które na etapie podejmowania decyzji w ogóle nie zostało uwzględnione – np. przyjazd autobusu kursującego z bardzo niską częstotliwością może zaskoczyć pasażera czekającego na linię kursującą częściej. Jednak w wielu przypadkach nietrafne decyzje nie wynikają z pomyłki pasażera. Wybór linii może okazać się chybiony w porównaniu do innej, ze względu na awarię autobusu lub zwiększone natężenia ruchu pojazdów na trasie.

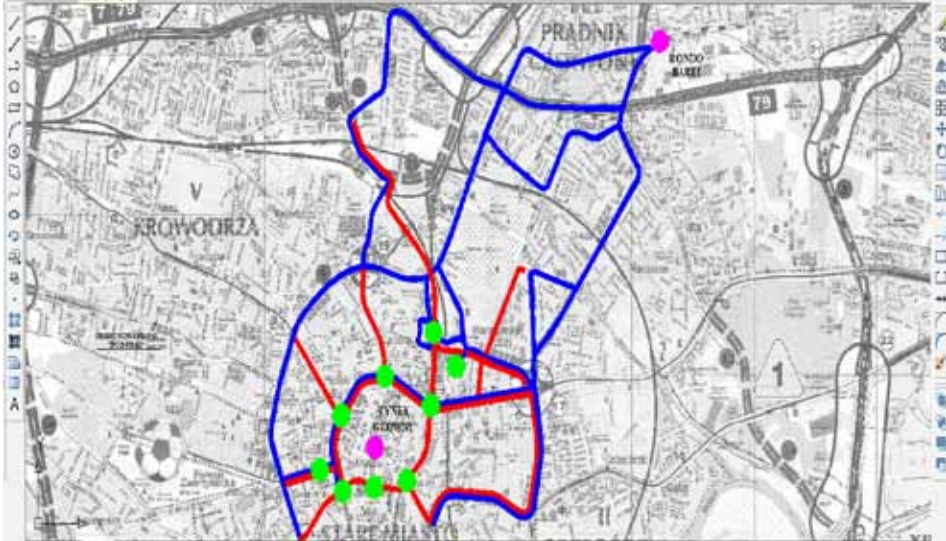
Podobny problem ma organizator komunikacji miejskiej, który optymalizuje częstotliwość i wielkość taboru na linii na podstawie pozyskanych informacji o zainteresowaniu linią (potoki na linii). Natomiast z różnych względów pasażerowie wybierają inne połączenia, na których panują znacznie gorsze warunki podróżowania. Jeżeli linie kursują z niską punktualnością, decyzje pasażerów też w znacznym stopniu są przypadkowe, co prowadzi do znacznych dysproporcji w wykorzystaniu linii. Z kolei zapewnienie rozwiązań usprawniających ruch pojazdów komunikacji miejskiej (torowiska i pasy wydzielone, priorytety w sygnalizacji) ułatwia proces optymalizacji linii oraz późniejszą jej eksploatację.

Warto więc wiedzieć – jakie są kryteria wyboru przez pasażerów połączenia (a tym samym linii lub sekwencji linii). W tym celu wykonano eksperyment komunikacyjny, który miał służyć zbadaniu zdolności potencjalnych pasażerów do wyszukiwania rodzajów połączeń oraz określenia kryteriów, jakimi się kierują przy wyborze połączenia preferowanego oraz połączeń względem niego alternatywnych.

Głównym zadaniem eksperymentu było znalezienie potencjalnych połączeń pomiędzy wschodnią stroną os. Prądnik Czerwony w Krakowie, rozpoczynających się na przystanku „Rondo Barei” a kończących się w centrum miasta, które zostało zdefiniowane jako obszar skupiony wokół Rynku Głównego (rys. 2).

Eksperyment przeprowadzono na grupie 22 studentów, tuż po wysłuchaniu przez nich wykładów z przedmiotu „Komunikacja miejska”. Należało się zatem spodziewać, że ich znajomość zasad funkcjonowania komunikacji miejskiej będzie nieco wyższa niż przeciętnego pasażera, który z reguły kieruje przyzwyczajeniami, zwłaszcza gdy korzysta

z przystanku często. Z drugiej strony, wielu respondentów korzystało z połączeń sporadycznie (lub nawet wcale) więc musieli je przeanalizować. Przyjęto, że są oni odpowiednikami tych pasażerów, którzy rzadko korzystają z analizowanego przystanku.



Rys. 2. Trasy autobusowe (kolor niebieski) i tramwajowe (kolor czerwony) łączące przystanek „Rondo Barei” a celami podróży zlokalizowanymi w sąsiedztwie Rynku Głównego (przystanki w sąsiedztwie Rynku oznaczono kolorem zielonym)

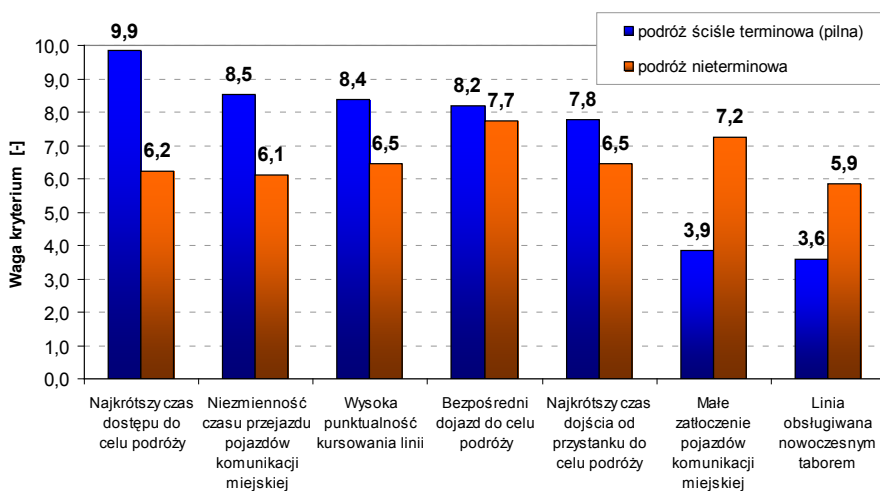
Ankietowani musieli sobie wyobrazić, że stoją na przystanku autobusowym „Rondo Barei” z zamiarem odbycia podróży na Rynek Główny i analizują możliwości dojazdu, mając do dyspozycji informacje wywieszone na przystanku, zawierające rozkładowe czasy odjazdu autobusów oraz trasy linii. Natomiast nie posiadają dostępu do mapy sieci i dynamicznej informacji o przyjazdach autobusów (co było zgodne ze stanem faktycznym w styczniu 2009 r.). Respondenci mieli za zadanie zidentyfikować wszystkie – ich zdaniem – racjonalne połączenia autobusowe oraz autobusowo-tramwajowe z Rynkiem, zarówno bezpośrednio, jak również nawet z kilkoma przesiadkami. Wybór przystanku docelowego wiązał się z akceptowaną jeszcze długością dojścia pieszo do Rynku. Ankietowani określali także, które połączenia są przez nich szczególnie preferowane, oraz które stanowią realną alternatywę – dla kilku momentów zgłoszenia się na przystanek, co wpływało na różnicowanie czasu oczekiwania na autobusy poszczególnych linii. Założo-

no przy tym, że dysponują oni biletami sieciowymi na wszystkie linie oraz, że przy wyborze połączenia preferowanego zakładają, że pojazdy każdej z linii kursują punktualnie.

3. Kryteria wyboru środka transportu

Znajomość kryteriów wyboru połączenia jest bardzo istotna przy planowaniu, optymalizowaniu i eksploataowaniu (także modelowaniu) linii komunikacji miejskiej. Mimo iż są to preferencje deklarowane, które nie muszą znaleźć potwierdzenia w rzeczywistych zachowaniach, to jednak umożliwiają sformułowanie ogólnych zasad, którymi kierują się pasażerowie przy wyborze linii, a częściowo również środka komunikacji miejskiej.

Podczas eksperymentu badani mieli za zadanie wskazanie wag dla zaproponowanych siedmiu kryteriów wyboru linii, oceniając w skali od 1 (kryterium w ogóle nie ważne) do 10 (kryterium niezwykle ważne). Była również możliwość zgłaszania własnych kryteriów, ale z niej nie skorzystano. Liczba postawionych takich samych ocen nie była ograniczana. Uwzględniono przy tym 2 przypadki: gdy odbywana jest podróż, w której pasażerowi zależy na czasie (podróże ściśle terminowe) oraz gdy czas nie jest dla niego istotny. Wyniki przedstawiono na rysunku 3.



Rys. 3. Średnie wagi kryteriów wyboru połączenia komunikacją zbiorową

Jak było do przewidzenia – w pierwszym przypadku dominuje kryterium „najkrótszy czas dostępu do celu podróży” (tylko 2 osoby nie typowały „10”); wysokie wartości wag uzyskały również inne kryteria o charakterze niezawodnościowym oraz związane z bezpośredniością połączenia, natomiast kwestie wygody zostały niedocenione. Nie oznacza to jednak, że w przypadku ocen w całej populacji pasażerów musi być tak samo, zwłaszcza gdy dodane zostaną opinie osób starszych niż ankietowani studenci. Natomiast w przypadku podróży nieterminowych, najważniejsza okazała się bezpośredniość połączeń (pomimo założenia o posiadanym bilecie sieciowym) oraz, że nawet student lubi podróżować wygodnie (kryterium „małe zatłoczenie” na drugim miejscu).

Już na pierwszy rzut oka można zauważyć, że preferencje badanych różnią się między sobą, w zależności od występowania znaczenia czynnika czasu. Potwierdzają to analizy statystyczne – w tym wartość współczynnika korelacji rang Spearmana, wynosząca tylko 0,26 co świadczy o bardzo słabej zależności pomiędzy kolejnością ważności kryteriów w obu przypadkach.

4. Zdolność pasażera do identyfikowania możliwych połączeń

Na trasie „Rondo Barei” – „Rynek Główny” możliwe było (styczeń 2009 r.) zidentyfikowanie 2 lub 3 (jeżeli jako przystanek docelowy przyjmując wskazywany w ankiecie „Dworzec Główny Wschód” znajdujący się jednak dość daleko od Rynku) połączeń bezpośrednich linią 152 do przystanków „Dworzec Główny”, „Basztowa LOT” oraz „Teatr Bagatela”. Dodatkowo istniały 54 sensowne możliwości połączeń z tylko jedną przesiadką, przy czym część z nich była bardzo podobna (np. przesiadka z linii nr 125 na tramwaje linii nr 4, 5, 10 i 15). Liczba możliwości z dwiema lub więcej przesiadkami jest znacznie większa, jednak należy uznać, że byłyby to połączenia mało atrakcyjne dla pasażera.

Ilości połączeń zidentyfikowanych przez poszczególne ankietowane osoby były bardzo różne, wyniosły od zaledwie 4 do aż 51 wskazań (tab. 1). Podzielono je na wskazania pełne, w których padały konkretne numery linii oraz niepełne, gdzie wskazywano przynajmniej numer autobusu odjeżdżającego z przystanku „Rondo Barei” oraz „ja-

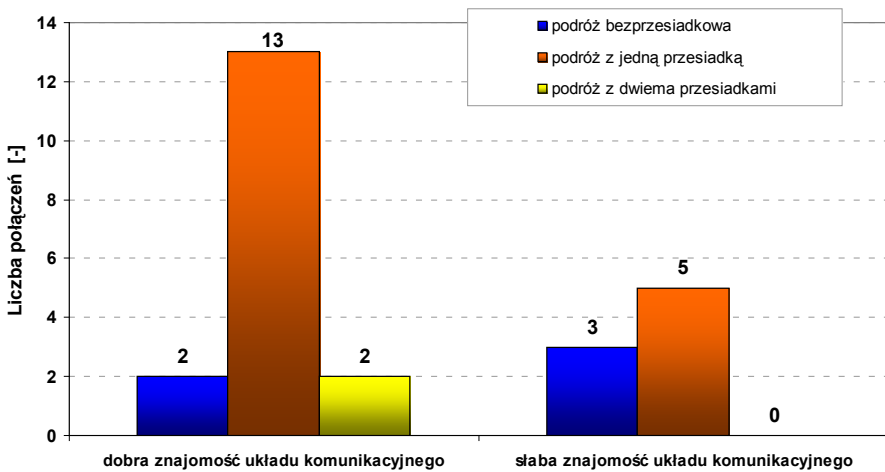
kiś tramwaj” lub „którykolwiek autobus” podczas dalszego ciągu podróży z przesiadką. Inny podział respondentów dotyczy prawidłowości wskazywanych przez nich połączeń – typowane były zarówno połączenia możliwe do zrealizowania, jak również połączenia w rzeczywistości nieistniejące, w których podawano numery linii obsługujących inne trasy, bądź sugerowano przejazd tramwajów ulicami, na których nie ma torowisk. Były to jednak przypadki stosunkowo rzadkie. Uwzględniono również rozkład liczby wskazań w zależności od stopnia znajomości układu komunikacyjnego. Respondenci deklarowali dobrą lub słabą znajomość układu komunikacyjnego (obejmującego znaczny obszar miasta), oraz częstość korzystania z poszczególnych linii. Odpowiedzi te były następnie weryfikowane – jako warunek dobrej znajomości układu komunikacyjnego przyjęto wskazanie co najmniej 10 prawidłowych połączeń. Wyłączono z analizy jedną ankietę, z 51 wskazaniami połączeń, gdyż ich ilość znacznie odbiegała od kolejnych typowań.

Tab. 1. Liczba zidentyfikowanych połączeń

Grupa ankietowanych	Wskazania		Liczba ankiet	Wartość min	Wartość max	Wartość średnia	Odchylenie standardowe
Wszyscy ankietowani	Pełne	prawidłowe	21	3	26	11	7
		nieprawidłowe	21	0	3	1	1
	Niepełne	prawidłowe	21	0	10	2	3
		nieprawidłowe	21	0	1	0	0
	Wszystkie		21	4	26	13	6
	Tylko prawidłowe		21	4	26	13	7
Ankietowani DOBRZE znający układ komunikacyjny miasta	Pełne	prawidłowe	12	5	26	15	6
		nieprawidłowe	12	0	3	1	1
	Niepełne	prawidłowe	12	0	5	1	2
		nieprawidłowe	12	0	1	0	0
	Wszystkie		12	11	26	17	6
	Tylko prawidłowe		12	10	26	17	6
Ankietowani SŁABO znający układ komunikacyjny miasta	Pełne	prawidłowe	9	3	11	6	3
		nieprawidłowe	9	0	2	1	1
	Niepełne	prawidłowe	9	0	10	2	3
		nieprawidłowe	Brak przypadku				
	Wszystkie		9	4	13	8	3
	Tylko prawidłowe		9	4	13	8	4

Ogólnie można stwierdzić, że osoby dobrze znające układ komunikacyjny miasta potrafią wskazać o ponad 50% więcej prawidłowych połączeń niż osoby, które mają do dyspozycji tylko informacje dostępne na przystanku (w tym połączenia z dwiema przesiadkami), jeśli nie ma na nim mapy komunikacyjnej miasta. Oczywiście większość pasażerów, ze względu na brak czasu i zmieniającą się sytuację na przystanku nie będzie rozważała aż tylu wariantów połączeń.

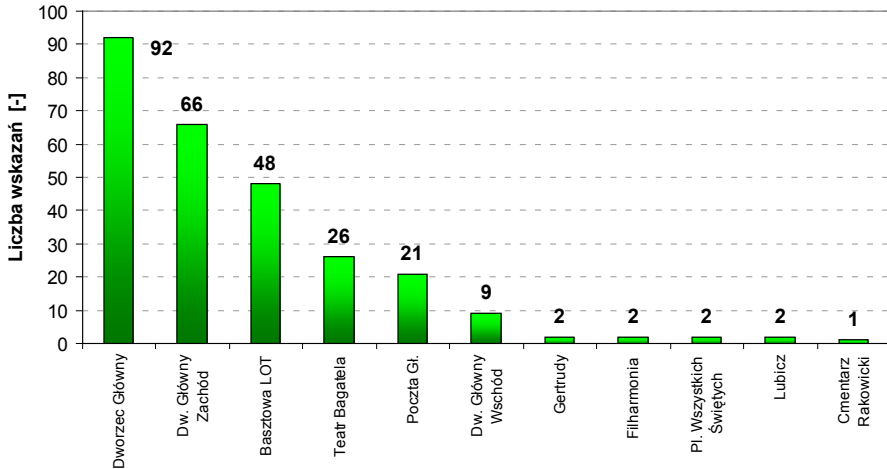
Ankietowani dobrze znający układ wskazywali więcej połączeń z przesiadkami, natomiast osoby znające go gorzej dopuszczają również możliwość dojazdu w miejsce bardziej oddalone od celu podróży, za to bezpośrednio (rys. 4).



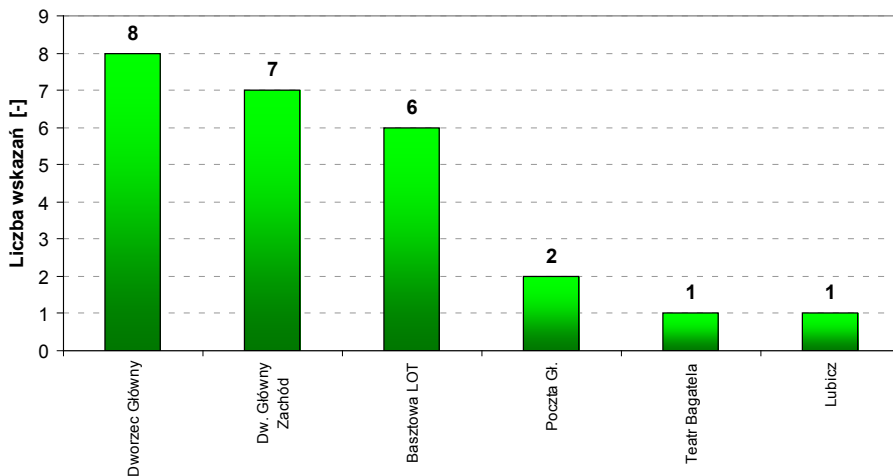
Rys. 4. Liczba zidentyfikowanych połączeń w zależności od stopnia znajomości układu komunikacji miejskiej na rozważanym obszarze miasta

Liczba wskazań jest ściśle uzależniona od przyjmowanych przez respondentów przystanków końcowych dla przejazdów tramwajami i autobusami, z których możliwe jest dojście na Rynek pieszo. Na rysunku 5 przedstawiono łączną liczbę wskazań poszczególnych przystanków końcowych (obejmującą również te znacznie oddalone od Rynku, ale wskazywane przez respondentów) we wszystkich połączeniach zidentyfikowanych przez wszystkich uczestników badania. Natomiast rysunek 6 zawiera zestawienie przystanków najczęściej wskazywanych jako końcowe, w poszczególnych ankietach (w czterech przypadkach – były to takie same liczby wskazań dla dwóch różnych przystanków, stąd zwiększona ich łączna liczba – 25). Widoczna jest koncentracja przystanków końcowych w sąsiedztwie Dworca Głównego, wynikająca

częściowo z braku chęci przesiadania się (wyrażanej przez ankietowanych) na linie (zwłaszcza tramwajowe) jadące w kierunku południowym, wzdłuż Starego Miasta. Preferują oni raczej dojścia piesze niż przesiadkę.



Rys. 5. Wskazania przystanków końcowych komunikacji miejskiej przy dojeździe do Rynku (zsumowane ze wszystkich ankiet)



Rys. 6. Zestawienie przystanków najczęściej wskazywanych jako końcowe w poszczególnych ankietach

5. Decyzje podejmowane podczas podróży

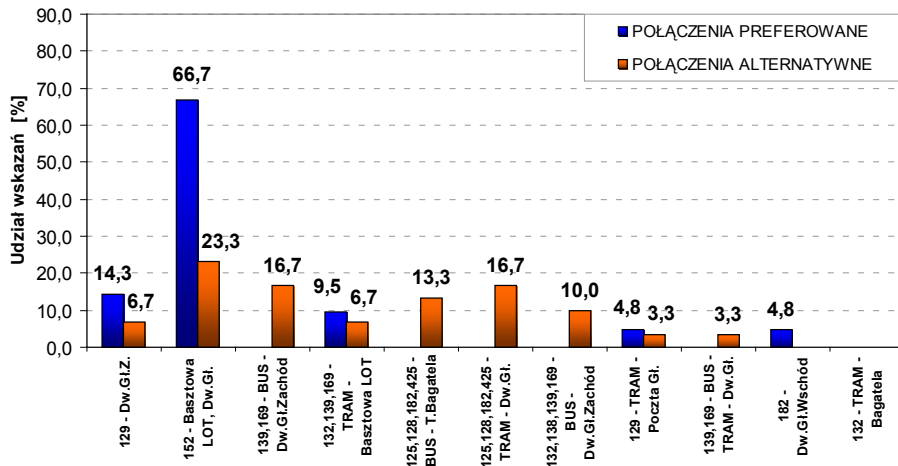
Analizę wyboru połączeń preferowanych oparto na trzech scenariuszach:

- **Scenariusz 1:** Podróż jest ściśle terminowa (pilna), zgłoszenie pasażera na przystanek następuje o godz. 7:02, co oznacza, że ma miejsce na 1 [min] przed odjazdem linii 139; 2 [min] przed odjazdem linii 125, 132, 152; 4 [min] przed odjazdem linii 128; 7 [min] przed odjazdem linii 129 oraz 8 [min] przed odjazdem linii 169. Linie 138, 182 i 425 mają rozkładowe momenty odjazdu po upływie 10 [min], linia nr 142 nie daje alternatywy połączenia.
- **Scenariusz 2:** Podróż ściśle terminowa, zgłoszenie na przystanek następuje o godz. 7:08, co oznacza, że ma miejsce na 1 [min] przed odjazdem linii 129; 2 [min] przed odjazdem linii 169; 5 [min] przed odjazdem linii 138; 6 [min] przed odjazdem linii 139 oraz 9 [min] przed odjazdem linii 182.
- **Scenariusz 3:** Podróż nie jest terminowa, zgłoszenie pasażera na przystanek następuje w dowolnym momencie. Nie kieruje się on czasem oczekiwania przy wyborze połączenia.

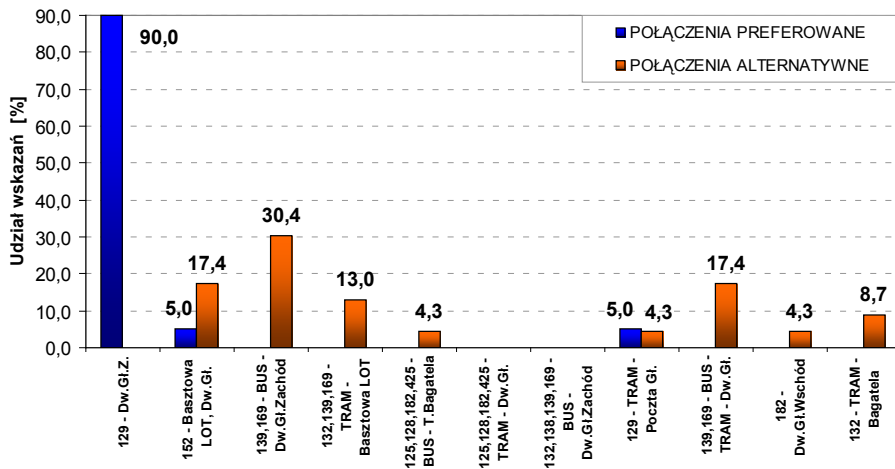
5.1. Podróże ściśle terminowe (scenariusze: 1 i 2)

Do podróży ściśle terminowych należą na ogół te o charakterze obligatoryjnym (motywacje związane z pracą i nauką), choć również istotną część podróży fakultatywnych jest wykonywana z chęcią do trzymania określonych, sztywnych terminów.

W scenariuszu 1 najczęściej wybieranym połączeniem jest to realizowane bezpośrednio przez linię nr 152, do przystanku „Dworzec Główny” bądź „Basztowa LOT” (rys. 7). Czas oczekiwania na ten autobus jest bardzo krótki, wynosi zaledwie 2 [min]. Natomiast zaskakuje druga pozycja połączenia linią nr 129, na którą trzeba czekać aż 7 [min]. Okazuje się jednak, że chęć uniknięcia przesiadki uzasadnia taką stratę czasu, mimo iż kilka połączeń oferuje szybsze dotarcie do celu. Wśród połączeń alternatywnych wyróżniają się te realizowane przez linie z przesiadkami na Al. 29-go Listopada (na linii autobusowej) lub z przesiadkami na Nowym Kleparzu (na linii tramwajowej) – po 17% wskazań jako połączeń alternatywnych.



Rys. 7. Najczęściej wybierane połączenia w scenariuszu 1

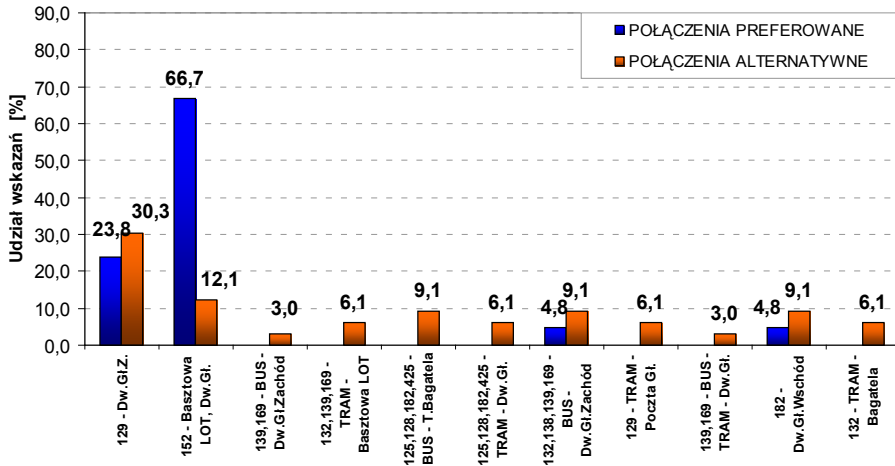


Rys. 8. Najczęściej wybierane połączenia w scenariuszu 2

Zupełnie inny jest rozkład preferowanych połączeń dla scenariusza 2, kiedy to pasażer zgłaszający się na przystanek ma tylko 1 [min] do odjazdu bezpośredniej linii 129 i aż 11 [min] do odjazdu linii 152. Niemal wszyscy ankietowani wskazali na połączenie linią 129 jako preferowane. Udział połączeń alternatywnych odbywanych linią 152 jest w tym przypadku niższy niż dla połączenia realizowanego liniami 139 i 169 z przesiadką na linii 105 i 129 na przystankach: „Biskupa Prandoty” i „Cmentarz” – na autobus linii 169 trzeba zaczekać

o 6 [min] krócej niż na pojazd linii 152. Nie bez znaczenia może być tutaj również fakt, że w Al. 29-go Listopada funkcjonuje pas autobusowy, znacznie usprawniający dojazd do centrum, obiektywnie rzecz ujmując, oferujący lepsze warunki przejazdu niż pas tramwajowo-autobusowy w jezdni ul. Lubicz (na trasie 152).

5.2. Podróże odbywane w scenariuszu 3

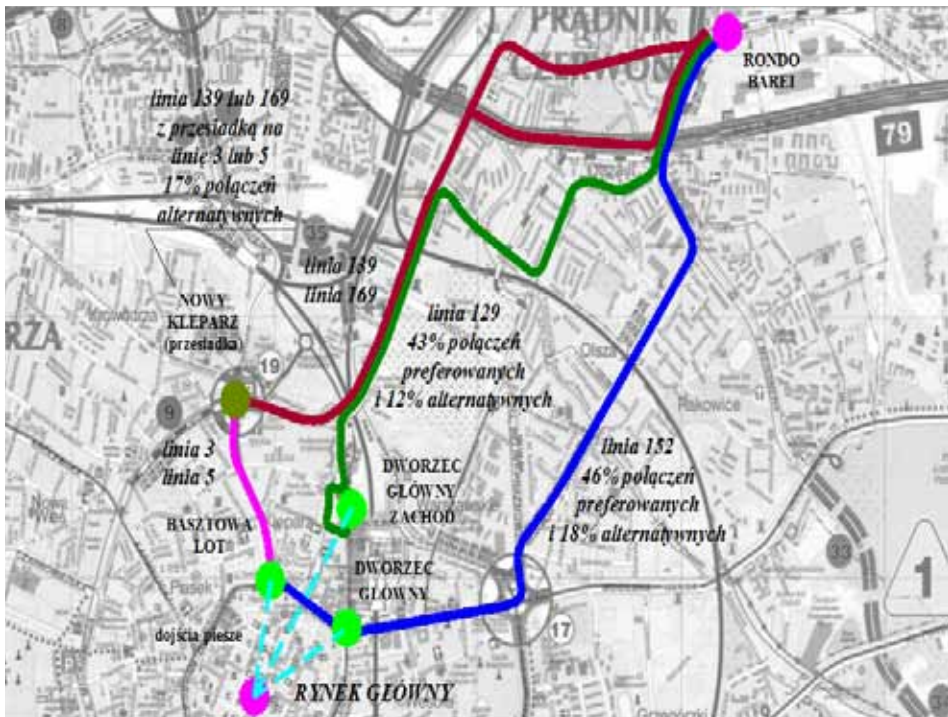


Rys. 9. Najczęściej wybierane połączenia w scenariuszu 3

Nawet podczas odbywania podróży w pozornie nieterminowych sprawach, straty czasu nie są mile widziane przez ogół pasażerów i wybór połączenia jest oparty na kryterium jak najkrótszego dostępu do celu. Podróże odbywane na zasadzie „błąkania się po sieci” są stosunkowo rzadkie. O ile w przypadku zgłoszeń na przystanki w określonym czasie i podczas podróży, w których czas jest czynnikiem decydującym, kluczowy był rozkładowy moment odjazdu najbliższej linii zapewniającej bezpośredni dojazd w okolicy Rynku, to w przypadku, gdy czas podróży nie jest istotny (scenariusz 3), zaobserwować można wymienną liczbę wskazań dla linii 129 i 152. Połączenie linią nr 152 jest zdecydowanie najbardziej preferowane, z kolei linia 129 stanowi najpoważniejszą alternatywę. Udział pozostałych połączeń jest niewielki. Bezprzesiadkowość została tym samym potwierdzona jako najważniejsze kryterium wyboru linii, gdy czas dotarcia do celu nie jest aż tak istotny. Aż tak duże zainteresowania linią 129, pomimo znacznie dłuższej odległości dościa pieszo od przystanku „Dworzec

Główny Zachód” niż ma to miejsce w przypadku przystanków: „Dworzec Główny” oraz „Basztowa LOT” może być wyjaśnione dość dużą popularnością tej linii wśród studentów. Co prawda ponad połowa respondentów obecnie korzysta z tej linii rzadziej niż raz w tygodniu, jednak przyzwyczajenia z wcześniejszych lat studiów oraz nadal odbywane sporadyczne wizyty w akademikach Politechniki skutkują przyzwyczajeniem do linii. Nie bez powodu linia nr 129 jest nazywana „politechniczną”.

Na rysunku 10 zamieszczono szkic przebiegu połączeń uznawanych za najkorzystniejsze we wszystkich trzech rozważanych przypadkach zgłoszeń na przystanki.



Rys. 10. Najczęściej wybierane połączenia pomiędzy przystankiem „Rondo Barei”, a celami podróży zlokalizowanymi w sąsiedztwie Rynku Głównego.

Uzyskane wyniki mogą nie zostać w pełni potwierdzone wynikami badań przeprowadzonych na pasażerach w rzeczywistości korzystających z omawianych połączeń. Jednak wskazują na konieczność uwzględniania zachowań komunikacyjnych pasażerów (w tym momentów zgłoszeń na przystanki) w modelowaniu układów komunikacji miejskiej.

6. Wnioski

Proces decyzyjny związany z wyborem środka transportu jest złożony. O ile decyzyja o skorzystaniu z komunikacji indywidualnej lub zbiorowej jest podejmowana stosunkowo szybko (u źródła podróży), o tyle decyzyja o wyborze konkretnej linii komunikacji miejskiej może nastroić trudności i wiąże się z podjęciem niekiedy dużego ryzyka co do czasu dotarcia do celu, szczególnie w przypadku znacznego zróżnicowania połączeń i znacznej losowości zgłoszeń pojazdów poszczególnych linii na przystanek.

Przy wyborze linii preferowane są połączenia najkrótsze czasowo oraz bezpośrednie – często są to warunki powiązane. Zwłaszcza w podróży na krótkie odległości przesiadka wiąże się z ponownym oczekiwaniem i w konsekwencji znacznym wydłużeniem czasu podróży. Niemniej w przypadku zawodności linii preferowanych, zwłaszcza w przypadku podróży pilnych, alternatywy połączeń z przesiadkami są także atrakcyjne.

Znajomość układu komunikacyjnego miasta stwarza większe możliwości świadomego i efektywniejszego przemieszczania się z wykorzystaniem komunikacji miejskiej. Pomimo powszechnej dostępności Internetu, nie każdy pasażer zadaje sobie trud sprawdzania połączeń, a możliwości dojazdu są na ogół analizowane dopiero na przystanku. Zamieszczenie map komunikacyjnych oraz informacji dynamicznej o przyjazdach kolejnych linii mogłoby skutecznie tą analizę usprawnić.

W dalszych badaniach istotne będzie określenie ile połączeń jest przypadku podróży pilnych wykonywanych naprawdę jakie są rzeczywiste zdolności pasażerów do percepcji potencjalnych połączeń, szczególnie w przypadkach, gdy decyzyja będzie musiała być podjęta szybko. Zamierzono przebadać przypadki zachowań pasażerów zarówno w warunkach zbliżonych do idealnych (brak opóźnień, zapewniona możliwość wejścia do pojazdu) oraz w warunkach rozregulowania linii (losowość zgłoszeń pojazdów na przystanek). Badania takie umożliwią zaobserwowanie zachodzących zmian w decyzji pasażerów, dyktowanych dynamicznym rozwojem sytuacji na przystanku. Wyniki takich badań posłużą do stworzenia modelu zachowań komunikacyjnych pasażerów komunikacji miejskiej oraz do budowy modelu optymalizacji sieci.

Bibliografia

- [1] Koziński J.: Psychologia procesów przeddecyzyjnych (badania eksperymentalne). PWN, Warszawa 1969.
- [2] Rudnicki A.: Jakość komunikacji miejskiej; Zeszyty Naukowo-Techniczne Oddziału SITK w Krakowie, Monografie, Kraków 1999.
- [3] Rudnicki A.: Stochastyczny model ruchu miejskiej komunikacji autobusowej. Praca doktorska. Politechnika Krakowska, Kraków 1973.
- [4] Schoebel A.: Optimization in Public Transportation. Stop Location, Delay Management and Tariff Zone Design in a Public Transportation Network. Springer Science+Business Media, LLC, 2006.
- [5] Vuchic V. R.: Urban Transit. Operations, Planning and Economics. John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, New Jersey 2005.

PASSENGER'S CHOICE OF PUBLIC TRANSPORT LINE

Summary

The problem of decision undertaken by passengers on the choice of public transport lines in their travels has been presented in the paper. It is the second step in the decision of the choice of means of transport taken into account when the passenger has decided to travel by public transport. He has to take the decision on the mode of transport (tram, bus, trolleybus, tube, rail) and the number of the line. The set of criteria taken into account by passenger for the choice of line has been presented in the paper. Basing on the results of experiment there is presented the analysis of ability to identify the possible connections both for the travels with low essential time of arrival and for the travels with high essential time of arrival.

Keywords: *public transport, public transport lines planning, decision problems in transportation*

AUSWAHL DER ÖPNV-LINIEN IN DEN REISEN

Zusammenfassung

Im Vortrag wird das Problem der Entschlüsse, die die Fahrgäste in ÖPNV fassen müssen und die mit der Wahl der Verkehrslinie für Reise verbunden sind. Es ist schon die zweite Etappe in der Auswahl des Verkehrsmittels, als der Reisende schon den ÖPNV gewählt hat. Er muss den Verkehrsmittel (die Straßenbahn, den Bus, den Obus oder die Metro) und die konkrete Linie wählen. Im Vortrag wird eine Menge von Kriterien für die Linienauswahl, die der Reisende berücksichtigen kann, präsentiert. In Anlehnung an die Ergebnisse des Verkehrsexperiments wird die Analyse der Identifizierungsfähigkeit der möglichen Verbindungen, sowohl während einer Reise mit der wenig wesentlichen Zeit der Zielerreichung, als auch während Reise unter Zeitpression, dargestellt.

Die Schlüsselwörter: ÖPNV, die Planung von ÖPNV-Linien, die Entscheidungsprobleme im Verkehr

Janusz Bohatkiewicz¹
Mariusz Dudek²

WPLYW PROGNOZOWANIA RUCHU NA ANALIZY ŚRODOWISKOWE W DROGOWNICTWIE

Streszczenie

Niniejszy artykuł przedstawia znaczenie prognoz ruchu dla przeprowadzanych w Polsce zróżnicowanych analiz oddziaływań w opracowaniach środowiskowych. Pokazano wiele zróżnicowanych aspektów wpływających na wielkość ruchu na drogach i ulicach dla najczęściej obecnie wykonywanych analiz ruchowych i środowiskowych. Podano również rodzaje niezbędnych prognoz ruchu oraz horyzontów czasowych wykonywanych w ramach analiz środowiskowych. Przedstawiono m.in. wpływ na ruch na drogach alternatywnych wobec autostrad skutków wprowadzenia opłat z przejazd i efekty przeniesienia się części ruchu na te trasy. Zaprezentowano również wrażliwość wybranych miar oddziaływania na środowisko na zmiany w natężeniu ruchu, a także ewentualne błędy przy jego oszacowaniu.

Słowa kluczowe: planowanie komunikacyjne, prognozy ruchu, prognozy oddziaływań, ochrona środowiska, ochrona przed hałasem

1. Wprowadzenie

W ciągu ostatnich lat obserwuje się coraz większe znaczenie opracowań i analiz środowiskowych w planowaniu oraz projektowaniu dróg i ulic. Najistotniejszym czynnikiem decydującym o ich wiarygodności są parametry ruchowe, w tym przede wszystkim natężenie ru-

¹ dr inż., Biuro Ekspertyz i Projektów Budownictwa Komunikacyjnego „EKKOM” Sp. z o.o.

² dr inż., Politechnika Krakowska, Instytut Inżynierii Drogowej i Kolejowej

chu. Jego trafne określenie ma istotny wpływ na zastosowane zabezpieczenia eliminujące lub zmniejszające niekorzystny wpływ na środowisko od ruchu samochodowego, co w wielu przypadkach podwyższa w sposób istotny koszty inwestycyjne. W skrajnych przypadkach wysokie koszty lub brak możliwości zastosowania zabezpieczeń może powodować konieczność zaniechania inwestycji drogowej. W związku z powyższym wiarygodne prognozy ruchu nabierają bardzo istotnego znaczenia, a celem niniejszego artykułu jest zasygnalizowanie powiększającego się problemu, który ma bardzo duży wpływ na proces projektowy, a także utrzymanie istniejących obiektów. W referacie skoncentrowano się na najważniejszym oddziaływaniu, jakim jest hałas drogowy. Aktualne przepisy UE oraz krajowe zobowiązują zarządców dróg do planowania zabezpieczeń dla nowo projektowanych inwestycji, a także działań naprawczych (programy ochrony przed hałasem) w zakresie ograniczenia poziomu hałasu w otoczeniu istniejących dróg. Wykonywane do tej pory projekty zabezpieczeń oraz programy ochrony przed hałasem wskazują na ogromne potrzeby stosowania nie tylko najprostszych i przeważnie najmniej skutecznych środków sposobów ochrony jakimi są ekrany akustyczne, ale bardzo zaawansowanego podejścia do ruchu drogowego i działań w zakresie źródła oddziaływania jakim jest ruch drogowy.

2. Potrzeby, rodzaje i cele prognoz ruchu dla opracowań środowiskowych

Jednym z podstawowych celów sporządzania opracowań środowiskowych jest określenie wielkości oddziaływań i odniesienie ich do obowiązujących w przepisach standardów (np. wartości dopuszczalnego poziomu hałasu, zanieczyszczeń powietrza itp.). Przekroczenie tych standardów powoduje w większości przypadków konieczność zastosowania urządzeń ochrony środowiska lub przygotowania i realizacji działań naprawczych. Opracowania te wykonywane są dla nowo projektowanych inwestycji oraz istniejących obiektów. Dla obu typów opracowań w większości przypadków konieczne jest posiłkowanie się prognozami ruchu w analizach ilościowych dotyczących oddziaływań.

Skala potrzeb danych prognostycznych dla opracowań środowiskowych jest niezwykle duża. Dotyczy ona co najmniej trzech parametrów związanych z ruchem, tj. najogólniej je opisując: natężenia ruchu, prędkości pojazdów oraz struktury rodzajowej. Pomimo bardzo dużych potrzeb w zakresie niezbędnych danych ruchowych dla potrzeb opracowań środowiskowych obserwuje się znaczne problemy w ich przygotowaniu. Modelowanie i prognozy ruchu do tej pory w niewielkim stopniu związane są z potrzebami specjalistów związanych z prognozami ilościowymi zanieczyszczeń. W większości przypadków doprowadza to do przyjmowania wielu założeń upraszczających. Obserwowane uproszczenia w prognozach ruchu doprowadzają do sytuacji przewymiarowania lub niedowymiarowania często bardzo kosztownych zabezpieczeń ochrony środowiska. Tymczasem potrzeby w zakresie danych ruchowych w opracowaniach środowiskowych sprawiają, że do modelowania i prognozowania ruchu należy podchodzić z bardzo dużym wyczuciem i starannością oraz znajomością dla jakich analiz środowiskowych będą wykorzystywane te dane. W tabl. 1 podano wykaz niezbędnych (podstawowych) danych ruchowych dla analiz, które wykonywane są dla poszczególnych oddziaływań środowiskowych [2].

Tablica 1. Dane ruchowe niezbędne w analizach poszczególnych oddziaływań w opracowaniach środowiskowych wg [2]

Rodzaj oddziaływania	Natężenie ruchu [P/h, E/h, P/dobę, E/dobę]	Prędkość [km/h]	Struktura rodzajowa ruchu [%]
Hałas – opracowania środowiskowe na etapie przygotowania i utrzymania inwestycji	SDR1), godzinowe [P/h], godz.:600 ÷ 2200 oraz 2200 ÷ 600	Średnia jazdy ¹⁾	Udział samochodów ciężarowych, autobusów i motocykli1)
Hałas – opracowania dotyczące wykonania map akustycznych i programów ochrony środowiska przed hałasem	Średnie natężenie ruchu ²⁾ , godzinowe [P/h], godz.:600 ÷ 1800, 1800-2200 oraz 2200 ÷ 600	Średnia jazdy ²⁾	Udział samochodów ciężarowych, autobusów i motocykli ²⁾
Wibracje	SDR [P/dobę], natężenie sam. ciężarowych	Średnia chwilowa, jazdy dużych samochodów ciężarowych	Udział samochodów ciężarowych i autobusów
Zanieczyszczenie powietrza	SDR [P/dobę]	Średnia jazdy, średnia podróży	Pełna struktura rodzajowa. Wiek pojazdów, kategorie silników (także w zależności od rodzaju paliwa)
Zanieczyszczenie wód	SDR [P/dobę]	–	–
Wpływ na bezpieczeństwo ruchu drogowego	SDR [P/dobę], godzinowe [P/h]	Średnia jazdy, średnia chwilowa, kwantyle (v15, v85)	Struktura rodzajowa

¹⁾ dla wybranej doby

²⁾ jako średnia ze wszystkich dób w roku

Na podstawie powyższego zestawienia można zauważyć bardzo duże zróżnicowanie danych ruchowych niezbędnych do wykonywania analiz oddziaływań w ramach opracowań środowiskowych. Prognozy ruchu dla takich zestawów danych wymagają bardzo znaczącej liczby danych początkowych, które w obecnej sytuacji są niezwykle trudne do pozyskania – np. kategorie silników używane w analizach zanieczyszczenia powietrza. Sytuacja dodatkowo komplikuje się, gdy należy wykonać prognozy ruchu dla dalszych horyzontów czasowych (10, 15 lat) – w takich sytuacjach brak danych początkowych może wymagać konieczność wprowadzania założeń upraszczających, które z kolei mają wpływ na jakość prognoz wielkości oddziaływań.

Jednym z zadań opracowań środowiskowych jest określenie wielkości oddziaływań zarówno dla stanu istniejącego, jak i okresu prognozy. Stan istniejący w przypadku analiz środowiskowych może dotyczyć zarówno okresu w roku wykonywania analizy (jest to bardzo rzadki przypadek występujący wówczas, kiedy w roku wykonywania analiz wykonywana jest inwestycja), jak i okresu w którym nastąpi realizacja inwestycji drogowej. Druga sytuacja określana jest jako tzw. wariant zerowy. Wariant ten w wielu przypadkach tożsamy jest sytuacji, kiedy analizowany jest brak inwestycji – w przepisach środowiskowych określany jest on również jako wariant polegający na niepodjęciu inwestycji. Standardowo analizy związane z wariantem zerowym wykonywane są przede wszystkim wtedy, kiedy porównywane są warianty lokalizacyjne nowych inwestycji drogowych. W takich przypadkach porównanie wielkości oddziaływań jest możliwe, gdy dotyczą one tego samego horyzontu czasowego, czyli przeważnie roku w którym inwestycja zostanie oddana do eksploatacji (przyjmuje się założenie, że bez względu na wariant lokalizacyjny jest to ten sam rok). Tak więc już przy wariantach dotyczących stanu inwestycyjnego w większości analiz środowiskowych dla nowych inwestycji konieczne jest wykonanie prognoz ruchu. Horyzont czasu dla prognoz ruchu i wielkości oddziaływań w przypadku stanu istniejącego powinien określać Inwestor – przeważnie jest to rok, w którym planowane jest oddanie do eksploatacji nowej inwestycji.

Okres prognozy w opracowaniach środowiskowych rozumiany jest jako odległy horyzont czasowy (10, 15 lat), który uzależnia się od rodzaju inwestycji – tabl. 2 [2]. Celem analiz oddziaływań dla takich horyzontów czasowych jest m.in. zaplanowanie i określenie efektywności

urządzeń ochronnych. W wielu sytuacjach możliwe jest prowadzenie analiz, których celem jest wykazanie roku w którym zaistnieje potrzeba zastosowania urządzeń ochronnych. Wiąże się to z dodatkowymi prognozami ruchu.

Połączenie przygotowania szczegółowych danych ruchowych do analiz środowiskowych z możliwymi horyzontami czasowymi, dla których wykonywane są te analizy tworzą w większości przypadków bardzo duże zadanie prognostyczne. Od jakości prognoz ruchu wykonywanych w sytuacjach dużej niepewności przyjmowanych danych zależy jakość dalszych prac związanych z planowaniem środków ochrony środowiska.

Jako jeden z typowych przykładów prognoz ruchu można podać sytuację budowy nowej drogi. Niezbędne warianty prognoz ruchu uzależnione są od wykonywanych wariantów (scenariuszów) analiz środowiskowych. Należą do nich następujące scenariusze:

- 1) stan istniejący (wariant polegający na niepodjęciu inwestycji) – rok oddania do eksploatacji inwestycji, gdyby została podjęta;
- 2) warianty inwestycyjne (przeważnie są to co najmniej 2 warianty) – rok oddania do eksploatacji;
- 3) warianty inwestycyjne (przeważnie są to co najmniej 2 warianty) – przyjęty horyzont czasowy wg tabl. 2;
- 4) wariant zerowy polegający na niepodjęciu inwestycji, sporadycznie wykonywany dla wskazania sytuacji, jaka będzie występowała w przyszłości, jeśli analizowana inwestycja nie zostanie zrealizowana, ale sieć drogowo-uliczna zostanie uzupełniona o inne elementy przewidziane do realizacji do roku wykonywania prognozy (używany w trakcie konsultacji społecznych w przypadku protestów przeciwko inwestycji) – przyjęty horyzont czasowy wg tabl. 2.

Powyższe zestawienie wskazuje, że dla jednego opracowania środowiskowego może być wykonywanych minimum 6 zestawów prognoz. Nie jest to jednak ostateczna liczba, ponieważ biorąc pod uwagę np. analizy hałasu drogowego, konieczne jest jeszcze ich rozdzielenie na porę dnia i nocy (tabl. 1), co daje już co najmniej 12 zestawów prognoz. Należy również zwrócić uwagę na inne elementy niezbędnych prognoz wynikających np. z analiz zanieczyszczeń powietrza, gdzie niezbędne jest jeszcze wskazanie kategorii silników (rodzaje silników z różnym

spalaniem różnych paliw). Analizy takie ze względu na powszechny brak podstawowych danych możliwe są do wykonania jedynie przy przyjęciu bardzo wielu założeń upraszczających. Niestety, założenia upraszczające oparte głównie na dyskusyjnych danych dla samych twórców prognoz nie znajdują w większości przypadków zrozumienia u wydających decyzje administracyjne, które bezpośrednio dotyczą bardzo kosztownych zabezpieczeń, dodatkowych wykupów gruntów i ich np. wyłączeń z eksploatacji. Proponowane przeniesienie decyzji administracyjnych o konieczności wykonania zabezpieczeń np. akustycznych na podstawie wykonanych pomiarów ruchu po uruchomieniu obiektu i dalszych prognoz ruchu nie znajdują w większości przypadków zrozumienia wydających decyzje środowiskowe pomimo istniejących narzędzi prawnych w postaci tzw. analiz porealizacyjnych.

Tablica 2. Horyzonty czasowe prognozowania ruchu i analiz w opracowaniach środowiskowych dla dróg krajowych wg [2]

Wariant	Rodzaj analizy	Rodzaj przedsięwzięcia	Horyzont czasowy1 [lata]	
			Nowe inwestycje2	Przebudowy
Inwestycyjny	Analiza dla stanu po oddaniu do eksploatacji obiektu	Wszystkie rodzaje przedsięwzięć	zakładany rok oddania do użytkowania lub wykonania analizy porealizacyjnej	
	Analiza w horyzoncie czasowym	Projekt nowej autostrady, drogi ekspresowej lub węzła	15	10
		Projekt nowej drogi, skrzyżowania lub węzła	10	10
Zerowy	Analiza stanu istniejącego3	Wszystkie rodzaje przedsięwzięć	stan istniejący, rok prowadzenia analizy	
	Analiza w sytuacji, gdy inwestycja nie zostanie zrealizowana3	Projekt nowej autostrady, drogi ekspresowej lub węzła	15	10
		Projekt nowej drogi, skrzyżowania lub węzła	10	10
	Analiza w sytuacji, gdy inwestycja zostanie zrealizowana3	Projekt nowej autostrady, drogi ekspresowej lub węzła	15	10
		Projekt nowej drogi, skrzyżowania lub węzła	10	10

1 Horyzont czasowy oblicza się od roku, w którym oddano do eksploatacji drogę, skrzyżowanie lub węzeł.

2 Dotyczy wszystkich analizowanych wariantów inwestycyjnych.

3 Rozumiane jako istniejące ciągi drogowe, z których przejmowany będzie ruch.

Powyżej opisane rodzaje i cele wykonywania prognoz ruchu stanowią jedynie podstawowe problemy związane z zagadnieniami dotyczącymi potrzeb stosowania danych ruchowych w opracowaniach środowiskowych. Specyficznymi opracowaniami środowiskowymi w ostatnich dwóch latach stały się programy ochrony przed hałasem dla dróg

zamięjskich oraz miast. Programy te zwłaszcza dla miast wskazują, że jedną z podstawowych analiz są analizy i prognozy ruchu związane z kolejnymi wariantami stosowanych zabezpieczeń akustycznych. Zabezpieczenia te zwłaszcza dla dużych miast nie sprowadzają się do zastosowania ekranów akustycznych (niestety jest to nadal powszechnie panujący pogląd) a do odpowiedniej hierarchizacji sieci ulic oraz starowania ruchem. Zadanie to staje się ogromnym wyzwaniem dla miast w zakresie, który w większości nie był uwzględniany, czyli do budowy odpowiednich i specyficznych modeli ruchu ukierunkowanych również na analizy akustyczne.

W kolejnej części artykułu poruszono także podstawowe problemy związane ze zmianami prędkości, które również podlegają prognozowaniu w opracowaniach środowiskowych. Prognozy tych parametrów w większości stanowią oddzielne zagadnienie prognostyczne wymagające znacznej liczby danych oraz doświadczenia. Poniżej podano również podstawowe informacje związane z wpływem podstawowych parametrów ruchu na hałas drogowy (wrażliwość na zmiany) oraz przykładowe analizy związane z hałasem drogowym, które odnoszą się również do problemów struktury rodzajowej ruchu, stanowiącej element prognoz w opracowaniach środowiskowych.

W dalszej części artykułu podano jako specyficzne przykłady analiz związanych z prognozami ruchu i ich wpływem na hałas drogowy.

3. Zależność pomiędzy wielkością ruchu i jego parametrami a wielkością emisji hałasu

Badania zagraniczne wykazują silną zależność pomiędzy wrażliwością zmian poziomu hałasu a spadkiem natężenia ruchu (tab.3) [4]. Dla lepszej identyfikacji wartości zmian poziomu hałasu w tabl. 4 podano jak wpływa zmiana poziomu hałasu na jego subiektywny odbiór. Jednocześnie podano jakie są możliwości (techniczne) zmniejszenia poziomu hałasu dla określonych zmian tego poziomu.

Tablica 3. Wpływ spadku natężenia ruchu na zmniejszenie poziomu hałasu wg [4]

Spadek natężenia ruchu	Zmniejszenie poziomu hałasu (LAeq)
10%	0,5 dB
20%	1,0 dB
30%	1,6 dB
40%	2,2 dB
50%	3,0 dB
75%	6,0 dB

Tablica 4. Wpływ zmian poziomu hałasu na jego subiektywny odbiór i możliwości jego zmniejszenia

Zmiana poziomu hałasu [dB]	Odbiór subiektywny hałasu	Procent zmniejszenia poziomu hałasu tzn. energii akustycznej/ (możliwość osiągnięcia)
0	Poziom odniesienia	0
-3	Słyszalna zmiana	50% (osiągalne)
-5	Znacznie słyszalna zmiana	67% (średnio osiągalne)
-10	O połowę ciszej	90% (trudno osiągalna)

Zarządzanie dostępnością dróg i zakazy poruszania się określonych kategorii pojazdów dotyczą przede wszystkim pojazdów szczególnie hałaśliwych, które wywierają najbardziej niekorzystny wpływ na klimat akustyczny: ciężarówek i motocykli. Również zarządzanie dostępnością do drogi odbywa się w sposób dynamiczny i można je uzależnić od zmiennych, takich jak określony dzień tygodnia, pora dnia lub roku. W ten sposób można np. wprowadzić zakaz ruchu pojazdów ciężarowych na odcinku drogi w pobliżu dzielnicy mieszkaniowej w nocy. Poniżej przedstawiono przykład jak redukcja z potoku ruchu pojazdów ciężkich wpływa na obniżenie poziomu hałasu (Tab. 5).

Tablica 5. Wpływ zmniejszenia udziału w ruchu pojazdów ciężkich na redukcję poziomu hałasu wg [1]

Zmniejszenie udziału w ruchu pojazdów ciężkich	Prędkość 50 km/h	Prędkość 80 km/h
z 5% do 0	- 0,7 dB	- 1,0 dB
z 10% do 0	- 1,4 dB	- 1,9 dB
z 15% do 0	- 2,0 dB	- 2,6 dB

Jazda z nadmierną prędkością jest zjawiskiem powszechnym i problemem, z którym borykają się władze wszystkich krajów. Oprócz

zagrożenia wypadkowego powoduje zwiększoną emisję hałasu do otoczenia, która wynika nie tylko z pracy silnika (jazdy na wysokich obrotach, naprzemiennych przyspieszeń i hamowań), ale również z odgłosu opon toczących się po nawierzchni oraz - zwłaszcza w przypadku ciężarówek - hałasu uderzających o siebie elementów pojazdu i ładunku. Przy założeniu, że ograniczenia prędkości oprócz bezpieczeństwa są również ustanawiane z myślą o ochronie środowiska. Egzekwowanie ograniczeń prędkości jest jednocześnie walką z hałasem na drodze i dbaniem o korzystny klimat akustyczny w otoczeniu drogi. Automatyczna kontrola prędkości i odcinkowa kontrola prędkości może zapobiec 80% przypadków przekroczeń prędkości, a także powoduje, że ruch pojazdów jest spokojniejszy i bardziej jednostajny. Odcinkowa kontrola prędkości jest jednak możliwa tylko na fragmentach dróg pozbawionych zjazdów, dlatego w warunkach miejskich z uwagi na mnogość skrzyżowań częściej stosuje się kaskadową kontrolę fotoradarową. Poniżej przedstawiono wpływ redukcji prędkości poszczególnych grup pojazdów na hałas w otoczeniu (Tab. 6).

Tablica 6. Wpływ zmniejszenia prędkości ruchu na redukcję hałasu wg [4]

Zmniejszenie prędkości ruchu [km/h]	Zmniejszenie poziomu hałasu – pojazdy lekkie	Zmniejszenie poziomu hałasu – pojazdy ciężkie
130 → 120	1,0 dB	-
120 → 110	1,1 dB	-
110 → 100	1,2 dB	-
100 → 90	1,3 dB	1,0 dB
90 → 80	1,5 dB	1,1 dB
80 → 70	1,7 dB	1,2 dB
70 → 60	1,9 dB	1,4 dB
60 → 50	2,3 dB	1,7 dB
50 → 40	2,8 dB	2,1 dB
40 → 30	3,6 dB	2,7 dB

Z powyższej tablicy jasno wynika znaczący wpływ prędkości pojazdów na poziom hałasu. Unaocznia to jak istotnym czynnikiem analiz ruchowych, ale i także środowiskowych jest właściwie sparametryzowana sieć komunikacyjna. Pomocnym we właściwym zamodelowaniu prędkości pojazdów może być wykorzystanie modeli mikrosymulacyjnych (np. VISSIM). Problem ten dotyczy w szczególności sieci miej-

skich, gdzie nawet niewielka redukcja prędkości powoduje istotną poprawę klimatu akustycznego zwłaszcza w zakresie niskich prędkości.

4. Przykłady wpływu wybranych prognoz ruchu i związanych z nimi analiz hałasu drogowego

4.1. Wpływ zmian funkcji ulicy na wielkość emisji hałasu

Powyższe wyniki badań wyraźnie wskazują na dużą wrażliwość poziomu hałasu na zmiany w obciążeniu ruchem. Bardzo często planując zmiany w układzie komunikacyjnym miasta i wprowadzając uspokojenie ruchu na pewnych ulicach powoduje się wzrost natężenia ruchu na innych. Może to w niektórych przypadkach pociągać za sobą pogorszenie warunków środowiskowych. W związku z tym zasadnym jest ich przeanalizowanie na wszystkich ulicach znajdujących się na danym obszarze.

Tablica 7. Obciążenie ruchem [P/h] oraz poziomy hałasu w ulicach objętych analizami skutków wzrostu natężenia ruchu

	M	O	D	C	Cp	A	Suma	L_{Aeq}^d
Sytuacja początkowa								
Lokalna	5	450	43	2	0	0	500	68,6 dB
Zbiorcza	10	900	86	4	0	0	1000	71,7 dB
Główna	10	1080	102	46	12	0	1250	74,8 dB
Przeniesienie ruchu z innej ulicy lokalnej								
Lokalna	10	900	86	4	0	0	1000	71,7 dB
Zbiorcza	15	1350	129	6	0	0	1500	73,4 dB
Główna	15	1530	145	48	12	0	1750	75,7 dB

gdzie: M - motocykle, O - samochody osobowe, D - samochody dostawcze, C - samochody ciężarowe, Cp - samochody ciężarowe z przyczepami lub naczepami, A - autobusy, L_{Aeq}^d - równoważny poziom hałasu dla pory dnia

Dla potrzeb niniejszego referatu przeprowadzone zostały badania symulacyjne zmian poziomu emisji hałasu dla trzech klas ulic: lokalnej, zbiorczej i głównej. Dla pierwotnego scenariusza obciążenia ruchem, typowe dla tych ulic obciążenie ruchem zostało zestawione w tab. 7. Następnie stworzono scenariusz, w którym na rozpatrywane ulice przeniesiony został ruch z innej ulicy lokalnej (np. w wyniku jej

zamknięcia) o natężeniu ruchu identycznym, co rozpatrywana ulica lokalna. Spowodowało to istotne zmiany w obciążeniu ruchem. Wielkość emisji hałasu (L_{Aeq}^d) została określona dla każdego z rozpatrywanych przypadków na krawędzi jezdni na wysokości 4 m.

Z powyższego zestawienia wynika, że wraz ze wzrostem klasy ulicy przyrost poziomu emisji hałasu maleje. W przypadku ulicy lokalnej wynosi ona aż 3,1 dB (co oznacza wzrost poziomu hałasu o 50%, odczuwany przez ucho ludzkie), ulicy zbiorczej - 1,7 dB, natomiast ulicy głównej - tylko 0,7 dB (różnica praktycznie niewyczuwalna przez ludzkie ucho).

Inną sytuacją, z jaką bardzo często planiści mają do czynienia jest opór społeczny przeciwko wprowadzeniu na niektóre ulice komunikacji autobusowej. Mieszkańcy budynków wzdłuż tych ulic przytaczają wówczas argument zwiększonego poziomu emisji hałasu, zapominając przy tym o efekcie spodziewanego zmniejszenia natężenia ruchu samochodowego spowodowanego zmianą środka transportu przez część osób. Poniżej przeanalizowana została najbardziej niekorzystna sytuacja ruchowa, a mianowicie pojawienie się dodatkowego potoku autobusowego przy niezmienionym natężeniu ruchu pojazdów pozostałych kategorii. Dla potrzeb obliczeniowych założono kursowanie pojazdów komunikacji miejskiej co 10 minut, a co za tym związane pojawieniem się w przekroju ulicy w obu kierunkach potoku 12 autobusów w ciągu godziny. Wyniki obliczeń symulacyjnych poziomu hałasu zostały zestawione w tab. 8.

Tablica 8. Obciążenie ruchem [P/h] oraz poziomy hałas w ulicach objętych analizami skutków wprowadzenia komunikacji autobusowej

	M	O	D	C	Cp	A	suma	L_{Aeq}^d
Sytuacja początkowa								
Lokalna	5	450	43	2	0	0	500	68,6 dB
Zbiorcza	10	900	86	4	0	0	1000	71,7 dB
Główna	10	1080	102	46	12	0	1250	74,8 dB
Przeniesienie ruchu z innej ulicy lokalnej								
Lokalna	5	450	43	2	0	12	512	70,1 dB
Zbiorcza	10	900	86	4	0	12	1012	72,4 dB
Główna	10	1080	102	46	12	12	1262	75,2 dB

oznaczenia jak w tab. 7.

Analizując powyższe wyniki tylko nieznaczne pogorszenie klimatycznego wzdłuż ulic lokalnych (wzrost poziomu hałasu o 1,5 dB), natomiast w przypadku ulic zbiorczych i głównych praktycznie niezauważalny wzrost poziomu emisji (odpowiednio 0,7 i 0,4 dB). Na podstawie tego przykładu można stwierdzić, że wprowadzenie komunikacji autobusowej na poszczególne ulice nie powoduje pogorszenia warunków środowiskowych i jest uwarunkowane jedynie warunkami przejezdności dla pojazdów wielkogabarytowych takich jak autobus i wymogami organizacji ruchu.

4.2. Wpływ na zagrożenie hałasem ruchu przeniesionego z innych dróg

Bardzo ważnym zagadnieniem jakie należy uwzględnić w prowadzonych analizach ruchowych jest wpływ odpłatności za przejazd autostradą na stopień przejęcia ruchu przez inne drogi. Jest to bardzo trudny problem zwłaszcza wobec braku prowadzenia badań w Polsce na szerszą skalę. Należy pamiętać, że w wielu regionach kraju autostrady płatne są jeszcze nieznanne, a ponadto istniejące odcinki płatne są stosunkowo krótkie, a co za tym idzie dotkliwość opłat relatywnie niewielka. Mamy tu do czynienia nie tylko ze zjawiskami czysto ekonomicznymi (odniesienie wysokości opłat do wielkości dochodu), ale także ze zjawiskami socjologicznymi (akceptacja społeczna opłaty za przejazd drogą szybkiego ruchu o wysokim komforcie jazdy). Prowadzone dzisiaj badania mają opierać się tylko na deklaracjach potencjalnych użytkowników, zwłaszcza dotyczy to podróży na duże odległości. – trudno bowiem dzisiaj przewidzieć gotowość do płacenia za przejazd autostradą np. z Krakowa do Gdańska, która jak się szacuje, przy utrzymaniu obecnych stawek, wyniesie ok. 100-120 zł.

Jak istotny może to być problem dla dróg alternatywnych zostanie pokazane na przykładzie odcinka drogi krajowej nr 91 Kłomnice (k. Częstochowy) – Radomsko, która biegnie równoległe do obecnej drogi krajowej nr 1 przewidzianej do modernizacji do parametrów autostrady. Prognozując ruch na rok 2015 (gdy autostrada A1 będzie prawdopodobnie funkcjonowała już jako płatna) można przyjąć następujące scenariusze do analiz:

- W0 – autostrada A1 jest nadal bezpłatna, a więc analizowana droga nr 91 będzie przenosiła tylko ruch regionalny;

- W1 – na autostradzie A1 zostaną wprowadzone opłaty, które spowodują przeniesienie na trasę alternatywną 10% ruchu z autostrady; zakłada się przy tym, że samochody ciężarowe będą zwolnione z opłat (jak to ma miejsce obecnie) i będą nadal korzystać z autostrady; przeniesienie ruchu dotyczyć będzie w zasadzie tylko samochodów osobowych i dostawczych;
- W2 – na autostradzie A1 zostaną wprowadzone opłaty, które spowodują przeniesienie na trasę alternatywną 20% ruchu; samochody ciężarowe będą nadal zwolnione z opłat za przejazd autostradą;
- W1A – na autostradzie A1 zostaną wprowadzone opłaty dla wszystkich kategorii pojazdów, które spowodują przeniesienie na trasę alternatywną 10% z całości ruchu na autostradzie (w tym samochodów ciężarowych);
- W2A – na autostradzie A1 zostaną wprowadzone opłaty dla wszystkich kategorii pojazdów, które spowodują przeniesienie na trasę alternatywną 20% z całości ruchu na autostradzie.

Wyniki obliczeń symulacyjnych natężenia ruchu na rozpatrywanym odcinku alternatywnym wobec autostrady A1 zostały zestawione w tab. 9.

Tablica 9. Zestawienie obciążenia ruchem [P/dobę] DK91 na odcinku Kłomnice – Radomsko dla poszczególnych rozważanych scenariuszy

	M	O	D	C	Cp	A	suma	Uc
W0	7	2714	491	203	145	12	3572	0,103
W1	7	5190	970	203	145	12	6527	0,056
W2	7	7666	1449	203	145	12	9482	0,039
W1A	7	5190	970	411	725	37	7340	0,161
W2A	7	7666	1449	618	1306	61	11107	0,179

gdzie: M, O, D, C, Cp, A – znaczenie jak w tab. 7, Uc – udział pojazdów ciężkich w potoku ruchu

Dla każdego z wariantów obciążenia ruchem odcinka drogi stanowiącej alternatywę wobec autostrady wykonane zostały obliczenia symulacyjne równoważnego poziomu hałasu zarówno dla pory dnia jak i nocy (tab. 10).

Tab. 10. Zestawienie wyników obliczenia poziomu hałasu dla poszczególnych rozważanych scenariuszy obciążenia ruchem DK91 na odcinku Kłomnice – Radomsko

	Równoważny poziom hałasu w porze dnia L_{Aeq}^d	Równoważny poziom hałasu w porze nocy L_{Aeq}^n
W0	68,5 dB	63,8 dB
W1	70,2 dB	65,0 dB
W2	71,5 dB	66,0 dB
W1A	72,4 dB	68,2 dB
W2A	74,4 dB	70,3 dB

Na podstawie przeprowadzonych obliczeń symulacyjnych poziomu hałasu można stwierdzić, że przeniesienie 10% ruchu samochodów osobowych i dostawczych z autostrady skutkujące wzrostem o 83% ruchem na rozpatrywanej drodze wobec niej alternatywnej powoduje stosunkowo niewielki wzrost poziomu hałasu – o 1,7 dB w porze dnia i o 1,2 dB w porze nocy. Jeśli z przejazdu autostradą płatną zrezygnuje już 20% samochodów osobowych i dostawczych (wzrost ruchu na drodze nr 91 o 165%), wówczas wzrost poziomu hałasu tym wywołany będzie większy - odpowiednio 3,0 oraz 2,2 dB, co będzie już odczuwane jak zmiana dokuczliwa.

Znacznie poważniejsze konsekwencje będą miały miejsce, gdy opłatami za przejazd autostradą objęte zostaną samochody ciężarowe. Wówczas przeniesienie z autostrady 10% ruchu ogółu pojazdów spowoduje wzrost natężenia ruchu o 105% na drodze alternatywnej, a poziomu emisji hałasu w porze dnia o 3,9 dB, a w porze nocy o 4,4 dB. W przypadku przeniesienia 20% ruchu z autostrady, skutkuje wzrostem natężenia ruchu na drodze alternatywnej o 211% a zaobserwowany wzrost poziomu hałasu będzie już bardzo duży – w ciągu dnia o 5,9 dB, a nocą o 6,5 dB, co będzie postrzegane już jako dotkliwe podniesienie poziomu hałasu.

Przeprowadzona powyżej analiza unaocznia dobitnie jak ważne jest opracowanie modelu odzwierciedlającego skutki wprowadzenia odpłatności za przejazd drogami szybkiego ruchu na drogi alternatywne. Coraz pilniejszym problemem staje się bowiem dostosowanie tych dróg do przewidywanego znacznego wzrostu natężenia ruchu, nie tylko pod względem geometrycznym i nośności nawierzchni, ale także ochrony przed hałasem.

4.3. Wpływ błędu prognozy natężenia ruchu na wielkość emisji hałasu

Istotnym zagadnieniem jest trafność opracowanych prognoz ruchu, zwłaszcza w aspekcie analiz środowiskowych. Oczywiście należy dążyć, aby wyniki przeprowadzonych obliczeń symulacyjnych natężenia ruchu były jak obarczone jak najmniejszym błędem, jednakże należy pamiętać, że bazują one na modelach matematycznych, które tylko w sposób przybliżony odzwierciedlają poszczególne procesy transportowe zachodzące w rzeczywistości.

Dla potrzeb niniejszych analiz przyjęto takie same przypadki obliczeniowe jak analizowane w p. 4.2. Obliczenia symulacyjne poziomu hałasu wykonano dodatkowo dla sytuacji zawyżenia prognoz natężenia ruchu o 10 i 25%. Wyniki te wraz z przyjętymi natężeniami ruchu zostały zestawione w tab. 11.

Tablica 11. Obciążenie ruchem [P/h] oraz poziomy hałasu w ulicach objętych analizami skutków błędów w prognozie

	M	O	D	C	Cp	A	suma	L_{Aeq}^d
Scenariusz odniesienia								
Lokalna	5	450	43	2	0	0	500	68,6 dB
Zbiorcza	10	900	86	4	0	0	1000	71,7 dB
Główna	10	1080	102	46	12	0	1250	74,8 dB
Przeszacowanie natężenia ruchu o 10%								
Lokalna	6	495	47	2	0	0	550	69,1 dB
Zbiorcza	11	990	95	4	0	0	1100	72,0 dB
Główna	11	1188	112	51	13	0	1375	75,2 dB
Przeszacowanie natężenia ruchu o 20%								
Lokalna	6	563	54	3	0	0	626	69,7 dB
Zbiorcza	13	1125	108	5	0	0	1251	72,7 dB
Główna	13	1350	128	58	15	0	1564	75,8 dB

oznaczenia jak w tab. 7.

Analizując otrzymane wyniki można stwierdzić, że w przypadku niewielkich błędów w oszacowaniu natężenia ruchu (rzędu 10%) wpływ na zwiększoną uciążliwość środowiskową w tym poziom hałasu jest nieznaczny – od 0,5 do 0,3 dB, która to różnica jest praktycznie

niewyczuwalna dla ucha ludzkiego. Wraz ze wzrostem błędu oszacowania, różnice w obliczonym poziomie hałasu stają się coraz bardziej istotne – np. zawyżenie natężenia ruchu o $\frac{1}{4}$ powoduje podniesienie poziomu hałasu o 1 dB. Wraz ze wzrostem wielkości błędu, różnice te stają się coraz bardziej istotne.

Należy przy tym zaznaczyć, że powyższe analizy odnosiły się do wielkości błędu natężenia ruchu wyrażonego w wartościach względnych, które w przypadku dróg i ulic niższych klas o małym natężeniu ruchu są co do wartości bezwzględnej nieduże. Dla analizowanej w niniejszych obliczeniach ulicy lokalnej błąd 10% oznacza w natężeniu ruchu różnicę 50 pojazdów, a błąd 25% - 126 pojazdów. W przypadku wzrostu natężenia ruchu na tej ulicy o 500 pojazdów (co w praktyce odpowiada przypadkowi analizowanemu w pierwszej części rozdziału 4.1), - może to być skutkiem np. niewłaściwego podłączenia większego rejonu komunikacyjnego do sieci drogowo-ulicznej - oznacza błąd o 100%. Powoduje to istotne zwiększenie poziomu emisji hałasu o 3,1 dB, która to różnica jest wyczuwana przez ucho ludzkie jako istotna zmiana. Dlatego przy opracowywaniu prognoz ruchu dla potrzeb analiz środowiskowych należy dążyć nie tylko do jak najbardziej prawidłowego dopracowania prognoz na najważniejszych ciągach komunikacyjnych, ale także na drogach niższych klas, jeśli są one objęte analizami. W ich przypadku nawet stosunkowo nieznaczne zawyżenie prognoz może skutkować przeszacowaniem poziomu emisji hałasu, i w konsekwencji - nadmiernym zakresem zastosowanych środków redukujących ten niekorzystny wpływ.

5. Podsumowanie i wnioski

Rzetelnie wykonana prognoza ruchu jest podstawą wiarygodnych analiz środowiskowych w zakresie głównych oddziaływań, w tym hałasu drogowego. Od jakości prognozy ruchu w wielu przypadkach zależy poprawność planowania i projektowania metod oraz środków ochronnych, których wartość stanowi coraz częściej znaczący procent kosztów inwestycyjnych.

Podstawą dobrze wykonanej prognozy ruchu dla celów opracowań środowiskowych, poza doświadczeniem oraz znajomością specyfiki potrzeb, jest dostępność metod prognozowania oraz potrzebnych,

dokładnych danych. Niestety, obecnie przeprowadzane cyklicznie pomiary ruchu (np. GPR) nie dostarczają danych odnośnie zmienności potoków ruchu dla poszczególnych kategorii w ciągu doby, jak i w dni tygodnia. Jest to bardzo pilnie potrzebne w związku z wykonywanymi mapami akustycznymi oddziaływania hałasu dla trzech okresów doby: pory dnia (600 ÷ 1800), wieczoru (1800 ÷ 2200) oraz nocy (2200 ÷ 600). Dotyczy to zwłaszcza ruchu ciężarowego, który ze względu na ograniczony czas pracy kierowców oraz mniejsze zatłoczenie dróg w godzinach nocnych, w coraz większym stopniu przenosi się na ten okres doby. Zwiększony poziom emisji hałasu przy jednocześnie zaostrzonych normach powoduje, iż to właśnie ruch o tej porze doby decyduje o rodzaju zastosowanych środków zapobiegawczych. Wpływ dni tygodnia nabiera znaczenia dla analiz ruchu ciężarowego w okresie letnim, gdy jest on poważnie ograniczony w soboty i niedziele.

Niesłuchaniem istotnym problemem staje się także brak modelu odzwierciedlającego przeniesienie się części potoku samochodowego z autostrad na drogi alternatywne wskutek wprowadzenia opłat za przejazd drogami szybkiego ruchu. Zagadnienie staje się o tyle pilne, że opłata za przejazd obejmować będzie coraz to nowe odcinki nie tylko autostrad, ale także część dróg ekspresowych. Jak wykazały przeprowadzone w niniejszym referacie analizy, przeniesienie się nawet niewielkich potoków ruchu z autostrady na drogi alternatywne może powodować wzrost uciążliwości środowiskowych. Wzrosną one jeszcze bardziej, gdy opłaty te obejmą także samochody ciężarowe.

Bardzo ważnym czynnikiem zwłaszcza w prognozach długofalowych jest brak analiz zmian podziału zadań przewozowych nie tylko w obszarach miejskich (bardzo często brak takich modeli w wielu nawet dużych miastach), ale także o zasięgu metropolitalnym (wprowadzenie kolei regionalnej o wysokich parametrach), a nawet ogólnokrajowym (sieć połączeń kolejowych o wysokich prędkościach). Można się bowiem spodziewać, że wprowadzenie środków komunikacji zbiorowej, istotnie skracających czas przejazdu spowoduje zmniejszenie potoku osób, korzystających z transportu drogowego.

W związku z brakiem pełnych danych ruchowych koniecznym jest przyjmowanie w większości przypadków wielu założeń upraszczających. Gdy są one stosowane na dużą skalę, wówczas powodują, że opracowane na ich podstawie prognozy wielkości oddziaływań środowiskowych (np. prognozy hałasu), pomimo stosowania do ich określe-

nia zaawansowanych modeli są obarczone zbyt dużym błędem, czego efektem są niewłaściwe bądź nieefektywnie stosowane rozwiązania ochronne. Problem ten zauważa się obecnie przede wszystkim w opracowaniach dotyczących analiz hałasu drogowego oraz w przypadkach już wybudowanych ekranów akustycznych. Dodatkowo problemy prognoz ruchu dla potrzeb środowiskowych komplikują się wraz ze wzrostem liczby analiz oraz rodzaju uwzględnianych oddziaływań.

Z wyżej zarysowanych problemów wynika coraz większa zasadność stworzenia spójnego systemu prowadzenia pomiarów okresowych, zwłaszcza w skali kraju, gdzie uwzględnione zostaną także specyficzne potrzeby opracowań i analiz środowiskowych. Zdaniem autorów niniejszego referatu, materiały te powinny mieć charakter wytycznych lub instrukcji, których celem byłoby określenie sposobów i metod modelowania oraz prognozowania ruchu dla potrzeb opracowań środowiskowych. Wytyczne takie powinny zostać sporządzone niezależnie dla ulic w miastach oraz dla dróg zamiejskich – powinny bowiem uwzględniać specyficzne sytuacje, jakie występują w przypadku prowadzenia skomplikowanych analiz środowiskowych (np. programy naprawcze związane z hałasem drogowym w mieście).

Bibliografia

- [1] Bendtsen H. (Senior Researcher), Larsen H.J.E. – Traffic Management and Noise, Road Directorate, Danish Road Institute, 2007, opracowanie własne.
- [2] Bohatkiewicz J. i inni – Podręcznik dobrych praktyk wykonywania opracowań środowiskowych dla dróg krajowych; GDD-KiA, Warszawa, 2008
- [3] Bohatkiewicz J, Biernacki S., Jamrozik K., Kuliś S. – Efekty wpływu systemów ITS na klimat akustyczny w otoczeniu dróg; Polski Kongres ITS
- [4] Ellebjerg L. (Danish Road Institute) – Controlling Traffic Noise through Traffic Management, Results of a literature study in SILENCE WP H1, Brussels, 2007, opracowanie własne.

IMPACT OF TRAFFIC FORECASTING ON ENVIRONMENTAL ANALYSIS IN THE ROADS SECTOR

Summary

The importance of road traffic forecasts for various impact analysis carried out as part of environmental studies in Poland has been presented in the paper. It has been shown several different factors liable to influence the traffic volumes on roads and streets that are used in the most common types of traffic analyses and environmental studies prepared nowadays. The types and the time ranges of necessary traffic forecasts that are carried out as part of environmental studies have been also described. It has been described inter alia how the introduction of toll on motorways affects the traffic on the alternative roads and what consequences result when a part of the traffic migrates from motorways onto those roads. It has been also presented in the paper how sensitive are some selected environmental impact indicators to the variations in traffic volumes as well as potential mistakes that may occur during the assessment.

Keywords: transport planning, traffic forecasts, impact forecasts, environmental protection, noise protection

EINFLUSS DER VERKEHRSPROGNOSEN AUF UMWELTANALYSEN IM STRASSENBAUWESEN

Zusammenfassung

Dieser Vortrag stellt die Bedeutung der Verkehrsprognosen, die in Polen für verschiedene Umweltverträglichkeitsprüfungen bearbeitet werden, dar. Es werden die verschiedenen Aspekte, die die Verkehrsbelastung der Strassen in den jetzt bearbeiteten Verkehrs- und Umweltanalysen beeinflussen, gezeigt. Die Art der Verkehrsprognosen und ihr Zeitabschnitt, die in Rahmen der Umweltanalysen bearbeitet werden, werden angegeben. Es wird der Einfluss auf die Verkehrsströme auf den Straßen, die parallel zur Autobahnen verlaufen und deren Belastung wegen der Gebührpflicht auf Autobahnen vergrößert ist, dargestellt. Die Empfindlichkeit der gewählten Kennziffer in Bezug auf die Umweltbelastung wegen der Änderung der Verkehrsmenge und die eventuellen Fehler bei ihrer Schätzung werden präsentiert.

Die Schlüsselwörter: *die Verkehrsplanung, die Verkehrsprognosen, die Umweltverträglichkeitsprüfung, der Umweltschutz, der Lärmschutz*

Tomasz Dybicz¹

MODELOWANIE I SYMULACJE RUCHU, RYS HISTORYCZNY I AKTUALNIE STOSOWANE OPROGRAMOWANIE

Streszczenie

Planowanie rozwoju poszczególnych systemów transportu jest jednym z bardzo odpowiedzialnych zadań podejmowanych przez jednostki samorządowe. Jednym z ważniejszych elementów tego procesu jest modelowanie i prognozowanie ruchu, które należy ustawicznie rozwijać i udoskonalać. Sprzyja temu dynamiczny rozwój specjalistycznego oprogramowania służącego do modelowania i symulacji ruchu. W artykule przedstawiono historię rozwoju modelowania i prognozowania ruchu na świecie oraz w kraju. Dokonano przeglądu modeli ruchu oraz nowoczesnych programów komputerowych służących do sieciowego modelowania i symulacji ruchu.

Słowa kluczowe: makroskopowe modele ruchu, mikroskopowe modele ruchu, sieciowe modelowanie ruchu, symulacja ruchu

1. Wstęp

Efektywnie funkcjonujący system transportowy podnosi warunki życia mieszkańców oraz atrakcyjność inwestycyjną regionu. Stąd planowanie rozwoju poszczególnych systemów transportu jest jednym z bardzo odpowiedzialnych zadań podejmowanych przez jednostki samorządowe. Do skutecznego planowania modernizacji i rozwoju systemów transportu wykorzystuje się modele ruchu. Uzyskiwane wyniki z ich stosowania są podstawowymi przesłankami służącymi

¹ dr inż., Wydział Inżynierii Lądowej Politechniki Warszawskiej

do oceny efektywności planowanych/projektowanych elementów infrastruktury. Stąd stosowanie modelowanie ruchu jest bardzo ważne w całym procesie planowania/projektowania elementów infrastruktury, ale z drugiej strony jest bardzo wrażliwym elementem, który musi stale być poddawany weryfikacji i kontroli. Błędnie wykonany i/lub zastosowany model ruchu może przyczynić się do wyciągnięcia błędnych wniosków, co do efektywności planowanych elementów infrastruktury i przyczynić się podejmowania błędnych decyzji. Z uwagi na powyższe metodyka modelowania ruchu musi być ciągle rozwijana i udoskonalana. Sprzyja temu dynamiczny rozwój specjalistycznego oprogramowania służącego do modelowania i symulacji ruchu.

2. Modelowanie i prognozowanie ruchu - rys historyczny, doświadczenia krajowe i zagraniczne

Modelowanie i prognozowanie ruchu jest stosunkowo młodą, lecz dynamicznie rozwijającą się dziedziną nauki mocno powiązaną z zagadnieniem planowania systemów transportowych. W latach 50-tych ubiegłego wieku powstały dwie bardzo ważne teorie dotyczące modelowania podróży.

Pierwsza z nich, tzw. metoda Fratara [7]. Ma ona zastosowanie w prognozowaniu ruchu opartym na mnożeniu macierzy ruchu przez macierz wskaźników wzrostu na poszczególnych relacjach.

Druga z nich to tzw. model grawitacyjny [28], [29]. Opiera się ona na założeniu, że liczba podróży pomiędzy obszarami miasta jest proporcjonalna do ich wielkości (liczby mieszkańców i miejsc pracy), a odwrotnie proporcjonalna do odległości między nimi. Zastosowanie modelu grawitacyjnego umożliwiło prognozowanie liczby podróży w oparciu o prognozowane zmiany demograficzne oraz zatrudnienia.

W następnej kolejności powstawały teorie dotyczące podziału podróży na poszczególne środki transportowe oraz sposoby wprowadzania podróży do sieci, czyli sposoby rozkładania ruchu.

Powstające teorie zostały skonsumowane do stworzenia kompleksowego pojęcia modelu ruchu. Został on nazwany cztero-stopniowym modelem ruchu² [15], [32]. Nazywany jest on też klasycznym modelem ruchu. Jest on najbardziej rozpowszechnionym i używanym również

obecnie kompleksowym modelem ruchu. Jego nazwa pochodzi od jego konstrukcji, składa się on z czterech faz (generacja ruchu³, dystrybucja ruchu⁴, podział na środki transportu⁵ oraz rozkład ruchu na sieci⁶).

W ostatnich latach coraz większą popularnością wśród badaczy i praktyków cieszą się modele, które zastępują pierwsze trzy fazy klasycznego modelu ruchu. Modele te nazywają się modelami opartymi na aktywności komunikacyjnej mieszkańców⁷ [23], [33]. Zwolennicy ich stosowania wskazują na większe możliwości uwzględniania w obliczeniach liczby podróży między rejonami różnych czynników jak np. kosztów korzystania z poszczególnych środków transportu, komfortu podróżowania, zatłoczenia komunikacyjnego oraz zmieniających się zachowań komunikacyjnych i aktywności mieszkańców. Niestety zastosowanie tych modeli wiąże się z większymi nakładami na badania zachowań i preferencji komunikacyjnych.

W specjalnym raporcie [16] wskazuje się na konieczność doskonalenia i rozwijania obydwu aspektów modelowania podróży.

Jednym z wydarzeń, które wpłynęło pozytywnie na rozwój planowania, a przez to także modelowania i prognozowania ruchu było wejście w życie w Stanach Zjednoczonych dwóch ustaw. Pierwsza⁸, uchwalona w 1961 r., umożliwiła agencjom federalnym finansowanie zaawansowanych badań studiów ruchu nad rozwiązywaniem problemów zatłoczenia oraz redukcji potrzeb transportowych. Druga, ustawa⁹, uchwalona w 1962 r., wprowadziła obowiązek wykonywania od 1 lipca 1965 roku studiów ruchu dla projektów dotyczących rozwoju infrastruktury w miastach (i ich aglomeracjach) w przypadku, gdy ich wielkość przekraczała 50 tys. mieszkańców.

Rozwój dziedziny nauki jaką jest modelowanie ruchu (w tym modelowanie podróży) jest powiązany z rozwojem komputeryzacji. W publikacji [10] przedstawiono rys historyczny rozwoju dziedziny, jaką jest modelowanie ruchu. W latach 50 i 60 ubiegłego wieku powstały pierwsze modele ruchu dla dużych miast amerykańskich, w tym: De-

3 ang.: *trip generation*

4 ang.: *trip distribution*

5 ang.: *mode choice*

6 ang.: *traffic assignment*

7 nng.: *Activity-Based Model*

8 Nazwa ustawy: *The Housing Act*

9 Nazwa ustawy: *The Federal-Aid-Highway Act*

troit, Chicago, Filadelfia i Waszyngtonu D.C. [16] opracowywane na wielkich komputerach IBM.

Modele te wykorzystywały wyniki prac nad makroskopowymi modelami ruchu w arteriach opisane min. w publikacjach [30], [25]. W 1966 r. ukazała się publikacja [24], w której opisano teorię powiązania maksymalnych przepływów ruchu do centrów miast w funkcji obszaru, liczby dróg oraz ich przepustowości. Niemniej jednak prace te nie wyjaśniały, jaki jest wpływ na warunki ruchu sytuacji, w których popyt przewyższa przepustowość dróg w godzinach szczytu. Publikacja [27] była pierwszą pracą, w której - w oparciu o analizy wieloletnich pomiarów ruchu wykonywanych w centrum Londynu - przedstawiono liniową zależność pomiędzy prędkością pojazdów, a natężeniem ruchu. W publikacji [31] przedstawiono teoretycznie opracowaną zależność średniej prędkością potoku, liczby pasów ruchu i średnich odległości między skrzyżowaniami. Należy zaznaczyć, że opracowane zależności sprawdzały się jedynie w przypadkach występowania monotonicznego ruchu występującego w mało obciążonych sieciach. Nie nadawały się zatem do opisu ruchu w warunkach występowania stanów zatłoczenia, np. w godzinach szczytu. Jednym z ważniejszych opracowań w tej dziedzinie była praca przedstawiona w publikacji [11] w której stwierdzono, że średnia prędkość ruchu w dużych miastach jest uzależniona od udziału zatrzymań pojazdów w określonym okresie czasu.

W Polsce pierwsze doświadczenia związane z modelowaniem ruchu datowane są na okres 1955-1964, kiedy to powstały pierwsze warszawskie modele ruchu opracowywane z wykorzystaniem maszyn cyfrowych. Tworzyli je pionierzy modelowania ruchu w Polsce skupieni wokół Instytutu Gospodarki Komunalnej w Warszawie oraz Warszawskiego Biura Studiów i Projektów Komunikacji Miejskiej. Krych w publikacji [14] do tej grupy polskich badaczy zalicza: Lilpopa, Rataja, Sidorenkę oraz Suchorzewskiego.

W latach 1975-1985 w ramach programu pomocy ONZ przekazano Polsce amerykański komputerowy pakiet programów Urban Transport Planning System (UTPS).

Opracowywanie modeli ruchu dla miast oraz większych aglomeracji umożliwia przeprowadzenie wielu analiz niezwykle ważnych z punktu widzenia diagnozy stanu istniejącego i planowania, w tym:

- analiz warunków ruchu;

- analiz transportochłonności i zapotrzebowania na infrastrukturę transportową;
- analiz środowiskowych, hałasu i emisji;
- wpływu zmian zagospodarowania przestrzennego na system transportowy;
- wpływu zmian demograficznych i ekonomicznych;
- polityki transportowej oraz
- efektywności projektów rozwoju infrastruktury.

W cytowanym już opracowaniu [16] wskazuje się, że poprawny model można uzyskać po wykonaniu 4 pełnych procesów:

- **opracowania modelu ruchu** (model estimation) – wykonanie matematycznego zapisu modelu ruchu z wykorzystaniem informacji zebranych w czasie badań;
- **kalibracji modelu ruchu** (model calibration) – proces porównywania parametrów modelu ruchu z wynikami pomiarów w celu zapewnienia właściwego odwzorowania rzeczywistych warunków; kalibracja ma na celu doprowadzenie do zminimalizowania różnic pomiędzy parametrami modelu i wynikami pomiarów;
- **weryfikacji modelu ruchu** (model validation) – sprawdzenie przydatności modelu do wykonywania analiz konkretnych projektów przy uwzględnieniu odpowiednich uwarunkowań; weryfikacja obejmuje m.in. wykonanie prognoz ruchu przy założeniach, które pozwalają przeprowadzić pomiary ruchu oraz porównać otrzymane wyniki, przykładem weryfikacji modelu ruchu może być wykonanie „wstecznej” prognozy ruchu w oparciu o dane historyczne i porównanie jej wyników z odpowiadającymi im historycznymi pomiarami ruchu; autor pracy jest zdania; że w przypadku modeli prognostycznych powinno się sprawdzać czy prognozowane natężenia ruchu na sieci drogowej nie doprowadzą do aktywacji LOP;
- **zastosowania modelu ruchu** (model application) – funkcjonalność modelu można sprawdzić poprzez analizę wrażliwości na niewielką zmianę niektórych parametrów modelu (np. wysokości opłat na odcinkach, wartości czasu użytkowników itp.); w przypadku gdy model bardzo czule reaguje nawet na niewielkie zmiany parametrów można uznać, że jego funkcjonalność jest ograniczona; działanie to od 1997 r. jest zalecane przez amerykańską federalną administrację drogową FHWA.

3. Powszechnie stosowane modele ruchu, ich wady i zalety

W publikacjach [18], [12] przedstawiono podział powszechnie stosowanych modeli ruchu w zależności od opisu szczegółowości zjawiska jakim jest ruch drogowy. Według przytoczonych klasyfikacji modele ruchu drogowego można podzielić na dwie podstawowe grupy:

- mikroskopowe modele ruchu oraz
- makroskopowe modele ruchu.

Makroskopowe modele ruchu charakteryzują się tym, że opisują ruch drogowy poprzez wielkości zagregowane, w tym np.: średnia prędkość pojazdów, gęstość i natężenie ruchu.

Mikroskopowe modele ruchu drogowego, opisują każdy pojedynczy pojazd znajdujący się w sieci drogowej oraz wzajemne interakcje zachodzące pomiędzy pojazdami i stanem sieci drogowej.

Pomiędzy wymienionymi modelami występują jeszcze mezoskopowe modele ruchu. W ich przypadku trudno jest podać szczegółową definicję. Umownie można przyjąć, że wypełniają one przestrzeń pomiędzy makroskopowymi, a mikroskopowymi modelami ruchu. Generalnie można określić, że mezoskopowe modele ruchu zajmują się opisem ruchu grup pojazdów oraz ich wzajemnych interakcji. W uproszczeniu można określić, że modele mezoskopowe są mniej dokładne niż mikroskopowe, ale za to bardziej dokładne niż makroskopowe modele ruchu.

Jedną z głównych zalet makroskopowych modeli ruchu jest możliwość analizy ruchu na wszystkich pasach drogi (w jednym kierunku) przez wykorzystanie jednego modelu uwzględniającego prawdopodobieństwo wyprzedzania. Wynikiem stosowania makroskopowego modelu ruchu jest średnia prędkości pojazdów $v(x,t)$ w odniesieniu do gęstości ruchu $p(x,t)$ jako funkcja przebytej drogi i czasu.

W makroskopowych modelach ruchu zakłada się, że strumień ruchu jest jednorodny i może być określany przez 3 zmienne: intensywność ruchu (liczba pojazdów przejeżdżających określony przekrój drogi w jednostce czasu [Poj/s]), gęstość ruchu i średnią prędkość. W ruchu jednorodnym wymienione parametry łączy zależność zwana równaniem strumienia stanu pojazdów:

$$q = p \cdot \bar{v}_t \quad (1)$$

gdzie:

\bar{v}_t - średnia prędkość chwilowa wyznaczona z zależności:

$$\bar{v}_t = \frac{1}{n_t} \sum_{i=1}^{n_t} v_{ti} \quad (2)$$

gdzie:

n_t – liczba pojazdów znajdująca się na odcinku Δx w danej chwili t

v_{ti} – prędkość pojazdu i mierzona w chwili t na odcinku Δx

Jednym z wyników przyjęcia powyższego założenia było powstanie tzw. krzywych oporu (ang. Volume Delay Functions). Są to funkcje, które uzależniają czas przejazdu odcinka drogi t_{cur} (w przypadku nieobciążonej ruchem drogi średni czas przejazdu odcinka drogi t_0 wynika z prędkości swobodnej v_0) od natężenia ruchu. Funkcje te są „rdzeniami programów” (algorytmami) powszechnie wykorzystywanymi w programach komputerowych do modelowania ruchu takich jak Visum czy Emme/2. Funkcje te mają stosunkowo proste formy równań, które umożliwiają oszacowanie średnich prędkości na obciążonych ruchem odcinkach dróg wykorzystując informacje o ich przepustowości [4]. Do najczęściej stosowanych funkcji oporu należą: BPR (oraz jej modyfikacje BPR2 i BPR3), CONICAL, Lohse, INRETS. We wszystkich wymienionych funkcjach oporu głównym składnikiem jest stosunek natężenia ruchu do przepustowości odcinka.

Jedną z najbardziej znanych funkcji oporu jest funkcja BPR. Funkcja ta ma najprostszą postać ze wszystkich analizowanych funkcji:

$$t_{cur} = t_0 \cdot (1 + a \cdot sat^b) \quad (3)$$

gdzie:

$$sat = \frac{Q}{c \cdot Q_{max}} \quad (4)$$

Q – natężenie ruchu [poj/h]

t_{cur} – czas przejazdu odcinka obciążonego natężeniem ruchu Q

t_0 – czas przejazdu odcinka przy sobodnych warunkach ruchu

Q_{max} – przepustowość [poj/h]

a, b, c – parametry

Jedną z zalet makroskopowych modeli ruchu jest stosunkowo łatwe do wykonania powiązanie obliczeń z iteracyjnymi procedurami rozkładania ruchu na modelach sieci drogowych. Obliczane średnie prędko-

ści pojazdów w modelach makroskopowych w przypadku występowania natężeń ruchu mniejszych od przepustowości mają stosunkowo zadowalającą zgodność z danymi pomiarowymi. Jednak w przypadku natężeń ruchu bliskich przepustowości uzyskiwane wyniki znacznie odbiegają od wartości rzeczywistych (pomierzonych). Kształt krzywych powoduje, że w czasie iteracyjnej procedury rozkładania ruchu na sieci nie stanowią one blokady przed przejazdem większej liczby pojazdów niż wynosi ich przepustowość. Dodatkowo makroskopowe modele ruchu nie uwzględniają oddziaływania na siebie sąsiednich odcinków sieci, np. występowania tzw. „wąskich gardeł” i ich wpływu na warunki na ruchu w ich otoczeniu. Wymienione wady są dużymi utrudnieniami w modelowaniu ruchu, w których wykorzystuje się makroskopowe modele ruchu. Wady makroskopowych modeli ruchu, były dostrzeżone także wcześniej, jednak z uwagi na występujące mniejsze obciążenia sieci drogowej ruchem problem ten nie miał aż takiego znaczenia jak to jest obecnie.

Opisane powyżej problemy nie występują w przypadku stosowania mikroskopowych modeli ruchu, przy pomocy których uwzględnia się zachowanie każdego indywidualnego pojazdu (kierowcy). Jednymi z pierwszych i najpowszechniejszej stosowanych modeli są deterministyczne modele jazdy za liderem. Zapisywane są one w postaci równań różniczkowych. Modele te zakładają, że kierowcy reagują na zmiany sposobu jazdy pojazdu lub pojazdów poprzedzających. Jednym z przykładów udoskonalonych modeli jazdy za liderem jest mikroskopowy model inteligentnego kierowcy (The Microscopic Intelligent-Driver Model) [18], [12], w którym przyspieszenie jest wynikiem funkcji prędkości v_α , luki pomiędzy pojazdami S_α oraz różnicy prędkości Δv_α pojazdu α do prowadzącego pojazdu:

$$\dot{v}_\alpha = a^\alpha \left[1 - \left(\frac{v_\alpha}{v_0^{(\alpha)}} \right)^\delta - \left(\frac{s_\alpha^*(v_\alpha, \Delta v_\alpha)}{s_\alpha} \right)^2 \right] \quad (4)$$

Powyższy wzór jest złożeniem przyspieszenia $a^{(\alpha)} \left[1 - (v_\alpha/v_0^{(\alpha)})^2 \right]$ na nieobciążonej ruchem drodze oraz opóźnienia (hamowania) $-a^{(\alpha)} \left[s_\alpha^*(v_\alpha, \Delta v_\alpha)/s_\alpha \right]^2$, które opisują wzajemne interakcje między pojazdami. Opóźnienie (hamowanie) zależy od stosunku „pożądanego (komfortowego) odstępu” s_α^* , a odstępem w danym momencie s_α . Pożyczany (komfortowy) odstęp liczony jest wg wzoru:

$$s_{\alpha}^{*}(v, \Delta v) = s_0^{(\alpha)} + s_1^{(\alpha)} \sqrt{\frac{v}{v_0^{(\alpha)}}} + T_{\alpha} v + \frac{v \Delta v}{2\sqrt{a^{(\alpha)} b^{(\alpha)}}} \quad (5)$$

gdzie:

v_0 –pożądana prędkość [km/h]

T – bezpieczny czas odstępu między pojazdami [s]

a – maksymalne przyspieszenie pojazdu [m/s^2]

b – komfortowe opóźnienie (hamowanie) [m/s^2]

δ - wykładnik przyspieszenia,

s_0 - minimalna luka między pojazdami [m]

s_1 – odległość do „korka drogowego” [m]

Zaletą stosowania mikroskopowych modeli ruchu jest dokładność uzyskiwanych wyników. Jednak stosowanie mikroskopowych modeli ruchu wiąże się z pewnymi ograniczeniami powodowanymi przez trudność ich powiązania z procedurami wyboru ścieżek przejazdów pomiędzy źródłami i celami podróży. W przypadku stosunkowo małych sieci można np. zastosować procedurę Dynamic Assignment w programie Vissim [20]. Jednak stosowanie mikroskopowych modeli ruchu w przypadku prognozowania ruchu dla dużych sieci np. miast, aglomeracji oraz modeli dla dróg na obszarze całego kraju jest dotychczas praktycznie niemożliwe do wykonania.

4. Programy do wykonywania mikro-symulacyjnych modeli ruchu

Do opracowywania mikro-symulacyjnych modeli ruchu stosuje się współczesne programy komputerowe. Mikroskopowe modele ruchu pełnią rolę rdzeni takich programów i nazywane są symulatorami ruchu. Mikro-symulacyjne modele ruchu dają możliwość ciągłej wizualizacji wyników obliczeń. Do najpowszechniej stosowanych programów (między innymi do testowania programów sterowania ruchem oraz projektów organizacji ruchu) należą: Aimsun, Cube Dynasim, Paramics, S-Paramicsm, Vissim. Każdy z wymienionych wyżej programów ma swoich zwolenników i dość trudno jest wskazać, który z nich najlepiej odwzorowuje rzeczywisty ruch [19], [17]. Z uwagi na to, że autor

od lat ma możliwość wykorzystywania programu Vissim, ten właśnie program został w artykule opisany.

W programie Vissim do mikro-symulacji ruchu wykorzystywany jest mikroskopowy model ruchu jazdy dwóch pojazdów¹⁰ w którym zawarta jest logika zmiany pasa ruchu [20]. Może on wykonywać obliczenia (położenia pojazdów, ich prędkości, przyspieszenia/opóźnienia) w sekwencjach do 1/10 s. Model jazdy dwóch pojazdów, stosowany w programie Vissim, jest modelem opracowanym przez Wiesmanna [20]. Jest to model złożony, uwzględniający psycho-fizyczne zachowania kierowców.

Podstawą tego modelu jest model zachowania kierującego pojazdem, który dostrzegając według indywidualnego poziomu percepcji wolniejszy pojazd rozpoczyna zwalnianie. W sytuacji, kiedy nie potrafi dokładnie określić prędkości poprzedzającego go pojazdu, jego własna prędkość jest utrzymywana na poziomie niższym do momentu, kiedy ponownie rozpocznie przyspieszenie w wyniku osiągnięcia innego poziomu percepcji. W wyniku tego następuje iteracyjny proces zwalniania i przyspieszania. Stochastyczny rozkład prędkości i poziomów percepcji składa się na charakterystykę zachowania indywidualnego kierowcy. Parametry modelu były kalibrowane na podstawie wyniku pomiarów wykonywanych przez zespół badawczy Technicznego Uniwersytetu w Karlsruhe w Niemczech. Okresowo wykonywane są dodatkowe badania ruchu, których celem jest uaktualnienie parametrów modelu zachowań kierowców stosowanego w programie. W programie Vissim, mikro-symulacja ruchu odbywa się poprzez przemieszczanie pojazdów w sieci drogowej, gdzie każdy pojazd ma przypisany indywidualny charakter zachowania na drodze, który koresponduje z technicznymi możliwościami każdego pojazdu.

Spotykane są również mikro-symulacyjne modele ruchu, które wykorzystują komórkowe modele ruchu. W modelach tych droga opisywana jest w postaci łańcucha komórek, które mogą tylko przyjąć dwa stany: wolny lub zajęty. W każdym kroku pojazd może zostać przesunięty lub zostać w miejscu. Przesunięcie następuje wtedy, gdy docelowa komórka jest pusta. Przy wprowadzeniu odpowiednich wartości brzegowych w modelach komórkowych można zdefiniować organizację ruchu, przyspieszenie pojazdów, prędkość maksymalną oraz poziom bezpieczeństwa. W ostatnich latach wykonywane są pró-

¹⁰ ang. *the car following model*, tłumaczenie według [20], spotykane inne tłumaczenie: model jazdy za liderem

by wykorzystywania tych modeli w systemach zarządzania ruchem. Przykład koncepcji inteligentnego systemu zarządzania ruchem drogowym, w której założono wykorzystywanie modeli komórkowych przedstawiono w pracy [26]. Duży zasób informacji na temat modeli komórkowych zawiera referat [6].

5. Programy do wykonywania symulacyjnych makroskopowych modeli ruchu

Symulacyjne makroskopowe modele ruchu, podobnie jak symulacyjne mikroskopowe modele ruchu mogą być wykorzystywane w algorytmach sterowania na skrzyżowaniach z sygnalizacją świetlną. Przykładem makroskopowego symulacyjnego modelu ruchu jest model TRANSYT [9]. Niemniej jednak z uwagi na to, że w modelu TRANSYT oprócz modelu makroskopowego wykorzystywana jest również procedura szacowania strat czasu na skrzyżowaniach można go zaliczyć do modeli z grupy mezoskopowych [13]. Program ten wykorzystywany jest do analizowania i optymalizowania koordynacji skrzyżowań z sygnalizacją świetlną.

6. Programy do wykonywania sieciowego modelowanie ruchu

Sieciowe modelowanie ruchu¹¹ (nazywane dalej modelowaniem ruchu) można wykonywać w programach komputerowych (nazywanych w dalszej części programami do modelowania ruchu), w których wykorzystywane są makroskopowe modele ruchu. W programach tych do określenia ogólnych charakterystyk ruchu wykorzystywane są opisane w punkcie powyżej krzywe zależności czasu przejazdu od natężenia ruchu.

Modelowanie ruchu, z uwagi na wykorzystywanie makroskopowych modeli ruchu, nie daje tak dokładnych wyników jak mikro-symulacje ruchu [9]. Jednak mimo krytyki pod jego adresem, czego wyrazem może być praca [18], jest niezastąpionym narzędziem, które jest powszechnie wykorzystywanym w planowaniu systemów transportowych. Pomimo aktualnie wysokiego poziomu wiedzy oraz dużych moż-

¹¹ ang.: static traffic assignment models

liwości obliczeniowych komputerów, nie da się zastąpić modelowania ruchu w planowaniu systemów transportu mikro-symulacyjnymi modelami ruchu. Poważnym ograniczeniem stosowania symulacyjnych modeli ruchu jest problem z ich powiązaniem z procedurami wyboru optymalnych ścieżek przejazdów pomiędzy rejonami komunikacyjnymi. Obecny stan techniki komputerowej umożliwia wykonywanie takich powiązań jedynie dla stosunkowo małych obszarów [8].

Do najbardziej zaawansowanych technicznie programów do modelowania ruchu można zaliczyć następujące programy: Cube, Emme/2, Emme/3, Imsun Planer, Saturn¹², TransModeler, Visum¹³, Voyager. Podobnie jak w przypadku programów do mikro-symulacji ruchu, tak i w tym przypadku trudno jest wskazać zdecydowanego lidera [21]. Z uwagi na to, że autor dobrze zna i posługuje się programem Visum, program ten został pokrótce opisany w niniejszym artykule.

Innowacyjnym elementem programu Visum jest funkcja Blocking-Back Model [22], która okazała się bardzo przydatna w metodyce modelowania ruchu z uwzględnieniem LOP zaproponowanej przez autora niniejszej rozprawy.

Funkcja Blocking-Back Model umożliwia fizyczne ograniczenie „nadwyżki” natężenia ruchu (różnicy między popytem na skorzystanie z infrastruktury drogowej, a podażą wynikającą z przepustowości sieci) w analizowanym okresie czasu na poszczególnych odcinkach sieci drogowej. Nadwyżka ruchu rozumiana jest w tym przypadku, jako różnica pomiędzy natężeniem ruchu i przepustowością odcinka. Procedury obliczeniowe funkcji Blocking-Back Model w pierwszej fazie identyfikują odcinki, na których dochodzi do przekroczenia przepustowości. Po identyfikacji takich odcinków uruchamiana jest procedura ograniczenia natężenia ruchu dopływającego (oraz odpływającego) do zidentyfikowanych odcinków. Równocześnie wykonywana jest procedura liczenia długości kolejek pojazdów na tych odcinkach. W przypadku, gdy obliczone kolejki pojazdów są dłuższe niż odcinki, na których dochodzi do formowania się kolejek, sprawdzany jest zasięg kolejki pojazdów na odcinkach położonych w górę strumienia ruchu i na tych odcinkach również następuje pomniejszenie natężenia ruchu w stosunku do wartości początkowych.

¹² Program Saturn umożliwia wykonanie symulacji ruchu na fragmentach sieci drogowej i uwzględnienie jej wyników w procesie rozkładania ruchu na sieci, przez co umożliwia analizowanie ruchu w skali mezoskopowej. Niemniej jednak program ten jest uznawany za „przestrzały” i nie jest powszechnie stosowany w Polsce.

¹³ Zastosowanie funkcji Blocking-BackModel w programie Visum, podobnie jak w przypadku programu Saturn umożliwia analizowanie ruchu w skali mezoskopowej.

7. Podsumowanie

Na rynku dostępnych jest wiele programów służących do modelowania i symulacji ruchu. Niemniej jednak bardzo trudno jest wskazać programy, które są najlepsze. Przegląd stosowania oprogramowania w innych krajach umożliwia stwierdzenie, że występuje analogia do mody. W jednych krajach jedne programy są modne, podczas gdy w innych krajach zupełnie inne.

W Polsce najpopularniejszym programem do modelowania i prognozowania ruchu jest program Visum firmy PTV. Obecnie programem tym posługują się jednostki miejskie między innymi w Warszawie, Krakowie, Wrocławiu, Poznaniu, Gdańsku, Kielcach, Katowicach, Tychach oraz firmy konsultingowe i projektowe. Na popularność tego programu ma wpływ to, że jest on stosowany w procesie edukacji studentów na większości krajowych wyższych uczelni technicznych.

Jeżeli chodzi o programy do symulacji ruchu najbardziej popularnym programem jest Vissim również firmy PTV. Program oprócz jednostek miejskich, firm projektowych i konsultingowych używany jest również powszechnie również przez producentów sterowników sygnalizacji świetlnej.

Najważniejszą przesłanką, jaka powinna służyć wyborowi odpowiedniego programu, jest nie tylko wykaz zaawansowanych funkcji i możliwości technicznych poszczególnych programów, ale przede wszystkim możliwość pozyskania pracowników do pracy na tych programach oraz dostępność szkoleń.

Bibliografia

- [1] Amin, M.: A Study of Freeway Lane Use. Masters Thesis, Civil and Environmental Engineering Department, San Diego State University, San Diego, CA.
- [2] Ban X., Chu L., Benouar H.: Bottleneck Identification and Calibration for Corridor Management Planning. Journal of the Transportation Research Board, No 1999 Traffic Flow Theory 2007.
- [3] Bang K., Moran C.: Area wide analysis of urban road traffic congestion Analysis of travel time based measures. in 5th International Symposium on Highway Capacity and Quality of

- Service. 2006. Yokohama, Japan Japan Society of Traffic Engineers (JSTE).
- [4] Branston D.: Link Capacity Functions A Review. *Trans. Res.* 10, 1976.
- [5] Chen C., Skabardonis A., Varaiya P.: Systematic Identification of Freeway Bottlenecks. Transportation Research Board 83rd Annual Meeting. Washington DC, January 2004.
- [6] Dworak A, Miracki M. Modele komórkowe ruchu drogowego. Wydział Fizyki i Informatyki Stosowanej, AGH. Kraków, 2005. <http://fatcat.ftj.agh.edu.pl/»mat/ksn/>
- [7] Fratar T.: Forecasting Distribution of Interzonal Vehicular Trips by Successive Approximations. *Traffic and Operations*, 1954, pp. 376-384.
- [8] Friedrich M. i inni: A Dynamic Traffic Assignment Method for Planning and Telematic Applications, Proceedings of Seminar K, European Transport Conference, Cambridge, 2000.
- [9] Gaca S., Suchorzewski W., Tracz M.: Inżynieria ruchu drogowego. Teoria i praktyka. WKiŁ, Warszawa, 2008.
- [10] Geroliminis N.: A Macroscopic Fundamental Diagram of Urban Traffic Recent Findings. The “Symposium on the Fundamental Diagram 75 years”, Woods Hole, Massachusetts, 8-10 July 2008.
- [11] Herman R., Prigogine I.: A two-fluid approach to town traffic. *Science* 204, 148–151, 1979.
- [12] Highway Capacity Manual 2000. Transportation Research Board, National Research Council Washington, D.C, 2000.
- [13] Introducing spatial elements to the TRANSYT traffic model. *Advances in Transportation Studies an international Journal Section B* 17, 2009.
- [14] Krych A.: Badania i modelowanie ruchu w aglomeracjach, zarys historyczny, stan i kierunki rozwoju. III Konferencja Naukowo-Techniczna „Problemy komunikacyjne miast w warunkach zatłoczenia komunikacyjnego. Materiały konferencji, Poznań, 2001.
- [15] McNally M.: The Four Step Model. Paper UCI-ITS-AS-WP-00-5. Institute of Transportation Studies. University of California, Irvine. 2000.

-
- [16] Metropolitan Travel Forecasting Current Practice and Future Direction, Special Report 288, Committee for Determination of the State of the Practice in Metropolitan Area Travel Forecasting. Transportation Research Board, Washington, D.C., 2007.
- [17] Milam R.: Corsim, Paramics and Vissim What the Manuals Never Told You. ITE Annual Meeting. Philadelphia 2002.
- [18] Oskarbski J.: Wpływ struktury sieci ulicznej na sprawność i efektywność funkcjonowania transportu indywidualnego w miastach. Rozprawa doktorska, Politechnika Gdańska, Wydział Inżynierii Lądowej i Środowiska, 2005.
- [19] Parker M.: Zooming in on Traffic Microsimulation. Traffic Technology International. Dec 2001/Jan 2002.
- [20] PTV Vision. Vissim 5.0 User Manual. PTV Planung Transport Verkehr AG, 2007.
- [21] PTV Vision. Visum 10.0 User Manual – Volume 1. PTV Planung Transport Verkehr AG, 2007.
- [22] PTV Vision. Visum 10.0 User Manual – Volume 2. PTV Planung Transport Verkehr AG, 2007.
- [23] Recker, W.: A Bridge between Travel Demand Modeling and Activity-based Travel Analysis. Transportation Research , Part B: Methodological, 35, 481-506. 2001.
- [24] Smeed, R.: Road Capacity of City Centers. Traffic Engineering and Control, Vol. 8, No. 7, 455-458, 1966.
- [25] Smeed, R.: Traffic Studies and Urban Congestion. Journal of Transport Economics and Policy, Vol. 2, No. 1, 1968.
- [26] Stanek M.: Inteligentne systemy w zarządzaniu ruchem drogowym. Praca dyplomowa magisterska. Wydział informatyki i Zarządzania, Politechnika Wroclawska. Wrocław, 2006.
- [27] Thomson J.: Speeds and Flows of Traffic in Central London 2. Speed-Flow Relations. Traffic Engineering and Control, Vol. 8, No. 12, 721-725, 1967.
- [28] Voorhees A.M.: A General Theory of Traffic Movement. Proceedings, Institute of Traffic Engineers, New Haven, Connecticut. 1955
- [29] Voorhees A.M.: A General Theory of Traffic Movement. 1956.
- [30] Wardrop, J.: Some Theoretical Aspects of Road Traffic Research. Proceedings of the Institution of Civil Engineers, Vol. 1, Part 2, 1952.

- [31] Wardrop J.: Journey Speed and Flow in Central Urban Areas. Traffic Engineering and Control, Vol. 9, No. 11, 528-532, 1968.
- [32] Weiner E.: Urban Transportation Planning in the United States: An Historical Overview (fifth edition). Report DOT-T-97-24. US Department of Transportation, Washington, DC, 1997.
- [33] Zwerts E.: Activity-Based Modelling: An Overview (and Some Things we Have Been Doing to Advance State-of-the-Art). Transportation Research Institute, Limburgs Universitair Centrum, Diepenbeek, Belgium

TRAFFIC MODELLING AND SIMULATION, HISTORICAL DRAFT AND SOFTWARE APPLIED CURRENTLY

Summary

The planning of transport system development is one of very responsible tasks undertaken by municipal councils. One of the most important elements of that process is traffic modelling and forecasting which should be constantly improved and developed. The dynamic progress of specialistic software for traffic modelling and forecasting prosper them. The history of traffic modelling and forecasting development within the world and the country has been presented in the paper. The review of the modern software for traffic network modelling and forecasting have been also given.

Keywords: macro traffic models, micro traffic models, traffic network modelling, traffic simulation

MODELLIERUNG UND SIMULATION DES BETRIEBES – HISTORISCHER UMRISSE UND DIE AKTUELL ANGEWANDTEN SOFTWARE

Zusammenfassung

Die Planung der Entwicklung von einzelnen Verkehrssystemen ist eine von sehr verantwortlichen Aufgaben, die von den Abteilungen der Selbstverwaltung aufgenommen werden. Ein von wichtigeren Elementen dieses Prozesses ist die Modellierung und die Prognostizierung des Betriebes, die man ständig entwickeln und vervollkommen soll. Die dynamische Entwicklung der Spezial-

software für die Modellierung und Simulation des Betriebes stützt diesen Prozess. Im Vortrag wird die Entwicklungsgeschichte der Betriebsmodellierung und –Prognostizierung in der Welt und im Land dargestellt. Eine Übersicht der Betriebsmodelle, sowie der modernen Computerprogramme für die Modellierung der Verkehrsnetze und die Simulation des Betriebes wird durchgeführt.

Die Schlüsselwörter: *die Makrobetriebsmodelle, die Mikroskopbetriebsmodelle, die Simulation des Betriebes im Netz, die Verkehrssimulation*

Tomasz Dybicz¹

WPLYW LOKALNYCH OGRANICZEŃ PRZEPUSTOWOŚCI NA ROZKŁAD RUCHU

Streszczenie

Najsłabszym elementem modeli ruchu jest stopień uwzględnienia w tych modelach występujących lokalnych ograniczeń przepustowości w sieci drogowej. Zainteresowanie środowiska naukowców lokalnymi ograniczeniami wynika z ich specyfiki, która powoduje, że ograniczają one przepustowość całego ciągu drogowego. Poniższy artykuł zawiera podsumowanie i opis metod wykrywania oraz wyznaczania lokalnych ograniczeń przepustowości.

Słowa kluczowe: metody modelowania ruchu, lokalne ograniczenia przepustowości

1. Wstęp

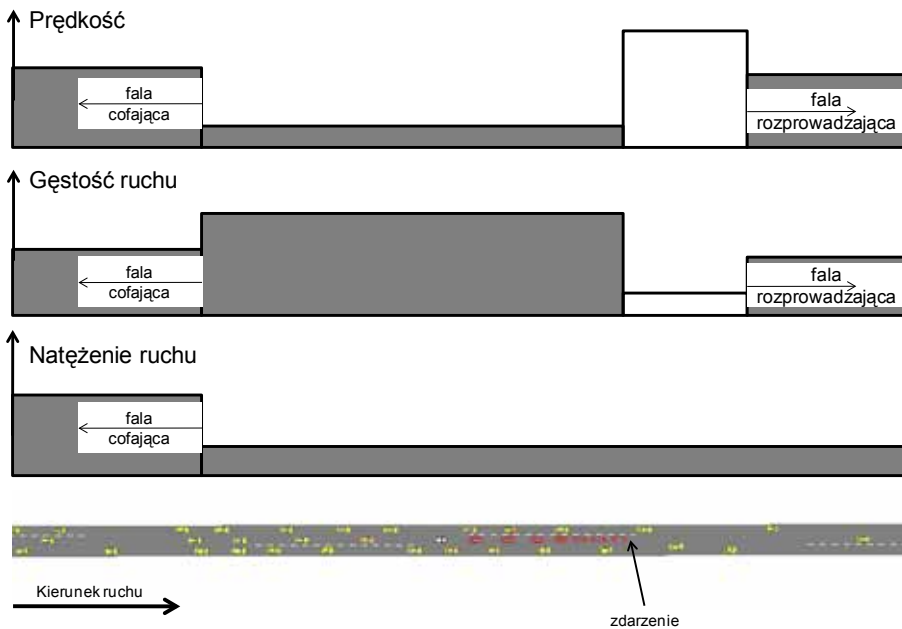
Środowisko naukowców, którzy zajmują się problematyką modelowania ruchu wskazuje, że najslabszym elementem modeli ruchu jest stopień uwzględnienia w tych modelach występujących **lokalnych ograniczeń przepustowości (LOP)** w sieci drogowej. Wyrazem głosu środowiska mogą być wystąpienia i referaty Daganzo, który jest jednym ze światowych autorytetów w tej dziedzinie. Apeluje on w nich o intensyfikację badań naukowych służących wzbogacenie metod modelowania ruchu tak, aby umożliwiłyby one właściwe uwzględnianie LOP.

¹ dr inż., Wydział Inżynierii Lądowej Politechniki Warszawskiej, TransEko Sp.j. www.transeko.pl

Zainteresowanie środowiska naukowców LOP wynika z ich specyfiki, która powoduje, że ograniczają one przepustowość całego ciągu drogowego. Stąd dokładne rozpoznanie występujących LOP ma kluczowe znaczenie dla zarządców dróg i zarządców ruchu. Niemniej jednak do określania przepustowości LOP brak jest zdefiniowanych, uogólnionych wytycznych. W poniższym referacie wykonano podsumowania i opisu metod wykrywania oraz wyznaczania przepustowości LOP.

2. Charakterystyka LOP

Aktywne LOP można scharakteryzować jako przekrój drogi, od którego rozchodzą się fale zaburzeń ruchu, których odzwierciedleniem są zmiany warunków ruchu w zależności od zmieniających się odległości w stosunku do LOP (rys. 1).



Rys.1. Schemat powstawania fal zaburzeń ruchu

Fale zaburzeń ruchu rozchodzą się w dwóch przeciwnych kierunkach:

- fala cofająca, rozchodzi się w górę strumienia ruchu (kierunek przeciwny do kierunku ruchu), oraz

- fala rozprzewadzająca, rozchodzi się w dół strumienia ruchu pojazdów (kierunek zgodny z kierunkiem ruchu).

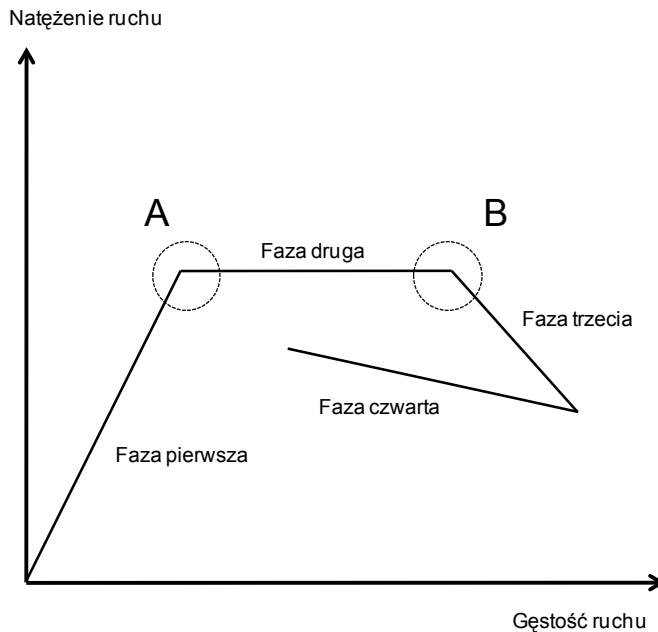
Fale cofające mają bardzo negatywne oddziaływanie na warunki ruchu w sieci drogowej. W wyniku ich oddziaływania zmniejsza się prędkość pojazdów, a jednocześnie wzrasta gęstość ruchu. Powstawanie fal cofających powoduje spadek przepustowości ciągu drogowego, na którym dochodzi do aktywacji LOP. Przepustowość ta jest często mniejsza, niż teoretyczna przepustowość przekroju drogi w miejscu LOP.

Bazując na fundamentalnym wykresie, naukowcy z Uniwersytetu w Minneapolis [13] określili cztery fazy aktywności LOP z uzależnieniem od natężenia i gęstości ruchu drogowego na odcinku przed LOP (rys. 2):

- faza pierwsza: występują swobodne warunki ruchu pojazdów; LOP nie wpływa na prędkości i natężenie ruchu pojazdów; faza ta odpowiada pierwszemu stanowi ruchu strumienia pojazdów z fundamentalnych zależności;
- faza druga: zaczyna się oddziaływanie LOP na ruch pojazdów; prędkość pojazdów zmniejsza się, natężenie ruchu nie jest limitowane przez LOP;
- faza trzecia: LOP wpływa na zmniejszenie prędkości pojazdów oraz na natężenie ruchu; liczba pojazdów na dojeździe do LOP jest większa od liczby pojazdów przekraczających LOP w jednostce czasu; niska prędkość pojazdów wpływa na powstawanie kolejki, która zaczyna się rozładowywać przy przekraczaniu LOP;
- faza czwarta, nazwana również fazą poprawy, występuje w sytuacji gdy popyt zaczyna się zmniejszać (np. po godzinie szczytu); w efekcie zmniejsza się też gęstość ruchu, co powoduje wzrost prędkości pojazdów.

W otoczeniu punktu A następuje załamanie warunków ruchu² i identyfikowane poprzez spadek prędkości pojazdów. W otoczeniu punktu B prędkości pojazdów są już na tyle niskie, że następuje zmniejszenie natężenia ruchu przejeżdżającego przez LOP.

² Nazwane jako „freeway breakdown”



Rys. 2. Wykres przedstawiający zależności natężenie i gęstość ruchu przed LOP

Źródło: opracowanie własne na podstawie [13]

3. Wykrywanie i obserwacje LOP w sieci drogowej

Według [3], główną cechą LOP, która może posłużyć do jego identyfikacji (w przypadku, gdy LOP jest aktywne), jest występowanie swobodnych warunków ruchu w dół strumienia ruchu oraz bardzo złych warunków ruchu pojazdów w stosunku do przekroju, w którym prawdopodobnie występuje LOP [23].

LOP najczęściej występują w porach występowania intensywnego ruchu pojazdów (najczęściej w czasie występowania szczytów komunikacyjnych) i mogą powstawać na wszystkich typach dróg zamiejskich oraz miejskich.

LOP występujące na głównych ciągach drogowych, są poważnym problemem dla zarządców ruchu drogowego, ponieważ znacząco wpływają na warunki ruchu na głównych drogach i w ich korytarzach. W Stanach Zjednoczonych, w Kalifornii, w 2006 r. został uruchomiony pilotażowy projekt Planistyczne Zarządzanie Korytarzem Drogo-

wym³ [10], którego celem jest opracowanie metodyki badania poszczególnych głównych korytarzy transportowych przez:

- zbadanie efektywności funkcjonowania poszczególnych elementów infrastruktury;
- prawidłowe rozpoznanie LOP oraz stworzenie strategii poprawy warunków i bezpieczeństwa ruchu w ich otoczeniu oraz
- zbudowanie mikrosy-mulacyjnych modeli ruchu dla zidentyfikowanych przypadków występowania LOP.

Za główny miernik decydujący o identyfikacji LOP przyjęto prędkości pojazdów. W ramach programu CMP dane o prędkościach pojazdów na drogach pozyskuje się z dwóch źródeł:

- pomiarów typu car-floating⁴; które np. w przypadku Kalifornii wykonywane są cyklicznie w ramach projektu Monitorowanie zatłoczenia na głównych drogach⁵; który jest realizowany przez Caltrans⁶;
- urządzeń stale rejestrujących ruch na drogach; funkcjonujących w ramach projektu Ocena warunków ruchu na drogach⁷ [18].

Dane o prędkościach pojazdów opracowywane są w formie map z przestrzennym rozkładem prędkości na drogach. Koncentracje przekrojów na których prędkość pojazdów spada poniżej 35 mil/h⁸ uznawane są za miejsca występowania LOP⁹.

4. Określenie przepustowości LOP

Według publikacji [15] za przepustowość LOP można uznawać wielkość natężenia ruchu tuż poniżej wartości, od której następuje powstawanie kolejki. Według publikacji [20] za przepustowość LOP można uznać wielkość natężenia ruchu przy którym następuje wyraźny spadek prędkości pojazdów. Według publikacji [21], przepustowość LOP można wyznaczyć poprzez uśrednienie trzy-minutowych pomiarów natężenia ruchu pojazdów przejeżdżających przez LOP w okresie godziny i pomnożenie tej wartości przez 20.

³ Corridor Management Planning, CMP

⁴ W pomiarze typu car-floating, kierowca pojazdu testowego stara się przy zachowaniu zasad bezpieczeństwa ruchu wyprzedzić taką samą liczbę pojazdów, jak wyprzedziła pojazd testowy [86].

⁵ Highway Congestion Monitoring Program, HICOMP

⁶ Caltrans (California Department of Transportation) - administracja drogowa w stanie Kalifornia.

⁷ Performance Measurement System, PeMS

⁸ W przeliczeniu na km/h podany poziom prędkości wynosił 56.3km/h (1 mila = 1. 609344 km).

⁹ Poziom prędkości, którego przekroczenie uznawano za aktywację LOP został wyznaczony arbitralnie bez podania uzasadnienia, także nie może on być uogólnionym wyznacznikiem dla innych przypadków.

Autor publikacji [14] uznał, że powyższe metody wyznaczania przepustowości LOP nie są zgodne z ogólną definicją przepustowości¹⁰. Twierdzi on, że za przepustowość LOP powinno się uznawać maksymalną zaobserwowaną liczbę pojazdów, która przejeżdża przez LOP w ciągu 1 godziny.

W tej sytuacji jest zrozumiałe, że zagadnienie przepustowości LOP jest przedmiotem wielu prac badawczych. Na uwagę zasługują prace prowadzone przez profesora J. Banksa z Uniwersytetu Stanowego z San Diego USA, który w pracy [6] podaje alternatywny w stosunku do zdefiniowanego w pracy [19] sposób określania przepustowości LOP. Banks podsumował swoje wcześniejsze prace oraz prace innych badaczy opisane w następujących publikacjach: [4], [5], [27], [1], [8], [16], [17], [24], [25] oraz [7]. W pracach tych skupiono się na opisie procesu przejścia ze swobodnych warunków ruchu do ruchu wymuszonego przy oddziaływaniu LOP. W wymienionych pracach podkreśla się, że w większości przypadków maksymalne natężenie ruchu poprzedzające wystąpienie stanu zatłoczenia (PQF¹¹) jest większe niż maksymalne natężenie ruchu, które obserwuje się w warunkach zatłoczenia (QDF¹²). Zjawisko to zostało nazwane fenomenem występowania dwóch przepustowości LOP¹³ (Rys. 3). Stąd też w środowisku ekspertów i naukowców odbywa się dyskusja którą z tych wartości można uznać za przepustowością właściwą. Wyrazem tej dyskusji jest między innymi, cytowana już publikacja [14].

Występowanie fenomenu dwóch przepustowości zostało również potwierdzone i przedstawione przez badaczy w publikacji [27]. Maksymalne natężenie ruchu obserwowane przed tuż przed załamaniem się warunków ruchu zostały nazwane przepustowością występującą przy występowaniu swobodnych warunków ruchu. Zwrócono szczególną uwagę, że przepustowość tą bardzo trudno pomierzyć na drogach z uwagi na nierównomierność dopływu ruchu w czasie występowania swobodnych warunków ruchu. Do eksperymentu wykorzystano mikro-symulacje ruchu w programie Vissim.

10 Definicja przepustowości w jęz. polskim wg [56]: Przepustowość jest definiowana jako największa liczba jednostek (pojazdów lub pieszych), którą w określonych warunkach drogowych i ruchowych może przepuścić przekrój drogi (ulicy, wlot na skrzyżowanie, przejście dla pieszych, ścieżka rowerowa itp.) w jednostce czasu. Z reguły za jednostkę czasu przyjmuje się godzinę.

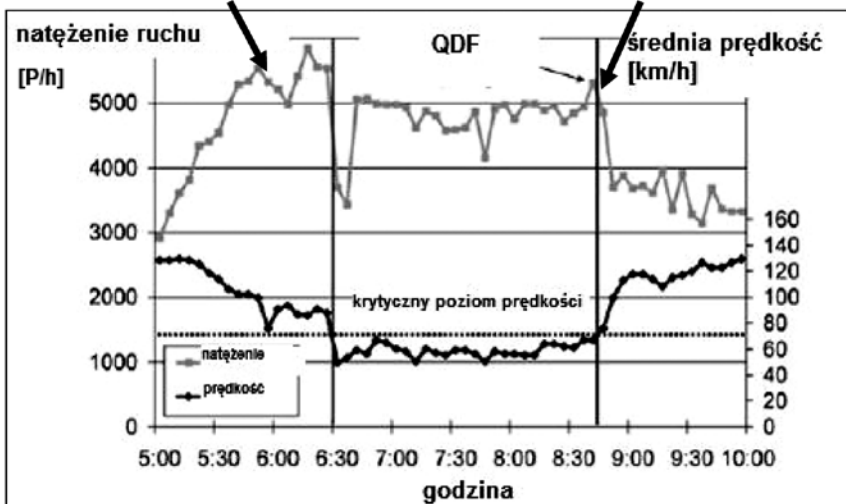
11 Skrót od nazwy: periods of high-volume pre-queue flow (PQF).

12 Skrót od nazwy: periods of queue discharge flow (QDF).

13 Nazwa angielska: *two-capacity phenomenon at freeway bottlenecks*.

Maksymalne zaobserwowane natężenie ruchu tuż przed załamaniem się warunków ruchu (*PQE*)

Maksymalne zaobserwowane natężenie ruchu tuż przed wystąpieniem poprawy warunków ruchu (*QDF*)



Rys. 3. Natężenia ruchu w interwałach 5-minutowych w okresie występowania zatłoczenia, Autostrada A-5 w Niemczech

Źródło: [18]

Bardzo ciekawe badania dotyczące przepustowości przeprowadził Banks. Przytacza on, że przepustowości liczone według [19] dla międzywęzłowych odcinków dróg szybkiego ruchu są zróżnicowane w zależności od prędkości swobodnej na poszczególnych odcinkach, co wynika z następującego wzoru (1):

$$c = 1800 + 5 \cdot FFS \text{ [E/h]} \quad (1)$$

gdzie:

c – przepustowość [E/h],

FFS – prędkość w ruchu swobodnym na analizowanym odcinku [km/h].

Niestety według Banksa założenie to nie jest właściwe, ponieważ:

- prace badawcze nie potwierdziły związku między prędkością swobodną, a krytyczną gęstością ruchu,
- przytoczone założenie nie uwzględnia struktury kierowców, która według badań Banksa ma bardzo istotny wpływ na przepustowość.

Alternatywna metodyka wyznaczania przepustowości zaproponowana przez Banksa opiera się na założeniu, że natężenie ruchu jest odwrotnością średniego odstępów pomiędzy poprzedzającymi pojazdami¹⁴. Banks rozkłada czas odstępów między pojazdami na dwie składowe:

- czas przejazdu¹⁵; jest to czas w którym pojazd mija wyznaczony punkt¹⁶ (czas mierzony od minięcia przedniego zderzaka do minięcia tylnego zderzaka pierwszego pojazdu) oraz
- czas pomiędzy pojazdami¹⁷; jest to luka czasowa mierzona od momentu minięcia przekroju przez tylny zderzak pierwszego pojazdu do momentu minięcia tego przekroju przez przedni zderzak drugiego pojazdu.

Stąd bierze się wniosek, że maksymalne natężenie na krytycznym pasie ruchu przed LOP jest funkcją średnich wartości: czasu przejazdu „i” pomiędzy pojazdami oraz udziału ruchu na tym pasie. Relacje te zawarte są we wzorze (2):

$$\bar{q} = \frac{\alpha}{r_c \cdot (\bar{g}_c + \bar{p}_c)} \quad [\text{P/h}] \quad (2)$$

gdzie:

\bar{q} – średnie arytmetyczne natężenia ruchu na pasach ruchu [P/h],
 \bar{g}_c – średni czas pomiędzy pojazdami na krytycznym pasie ruchu [s],

\bar{p}_c – średni czas przejazdu na krytycznym pasie ruchu [s],

r_c – udział ruchu na krytycznym pasie ruchu (CLFR¹⁸), liczony według następującego wzoru (3):

$$r_c = \frac{q_c}{q} \quad [-] \quad (3)$$

gdzie:

q_c – natężenie ruchu na krytycznym pasie ruchu [P/h],

a – udział średniego arytmetycznego natężenia ruchu w stosunku do średniego harmonicznego natężenia ruchu, liczony według następującego wzoru (4):

¹⁴ Odstęp czasu pomiędzy poprzedzającymi pojazdami mierzy się gdy określona część pojazdów mija wyznaczony punkt na drodze. Najczęściej jest to pomiar czasu od momentu w którym przedni zderzak pierwszego pojazdu mija punkt do czasu, gdy punkt ten mija przedni zderzak drugiego pojazdu.

¹⁵ Nazwa stosowana przez Banksa: *passage time*.

¹⁶ Czas mierzony od minięcia przedniego zderzaka do minięcia tylnego zderzaka.

¹⁷ Nazwa stosowana przez Banksa: *gap time*.

¹⁸ Skrót od nazwy: the critical lane flow ratio (CLFR).

$$\alpha = \frac{\overline{q_i}}{\overline{q_h}} [-] \quad (4)$$

gdzie:

$\overline{q_i}$ – średnie natężenie ruchu na pasie ruchu i [P/h],

$\overline{q_h}$ – średnie harmoniczne natężenie ruchu na pasie i , liczone według wzoru (5):

$$\overline{q_h} = \frac{1}{\overline{h_i}} [\text{P/h}] \quad (5)$$

gdzie:

$\overline{h_i}$ – średni odstęp pomiędzy pojazdami na pasie ruchu i , liczony według wzoru (6):

$$\overline{h_i} = \overline{g_i} + \overline{p_i} [\text{s}] \quad (6)$$

gdzie:

$\overline{g_i}$ – średni czas pomiędzy pojazdami na pasie ruchu i [s],

$\overline{p_i}$ – średni czas przejazdu na pasie ruchu i [s].

Sposób obliczania przepustowości (PQF lub DQF) został przedstawiony w postaci następującego wzoru (7):

$$q = \frac{a - b \cdot g}{r_c} [\text{P/h}] \quad (7)$$

gdzie:

q – przepustowość (PQF lub DQF) [P/h],

g – średni krytyczny czas pomiędzy pojazdami [s],

a, b – stałe [-],

Według Banksa przepustowość zależy od trzech czynników (co ma odzwierciedlenie w przytoczonych wzorach):

- czasu przejazdu,
- czasu pomiędzy pojazdami oraz
- udziału ruchu na krytycznym pasie ruchu.

W czasie swobodnych warunków ruchu, rozkład natężenia ruchu na pasach jest wynikiem zachowań kierujących pojazdami oraz organizacji ruchu. Jedną z hipotez o wyborze przez kierujących pojazdami pasów ruchu opisuje, że jest to wynikiem chęci użytkowników dróg do

szybkiej jazdy (lub jej brakiem) [11], [12]. W przypadku wystąpienia zatoru, na rozkład ruchu na poszczególnych pasach w dalszej odległości przed LOP mają wpływ warunki ruchu. Natomiast bezpośrednio przed LOP rozkład ruchu na poszczególnych pasach wynika bezpośrednio z lokalnych zachowań kierujących pojazdami. Sprawiają one, że różnice w CLFR dla LOP zlokalizowanych w różnych miejscach mogą wynosić nawet do 40% [4], [5], [26], [2]. Dotyczy to również czasów pomiędzy pojazdami.

Zaobserwowane różnice w CLFR oraz w czasach pomiędzy pojazdami wynikają z różnic w zachowaniach kierujących pojazdami, co dowodzi, że **zachowania kierujących mają istotny wpływ na przepustowość.**

Różnice odstępów czasowych pomiędzy pojazdami wynikają z różnic w technice jazdy i agresywności kierujących oraz charakterystyk przyspieszeń i hamowań, które wynikają z parku samochodowego oraz organizacji ruchu. Według Banksa, agresywność kierujących w dużym stopniu wynika z ich cech socjoekonomicznych takich jak: wiek, płeć, dochód, miejsce zamieszkania (miasto, przedmieścia, obszary rolnicze), cel odbywanej podróży, warunki widoczności oraz pewności kierującego co do procesu hamowania.

Wnioski wynikające z prac Banksa:

- czasy pomiędzy pojazdami są odwrotnie proporcjonalne do udziału w strukturze kierujących: młodych kierowców, mężczyzn oraz generalnie osób o wysokich dochodach;
- wartość CLFR rośnie proporcjonalnie do udziału w strukturze kierujących: młodych kierowców, mężczyzn oraz generalnie osób o wysokich dochodach¹⁹;
- czasy pomiędzy pojazdami są niższe w obszarach metropolitalnych i obszarach o wysokim wskaźniku zaludnienia;
- wartość CLFR jest wyższa w obszarach metropolitalnych i obszarach o wysokim wskaźniku zaludnienia;
- czasy pomiędzy pojazdami są relatywnie krótsze w okresach szczytowego ruchu;
- czasy pomiędzy pojazdami są relatywnie krótsze w miejscach występowania odcinków przeplatania, łącznic, zjazdów i wjazdów niż w przypadku odcinków międzywęzłowych;

¹⁹ Dwa powyższe wnioski wskazują, że czasy pomiędzy pojazdami i CLFR są odwrotnie proporcjonalne względem siebie.

- wartość CLFR rośnie proporcjonalnie do udziału pojazdów ciężkich w potoku ruchu;
- wartość CLFR jest odwrotnie proporcjonalna do przeplatania ruchu na wjazdach/zjazdach.

Banks wykazał, że obliczenia przepustowości według [19] dają wartości przeszacowane. Dodatkowo, w klasycznych metodach nie ma rozróżnienia wartości PQF i QDF w analizach przepustowości dla LOP. W pracy [6], Banks rekomenduje stosowanie na drogach wielopasowych w obszarach zurbanizowanych w USA następujące wartości PQF i QDF (Tab. 1).

Tablica 1. Wartości PQF i QGF rekomendowane przez Banksa dla dróg w obszarach zurbanizowanych w USA

Liczba pasów ruchu w jednym kierunku	Przepustowość [E/h/pas]		Odchylenie standardowe [E/h/pas]	
	PQF	QDF	PGF	QDF
2	2015-2120	1820-1995	90-150	50-105
3	2045-2150	1945-2035	75-110	50-90
4	2050-2365	1915-2165	70-170	35-80

Niektóre z obserwacji Banka zostały potwierdzone również przez innych badaczy. Jednym z wniosków przedstawionych przez autorów²⁰ w publikacji [9] z przeprowadzonych badań nad przepustowością LOP na odcinkach pomiędzy łącznicami, gdzie występuje relatywnie duże przeplatanie pojazdów jest, obserwacja potwierdzająca tezy Banksa, że na przepustowość LOP w dużym stopniu wpływ mają zachowania kierujących pojazdami.

Autorzy publikacji²¹ [22] są zdania, że aspekt przepustowości jest nierozzerwalnie związany z LOP. Tym samym uważają, że pomiary przepustowości można wykonywać jedynie w sytuacji, gdy dochodzi do aktywacji LOP. Podobnie jak Banks są również zdania, że definiowane sposoby określania przepustowości według [19] nie mają potwierdzenia w wynikach prowadzonych badań.

5. Wnioski

Mimo dużego wpływu jakie wywierają aktywne LOP na funkcjonowanie systemów drogowych można uznać, że rozpoznanie mecha-

²⁰ Jednym z autorów jest prof. M. Cassidy z Uniwersytetu w Minnesocie

²¹ Jednym z autorów jest prof. D. Levinson z Uniwersytetu w Minnesocie

nizmu aktywacji LOP i zakresu wpływu jakie powodują na warunki ruchu jest stosunkowo ubogie. Wydaje się, że w najbliższych latach aspekty związane z LOP będą przedmiotem intensywnych prac badawczych. Dokładne rozpoznanie zjawiska występowania LOP może umożliwić szerokie stosowanie ich z systemach zarządzania i sterowania ruchem. Wykrycie oraz prawidłowe rozpoznanie cech LOP, występujących w sieci drogowej (w tym określenie poziomów krytycznego natężenia ruchu oraz przepustowości), może być wykorzystywane do opracowywania skutecznych strategii ochrony przed zatłoczeniem szczególnie ważnych fragmentów sieci drogowej (np. w obszarach śródmiejskich). Zarządca ruchu zyskałby wówczas instrument sterowania dopływem ruchu do kluczowych obszarów, tak by przeciwdziałać aktywacji innych ewentualnych LOP, które mogłyby się uaktywnić wewnątrz takich obszarów.

Bibliografia

- [1] Agyemang-Duah K., Hall L.: Freeway capacity drop and definition of capacity. Transportation Research Record 1320, Transportation Research Board, National Research Council, Washington, D.C., 1991, pp. 91-98.
- [2] Amin, M.: A Study of Freeway Lane Use. Masters Thesis, Civil and Environmental Engineering Department, San Diego State University, San Diego, CA.
- [3] Ban X., Chu L., Benouar H.: Bottleneck Identification and Calibration for Corridor Management Planning. Journal of the Transportation Research Board, No 1999 Traffic Flow Theory 2007.
- [4] Banks J.: Two-Capacity Phenomenon Some Theoretical Issues. Transportation Research Record 1320, Transportation Research Board, National Research Council, Washington, D.C., 1991, pp. 234-241.
- [5] Banks J.: Two-Capacity Phenomenon at Freeway Bottlenecks A Basis for Ramp Metering. Transportation Research Record 1320, Transportation Research Board, National Research Council, Washington, D.C., 1991, pp. 83-89.

-
- [6] Banks J.: New Approach to Bottleneck Capacity Analysis Final Report. California PATH Research Report UCB-ITS-PRR-2006-13, Institute of Transportation Studies, University of California, Berkeley. July 2006.
 - [7] Banks J., Ramakrishnan V.: Relationship between Mean Flow Rate and Probability of Breakdown at Freeway Bottlenecks. The 85th Annual Meeting of the Transportation Research Board. 2006.
 - [8] Bertini R., Cassidy M.: Some traffic features at freeway bottlenecks. *Transportation Research*, 1999, 33B, pp. 25-42.
 - [9] Cassidy M., Lee J.: An Empirical and Theoretical Study of Freeway Weave Bottlenecks. California PATH Research Report UCB-ITS-PRR-2009-13, Institute of Transportation Studies University of California, Berkeley. February 2009.
 - [10] Corridor Management Plan Demonstration. California Center for Innovative Transportation. http://www.calccit.org/projects/corridors_management.html
 - [11] Daganzo C.: A Behavioral Theory of Multi-Lane Traffic Flow Part I Long Homogeneous Freeway Sections. *Transportation Research* 36B, February 2002, pp. 131-158.
 - [12] Daganzo C.: A Behavioral Theory of Multi-Lane Traffic Flow Part II Merges and the Onset of Congestion." *Transportation Research* 36B, February 2002, pp. 159-169.
 - [13] Das S., Levinson D.: A Queuing and Statistical Analysis of Freeway Bottleneck Formation. *ASCE Journal of Transportation Engineering* Vol. 130, No. 6, November/December 2004.
 - [14] Dehman A.: Temporal Capacity Traits at Long-Term Urban Work Zone Bottlenecks. Transport Chicago Conference, June 2008. <http://www.transportchicago.org/images/Poster-Dehman.pdf>
 - [15] Dixon K., Hummer J., Lorscheider A.: Capacity of North Carolina Freeway Work Zone, *Transportation Research Record* 1529, 1996.
 - [16] Elefteriadou L.: Probabilistic Nature of Breakdown at Freeway Merge Junctions. *Transportation Research Record* No 1484, 1995, pp. 80-89.

-
- [17] Elefteriadou L., Lertworawanich P.: Defining Measuring and Estimating Freeway Capacity. The 82nd Annual Meeting of the Transportation Research Board, 2003.
 - [18] Freeway Performance Measurement System (PeMS). Department of Electrical Engineering and Computer Sciences at the University of California, at Berkeley, California Department of Transportation, California Partners for Advanced Transit and Highways. Berkeley Transportation Systems. <https://pems.eecs.berkeley.edu/>
 - [19] Highway Capacity Manual 2000. Transportation Research Board, National Research Council Washington, D.C, 2000.
 - [20] Jiang Y.: Traffic Capacity, Speed, and Queue-Discharge Rate of Indiana's Four-Lane Freeway Work Zones, Transportation Research Record 1657, 1999.
 - [21] Kermode R., Myra W.: Freeway Lane Closures, Freeway Lane Closures. Traffic Engineering, Vol. 40, No. 5, 1970, pp-14-18.
 - [22] Levinson D., Zhang L.: Some Properties of Flows at Freeway Bottlenecks. University of Minnesota. Pillsbury, 2003.
 - [23] Newell G.: Theory of Highway Traffic Flow 1945-1965. Institute of Transportation Studies, Berkeley, USA, 1995.
 - [24] Persaud B.: Exploration of the Breakdown Phenomenon in Freeway Traffic. Transportation Research Record 1634, 1998, pp. 64-69.
 - [25] Persaud B.: Study of Breakdown-Related Capacity for a Freeway with Ramp Metering. Transportation Research Record 1748, 2001, pp. 110-115.
 - [26] Ringert J., Urbinak T.: Study of Freeway Bottlenecks in Texas. Transportation Research Record 1398, pp. 31-41. 1993.
 - [27] Zong-Zhong T.: Ramp Metering and the Two-Capacity Phenomenon in Freeway Operations. Journal of Transportation Systems Engineering and Information Technology, Vol. 6, No. 3, June 2006.

THE INFLUENCE OF LOCAL CAPACITY CONSTRAINTS ON TRAFFIC ASSIGNMENT RESULTS

Summary

The weakest element of any traffic models is the degree the models include the local capacity limitations in the road network. The interest of scientists in local capacity limitations gets out of their specificity. This specificity causes that the capacity of the road as a whole is limited. The paper contains the description of the methods for local capacity limitations detection and calculation.

Keywords: traffic modelling methods, local capacity limitations

EINFLUSS DER LOKALEN KAPAZITÄTSBEGRENZUNGEN AUF DIE VERKEHRSVERTEILUNG

Zusammenfassung

Das schwächste Element des Betriebsmodells ist die Berücksichtigungsstufe im Modell der auftretenden örtlichen Begrenzungen der Leistungsfähigkeit im Straßennetz. Die Interessen von Wissenschaftlern für die örtlichen Kapazitätsbegrenzungen resultieren aus ihrer Eigenart, die verursacht, dass sie die Leistungsfähigkeit des ganzen Wegezuges begrenzt. Der vorliegende Vortrag enthält die Zusammenfassung und die Beschreibung der Methoden für die Entdeckung und Bestimmung der lokalen Kapazitätsbegrenzungen.

Die Schlüsselwörter: die Methoden der Betriebsmodellierung, die lokale Begrenzungen der Leistungsfähigkeit von Straßen

Aleksandra Faron¹

WPLYW INSTRUMENTÓW PLANISTYCZNYCH NA WIELKOŚĆ PROGNOZOWANEGO RUCHU

Streszczenie

Modelowanie ruchu i prognozowanie ruchu jest bardzo ściśle związane z planowaniem zagospodarowania przestrzennego. Na każdym etapie modelu możemy dostrzec związki z koniecznością integracji przestrzeni urbanistycznej z układem transportowym, co wpływa na kształt modelu i prognozowane wielkości ruchu w sieci ulicznej. Wpływ potencjałów ruchotwórczych, jest zależny od kształtowania przestrzeni urbanistycznej, co także wpływa na kształt więzby ruchu. Na tym etapie model, możemy wykorzystać dwa instrumenty planistyczne, dzięki którym możliwe jest obniżenie wielkości relacji pomiędzy rejonami komunikacyjnymi poprzez zmniejszenie mobilności wśród mieszkańców. Plan miejscowy z planowaniem charakteru zagospodarowania terenu i dobór wskaźników parkingowych, to te elementy polityki planistycznej, które wpływają na prognozowanie ruchu w sieci drogowej i obniżanie stanów kongestii.

Słowa kluczowe: modelowanie ruchu, prognozy ruchu, planowanie zagospodarowania przestrzennego, plany miejscowe, wskaźniki parkingowe

1. Wstęp

Modelowanie i prognozowanie ruchu miejskiego jest jednym z najważniejszych elementów, które powinny przyczyniać się do kształtowania sieci komunikacyjnej w mieście. Wielkość i charakter ruchu

¹ mgr inż., Katedra Systemów Komunikacyjnych, Politechnika Krakowska, ola@transys.wil.pk.edu.pl

prognozowanego jest zawsze związana z charakterem zabudowy, jej gęstością i lokalizacją względem zagospodarowania przestrzennego miasta. Rozwój miast i towarzyszące mu „rozlewanie się” zabudowy, prowadzi do zwiększających się odległości między jednostkami osadniczymi. Dynamiczny rozwój przestrzeni zurbanizowanej powoduje w rzeczywistości wzrost mobilności mieszkańców, a co jest z tym związane większe wykorzystywanie samochodu w przemieszczaniu się. Oferta komunikacji zbiorowej dla obszarów położonych na terenach peryferii miasta często nie pozwala na swobodne korzystanie z codziennych podróży autobusem, czy tramwajem. Inwestycje typu Park&Ride, z uwagi na ich wciąż małą popularność, nie są alternatywą dla wykorzystania prywatnego samochodu. Zatem brak polityki planowania przestrzennego w mieście i kształtowania spójnej, a także zrównoważonej formy zabudowy, ma wpływ na wzrost zatłoczenia motoryzacyjnego i negatywne oddziaływanie transportu na mieszkańców i środowisko. Zauważyć można, że kształtowanie przestrzeni miast ma ogromny wpływ na jakość i wielkość ruchu zmotoryzowanego. Integracja planowania przestrzennego i transportu może przyczynić się do poprawy warunków na ulicach, pod względem zmniejszenia wielkości odbywanych podróży samochodem. Odpowiednimi instrumentami planistycznymi można skutecznie wpływać także na wielkość prognozowanego ruchu, na poziomie jego modelowania. Kluczowy jest w tym wypadku dobór wiarygodnych danych wejściowych. Tylko takie dane, ściśle gromadzone na etapie planowania zagospodarowania przestrzennego i transportu, mogą spowodować, że modelowanie podróży i prognozowanie ruchu wpłynie na zrównoważony rozwój miasta.

2. Elementy planowania przestrzennego a etapy modelowanie ruchu

Prognozowanie ruchu w miastach zwykle odbywa się w oparciu o cztero-stadiowy model podróży. Model ten uwzględnia wpływ potencjałów ruchotwórczych, które wiążą ze sobą elementy demograficzne, jak i te związane z rodzajami podróży. W modelach stosuje się zwykle funkcje regresyjne, które uzależniają wielkość podróży (dla różnych motywacji) od odpowiednich zmiennych (np. w motywacji dom – praca występuje silny związek związany z liczbą mieszkańców da-

nego rejonu i liczbą miejsc pracy). Zmienne te są zawsze związane z elementami zagospodarowania terenu, a wyznaczanie potencjałów ruchotwórczych opiera się na związku - typ i wielkości zabudowy, a przewidywana wielkość ruchu. Związek ten powinien dotyczyć także redukcji odległości między źródłem a celem podróży, w celu zmniejszenia mobilności mieszkańców. Z tego względu, przy kształtowaniu przestrzeni urbanistycznej, należy zadbać o zróżnicowany charakter zagospodarowania terenu. Umożliwia to odbycie podróży we wszystkich motywacjach w obrębie jednego rejonu. Etap wyznaczania potencjałów ruchotwórczych dotyczy także innego instrumentu planistycznego – procesu przyznawania pozwolenia na budowę. Na tym etapie, możliwe jest prognozowanie wielkości potencjałów ruchotwórczych w rejonie komunikacyjnym, za pomocą planowanej liczby mieszkańców (jeśli wniosek dotyczy pozwolenia na budowę budynków mieszkalnych), liczby osób pracujących (dla inwestycji o charakterze usługowym, użyteczności publicznej, etc.), a także wskaźnika parkingowego dla inwestycji.

Etap przestrzennego rozkładu ruchu w modelu, jest silnie związany w ustaleniu relacji źródło-cel dla poszczególnych rejonów komunikacyjnych. Dzięki więźbie ruchu, tworzonej według modelu grawitacyjnego, możemy obserwować zależność pomiędzy wielkością potencjałów ruchotwórczych, a odległością pomiędzy rejonami komunikacyjnymi. Funkcja oporu zawarta w modelu grawitacyjnym, jest regulowana przez wielkość relacji pomiędzy rejonami, w zależności od czasu potrzebnego na przebycie danej odległości. Zatem im obszar miejski ma bardziej zróżnicowany typ zabudowy pod względem pełnionych funkcji, tym odległość i czas podróży jest mniejsza – zmniejsza się jednocześnie wartość funkcji oporu. Planowanie zagospodarowania przestrzennego i transportu powinno uwzględniać, zatem taką organizację przestrzeni miejskiej, aby funkcja oporu była jak najniższa.

Podział zadań przewozowy określa, jaka część podróży jest odbywana poszczególnymi środkami transportu. Wyznaczenie podziału zadań przewozowych jest podstawowym krokiem w modelowaniu ruchu. Wartość tą zazwyczaj wyznacza się dla całego miasta, jednakże bardziej celowym jest strefowanie podziału zadań przewozowych. Pozwala to na dokładniejsze modelowanie ruchu pomiędzy rejonami komunikacyjnymi. Udział poszczególnych środków transportu w strefach miasta, zależny jest głównie od wielkości i charakteru zabudowy

w obszarze. Im zabudowa jest bardziej zróżnicowana pod względem funkcji, tym zmniejsza się konieczność pokonywania dużych odległości, realizowanych zazwyczaj samochodem. W takim wypadku podział zadań przewozowy jest ukierunkowany na podróż komunikacją zbiorową, pieszą i rowerową. Maleje, zatem udział samochodu osobowego w ruchu. Jednakże strefowanie podziału zadań przewozowych w modelowaniu ruchu jest rzeczą dosyć trudną i bardzo skomplikowaną.

Ostatnim etapem jest rozkład ruchu na sieć. Wydawać by się mogło, że na tym etapie trudno mówić o elementach planowania zagospodarowania przestrzennego. Jednakże etap ten jest ściśle związany z planowaniem układu ulicznego, a także zagospodarowania terenu. Rozkład ruchu na sieć najczęściej wykorzystuje modele wielościżkowe (np. program Visum), biorąc pod uwagę czas potrzebny na pokonanie odcinka. Rozkład ruchu zależy, zatem od typów odcinków (określanych przepustowością, prędkością podróży), które obsługują konkretny obszar zabudowany. W planowaniu transportu powinno się zapewniać powiązania obszarów miasta poprzez zhierarchizowany układ drogowy. Hierarchizacja ta wiąże się z zagospodarowaniem przestrzennym i powiązaniem poszczególnych funkcji zabudowy z odpowiednimi klasami ulic w mieście. Z tego względu na etapie planowania, zarówno przestrzeni i transportu, należy pamiętać o typie odcinków, ich parametrach i możliwościach przenoszenia przez nie odpowiednich potoków ruchu mających swoje źródło i cel w zurbanizowanych obszarach miasta.

3. Instrumenty planistyczne mające wpływ na modelowanie ruchu

Jednym z ważniejszych instrumentów planistycznych w mieście, mającym wpływ na modelowanie podróży i prognozowanie ruchu jest plan miejscowy. Ustalenie przeznaczenia terenu, rozmieszczenie inwestycji celu publicznego oraz określenie sposobów zagospodarowania i warunków zabudowy terenu, następuje w miejscowym planie zagospodarowania przestrzennego². Z założenia tej ustawy, przy sporządzaniu planu miejscowego należy dążyć do zrównoważenia obszarów, co powoduje zapewnienie ładu przestrzennego, walorów architekto-

² Ustawa o planowaniu i zagospodarowaniu przestrzennym z dnia 27 marca 2003

nicznych, wymagań ochrony środowiska, ochrony bezpieczeństwa, zdrowia i życia obywateli. Jednakże kształtowanie przestrzeni urbanistycznej nie zawsze jest zgodne z tymi zaleceniami. Jedną z przeszkód integracji planowania przestrzennego i transportu jest bardzo mała liczba planów miejscowych w miastach. Drugim czynnikiem jest bardzo często brak prognozowania ruchu na etapie sporządzania planu miejscowego. Praktyki takie stosowane są tylko w nielicznych miastach. Jak w takim razie można sporządzić plan miejscowy i definiować granice obszarów zabudowy mieszkaniowej, z przypisywaną jej intensywnością zabudowy, czy innych, gdy brak jest oceny skutków takiego planu? W przypadku braku planu miejscowego, wydanie decyzji pozwolenia na budowę wiąże się ze spełnieniem wymagań zawartych w warunkach zabudowy. Te jednak, z uwagi na ich mały zasięg rozważania inwestycji, nie są spójne z całym zamierzeniem zrównoważonego kształtowania przestrzeni. Warunki zabudowy wydawane są na podstawie zapisów w Studium uwarunkowań i kierunków zagospodarowania przestrzennego miasta. Jednakże warunki te, mogą być sprzeczne z zapisami dokumentu Studium uwarunkowań ... (z uwagi na brak legislacyjnej ważności tego dokumentu). Zatem w przypadkach braku planów miejscowych, obserwuje się wzrastającą liczbę wydanych warunków i pozwoleń na budowę dla dużych inwestycji generujących duży ruch (osiedla mieszkaniowe, centra handlowe, zespoły biurowe), bez rozpatrywania negatywnego wpływu inwestycji na zatłoczenie motoryzacyjne.

Jednym z istotnych czynników wpływających na wzrost wielkości ruchu, jest pojawienie się w obszarze zespołu zabudowy wielorodzinnej. Potencjał ruchotwórczy takiego obszaru powinien uwzględniać zróżnicowanie motywacji podróży. W planowaniu zagospodarowania przestrzennego takiego obszaru, należy dążyć do integracji funkcji mieszkaniowej z tymi wszystkimi elementami materialnymi i treściami przestrzeni miejskiej (miejsca pracy, nauki, usług, wypoczynku, etc.), które decydują o atrakcyjności środowiska miejskiego.³ Takie planowanie pozwala na minimalizowanie mobilności komunikacyjnej wśród mieszkańców i zaspokojenie ich potrzeb w obrębie jednego rejonu komunikacyjnego. Obecnie zaobserwować można tendencję do kształtowania jednostki mieszkaniowej, jako zespół wyodrębniony od reszty funkcji. Stanowi ono najczęściej zespół budynków jedynie jako

³ Wpływ czynnika komunikacji na kształtowanie struktur osiedleńczych, Krzysztof Bieda, Zeszyt Naukowy Nr 6 Politechniki Krakowskiej, 1980 r.

zadanie inwestycyjne, oparte o kryterium wykonawstwa, a nie funkcji pełnionej w systemie miejskim. Brak integracji zespołu budynków z innymi funkcjami zabudowy stwarza problem w obsłudze komunikacyjnej takiej struktury. Brak zapewnienia punktów usług, np. sklepów, miejsc rozrywki, przedszkoli, żłobków, sprawia, że konieczne jest dotarcie do tych celów poza obszarem. Dostęp do komunikacji zbiorowej, przede wszystkim w początkowej fazie funkcjonowania osiedla, jest bardzo często utrudniony. Brak wymagań zapewnienia dostępu takiej inwestycji do komunikacji zbiorowej na etapie wydawania pozwolenia na budowę, powoduje, że czas dojścia, a następnie czas oczekiwania na przystanku obniżają atrakcyjności tego środka transportu w codziennych podróżach. Przejazd rowerem na większe odległości, także nie czyni tego środka transportu alternatywą w stosunku do samochodu. W takim przypadku, jedynie samochód osobowy spełnia dominującą rolę w podziale zadań przewozowych dla takiego obszaru. Jednakże korzystanie także z tego środka transportu nie zapewnia najkrótszego czasu pokonania odległości. Osiedla mieszkaniowe najczęściej lokalizowane są w sąsiedztwie istniejącej zabudowy, gdzie problemy zatłoczenia motoryzacyjnego już sięgają wysokiego stanu. Nałożenie się nowego ruchu na już istniejący, powoduje znaczne pogorszenie się warunków ruchu. Wyczerpywanie przepustowości odcinków ulic i skrzyżowań, nie wpływa na brak wydawanych pozwoleń na budowę.

Najczęstszym błędem w wydawaniu pozwoleń na budowę takiej inwestycji, jest brak wymagań określających wpływ inwestycji pod względem ruchowym na przyległy układ drogowy. Jednakże w kilku miastach można zauważyć zrozumienie dla tego problemu. Dla przykładu w Krakowie, pozwolenie na budowę (dla inwestycji mogącej generować znaczący dla układu ulicznego ruch), wydawane jest jedynie w przypadku sporządzeniu przez inwestora prognozy ruchu i udowodnienia, że inwestycja ta nie pogorszy istotnie warunków ruchu w układzie drogowym. Pytaniem jest jednak, czy przed wydaniem takiego pozwolenia na budowę, dostarczone prognozy są należycie analizowane i weryfikowane przez osoby posiadające odpowiednią wiedzę w tym zakresie.

Plan miejscowy to ten dokument, który jako jeden z nielicznych instrumentów planistycznych posiada moc prawną. Planowanie zagospodarowania przestrzennego w zakresie planu miejscowego powinno

tak kształtować przestrzeń, aby uwzględniać zróżnicowany charakter pełnionych funkcji i zintegrować ją z układem drogowym. Powinien dostosować intensywność zabudowy i wielkość potencjałów do możliwości przenoszenia generowanego ruchu przez istniejący (lub planowany) układ drogowy. Integracja planowania przestrzennego i transportu umożliwi takie zagospodarowanie obszaru, w wyniku, którego możliwe jest zmniejszenie pracy przewozowej, skrócenie czasu i zwiększenie prędkości podróży.

Przy tworzeniu miejscowych planów zagospodarowania przestrzennego należy zadbać o kilka elementów, które będą obniżały wielkość udziału ruchu samochodowego w codziennych podróżach:

- Należy dążyć do tworzenia struktur zintegrowanych dla obszarów mieszkaniowych, w których mieszkańcy mogą realizować w bliskim otoczeniu większość motywacji podróży. Zatem powinno się kreować wycinki tkanki miejskiej⁴ z przeważającą funkcją zabudowy, a nie wyodrębnione przestrzennie zespoły budynków.
- Należy integrować strukturę i funkcję zabudowy z układem transportowym, przy realizacji zasady: „średnicowy przebieg komunikacji zbiorowej, obrzeżny przebieg ponadlokalnego ruchu samochodowego”⁵.
- Powinno się utrzymywać wysoką zwartość struktury miasta, a szczególnie zapewnić wysoką intensywność zabudowy w korytarzach o dobrej obsłudze komunikacją zbiorową. Należy także zadbać o lokalizację zabudowy w okolicach punktów przesiadkowych komunikacji zbiorowej.
- Należałoby intensyfikować zabudowę mieszkaniową w tych rejonach, które są dobrze obsługiwane przez komunikację zbiorową. Należy przy tym zbadać dogodną dostępność pieszą do przystanków.
- W zakresie rozwoju transportu, należy utrzymywać właściwą proporcję podziału zadań przewozowych pomiędzy komunikacją indywidualną i zbiorową. Istotnym jest ograniczenie wykorzystywania samochodu indywidualnego nie tylko w sensie ilościowym, ale również w zakresie pełnionych funkcji i obsługiwanej przestrzeni miejskiej.

4 K. Pfundt, V. Meewas, K. Ekstein: Verkehrssicherheit neper Wohngebiete. Verband der Haftpflicht-Unfall und Kfzversicherer. Kolonia 1975

5 Freie und Hansestadt Hamburg: Das Entwicklungsmodell für Hamburg und sein Umland. Baubehörde Hamburg, 1969

- W planach miejscowych należy zapewnić rezerwy terenowe na lokalizację urządzeń mających wpływ na integrację systemu transportowego z zabudową (np. parkingi Typu Park&Ride, węzły przesiadkowe, pętle i dworce komunikacji zbiorowej, terminale logistyczne,).
- Koniecznym jest opracowywanie i ochrona korytarzy transportowych, głównie dla tras tramwajowych.
- Powinno wykonywać się prognozy ruchu dla konkretnego planu miejscowego z odniesieniem do całego obszaru miejskiego. Pozwola one ocenić celowość powstania przewidzianych funkcji i intensywności zabudowy w projekcie planu.

Wpływ planu miejscowego na modelowanie i prognozowanie ruchu wiąże się nie tylko z planowaniem charakteru i intensywności zabudowy. Ważnym czynnikiem, który wpływa na wielkość generowanego ruchu, są założone wskaźniki parkingowe. Są one najczęściej definiowane dla całego miasta, z uwzględnieniem ich strefowania. Pozwala to na dostosowanie liczby miejsc parkingowych w obszarze inwestycji, w zależności od lokalizacji i dostępności do komunikacji zbiorowej. Wskaźniki parkingowe w Krakowie są określone dla 4 stref. Strefy A, B, C i D są rekomendowane dla określonego charakteru zabudowy i stopnia dostępności komunikacją indywidualną i zbiorową. Tablice 1 i 2 przedstawiają te zależności, a także przypisane poszczególnym strefom maksymalne wskaźniki parkingowe⁶:

Tablica 1. Strefy polityki parkingowej dla Krakowa rekomendowane dla określonego charakteru zabudowy i stopnia dostępności komunikacją indywidualną i zbiorową

Charakter zabudowy – dostępność komunikacją indywidualną (samochodem osobowym)	Dostępność komunikacją zbiorową (suma czasów dojazdu i oczekiwania na przystanku w okresach szczytu)		
	< 7 min.	7 – 15 min.	>15 min.
Centrum	A	A	A
Pozostałe obszary o zwartej i intensywnej zabudowie			
• zła dostępność samochodem	A	B	B
• względnie dobra dostępność samochodem	B	C	C
Inne obszary			
• zła dostępność samochodem	B	C	C
• względnie dobra dostępność samochodem	C	D	D

⁶ Studium uwarunkowań i kierunków zagospodarowania przestrzennego Miasta Krakowa, Uchwała Rady Miasta z dnia 16 kwietnia 2003 r.

Tablica 2. Powiązanie stref polityki parkingowej ze wskaźnikami dopuszczalnej liczby miejsc postojowych dla Krakowa oraz z zalecaną funkcją i intensywnością zabudowy

Strefa polityki parkingowej	Maksymalny wskaźnik miejsc postojowych związany z:		Rekomendowana:	
	pracą [na 100 zatrudnionych]	usługami [na 1000 m ² pow. użytkowej]	funkcja zabudowy	intensywność zabudowy
A	5	2	przewaga usług	bardzo wysoka
B	12	5	mieszana, z przewagą usług	bardzo wysoka lub wysoka
C	20	10	mieszana	wysoka lub średnia
D	35 lub - bez ograniczeń	35 lub - bez ograniczeń	mieszana, z przewagą zakładów produkcyjnych	średnia lub niska

Wskaźniki te nakładają maksymalne wartości liczby miejsc parkingowych dla konkretnego obszaru i funkcji zabudowy. Występowanie maksymalnych wskaźników nie jest spotykaną praktyką w politykach parkingowych miast polskich, także w krajach zachodnich, np. Niemcy, Słowenia, Szwajcaria. W krajach tych definiowane są jedynie minimalne wskaźniki parkingowe, a maksymalna liczba miejsc postojowych, jaką inwestor może zastosować, jest negocjowana z jednostką wydającą pozwolenie na budowę. Jednakże bardzo często wartości te nie uwzględniają skutków przyjętej liczby miejsc parkingowych na obciążenie układu drogowego. Kraje te, dzięki różnym działaniom dążą do wprowadzenia w zapisy dokumentów planistycznych, maksymalnego wskaźnika miejsc postojowych⁷.

W dokumencie „Studium uwarunkowań i kierunków zagospodarowania przestrzennego Miasta Krakowa” można także znaleźć wskaźniki parkingowe definiujące zalecane (możne je rozumieć jako minimalne), jak i maksymalne wskaźniki parkingowe w zależności od stref strukturalnych miasta i charakteru zabudowy. Zależności te pokazane są w tab. 3.

⁷ Cele i wyniki projektu EU MAX – np. „Guidelines for integration of Mobility Management and Land Use Planning” – Informacje o opracowaniu – www.epomm.org

Tablica 3. Wskaźniki parkingowe w zależności od charakteru zabudowy i strefy strukturalnej Krakowa

Charakter zabudowy	jednostka odniesienia	obszar śródmieścia		strefa miejska		strefa przedmieść	
		zalecane	max	zalecane	max	zalecane	max
MW - tereny zabudowy mieszkaniowej o wysokiej intensywności	1 mieszkanie	0,5 - 0,7	-	0,6 - 0,9	-	-	-
MN - tereny zabudowy mieszkaniowej o niskiej intensywności	1 mieszkanie 1 dom	-	-	0,8 - 1,2 1	-	1,0 - 1,2 2	-
UP - tereny usług publicznych	1000 m ² pow. użytk 100 zatrudnionych	-	5 12	5-8 10-15	10 20	8-12 15-20	25 30
UC - tereny usług komercyjnych	1000 m ² pow. użytk 100 zatrudnionych	-	5 8	6-9 10-12	12 15	10-15 12-16	30 25

Określenie wskaźników parkingowych dla nowej inwestycji jest kluczowym elementem wpływu tego obiektu na ruch w sąsiadującym układzie ulicznym. Dokument Studium uwarunkowań... w Krakowie daje możliwość zastosowania maksymalnych wskaźników dla inwestycji, ale bardzo często nawet te wskaźniki są dla niektórych obszarów miasta bardzo zawyżone. Maksymalne wskaźniki parkingowe stosowane są najczęściej dla obiektów użyteczności publicznej (zespoły biznesowe) i usług komercyjnych (centra handlowe). Dotyczy to szczególnie tych obszarów, które położone są wzdłuż głównych ciągów komunikacyjnych, i zlokalizowane są w strefie o zbyt niskiej obsłudze komunikacją zbiorową (np. w strefie miejskiej, blisko granicy przedmieść miasta). Bardzo duże natężenia ruchu na głównych ciągach drogowych, z punktu widzenia przepustowości ulic, uniemożliwiają stosowanie tak wysokich wskaźników parkingowych. Podobną sytuację można zaobserwować w stosunku do zalecanej (minimalnej) liczby miejsc parkingowych. Zalecana liczba miejsc, szczególnie dla obszarów wysokiej intensywności w strefie przedmieść miasta, jest pomijana. Zapewne model wyznaczenia wskaźników parkingowych nie uwzględnił lokalizacji tego typu zabudowy w obszarze przemieść. Jednakże, z uwagi na wzrost liczby inwestycji na terenach peryferyjnych i związany z tym efekt tworzenia się nowych jednostek osiedleńczych, powoduje, że koniecznym zdaje się rozważenie zdefiniowania także wskaźników dla tego typu obszaru. Najczęściej takie inwestycje nie posiadają atrakcyjnego dostępu do komunikacji zbiorowej. Inwestor, aby uatrakcyjnić zakup mieszkania na terenach peryferyjnych, może proponować znaczną liczbę miejsc parkingowych, przekraczającą wskaźnik 2 miejsca na 1 mieszkanie. Efekt takiego działania jest oczywisty. Odwrotnym przypadkiem może być sytuacja, gdy inwe-

stor, z uwagi na wielkość działki przewidzianej na inwestycje, może przewidywać bardzo niski wskaźnik miejsc parkingowych w obszarze osiedla (np. 0,5 na 1 mieszkanie). Brak rozpatrywania takiego przypadku spowoduje, że liczba posiadanych samochodów przez mieszkańców i tak będzie wzrastać, a parkowanie będzie odbywać się w miejscach niedozwolonych, skutecznie uniemożliwiając dojazd służbom ratunkowym.

Z tego względu celowe zdaje się twierdzenie, że strefowanie wskaźników parkingowych musi być bardziej zróżnicowane i częściej uwzględniać indywidualny charakter obszaru oraz uwarunkowania ruchowe i dostępność do komunikacji zbiorowej, szczególnie dla obszarów peryferyjnych. Stany kongestii w centrach miast zależne są przecież także od wielkości ruchu, których źródło zlokalizowane jest daleko od ścisłego centrum.

Dobór wskaźników parkingowych i ich efekty, można zaobserwować dla analizowanego przypadku planowanej inwestycji Krakowskiego Centrum Wystawienniczo – Kongresowego (KCWK) w Krakowie. Inwestycja zlokalizowana będzie w dzielnicy Czyżyny – Dąbie, położonej ok. 6 km od centrum miasta. Obsługę komunikacyjną zapewniają trzy ulice o wysokich parametrach przekrojowych (ul. Bora Komorowskiego, ul. Stella Sawickiego i Al. Jana Pawła II), a także trasy autobusowe i od południa trasa tramwajowa. W przyszłości planuje się rozbudowę układu sieci tramwajowej wzdłuż ul. Stella Sawickiego. Przy określeniu dopuszczalnej liczby miejsc postojowych przyjęto zgodnie ze Studium uwarunkowań... w Krakowie, dwie opcje: zakwalifikowanie obszaru Krakowskiego Centrum Wystawienniczo - Kongresowego do strefy miejskiej (opcja I) oraz do strefy D polityki parkingowej (opcja II).

Dla analizowanego obszaru został opracowany dokument⁸ propozycji rozwiązań transportowych, który rozważa możliwości obliczania miejsc parkingowych według kilku źródeł. W tablicy 4 zestawione zostały propozycje liczby miejsc parkingowych dla analizowanej inwestycji według:

- wytycznych niemieckich,
- Studium uwarunkowań i kierunków zagospodarowania przestrzennego Miasta Krakowa (dla opcji I i II),

⁸ „Weryfikacja i propozycja rozwiązań komunikacyjnych związanych z projektem Krakowskiego Centrum Wystawienniczo – Kongresowego”, A. Rudnicki, T. Kulpa, maj 2007 r.

- Miejscowego planu zagospodarowania przestrzennego obszaru Czyżyny – Dąbie⁹,
- Według opracowania „Program obsługi parkingowej dla Miasta Krakowa” – opracowanie firmy „Altrans”¹⁰,
- zaprojektowanej liczby miejsc parkingowych wg koncepcji KCWK¹¹.

Tablica 4. Wskaźniki parkingowe dla obszaru KCWK według różnych źródeł

Obiekt	Według wytycznych niemieckich		Według Studium		Według planu miejscowego	Opracowanie „Program obsługi parkingowej dla Miasta Krakowa”	Zaprojektowana liczba miejsc parkingowych dla KCWK
	MIN	MAX	opcja I	opcja II			
Zespół wystawienniczy	2530	3830	980	2820	2440	718	2278
Zespół kongresowy i konferencyjny	1250	2500	615	1740	1520	670	1511
Biura	20	25	30	75	65	52	0
Centrum handlowe	675	1025	275	785	580	895	1070
Hotel	45	125	75	470	385	325	
SUMA	4520	7505	1975	5890	4990	2057	4859

Jak widać z tab.4, różnice w obliczonej liczbie miejsc parkingowych na poziomie maksymalnym są bardzo wyraźne. Wynika to m.in. od zakwalifikowania inwestycji do różnych stref w mieście. Granice tych stref w niejasny i zmienny sposób określają dany obszar. W jednym przypadku jest to strefa miejska, a w drugi już strefa polityki parkingowej na poziomie D, z dosyć dobrym dojazdem komunikacją indywidualną i średnią dostępnością komunikacją zbiorową. Najbardziej niekorzystne wydają się wytyczne niemieckie dla tego obszaru dla maksymalnych wskaźników parkingowych. Podobna sytuacja występuje, gdy zakwalifikujemy analizowaną inwestycję do strefy D.

Analizowana inwestycja wielokrotnie zmieniała swoją koncepcję i układ funkcjonalno-przestrzenny. Jednocześnie zmieniały się również potrzeby parkingowe. Z uwagi na brak dokładnych danych dotyczących powierzchni użytkowej poszczególnych obiektów, szacunkowej liczby osób odwiedzających zespoły wystawiennicze i konferencyj-

⁹ Rada Miasta Krakowa – Uchwała Nr XXXI/398/07 (2007): Plan miejscowy dla obszaru Czyżyny – Dąbie, 2007 r.

¹⁰ Wskaźniki parkingowe dla nowo realizowanych inwestycji poza obszarem ograniczonego parkowania – Propozycja wskaźników parkingowych w projekcie dokumentu pn. „Program obsługi parkingowej dla Miasta Krakowa” – opracowanie firmy Altrans

¹¹ Celadyn, W. z zespołem: projekt koncepcji Krakowskiego Centrum Wystawienniczo – Kongresowego, 2007 r.

ne oraz częste zmiany tych powierzchni – liczba miejsc parkingowych została zagregowana dla całego kompleksu KCWK. W tab.5. przedstawione zostały zalecane ilości miejsc parkingowych, skonfrontowane z ilością miejsc parkingowych zaproponowanych przez autorów koncepcji architektonicznej KCWK.

Tablica 5. Zalecane i zaprojektowane liczby miejsc postojowych dla KCWK

Kryterium	Liczba miejsc parkingowych dla samochodów osobowych (rozwiązanie docelowe po II etapie realizacji)	
	MIN	MAX
Według wytycznych niemieckich	3010	4820
Według Planu Miejscowego	3420	
Według Studium	1430 (4050)	
Według opracowania „Program obsługi parkingowej dla Miasta Krakowa”	2060	
Proponowana przez autorów koncepcji architektonicznej	2800	

Zaprojektowana ilość miejsc parkingowych nie przekracza dopuszczalnej liczby określonej w Planie Miejscowym oraz w Studium dla opcji II. W przypadku opcji I, która jest bardziej restrykcyjna, dopuszczalna liczba miejsc jest przekroczona. Podobna sytuacja występuje dla opracowania „Program obsługi parkingowej dla Miasta Krakowa”. Proponowana liczba miejsc parkingowych jest mniejsza niż minimalna zalecana według warunków niemieckich. Jednak po uwzględnieniu parkingu tymczasowego w pobliżu pasa startowego można przyjąć, że zaproponowane wielkości parkingów zdołają zapewnić minimalny poziom obsługi osób dojeżdżających do kompleksu samochodem osobowym. Równocześnie należy zwrócić uwagę, że pomimo zmniejszenia liczby miejsc parkingowych, tak duży jednak kompleks parkingowy jest znaczącym generatorem ruchu. Należy spodziewać się przeciążeń na skrzyżowaniach w bezpośrednim sąsiedztwie parkingów, w szczególności w przypadku organizacji imprez o charakterze masowym. Dla przyjętej liczbie miejsc parkingowych przeprowadzono obliczenia ruchowe i wykonano rozkład ruchu w sieci dla każdego wariantu, co umożliwiło analizę nateżeń ruchu na newralgicznych punktach w sąsiadującym układzie drogowym (skrzyżowania, węzły). Wyznaczono także wartości pracy przewozowej i prędkości średniej w obszarze. Wynosiły one (w referacie podano wyniki z opracowania dwóch najbardziej prawdopodobnych wariantów zagospodarowania terenu: wa-

riant bezinwestycyjny-przy braku powstania KCWK, a także wariant inwestycyjny – proponowana liczba miejsc parkingowych przez autorów koncepcji architektonicznej):

wariant bezinwestycyjny - praca przewozowa = 6400 poj.godz.

Vśr. = 22,2 km/h

koncepcja architektoniczna - praca przewozowa = 7100 poj.godz.

Vśr. = 21,4 km/h

4. Wnioski

Analiza problematyki parkingowej dla KCWK wykazała, że przypisywanie wskaźników parkingowych dla określonej inwestycji jest rzeczą bardzo dyskusyjną. Wytyczne dotyczące wskaźników parkingowych są tak rozbieżne, że trudno jest stwierdzić, czy zastosowane wskaźniki są poprawne dla konkretnej sytuacji. Niezbędne jest, zatem zawsze sporządzanie analiz ruchowych, które pokazują możliwości przeniesienia przez układ ulic ruchu wygenerowanego przez daną inwestycję. Wydaje się, że przyjęcie wskaźników parkingowych wprost, np. z dokumentu Studium uwarunkowań... (jako dokumentu obowiązującego), nie jest poprawną praktyką i nie kończy etapu projektowania liczby miejsc parkingowych. Etap ten wymaga przynajmniej dwóch iteracji doboru liczby miejsc parkingowych, a następnie dokonania analiz ruchowych.

PLANNING INSTRUMENTS INFLUENCE ON THE SIZE OF TRAFFIC VOLUME

Summary

Travel modelling and forecast should be integrated with the spatial planning. We can notice that transport and land use planning have strong connection with travel modelling on each level of it. That integration should have an influence on the shape of the model and on the size of the traffic volume. So, the travel demands and the origin – destination matrix depend from the urban spatial and transport network shape. In those levels we can use two planning instruments for minimizing the traffic flows among city areas. It can be done by the mobility reduction among citizens. The local spatial development plans and parking indicators are these elements of spatial planning policy, which can have a great impact on travel forecast in street network and congestion reduction.

Keywords: *travel modelling, travel forecast, land use planning, local plans, parking indicators.*

EINFLUSS VON PLANUNGSINSTRUMENTEN AUF DIE GRÖSSE DES PROGNOSTIZIERTEN VERKEHRS

Zusammenfassung

Die Verkehrsmodellierung und die Prognostizierung des Betriebes sind sehr eng mit der Planung der Raumerschließung verbunden. In jeder Etappe des Modellbaus können wir die Integrationsnotwendigkeit des städtebaulichen Raums mit Verkehrsanlagen bemerken. Es beeinflusst die Form des Modells und die Prognostizierung der Betriebsgröße im Straßennetz. Der Einfluss der Potentiale, die die Verkehrsströme bilden, ist von der Gestaltung des städtebaulichen Raums abhängig, es beeinflusst auch die Form des Verkehrsverbands. In dieser Etappe des Modellbaus können wir zwei Planungsinstrumente, mit derer Hilfe die Minderung der Verbindungen zwischen den Verkehrsgebieten durch die Begrenzung der Beweglichkeit von Bewohnern möglich ist, ausnutzen. Der Ortsplan mit der Planierung der Form für die Gebieterschließung und die Auswahl der Parkplatzziffern bilden diese Elemente der Planungspolitik, die der Einfluss auf die Verkehrsprognostizierung im Straßennetz und auf die Senkung der Kongestion ausüben.

Die Schlüsselwörter: *die Verkehrsmodellierung, die Verkehrsprognostizierung, die Planung der Raumerschließung, die Ortspläne*

Jan Friedberg¹

WYKORZYSTANIE ANALIZ I PROGNOZ RUCHU W ANALIZIE MARKETINGOWEJ PROJEKTÓW TRANSPORTOWYCH

Streszczenie

Najczęściej prognozę ruchu utożsamia się z informacjami dotyczącymi kształtowania i wymiarowania sieci transportowej lub jej poszczególnych elementów. Wymogi Unii Europejskiej realizacji projektów opłacalnych z ekonomicznego i społecznego punktu widzenia spowodowały, że niezbędne jest dostosowanie warsztatu planistycznego w tym zakresie do potrzeb analiz marketingowych. Nie wymaga to zmian w praktyce badań ruchowych, ale już wymogi co do zastosowanych typów modeli ruchu mają związek z rodzajami projektów, dla których przygotowywana jest analiza. Generalnie chodzi o to, aby w efekcie wiernie odwzorować zmiany zachowań użytkowników systemu, co można opisać w modach jako zmiany zmiennych objaśniających oraz kluczowych parametrów modeli: ruchliwości w poszczególnych grupach motywacji, funkcji oporu oraz najważniejszy – podziału zadań przewozowych między środki transportu.

Słowa kluczowe: analiza marketingowa, podział zadań przewozowych, modele ruchu

1. Wprowadzenie

Niektóre aspekty przygotowywania prognoz ruchu dla potrzeb analiz marketingowych w projektach transportowych (drogowych, transportu publicznego, parkowania, sterowania ruchem itp.) stwarzają

¹ mgr inż., niezależny konsultant, autor jest obecnie konsultantem Inicjatywy Jaspers w zakresie projektów obejmujących transport publiczny w miastach. Kontakt: jfriedberg@interia.pl, www.friedberg.pl

nowe problemy metodologiczne w świetle dotychczasowych doświadczeń i praktyki modelowania i prognozowania ruchu. Te nowe wymagania to przede wszystkim:

- konieczność uzyskania wartości natężeń ruchu i pracy przewozowej w perspektywie roku, a nie tylko godziny szczytu (co tradycyjnie jest miarodajne dla wymiarowania sieci),
- bardziej szczegółowe odwzorowanie zachowań użytkowników systemu transportowego jako rezultat zastosowania równych rozwiązań, np. zarządzania i sterowania ruchem, czy też nowych elementów sieci.

Są dwa podstawowe czynniki, wyznaczające zakres niezbędnych analiz ruchowych:

- 1) potrzebne są dane dla analiz efektywności ekonomicznej i finansowej oraz oddziaływania na środowisko, a to dla oceny czy badane warianty są racjonalne w skali bezwzględnej oraz
- 2) potrzebne są dane obrazujące różnice między poszczególnymi zbadanymi wariantami dla wyboru najkorzystniejszego z nich.

Celem artykułu jest przedstawienie najważniejszych wymogów wobec analiz ruchowych jakie są podstawą sporządzania studiów wykonalności (FS) oraz analiz kosztów i korzyści (CBA) w ramach projektów rozwojowych².

Uwagi i komentarze są także oparte na rekomendacjach zawartych w wytycznych Ministerstwa Rozwoju Regionalnego w sprawie ubiegania się o środki wsparcia z programów operacyjnych, w tym zasilanych środkami Unii Europejskiej.

2. Czym jest analiza marketingowa w ramach projektu rozwojowego

Analiza marketingowa ma odpowiedzieć na kluczowe pytania, związane z rezultatami i oddziaływaniem³ projektu. Są dwie grupy tych pytań:

- i) o liczbę użytkowników planowanego systemu oraz spodziewane ich zachowania; w transporcie są to więc natężenia ruchu pojazd-

² Przez projekt rozwojowy rozumiane jest przedsięwzięcie, zmierzające do osiągnięcia celów rozwojowych, a więc nie są to tylko zamierzenia inwestycyjne, ale także organizacyjne, miękkich regulacji prawnych i zarządczych, stosowanie reguł konkurencji i otwierania rynków, itp.; wszystkie te aspekty powinny być stosownie odzwierciedlone w badaniach, modelach i prognozach ruchu

³ Przez „rezultat” rozumiany jest użytkowy efekt przedsięwzięcia, przez „oddziaływanie” – wpływ na otoczenie, poza samym projektem, zaś przez „produkt” – materiały efekt projektu (budowle, tabor, systemy techniczne)

- dów różnych typów (użytkownicy systemu to w tym wypadku ich dysponenci) oraz potoki ruchu osób, używających zbiorowych form transportu,
- ii) o strukturę tych użytkowników, opisującą zróżnicowane zachowania, głównie pod kątem mobilności i wyboru środka transportu.

3. Typy projektów różnicujące zakres analiz ruchowych

W dziedzinie transportu można wyróżnić dwa podstawowe typy projektów z punktu widzenia techniki modelowania i prognozowania:

- projekty nie generujące przychodów – są to projekty drogowe, z wyłączeniem dróg płatnych,
- projekty generujące przychody – drogi płatne, transport zbiorowy, koleje, lotniska, porty morskie, centra logistyczne, węzły przesiadkowe żegluga śródlądowa.

W pierwszej grupie nie ustala się wpływów z tytułu korzystania z obiektów, wytworzonych w ramach projektu, ale ustala się koszty i korzyści społeczne, które są następstwem użytkowania tej infrastruktury. Chodzi np. o skrócenie czasu jazdy (korzyść użytkowników), zmniejszenie emisji hałasu (korzyść mieszkańców otoczenia drogi), itp.

Należy zaznaczyć, że tzw. rekompensata z tytułu stosowania ulg ustalanych przez sektor publiczny lub dopłata do nierentownych usług w dziedzinach, w których obowiązuje kontrakt użyteczności publicznej jest także traktowana jako przychód operatora, ale równocześnie jest kosztem organu organizującego udzielający rekompensat czy dopłat. Chodzi o to, aby owe przychody były liczone w skali porównywalnej do świadczenia tych usług na zasadach w pełni rynkowych. Świadczący dopłaty czy rekompensaty jest jakby specyficznym użytkownikiem systemu wnoszącym opłaty za korzystanie z urządzeń jakby w imieniu podatników, niekoniecznie przecież bezpośrednio użytkowników systemu. Model musi więc odzwierciedlić wielkość potoków ruchu, wpływającą na ten bilans przepływów finansowych.

4. Wariantowanie i jego odzwierciedlenie w badaniach, modelach i prognozach ruchu

W transporcie w zasadzie zawsze stosuje się metodę analizy wariantów dla poszukiwania najkorzystniejszych rozwiązań. Istotne dla wypełnienia wymagań wnioskowania o środki wsparcia jest podporządkowanie się pewnej logice kreowania rozwiązań⁴, która można streścić jako:

- dążenie do realizowania ogólnych celów strategicznych rozwoju obszaru, wyrażonych w oficjalnych dokumentach strategicznych, poczynając od Unii Europejskiej, poprzez poziom krajowy, regionalny aż do poziomu lokalnego,
- odzwierciedlenie założeń polityki transportowej wraz z jej przesądzeniami w kierunku zrównoważonego rozwoju,
- przebadania odpowiadających powyższym założeniom wszelkich możliwych scenariuszu wdrażania, nie wynikających z samego planowanego projektu,
- możliwych do rozważenia a różnicujących rezultaty rozwiązań technicznych i technologicznych, organizacyjnych oraz gry rynkowej.

5. Ogólne podejście do modelowania ruchu w projektach rozwojowych

W zasadzie wymogi FS i CBA powodują, że niezbędne jest opracowanie czterostopniowego modelu ruchu. Modele ekstrapolacyjne są możliwe dla prostych przypadków w projektach drogowych oraz niektórych projektach węzłów sieci transportowej (np. porty morskie i lotnicze).

Wymogi projektów co do analizy marketingowej dla potrzeb FS i CBA prowadzą do konieczności sporządzenia następujących analiz ruchowych:

- dla stanu istniejącego w chwili rozpoczęcia projektu (opcjonalnie),
- dla stanu projektowanego w chwili oddania zrealizowanego projektu do użytku,

⁴ W wytycznych używa się terminu „logika interwencji”, co jest bezpośrednim, ale niezbyt szczęśliwym tłumaczeniem terminu w języku angielskim

- dla stanów przejściowych jeśli projekt jest realizowany etapami,
- dla stanu docelowego projektu,
- dla tzw. wariantu „bez projektu”.

Pierwszy horyzont czasowy jest zalecany dla wykazania, że zastosowany model ruchu właściwie odwzorowuje ruch w badanym obszarze, co jest obrazowane porównaniem wyników rozkładu ruchu według modelu i pomiarów ruchu na sieci. Ponadto niekiedy można tymi analizami wesprzeć sam proces modelowania, np. badając macierz ruchu na podstawie pomiarów przekrojowych ruchu.

Ważnym czynnikiem metodyki modelowania jest uwzględnienie kontekstu rozwoju systemu transportowego obszaru oddziaływania projektu. Chodzi o to, jakie elementy przewidziane do rozwoju systemu należy uwzględnić w zapisie sieci transportowej w ramach prognoz dla projektu. Należy uwzględnić następujące czynniki:

- do analizy należy wziąć elementy zapisane w obowiązujących dokumentach strategicznych, w tym w szczególności z zakresu planowania przestrzennego na poziomie lokalnym oraz planowania branżowego na poziomie regionalnym i krajowym,
- na ile planowane elementy są realne do realizacji (np. czy są przeprowadzone prace przygotowawcze, pozyskane grunty, rozpatrzone protesty, itp.),
- czy planowane elementy mogą mieć istotny związek z badanym projektem (np. czy mogą wpłynąć na zmniejszenie lub zwiększenie popytu ruchowego).

Jak wspomniano w prognozach dla potrzeb analizy marketingowej istotne jest nie tylko oszacowanie wartości bezwzględnych wskaźników projektu, ale (a nawet przede wszystkim) oszacowanie różnic pomiędzy poszczególnymi badanymi wariantami, w tym szczególnie różnic między badanym wariantem a wariantem „bez projektu”. Ten ostatni powstaje przy założeniu, iż badany projekt nie będzie realizowany, ale to są uwzględnione działania o charakterze odnowy czy „naturalnego” usprawniania istniejącego systemu. Należy te elementy uwzględnić w zapisie systemu w modelu.

Rozważenie tych kwestii może mieć duże znaczenie dla przyszłego monitorowania projektu, w ramach którego sprawdzana będzie zgodność założeń marketingowych z realnym popytem w obrębie projektu. W przypadku przeszacowania rynku (co wpływa na nieosiągnięcie za-

kładany wskaźników efektywności projektu) wszczynana jest procedura wyjaśniająca. W skrajnym wypadku może dojść do konieczności zwrotu dofinansowania.

6. Bazy danych wejściowych do modeli ruchu

Baza danych o obszarze oddziaływania projektu, czyli zmienne objaśniające model generacji ruchu, stanowi (obok modelu podziału zadań przewozowych) podstawę oszacowania skali wielkości rynku.

Dlatego zasadnicze znaczenie mają dwa czynniki:

- wiarygodność danych o stanie istniejącym, z uwzględnieniem podziału obszaru na rejony komunikacyjne, oraz
- rzetelność prognoz zmiennych objaśniających, szczególnie prognozy demograficznej, poziomu bezrobocia, poziomu motoryzacji i PKB.

Prognozy demograficzne w ostatnich latach są opierane na wynikach Narodowego Spisu Powszechnego (NSP) z roku 2003 opracowanych przez GUS. Jest to materiał o tyle szczególnie wartościowy, że bilansuje zmiany przyrostu naturalnego (co jest możliwe z wysoką dokładnością (w skali nawet 50 lat) z prognozami pomigracyjnymi dla poszczególnych regionów i kraju jako całości. Często można się spotkać z kwestionowaniem tych wyliczeń przez poszczególne miasta czy regiony w oparciu o własne założenia co do rozwoju demograficznego w części pomigracyjnej. Znane zjawisko rozpraszania ludnościowego na tereny podmiejskie (trwałe zjawisko od początku lat 2000) jest przeciwstawiane woli politycznej „utrzymania” mieszkańców w dużych miastach. Jeśli założeniem projektu ma być owa „wola polityczna” to zapewne musi być ona podparta wiarygodnie brzmiącymi planami konkretnych działań, mających tę wolę urzeczywistnić. W innym razie nierealistyczna prognoza demograficzna „w górę” jest jawną próbą zawyżenia wyników, co może być groźne dla trwałości i wykonalności projektu.

Podobnie rzecz się ma z prognozą motoryzacji. Autor stawia tezę, popartą licznymi badaniami w miastach, że statystyki liczby samochodów są zawyżone w stopniu znaczącym. Niech dowodem tego będzie choćby zestawienie wyników NSP z 2003 roku ze statystykami liczby pojazdów osobowych: gdyby w roku tym było w kraju około 11

milionów pojazdów, to jeden samochodów wypadalby na 80% gospodarstw domowych, natomiast uwzględniając, iż część posiada więcej niż jeden pojazd, NSP wykazał ten wskaźnik na poziomie 52%. A więc realna liczba samochodów jest o około 30% niższa. Należy to brać pod uwagę i wskaźnik motoryzacji badać w ramach kompleksowych badań ruchu (KBR).

7. Model i prognoza generacji ruchu

Sposób modelowania generacji ruchu na podstawie wyników KBR jest znany i powszechnie stosowany najczęściej w formie liniowej regresji wielorakiej.

Pewnym problemem jest prognozowanie: posłużenie się wskaźnikami ruchliwości z badań w stanie istniejącym z uwzględnieniem np. metody analizy krzyżowej po grupach ekonomicznych może dać wyniki zaniżonej ruchliwości, ponieważ mamy w Polsce do czynienia z gwałtownymi zmianami cywilizacyjnymi, w tym radykalnymi przemianami w sposobie spędzania wolnego czasu, co w efekcie daje wzrost ruchliwości w każdej niemal grupie podróży.

Dlatego rekomenduję posłużenie się metodą analizy zmian ruchliwości wg cech w grupach motywacji, np. według poniższej tablicy 1.

Tablica 1. Zmiany ruchliwości wg cech w grupach motywacji

Grupa motywacji	Główne zmienne objaśniające	Cechy ruchliwości
dom – praca – dom	zawodowo – czynni, miejsca pracy	absencja w pracy
dom – nauka - dom	grupy wiekowe uczniów i studentów, uczniowie i studenci na stacjach	absencja w nauce
pozostałe	ludność, miejsca pracy w usługach	zwiększenie mobilności wg nowego modelu cywilizacyjnego

Z opisanych grup podróży łatwo można prognozować zmienne i parametry cech ruchliwości dla dwóch pierwszych. Natomiast dla grupy pozostałej, obok bardziej wyrafinowanych metod prognozowania przyszłych zachowań można zastosować metodę uproszczoną poprzez dopełnienie liczby podróży do założonej według oddzielonej hipotezy ruchliwości ogólnej. W tej sprawie pouczające są analizy zmian ruchliwości w miarę wzrostu zamożności w krajach porównywalnych o wyższym poziomie rozwoju ekonomicznego. Należy jednak zważyć na pewne specyficzne zjawiska lokalnych zwyczajów, np. kwestie sje-

sty w krajach południowych, czy podróży na lunch w anglosaskich – znacząco zwiększają one ruchliwość dzienną w porównaniu z warunkami polskimi.

8. Model podziału zadań przewozowych

Jest to kluczowa kwestia dla większości projektów transportowych. Podział jest bowiem wynikiem dość skomplikowanych procesów decyzyjnych użytkownika systemu, które muszą być poznane i odpowiednio zamodelowane.

W sieciach zatłoczonych wybór środka przewozowego jest zwykle funkcją stosunku oporu podróży dla różnych możliwych środków transportu (opór może być mierzony czasem, odległością, kosztem lub kombinacją tych czynników). Model wymaga kalibracji na podstawie badań.

Oznacza to, że w takich sieciach nie może być zastosowany model pierwotnego podziału zadań przewozowych – wymagany jest model podziału wtórnego, czyli na etapie macierzy między rejonowej. Jego skalibrowanie w polskich warunkach jest trudne, wymaga wysokiej próby w KBR.

9. Stopień dokładności modelu - szczególne zjawiska do odzorowania

Dokładność szacowania jest uzależniona od kilku czynników, w tym głównie od:

- dokładności i wiarygodności danych o zmiennych objaśniających,
- dokładności i wiarygodności danych o sieciach transportowych,
- możliwości sprawdzenia modelu na poziomie stanu istniejącego.

Natomiast potrzeba podnoszenia dokładności zależy od specyficzności od każdego projektu. Wysoka dokładność będzie potrzebna wtedy, kiedy różnice między wariantami są niewielkie, więc konieczne jest wyeliminowanie przypadkowych zależności.

Zwykle spotykamy się z takimi sytuacjami w projektach modernizacji taboru, gdzie wpływ samego zakupu nowego taboru nie musi być łatwy do uchwycenia⁵.

Innym ważnym czynnikiem dokładności szacowania jest kwestia wpływu poziomu zatłoczenia na poszczególnych odcinkach sieci drogowej (mierzonego np. stosunkiem natężenia ruchu do natężenia krytycznego) na obliczenie wartości czasu traconego / zyskiwanego w ramach poszczególnych wariantów / scenariuszy lub też na wielkości emisji zanieczyszczeń i hałasu emitowanych z potoku ruchu. Ponieważ analizy ruchu drogowego są wykonywane dla godzin szczytu, ich przeniesienie na wartości dobowe lub roczne na podstawie tylko godzin szczytu obarczone jest błędem poważnego zniekształcenia.

Wniosek jest taki, że dla sytuacji, gdzie dokładność szacowania tych zjawisk wymagałaby bardziej precyzyjnego określenia wartości dobowych wielkości ruchu i wskaźników prędkości na poszczególnych odcinkach – niezbędne jest wykonanie kilkukrotnych przebiegów cyklu modelu ruchu w fazie podziału zadań przewozowych i rozkładu na sieć drogową dla różnych okresów doby, np. szczyt poranny, międzyszczyt, szczyt popołudniowy, okres pozostały (nocny).

Istnieje jeszcze jeden element, niezbyt dokładnie zbadany, ale istotny – ruch wzbudzany przez projekty transportowe. Jeśli dla projektów drogowych można się z tym zjawiskiem spotkać dla większych sieci i znaczących zmian (np. budowa autostrady) i ten temat jest w polskiej literaturze obecny, tak brak badań dotyczących ruchu wzbudzanego w ramach projektów transportu publicznego. A tu zmiany mogą być znaczące, ponieważ można spotkać projekty, gdzie skrócenie czasu podróży w wyniku realizacji projektu może być kilkukrotne (np. linia tramwajowa na Chełm w Gdańsku skróciła czas podróży z 20 do 7 minut). Zjawisko to wymaga uwagi.

10. Podsumowanie

Ponieważ wyniki modelu, wykorzystane w analizie marketingowej są przedstawiane jako podstawa uzasadnienia racjonalności projektu oraz dokonanego wyboru najkorzystniejszego rozwiązania w ramach

5 Profesor Andrzej Rudnicki (A. Rudnicki: Jakość komunikacji miejskiej, Kraków 1999) podaje w tej sprawie ciekawe wyniki badań, wiążąc ocenę czasu podróży dokonywaną przez pasażera z komfortem jazdy i standardem pojazdu; ponieważ ta ocena wpływa na wybór środka podróżowania, może to być dodatkowy czynnik wyboru

projektu – należy pamiętać, że odbiorcą tych wyników nie są tylko służby beneficjenta, ale różne podmioty zaangażowane w zatwierdzenie, przygotowanie i realizację projektu. Te podmioty bądź odpowiadają za udzielenie wsparcia finansowego na rzecz beneficjenta dla realizacji tego projektu, bądź odpowiadają za polityczny sukces projektu. Dlatego sposób przygotowania modeli ruchu i prognoz oraz ich wiarygodność, są niezwykle ważne nie tylko dla kadry przygotowującej projekt, ale dla wielu innych zaangażowanych stron.

Dlatego model i prognoza muszą się obronić w procedurach sprawdzania projektu i jego monitorowania, więc muszą być zarówno odpowiednio przygotowane profesjonalnie i opisane czytelnie dla takich sprawdzeń.

W pracach inicjatywy JASPERS spotykamy się często z takimi oto sytuacjami, łamiącymi te zasady:

- czynienie założeń bez podania ich podstaw (nawet duże doświadczenie planisty może być taką podstawą, bowiem oceniający także są takimi specjalistami),
- narzucanie rozwiązań przez „czynniki polityczne”, bez dania racji ich merytorycznego uzasadnienia i oceny,
- opracowywanie analiz „pod” konkretne z góry przesądzone rozwiązanie, mówiąc kolokwialnie naciąganie wyników pod zadane tezy.

Takie sytuacje są stosunkowo łatwe do wychwycenia. Należy wyrazić zdziwienie, że mają one miejsce, ponieważ rodzą dwa ryzyka:

- wylapania tych nieprawidłowości i kwestionowanie aplikacji,
- lub co gorsze, przez ich przeoczenie, wdrożenie projektu nieracjonalnego marketingowo, co może prowadzić do poważnych konsekwencji w ramach monitoringu.

Należy oczekiwać, że takie sytuacje nie będą miały miejsca a gwarancją tego jest rozwój metod modelowania i prognozowania ruchu.

USAGE OF TRAFFIC ANALYSIS AND FORECAST IN MARKETING ANALYSIS OF TRANSPORTATION PROJECTS

Summary

The traffic forecast is usually treated as information concerning to construction and dimensioning of transport network or its elements. The European Union requirements for realisation of project are effective from economical and social point of view and cause that it is necessary to adjust the planning activity in this field to the demands of marketing analysis. There are no necessary changes in practice of traffic research, but the demands for the types of applied models are closely related to the type of projects, the analysis is prepared for. It is important to precisely imitate any changes of travel behaviours of system users what can be described in the mobility models by changes of explanatory variables and key parameters in every group of motivation, resistance functions and in the most important one – in the modal split.

Keywords: *marketing analysis, modal split, traffic models*

AUSNUTZUNGVON ANALYSEN UND BETRIESPROGNOSEN IN DER MARKETINGANALYSE VON VERKEHRSPROJEKTEN

Zusammenfassung

Die Verkehrsprognose identifiziert sich am häufigsten mit den Informationen über die Gestaltung und Dimensionierung des Verkehrsnetzes oder seiner einzelnen Elementen. Die EU-Anforderungen bezüglich der Realisierung der Projekte, die aus dem wirtschaftlichen und gesellschaftlichen Standpunkt vorteilhaft sind, haben verursacht, dass die Anpassung der Planungswerkstatt an die Bedürfnisse der Marketinganalysen notwendig ist. Es fordert nicht die Änderungen in der Praxis der Betriebsuntersuchungen, aber schon die Anforderungen bezüglich der angewandten Type der Betriebsmodelle haben einen Zusammenhang mit der Projektart. Generell geht um die treue Abbildung der Änderungen in der Verhaltenweise von Systembenutzern. Es kann als die Änderungen der erklärenden Variablen und der Schlüsselparameter im Modell: die Beweglichkeit in einzelnen Motivationsgruppen, die

Widerstandsfunktion und am wichtigsten – die Teilung der Verkehrsaufgaben zwischen den Verkehrsmitteln beschreiben.

Die Schlüsselwörter: *die Marketinganalyse, die Teilung von Transportaufgaben, die Betriebsmodelle*

Andrzej Krych¹

MODELOWANIE I SYMULACJA RUCHU TRAMWAJÓW W PROJEKTACH ITS

Streszczenie

Istotnym problemem jest, aby dla dwóch sfer interwencji instrumentami ITS – to jest efektywnego sterowania ruchem i efektywnego zarządzania czasem przez operatora transportu publicznego – dokonać metodami symulacyjnymi oceny korzyści wynikających ze struktury projektowanej architektury zarządzania ruchem. W artykule przedstawiono możliwości i uwarunkowania w tej strukturze dla zapisu numerycznego modelu sieci przyspieszonego transportu tramwajowego dla potrzeb symulacji rozkładu ruchu w sieciach transportowych.

Słowa kluczowe: przyspieszenia ruchu tramwajów, symulacji rozkładu ruchu, projekty ITS, architektura zarządzania ruchem

1. Opis problemu

Przyspieszenie ruchu tramwajów wnosi do projektów ITS znaczące korzyści finansowe i ekonomiczne poprzez wpływ efektu przyspieszenia na koszty operacyjne, koszty amortyzacji oraz oszczędność czasu [4]. Wpływ przyspieszenia ma znaczenie dla przełożenia popytu między ruchem indywidualnym i transportem publicznym oraz dalsze, wynikające z tytułu tego przełożenia korzyści.

Decydujące z powyższego tytułu znaczenie ma trafne określenie związków przyczynowych pomiędzy zastosowaniem priorytetów w sterowaniu ruchem, przyspieszeniem pociągów w skali całej sieci tramwajowej a wdrażaną architekturą systemu ITS. Wykazano wcześniej

¹ dr. inż., Instytut Inżynierii Lądowej Politechniki Poznańskiej

[9,10], iż samo zastosowanie priorytetów, nawet w tak szerokim zakresie jak w Poznaniu, ma niewielki wpływ na zwiększenie prędkości eksploatacyjnej tramwajów, co potwierdza także praktyka dotychczasowych zastosowań projektów wprowadzanych na mniejszych obszarach, ale za to o bardziej rozwiniętej architekturze systemowej ITS (Łódź – tramwaj regionalny, Warszawa – Al. Jerozolimskie).

Zasadnicza diagnoza niepowodzeń obejmuje dwie niezwykle istotne sfery interwencji instrumentami ITS, tj. efektywnego sterowania w ruchu ulicznym oraz efektywnego zarządzania czasem przez operatora transportu publicznego (por. [9,10,16]). Wspomniane doświadczenie, problem techniki sterowania ruchem, niedostatek teorii problemu a także uwarunkowania Niebieskiej Księgi stawiane przed projektami ITS skłaniają do spekulatywnych, zazwyczaj ostrożnych szacowań korzyści projektów z przyspieszenia ruchu tramwajów a zarazem poprawy warunków ruchu samochodowego, co w praktyce ogranicza formowanie rozwiązań doskonałych z punktu widzenia tego kryterium.

Najczęściej postrzegane jest to przez formuły stopnia kompromisu pomiędzy kryterium maksymalizowania przepustowości a kryterium udzielenia pierwszeństwa pojazdom transportu publicznego. Pomija się w tym podejściu globalne kryteria systemowe, wśród których podstawowe znaczenie mają takie, jak: problem efektywności transportu publicznego, zrównoważenie poziomów przepustowości w sieciach i korytarzach transportowych czy wpływ osiąganej prędkości komunikacyjnej w transporcie publicznym na podział zadań transportowych.

Praktycznie niemal wszystkie projekty związane z przyspieszeniem ruchu tramwajów wiązały się z procedurą mikrosymulacji, w obrębie której raporty określały średnią prędkość w obszarze mikrosymulacji pojedynczego obiektu lub zespołu obiektów [2, 3, 5, 6, 7, 14, 15]. Większość z nich w istocie sprowadzała się do kontestowania wpływu projektów na jej zmianę, zależnie od zastosowanych instrumentów i algorytmów sterowania. W takim podejściu oszacowanie średniej prędkości ruchu pociągów uzależnione jest od efektywności sterowania.

Pierwotnym jednak problemem w całokształcie poruszonego zagadnienia, jest konieczna świadomość, że nie występuje bezpośredni związek pomiędzy udzieleniem priorytetu tramwajom w sterowaniu ruchem ulicznym a ich przyspieszeniem w systemie ruchu tramwa-

jowego. Przełożenie priorytetu na efekt przyspieszenia każe z większą uwagą traktować poziom integracji systemu zarządzania ruchem drogowym z zarządzaniem ruchem pojazdów transportu publicznego. Ten poziom integracji kształtowany jest zarówno przez instrumenty efektywnego sterowania ruchem, jak sposób zarządzania czasem z wykorzystaniem instrumentów ITS [9, 10].

Drugim poważnym zagadnieniem jest, aby dla obu tych sfer interwencji ITS – to jest dla efektywnego sterowania ruchem i efektywnego zarządzaniu czasem – wyprowadzić metodami symulacyjnymi ocenę korzyści wynikającą ze struktury projektowanej architektury ITS, lub odwrotnie, w celu uzyskania efektywnego przyspieszenia ruchu tramwajów wprowadzić odpowiednią architekturę ITS. W sugerowanym podejściu do integracji obu tych sfer zasadniczą rolę odgrywa struktura rozkładu jazdy, co w procesie badania korzyści projektu umożliwia wykorzystanie procedur makrosymulacji poprzez atrybuty czasu przejazdu odcinków międzyprzystankowych. W istocie zagadnienie mikrosymulacji ogranicza się do optymalizacji algorytmów sterowania ruchem na bazie założeń sprecyzowanych dla struktury architektonicznej ITS oraz w ograniczeniach wynikających z przesłanek systemowych dla transportu publicznego.

Zasadniczą przesłanką dla prezentacji stosownego dla obu zagadnień podejścia mogą być prace prowadzone nad architekturą ITS w projekcie pilotażowym ITS w zachodnim obszarze Poznania [18].

2. Definicje

Przegląd prowadzonych projektów ITS w Polsce [3] wskazuje na potrzebę uporządkowania struktury pojęciowej w problematyce przyspieszania ruchu pociągów tramwajowych. Podstawowe definicje wprowadzimy na podstawie jedynej i fundamentalnej w kraju monografii [12] (Podoski*, 1987) rozwijając na ich podstawie dalsze niezbędne pojęcia:

Prędkość komunikacyjna* – prędkość obliczona na podstawie czasu przejazdu w określonym układzie odniesienia (sieć, linia, odcinek) włącznie z czasem obsługi przystanku.

Prędkość eksploatacyjna* - czasami określana także jako prędkość handlowa, obliczona na podstawie czasu przejazdu w określo-

nym układzie odniesienia (sieć, linia) włącznie z czasem obsługi przystanku i czasem postoju pociągów na końcówkach (pętlach) w celu wprowadzenia pociągów do obsługi kursu z rozkładowym taktem kursowym (częstością kursową) spełniającym także czynnik niezbędnej, socjalnej przerwy w pracy motorniczego.

Prędkość średnia* – prędkość na odcinku międzyprzystankowym bez uwzględnienia czasu obsługi przystanku.

Prędkość normatywna – prędkość komunikacyjna na odcinku międzyprzystankowym zależna od długości odcinka między przystankami w przejeździe płynnym pod względem dynamicznym, to jest bez strat czasu związanych z przeszkodami w płynnym przejeździe odcinka na całej jego długości wraz z przyjętym jako normatywny minimalnym czasem obsługi przystanku (odpowiednio - czas normatywny).

Prędkość normatywna kwalifikowana – prędkość normatywna przyjęta dla konkretnego określonego odcinka, uwzględniająca jego indywidualne atrybuty, jak – oś geometryczna toru, ograniczenia techniczne prędkości, stopień separacji torowiska w przestrzeni ruchu pojazdów a także inne nadane atrybuty związane z technologią organizacji ruchu pociągów w sieci (odpowiednio kwalifikowany czas normatywny).

Bufory czasowe – wprowadzone do rozkładowych prędkości normatywnych a także rozkładowych czasów i prędkości eksploatacyjnych dodatkowe odstępy czasowe doprowadzające czasy normatywne do wartości kwalifikowanych.

Czas obsługi pasażerów na przystankach – czas od otwarcia drzwi do wejścia (wyjścia) ostatniego pasażera.

Rozkładowy czas i prędkość przejazdu – wprowadzone w organizacji ruchu pociągów oraz w systemie informacji pasażerskiej czasy i prędkości przejazdu w określonym układzie odniesienia (sieć, linia, odcinek).

Efektywne przyspieszenie pociągów tramwajowych – zwiększenie prędkości komunikacyjnej a pośrednio eksploatacyjnej w sieci tramwajowej, stosowne dla uzyskania rentowności finansowej w procesie odbudowy i modernizacji transportu tramwajowego. Ocenia się na podstawie dotychczasowych doświadczeń, że wymaga to uzyskania prędkości komunikacyjnych w sieci w granicach 23 do 25 km/h.

3. Kwantyfikacja prędkości normatywnych

Zagadnienie prędkości normatywnych przedstawiono szczegółowo w pracy [10] odwołując się zarazem do empirycznych zależności pomiędzy maksymalną prędkością komunikacyjną a odległością międzyprzystankową². W pracach nad projektem ITS w Poznaniu przeprowadzono automatyczne badanie czasów przejazdu w sieci na obszarze I etapu³, obejmującego południowo – zachodnią część miasta. W założeniach tego projektu (m.in. wg [16,17]) kryterium efektywnego przyspieszenia ruchu pociągów tramwajowych przy częściowej implementacji obszarowej wymagało pełnego wdrożenia docelowej struktury nadrzędnej ITS z punktu widzenia tego kryterium.

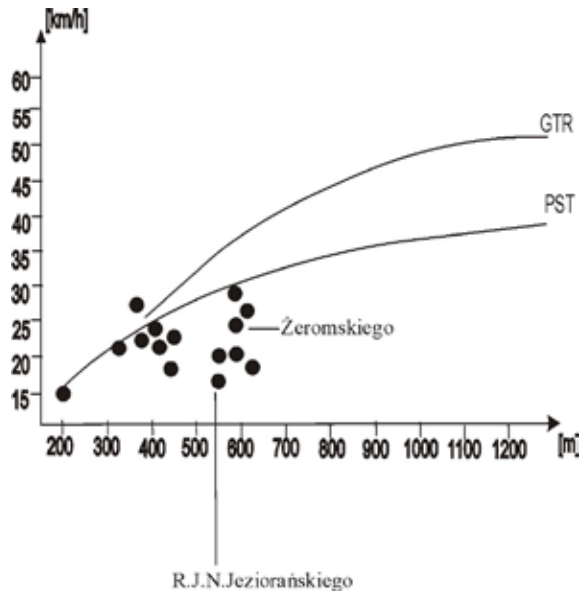
Celem badania było określenie osiągalnej maksymalnej prędkości komunikacyjnej w całej sieci po uruchomieniu I etapu projektu w obszarze południowo – zachodnim oraz możliwości osiągnięcia efektywnego przyspieszenia w sieci tramwajowej przy wykorzystaniu tej samej architektury systemowej dla docelowego rozszerzenia projektu na cały obszar miasta obejmujący sieć tramwajową w jej docelowym kształcie.

Potrzeba zastosowania wartości normatywnych dla badanego projektu sprowadzała się w istocie do wyznaczenia wartości kwalifikowanych a w następnym kroku zbadania efektywności projektu w studium wykonalności. Wprowadzenie wartości kwalifikowanych wymagało zatem weryfikacji samych wartości normatywnych z uwzględnieniem warunków lokalnych, analizy cech rozkładu prędkości, wyodrębnienia instrumentalnych czynników wpływających na rozkład prędkości, wpływu zmiennych nieinstrumentalnych na cechy tych rozkładów, także rozpoznanie wpływu automatycznej techniki pomiaru na pomierzone cechy rozkładu i weryfikacji tak uzyskanych danych poprzez porównanie z pomiarem bezpośrednim przez obserwatora [13].

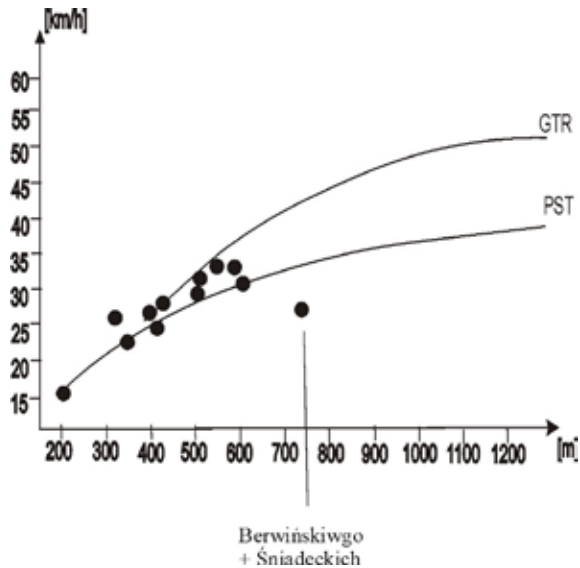
Wyniki badań maksymalnych prędkości zaprezentowano na rysunkach 1 do 5 na tle wzorcowych funkcji PST i GTR.

2 Wartości normatywne o powyższej zależności opisano w [8,10] z wykorzystaniem dwóch krzywych – PST (o niższych wartościach normatywnych na podstawie czasów osiąganych na trasie całkowicie autonomicznej Poznańskiego Szybkiego Tramwaju) oraz GTR (o wyższych wartościach, na quasi - autonomicznej trasie Górnego Tarasu Rataj).

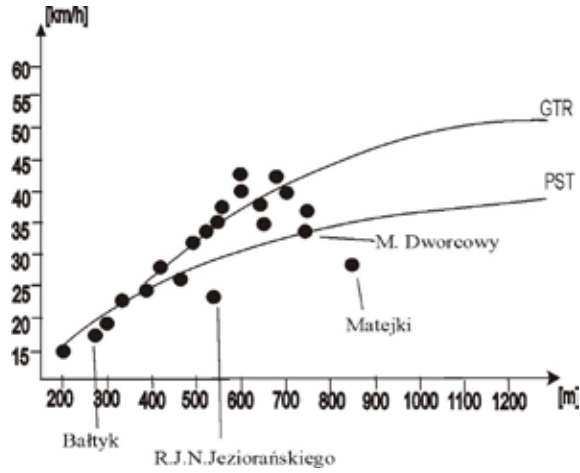
3 Dane o czasach przejazdów odcinków przystankowych uzyskano na podstawie komunikatów przesyłanych przez pojazdy. Każdy pojazd zgłasza obecność na przystanku poprzez odpowiednią depeczę radiową. Czas przejazdu pomiędzy kolejnymi przystankami jest liczony jako różnica czasu otrzymania depeczy o przystanku źródłowym, a otrzymania depeczy o dotarciu do przystanku docelowego [18].



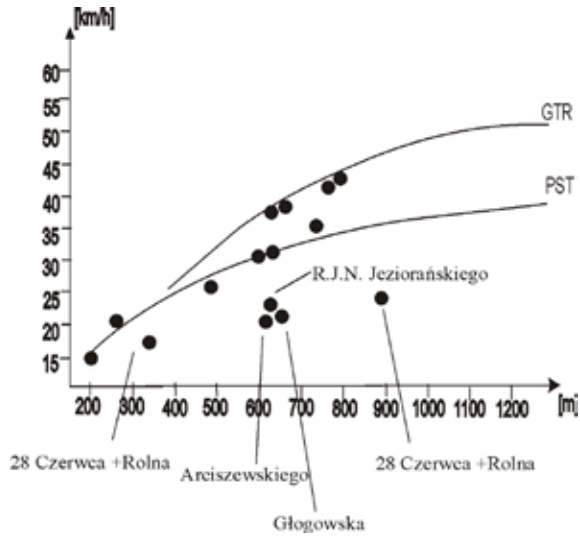
Rys. 1. Zależność prędkości maksymalnej od odległości międzyprzystankowych na trasie jeżyckiej (bez separacji torowiska z znacznym udziałem kolizji)



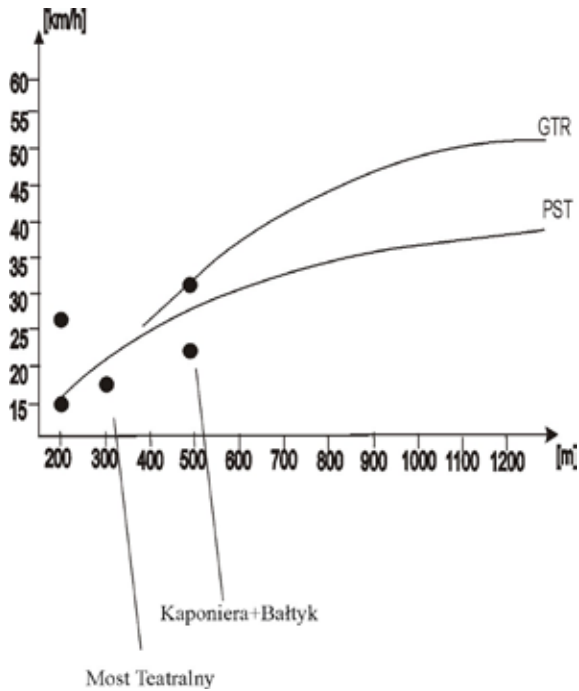
Rys. 2. Zależność prędkości maksymalnej od odległości międzyprzystankowych na trasie górczyńskiej (dominują skrzyżowania skoordynowane z priorytetem dla tramwaju)



Rys. 3. Zależność prędkości maksymalnej od odległości międzyprzystankowych na trasie grunwaldzkiej wraz z relacją do Dworca PKS



Rys. 4. Zależność prędkości maksymalnej od odległości międzyprzystankowych na trasie po II Ramie komunikacyjnej Poznania



Rys. 5. Zależność prędkości maksymalnej od odległości międzyprzystankowych na trasie wyprowadzenia PST z korytarza autonomicznego

Analiza tych wyników pozwoliła wyprowadzić następujące wnioski:

- na odcinkach z torowiskiem nie odseparowanym od ruchu prędkości maksymalne nie tylko są niższe od krzywej PST, ale są niezależne od odległości między przystankami,
- prędkości niższe od wyznaczonych krzywą PST uzyskiwane są na grupie obiektów sterowanych bez priorytetu lub/i z rozjazdami na niektórych skrzyżowaniach tras tramwajowych z I i II Ramą komunikacyjną miasta; tę drugą grupę skrzyżowań określono jako obiekty krytyczne w sieci tramwajowej⁴,
- niektóre relacje tras tramwajowych na obiektach krytycznych z aplikacją priorytetu kwalifikują odcinki międzyprzystankowe tych tras w wartościach normatywnych zawartych między krzywymi PST i GTR, podobnie jak na pozostałych odcinkach,
- nie wystąpił w badanym obszarze wpływ osi geometrycznej torowiska (w tym rozjazdów na skrzyżowaniach) na zmniejszenie maksymalnej prędkości komunikacyjnej.

⁴ Łącznie w badanym obszarze południowo - zachodnim występuje siedem takich obiektów, w całej sieci tramwajowej miasta – dziesięć (na 97 skrzyżowań w tej sieci z sygnalizacją świetlną)

Poza obiektami zdefiniowanymi jako krytyczne oraz odcinkami bez separacji pozostałe odcinki mieściły się w obszarze maksymalnych prędkości komunikacyjnych pomiędzy wartościami normatywnymi krzywych PST i GTR. Nie występowała przy tym zasadnicza różnica pomiędzy odcinkami na trasach z wdrożonymi priorytetami w koordynacji liniowej dla tramwajów (trzy trasy na trzynaście w obszarze) a odcinkami bez aplikacji koordynacji liniowej. Jakość wspomnianych aplikacji odwzorowała się nie tyle w zakresie maksymalnych prędkości międzyprzystankowych, ile w istotnie wyższych wartościach średnich prędkości i zmniejszonej dyspersji odchyień od wartości średniej.

4. Dyspersja czasów przejazdu w otoczeniu zewnętrznym architektury ITS

4.1 Uwagi ogólne

Biorąc pod uwagę, że decydujący wpływ na przyspieszenie pociągów rozkładowych w ruchu ma dostosowanie rozkładu jazdy do osiąganego dyspersji rozkładu czasów międzyprzystankowych wartości kwalifikowane winny przewyższać wartości normatywne stosownie do poziomu niekorzystnych odchyień od tej wartości. Przykładowe rozmiary dyspersji prędkości rozkładowych w Poznaniu na obiekcie wzorcowym o wysokiej efektywności sterowania zilustrowano w tablicy 1. W tablicy 2 zestawiono względne wartości kwantylu 80% w stosunku do wartości minimalnych na odcinkach trzech wybranych tras, na których w różnym stopniu implementowano priorytety w sterowaniu ruchem.

Obie tablice wskazują na wysoki poziom dyspersji obsługi odcinków międzyprzystankowych – niezależny od jakości sterowania. Warto zauważyć jedyne jej przewyższenie na trasie z dużą liczbą kolizji bez separacji toru. Jednocześnie w tabl. 1 ukazano wyjątkowo niską dyspersję na trasie założonej łącznie z czterech i pięciu cytowanych w tabeli odcinkach (na każdym z kierunków). Dodatkowo ta niewielka dyspersja oscyluje wokół wartości średniej, która z kolei zbliżona jest do czasu rozkładowego (wynoszących odpowiednio 8 i 7 minut – co należy odnieść do dalej opisanych czynników sprawczych).

Tablica 1. Dyspersja czasów przejazdu na odcinkach międzyprzystankowych na trasie śródmiejskiej z zaawansowanym priorytetem w sterowaniu i separacji ruchu

Odcinki (m)	Odległość od wartości minimalnej = 100				Wartość średnia (sek)	
	Kwantyl 80%		Mediana			
	A	R	A	R	A	R
495	127	130	116	123	80	74
430	250	160	169	134	106	110
365	163	157	147	113	75	73
355	145	129	119	110	60	74
310	211	121	174	117	111	97
Zakres na odcinkach	127-250	121-160	116 - 169	110 - 134	60 - 111	73 – 110
Razem trasa: 1945 m		104		100		472
495	174	121	132	106	76	81
430	168	147	151	124	82	82
355	157	162	145	138	91	113
325	205	157	169	133	97	93
Zakres na odcinkach	157-205	121-162	132 - 169	106 - 133	76 - 97	81 – 113
Razem trasa: 1605 m		101		94		447

A – pomiar automatyczny – wysoka liczba danych

R – pomiar ręczny – reprezentatywna liczba danych

Tablica 2. Rozkład czasu przejazdu na odcinkach wybranych tras - wartość względna mediany w stosunku do minimalnego czasu przejazdu (pomiar automatyczne)

Nazwa trasy	Kierunek	Wartość względna dla minimalnego czasu = 100
Trasa na II Ramie	0	114 – 141
	Odwrotny	129 – 152
Trasa górczyńska do Mostu Dworcowego	0	127 – 169
	Odwrotny	160 – 184
Trasa grunwaldzka – do dworca PKS	0	113 – 166
	Odwrotny	113 – 171
Trasa Śródmiejska (por. tabl.1)	0	116 – 169
	Odwrotny	132 – 169
Trasa I Jeżycka (bez separacji – dużo kolizji)	0	152 – 237
	Odwrotny	155 – 236
Trasa II Jeżycka (bez separacji – mało kolizji)	0	121 – 151
	Odwrotny	115 – 180

Zasadniczym przyczynkiem dla nadania wartościom normatywnym prędkości kwalifikowanych jest zatem uwzględnienie czynników kształtujących dyspersję na poziomie stosownym do otoczenia systemowego ich występowania. Nie ulega wątpliwości, że dla uzyskania przyspieszenia ruchu pociągów konieczne jest nie tylko zmniejszenie czasów przejazdu pociągów, ale przede wszystkim zasadnicze ograniczenie dyspersji tych czasów.

W tabl. 3 zestawiono zasadnicze czynniki oddziałujące na dyspersję czasu przejazdu raz ich związek z architekturą ITS, przy czym ten ostatni wiąże się z dwoma jej atrybutami - efektywnością sterowania ruchem drogowym oraz jakością zarządzania czasem przez operatora transportu publicznego.

Tablica 3. Otoczenie systemowe czynników dyspersji rozkładu prędkości międzyprzystankowych w oddziaływaniach bezpośrednich

Czynnik	Niezależny od ITS	Zależny od architektury ITS	
		Efektywność sterowania	Zarządzanie czasem
Ograniczenia techniczne w sieci	Tak	Nie	Nie
Brak separacji torowiska	Tak	Tak	Tak
Motoryka motorniczego	Tak	Tak	Tak
Czas obsługi przystanków	Tak	Nie	Nie
Reaktywność sterowania	Nie	Tak	Nie
Reaktywność rozkładu jazdy	Nie	Nie	Tak

W otoczeniu zewnętrznym ITS wyodrębnić należy cztery czynniki, na które architektura systemowa nie ma wpływu w sposób zupełny lub częściowy i one w pierwszym rzędzie budują bufory czasowe niezbędne dla kwantyfikacji wartości kwalifikowanych:

- ograniczenia techniczne w sieci, w przeważającej części ze względu na stan techniczny torowisk⁵ wywołuje zmniejszenie średniej prędkości ale zarazem wzrost dyspersji czasów przejazdu [1] przez różnice w respektowaniu ograniczenia przez motorniczych,
- brak separacji torowiska działa w stopniu zależnym od natężenia ruchu samochodowego i/lub pieszego, pozostaje czynnikiem zewnętrznym w warunkach braku możliwości wprowadzenia sygnalizacji świetlnej w strefach kolizji,
- motoryka motorniczego obejmuje zespół zachowań związanych z taktyką realizacji planu rozkładowego, jej związku z poziomem zdyscyplinowania tej realizacji oraz sposobem kontrolowania i dyscyplinowania punktualności, w istocie jest ona w wysokim stopniu zależna od architektury ITS,
- czas obsługi przystanków zdefiniowany jak w rozdz. 2 nie zależy od architektury ITS.

⁵ W badanym obszarze projektu planowana jest pełna modernizacja tras do roku jego uruchomienia (2012)

4.2. Separacja torowisk

W budowaniu wartości kwalifikowanych trasy bez możliwości separacji torowiska w sposób fizyczny lub przez odpowiednie sterowanie powinno się wartość kwalifikowaną przyjąć na poziomie wartości rozkładowej realizowanej jak na poziomie bez projektu. W zależności od wpływu takiego odcinka trasy na długość marszruty linii znacząca rezerwę na dyspersję nim spowodowaną należy zachować w buforze na pętli końcowej. Jest to zero - jedynkowy dylemat zwiększania bufora o odstęp kursowy danej linii (równoważny z dodaniem jednego pociągu do jej obsługi), występujący wówczas, gdy poziom wyrównania bufora czasowego na końcówce nieznacznie przewyższa minimalny, normatywny czas postoju. Należy przy tym mieć na uwadze poziom, na jakim architektura ITS egzemplifikuje bufory czasowe na pozostałej części trasy.

4.3. Motoryka motorniczego

Wpływ motoryki motorniczego jest w największym stopniu zależny od całej sfery zarządzania czasem przez operatora: budową rozkładu jazdy, dyspozycji taborem, sposobem kontrolowania i egzekwowania dyscypliny realizacji rozkładu. Na cytowane wyniki pomiarów wywiera wpływ specyfika organizacji poznańskiego sposobu zarządzania transportem publicznym, prowadząca do karania za przyspieszenie w stosunku do rozkładu kursowego większe od jednej minuty. Tolerowanie opóźnień (w granicach powyżej trzech minut) wyjaśnia stosunkowo łatwo historię kumulowania niekorzystnych incydentów na trasie - cytowana dyspersja czasów przejazdu. Usztywniony system minutowego zarządzania czasem operuje na doświadczanych organizacyjnie dyspozycjach operujących odchyleniami dość odległymi od czasów minimalnych. Wartości kontrolowane przez motorniczych implementowane są kilku punktów na trasie linii, które to punkty podlegają także zewnętrznemu kontrolowaniu jakości pracy operatora. Łącznie buduje to taktykę motorniczego polegającą na spowalnianiu prędkości, gdy uwzględniane w rozkładzie kwantyle odstępstw od rozkładu pozostają w sprzeczności z serią zwykle bardziej korzystnych losowo zdarzeń, a w oparciu o doświadczenie i nawyki „planowania” dynamiki ruchu na różnych fragmentach trasy.

Szczególnym przykładem działania taktyki motorniczych pozostaje cytowana wyżej niewielka dyspersja rozkładu czasów przejazdu trasy z kilkuodcinkową sekwencją oraz jej zbliżenie do czasów rozkładowych przy silnej dyspersji na odcinakach składowych trasy. (tabl.2 i komentarz w rozdz. 4.1). Innym przykładem jest występująca różnica pomiędzy prędkościami maksymalnymi na krzywych GTR i PST i przewyższenie tej pierwszej nad PST.

Oddzielny wpływ motoryki motorniczego wiązać należy z oprzyrządowaniem wymagającym jego aktywności w sposobie uruchomienia komunikatu do sterownika. Dotyczy to zastosowanych w Poznaniu nadajników typu trak i sposobu egzekwowania priorytetu na przystankach przed sygnalizacją świetlną. Jest to czynnik zarówno wynikający z taktyki motorniczego jak i jego dyspozycji psychofizycznej.

4.4. Czas obsługi przystanków

Zmienność czasu obsługi przystanków (w rozumieniu zdefiniowanym na wstępie) w warunkach występujących ograniczeń w ich geometrii oraz typu taboru jest w decydującym stopniu czynnikiem niezależnym od struktury systemowej i pozostaje funkcją natężenia wymiany pasażerskiej na przystanku. Kilkusekundowe różnice na pojedynczych przystankach mogą się kumulować postępująco do kilkudziesięciu sekund, zaś w niekiedy do dwóch minut na długości trasy. Ze względu na zróżnicowane napelnienia pociągów w poszczególnych kursach ma to istotne znaczenie dla budowy dyspersji rozkładu prędkości międzyprzystankowych.

Rozkład danych w tabl. 5 wskazuje, że wcześniej cytowany czas obsługi pasażerów w czasach normatywnych nie mieści więcej jak do 12 sekund. W około połowie przypadków zatrzymań na przystankach mieści się on w granicach do 5 sekund większych, w 80% sięga dodatkowych 8 sekund, w 90% - 10 sekund większych. Powyższe skłania do sklasyfikowania przystanków, dla których to klas czasy obsługi zestawiono w pakiecie tabel 4 i których stosowne kwantyle można uwzględnić w czasach rozkładowych pociągów jako wartość kwalifikowaną.

Tablica 4. Rozkład czasów obsługi pasażerów na przystankach na ul. Grunwaldzkiej (sek.) [11]

Przystanek (* kierunek do centrum)	Kwantyle (%)									
	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
Junikowo Cmentarz*	5	7	8	8	10	12	13	13	14	15
Wieruszowska	8	9	11	11	11	12	13	14	14	22
Kasztelanów	10	11	14	14	15	15	16	17	17	20
Wieruszowska*	10	11	11	11	12	12	13	14	14	16
Bułgarska*	12	13	14	14	15	15	15	15	17	18
Babimojska*	10	11	12	12	13	15	16	17	19	32
Bułgarska	11	11	13	14	16	18	19	20	22	28
Jeleniogórska*	11	14	14	15	16	17	19	20	22	23
Babimojska*	8	11	12	13	14	14	15	15	16	37
Jeleniogórska	12	15	15	16	16	17	17	18	20	24
Junikowska*	11	12	12	13	15	15	15	15	19	23
Kasztelanów	9	12	13	13	14	14	15	15	18	21

Tablica 5. Rozkład czasów obsługi pasażerów na przystanku o niskiej frekwencji

Czas obsługi (sek.)	Liczba obserwacji	Kwantyl (%)
Do 10	14	70
11	2	80
13	2	90
14	1	95
16	1	100
razem	20	

Źródło: na podstawie danych wg [13]

Tablica 6. Rozkład czasów obsługi pasażerów na przystanku o średniej frekwencji

Czas obsługi (sek.)	Liczba obserwacji	Kwantyl (%)
Do 10	18	45
11	2	50
12	5	62,5
13	5	75
14	1	77,5
18	2	82,5
19	3	90
20	1	92,5
23	2	97,5
25	1	100
razem	40	

Źródło: na podstawie danych wg [13]

Tablica 7. Rozkład czasów obsługi pasażerów na przystanku o wysokiej frekwencji

Czas obsługi (sek.)	Liczba obserwacji	Kwantyl (%)
Do 10	3	7,5
11	3	15
13	3	22,5
14	3	30
15	2	35
16	4	45
17	6	60
18	4	70
19	2	75
20	3	82,5
22	1	85
23	1	87,5
24	1	90
25	1	92,5
28	1	95
29	1	97,5
41	1	100
razem	60	

Źródło: na podstawie danych [14]

5. Wpływ architektury ITS na kwalifikowane czasy normatywne

5.1. Efektywność sterowania

Problem efektywności sterowania był przedmiotem dyskusji na Warsztatach ITS organizowanych w Poznaniu okresie od grudnia 2008 r. do lutego 2009 r. (w tym [16]) Wynikiem zespołowej analizy i wiąże się z pięcioma podstawowymi zagadnieniami:

- opóźnieniem detekcji i zgłoszenia pociągu, co w warunkach koniecznego przejścia przez fazy i grupy pośrednie wymusza spowolnienie ruchu pociągu do krótkiego zatrzymania włącznie,
- wysokim stopniem zależności jakości uzyskiwanego priorytetu od aktywnego i umiejętnego zainicjowania polecenia przez motorniczego (przyciski),
- znaczącymi stratami czasu związanymi z losowym rozkładem czasu obsługi przystanku przed skrzyżowaniem z sygnalizacją świetlną (detekcja wzbudzana przez motorniczego wraz z zamknięciem drzwi pojazdu),

- braku współdziałania między sterownikami w celu „wypchania” kolejki pojazdów zalegających na torowiskach przed najazdem pociągu na koniec kolejki (wiąże się to zarazem z brakiem kontroli długości kolejki na poprzedzającym obiekcie w granicach umożliwiających wyprowadzenie kolejki z torowiska),
- braku możliwości selektywnego udzielania priorytetu dla pociągów opóźnionych, przy konkurencyjnym zgłoszeniu pociągu przyspieszonego.

Przy cytowanych wyżej uwarunkowaniach nawet w miarę efektywne algorytmy sterowania nie zapobiegają dyspersji rozkładu czasów obsługi i strat.

5.2.Reaktywność akomodacji

W zakresie zastosowanej infrastruktury technicznej sterowania możliwe jest zapewnienie:

- detekcji wyjścia pociągu z obszaru sterowania⁶ oraz przekazu informacji (nr linii, stan/pozycja w stosunku do rozkładu kursowego, czyli wielkość przyspieszenia lub opóźnienia) do sterownika następnego (lub kolejnych, w przypadku położenia obiektu następnego w odległości mniejszej jak 400 m),
- detekcji wejścia pociągu do strefy przystanku położonego przed skrzyżowaniem z sygnalizacją oraz detekcji przejścia pociągu przez linię zatrzymania po otrzymaniu przez niego prawa wjazdu,
- wprowadzenia urządzeń pokładowych realizujących powyższe funkcje identyfikacji i komunikacji ze sterownikami w sposób niezależny od kierującego pojazdem.

Ocenia się zarazem, szczególnie w warunkach przesycenia wlotów i dużej liczby grup, oraz w warunkach incydentalnych zdarzeń i nietypowych sytuacji, że przewaga sterowania acyklicznego nad fazowym nie ulega wątpliwości.

5.3.Przystanki przed sygnalizacją świetlną

W przypadku przystanków przed sygnalizacją, uwzględniając 7 sekundowy czas otwarcia wlotu jako minimalny (wg Instrukcji o znakach

⁶ Należy przyjmować, że przystanek położony za skrzyżowaniem z sygnalizacją świetlną leży w obszarze sterowania obiektem

i sygnałach na drodze) w istocie na czas normatywny można nałożyć porównywalną tolerancję. Do 17 sekund obiekt jest w stanie obsłużyć 60% zgłoszeń. Jednak w poszczególnych obiektach daje się zauważyć, że przy siedmiosekundowej tolerancji na połowie przystanków dotyczy to aż 90% zgłoszeń a w większości pozostałych – 80%. W obu przypadkach zdarzenia powyżej limitu uznać można za incydentalne.

O ile minimalizowanie strat w obiekcie (przystanek przed sygnalizacją) można zapewnić przez składowe:

- czas 12 sekund w czasie normatywnym.
- tolerancja 7 sekund w trakcie wyświetlania minimalnego czasu zielonego,
- minimum 3 do 5 sekund jego przedłużenia przy braku potwierdzenia wyjazdu pociągu na następny odcinek,

90 % zgłoszeń obsłużonych zostanie bez strat czasu. Większe przedłużenie przy zapewnieniu braku potwierdzenia wyjazdu można uzależnić od sytuacji pozostałych użytkowników na skrzyżowaniu. Przy kontynuacji obsługi zgodnej grupy użytkowników bez pogorszenia efektywności sterowania, lub w sytuacji braku negatywnego oddziaływania na pozostałych ocenić można, że najwyżej około 1 do 2% zgłoszeń z powyższego względu może nie uzyskać pełnego priorytetu i ich opóźnienie powiększy się niebezpiecznie o czas obsługi innych relacji na skrzyżowaniu z sygnalizacją.

Tak więc w stosunku do czasów rozkładowych opartych na prędkościach normatywnych kwalifikowaną wartość uzyskać można poprzez stosowne jej powiększenie w zależności od atrakcyjności przystanków. Analiza wg 4.4 wskazuje, że 5 sekund dodane dla odcinka z przystankiem średnio atrakcyjnym oraz 10 sek. dla wysokiej atrakcyjności zapewnia wysoki poziom odwzorowania tego problemu w modelu numerycznym sieci.

5.4. Buforowanie dyspersji w systemie sterowania

Zasada wprowadzania buforów czasowych dla aplikacji rozkładu jazdy w otoczeniu systemowym wyposażenia ITS jest w tym sensie kluczowa, że im wyższy jest poziom architektury systemowej, tym buforów czasowe w wartościach kwalifikowanych czasów normatywnych mogą być niższe. Kryterium buduje tu wpływ obu struktur ITS na dyspersję rozkładu prędkości i czasów przejazdu odcinków. Zasadni-

cza idea jest w istocie minimalizowanie czasów buforowych poprzez poziom architektury systemowej. W pełnym jej rozwinięciu w projekcie [18] przyjęto kilka poziomów kwantyfikacji buforów czasowych:

- 1) Kwalifikowana prędkość normatywna dla odcinka wg krzywej PST zawiera co najmniej pięć sekund rezerwy dla odległości między przystankami powyżej 400 m. Dla odcinków o długości poniżej 350 m taka rezerwę winien tworzyć dodany bufor o równoważnej wartości 5 sekund.
- 2) Czas obsługi przystanków przewyższający 12 sekund zawarte w wartości normatywnej winien być korygowany wartościami 5 i 10 sek. na poziomie atrakcyjności przeciętnej i ponad 10 sek. – ponad przeciętnej.
- 3) Na skrzyżowaniach z rozjazdami wczesne przekazywanie sygnału z poprzedzających skrzyżowań oraz stosowny algorytm uniemożliwiający wjazd na odcinek pociągu przyspieszonego przed opóźnionym nie powiększa dyspersji sprzyjając wykorzystaniu buforów na kolejnych kilku odcinkach.
- 4) W opisanych uprzednio obiektach krytycznych aplikowany bufor dodany do odcinków poprzedzających pozwala odzyskiwać straty kosztem pociągów nie opóźnionych. Analiza działania obiektów krytycznych sterowanych w Poznaniu z wykorzystaniem zaawansowanej akomodacji zależnej od ruchu wskazuje, iż krytyczne relacje o dużych stratach wiążą się z występowaniem relacji o stratach (w tym stratach dynamicznych) bardzo niskich. Identyfikacja różnic czasowych pomiędzy czasem rozkładowym a rzeczywistym, zwłaszcza w sterowaniu acyklicznym ewidentnie wpływa na niezbędną wartość bufora. Ocenia się, że przy zaawansowanej dla celów przyspieszenia architekturze ITS bufor dziesięciosekundowy w obiekcie krytycznym może być wystarczający.
- 5) Buforowy czas na końcówce linii winien uwzględniać w sposób uprzednio opisany wpływy odcinków bez skutecznej separacji.

5.5. Zarządzenie czasem przez operatora

Ideę sprawczego zarządzania czasem, przedstawiono szerzej w pracach [9,10]. Zarządzanie czasem opiera się w dotychczasowych funkcjach operatorskich na minutowych sekwencjach czasów między-

przystankowych implementowanych do pozostałych podsystemów zarządzania i informacji. Przejście do zarządzania czasem kwantyfikowanym sekundowo wymaga jednak bardzo zaawansowanej instrumentacji w architekturze ITS.

Monitorowanie czasu winno budować bazy danych o czasach obsługi i ich rozkładach na odcinkach międzyprzystankowych, w tym rozkładach czasów obsługi przystanków oraz identyfikacji rozmiarów i miejsc powstawania strat. Odpowiednie kwantyle rozkładów winny być implementowane do rozkładów jazdy i pozostałych podsystemów zarządzania i informacji, z zaokrągleniem do minuty dopiero w końcowej fazie procesu implementacji danych i pozostawieniem systemu sekundowego w urządzeniach pokładowych i przepływach informacji (dla systemu sterowania, informacji dynamicznej dla pasażerów i kontroli przez motorniczego).

Możliwe jest zastosowanie oprogramowania operatorskiego dla transmisji danych oraz przełożenia zmian w czasach kursowych na systemy wyprowadzające dyspozycje i wspomagające optymalizację dyspozycji w wymienionych niżej komponentach:

- tablic przystankowych,
- dyspozycji dyspeczerskich w zarządzaniu operacyjnym,
- urządzeń pokładowych,
- informacji dla Miejskiego Zarządu Transportu,
- baz danych planistycznych operatora i Zarządu (synchronizacja i optymalizacja marszrut),
- Centrum Zarządzania Ruchem i jednostki planowania rozwoju systemu sterowania ruchem.

Centralnym zagadnieniem jest, że sekundowe zarządzanie czasem wymaga z powyższego punktu widzenia odpowiednio wrażliwego systemu pozycjonowania pojazdów i systemu przepływu informacji.

Istotne jest działanie systemu zarówno dla zmian planowanych sezonowo jak również dla stanów awaryjnych i czasowych zmian organizacji ruchu. Działania takie są same w sobie złożone, czasochłonne i pracochłonne, zatem przeważnie pomijane w obecnie funkcjonujących systemach, nie mówiąc o znacznie bardziej skomplikowanych uwarunkowaniach zarządzania sekundowego. Wprowadzenie w powyższych warunkach korzystnych zmian uzyskanych na poszczególnych obiektach sterowania w zakresie kilku do kilkudziesięciu sekund uzyskiwanych w większości w sposób rozproszony w czasie i prze-

strzeni nie może być wdrożone bez znaczącego nakładu pracy, odpowiednich instrumentów wspomagających oraz dotąd funkcjonującego podziału obowiązków zarządu i operatora transportu tramwajowego.

6. Wnioski

Nie ulega wątpliwości, że w projektach ITS zasadnicze korzyści finansowe generuje transport publiczny. Wbrew pozorom, wyższa wiarygodność mikrosymulacji w badaniach efektywności sterowania nie przenosi się na wiarygodność w ocenie korzyści transportu publicznego. Zasadnicze korzyści wnosi rozkład jazdy i zarządzanie operacyjne ruchem transportu publicznego. Kwalifikacja normatywnych prędkości i czasów przejazdu do rozkładu jazdy winna więc uwzględniać problem dyspersji czasów obsługi, a odpowiednia instrumentacja ITS minimalizować tę dyspersję i wartości kwalifikowane. Ponadto istotne są funkcje monitorowania i kalibrowania wartości czasów buforowych w ciągle lub incydentalnie zmieniającej się sytuacji w sieci.

Przedstawione wyniki pomiarów, badań i studiów umożliwiają zaawansowane ich wykorzystanie dla ocen, badań i optymalizacji projektów ITS z wykorzystaniem dostępnych i stosunkowo prostych procedur makrosymulacyjnych służących do rozkładu ruchu w sieci.

Bibliografia

- [1] Badania strat czasu w komunikacji miejskiej, BIT s.c. dla MPK Poznań, 2000.
- [2] Folwarski T., Saganowski J.: Zintegrowany system sterowania ruchem na ul. Grunwaldzkiej w Poznaniu, Zastosowane technologie. W: mat. VI Konferencji n-t „Problemy komunikacyjne miast w warunkach zatłoczenia motoryzacyjnego”, SITK- Poznań, 2007, .321-330.
- [3] Kaczmarek M, Krych A. (red): Skuteczne zmniejszanie zatłoczenia miast. Mat. VII Konferencji n-t „Problemy komunikacyjne miast w warunkach zatłoczenia motoryzacyjnego”, SITK- Poznań, 2009

-
- [4] Krych A.: Straty i koszty strat czasu w komunikacji publicznej. W: mat. III Konferencji n-t „Problemy komunikacyjne miast w warunkach zatłoczenia motoryzacyjnego”, SITK - Poznań, 2001, 229-244.
- [5] Kaczmarek M., Pulikowski A.: Porównanie sterowania grupowego i fazowego na złożonym węźle komunikacyjnym. W: mat. III Konferencji n-t „Problemy komunikacyjne miast w warunkach zatłoczenia motoryzacyjnego”, SITK Poznań, 2001, s.373 – 380.
- [6] Kaczmarek M., Rychlewski J.: Sterowanie ruchem w centrum Poznania. W mat. III Konferencji n-t „Problemy komunikacyjne miast w warunkach zatłoczenia motoryzacyjnego”, SITK - Poznań, 2001 s.217-228.
- [7] Kaczmarek M.: Materiały z badań modelowych korytarzy komunikacyjnych w Warszawie do Studium wykonalności zintegrowanego systemu zarządzania ruchem w Warszawie. IBDM, Poznań/Warszawa, 2004.
- [8] Krych A.: Szybki i szybszy tramwaj – ewolucja idei i ich aplikacji na przykładzie Poznania. W mat. Konferencji „Transport publiczny w Warszawie kluczem harmonijnego rozwoju stolicy Polski” UStM Warszawy, Warszawa, 2006, 43-58.
- [9] Krych A.: Efektywne przyspieszenie transportu tramwajowego w sterowaniu z priorytetem. Polski Kongres ITS, ITS Polska, Warszawa, 2009 (CD).
- [10] Krych A.: Prędkość normatywna i straty czasu w ruchu tramwajowym. op. cit. [3], 285-298.
- [11] Leman T.: Ewaluacja projektu sterowania ruchem z priorytetem dla ruchu tramwajowego. Praca magisterska pod kier. A. Krycha, Politechnika Poznańska, 2009.
- [12] Podoski J.: Transport Miejski. Warszawa, WKiŁ, 1977.
- [13] Rogalski M.: Analiza strat czasu w ruchu tramwajowym w wybranym korytarzu transportowym. Praca inżynierska pod kier. A. Krycha, Politechnika Poznańska, 2008.
- [14] Saganowski J.: Symulacja porównawcza sytuacji ruchowej na skrzyżowaniu dla różnych programów sterowania sygnalizacji świetlnej. Mat. MSR Traffic, Poznań 2003.

- [15] Saganowski J. z zesp. MSR Traffic: Skrzyżowanie ulic Królowej Jadwigi - Strzelecka w Poznaniu. MSR Traffic, Poznań, 2004.
- [16] Warsztaty nt. rozwoju systemu zarządzania ruchem w Poznaniu: Priorytety w ruchu i wspomaganie zarządzania transportem publicznym w Poznaniu – wnioski. SITK, Poznań, 2009 (por. Drugie warsztaty na temat zarządzania ruchem w Poznaniu, Przegląd ITS nr 14, luty 2009 s. 28 – 30).
- [17] Założenia do aktualizacji ZPRTP, UM Poznania, 2009.
- [18] Założenia i badania projektu efektywnego przyspieszenia ruchu pociągów w sieci tramwajowej. Oprac. BIT Sp.J. w ramach projektu Pt Projekt ITS – Poznań - I etap. Instytut Informatyki, Politechnika Poznańska, 2009.

TRAM TRAFFIC MODELLING AND SIMULATION IN ITS PROJECTS

Summary

There are two spheres of intervention by ITS instruments. The first one is the effective traffic control and the second is the effective time management by public transport operator. The essential problem is to assess advantages of designed structure of traffic management architecture using simulation methods. The possibilities and conditions within this structure for numerical notation of accelerated tram transport network for the purpose of traffic assignment simulation in transport network have been presented in the paper.

Keywords: *acceleration of tram traffic, simulation of traffic assignment, ITS projects architecture of traffic management*

MODELLIERUNG UND SIMULATION DES BETRIEBES VON STRASSENBAHNEN IN DEN ITS-PROJEKTEN

Zusammenfassung

Ein wesentliches Problem in ITS-Systemen bildet die Beurteilung der mit den Interventionsinstrumenten verbundenen Nutzen, die aus der Struktur der projektierten Betriebsverwaltungsarchitektur resultieren. Mit Hilfe der Simulationmethoden werden zwei Sphäre der Instrumente – die effektive Verkehrssteuerung und effektive Verwaltung die Zeit durch den ÖPNV-Operateur – betrachtet. Es werden die Möglichkeiten und Bedingungen der Simulation des Betriebes in Verkehrsnetzen am Beispiel des numerischen Modells des Netzes für den beschleunigten Straßenbahnverkehr dargestellt.

Die Schlüsselwörter: *die Beschleunigung des Straßenbahnbetriebes, die Simulation der Betriebsverteilung, die ITS-Projekte, die Architektur der Betriebsverwaltung*

Rafał Kucharski

METODA DETEKCJI CELLULAR FLOATING DATA - MOŻLIWOŚCI I PERSPEKTYWY

Streszczenie

Lokalizacja telefonów komórkowych – Cellural Floating Data, jako nowa metoda detekcji i potencjalne nowe źródło danych dla modelowania podróży. Możliwości użycia danych z Cellural Floating Data w sterowaniu ruchem, zarządzaniu ruchem, nadawaniu priorytetów, obsłudze incydentów ruchowych i innych dziedzinach. Propozycja postaci dynamicznej wieżby ruchu – cylindra czasoprzestrzennego. Problemy prawne przy wprowadzaniu systemu Cellural Floating Data i przykłady stosowanych rozwiązań.

Słowa kluczowe: lokalizacja telefonów komórkowych, problemy prawne i ochrona danych w detekcji z wykorzystaniem telefonów komórkowych, zarządzanie ruchem, planowanie transportu

1. Wstęp

Artykuł ten jest propozycją rozważenia nowego podejścia w modelowaniu podróży, które może okazać się odpowiednie do zaaplikowania w wielu dziedzinach inżynierii transportowej. Artykuł ten nie jest podsumowaniem badań, ani raportem z przeprowadzonej analizy, jego celem jest chęć zastanowienia się nad możliwością wdrożenia nowych metod w projektowaniu przyszłych miejskich systemów transportowych. Zdefiniowany w tekście system detekcji telefonów komórkowych - Cellural Floating Data - jest obiecującą metodą o ogromnym potencjale i należy zbadać możliwości praktycznego jej zastosowania.

2. Twarde i miękkie metody

Omawiana niżej metoda rozwiązywania problemu transportowego jest metodą „miękką”, stojącą w opozycji do metod „twardych”. Mówiąc o metodach „twardych” autor ma na myśli wszelkiego rodzaju inwestycje infrastrukturalne: nowe odcinki uliczne, wielopoziomowe węzły, arterie, poszerzenia jezdni, estakady, tunele. Twarde metody zazwyczaj wymagają dużych nakładów, a ich stopa zwrotu jest często niewysoka.

Do tzw. metod miękkich zaliczamy rozwiązania organizacyjne, telematyczne, informatyczne, oraz kształtowanie pożądanych zachowań i polityk transportowych. Przykłady rozwiązań miękkich, to także elementy systemów ITS, czyli m.in. wymienione za RITA ITS¹:

- Systemy zarządzania ruchem.
- Systemy zarządzania ruchem na drogach szybkiego ruchu.
- Systemy zapobiegania wypadkom.
- Systemy zarządzania transportem publicznym.
- Systemy obsługi zdarzeń wyjątkowych.
- Systemy poboru opłat.
- Systemy informowania kierowcy.
- Systemy zarządzania informacją.
- Systemy logistyki miejskiej.

Zarówno potwierdzona we wspomnianych raportach wysoka efektywność operacyjna przemyślanych miękkich rozwiązań², jak i stosunkowo niskie koszty związane z ich wprowadzeniem³, skłaniają do rozważenia ich wprowadzenia, szczególnie, gdy budżet inwestycyjny jest nieduży.

W procesie decyzyjnym powinna zostać zachowana hierarchia, w której rozwiązania twarde są rozważane tylko wówczas, gdy wyczerpane zostaną możliwości rozwiązań miękkich.

1 RITA ITS Costs <http://www.itscosts.its.dot.gov/>

2 (TCRP Report 118: Bus Rapid Transit Practitioner's Guide - <http://itsweb.noblis.org/its/benecost.nsf/ID/2951B37ECA65FF8785257640006304AB?OpenDocument&Query=BApp>),

3 (TCRP Report 118: Bus Rapid Transit Practitioner's Guide - <http://itsweb.noblis.org/its/benecost.nsf/ID/A24CC60CB5FB1D88852573E90057154B?OpenDocument&Query=CApp>)

3. Zarządzanie ruchem a modelowanie podróży

Zarządzanie ruchem i modelowanie podróży to zagadnienia ściśle ze sobą związane. Obecnie ogromny postęp w systemach zarządzania ruchem związany jest z malejącym kosztem i rosnącą efektywnością systemów dostarczania aktualnych danych ruchowych, oraz ich obróbki i wykorzystywania w czasie rzeczywistym. Systemy te opierają się zazwyczaj o informacje ruchowe dotyczące natężeń ruchu w punktach pomiarowych. Za pomocą różnych środków jesteśmy w stanie otrzymać w czasie rzeczywistym informacje o strukturze rodzajowej, prędkości, rozkładzie strumienia, długości kolejki, lub emisji zanieczyszczeń. Rozwiązuje to większość problemów zarządzania ruchem, gdzie na podstawie aktualnych warunków ruchu optymalizuje się system sterowania pod kątem określonego wskaźnika jakości. Niestety wartość tych danych dla modelowania podróży jest znacznie mniejsza. Wiedza o tym, że na danym odcinku występuje następujące natężenie ruchu może służyć co najwyżej jako wskazówka w estymacji metod analitycznych. Dla modelowania podróży potrzebna jest przed wszystkim informacja o popycie na podróże, na podstawie której będziemy w stanie jak najlepiej zaplanować system transportowy. Pomiar natężeń ruchu w przekrojach nie dostarczają takiej informacji. W dalszym ciągu modelowanie podróży opiera się głównie o modele matematyczne, w których do kalibracji wartości współczynników używane są np. wyniki badań ankietowych, a ogromna baza danych, będąca podstawą działania systemów zarządzania ruchem, może służyć tu jedynie jako weryfikacja hipotetycznie reprezentatywnej metody analitycznej.

4. Cellular Floating Data (CFD, FCD)

Wyobraźmy sobie jak dla zagadnienia modelowania podróży wyglądałaby baza danych o podobnej użyteczności jak ta, z której korzystają zarządzający ruchem. Byłaby to najprawdopodobniej dokładna, całościowa informacja o popycie na podróże, w schemacie:

Użytkownik → Źródło → Cel → informacja dodatkowa

Aktualizowana w czasie rzeczywistym, niezagregowana więźba ruchu, czyli reprezentacja popytu w czasie rzeczywistym nie oparta o estymacje, ale operująca na wielkościach całkowitych najprawdopodobniej wygenerowałaby taki postęp w modelowaniu podróży, jaki dokonał się w zarządzaniu ruchem.

Obietnicę otrzymania takiej właśnie więźby niesie Cellular Floating Data - system detekcji telefonów komórkowych, który jest definiowany następująco (tłumaczenie własne):

„Podstawowym założeniem CFD jest zbieranie w czasie rzeczywistym danych ruchowych o lokalizacji pojazdów poprzez telefon komórkowy, lub GPS na całej analizowanej sieci transportowej.”⁴

W efekcie otrzymamy mapę sieci transportowej ze zlokalizowanymi użytkownikami. Założenia, jakie *implicite* są przyjęte w definicji tego systemu to:

- 1) Każdy użytkownik systemu ma przy sobie telefon komórkowy - jest to bliskie prawdy, a błąd, jaki się tu pojawi to niewielki odsetek mieszkańców, którzy z różnych powodów nie posiadają telefonu.
- 2) Docelowa dokładność detekcji wyniesie, co najmniej jeden metr kwadratowy.

Według Petera Nijkampa z Wolnego Uniwersytetu w Amsterdamie, który 26 października tego roku w UAM w Poznaniu wygłosił wykład pt. „Cellular phones and urban traffic management: A revolution in Space-Time Geography”, aktualnie dokładność detekcji telefonu komórkowego wynosi około 10 m i w krótkim czasie, może być zwiększona do 1 m. Badania prowadzone przez (Hilel, 2006) i (Maerivoen, i inni, 2006) potwierdzają wysoką skuteczność lokacji tego typu.

5. Możliwości CFD

Możliwości systemu opartego o tę detekcję są ogromne, praktycznie każdy poruszany tutaj problem może być przynajmniej częściowo rozwiązany za jego pomocą. Poniżej przedstawione zostaną skrótowo możliwości systemu rozważane w prasie specjalistycznej (Scott, 2007), (Lorkowski, i inni, 2003), (Maerivoen, i inni, 2006):

⁴ *Road Traffic Data: Collection Methods and Applications - G Leduc - jrc.es*

- Dla zarządzania ruchem, gdzie detekcja już teraz jest wysoce dokładna, głównym zyskiem będzie możliwość dokładnej reprezentacji trajektorii pojazdów. Metody estymacji więzby ruchu na podstawie danych ruchowych zastąpione zostaną faktyczną więzłą ruchu opartą na ogromnej bazie danych historycznych. Pojawi się możliwość tworzenia arterii aktualnego popytu, dla których maksymalizowana będzie płynność ruchu.
- Dla systemów poboru opłat zyskiem będzie możliwość dokładnego wyliczenia opłaty proporcjonalnej do przejechanych kilometrów, zużycia paliwa, emisji zanieczyszczeń, czy hałasu. Istniejące systemy estymacji emisji zyskają dane o faktycznych trajektoriach pojazdów, na podstawie których naliczone zostaną opłaty (Firma OCTO Telematics ma zamiar wprowadzić w niedługim czasie system określania wielości emisji CO₂ oparty o CFD).
- Dla sterowania ruchem istotną zmianą będzie zmiana podejścia do zarządzania priorytetami. Każdy pojazd wyposażony w specjalny moduł sterujący będzie automatycznie identyfikowany przez sterownik i otrzyma określony priorytet. Jednak najważniejsza będzie możliwość zmiany wskaźników jakościowych sterowania – z obecnych miar takich jak: maksymalizacja przepustowości, minimalizacja liczby zatrzymań, będziemy w stanie przejść do sterowania na podstawie zgłaszanego popytu na wlotach wyrażonego w liczbie pasażerów.
- Dla systemów obsługi incydentów będzie to źródło informacji o incydencie (na podstawie identyfikacji anomalii w danych o stanie sieci), na podstawie którego dobrane zostanie działanie: przypisanie priorytetów odpowiednim trasom pojazdów specjalnych, sterowanie ruchem nakierowane na zminimalizowanie skutków incydentu.
- Dla systemów informowania użytkownika będzie to wiarygodna i rzetelna informacja o czasie przejazdu, czasie oczekiwania, najkrótszej ścieżce itd.

Informacje te dotyczą stanu postulowanego, gdy dokładność lokalizacji wzrośnie do 1 m. Natomiast już teraz możliwe jest uzyskanie danych o lokalizacji telefonów komórkowych w obszarze z dokładnością do 10 m. Pozwala to podzielić miasto na obszary o promieniu około 10 metrów. Na podstawie takich danych możemy określać dla tych rejonów histogramy ilości użytkowników, wyznaczać godziny szczytu,

wielkości wymiany użytkowników, średni czas przebywania itd. Takie informacje z pewnością zwiększą reprezentatywność i dokładność modeli transportowych.

6. Zastosowanie FCD w Modelowaniu Podróży

Wspomniane wyżej dostępne już teraz dane służyć mogą jako nowe dane wejściowe do tradycyjnych modeli, jednak czy klasyczne pojęcie modelu transportowego będzie dalej adekwatne dla narzędzia operującego na rzeczywistych danych ruchowych o podróżach? Dla modelowania podróży dane mogą być reprezentowane w postaci „Cylindra Czasoprzestrzennego” - Space-Time Cylinder. Jest to propozycja reprezentacji dziennego schematu podróży użytkowników sieci. Cylinder taki jest przestrzenią, w której osie X i Y to przestrzeń miasta, a Z to czas (doba). W cylindrze takim jesteśmy w stanie nakreślić wstęgę będącą „ślądem”, jaki zostawia po sobie podróżny w czasie doby na czasoprzestrzeni miasta. Mając dziesiątki tysięcy takich wstęg otrzymujemy nową reprezentację więźby ruchu. Nie musimy tu już operować zagregowanymi danymi o rejonach komunikacyjnych, operujemy na poziomie pojedynczego użytkownika. Nie musimy znajdować zmiennych objaśniających dla końców i początków podróży, nie musimy określać udziału godziny szczytu. Wielkości te w momencie implementacji FCD z analitycznych staną się *stricte* empiryczne, zamiast modelami matematycznymi będziemy w stanie je określać heurystykami, które są odpowiedniejsze do reprezentacji zjawisk indeterministycznych. Możemy je określać na podstawie dziesiątek tysięcy rekordów baz danych, które, dzięki coraz powszechniejszemu zastosowaniu systemów ekspertowych, mogą stać się z nieprzejrzystych ciągów znaków inteligentnymi bazami wiedzy (Knowledge Base), dostarczającymi nam nie dane, a wiedzę.

Przecięcie owego cylindra w płaszczyźnie poziomej to „fotografia” sieci w danym czasie, przecięcie go w płaszczyźnie pionowej to informacja o ruchu na dowolnym ekranie, arteria to zbiór punktów układających się wzdłuż ciągów ulic na ukośnym przekroju cylindra o nachyleniu równym średniej prędkości przejazdu. Docelowo najprawdopodobniej będziemy w stanie operować na dynamicznym obrazie sieci, gdzie każdy punkt będzie opisany prognozowanym wektorem przemieszczenia.

Przekrój cylindra w poprzek osi czasu to nie tylko informacja statyczna w postaci punktów, informacja ta ma historię – jaki był stan poprzedni, czyli trajektorie użytkowników od źródła podróży, do chwili obecnej. Informacja może mieć również przyszłość - zdeterminowaną jedynie w granicach predykcji na podstawie historycznej bazy wiedzy, jako że nigdy nie będziemy w stanie determinować przyszłego stanu sieci, w której aktorami są inteligentni użytkownicy.

Oczywiście skorzystanie z tych informacji do tworzenia klasycznych modeli ruchu pozwoli je tworzyć znacznie dokładniej, jednak w momencie, gdy będziemy mieli rzeczywisty cylinder czasoprzestrzenny podejście do modelowania może ulec całkowitej zmianie. Więźba zyska pełny trzeci wymiar, rozkład ruchu na sieć będzie mógł być w pełni dynamiczny. Wybór ścieżki na poziomie rozkładu ruchu na sieć nie będzie opierał się o algorytmy najkrótszej ścieżki, a o dane historyczne oddające faktyczne preferencje wyboru trasy. Zmienne objaśniające nie będą musiały opisywać grup użytkowników, wystarczy tylko stan sieci, czyli: dzień tygodnia, pora dnia, warunki szczególne, etc. Odpowiednio skonstruowana baza wiedzy pozwoli nam określić korelacje między zmiennymi wejściowymi, a stanem sieci.

Efektywne użytkowanie takiego systemu wiązać się musi ze stworzeniem równie efektywnej platformy do wymiany informacji. Jednolity interfejs i protokół danych umożliwią efektywną i synergiczną wymianę wiedzy i danych przez wszystkie zainteresowane strony.

7. Zastosowanie w transporcie zbiorowym

Poza wspomnianą już zmianą polegającą na nadawaniu priorytetu proporcjonalnego do liczby pasażerów w środku komunikacji zbiorowej, istnieją jeszcze inne korzyści. Podstawowe dla funkcjonowania systemu transportu zbiorowego jest rozwiązanie problemu optymalizacji przebiegu linii komunikacji zbiorowej i jej rozkładu jazdy. Odpowiednie ich zaplanowanie gwarantuje wysoką efektywność i sprawność systemu transportu. Problem optymalizacyjny przebiegu linii z powodzeniem rozwiązywany jest za pomocą algorytmów (np. genetycznych lub sieci neuronowych). W momencie, gdy będziemy umieli operować na cylindrze czasoprzestrzennym podróży, wówczas zupełnie inna będzie miara jakości dopasowania przebiegu linii do aktu-

alnego zgłaszanego popytu. Można się spodziewać, że znacznie lepiej odczytamy wówczas faktyczny popyt na linie komunikacyjne i zwiększymy efektywność i konkurencyjność transportu zbiorowego.

8. Finansowanie

Przywykliśmy do tego, że zleceniodawcą inwestycji z zakresu inżynierii transportu jest głównie sektor publiczny. FCD może zmienić również i to podejście. Możliwe jest rozwiązanie, w którym operator systemu będzie podmiotem komercyjnym, a sam system będzie rentowny. Dostarczenie profesjonalnej informacji o aktualnym stanie sieci i wybór optymalnej ścieżki (Advanced Traffic Information System, Route Guidance) będzie mogło być jeszcze bardziej dokładną, a co za tym idzie popularniejszą usługą. Właściciel danych (operator komórkowy) rozwijając taki system może tworzyć usługę informującą o stanie sieci, o optymalnej trasie, pozwalający za opłatą korzystać ze swojej bazy danych. System taki mógłby działać na zasadzie na partnerstwa publiczno-prywatnego, gdzie w zamian za możliwość wprowadzenia usługi przynoszącej zyski, podmiot prywatny wykonywałby zadanie optymalnego sterowania ruchem, należące tradycyjnie do sektora publicznego.

Same koszty wprowadzenia takiego systemu nie są jeszcze określone, jako że cały system jest w fazie rozwoju. Sieć nadajników jest gęsta i ciągle udoskonalana, najprawdopodobniej koszty wprowadzenia systemu zwiększającego dokładność lokacji nie będą zaporowe. Koszt centrum zarządzania ruchem jest kosztem, który nie powinien być liczony w kalkulacji - centrum takie jest koniecznością każdej metropolii XXI wieku. Liczona może być różnica w kosztach między instalacją systemu wideodetekcji, lub pętli indukcyjnych, a instalacją systemu nadajników. System ten jest jedynie systemem zbierania danych, natomiast formalna struktura Centrum Zarządzania Ruchem pozostaje niezmienna i istniejące rozwiązania można najprawdopodobniej zaaplikować do obsługi tego typu danych. Problemem organizacyjnym pozostanie stworzenie spójnego interfejsu, a problemem technicznym stworzenie narzędzi matematycznych pozwalających na pracę z cylindrem czasoprzestrzennym.

9. Problemy Prawne

Działający system telefonii komórkowej opiera się na lokalizacji i w każdej sekundzie zbiera informacje o położeniu użytkowników. Informacje takie są przechowywane i przetwarzane i mogą zostać potencjalnie wykorzystane do inwigilacji. Proponowany system niczego nowego tu nie wprowadza, a jedynie wykorzystuje istniejące informacje. Postulowane zwiększenie dokładności lokacji najprawdopodobniej i tak nastąpi, gdy tylko pojawi się taka możliwość. Oczywiście konieczna jest ochrona danych i prywatności, ale CFD jest tu jedynie elementem, który będzie podlegał takim samym regulacjom jak inne podmioty lokalizujący telefony komórkowe.

Istotnym dla kwestii prawnej jest rozpatrzenie szczegółowości danych. Sytuacją idealną od strony technicznej byłaby informacja o każdym konkretnym użytkowniku, jego charakterystyce, grupie dochodowej, posiadaniu samochodu, rodziny, o historii jego podróży z ostatnich kilku miesięcy. Postulowanie dostępu do takich danych jest kontrowersyjne i niebezpieczne. Można podjąć próbę definicji modelu matematycznego, który mając dostęp do takich danych generowałby ogólną bazę wiedzy bez odniesień do konkretnych użytkowników, a jedynie do grup, ogólnego rozmieszczenia przestrzennego, nie dawałby on jednak gwarancji ochrony przed niepożądanym dostępem. Podejście takie stosowane jest m.in. w Stanach Zjednoczonych, gdzie w wielu systemach sterowania ruchem informacje personalne mają określoną długość życia – np. pięć minut, po tym czasie są usuwane.

Inne podejście to anonimizacja danych (ITIS⁵, WiSe⁶), czyli operowanie na niezdefiniowanym punkcie podróżującym po sieci, bez określania jego tożsamości. Podejście takie wymusza większy stopień ogólności i operowanie na grupach zagregowanych, być może jednak taka struktura może okazać się wystarczająca dla efektywnego działania systemu.

5 „We take stringent steps to ensure that the cellular event data received by TrafficScience is stripped of all elements that could link it to a specific mobile phone or subscriber. ITIS deals only with large sets of anonymised cellular and GPS data.” www.itisholdings.com

6 „Wireless signal extraction (WiSE) is a technology that pulls or extracts data from a wireless carrier's network, after the data have been anonymized.” http://en.wikipedia.org/wiki/Floating_car_data

10. Perspektywa polska

Polska jest paradoksalnie w komfortowej pozycji. Będąc krajem rozwijającym systemy ITS, mamy do dyspozycji gotowe rozwiązania, które mogą zostać wykorzystane, mamy również dużą porcję obcych doświadczeń. W momencie wprowadzania rewolucyjnego rozwiązania wszyscy użytkownicy są na porównywalnym poziomie niezależnie od tego, czy jest to pierwszy system danego typu, czy kolejny. Dlatego gdy zainwestujemy w rozsądny system, a za taki uważam FCD, możemy błyskawicznie odrobić zapóźnienia i niewielkim kosztem wykonać ogromny krok naprzód.

Bibliografia

- [1] Garafalakis J., Polycheni N., Athanosis P.: Vehicle Routing and Road Traffic Simulation: A Smart Navigation System. pci2007. upartas.gr, 2006.
- [2] Hilel, Bar-Gera: Evaluation of Cellular Phone-Based Systems for Measurements of Traffic Speeds and Travel Times. 86th Annual Meeting of the Transportation Research Board. 2006.
- [3] Maerivoen S., Logghe S.: TML Working Paper 2006-03 Validation of Travel Times Based on Cellular Floating Data. 2006.
- [4] Nijkamp P.: Cellular phones and urban traffic management management: A revolution in Space-Time Geography. Poznań: UAM, wykład z października 2009.
- [5] Lorkowski S., Mieth P., Schafer R.: New Its Applications for metropolitan areas based on Floating Car Data. 2003.
- [6] Wnag S.C., Pan S.H., Lo Y.L., Yan K.Q.: A Unified Framework of Data Exchange Mechanism in an ITS. Internationa Multi Conference of ITS. iaeng.org, 2009.
- [7] Scott F.: The use of floating cellular telephone data for real-time transportaion incident management. September 2007.
- [8] TU0903, COST. Methods and tools for Supproting the Use, Calibration and Validation of Traffic Simulation Models . European Commision, planowany rok zakończenia 2013.

DETECTION METHOD CELLULAR FLOATING DATA - OPPORTUNITIES AND PERSPECTIVES

Summary

Cellular Floating Data as a new method of detection and potential source of data for travel modelling. The possibilities of Cellular Floating Data usage in traffic control, traffic management, enforcing priorities, servicing traffic events, and other fields. The proposal of dynamic origin–destination matrixes - Space-Time Cylinder. Legal problems while Cellural Floating Data implementation and the examples of applied solutions.

Keywords: *Cellular Floating Data, Vehicle Probe Data, Space-Time Cylinder, Legal, and privacy problems of Cellular Detection, Traffic Management, Transport Planning*

DETEKTIONSMETHODE CELLULAR FLOATING DATA – MÖGLICHKEITEN UND PERSPEKTIVEN

Zusammenfassung

Die Lokalisierung der mobilen Fernsprecher – „Cellural Floating Data“ als eine neue Methode der Detektion und neue potentielle Datenquelle für die Reisemodellierung. Die Möglichkeiten der Datenausnutzung aus „Cellural Floating Data“ in der Betriebssteuerung, Betriebsverwaltung, im Geben der Prioritäten, und in der Bedienung der Betriebsvorfällen und auf anderen Gebieten. Der Vorschlag des dynamischen Betriebsverbands. Die Rechtsprobleme bei der Einführung des „Cellural Floating Data“-Systems und die Beispiele der angewandtem Lösungen.

Die Schlüsselwörter: *Cellular Floating Data, Vehicle Probe Data, Cellular-Detektion, die Betriebsverwaltung, die Verkehrsplanung*

Tomasz Kulpa¹

TRANSPORT ŁADUNKÓW – KLASYFIKACJA I PRZEGLĄD MODELI PODRÓŻY

Streszczenie

W niniejszym artykule dokonano podsumowania istniejących klasyfikacji modeli transportu ładunków z uwagi na wybrane cechy tych modeli. Następnie dokonano syntetycznego przeglądu stworzonych modeli transportu ładunków. W szczególności przytoczone zostały modele miejskie i metropolitalne stworzone w Polsce, wybrane modele stworzone w USA oraz międzynarodowe modele europejskie. Wyszczególniono również specyficzną grupę modeli, która odnosi się do pojedynczych generatorów ruchu. W podsumowaniu opisano charakterystyczne cechy poszczególnych grup modeli.

Słowa kluczowe: modelowanie podróży, ruch ciężarowy, transport ładunków

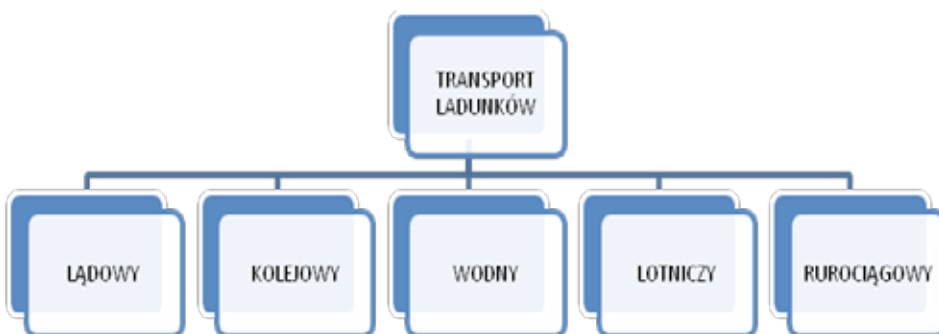
1. Wprowadzenie

Transport ładunków jest jednym ze stymulatorów rozwoju gospodarczego. Równocześnie rozwój gospodarczy wywiera istotny wpływ na transport ładunków [5]. Związek ten można zaobserwować na przykładzie niedawnego kryzysu ekonomicznego, którego skutkiem był spadek popytu na usługi transportowe [16]. Pomimo obecnej dekonjunktury na rynku przewozów towarowych prognozowany jest wzrost wielkości przewozów ładunków, jak również pracy przewozowej. Równocześnie przewiduje się umacnianie się roli transportu samochodowego w stosunku do pozostałych rodzajów transportu [7], [11], [12].

¹ mgr inż., Katedra Systemów Komunikacyjnych, Politechnika Krakowska

Dlatego podjęcie badań i modelowania transportu ładunków jest kwestią bezsprzecznie konieczną.

Rozważając transport ładunków należy rozpocząć od gałęziowego podziału ze względu na środowisko przemieszczeń, stąd można wyróżnić (rys.1) transport: lądowy (szynowy, bezszynowy), wodny (morski, śródlądowy), lotniczy (powietrzny, kosmiczny) oraz przesyłowy (rurociągowy, przenośnikowy, przewodowy).



Rys. 1. Gałęziowy podział transportu ładunków ze względu na środowisko przemieszczeń

Podany na rys. 1 podział jest najczęściej wykorzystywany w modelowaniu transportu ładunków na etapie podziału zadań przewozowych. W znakomitej większości opracowań pomija się w podziale zadań przewozowych transport rurociągowy z uwagi na wąską i łatwą do wyodrębnienia grupę ładunków transportowanych w ten sposób.

Kolejną kwestią wymagającą ustalenia jest definicja samochodu ciężarowego. Zgodnie z [39] samochód ciężarowy to „pojazd samochodowy przeznaczony konstrukcyjnie do przewozu ładunków; określenie to obejmuje również samochód ciężarowo-osobowy przeznaczony konstrukcyjnie do przewozu ładunków i osób w liczbie od 4 do 9 łącznie z kierowcą”. Można zauważyć, że powyższa definicja obejmuje tzw. samochody dostawcze, czyli samochody ciężarowe, których dopuszczalna masa całkowita (DMC) z reguły nie przekracza 3,5 tony. Z kolei podana definicja samochodu ciężarowego nie obejmuje samochodu ciężarowego z przyczepą (jest to zespół pojazdów) oraz ciągnika siodłowego z naczepą (jest to pojazd członowy). Aby uniknąć nieporozumień w nazewnictwie, w niniejszym artykule wprowadzono pojęcie samochodu towarowego, za który będzie uważany każdy samochód ciężarowy zgodnie z według [39], a także samochód ciężarowy z przyczepą oraz ciągnik siodłowy z naczepą. Dodatkowo przyjęto nazewnictwo:

- samochód dostawczy – samochód ciężarowy o dopuszczalnej masie całkowitej (DMC) poniżej 3,5 tony,
- samochód ciężarowy pojedynczy – samochód ciężarowy o dopuszczalnej masie całkowitej (DMC) powyżej 3,5 tony,
- samochód ciężarowy zespolony – samochód ciężarowy o dopuszczalnej masie całkowitej (DMC) powyżej 3,5 tony z przyczepą lub ciągnik siodłowy z naczepą.

2. Klasyfikacja modeli

Wśród modeli transportu ładunków można wprowadzić kilka klasyfikacji w zależności od pewnych cech tych modeli. Tymi cechami są:

- sposób podejścia,
- zakres modelu,
- zasięg przestrzenny modelu,
- poziom ogólności/agregacji modelu.

Sposób podejścia wyróżnia dwa typy modeli: oparte na podróżach pojazdów (vehicle-trip based models) oraz przepływie ładunków (commodity based models) [13]. W pierwszym podejściu potencjały ruchotwórcze wyznaczane są w postaci liczby podróży realizowanych samochodami ciężarowymi, rozpoczynanych lub kończonych w danym rejonie komunikacyjnym w jednostce czasu. W tego typu modelach dokonuje się pierwotny podział zadań przewozowych (przed więźbą ruchu). W niektórych opracowaniach [27] mówi się o takim podejściu jako o trzyetapowym modelu podróży. Więźba ruchu wyznaczana jest dla każdej grupy pojazdów z osobna (w przypadku modelu grawitacyjnego występują różne funkcje oporu przestrzeni dla różnych typów pojazdów). Więźby ruchu dla poszczególnych grup samochodów towarowych rozkładane są na sieć przed pozostałymi więźbami ruchu lub są dodawane do sumarycznej więźby ruchu. W modelach opartych na przepływie ładunków potencjały ruchotwórcze oraz więźba ruchu wyznaczane są w jednostkach wyrażających wielkość ładunku, np. tony. W przypadku rozpatrywania kilku rodzajów transportu (drogowy, kolejowy, lotniczy, wodny) po wyznaczeniu więźby ruchu następuje podział zadań przewozowych. Rozkładowi ruchu poddawane są więźby wyznaczone w tonach ładunków lub już przeliczone na pojazdy.

Z uwagi na zakres modelu można wyróżnić modele pełne i modele cząstkowe. Modele pełne obejmują wszystkie etapy klasycznego czterostadiowego modelu podróży, podczas gdy modele cząstkowe obejmują jedynie wybrane etapy, np. tylko etap modelowania potencjałów ruchotwórczych.

Istotny jest podział z uwagi na zasięg przestrzenny modelu. Nie trudno zauważyć, że transport ładunków wewnątrz obszarów miejskich bądź aglomeracji różni się od transportu regionalnego, krajowego czy międzynarodowego. Tworzone modele symulacyjne ruchu obejmują obszary różnej wielkości (miasta, regiony, kraje, kontynenty). Stopień dokładności modelu, który zależy od jego zasięgu, wymusza zastosowanie odpowiednich danych wejściowych. W przeglądzie modeli ruchu ciężarowego, który został wykonany dla potrzeb tworzenia krajowego modelu ruchu ciężarowego w Wielkiej Brytanii [29], zróżnicowano istniejące modele pod względem zasięgu na:

- międzynarodowe,
- krajowe,
- regionalne,
- miejskie.

Powyższy podział obejmuje prawie wszystkie rodzaje modeli symulacyjnych, jakie tworzone były dla potrzeb modelowania podróży osób oraz transportu towarów. Z kolei wydana w 2007 roku w USA instrukcja Quick Response Freight Manual II [27] wprowadza podział na trzy typy modeli transportu towarów:

- miejskie (urban),
- stanowe (statewide),
- związane z pojedynczymi generatorami ruchu (site specific).

Podział ten odpowiada podziałowi podanemu wcześniej, przy czym zrezygnowano z wyszczególniania modeli na poziomie krajowym i międzynarodowym (instrukcja z założenia obejmuje teren USA). Natomiast dodano kategorię modeli związanych z pojedynczymi generatorami ruchu, co w praktyce europejskiej występuje rzadko. W opracowaniach amerykańskich w modelach miejskich dominuje podejście bazujące na podróżach samochodów ciężarowych, podczas gdy w większości modeli stanowych wykorzystuje się podejście oparte na przepływie ładunków.

Łącząc powyższe klasyfikacje pod względem zasięgu przestrzennego modelu, oraz dodając jeszcze jedną klasę, można wprowadzić następujący podział:

- międzynarodowe,
- krajowe,
- regionalne,
- metropolitalne,
- miejskie,
- związane z pojedynczymi generatorami ruchu.

Ostatnia klasyfikacja dzieli modele pod względem ogólności (poziomu agregacji) na

- rozproszone (disaggregated models),
- zagregowane (aggregated models),
- mieszane.

Modele rozproszone odnoszą się do pojedynczych firm (produkcyjnych, usługowych) lub zespołu obiektów bądź do pojedynczych przewoźników, podczas gdy modele zagregowane odnoszą się do rejonu komunikacyjnego [4].

Podsumowując powyższe klasyfikacje należy wspomnieć jeszcze o tzw. modelach hybrydowych (hybrid approaches), łączących zalety modelowania opartego na przepływie ładunków dla dalekich przewozów (modele stanowe) z zaletami modelowania opartego na podróżach pojazdów dla krótkich przewozów (modele miejskie).

3. Przegląd modeli

W przeglądzie modeli zastosowano podział pod względem kraju pochodzenia. Wyróżniono modele polskie, z uwagi na konieczność podsumowania dotychczasowych prac nad modelowaniem transportu ładunków w Polsce oraz modele amerykańskie, z uwagi na stopień zaawansowania badań nad modelowaniem transportu towarów w USA, który można uznać za najwyższy na Świecie. Trzecią grupę stanowią modele europejskie, które obejmują modele międzynarodowe, krajowe oraz miejskie. Na końcu przytoczone zostaną przykłady z innych krajów.

Z uwagi na dużą liczbę modeli transportu ładunków (głównie w USA, gdzie prawie każdy stan posiada swój model) nie sposób przytoczyć tu

nawet większości z nich, stąd w niniejszym przeglądzie zawarte zostaną tylko wybrane modele. Podawane będą założenia do modeli oraz metodologia wykorzystana w poszczególnych etapach modelowania. Zrezygnowano z przytaczania szczegółowych informacji o modelach.

3.1. Modele polskie

3.1.1. Modele miejskie i metropolitalne

Pomimo prowadzenia w Polsce badań ruchu ciężarowego oraz stworzenia kilku modeli transportu ładunków, tematyce tej poświęca się znacznie mniej uwagi niż modelowaniu podróży osób. Polskie modele transportu towarów w większości zostały stworzone w ramach kompleksowych badań ruchu (KBR) prowadzonych w dużych miastach: w Poznaniu (2000) [21], w Łodzi (2002) [34], w Krakowie (2003) [22] oraz w strefie podmiejskiej Krakowa (2007) [23]. Jednym (prawdopodobnie jedynym) z modeli, który w całości został poświęcony modelowaniu tylko transportu ładunków jest model opracowany we Wrocławiu [40].

Opracowany model dla Łodzi [34] jest modelem pełnym, opartym na podróżach pojazdów. Obszarem analizy było miasto Łódź wraz ze strefą podmiejską. Wprowadzono rozróżnienie na pojazdy dostawcze i ciężarowe dla podróży wewnętrznych oraz lekkie i ciężkie dla podróży zewnętrznych, w stosunku do obszaru analizy. Dla podróży wewnętrznych model potencjałów ruchotwórczych stworzony był łącznie dla samochodów dostawczych oraz ciężarowych. W podróżach zewnętrznych stworzono model potencjałów ruchotwórczych osobno dla pojazdów lekkich i ciężkich. Zarówno dla podróży wewnętrznych jak i zewnętrznych zastosowano regresję liniową, przy czym zmiennymi objaśniającymi były: liczba miejsc pracy oraz liczba mieszkańców. Przy wyznaczaniu więzby ruchu wykorzystano model grawitacyjny z funkcją oporu zależną od odległości między rejonami.

Na podstawie wykonanych w 2003 roku kompleksowych badań ruchu w Krakowie stworzony został model transportu ładunków. Jest to model pełny, oparty na podróżach samochodów ciężarowych, w którym wyróżniono 2 typy samochodów towarowych: o dopuszczalnej masie całkowitej poniżej 3,5 tony (tzw. samochody dostawcze) oraz powyżej 3,5 tony. W modelu regresyjnym generacji ruchu dla wy-

mienionych typów pojazdów zmiennymi objaśniającymi były: liczba mieszkańców, liczba miejsc pracy oraz liczba samochodów towarowych garażujących w rejonach komunikacyjnych. Przy wyznaczaniu więzby ruchu wykorzystano model grawitacyjny dla samochodów towarowych o DMC poniżej 3,5 tony oraz model proporcjonalny dla samochodów towarowych o DMC powyżej 3,5 tony. Rozkład ruchu samochodów towarowych o DMC powyżej 3,5 tony prowadzono metodą wielu ścieżek bez ograniczania przepustowości. Następnie został on uzupełniony rozkładem ruchu pozostałych pojazdów.

W 2007 roku w strefie podmiejskiej Krakowa, w firmach które wykorzystują samochody towarowe, przeprowadzono badania ankietowe [23]. Na podstawie wyników tych badań został stworzony cząstkowy model podróży samochodów towarowych, obejmujący modelowanie potencjałów ruchotwórczych i więzby ruchu. Wprowadzono podział na 4 grupy samochodów towarowych pod względem DMC: poniżej 3,5 tony, od 3,5 tony do 12 ton, od 12 ton do 30 ton, powyżej 30 ton. Z uwagi na małą liczebność grup pojazdów o wysokim tonażu podział uproszczono do samochodów towarowych o DMC poniżej 3,5 tony i powyżej 3,5 tony. W modelu generacji ruchu wykorzystano regresję liniową. Jako zmienne objaśniające przyjęto liczbę podmiotów REGION dla samochodów towarowych o DMC poniżej 3,5 tony oraz liczbę samochodów towarowych o DMC powyżej 3,5 tony garażujących w rejonie komunikacyjnym dla tej grupy pojazdów. Wiezba ruchu została wyznaczona dla obu grup pojazdów, dla relacji Kraków – Strefa podmiejska i Strefa podmiejska – Kraków z wykorzystaniem procedury zastosowanej w [26].

Odmienne podejście zastosowano w badaniach poznańskich [21]. Początkowa więzba ruchu ciężarowego, która została wyznaczona na podstawie kordonowych badań ankietowych, została skorygowana po uwzględnieniu wyników przekrojowych pomiarów ruchu. Procedura pozwoliła uzyskać potencjały ruchotwórcze dla poszczególnych rejonów komunikacyjnych. Następnie dokonano transformacji oszacowanych potencjałów ruchotwórczych w pojazdach na tony ładunków, wykorzystując średnie wartości przewożonych ładunków przez poszczególne typy pojazdów: 0,235 t dla pojazdów dostawczych, 0,800 t dla lekkich pojazdów ciężarowych oraz 1,750 t dla ciężkich pojazdów ciężarowych.

Przeprowadzone we Wrocławiu [40] analizy ruchu ciężarowego są jednymi z ciekawszych w Polsce. Stworzony model jest modelem pełnym, opartym na podróżach samochodów ciężarowych, w którym – analogicznie do instrukcji QRFM [26] – przyjęto 3 grupy samochodów ciężarowych: samochody dostawcze (4-tire), samochody ciężarowe pojedyncze (single unit) oraz samochody ciężarowe zespolone (combination).

Szczególną uwagę należy zwrócić na modelowanie potencjałów ruchotwórczych. Wyodrębniono we Wrocławiu 8 obszarów o różnych formach zagospodarowania przestrzennego (4 obszary aktywności gospodarczej, 2 obszary usługowe, 2 obszary mieszkaniowe). Dla każdego z obszarów określono kilkanaście charakteryzujących go zmiennych, takich jak: powierzchnia terenu, powierzchnie użytkowe (biurowe, magazynowe, produkcyjne), średnia liczba firm na 1 km², liczba podmiotów działających na obszarze w podziale na sekcje Polskiej Klasyfikacji Działalności (PKD), liczba mieszkańców. Dodatkowo wykonano pomiary dobowego ruchu samochodów towarowych generowanego i absorbowanego przez analizowane obszary. Obliczone wskaźniki generacji ruchu dla analizowanych obszarów zostały porównane ze wskaźnikami ruchu dla podobnych obszarów, które zamieszczone są w instrukcji QRFM [26]. Zauważono rozbieżności pomiędzy wskaźnikami generacji ruchu dla warunków polskich i amerykańskich. Przyjęte wskaźniki generacji ruchu zostały skorygowane na podstawie wyników rozkładu ruchu w sieci drogowej. Finalne wartości wskaźników generacji ruchu podano w tabelicy 1. Więźba ruchu wyznaczana była z wykorzystaniem modelu pośrednich okazji. W rozkładzie ruchu w sieci drogowej wykorzystano metodę „wszystko albo nic”, a kryterium wyboru najkrótszej ścieżki była odległość.

Tablica 1. Wskaźniki generacji ruchu ciężarowego dla Wrocławia wg [40]

	Samochody dostawcze	Samochody ciężarowe pojedyncze	Samochody ciężarowe zespolone
Aktywności generujące ruch	Na 1 zatrudnionego / 1 mieszkańca		
Produkcja, transport, hurt	0,1000	0,0500	0,0320
Handel	0,1000	0,0280	0,0030
Obsługa finansowa firm, finanse, kultura, nauka, edukacja, media, administracja	0,1300	0,0060	0,0020
Mieszkalnictwo	0,0050	0,0002	0,0001

3.1.2. Model krajowy

W 2008 roku stworzony został w Polsce krajowy model ruchu ciężarowego. W modelu uwzględniono również samochody towarowe. Wprowadzono podział na samochody dostawcze, ciężarowe i ciężarowe z przyczepą/naczepą. W modelu generacji ruchu dla samochodów dostawczych przyjęto jako zmienne objaśniające liczbę mieszkańców i liczbę firm. Dla samochodów ciężarowych bez przyczep i z przyczepami/naczepami przyjęto jako zmienną objaśniającą liczbę firm, przy czym zmienna ta była korygowana tak, aby suma ładunków generowanych i absorbowanych w poszczególnych województwach była zgodna z danymi GUS [35]. Więżba ruchu została wyznaczona za pomocą modelu grawitacyjnego. W rozkładzie ruchu kryterium wyboru najlepszej ścieżki był koszt podróży.

3.2. Modele amerykańskie

W badaniach amerykańskich występują zarówno modele pełne, jak i częściowe. Te drugie zwykle obejmują modelowanie potencjałów ruchotwórczych, które są wyrażane wskaźnikami generacji podróży (trip rates) przypadającymi na jednostkę zmiennej objaśniającej (1 mieszkańca, 1 akr powierzchni terenu) lub formułami regresyjnymi. Podejmowane są próby [1], [20] wykorzystania sztucznych sieci neuronowych w modelowaniu potencjałów ruchotwórczych. Modele pełne dotyczą sposobu podejścia (oparte na podróżach pojazdów lub przepływie ładunków) oraz różnego zasięgu przestrzennego (model miejskie, modele stanowe) – te ostatnie są dominującą grupą z zasady analizują przepływ ładunków, z podziałem zadań przewozowych na transport drogowy, kolejowy i lotniczy. Natomiast modele miejskie oraz metropolitalne odnoszą się głównie do podróży pojazdów. W przypadku małych stanów, stosowane jest podejście oparte na podróżach pojazdów, analogicznie jak w modelach miejskich.

3.2.1. Quick Response Freight Manual I/II

W 1996 r. została wydana w USA instrukcja Quick Response Freight Manual (QRFM) [26], w której zaproponowano syntetyczny model drogowego transportu ładunków. Szczegółowy opis procedury modelowania według QRFM znajduje się w [24]. W 2007 r. wydano drugą, znacznie rozszerzoną, wersję instrukcji [27]. W stosunku do pierwszej

edycji wprowadzono odrębne procedury dla modeli stanowych, miejskich oraz dla pojedynczych generatorów ruchu. Wprowadzono również pojęcie modeli hybrydowych, jak również omówiono dokładniej podejście oparte na przepływie ładunków. Scharakteryzowano modele aktywności gospodarczej (economic activity models), w których zakłada się zależność między gospodarką, zagospodarowaniem przestrzennym i transportem ładunków. Scharakteryzowane zostały metody pozyskiwania danych wejściowych do modeli metody weryfikacji uzyskanych modeli. W instrukcji można znaleźć ponadto rozdział o modelowaniu intermodalnego transportu ładunków. Instrukcję kończą tzw. studia przypadku (case studies), wśród których znalazły się cztery przykłady zastosowania modeli transportu ładunków.

3.2.2. Obszar metropolitalny Phoenix

Jednym z najczęściej wymienianych modeli transportu ładunków, który został stworzony w 1992 r. w USA, jest model pełny dla obszaru metropolitalnego Phoenix [31], bazujący na podróżach pojazdów. Stał się podstawą opublikowanej w 1996 r. instrukcji Quick Response Freight Manual (QRFM) [26]. Przyjęto podział na cztery grupy samochodów towarowych w zależności od dopuszczalnej masy całkowitej: poniżej 8000 funtów, od 8000 do 28000 funtów, od 28000 do 64000 funtów oraz powyżej 64000 funtów. Poszczególne granice przedziałów odpowiadają 3,5; 12 oraz 30 tonom. W modelowaniu potencjałów ruchotwórczych wykorzystano wieloraką regresję liniową oraz obliczono wskaźniki generacji ruchu dla różnych form zagospodarowania przestrzennego. W regresji liniowej wykorzystywano jako zmienne objaśniające między innymi zatrudnienie w poszczególnych sektorach, liczbę mieszkańców oraz liczbę pojazdów towarowych. Wskaźniki generacji ruchu dla obszaru o określonym zagospodarowaniu wyrażają liczbę podróży przypadającą na 1 zatrudnionego. W skalibrowanych modelach wielorakiej regresji liniowej dla 3 grup pojazdów użyto od 7 do 9 zmiennych objaśniających. Więżbę ruchu wyznaczono dla modelu grawitacyjnego, z różnymi funkcjami oporu. Więżby ruchu samochodów towarowych dodano do sumarycznej więżby ruchu. Rozkład ruchu wykonano z zastosowaniem procedury „network equilibrium”.

3.2.3. Obszar metropolitalny Baltimore

Baltimore Metropolitan Council (BMC) przed wdrożeniem nowego modelu transportu ładunków, posługiwał się modelem o nazwie MC96 z 1973 r., dla strefy podmiejskiej Baltimore [2], opartym na podróży pojazdów, z wyróżnionymi dwoma typami samochodów towarowych: lekkie (light truck) i ciężkie (heavy truck). W modelu potencjałów ruchotwórczych w ruchu wewnętrznym wykorzystano regresję liniową (pojedynczą i wieloraką), używając jako zmiennych objaśniających: liczbę mieszkańców, liczbę zawodowo czynnych oraz liczbę zatrudnionych. Interesujące jest wprowadzenie podziału na rejony o różnym tzw. wskaźniku zainwestowania (percent development) definiowanego jako procent powierzchni rejonu, na którym występuje zabudowa mieszkaniowa, handlowa, usługowa lub przemysłowa. W modelu potencjałów ruchotwórczych dla rejonów o wskaźniku poniżej 0,40 oraz powyżej 0,40 wykorzystano inne zmienne objaśniające. Więźba ruchu wyznaczana była z modelu grawitacyjnego. Więźba samochodów towarowych dodawana była do sumarycznej więźby ruchu, po czym dokonywany. W konsekwencji rozkład ruchu w sieci drogowej dokonywany był bez uwzględnienia odcinków z zakazem ruchu samochodów towarowych.

W trakcie prac nad aktualizacją modelu stwierdzono, że możliwa jest wyodrębnienie rejonów, w których wielkość generowanego i absorbowanego ruchu ciężarowego jest większa niż wynikałoby z modelu potencjałów ruchotwórczych, tzw. rejony ciężarowe (truck zones). Nowy pełny model jest typu regionalnego i odnosi się do podróży pojazdów. Wyróżniono w nim 6 rodzajów rejonów z obiektami o określonym charakterze, z dodatkowym podziałem ze względu na wielkość ruchu samochodów towarowych związanego z tymi obiektami. Graniczną wartością jest 300 pojazdów/dobę. Wprowadzono 2 typy samochodów towarowych: średnie (medium trucks) odpowiadające lekkim w poprzednim modelu oraz ciężkie (heavy trucks). W modelu potencjałów ruchotwórczych wykorzystano regresję wieloraką oraz zmienne objaśniające: liczbę gospodarstw domowych i liczbę zatrudnionych w przemyśle, handlu i usługach. W przypadku rejonów ciężarowych obliczony potencjał ruchotwórczy należy przemnożyć przez odpowiedni współczynnik korygujący. Podróże źródłowe i docelowe są obliczane jako procent wszystkich podróży, z udziałem zależnym od odległości rejonu wewnętrznego od wlotu zewnętrznego. Więźba ruchu została

wyznaczona z modelu grawitacyjnego. Rozkład ruchu prowadzony był w pojazdach umownych. Przyjęto współczynniki ekwiwalentne: 1,5 dla średnich samochodów towarowych oraz 2,0 - dla ciężkich.

3.2.4. Stan Pensylwania

Przykładem modelu opartego na przepływie ładunków jest model dla stanu Pensylwania [3], który co do struktury jest taki sam jak model dla części stanu Kalifornia (Southern California) [27]. Jest to model pełny, obejmujący swoim zasięgiem cały stan, który został odwzorowany przez 1001 rejonów komunikacyjnych. Sąsiednie stany zostały zamodelowane z tą samą dokładności, natomiast pozostałe - jako 1 rejon komunikacyjny. Dodatkowo przyjęto 4 rejony zewnętrzne - 3 dla Kanady i 1 dla Meksyku. W modelu wyodrębniono 3 gałęzie transportu: drogowy, kolejowy i wodny śródlądowy oraz 10 rodzajów towarów. W pierwszym kroku w poszczególnych rejonach komunikacyjnych i dla każdego rodzaju towarów obliczane są potencjały ruchotwórcze jako roczna produkcja lub konsumpcja, wyrażona w tonach, stosując przy tym regresję liniową, z parametrami socjoekonomicznymi jako zmiennymi objaśniającymi. Następnie wyznacza się więźby ruchu w podziale na transport bliski i daleki. Założono, że bliski transport ładunków będzie odbywał się tylko transportem drogowym. Więźba dla bliskiego transportu ładunków została wyznaczona dla poszczególnych klas towarów za pomocą modelu grawitacyjnego. Uwzględniono występowanie węzłów przeładunkowych (Transport Logistics Nodes) i w konsekwencji uzyskane więźby ruchu podzielono ze względu na rodzaje podróży: bezpośrednie, bliskie do węzłów przeładunkowych i dalekie do węzłów przeładunkowych. Uzyskane więźby ruchu wyrażone w tonach ładunków przewożonych przez samochody towarowe zostały przeliczone na pojazdy, w wyniku czego uzyskano więźby dla: dalekiego i bliskiego transportu ciężkimi samochodami towarowymi oraz bliskiego transportu lekkimi samochodami towarowymi. Więźby te zostały rozłożone na sieć drogową.

3.2.5. Pojedyncze generatory ruchu

Wśród wielu opracowań poświęconych modelowaniu potencjałów ruchotwórczych pojedynczych generatorów ruchu warto odnotować model dla portów morskich na Florydzie [20] i [1] odnoszący się do drogowego transportu ładunków związanego z funkcjonowaniem por-

tów. Stworzono modele potencjałów ruchotwórczych za pomocą regresji liniowej oraz z zastosowaniem sztucznych sieci neuronowych.

Model generacji ruchu ciężarowego dla portów opisany w [20] powstał w wyniku analizy 5 portów na Florydzie, w których przez 100 do 150 dni w okresie 9 miesięcy przeprowadzono 24-godzinne pomiary. Danymi wejściowymi do modelu były: wielkość ładunków przywożonych i wywożonych przez statki oraz ilość przywożonych przez statki baryłek ropy i tarcicy. Uzyskane dane podzielono na grupy: do uczenia sieci (45% wszystkich danych), weryfikacji (22%) i testowania (33%). Model oparty na sieciach neuronowych dał lepsze wyniki niż model wykorzystujący regresję liniową.

W konstruowaniu modelu opisanego w [1] zastosowano podobne podejście, z tym jednak, że uwzględniono wpływ na wielkość ruchu samochodów towarowych (związane z funkcjonowaniem portów morskich) liczby kontenerów przywożonych i wywożonych przez statki nie tylko w danym dniu, ale również do 3 dni przed oraz do 3 dni po dniu, dla którego wyznacza się wielkość potencjału ruchotwórczego. Uzyskano również lepsze wyniki stosując sieci neuronowe niż regresję liniową.

3.3. Modele europejskie

3.3.1. Modele międzynarodowe

Pierwszym międzynarodowym modelem transportu towarów był model STREAMS [29]. Był to pełny model, oparty na przepływach towarów, w którym do oszacowania potoków ładunków wykorzystano model ekonomiczny REM (Regional Economic Model). Model objął 15 państw Unii Europejskiej, które reprezentowane były przez 201 rejonów komunikacyjnych. W pozostałych krajach europejskich utworzono dodatkowe 27 rejonów komunikacyjnych, a dla pozostałych kontynentów – 4 rejonów. Dla wewnętrznych rejonów komunikacyjnych określono produkcję i konsumpcję 10 grup towarów, m.in. paliwa płynne, produkty metalowe, materiały budowlane. Zastosowano model określający prawdopodobieństwo wyboru produkcji przemysłowej poszczególnych rejonów przez konsumenta w danym rejonie. Wpływ na wybór ma jakość transportu między rejonami, wielkości produkcji oraz historyczne handlowe związki między krajami. Aby uzyskać przepływy ładunków wyrażone w tonach użyto współczynników przelicze-

niowych (Volume-to-value ratios). W modelu uwzględniono wszystkie gałęzie transportu. W przypadku drogowego transportu ładunków wprowadzono podział na transport bliski i daleki. Rozkład ruchu dla drogowego transportu ładunków wyrażono w pojazdach, dla pozostałych gałęzi - w tonach. Weryfikacja modelu polegała na porównaniu uzyskanych z modelu parametrów z dostępnymi danymi statystycznymi na poziomie krajowym i europejskim.

W modelu SCENES [32], który był następcą modelu STREAMS, wprowadzono kilka zmian, w tym podział na 9 rodzajów podróży wewnątrzrejonowych w zależności od rodzaju transportu i długości podróży. Zapewniło to dokładniejsze odwzorowanie lokalnego transportu ładunków niż w poprzednim modelu. Dodatkowo zastąpiono podział na bliski i daleki drogowy transport ładunków, podziałem na ciężkie (Heavy Goods Vehicle – HGV) i lekkie (Light Goods Vehicle – LGV) samochody towarowe.

Najbardziej aktualnym modelem europejskim jest NEAC [27]. Został on stworzony w latach 80. dla celów prognozowania transportu pasażerskiego i ładunków w krajach ówczesnej Unii Europejskiej. W 1999 r. zaktualizowano model obejmując jego zasięgiem przestrzennym centralną i wschodnią Europę oraz Federację Rosyjską. W modelu wyodrębniono 11 rodzajów ładunków oraz 5 gałęzi transportu: drogowy, kolejowy, morski, wodny śródlądowy i pozostałe (lotniczy i rurociągowy). Przyjęto założenie, że przepływy ładunków zależą od przepływów handlowych, a proces przewozu ładunków pomiędzy źródłem i celem podróży ma charakter łańcucha, w którym występować mogą pojazdy kilku gałęzi transportu. W modelu wykorzystano multimodalny podział zadań przewozowych a w rozkładzie ruchu - który wyrażony został w tonach ładunków - zastosowano algorytm wielościeżkowy.

Należy wspomnieć jeszcze o kilku modelach europejskich, które miały bardzo specyficzne zastosowania. Są to [27]:

- STEMM – model dla transportu intermodalnego, wykorzystany w analizach korytarzowych (np. Trans-Alpine Study);
- EUFRANET – model dla transportu kolejowego, służący ocenie istniejącego stanu europejskiej sieci kolejowej oraz stworzeniu strategii jej rozwoju;
- ASTRA – model stworzony do oceny wpływu Wspólnej Polityki Transportowej (Common Transport Policy).

3.3.2. Modele krajowe

W Niemczech stworzono model transportu ładunków o nazwie SimuGV [33]. Do estymacji produkcji i konsumpcji w poszczególnych regionach zastosowano regresję liniową. Dodatkowo uwzględniono wpływ portów morskich. Zmiennymi objaśniającymi były: liczba mieszkańców, produkt krajowy brutto w podziale na 8 sektorów gospodarki, obrót w 15 sektorach gospodarki oraz import i eksport w podziale na 12 typów towarów. Więżba ruchu wyznaczona została przy użyciu modelu grawitacyjnego. W podziale zadań przewozowych uwzględniono transport drogowy, kolejowy i wodny śródlądowy. W ramach transportu kolejowego uwzględniono dodatkowo transport kombinowany, poprzez wprowadzenie logitowego modelu wyboru terminali przeładunkowych.

W modelu krajowym dla Włoch [8] do wyznaczenia macierzy przepływu ładunków zastosowano model ekonomiczny MRIO (Multi-Regional Input-Output). Rozważano trzy rodzaje transportu: drogowy, kolejowy oraz kombinowany. Model podziału zadań przewozowych ma postać wielomianowo-logitową, zależną od czasu i kosztu przewozu towarów danym rodzajem transportu. Założono również, że transport kolejowy nie będzie wykorzystywany dla przewozów poniżej 100 km, natomiast kombinowany - poniżej 250 km.

Norweski krajowy model transportu ładunków [17] obejmuje transport drogowy, kolejowy i wodny wewnątrz kraju oraz pomiędzy Norwegią i innymi krajami. Przewiduje się uzupełnienie modelu o transport lotniczy i rurociągowy. Do wyznaczenia potoków ładunków wykorzystano ekonomiczny model PINGO, bazujący na tradycyjnych modelach SCGE (Spatial Computable General Equilibrium). Więżby ruchu, wyrażone w tonach, wyznaczono dla 11 rodzajów ładunku. Podczas rozkładu ruchu w sieciach transportowych obliczane są koszty przewozu towarów różnymi gałęziami transportu oraz ścieżkami, co jest wykorzystywane do modelowania podziału zadań przewozowych, przy założeniu minimalizacji sumarycznych kosztów transportu.

Oprócz opisanych powyżej modeli można warto odnotować jeszcze modele krajowe stworzone w: Danii [14], w Holandii [36], w Szwecji (SAMGODS) [38] oraz w Wielkiej Brytanii [37], [38]. W ogólnej swej strukturze krajowe modele europejskie są do siebie podobne. Wszystkie wykorzystują modele ekonomiczne do tworzenia więzby przepływu ładunków. Rozważane są różne rodzaje transportu ładunków, przy

czym np. w modelu duńskim rozważa się również przeprawy promowe, jako jedną z form transportu. Podział zadań przewozowych uzależnione jest od czasu i kosztu transportu.

3.3.3. Modele miejskie i pojedyncze generatory ruchu

Wśród modeli miejskich można wyróżnić trzy: model włoski stosowany w regionie Emilia-Romagna [15], model holenderski o nazwie GoodTrip stosowany w Groningen [6] oraz model francuski FRETURB wykorzystany w Lyonie [30]. Modele te opisują przepływ ładunków, z uwzględnieniem wpływu łańcuchów dostaw, a tym samym odbiegają metodologią od wymienionych wcześniej modeli polskich.

W 2001 r. przeprowadzone zostały w Holandii badania [19] ruchu ciężarowego. W ich wyniku stworzony został model potencjałów ruchotwórczych dla pojedynczych generatorów, w którym zastosowano regresję liniową. Jako zmienne objaśniające przyjęto: liczba osób zatrudnionych oraz powierzchnia terenu zajmowana przez przedsiębiorstwo. Podział przedsiębiorstw został dokonany na podstawie holenderskiej klasyfikacji działalności SBI. Uzyskane współczynniki determinacji były na ogół niskie.

3.4. Pozostałe modele

3.4.1. Model krajowy dla Korei Południowej

Krajowy model dla Korei Południowej [18] jest modelem pełnym, opartym na przepływie ładunków. Rokiem bazowym jest rok 2005. Potencjały ruchotwórcze wyznaczono na podstawie wskaźników generacji ruchu z wykorzystaniem modelu ekonomicznego. Za pomocą modelu grawitacyjnego oraz logitowego wyznaczono więźbę ruchu wyrażoną w tonach ładunków. Następnie dokonano podziału zadań przewozowych na transport drogowy, kolejowy, lotniczy oraz wodny. W obrębie transportu drogowego wprowadzono 3 typy samochodów towarowych: lekkie, średnie oraz ciężkie. Więźby ruchu dla poszczególnych rodzajów transportu zostały przeliczone na pojazdy i następnie poddane procedurze rozkładu ruchu na sieć metodą wielośćciową.

3.4.2. Modele miejskie

Wśród modeli miejskich stworzonych poza wymienionymi wcześniej krajami można wspomnieć o modelu dla miasta Juarez [9], położonego w Meksyku na granicy z USA oraz modelach dla 15 miast indyjskich [10].

Model dla miasta Jaurez nie odbiega pod względem metodologicznym od miejskich modeli amerykańskich, opartych na podróżach pojazdów. W modelu potencjałów ruchotwórczych wykorzystano wskaźniki generacji ruchu. Przy wyznaczaniu więzby ruchu zastosowany został model grawitacyjny. Natomiast podział zadań przewozowych ma charakter pierwotny. Rozkład na sieć więzby ruchu samochodów towarowych wykonano według procedury „wszystko albo nic” bez ograniczania przepustowości.

W przypadku miast indyjskich we wszystkich przypadkach zastosowano tą samą strukturę modelu. Założono 8 grup towarów. W modelu potencjałów ruchotwórczych wykorzystano regresję liniową, w której zmiennymi objaśniającymi były: liczba mieszkańców, zatrudnienie w przemyśle oraz zatrudnienie w handlu i usługach. Potencjały ruchotwórcze dla ruchu wewnętrznego i zewnętrznego zostały wyznaczone w tonach ładunków. Uzyskano przy tym bardzo wysoki współczynnik determinacji, w wielu przypadkach powyżej 0,9.

4. Podsumowanie

Przedstawiony w niniejszym artykule syntetyczny przegląd modeli transportu ładunków daje ogólny pogląd na stan światowej wiedzy dotyczącej problemu.

Większość modeli opartych na podróżach pojazdów bazuje na badaniach ankietowych w firmach wykorzystujących samochody towarowe oraz wśród kierowców. W modelach opartych na przepływie ładunków badania ankietowe w firmach oraz wśród przewoźników służą głównie wyznaczaniu podziału zadań przewozowych. W modelowaniu potencjałów ruchotwórczych wykorzystuje się dane makroekonomiczne na poziomie regionalnym (z reguły dane te nie są dostępne na poziomie rejonu komunikacyjnego).

W praktyce amerykańskiej, w modelach stanowych sąsiednie stany modelowane są tak jak analizowany stan (rejon komunikacyjny odpo-

wiada hrabstwu), natomiast pozostałe stany reprezentowane są pojedynczymi rejonami komunikacyjnymi. W modelach miejskich, podobnie jak w pozostałych krajach, ruch zewnętrzny generowany jest na wlotach do analizowanego obszaru.

Model dla Wielkiej Brytanii [37] określono jako dwustadiowy, w którym potencjały ruchotwórcze oraz więźba ruchu stanowią pierwszy etap, a podział zadań przewozowych i rozkład ruchu na sieć - drugi etap. Takie zintegrowanie faz modelowania transportu ładunków występuje m.in. przy uwzględnieniu czynników ekonomicznych do wyznaczania więźby przepływu ładunków.

Więźba ruchu samochodów towarowych rozkładana jest przed pozostałymi więźbami lub dodawana jest do sumarycznej więźby ruchu. W procedurze rozkładu ruchu na sieć stosowana jest zarówno metoda jednościeżkowa jak i wielościeżkowa. Kryterium wyboru najkrótszej ścieżki jest odległość lub koszt przejazdu.

Weryfikacji modeli najczęściej dokonuje się przez porównanie natężeń ruchu uzyskanych z modelu z wartościami bezpośrednio pomierzonymi. Porównuje się także sumaryczną wielkość przewożonych ładunków oraz pracę przewozową, lub inne możliwe do uzyskania z modelu parametry, z danymi statystycznymi dostępnymi na poziomie krajowym lub międzynarodowym.

W niniejszym artykule, z uwagi na jego objętość, nie rozwinięto kwestii klasyfikacji samochodów towarowych. Należy jednak zwrócić uwagę, że w różnych modelach występują różne klasyfikacje samochodów ciężarowych, często utrudniające porównanie modeli między sobą [13]. Najczęstszymi kryteriami klasyfikacji samochodów ciężarowych są: dopuszczalna masa całkowita oraz liczba osi.

Literatura

- [1] Al-Deek, H. M.: A comparison between neural networks and multiple regression approaches for developing freight planning models with specific applications to seaports. 80th Transportation Research Board Annual Meeting, Washington D.C., January 2001.

-
- [2] Allen, Jr., W.G.: Development of Truck Models. Prepared for Baltimore Metropolitan Council, Baltimore, Maryland, June 2002.
- [3] Anater P., Wall B., White W.: Development of the Pennsylvania Statewide Commodity-Based Freight Model. 11th TRB National Transportation Planning Applications Conference, May 7, 2007.
- [4] Ben-Akiva M., Jong G.: The Aggregate-Disaggregate-Aggregate (ADA) Freight model System. Chapter in book *Recent Developments in Transport Modelling: Lessons for the freight sector*, Emerald Group Publishing Limited, 2008, pp. 117–134.
- [5] Bernacki D.: Wzrost gospodarczy a popyt na przewozy towarowe w Polsce. Konferencja Euro-Trans 2009, Szczecin, 17 – 18 września 2009.
- [6] Boerkamps J., Binsbergen van A.: GoodTrip – A new Approach for Modelling and Evaluation of Urban Goods Distribution. Urban Transport Conference, 2 nd KFB Research Conference, 1999.
- [7] Burnewicz J.: Prognoza zapotrzebowania na usługi transportowe w Polsce do 2020 roku. *Przeгляд komunikacyjny*, 2005, nr 12, s 27-26.
- [8] Cascetta E., Marzano V., Papola N.: Multi-Regional Input-Output Models for Freight Demand Simulation at a National Level. Chapter in book *Recent Developments in Transport Modelling: Lessons for the freight sector*, Emerald Group Publishing Limited, 2008 pp. 93–116.
- [9] Ciudad Juarez Heavy-Duty Vehicle Survey Vol. I and Vol. II". Final Report, Prepared for the Texas Commission on Environmental Quality. UACJ, February, 2002.
- [10] Dhingra S.L.: Modeling for Urban Goods Movement – A case study of Indian cities. International Transportation Seminar, 22nd October 2009, Poznan.
- [11] Dorosiewicz S., Gis W., Menes E., Waškiewicz J.: Prognoza rozwoju ciężarowego transportu samochodowego do 2020 r.. *Transport samochodowy*, 2006, Zeszyt 4.
- [12] Fiedorowicz J., Fiedorowicz K.: Prognoza przewozów w Polsce do 2035 r. *Przeгляд komunikacyjny*, 2009, nr 6, s 26-34.

-
- [13] Fischer M. J., Han M.: *Truck Trip Generation Data: A Synthesis of Highway Practice*. NCHRP Synthesis 298, Transportation Research Board, National Research Council, Washington, D.C. 2001.
 - [14] Fosgerau M., Nielsen O. A.: *Design of a Danish National Freight Model*. Conference National and International Freight Transport Models, 2003.
 - [15] Gentile G., Vigo D.: *Movement generation and trip distribution for freight demand modelling applied to city logistics*. Technical Report DEIS OR.INGCE 2007/3, March 2007.
 - [16] Gębski J., Wysocka A.: *Kryzys na rynku transportu drogowego rzeczy w krajach Unii Europejskiej w latach 2008-2009*. Konferencja Euro-Trans 2009, Szczecin, 17 – 18 września 2009.
 - [17] Hovi I. B., Vold A.: *An overview over the national freight model for Norway*. Conference on National and International Freight Transport Models, September 8th - 9th, 2003, Helsingør.
 - [18] Hwang S.K.: *Freight Demand Analysis and Data Collections in Korea*. The Second Workshop on Statistics of Asian Traffic and Transportation, 23th October 2008, Tokoname City, Japan.
 - [19] Iding, Mirjam H.E., Meester, Wilhelm J., Tavasszy, Lóri A.: *Freight trip generation by firms*. Paper for the 42nd European Congress of the Regional Science Association, Dortmund, 2002.
 - [20] Jurare A.S., Sarvareddy P.R.: *Travel Demand Modeling for Seaports*. IIT Bombay Golden Jubilee International Conference and 8th International Workshop on Transportation Planning and Implementation Methodologies For Developing Countries, Mumbai 2008.
 - [21] *Kompleksowe Badania Ruchu – Poznań 2000*. Diagnoza i wniośki. Miasto i Powiat Poznań, Poznań, 2000.
 - [22] *Kompleksowe Badania Ruchu dla Miasta Krakowa*. Przetwarzanie wyników. Moduł: Modelowanie ruchu. Pracownia Badań Społecznych, Sopot, 2003.
 - [23] *Kompleksowe badania ruchu w strefie podmiejskiej Krakowa 2007*, Raport końcowy, Tom B, Modelowanie podróży. Sopot – Warszawa, 2007.
 - [24] Kulpa T.: *Modelowanie podróży samochodów ciężarowych na przykładzie instrukcji amerykańskiej QRFM*. VI konferencja

- naukowo-techniczna z cyklu: „Problemy komunikacyjne miast w warunkach zatłoczenia motoryzacyjnego” pt. Wspomaganie decyzji w projektowaniu i zarządzaniu transportem, Poznań-Rosnówko, 23-25 maja 2007.
- [25] Maejima T.: An application of continuous spatial models to freight movements in Greater London. *Transportation* 8 (1979) 51–63.
- [26] Quick Response Freight Manual, Final Report, Federal Highway Administration, Washington D.C., September 1996.
- [27] Quick Response Freight Manual II, Final Report, Federal Highway Administration, Washington D.C., September 2007.
- [28] Review of Freight Modelling, Report B1 – Review of GB Freight Modelling, Final Version, Rand Europe, June 2002.
- [29] Review of Freight Modelling, Report B2 – Review of Models in Continental Europe and Elsewhere, Final Version, Rand Europe, June 2002.
- [30] Routhier J.-L.: Urban goods transport modelling with FRE-TURB. Improving global accessibility to logistic centres and urban areas, Aix en Provence, 27 October 2006.
- [31] Ruitter, Earl R.: Development of an Urban Truck Travel Model for the Phoenix Metropolitan Area. Final Report. Arizona Department of Transportation, Prepared by Cambridge Systematics, Inc., February 1992.
- [32] SCENES European Transport Scenarios, Final Report, April 2002.
- [33] Schneider, W.: The German national freight transport model. Conference on National and International Freight Transport Models, September 8th - 9th, 2003, Helsingør.
- [34] Studium komunikacyjne dla miasta Łodzi. BPRW S.A., Warszawa – Łódź, 2002.
- [35] Studium układu dróg szybkiego ruchu w Polsce. Politechnika Warszawska, Instytut Dróg i Mostów, Warszawa, 2007.
- [36] Tavasszy L.A., Vlist van der M.J.M., Ruijgrok C.J.: Scenario-wise analysis of transport and logistics systems with a SMILE, Conference on National and International Freight Transport Models, September 8th - 9th, 2003, Helsingør.
- [37] The GB Freight Model: Methodology, MDS-Transmodal Ltd., 2003.

- [38] The Swedish model system for goods transport – SAMGODS. A brief introductory overview. SAMPLAN Report 2001:1, Stockholm, February 2001.
- [39] Ustawa z dnia 20 czerwca 1997 r. Prawo o ruchu drogowym, Dz. U. 1997 Nr 98 poz. 602, z późniejszymi zmianami.
- [40] Zipser T. z zespołem: Analiza badań komunikacyjnych ruchu samochodów ciężarowych na obszarze miasta Wrocławia. Wrocław 2000

GOODS TRANSPORT – CLASSIFICATION AND REVIEW OF THE MODELS

Summary

In this paper a summary of existing freight models classifications, in case of characteristics of those models, has been done. Next a synthetic review of created models has been performed. In particular urban and metropolitan models created in Poland has been presented as well as chosen models from USA and international models for Europe. Moreover a specific group of models was detailed, which consists models developed for single traffic generators. In summary the characteristics of particular groups of models have been described.

Key words: travel modelling, trucks traffic, goods transport

GÜTERVERKEHR – DIE KLASSIFIZIERUNG UND ÜBERSICHT VON REISEMODELLEN

Zusammenfassung

Im Vortrag wird die Rekapitulation der bestehenden Klassifizierungen für die Modelle des Güterverkehrs in Hinsicht auf die ausgewählten Eigenschaften dieser Modelle durchgeführt. Dann wird die synthetische Übersicht der gebildeten Modelle für den Güterverkehr gemacht. Insbesondere werden die polnischen Modelle für den Stadtverkehr und in den Ballungsgebieten, sowie die ausgewählten Modelle aus USA und Europa, dargestellt. Es wird auch eine spezifische Gruppe von Modellen, die den Einzelverkehrsgeneratoren betreffen, absondert.

Die Schlüsselwörter: die Modellierung der Reise, der Güterverkehr, der Lastbetrieb

Katarzyna Nosal¹

WPLYW PLANÓW MOBILNOŚCI NA ZMIANĘ ZACHOWAŃ KOMUNIKACYJNYCH

Streszczenie

Artykuł przedstawia koncepcję zarządzania mobilnością oraz plan mobilności - jeden z najpowszechniej stosowanych instrumentów zarządzania mobilnością. Plan mobilności to zestaw działań promujących proekologiczne środki transportu: transport publiczny, rowery, podróże piesze oraz wspólne użytkowanie samochodów osobowych (systemy: carpooling i carsharing). Zawiera on również szereg środków i rozwiązań, które urzeczywistniają ideę zrównoważonej mobilności. Działania realizowane w ramach planów mobilności pozwalają zaspakajać potrzeby transportowe oraz wpływać na zachowania komunikacyjne ludzi.

Słowa kluczowe: *zrównoważona mobilność, zarządzanie mobilnością, plan mobilności, zachowania komunikacyjne*

1. Plan mobilności jako jeden z instrumentów zarządzania mobilnością

Realizacja idei zrównoważonego transportu miejskiego polega na zaspokajaniu potrzeb społeczeństwa w zakresie swobodnego przemieszczania się, uzyskiwania dostępu do celów podróży w sposób bezpieczny, nie zagrażający zdrowiu, sprzyjający ochronie środowiska i zasobów naturalnych. Jednocześnie transport taki spełnia wymogi równości społecznej i efektywności ekonomicznej.

Priorytetowym narzędziem realizacji zrównoważonej mobilności jest zmniejszanie popytu na podróże realizowane samochodami osobowy-

¹ mgr inż., Katedra Systemów Komunikacyjnych, Politechnika Krakowska, knosal@pk.edu.pl, tel. 012 6282325

mi, a zwiększenie udziału podróży odbywanych transportem publicznym, pieszo i rowerem. Nie chodzi tu jednak o całkowite wyeliminowanie podróży wykonywanych samochodem osobowym, ale o bardziej racjonalne wykorzystywanie tego środka lokomocji, np. korzystanie z samochodu w przypadku braku możliwości wyboru innego środka transportu lub wspólne użytkowanie jednego samochodu przez kilka osób (podróżowanie w tzw. systemach carpooling czy carsharing).

Popyt na proekologiczne środki transportu kształtuje się m.in. za pomocą nowatorskiego w Polsce, lecz stosowanego na szeroką skalę za granicą, tzw. zarządzania mobilnością. Zarządzanie mobilnością to takie podejście do przewozów pasażerskich, które za pomocą elastycznych i dających się zaadoptować do różnych oczekiwań użytkowników, usług i narzędzi, wpływa na zmianę poglądów i zachowań komunikacyjnych. Trzon zarządzania mobilnością stanowią tzw. „środki miękkie” obejmujące [7]:

- informacje i doradztwo (dostarczanie użytkownikom danych na temat funkcjonowania proekologicznych środków transportu, analizowanie stanu istniejącego, poszukiwanie rozwiązań, ocenę wariantów, np. porównywanie czasów i kosztów podróży różnymi środkami transportu oraz rekomendowanie rozwiązań),
- produkty transportowe (nie tylko standardowe produkty, takie jak bilety czy mapy sieci komunikacji zbiorowej, ale i innowacyjne, stymulujące użytkowanie proekologicznych środków transportu np. bilety transportu publicznego, zapewniające jednocześnie wstęp na różnego rodzaju wydarzenia kulturalne czy sportowe),
- rezerwację i sprzedaż produktów,
- organizację i koordynację usług i rozwiązań (np. organizacja systemów carpooling, carsharing w instytucjach, koordynacja usług transportowych dla osób niepełnosprawnych),
- działania edukacyjne i marketingowe.

„Środki miękkie” wzmacniają efektywność „środków twardych” związanych z rozbudową infrastruktury transportu (np. budowa ścieżek rowerowych, budowa torowisk tramwajowych, etc.). Rozwiązania z zakresu „środków miękkich” w porównaniu do „środków twardych” zwykle nie wymagają dużych nakładów finansowych.

Podstawowym i najczęściej stosowanym narzędziem zarządzania mobilnością jest plan mobilności (w wersji ang.: mobility plan, travel

plan, trip reduction plan, green commuter plan). Plan mobilności integruje wyszczególnione powyżej „środki miękkie” zarządzania mobilnością w jeden pakiet działań. Obejmuje on strategie promujące proekologiczne środki przemieszczania się, a jednocześnie zawiera rozwiązania, które urzeczywistniają ideę zrównoważonego transportu.

Plany mobilności mają na celu zmianę zachowań komunikacyjnych adresatów projektu w kierunku proekologicznych środków transportu, poprawę dostępności do obszarów lub instytucji, a także pomagają zmniejszać zapotrzebowanie na miejsca parkingowe i zredukować zatłoczenie komunikacyjne.

2. Plany mobilności dla zakładów pracy

W miastach europejskich plany mobilności realizowane są dla tych miejsc, które generują bądź przyciągają duże potoki ruchu np. wyodrębnione obszary w miastach (centra handlowe, osiedla, zespoły przemysłowe). Tego typu instrumenty sprawdzają się również w odniesieniu do imprez okolicznościowych (targów, koncertów, imprez sportowych), których organizacja ma istotny wpływ na miejski system transportowy i często paraliżuje funkcjonowanie miasta. Realizacja planów mobilności dla takich przedsięwzięć pomaga zmniejszać negatywne skutki ich przeprowadzania. Jednakże najczęściej plany mobilności stosowane są dla dużych przedsiębiorstw i instytucji: urzędów miast, szkół, uniwersytetów, szpitali, zakładów produkcyjnych, etc.

Wdrażanie planu mobilności wymaga odpowiedniej metodyki, skoordynowanych działań edukacyjnych i informacyjnych oraz świadomego uczestnictwa adresatów projektu. Poszczególne fazy wdrażania planów mobilności można zdefiniować następująco:

- Określenie celów planu mobilności.
- Wyznaczenie zakresu działania (obszar, obiekt, adresaci).
- Analiza stanu istniejącego (badania ankietowe zachowań komunikacyjnych i preferencji adresatów, inwentaryzacje rozwiązań i powiązań transportem zbiorowym, samochodem, rowerem, analiza sytuacji parkingowej, badania natężeń ruchu).
- Sprecyzowanie działań koniecznych do wdrożenia w ramach planu mobilności (opracowania koncepcyjno-projektowe, działania szkoleniowe, informacyjne, marketingowe).

- Faza wdrażania działań i rozwiązań.
- Ocena wdrożonych rozwiązań.

Wdrażane strategie i instrumenty są zróżnicowane i zależą od charakterystyki adresatów, wielkości i specyfiki instytucji czy przedsiębiorstwa, a jednocześnie odpowiadają na konkretne problemy komunikacyjne tych jednostek. Prócz wymienionych w poprzednim punkcie „środków miękkich”, stosuje się również rozwiązania i strategie wspomagające - generalnie nie będące środkami zarządzania mobilnością - ale w przypadku planów mobilności stanowiące niejako komponent systemu zarządzania mobilnością. Do takich strategii i rozwiązań należą [7]:

- polityka parkingowa (zarządzanie parkowaniem często stanowi centralny punkt zarządzania mobilnością na terenie instytucji, przedsiębiorstwa i jako część pakietu środków zarządzania mobilnością uznawane jest za integralną część systemu zarządzania mobilnością),
- środki infrastrukturalne (wspomagające) takie jak: parkingi rowerowe, przystanki autobusów wahanowych, etc.,
- niektóre z komponentów systemu zarządzania ruchem, wpływające na popyt i zmieniające postawy uczestników ruchu, np. podawanie rzeczywistych godzin odjazdu środków transportu publicznego przez sieć telefonii komórkowej lub Internet, czy też poprzez różnego rodzaju komunikaty lub wykorzystanie systemów nawigacji.

Poniżej podano listę przykładowych rozwiązań, środków i strategii wykorzystywanych w zakresie planów mobilności [7]:

- Usprawnienie obsługi transportem zbiorowym obszaru poprzez negocjacje z zarządcami i przewoźnikami (wprowadzenie autobusów wahanowych pomiędzy instytucją a najbliższym węzłem przesiadkowym, zwiększenie częstotliwości kursowania pojazdów transportu publicznego, uruchomienie nowej linii autobusowej lub tramwajowej).
- Zapewnienie pracownikom dofinansowania do biletów okresowych przez instytucję.
- Zapewnienie biletów transportu publicznego na podróże służbowe.
- Sprzedaż biletów transportu publicznego na terenie instytucji.
- Wdrożenie systemu wspólnego użytkowania samochodów (systemu carpooling) podczas dojazdów do miejsc pracy/nauki

- Zachęcanie do podróżowania w systemie carsharing
- Zmiana godzin pracy w celu uniknięcia dojazdów w godzinach szczytu.
- Koordynacja godzin pracy z rozkładami jazdy środków transportu publicznego.
- Reorganizacja i racjonalizacja podróży służbowych i/lub zastąpienie ich telekonferencjami.
- Reorganizacja i racjonalizacja dostaw towarów do instytucji.
- Zmiana struktury opłat za parkowanie na terenie instytucji, obszaru (np. uzależnienie wysokości opłat od czasu parkowania).
- Zarządzanie parkingami (preferencyjne miejsca parkingowe dla użytkowników systemu carpooling, możliwość parkowania jedynie w określone dni tygodnia, etc.).
- Ścieżki rowerowe, trasy dla pieszych gwarantujące dostęp do obszarów, instytucji.
- Strzeżone parkingi dla rowerów.
- Zapewnienie pracownikom puli rowerów będących własnością instytucji.
- Zapewnienie pryszniców, przebieralni itp. dla osób dojeżdżających do pracy/szkoły rowerem.
- Stworzenie bezpłatnych punktów napraw rowerów na początku sezonu rowerowego.
- Stworzenie stanowiska konsultanta mobilności.
- Dostarczanie informacji dotyczących dostępności instytucji, obszarów różnymi środkami transportu (informacje na stronach internetowych, broszury, system oznakowania tras, np. dla pieszych, rowerzystów).
- Kampanie marketingowe, promocja środków transportu alternatywnych w stosunku do samochodu prywatnego.

Poniżej przedstawiono kilka przykładów wdrożonych planów mobilności.

3. Plany mobilności dla przedsiębiorstw w Nantes (Francja)

Francuskie miasto Nantes (ok. 280 tys. mieszkańców) jest modelowym przykładem metropolii aktywnie wdrażającej plany mobilności. Urząd Miasta Nantes w porozumieniu z operatorem transportu pub-

licznego SEMITAN i kilkoma lokalnymi partnerami (agencje proekologiczne, izby handlowe) realizuje projekty wspierające przedsiębiorstwa we wprowadzaniu zmian w zakresie mobilności, oferując im techniczne i finansowe wsparcie [8]. W zakresie realizowanego w latach 2002 – 2006 projektu CIVITAS Vivaldi pomoc Urzędu Miasta polegała na dotacjach do biletów okresowych dla pracowników firm na przejazdy środkami transportu publicznego, zapewnianiu im łatwego dostępu do systemu carsharing i oferowaniu preferencyjnych cen na różnorodne usługi mobilnościowe.

W 2005 roku, w rezultacie prowadzonych w mieście kampanii, 16 przedsiębiorstw realizowało tego typu projekty skierowane ogółem do 16 000 pracowników, a 19 przedsiębiorstw, reprezentujących ok. 5400 zatrudnionych, było w trakcie przeprowadzania badań ankietowych dotyczących zachowań komunikacyjnych i warunków podróżowania do miejsc pracy.

Pierwszy plan mobilności w mieście wdrożono dla pracowników Urzędu Miasta zlokalizowanego w śródmieściu. Jako cel szczegółowy tego działania przyjęto zwiększenie udziału w dojazdach pracowników Urzędu Miasta do miejsca pracy, podróży odbywanych transportem publicznym z 20% do 30% oraz zmniejszenie udziału podróży realizowanych samochodami prywatnymi z 65% do 60% [8].

Przygotowania do wdrożenia planu mobilności dla Urzędu Miasta w Nantes rozpoczęły się w 2002 r. od badania zachowań komunikacyjnych 2200 pracowników oraz analizy warunków dostępności Urzędu z różnych obszarów miasta z wykorzystaniem różnych środków transportu (transport publiczny, rower, samochód). Po szczegółowym opracowaniu projektu planu mobilności i skonsultowaniu go z pracownikami, w 2004 r. rozpoczęto fazę wdrażania następujących rozwiązań:

- Wprowadzono dofinansowanie do biletów okresowych rocznych w wysokości 50% (na przejazdy pracowników środkami transportu publicznego).
- Zlikwidowano 98 miejsc parkingowych dla pracowników; dostępnych pozostało jedynie 38 miejsc.
- Zachęcano do podróżowania w systemie carpoolingu podczas podróży służbowych, dla których nie istniała dogodna oferta komunikacji zbiorowej.

- Utworzono nowe bezpieczne miejsca parkingowe dla rowerów na terenie Urzędu oraz wprowadzono pulę rowerów służbowych.
- Utworzono specjalną stronę internetową z danymi dotyczącymi działań wdrażanych w ramach planu mobilności.
- Dla efektywniejszego wdrożenia wyżej wymienionych rozwiązań zatrudniono osobę czuwającą nad realizacją planu mobilności - Koordynatora Mobilności.

W efekcie zastosowanych działań, 500 pracowników nabywa bilety roczne na przejazdy środkami transportu publicznego. Badania ankietowe przeprowadzone w 2007 r. wykazały, że udział samochodów osobowych w codziennych podróżach pracowników zmniejszył się z 65% do 50%, a udział środków transportu publicznego zwiększył z 20% do 30%.

4. Plan mobilności dla szpitala San Martino w Genui (Włochy)

Genoa to miasto zlokalizowane w północno-zachodniej części Włoch, nad Morzem Liguryjskim, zamieszkałe przez ponad 600 tys. osób. Genueński szpital San Martino, zatrudniający ponad 4500 pracowników, jest jednym z największych szpitali we Włoszech [9]. Na terenie szpitala zlokalizowany jest Wydział Medyczny Uniwersytetu w Genui, zatem instytucja ta przyciąga i generuje duże potoki ruchu, nie tylko pracowników, pacjentów i odwiedzających, ale też studentów. Szpital jest zlokalizowany wzdłuż jednej z głównych arterii, łączącej wschodnią część miasta z centrum, gdzie w porannych godzinach szczytu natężenie ruchu sięga 4000 pojazdów/h i skutkuje zatłoczeniem komunikacyjnym oraz trudnościami parkingowymi w bezpośrednim sąsiedztwie szpitala.

W 2005 roku, w ramach realizacji projektu CARAVEL, Urząd Miasta Genui w porozumieniu z kierownictwem szpitala wdrożył plan mobilności, aby skutecznie uporządkować i uregulować ruch generowany przez szpital na otaczającym go obszarze. W ramach projektu zrealizowano następujące działania:

- System carpooling – stworzono specjalną platformę internetową dla pracowników szpitala, która służy wymianie danych o osobach zainteresowanych uczestnictwem w systemie. Pracownicy, po wprowadzenia danych osobowych oraz swoich preferencji do

systemu, mają możliwość poszukiwania osób odbywających takie same lub zbliżone podróże. Rys.1 prezentuje widok platformy internetowej systemu carpooling. Strona służy do rejestracji użytkownika, który wprowadza swoje dane osobiste (np. płeć) i kontaktowe oraz login i hasło dostępu.

The screenshot shows the registration page for the carpooling system. At the top, there are logos for 'carpooling', 'Automa Dipartimenti Universitari "San Martino"', and 'AMI Azienda Mobilità e Infrastrutture di Genova S.p.A.'. Below the logos is a navigation bar with links: 'Home', 'Registrati', 'Cos'è il CarPooling', and 'Aiuto'. The main heading is 'Registrazione utenti Car Pooling San Martino - Genova'. Below this, there is a warning: 'Riempi i form con le informazioni richieste e al termine della procedura di registrazione, in attesa della finalizzazione da parte dell'amministratore del sistema, riceverai una e-mail di benvenuto. Una volta abilitato riceverai una seconda mail con le credenziali di accesso per il tuo account. Se hai difficoltà nel riempire il modulo consulta la pagina di aiuto utente.' Below this, there are four main sections: 'Anagrafici e Utente', 'Dati anagrafici', 'Dati personali', and 'Privacy'. Each section contains various input fields and checkboxes for user registration.

Rys. 1. Widok platformy internetowej systemu carpooling dla pracowników szpitala

Źródło: Comune di Genova

- Zapewnienie dostępu do informacji dotyczących podróżowania – w ramach projektu CARAVEL w Genui stworzono specjalną platformę informacyjną (www.mobilitypoint.it) z danymi dotyczącymi transportu w mieście. Na terenie szpitala, w dwóch kluczowych lokalizacjach, zamontowano dwa automaty zapewniające dostęp do platformy informacyjnej oraz do platformy systemu carpooling (rys.2).



Rys. 2. Automaty zapewniające dostęp do Internetu na terenie szpitala

Źródło: Comune di Genova.

- Usprawnienia dotyczące transportu publicznego – w ramach tego działania objęto komunikacją autobusową kilka dotychczas nieobsługiwanych obiektów szpitalnych oraz wprowadzono dodatkowe poranne i wieczorne kursy autobusów jako ułatwienie dla osób odwiedzających i opuszczających teren szpitala wcześniej rano oraz późno wieczorem.
- Wykorzystywanie ekologicznych pojazdów elektrycznych dla transportu towarów w obrębie szpitala.
- Promowanie rozwiązań zaproponowanych w planie mobilności oraz zachęcanie do użytkowania proekologicznych środków transportu odbywało się poprzez:
 - szkolenia i warsztaty dla pracowników szpitala,
 - kampanie marketingowe obejmujące: dystrybucję ulotek, broszur i informacje e-mailowe.
 - materiały promocyjne i informacyjne, rozmieszczone na specjalnych tablicach na terenie kilku obiektów szpitalnych oraz

dostarczane pracownikom z wykorzystaniem wewnętrznej sieci internetowej.

Realizacja planu mobilności dla Szpitala San Martino przyniosła następujące rezultaty ujawnione badaniami przeprowadzonymi w 2008 roku [10]:

- Zmniejszyło się o 31% natężenie ruchu w porannych godzinach szczytu na ulicy zewnętrznej, zapewniającej dostęp do szpitala z kierunku zachodniego,
- Zmniejszył się udział samochodów osobowych w podróżach do szpitala z 42% do 39%.
- Zwiększył się udział podróży pieszych z 5,5% do 11,5%.

5. Plan mobilności dla Urzędu Miasta Gandawa (Belgia)

W połowie lat dziewięćdziesiątych Urząd Miasta Gandawa (holenderska nazwa miasta: Gent), liczącego 226 tys. mieszkańców, wprowadził zintegrowany plan mobilności dla obszaru śródmieścia. Celem planu było: zmniejszenie natężenia ruchu samochodów, przekształcenie centrum w strefę ruchu pieszego z dostępem dla rowerzystów, instalacja stojaków rowerowych, redukcja miejsc postojowych dla samochodów oraz poprawa jakości oferty transportu publicznego [11]. W ramach tego planu mobilności Urząd Miasta Gandawa wdrożył rozwiązania skierowane do swoich pracowników i interesantów:

- Wypracowano nowe podejście do planowania przestrzennego, które polegało na koncentracji większości usług Urzędu Miasta w jednej lokalizacji, posiadającej bardzo dobrą dostępność transportem publicznym, tym samym zachęcając interesantów do korzystania ze środków transportu publicznego.
- Wprowadzono pulę rowerów służbowych dla pracowników.
- Wprowadzono zachęty dla pracowników korzystających z ekologicznych środków transportu. Wszystkim pracownikom, którzy realizują samochodem osobowych podróże: dom – praca, praca – dom, udostępniając miejsca w pojeździe współpracownikom (carpooling), oferowano zwrot 0,15 EUR za każdy przejechany kilometr. Każdemu pracownikowi, który odbywał podróż rowerem zwracano 0,15 EUR za każdy kilometr podróży.
- Wprowadzono opłaty parkingowe dla pracowników.

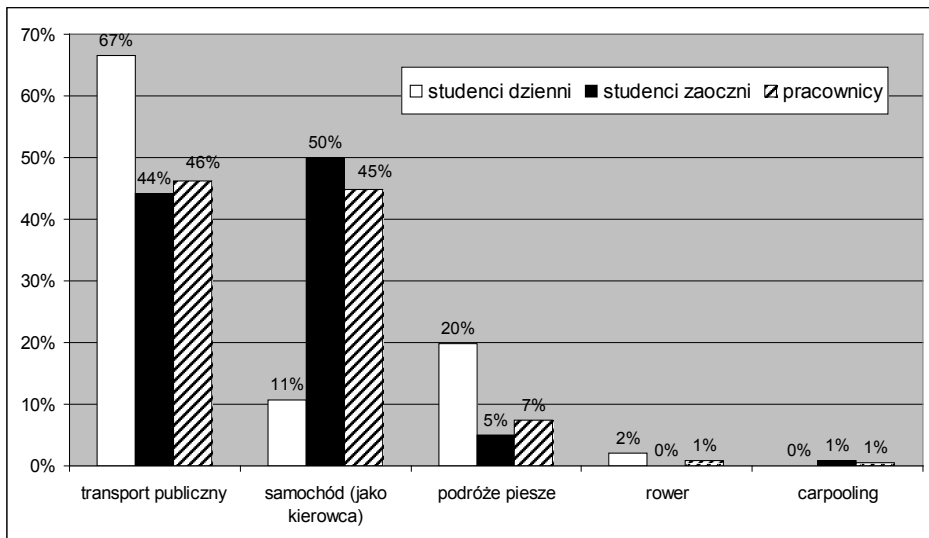
- W 1996 r. przeprowadzono kampanię marketingową związaną z:
 - promowaniem doradztwa w zakresie podróżowania do miejsca pracy;
 - dystrybuowaniem specjalnych list wśród osób wyrażających chęć uczestniczenia w systemie carpooling, na których można było wpisywać swoje dane i preferencje;
 - organizowaniem spotkań promujących system carpooling.

Dzięki zastosowanym rozwiązaniom o 2,7% wzrosło użytkowanie proekologicznych środków transportu w podróżach pracowników Urzędu Miasta. O 10% zmniejszyło się jednoosobowe użytkowanie samochodów osobowych. Rower stał się bardzo popularnym środkiem lokomocji – aż 20% pracowników deklarowało, że dojeżdża do pracy rowerem.

6. Plan mobilności dla Politechniki Krakowskiej

Pierwszy w Polsce plan mobilności zrealizowany został w Krakowie, przez Katedrę Systemów Komunikacyjnych Politechniki Krakowskiej, w ramach projektu CIVITAS CARAVEL. Projekt skierowany jest do pracowników i studentów uczelni i ma na celu zmianę zachowań komunikacyjnych społeczności akademickiej w zakresie korzystania z proekologicznych środków transportu [6].

Politechnika Krakowska posiada kilka kampusów zlokalizowanych w różnych częściach miasta, a pracownicy i studenci podróżując ze swoich miejsc zamieszkania do i pomiędzy kampusami uczelni generują duży ruch. Badania ankietowe dotyczące zachowań komunikacyjnych i preferencji pracowników i studentów, przeprowadzone w 2006 i 2007 roku, tj. przed wprowadzaniem planu mobilności, na próbie ponad 2000 respondentów (530 pracowników, 750 studentów dziennych, 750 studentów zaocznych) wykazały, że społeczność akademicka w dużym stopniu korzystała z transportu publicznego w dojazdach do uczelni (Rys. 3). Równocześnie badania pokazały, że niekorzystnie wysoki był udział samochodów osobowych (50% w podróżach studentów zaocznych, 45% w podróżach pracowników i 11% w podróżach studentów dziennych). Śladowy odsetek (rzędu 1%) społeczności uczelnianej wykorzystywał rowery i wspólne użytkowanie samochodów osobowych w dojazdach do miejsc pracy i nauki [12].



Rys.3. Udział poszczególnych środków transportu w podróżach do kampusów Politechniki Krakowskiej, stan przed wdrożeniem planu mobilności – 2005 r.

Deklaracje respondentów potwierdziły, że gdyby poprawie uległy warunki podróżowania transportem publicznym (dodatkowa linia komunikacyjna pomiędzy wszystkimi kampusami uczelni, redukcja czasu przejazdu pomiędzy Osiedlem Akademickim, a kampusem przy ul. Warszawskiej) oraz rowerem (dodatkowe stojaki rowerowe na terenie uczelni, ścieżki rowerowe pomiędzy kampusami PK), pracownicy i studenci częściej podróżowaliby tymi środkami transportu [13].

Opierając się na przeprowadzonych inwentaryzacjach i analizach, mając na uwadze opinie społeczności akademickiej oraz zmiany, które miały nastąpić w obsłudze transportem zbiorowym kampusu przy ul. Warszawskiej (budowa nowego torowiska tramwajowego, uruchomienie nowych linii tramwajowych) w ramach planu mobilności zrealizowano następujące rozwiązania:

Platforma informacyjna na temat podróżowania w mieście

Stworzono internetową platformę “Info.Komunikacja” (www.info-komunikacja.one.pl) zawierającą informacje o proekologicznych środkach transportu:

- komunikacji zbiorowej w Krakowie,
- podróżowaniu rowerem w mieście,

- podróżowaniu w systemie carpooling, który w ramach projektu CARAVEL wdrożono na uczelni pod nazwą „Jedźmy razem”).

Na tej witrynie umieszczono również specjalny moduł pomagający w planowaniu podróży: po wskazaniu źródła i celu podróży oraz wyborze środka transportu (autobus, tramwaj lub samochód), moduł wskazuje użytkownikowi trasę (najkrótszą ścieżkę) oraz czas podróży.

Konsultant mobilności na Politechnice Krakowskiej

Na uczelni stworzono stanowisko tzw. konsultanta mobilności, który jest osobą doradzającą pracownikom i studentom w kwestii podróżowania do miejsc pracy, nauki i rozrywki, a jednocześnie wpływającą na proekologiczne zachowania komunikacyjne swoich klientów. Konsultant mobilności udziela informacji m.in. o:

- podróżowaniu środkami transportu zbiorowego, rowerem oraz w systemie carpooling;
- połączeniach PKS, kolejowych i lotniczych;
- wpływie poszczególnych środków transportu na środowisko;
- inwestycjach i planach rozwoju infrastruktury transportowej w Krakowie.

W pobliżu trzech wejść na teren uczelni przy ul. Warszawskiej zamontowano specjalne tablice informujące o możliwościach skorzystania z usługi konsultanta.

Polityka parkingowa

Do wjazdu i postoju na terenach Politechniki Krakowskiej uprawnieni są pracownicy oraz studenci zaoczni posiadający specjalne identyfikatory. W 2006 r. zostało wydanych ponad 1500 identyfikatorów pracownikom oraz ok. 800 identyfikatorów studentom zaocznym. 80% wszystkich identyfikatorów wykorzystywanych jest do wjazdu na teren kampusu przy ul. Warszawskiej, gdzie istnieje ok. 500 miejsc parkingowych. W przyszłości na tym terenie powstanie budynek nowej biblioteki, w związku z czym zlikwidowanych zostanie część miejsc postojowych. Aby zachęcić pracowników i studentów do korzystania z komunikacji zbiorowej zamiast prywatnego samochodu, a tym samym – aby złagodzić deficyt miejsc parkingowych na terenie Politechniki, w 2007 r. Władze Uczelni dwukrotnie zwiększyły koszt nabycia identyfikatora umożliwiającego parkowanie. W ankiecie przeprowa-

dzanej w październiku 2008 r. na próbie 660 respondentów, 5% pracowników i 9% studentów zaocznych podało, że zamieniło samochód osobowy na proekologiczne środki lokomocji, w związku ze zwiększeniem kosztu parkowania. Jednakże porównanie liczby identyfikatorów wydanych przed i po wprowadzeniu planu mobilności (w 2006 r. i ponownie w 2008 r.) pokazuje, że liczba identyfikatorów wydanych pracownikom zmniejszyła się ze 1550 do 1468, ale liczba identyfikatorów wydanych studentom zaocznym – zwiększyła: z 800 do 980.

Zauważyć można również niekonsekwencje w działaniach uczelni dotyczących polityki parkingowej, gdyż z jednej strony - zwiększając cenę identyfikatora zachęca się do ograniczenia podróży samochodami, a z drugiej - w miejscu niedawno wyburzonego budynku, planuje się budowę kolejnego parkingu dla samochodów.

Polityka rowerowa

W celu zaspokojenia wciąż rosnących potrzeb parkingowych rowerzystów, na terenie wszystkich kampusów uczelni zainstalowano 23 nowe stojaki, zwiększając liczbę miejsc postojowych dla rowerów o ok.120. Skrócono szlabany na jednej z bram wjazdowych na teren kampusu przy ul. Warszawskiej tak, aby zapewnić rowerzystom swobodny ruch pomiędzy szlabanami, a w pobliżu trzech wjazdów na teren uczelni zamontowano tablice informujące o rozmieszczeniu obiektów uczelnianych i stojaków rowerowych.



Rys. 4. Jeden z nowych stojaków rowerowych na terenie Politechniki Krakowskiej

Poprawa dostępności Uczelni transportem zbiorowym

W okresie realizacji planu mobilności zwiększyła się dostępność uczelni komunikacją tramwajową dzięki uruchomieniu linii tramwaju tradycyjnego i szybkiego z przystankami zlokalizowanymi w bliskim sąsiedztwie kampusu przy ul. Warszawskiej. Dzięki wprowadzeniu linii tramwajowych nr 5 oraz nr 12 społeczność akademicka zyskała bezpośrednie połączenie między kampusem w Czyżynach i kampusem przy ul. Warszawskiej oraz między kampusem przy ul. Warszawskiej i przy ul. Podchorążych.



Rys. 5. Nowe torowisko tramwajowe w pobliżu kampusu PK przy ul. Warszawskiej



Rys. 6. Podziemny przystanek tramwaju szybkiego w pobliżu kampusu PK przy ul. Warszawskiej

Koncepcja połączenia obiektów uczelni ścieżkami rowerowymi

Ścieżki rowerowe, zaplanowane w ramach koncepcji, miałyby połączyć następujące obiekty uczelni: kampusy przy ul. Warszawskiej, przy ul. Podchorążych, w Czyżynach oraz Osiedle Akademickie. Koncepcja zakłada dwa warianty: tymczasowy wymagający zmian w organizacji ruchu na kilku ulicach i wprowadzenia ułatwień dla rowerzystów (oznakowanie poziome i pionowe, obniżenie krawężników, itp.) oraz rozwiązanie docelowe obejmujące budowę ciągów komunikacyjnych. Zarząd Infrastruktury Komunalnej i Transportu w Krakowie wdrożył kilka z rozwiązań zaproponowanych w wariantcie tymczasowym.

Działania marketingowe i edukacyjne w ramach planu mobilności dla PK

W ramach planu mobilności dla Politechniki Krakowskiej przeprowadzono szereg akcji marketingowych i edukacyjnych: dystrybuowano ulotki i broszury, wygłaszano referaty na konferencjach, publikowano artykuły w czasopismach branżowych, organizowano szkolenia i warsztaty dla społeczności akademickiej.

Dużym zainteresowaniem wśród studentów cieszyły się także happeningi propagujące ruch rowerowy, transport publiczny oraz system carpooling. Atrakcjami towarzyszącymi tego typu imprezom były liczne konkursy (dotyczące systemu carpooling i maksymalnej liczby osób mogących pomieścić się w jednym samochodzie; usług, jakie powinien świadczyć konsultant mobilności, wyposażenia autobusu/tramwaju przemieszczającego się pomiędzy kampusami uczelni etc.), które umożliwiały uczestnikom zdobycie cennych nagród, ale były również okazją do przedstawienia pomysłów dotyczących sposobów podróżowania do uczelni. Dodatkowo studenci i pracownicy mieli możliwość oznakowania rowerów dla zabezpieczenia ich przed kradzieżą oraz korzystali z bezpłatnych usług serwisowych. Promowano ideę systemu „Jedźmy razem”, transport publiczny i nową usługę MPK – autobusy z bagażnikami na rowery. Happeningi kończyły się uroczystymi przejazdami rowerowymi, w których uczestniczyli przedstawiciele władz uczelni.



Rys. 7. Happening rowerowy (2007 r.)

Badania ankietowe przeprowadzone w październiku 2008 r., na grupie 990 respondentów, potwierdziły, iż dzięki działaniom w ramach planu mobilności, udział jednoosobowych podróży realizowanych samochodem w dojazdach do kampusów uczelni zmniejszył się - dla pracowników: z 45% do 41%, dla studentów zaocznych: z 50% do 30% [12]. Pracownicy i studenci realizują więcej podróży samochodem, dzieląc miejsce w pojeździe z innymi - udział podróży odbywanych w systemie carpooling w dojazdach do PK wzrósł - dla pracowników z: 1% do 5%, dla studentów dziennych: z 0% do 7%, dla studentów zaocznych: z 1% do 17%. W dojazdach pracowników do kampusów PK udział rowerów zwiększył się z 1% do 2%. Poza tym pakiet inicjatyw realizowanych w ramach planu mobilności został włączony do zapisów uchwalonej w 2007 r. Polityki Transportowej dla Miasta Krakowa, jako zestaw środków realizacji jej celów.

7. Podsumowanie

Odwołując się do przedstawionych w niniejszym artykule przykładów, zauważyć można, że plany mobilności są niewątpliwie po-

teżnym instrumentarium służącym zaspakajaniu potrzeb podróźnych i kształtowaniu ich proekologicznych postaw komunikacyjnych.

Realizacja planów mobilności zapewnia wiele korzyści zarówno dla adresatów projektu, przedsiębiorstw (instytucji) wdrażających oraz społeczności miast.

Wśród korzyści odnoszonych przez pracowników instytucji i ich klientów wymienić można:

- poprawę dostępności przedsiębiorstw/instytucji/obszarów;
- dostarczenie szerokiego wachlarza możliwości alternatywnego podróżowania w stosunku do samochodu prywatnego;
- poprawę świadczonych usług, w tym warunków podróży transportem publicznym, rowerem, pieszo;
- poprawę bezpieczeństwa komunikacyjnego i osobistego użytkowników;
- redukcję czasu i kosztów podróży;
- okazję do codziennej aktywności fizycznej (podróże rowerowe, piesze).

Korzyści, które są odnoszone przez instytucje i przedsiębiorstwa wynikają z:

- poprawy dostępności przedsiębiorstwa (dla pracowników i klientów);
- redukcji kosztów i trudności związanych z parkowaniem;
- poprawy stosunków z mieszkańcami pobliskich obszarów (w skutek zmniejszenia uciążliwości związanych z parkowaniem ich pojazdów oraz z redukcją hałasu);
- zmniejszenia liczby wypadków podczas podróży do pracy (mniejsza absencja pracowników);
- bardziej efektywnego wykorzystania samochodów będących własnością instytucji;
- budowania proekologicznego i innowacyjnego wizerunku przedsiębiorstwa (pomocnego w staraniu się o fundusze UE);

Realizacja planów mobilności wpływa na zwiększenie udziału proekologicznych środków transportu w podróżach w mieście (w tym transportu publicznego), powstrzymuje wzrost zatłoczenia komunikacyjnego oraz trudności parkingowych. Tego typu inicjatywy korzystnie oddziałują na procesy planowania, realizacji i funkcjonowania infrastruktury transportowej, wpływają pośrednio na redukcję liczby wypadków, zanieczyszczeń powietrza i hałasu.

Bibliografia

- [1] Caravel Inception Report, Contract No. 513553, Kraków, 2005.
- [2] Rudnicki A.: Innowacyjny projekt Unii Europejskiej Caravel szansą zrównoważonego rozwoju transportu Krakowa. Transport Miejski i Regionalny, nr 6/2006.
- [3] Reiser J., Zaleski W.: Studium Podstawowych Tras Rowerowych w Krakowie. Kraków 2003.
- [4] Studium uwarunkowań i kierunków zagospodarowania przestrzennego Miasta Krakowa. Załącznik do Uchwały nr XII/87/03 Rady Miasta Krakowa z dnia 16 kwietnia 2003 r.
- [5] Jachym K., Nosal K.. Uwarunkowania i założenia systemu zarządzania mobilnością pracowników i studentów Politechniki Krakowskiej. Praca magisterska, Kraków 2005.
- [6] Nosal K.: Zintegrowany plan mobilności dla Politechniki Krakowskiej. Konferencja Wspomaganie decyzji w projektowaniu i zarządzaniu transportem. SITK, Poznań, 2007.
- [7] Definition and Categorisation of Mobility Management Measures. Materiały projektu MAX "Successful Travel Awareness Campaigns and Mobility Management Strategies", 2007. www.epomm.org/docs/MAX_Defn_catgsn_MM_measures_Final.doc.
- [8] Company travel plans: Nantes case study. Materiały inicjatywy CIVITAS, www.civitas.eu.
- [9] Caravel Inception Report, 11.8 Integrated mobility actions for the San Martino Hospital. Genoa 2005.
- [10] Caravel evaluation report, 11.8 Integrated mobility actions for the San Martino Hospital. Genoa 2008.
- [11] Strona internetowa: www.mobilitymanagement.be.
- [12] Caravel evaluation report, 11.9 An integrated mobility plan for the Technical University of Krakow. Kraków 2008.
- [13] Kościelniak M., Odelga M.: Analiza zachowań i preferencji komunikacyjnych studentów i pracowników Politechniki Krakowskiej jako podstawa opracowania planu mobilności w ramach programu CIVITAS – Caravel. Kraków 2007.

MOBILITY PLANS INFLUENCE ON THE CHANGE OF TRANSPORT BEHAVIOURS

Summary

The mobility management concept as well as some examples of the mobility plans which are the fundamental instruments of the mobility management have been presented in the paper. The mobility plan includes activities for promotion of sustainable mobility modes: bikes, public transport, walking trips and some new means of private car usage (carpooling, carsharing systems). It contains also some solutions which realize an idea of sustainable transportation. The mobility plan activities allow to fulfil travellers' mobility needs and shape their mobility behaviours.

Keywords: *sustainable mobility, mobility management, mobility plan, travel behaviors.*

EINFLUSS DER MOBILITÄTSPLÄNE AUF DIE ÄNDERUNG DER VERKEHRSVERHALTENWEISE

Zusammenfassung

Der Vortrag stellt eine Konzeption der Mobilitätsverwaltung, sowie den Mobilitätsplan – einer von häufigsten angewandten Instrumenten der Mobilitätsverwaltung, dar. Der Mobilitätsplan bedeutet ein Satz von Handlungen, die die proökologischen Verkehrsmittel: der öffentliche Verkehr, die Fahrrad, die Fußbewegung und die gemeinsame Benutzung von Personenkraftwagen (Systeme: carpooling und carsharing) promovieren. Er enthält auch eine Reihe von Mitteln und Lösungen, die die Idee der ausgeglichenen Mobilität verwirklichen. Die Handlungen, die in Rahmen der Mobilitätspläne realisiert werden, lassen die Verkehrsbedürfnisse befriedigen, sowie die Verkehrsverhaltenweise beeinflussen.

Die Schlüsselwörter: *die ausgeglichene Mobilität, die Mobilitätsverwaltung, der Mobilitätsplan, die Verkehrsverwaltungsweise*

Andrzej Rudnicki¹

Iwona Wojnar²

RUCHOTWÓRCZOŚĆ OBIEKTÓW HOTELOWYCH NA PRZYKŁADZIE KRAKOWA

Streszczenie

Na podstawie pomiarów przeprowadzonych w 10 wybranych hotelach Krakowa oszacowano wzory regresji na potencjał ruchotwórczy, jaki wywołują. Wzory te uzależniają liczbę wjeżdżających i wyjeżdżających pojazdów w ciągu godziny szczytu porannego i popołudniowego od liczby pokoi w hotelu, bądź od liczby miejsc postojowych na przyhotelowym parkingu bądź od opłaty za parkowanie. W sytuacji maksymalnego obłożenia pokoi w hotelu, jeden pokój generuje przeciętnie w godzinie szczytu po ok. 0,15 wjazdów i wyjazdów, a jedno miejsce parkingowe - po ok. 0,2 wjazdów i wyjazdów.

Słowa kluczowe: *obiekty hotelowe, potencjał ruchotwórczy, formuły regresji, prognozowanie ruchu*

1. Wprowadzenie

Ruchotwórczość obiektu wynika z podejmowanych w tym obiekcie aktywności, wywołujących podróże, których źródłem bądź celem jest ten obiekt. Miarą ruchotwórczości jest potencjał ruchu, który ma charakter dwuwartościowy. Potencjał wytwarzający ruch jest to liczba podróży rozpoczynających się na wyodrębnionym obszarze w jednostce czasu (godz. lub doba). Potencjał absorbujący ruch jest to liczba podróży kończących się na wyodrębnionym obszarze (będącym celem

¹ prof. dr hab. inż., Instytut Inżynierii Drogowej i Kolejowej Politechniki Krakowskiej, e-mail: ar@transys.wil.pk.edu.pl

² studentka Wydziału Inżynierii Lądowej Politechniki Krakowskiej, e-mail: skrzyinkaivony@o2.pl

podróży) w jednostce czasu. Potencjał ruchotwórczy odnosi się może do osób, jednostek ładunku bądź pojazdów (sam. osobowych, ciężarowych, umownych).

Dominującym sposobem wyznaczania potencjałów ruchotwórczych jest korzystanie z modeli regresji. Wymaga to ustalenia czynników wpływu czyli zmiennych objaśniających, wyrażających intensywność realizacji określonej aktywności. Modelowanie potencjałów ruchotwórczych odnosi się najczęściej do poziomu agregacji – rejon komunikacyjny miasta. Natomiast rzadko podejmowane są próby modelowania potencjałów ruchotwórczych pojedynczych obiektów – czyli w skali mikro. Jednak określenie wielkości ruchu związanego z obiektem ma coraz większe znaczenie, gdyż zarządca infrastruktury drogowej wydając oświadczenie o warunkach przyłączenia obiektu do drogi publicznej chce znać tego skutki ruchowe, m. in. czy dodatkowy ruch generowany przez obiekt nie spowoduje kongestii na drodze, czy będzie zapewniona przepustowość wlotów z obiektu do drogi i czy nie zajdzie potrzeba zainstalowania sygnalizacji świetlnej na włączeniu. Odpowiedź na te pytania będzie dopiero możliwa, jeśli określi się spodziewane prognostyczne natężenie ruchu samochodowego związanego z obiektem. Dlatego przedmiotem analizy w niniejszym referacie będzie potencjał ruchotwórczy krakowskich hoteli, wyrażony w pojazdach, czyli nie będzie obejmował podróży realizowanych pieszo bądź środkami komunikacji miejskiej. Niestety, rok 2009 okazał się drugim z rzędu rokiem z wiele niższym niż poprzednio ruchem turystycznym w Krakowie, stąd zarejestrowany obraz natężeń ruchu związanego z hotelami odbiega od tego, jaki był przy maksymalnym wykorzystaniu miejsc noclegowych.

Artykuł posiłkuje się wynikami pracy dyplomowej [7] współautorki opracowania.

2. Dobór próby do analiz

Z pośród 108 krakowskich hoteli [1] do analiz wybrano próbę 10-elementową, przy czym liczba elementów w próbie dla określonego standardu odzwierciedla w przybliżeniu rozkład w badanej popula-

cji: 5 spośród wybranych hoteli ma trzy gwiazdki, 2 - mają cztery gwiazdki, 2 - dwie gwiazdki i 1- pięć gwiazdek. Spośród wybranych obiektów 4 są zlokalizowane w centrum, a 6 - poza śródmieściem w różnych rejonach Krakowa (rys. 1). Dokonując wyboru zwracano również uwagę na liczbę pokoi, dlatego 5 z dobranych hoteli to obiekty duże, posiadające więcej niż 100 pokoi noclegowych, a pozostałe 5 to hotele mniejsze. 9 spośród wybranych hoteli posiada parkingi, na których goście mogą pozostawić swoje samochody, przy czym 4 z nich są parkingami płatnymi. Wszystkie obserwowane parkingi były wydzielone i jednopoziomowe. W tab. 1 zestawiono charakterystyczne informacje o wybranych hotelach; dane te będą wykorzystane w dalszych analizach.

Tablica 1. Podstawowe dane liczbowe [5] dotyczące analizowanych hoteli

Nazwa hotelu	Ilość gwiazdek	Liczba pokoi	Liczba łózek	Liczba miejsc parkingowych	Wskaźnik liczby miejsc parkingowych na pokój	Oplata [zł] za dobę parkowania sam. osob.
Holiday Inn	5	154	264	48	0,18	70
Novotel Bronowice	4	305	610	260	0,85	40
Best Western Premier	4	169	338	100	0,59	30
Express	3	182	364	120	0,66	30
Florian	3	19	40	15	0,79	0
Batory	3	47	110	20	0,43	0
Start	2	68	164	50	0,74	0
Etap	2	120	256	85	0,71	0
Elektor	3	15	27	1	0,07	0
Pollera	3	42	88	8	0,19	0

Domniemane czynniki wpływu na potencjał ruchotwórczy to: liczba pokoi, liczba miejsc parkingowych i ew. wysokość opłaty za parkowania. Zrezygnowano z analizowania wpływu liczby łózek, gdyż jest ona silnie skorelowana z liczbą pokoi.



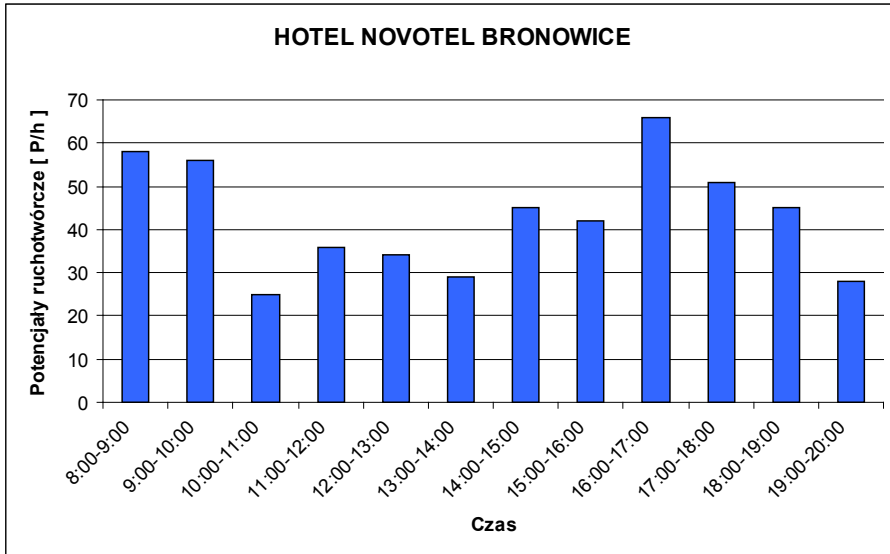
Rys.1. Lokalizacja hoteli będących przedmiotem analiz

3. Pomiary ruchu i ich wyniki

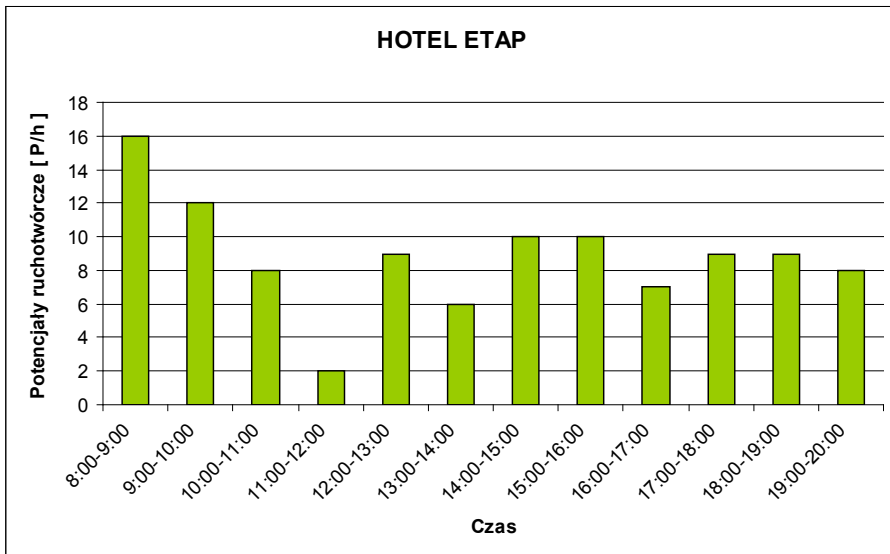
Badania ruchu obejmowały pomiary natężenia ruchu poprzez zliczanie w kolejnych 5-minutowych przedziałach czasu liczby pojazdów wjeżdżających na tereny obiektów i z nich wyjeżdżających. Równocześnie prowadzony był pomiar liczby parkujących samochodów.

Początkowo planowano przeprowadzenie badań ankietowych wśród klientów hoteli. Okazało się to jednak niemożliwe, gdyż skierowana do

kierownictw wielu krakowskich hoteli prośba o pozwolenie na przeprowadzenie takich badań, została niestety odrzucona. Decyzje te argumentowano tym, że hotele nie mogą sobie pozwolić na niepokojenie w ten sposób swoich gości; jednakże powodem zasadniczym była jak to określano „tajemnica handlowa”.



Rys. 2. Rozkład godzinnych natężeń ruchu (suma ruchu wjazdowego i wyjazdowego) w ciągu dnia przy hotelu Novotel Bronowice

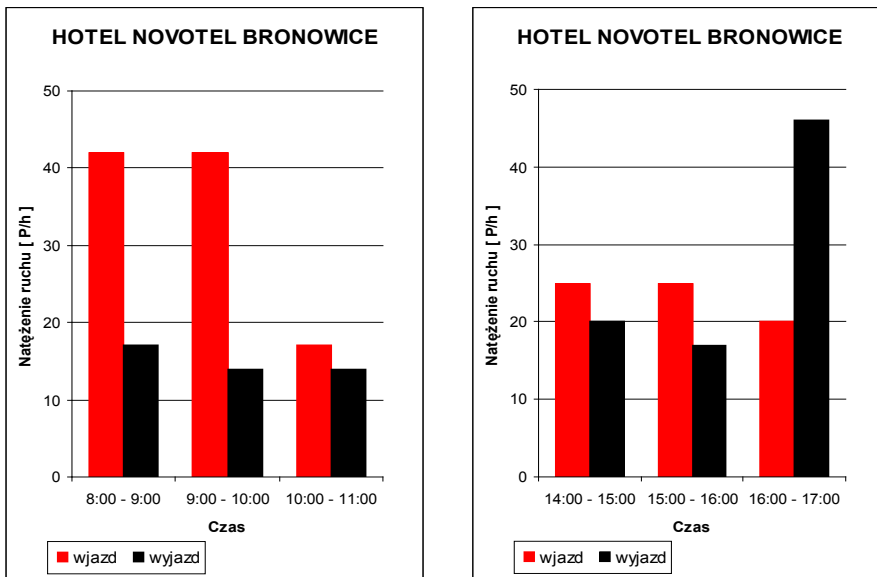


Rys. 3. Rozkład godzinnych natężeń ruchu (suma ruchu wjazdowego i wyjazdowego) w ciągu dnia przy hotelu Etap

W celu wyznaczenia godzin szczytowych przeprowadzono przy dwóch hotelach (Novotel Bronowice oraz Etap) 12 godzinny pomiar od godz. 8:00 do 20:00. Wyniki przedstawiono w formie wykresów na rys. 2 i 3. Natężenie ruchu wjazdowego oraz wyjazdowego jest tożsame z wielkością potencjału ruchotwórczych, odpowiednio: absorbującego ruch oraz wytwarzającego ruch.

Po analizie rozkładu natężeń godzinnych uznano, że trzygodzinnymi okresami szczytów są w okresie porannym: 8:00÷11:00, a w okresie popołudniowym: 14:00÷17:00. Dla pozostałych hoteli przeprowadzono pomiary tylko w tych dwóch 3- godzinnych okresach. Wszystkie pomiary przeprowadzone zostały w dzień powszedni w pierwszej połowie lipca 2009 r. Pomiar objął także rejestrację struktury rodzajowej pojazdów.

Analizy wykresów zarejestrowanych natężeń ruchu w krótkich 5-minutowych przedziałach wykazały duży wpływ czynnika losowego na ich wielkość i tym samym - dużą zmienność w ciągu okresu obserwacji. Godzinne natężenia wykazują tendencję do stabilizacji, co pokazują wykresy na przykładzie hotelu Novotel Bronowice (rys. 4). Zestawienie wartości potencjałów ruchotwórczych dla analizowanych hoteli dla szczytu porannego i popołudniowego zawierają odpowiednio tab. 2 i 3. Wytluszczoną czcionką zaznaczono największy ruch godzinowy.



Rys. 4. Potencjały ruchotwórcze dla hotelu Novotel Bronowice:
a) szczyt poranny b) szczyt popołudniowy

Tablica 2. Wartości potencjałów ruchotwórczych dla analizowanych hoteli - szczyt poranny

Nazwa hotelu	Potencjały ruchotwórcze [w pojazdach na godzinę]					
	8:00÷9:00		9:00÷10:00		10:00÷11:00	
	wjazd	wyjazd	Wjazd	wyjazd	wjazd	wyjazd
Holiday Inn	9	12	15	14	15	15
Novotel Bronowice	42	17	42	14	17	14
Best Western Premier	4	7	5	8	1	3
Express	7	10	4	10	4	5
Florian	1	0	2	2	2	3
Batory	9	5	15	12	5	8
Start	6	4	9	9	7	11
Etap	7	9	3	9	1	7
Elektor	3	2	1	1	1	2
Pollera	2	2	2	2	0	2

Tablica 3. Wartości potencjałów ruchotwórczych dla analizowanych hoteli - szczyt popołudniowy

Nazwa hotelu	Potencjały ruchotwórcze [w pojazdach na godzinę]					
	14:00÷15:00		15:00÷16:00		16:00÷17:00	
	wjazd	wyjazd	wjazd	wyjazd	wjazd	wyjazd
Holiday Inn	13	12	18	14	6	9
Novotel Bronowice	25	20	25	17	20	46
Best Western Premier	5	5	5	10	4	9
Express	7	6	8	9	7	9
Florian	1	1	2	1	3	4
Batory	3	4	2	4	3	5
Start	8	7	11	10	6	8
Etap	6	4	6	5	3	4
Elektor	1	1	2	2	0	0
Pollera	1	1	3	2	1	1

W większości analizowanych przypadków między godziną 14:00 a 16:00 odnotowywano więcej wjazdów, natomiast po 16:00 - więcej wyjazdów. Podobne zależności zauważalne są rano: w godzinie od 8:00 do 9:00 więcej samochodów wjeżdża na tereny obiektów, natomiast w następnych godzinach sytuacja się odwraca. Biorąc pod uwagę godziny zameldowania i wymeldowania gości hotelowych, więcej wyjazdów powinno być zarejestrowanych przed południem, a przyjazdów - po południu. Zasadę tę zakłócają podróże pracowników hoteli oraz służb zewnętrznych obsługujących hotel. Ponadto dość często goście hotelowi po wymeldowaniu zostawiają bagaże w depozycie hotelowym, a samochody na parkingach i wracają po nie dopiero po południu. W przypadku hoteli Pollera i Elektor większość samochodów dowożących użytkowników tych obiektów stanowiły taksówki, a to ze wzglę-

du na mały parking lub jego brak, tak jak jest w przypadku hotelu Elektor.

4. Modelowanie potencjałów ruchotwórczych

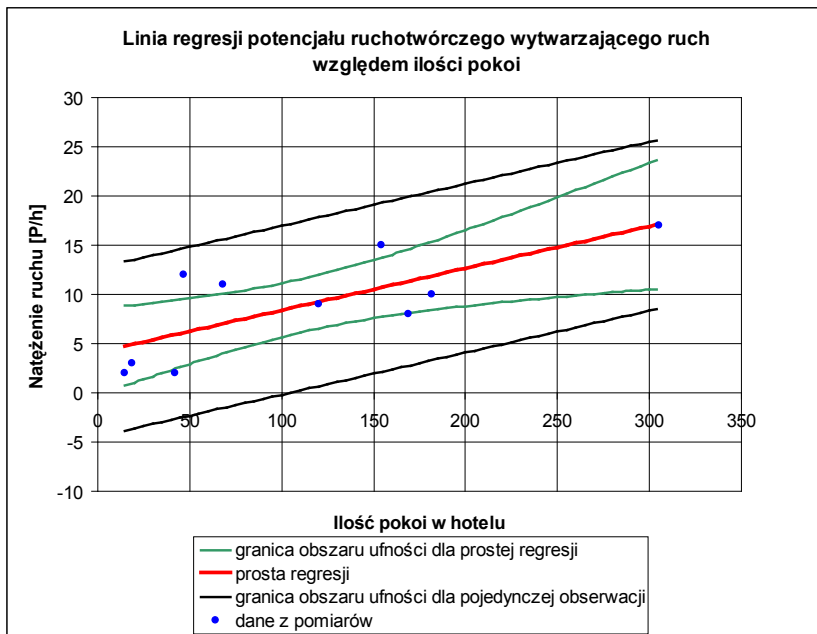
Tworzenie modelu ruchotwórczości będzie polegało na ustaleniu analitycznego związku między zmienną objaśnianą - potencjałem ruchotwórczym hotelu, a zmiennymi objaśniającymi: liczbą pokoi w hotelu, liczbą miejsc parkingowych i opłatą za parkowanie. W tym celu zastosowano rachunek korelacji i regresji. Korelacja R określa siłę zależności między badanymi zmiennymi, podczas gdy regresja określa jej kształt. Ze względu na przypuszczalne skorelowanie w/w zmiennych objaśniających zrezygnowano ze stworzenia jednego modelu wieloczynnikowego na rzecz zestawu modeli jednoczynnikowych postaci: $\bar{Y} = a_0 + a_1 x$.

Estymacja współczynników równań regresji obejmowała przypadki: potencjału wytwarzającego ruch oraz potencjału absorbującego ruch, każdy dla szczytu porannego i popołudniowego. Dla skonstruowania przedziału ufności dla linii regresji oraz przedziału ufności dla pojedynczej obserwacji przyjęto poziom ufności $1-a = 0,95$. Liczebność próby wynosiła 10; pozyskane dane zawierają 12 zestawów po 10 par wyników $(x_i; y_i)$. W procedurze przetwarzania wyników pomiarów posłużono się zasadami podanymi w [4].

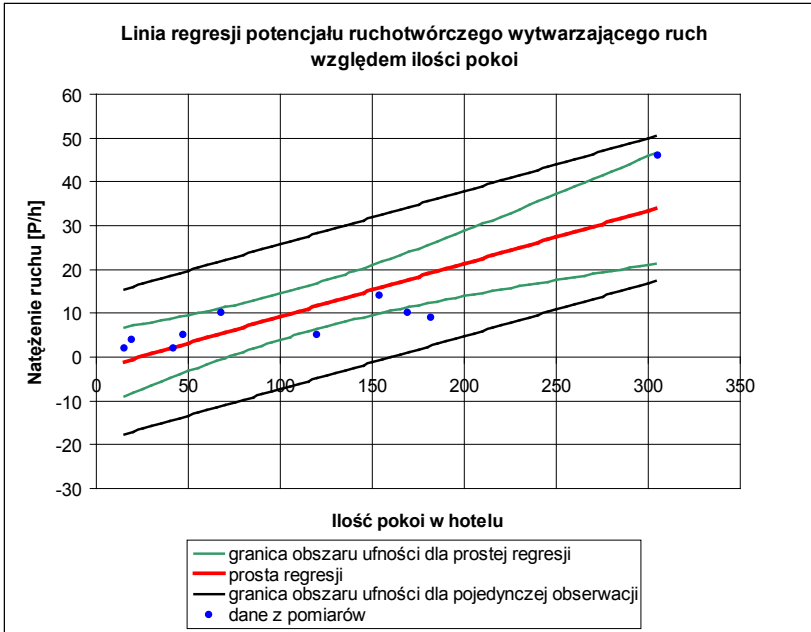
Wyniki estymacji wzorów regresji zestawiono w tab. 4. Dotyczą one stopnia zajęcia pokoi występującego w okresie pomiarów. Rysunki od 5 do 8 przedstawiają linie regresji potencjałów ruchotwórczych wraz z wymienionymi wyżej przedziałami ufności dla czynnika wpływu: liczba pokoi hotelowych, natomiast rysunki od 9 do 12 - dla czynnika wpływu: liczba miejsc parkingowych. Automatyczny sposób tworzenia wykresów w programie Excel 2003 powoduje, że linie wchodzą w swych fragmentach na zakres wartości ujemnych, co oczywiście nie może odpowiadać rzeczywistości.

Tablica 4. Wzory regresji na potencjał ruchotwórczy oraz wartości średniego błędu szacunku i współczynnika korelacji

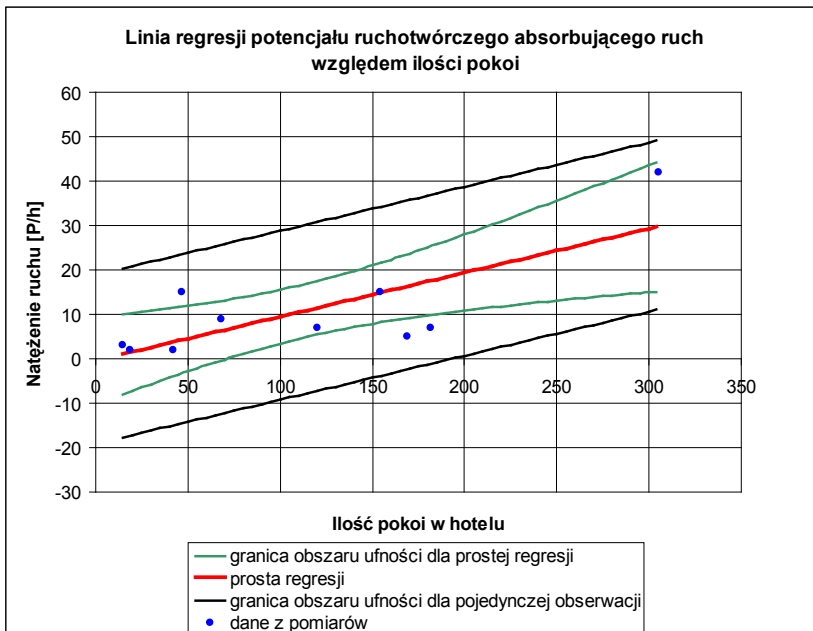
Zmienna objaśniająca x	Rodzaj potencjału	Szczyt	Potencjał ruchotwórczy \bar{Y} [poj./h]	Średni błąd szacunku S [poj./h]	Współczynnik korelacji R
Liczba pokoi	wytwarzający ruch	poranny	$4,1 + 0,04 x$	3,7	0,75
		popołudniowy	$-2,8 + 0,12 x$	7,1	0,86
	absorbujący ruch	poranny	$-0,4 + 0,10 x$	8,2	0,76
		popołudniowy	$0,9 + 0,07 x$	4,7	0,81
Liczba miejsc parkingowych	wytwarzający ruch	poranny	$5,7 + 0,05 x$	4,1	0,67
		popołudniowy	$0,04 + 0,15 x$	5,9	0,90
	absorbujący ruch	poranny	$1,9 + 0,12 x$	7,4	0,81
		popołudniowy	$3,1 + 0,07 x$	5,2	0,76
Cena za parkowanie [zł/dobę]	wytwarzający ruch	poranny	$6,5 + 0,14 x$	4,3	0,64
		popołudniowy	$5,8 + 0,28 x$	11,6	0,54
	absorbujący ruch	poranny	$6,8 + 0,22 x$	11,3	0,46
		popołudniowy	$4,6 + 0,22 x$	5,7	0,70



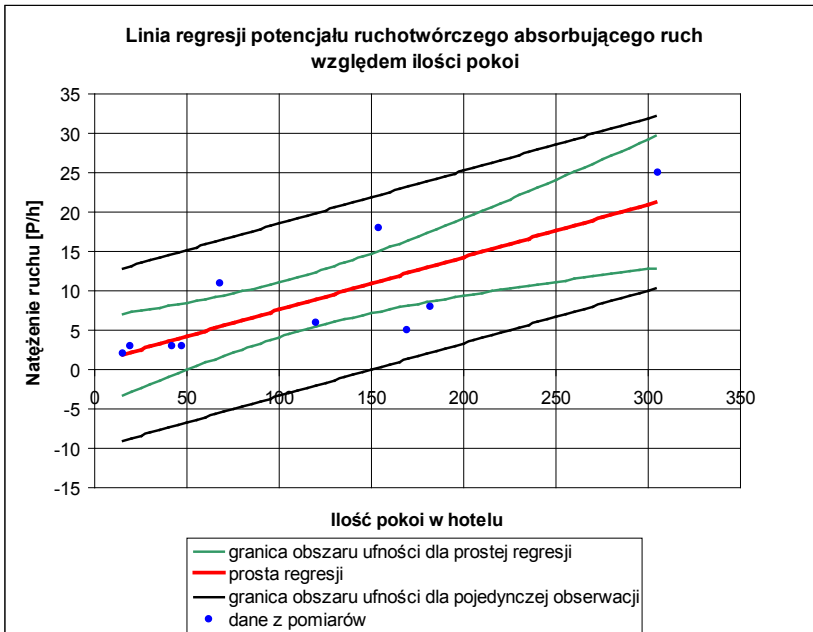
Rys.5. Linia regresji potencjału ruchotwórczego \bar{Y} wytwarzającego ruch względem liczby pokoi x; szczyt poranny: $\bar{Y} = 4,1 + 0,04 x$



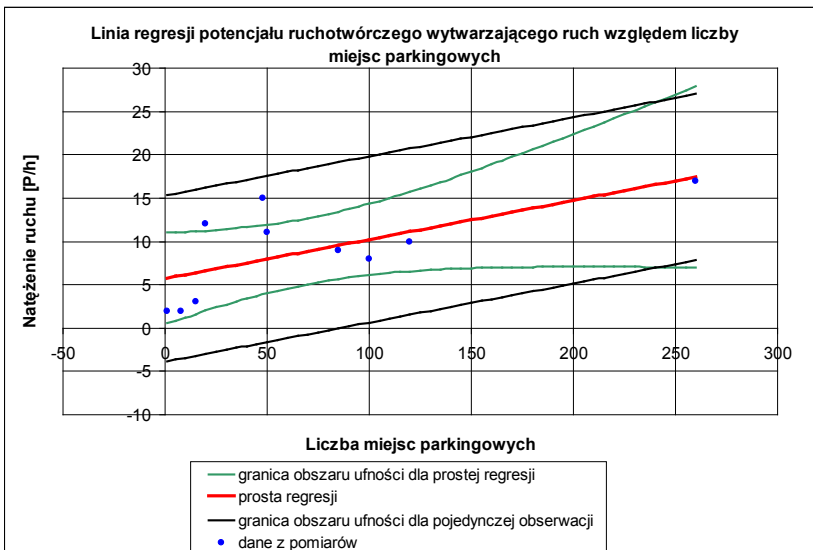
Rys. 6. Linia regresji potencjału ruchotwórczego \bar{Y} wytwarzającego ruch względem liczby pokoi x ; szczyt popołudniowy: $\bar{Y} = -2,8 + 0,12x$



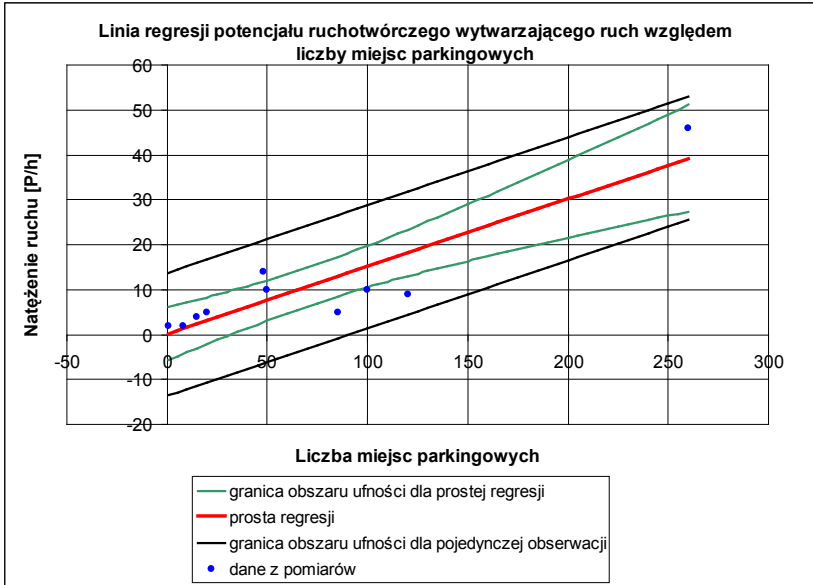
Rys. 7. Linia regresji potencjału ruchotwórczego \bar{Y} absorbującego ruch względem iczby pokoi x ; szczyt poranny: $\bar{Y} = -0,4 + 0,1x$



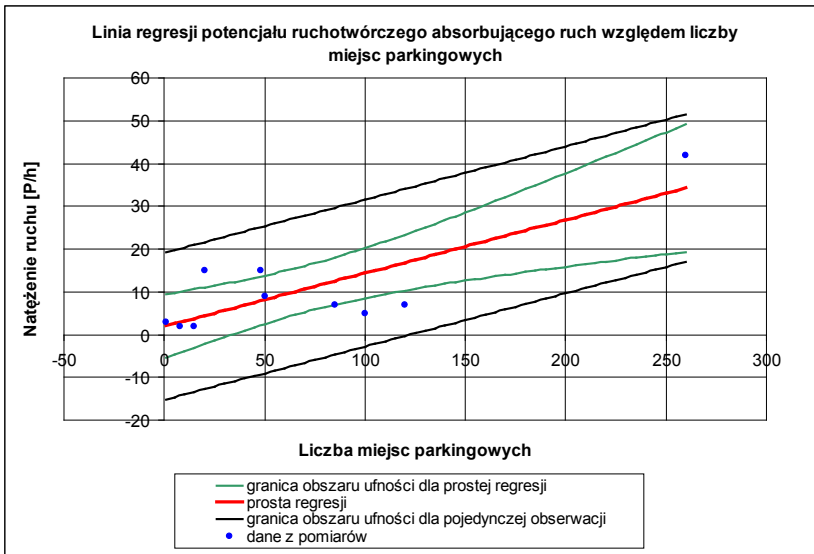
Rys. 8. Linia regresji potencjału ruchotwórczego \bar{Y} absorbującego ruch względem liczby pokoi x ; szczyt popołudniowy: $\bar{Y} = 0,9 + 0,07 x$



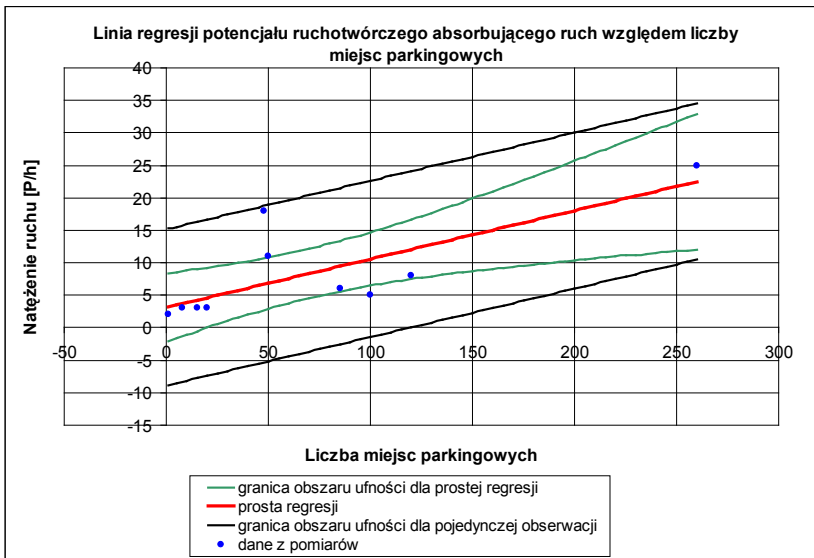
Rys. 9. Linia regresji potencjału ruchotwórczego \bar{Y} wytwarzającego ruch względem liczby miejsc parkingowych x ; szczyt poranny: $\bar{Y} = 5,7 + 0,05 x$



Rys. 10. Linia regresji potencjału ruchotwórczego \bar{Y} wytwarzającego ruch względem liczby miejsc parkingowych x ; szczyt popołudniowy: $\bar{Y} = 0,04 + 0,15 x$



Rys. 11. Linia regresji potencjału ruchotwórczego \bar{Y} absorbującego ruch względem liczby miejsc parkingowych x ; szczyt poranny: $\bar{Y} = 1,9 + 0,12 x$



Rys. 12. Linia regresji potencjału ruchotwórczego \bar{Y} absorbującego ruch względem liczby miejsc parkingowych x ; szczyt popołudniowy $\bar{Y} = 3,1 + 0,07 x$

Liczba pokoi i liczba miejsc parkingowych są silnie ze sobą skorelowane ($R = 0,95$), dlatego występuje wiele podobieństw w funkcjach regresji potencjałów ruchotwórczych względem tych zmiennych oraz w wartościach współczynnika korelacji R . Wzrost liczby pokoi o 10 powoduje wzrost godzinowego natężenia ruchu o wartości z przedziału $\langle 0,4; 1,2 \rangle$, tymczasem taki sam wzrost liczby miejsc postojowych niesie za sobą wzrost potencjałów ruchotwórczych o wartości w granicach $\langle 0,5; 1,5 \rangle$. Wartość współczynnika determinacji R^2 dla wymienionych wyżej czynników wpływu wynosi przeciętnie $0,8^2 = 0,64$ co oznacza, że 64% zmian w potencjale ruchotwórczym zostało wywołanych zmianami w liczbie pokoi bądź w liczbie miejsc parkingowych. Dla czynnika wpływu „opłata za parkowanie” R wynosi przeciętnie 0,6 czyli wpływ tego czynnika opisuje tylko 36% zmian w wielkości potencjału ruchotwórczego, stąd predykcyjna przydatność formuł regresji dla tego czynnika wpływu jest znikoma.

Na rysunkach od 5 do 12 widać, że poszczególne pomierzone wartości potencjału ruchotwórczego odchylają się od linii regresji. W części jest to skutkiem oddziaływań losowych, a w części - nie uwzględnienia takich czynników jak: lokalizacja obiektu, w tym odległość od

centrum; ilość gwiazdek i cena noclegu w hotelu; liczba pracowników dojeżdżających do hotelu samochodem; skala realizowanych funkcji konferencyjnych przez hotel, jak również to czy obiekt jest nastawiony głównie na przyjmowanie turystów czy klientów przyjeżdżających do miasta w interesach, a także nie uwzględnienia wiele innych czynników tu nie wymienionych.

Wykorzystanie wyników analiz do prognozowania ruchu dla nowo projektowanych hotelach ze względu na wspomniany rozrzut wyników wymaga odwołania się nie do spodziewanych wartości przeciętnych wyznaczonych wzorem regresji, lecz do wartości większych np. odczytanych na górnej granicy przedziału ufności dla linii regresji bądź wartości liczonej jako $\bar{Y} + S$ (średni błąd szacunku z tab. 4). Wzięcie dla celów prognostycznych wartości z górnej granicy przedziału ufności dla pojedynczej obserwacji byłoby generalnym zawyżeniem wyników, gdyż oznaczałoby, że wartości mniejsze wystąpią aż w 95% prognozowanych przypadków.

5. Potencjały ruchotwórcze przy maksymalnym wykorzystaniu pokoi w hotelu

Liczba zajętych pokoi w poszczególnych hotelach w dniu pomiarów okazała się być niedostępna. Aby jednak sprowadzić uzyskane wyniki do stanów pełnego obłożenia pokoi posłużono się danymi statystycznymi, przy czym dostępne były tylko dane [2] za 12 miesięcy 2008 r. Generalnie ocenia się, że średni stopień wykorzystania miejsc w hotelach krakowskich w 2009 r. jest zbliżony do 2008 r., w którym to roku wynosił – zależnie od kategorii obiektów: w hotelach pięciogwiazdkowych – 61 %, w czterogwiazdkowych – 57%, w trzygwiazdkowych – 57%, a w dwugwiazdkowych – 51%. Przy założeniu, że podczas przeprowadzonych pomiarów ruchu w wybranych dziesięciu hotelach stopień wykorzystania miejsc był równy powyższym wartościom, to można za pomocą zestawionych wyżej wartości współczynników korygujących określić w przybliżeniu potencjały ruchotwórcze wytwarzające i absorbujące ruch w tych obiektach przy maksymalnym wykorzystaniu pokoi. Przyjmując, że ze względów operacyjnych stopień ten nie przekracza 90%, to aby uzyskać prognozę ruchu przy maksymalnym obłożeniu pokoi należy uzyskane wyniki przemnożyć przez współczynnik

zwiększający, który wynosi dla hoteli: pięciogwiazdkowych – 1,5; czterogwiazdkowych i trzygwiazdkowych – 1,6; dwugwiazdkowych – 1,8.

Generalizując i upraszczając formuły regresji pokazane w tab. 4 oszacowano wartości potencjału ruchotwórczego przy maksymalnym obłożeniu pokoi hotelowych, co zestawiono w tab. 5. Przy okazji sprawdzono obliczeniami, że wszystkie obiekty znajdujące się poza śródmieściem Krakowa są przygotowane na większy ruch w przypadku pełnego wykorzystania pokoi, czyli pojemność parkingów w tych hotelach jest w stanie przejąć spodziewany popyt na miejsca postojowe, co także skonfrontowano z wartościami uzyskanymi wg wytycznych niemieckich [3].

Tablica 5. Zestawienie uproszczonych formuł dla oszacowania potencjałów ruchotwórczych przy maksymalnym wykorzystaniu miejsc hotelowych

Zmienna objaśniająca X	Rodzaj potencjału	Szczyt	Potencjał ruchotwórczy [poj./h]
Liczba pokoi	wytwarzający ruch	poranny	0,12 x
		popołudniowy	0,18 x
	absorbujący ruch	poranny	0,15 x
		popołudniowy	0,12 x
Liczba miejsc parkingowych	wytwarzający ruch	poranny	0,15 x
		popołudniowy	0,24 x
	absorbujący ruch	poranny	0,20 x
		popołudniowy	0,15 x

Z powyższego zestawienia wynika, że potencjał wytwarzający ruch w godzinie szczytu popołudniowego jest o ok. 50% większy niż w godzinie szczytu porannego. Potencjał absorbujący ruch jest w godzinie szczytu porannego o ok. 25% większy niż w godzinie szczytu popołudniowego. W godzinie szczytu porannego potencjał absorbujący ruch jest o ok. 50% większy niż potencjał wytwarzający ruch. Natomiast w godzinie szczytu popołudniowego potencjał wytwarzający ruch jest o ok. 50% większy niż potencjał absorbujący ruch. Powyższe zestawienia porównawcze podają wartości przeciętne z wyników dla obu czynników wpływu (liczba pokoi i liczba miejsc parkingowych) i co charakterystyczne – charakter wpływu tych czynników niewiele się różni. Wynika to ze stwierdzonej korelacji pomiędzy liczbą pokoi a liczbą miejsc postojowych na parkingu.

Uzyskane wyniki wydają się być zaskakujące, bo intuicja podpowiada, że powyższe relacje powinny mieć odwrotny kierunek. Wydawałoby się, że w szczycie porannym wyjazdy powinny dominować nad przyjazdami, a w szczycie popołudniowym - na odwrót. Na zaobserwowany obraz ruchu w godzinach porannych przypuszczalnie mają duży wpływ przyjazdy taksówek po gości hotelowych oraz przyjazdy pracowników i uczestników konferencji odbywających się w hotelu.

Można dokonać zgrubnego oszacowania, że (przy pełnym wykorzystaniu miejsc hotelowych) jeden pokój generuje w okresach szczytowych natężenie ruchu wjazdowego oraz wyjazdowego po ok. 0,15 poj./h. Natomiast, jeśliby natężenie ruchu szacować na podstawie miejsc parkingowych, to jedno miejsce postojowe generuje po ok. 0,2 poj./h. Powyższe wartości wskaźników wskazują na dość niską ruchliwość samochodową gości hotelowych. Może to wynikać z dużego udziału ruchu turystycznego w Krakowie, obsługiwanego autobusami wycieczkowymi, a także przejmowaniem innych podróży przez miejską komunikacją zbiorową. Ponadto – w przypadku hoteli zlokalizowanych w centrum – dużo podróży odbywanych jest pieszo.

Ze względu na stosunkowo niewielką próbę i przeprowadzony pojedynczy pomiar (realizowany przez 1 osobę - dyplomantkę) do uogólniania uzyskanych wyników należy podchodzić z wielką ostrożnością. Przedstawione rozważania i analizy - jako sondażowe i pilotażowe - należy traktować bardziej jako ilustrację metodyki postępowania niż jako wiążące dla celów prognostycznych ustalenie wartości potencjałów ruchotwórczych obiektów hotelowych. Pełne analizy powinny obejmować wielokrotny pomiar przy każdym z badanych hoteli oraz uwzględniać także inne niż Kraków miasta. Ufność wyników zależy od posiadania danych o aktualnym wykorzystaniu miejsc w hotelu, co może być trudne do uzyskania. Dopełnieniem badań powinna być weryfikacja modelu oraz badanie jego wrażliwości.

Bibliografia

- [1] Biuletyn informacji publicznej Miasta Krakowa. www.bip.krakow.pl
- [2] Bubula B., Janczy M., Król D., Kurnik M.: Turystyka w województwie małopolskim w 2008 r. Urząd Statystyczny w Krakowie, Kraków 2009.

- [3] Empfehlungen für die Anlagen des ruhenden Verkehrs. EAR FGSV 2005.
- [4] Pomiary i badania ruchu drogowego. Praca zbiorowa pod red. M. Tracza. Seria „Biblioteka Drogownictwa“. WKiŁ, Warszawa 1984. (Rozdział 6: A.Rudnicki: Statystyczna interpretacja wyników pomiarów).
- [5] Strony internetowe analizowanych hoteli: www.hik.krakow.pl; www.hotelbatory.pl; www.hotelelektor.com.pl; www.hotel-florian.pl; www.hotelstart.com.pl; www.krakowexpress.pl; www.krakowpremier.pl; www.orbis.pl; www.pollera.com.pl.
- [6] Supernak J.: Modele powstawania miejskiego ruchu osobowego. Wydawnictwa Komunikacji i Łączności, Warszawa 1980.
- [7] Wojnar I.: Analiza ruchotwórczości obiektów hotelowych w Krakowie. Politechnika Krakowska, 2009. Praca dyplomowa (promotor: A.Rudnicki).

TRIP GENERATION OF HOTELS – CASE STUDY OF KRAKOW

Summary

On the base of traffic measurements performed in 10 selected hotels in Krakow, the set of regression formulas for trip generation have been estimated. They involve number of incoming or outgoing vehicles during morning and afternoon rush hour with: number of rooms in a hotel, number of parking places and the charge for parking. On average, one hotel room generates circa 0,15 vehicles trips in rush hour or one parking place at the hotel generates circa 0,2 vehicles trips in rush hour for each kind from mentioned movements. Given numbers relate to the situation when all rooms are occupied.

Keywords: *hotel objects, trip generation, regression formula, traffic forecast*

BETRIEBSSCHAFFUNG DURCH DIE HOTELOBJEKTE AM BEISPIEL VON KRAKAU

Zusammenfassung

Auf der Grundlage der Messungen, die in zehn ausgewählten Hotelobjekten von Krakau durchgeführt worden sind, werden die Regressionsformel für den Betriebsschaffungspotential, die sie verursachen, formuliert. Diese Formel machen die Anzahl der ein-fahrenden und ausfahrenden Fahrzeugen während einer Stunde der Spitzenbelastung von der Zimmeranzahl im Hotel oder von der Anzahl der Parkplätze neben Hotel abhängig. In der Situation der maximalen Zimmerbelastung im Hotel, generiert ein Zimmer durchschnittlich in der Spitzenzeit ca. 0,15 Einfahrten und 0,15 Ausfahrten pro Stunde, sowie generiert ein Platz auf dem Parkplatz ca. 0,2 Einfahrten und 0,2 Ausfahrten pro Stunde.

Die Schlüsselwörter: *die Hotelobjekte, das Betriebsschaffungspotential, die Regressionsformel, die Betriebsprognostizierung*

Aleksander Sobota¹
Grzegorz Karoń²

POSTRZEGANIE WARUNKÓW RUCHU MIEJSKIEGO – PŁYNNOŚĆ RUCHU – WYNIKI BADAŃ ANKIETOWYCH

Streszczenie

W artykule przedstawiono wyniki badań ankietowych z 2009 roku mieszkańców aglomeracji górnośląskiej dotyczących postrzegania warunków ruchu miejskiego w kontekście pojęcia płynności ruchu. Wyniki są próbą odpowiedzi na pytania jak rozumiane jest przez kierowców i pasażerów transportu indywidualnego pojęcie ruchu płynnego oraz które czynniki odbierane są przez nich jako istotnie pogarszające ruch płynny.

Słowa kluczowe: *ruch płynny, płynność ruchu, teoria płynności ruchu, kongestia, warunki ruchu*

1. Wstęp

Podczas wykonywania analiz i prognoz ruchu w miastach dużą wagę przywiązuje się do analizy preferencji komunikacyjnych oraz oceny warunków ruchu w miejskim transporcie zbiorowym³. Jest to zrozumiałe wiawszy pod uwagę politykę transportową miast, której jednym z zasadniczych celów jest kształtowanie podziału modalnego ruchu w mieście na korzyść transportu zbiorowego mające na celu zmniejszenie skutków kongestii.

¹ mgr inż., Katedra Inżynierii Ruchu, Wydział Transportu Politechniki Śląskiej, tel. (32) 6034121, e-mail: aleksander.sobota@polsl.pl

² dr inż., Katedra Inżynierii Ruchu, Wydział Transportu Politechniki Śląskiej, tel. (32) 6034121, e-mail: grzegorz.karon@polsl.pl

³ Według [12] obejmuje zorganizowane formy przewozu osób podlegające regulacjom prawa, korzystające z przestrzeni publicznych, czyli działalność organizatorską samorządowej administracji publicznej oraz podmiotów gospodarczych świadczących usługi publiczne dla zaspokojenia potrzeb zbiorowości mieszkańców, gospodarki i poszczególnych jej członków.

Analiza zachowań i preferencji komunikacyjnych mieszkańców oraz ich ocena dotycząca funkcjonowania miejskiego transportu zbiorowego i indywidualnego pozwala modelować prawidłowości kształtujące potoki ruchu w sieci. Opracowane modele są następnie wykorzystywane do prognozowania dalszych zmian w systemie transportowym miasta wynikających między innymi ze zmian w dystrybucji potencjałów ruchotwórczych, które mogą być wynikiem rozwoju oraz przekształceń obszarów zurbanizowanych. Zmiany w systemie transportowym miasta wynikają również z celowych działań w zakresie szeroko rozumianej poprawy jakości funkcjonowania miasta (m.in. inwestycje w zakresie transportu zbiorowego, logistyki miejskiej, systemów sterowania i zarządzania ruchem).

Jednym z kryteriów oceny działań na rzecz poprawy funkcjonowania miasta jest wzrost udziału przewozów transportem zbiorowym przy jednoczesnym zmniejszeniu się przewozów indywidualnymi środkami transportu (zmniejszenie samoobsługi transportowej mieszkańców [14]). Zwiększenie tego udziału powinno wynikać z realizacji wybranych wariantów inwestycyjnych określonego przedsięwzięcia ocenianych podczas analizy kosztów i korzyści. Czynnikiem stymulującymi mieszkańców do zmiany swoich preferencji komunikacyjnych na korzyść transportu zbiorowego są między innymi: poprawa jej jakości oraz oferty przewozowej, skrócenie czasu podróży, poprawa dostępności oraz ograniczenie ruchu pojazdów indywidualnych.

Najbardziej optymistyczne założenia dotyczące zmiany podziału modalnego w wyniku zmian preferencji komunikacyjnych podawane np. w *Niebieskiej Księdze*⁴ wskazują, że można oczekiwać, w przypadku realizacji inwestycji w transporcie miejskim, iż liczba użytkowników przejętych z transportu indywidualnego nie będzie większa niż 15% liczby użytkowników transportu publicznego. Wciąż więc pozostają użytkownicy transportu indywidualnego, którzy z różnych powodów przemieszczają się w ruchu miejskim: własnym samochodem osobowym, użytkownicy wykonujący swoją pracę samochodem osobowym, dostawczym czy też ciężarowym. Dodatkowo w sieci mogą „pojawić się” użytkownicy, którzy wcześniej nie korzystali z własnego samochodu ze względu na kongestię a teraz zaczną, oraz użytkownicy ruchu wzbudzonego w wyniku realizacji inwestycji (na przykład

⁴ *Niebieskie Księgi* to zbiór wytycznych stanowiących przewodnik dla beneficjentów ubiegających się o dofinansowanie projektu z funduszy UE (wersje z grudnia 2008 i wcześniejsze).

nowego połączenia) [13]. Potoki tych pojazdów wraz z potokami pojazdów transportu zbiorowego obciążając sieć transportową stają się elementem kształtującym warunki ruchu szczególnie w sieciach objętych kongestią.

Celem badań, których wyniki zaprezentowano w opracowaniu, było określenie warunków ruchu jako postrzeganych przez użytkowników transportu indywidualnego. Może to dać podstawy do rozszerzenia modelu rozkładu modalnego o czynnik uwzględniający płynność ruchu.

2. Warunki ruchu drogowego oraz płynność ruchu⁵

W inżynierii ruchu drogowego warunki ruchu opisywane są poprzez określanie poziomów swobody ruchu *PSR* – odmiennie dla odcinków dróg⁶ i odmiennie dla skrzyżowań⁷. Ich opis werbalny uzupełniany jest przez obliczenie wybranych charakterystyk ruchu:

- dla dróg:
- gęstość ruchu,
- średnia prędkość samochodów osobowych,
- stopień wykorzystania przepustowości,
- krytyczne natężenie ruchu,
- procent czasu jazdy w kolumnie,
- średnia prędkość podróży,
- dla skrzyżowań:
- średnie straty czasu,
- kolejki tworzące się na wlotach,

których wartości pozwalają przypisać określony *PSR* do warunków panujących na drodze lub skrzyżowaniu.

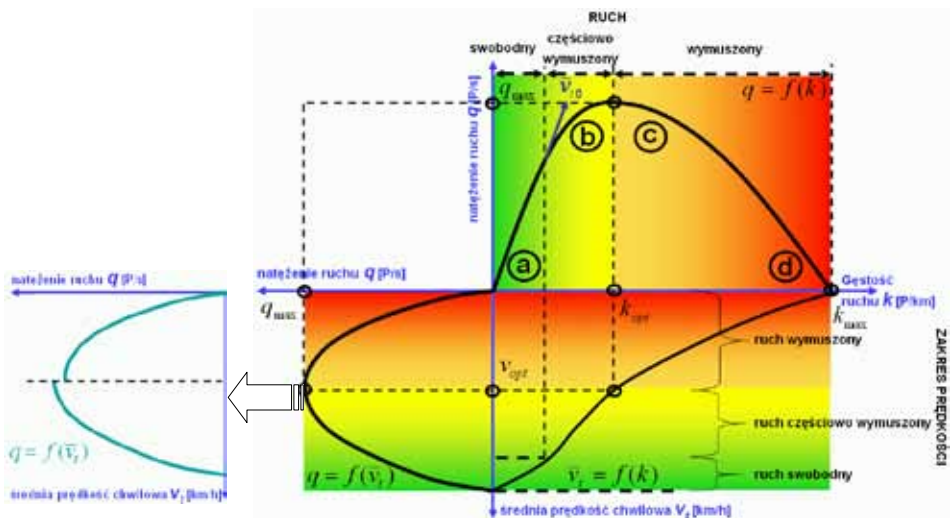
5 Płynność ruchu jako miara jakościowa wykorzystywana jest również z ruchu kolejowym i ostatnio w ruchu lotniczym [10]. W ruchu kolejowym [16,17,18,19] zdefiniowana została funkcja oczekiwanej płynności ruchu, która jest zależna od jego intensywności oraz układu torowego. Jednak płynność ruchu kolejowego dotyczy oceny ruchu, a także oceny układu torowego [4,15,19] na etapie jego planowania. Wobec czego nie jest to bezpośrednia miara postrzegania warunków ruchu z punktu widzenia pasażera (m.in. komfortu podróży, punktualności etc). Niemniej jednak zakłócenia wtórne powstające w ruchu rzeczywistym: opóźnienia i ich skutki, odczuwane przez podróżnych a wynikające ze zbyt małej płynności ruchu (uzyskanej na etapie konstrukcji wykresu ruchu), wpływają na postrzeganie transportu kolejowego i kształtują preferencje komunikacyjne mieszkańców.

6 W metodzie HCM opis jakościowy ruchu, uwzględniający oceny kierowców oraz innych użytkowników dróg, to 6 poziomów swobody ruchu (*PSR*) uwzględniających prędkość, czas podróży, swobodę wykonywania manewrów, komfort jazdy i bezpieczeństwo [5,6,7].

7 W metodzie polskiej zakres zmienności warunków ruchu podzielony został na cztery stany: warunki bardzo dobre (*PSR I*), warunki dobre (*PSR II*), warunki przeciętne (*PSR III*), warunki niekorzystne (*PSR IV*).

Określenie „płynność ruchu” w języku potocznym jest często używane przez kierowców, pozostałych użytkowników systemów transportowych (mieszkańców), pojawia się również w mediach i prasie. Przeciętny mieszkaniec posługuje się również terminami „natężenie ruchu”, „korek”, „tłok”, „zator”, „ruch płynny” i w wyjątkowych przypadkach „kongestia”. W celu poznania sposobu postrzegania warunków ruchu przygotowano dwa pytania, których interpretacja w kontekście płynności ruchu jest związana z tzw. fundamentalnym wykresem ruchu drogowego (rys. 1). Wykres ten przedstawia zależność między charakterystykami strumienia ruchu pojazdów: natężeniem, gęstością oraz średnią prędkością strumienia.

Podczas badań ankietowych dla celów naukowych istotne jest właściwe sformułowanie pytań, co jest niezmiernie trudne. Ankieter musi zadać pytanie respondentowi w taki sposób, aby z jednej strony było ono dla niego zrozumiałe, a z drugiej, aby zachować naukowy charakter badania. W związku z tym pytania i odpowiedzi sformułowano w języku potocznym przy zachowaniu właściwej ich interpretacji naukowej.



Rys. 1. Charakterystyki stanów strumienia ruchu pojazdów:
a) wykres przedstawiający efekt skoku – dwie wartości maksymalne natężenia ruchu interpretowane jako przepustowość przed i po utracie płynności ruchu,
b) wykres podstawowy z zaznaczonymi obszarami zmienności odpowiadającymi poszczególnym odpowiedziom a,b,c i d pytania Jak Pan(i) postrzega tak popularne obecnie pojęcie płynności ruchu?

Źródło: Na podstawie [1,2,8]

Pytanie 1 brzmiało: *Jak Pan(i) postrzega tak popularne obecnie pojęcie płynności ruchu?* Respondentom przedstawiono następujące odpowiedzi (do wyboru tylko jedna):

- a) możliwość jazdy po mieście z dowolnie wybraną przez siebie prędkością (w ramach obowiązujących ograniczeń),
- b) możliwość jazdy po mieście z prędkością, z którą jeżdżą inni kierowcy, ale mając pewność, że nie będą tworzyły się korki uliczne,
- c) możliwość jazdy po mieście z prędkością, z którą jeżdżą inni kierowcy, ale dopuszczalne są chwilowe nieduże korki uliczne,
- d) możliwość jazdy z małą prędkością (nawet dopuszczalne są drobne korki uliczne), ale ważne, aby jazda była ciągła - bez zatrzymań,
- e) nie wiem, trudno powiedzieć.

Odpowiedzi na pytanie 1 mogą w sposób opisowy charakteryzować stany strumienia ruchu (model makroskopowy⁸) (rys. 1) z punktu widzenia indywidualnego kierowcy (model mikroskopowy⁹). Odpowiedź a) dotyczy sytuacji występowania ruchu swobodnego¹⁰, ruchu płynnego przy małym jego natężeniu; gdy na drodze jest niewiele pojazdów, których kierowcy mogą swobodnie wybierać prędkość jazdy oraz wyprzedzać bez utrudnień. Wraz ze wzrostem natężenia i gęstości ruchu staje się częściowo wymuszony więc swoboda doboru prędkości oraz wyprzedzania jest ograniczona. Jest to stan poprzedzający osiągnięcie przez strumień wartości maksymalnej natężenia ruchu przy optymalnych wartościach gęstości i średniej prędkości – co opisuje odpowiedź b). Dalszy wzrost liczby pojazdów (wzrost gęstości) zwiększa spadek średniej prędkości potoku¹¹ i tym samym zmniejsza natężenia ruchu. Wymuszonym staje się ruch pojazdów w kolumnie z podobnymi prędkościami bez możliwości wyprzedzania – początki ruchu wymuszonego opisuje odpowiedź c). W tym niestabilnym stanie strumienia nawet niewielki wzrost gęstości ruchu (dopływ pojazdów z wlotu lub przeszkoda na drodze) może spowodować utrudnienia w postaci tworzących się kolejek w przypadku osiągnięcia gęstości maksymalnej – takie

⁸ Na przykład model hydrodynamiczny, falowy, dyfuzji, etc.

⁹ Na przykład model jazdy za liderem, modele masowej obsługi / teoria kolejek, model komórkowy, etc.

¹⁰ Według definicji [2, s. 143]: **swobodny ruch strumienia** występuje, gdy $\bar{v}_i(k, q) = const$; gdzie \bar{v}_i - średnia prędkość chwilowa strumienia, k - gęstość strumienia, q - intensywność (natężenie) ruchu strumienia.

¹¹ W metodach szacowania przepustowości jako zmiennej losowej przyjmuje się, że granicą ruchu płynnego jest spadek prędkości poniżej arbitralnie ustalonej wartości prędkości [2, s. 167]

warunki ruchu przyporządkowano do odpowiedzi d). Odpowiedzi b, c oraz d charakteryzują również warunki ruchu w sieci, w których coraz częściej występują problemy określane wspólnym mianem kongestii.

Pytanie 2 miało treść: *Biorąc pod uwagę Pana(i) doświadczenie w poruszaniu się samochodem po mieście, proszę powiedzieć, które z następujących zdarzeń Pana(i) zdaniem w największym stopniu utrudnia utrzymanie płynnego ruchu w mieście?* oraz następujące odpowiedzi (do wyboru jedna):

- a) duże natężenie ruchu, nieprzestrzeganie przepisów drogowych przez innych kierowców,
- b) różnego rodzaju losowe zdarzenia drogowe, np.: wypadki, awarie świateł,
- c) silne opady deszczu, śniegu, gęsta mgła itp.,
- d) roboty drogowe,
- e) inne, jakie?
- f) nie wiem, trudno powiedzieć.

Stany nasilającego się ruchu implikują występowanie różnego rodzaju zakłóceń, które z jednej strony są generatorem sytuacji powodujących pogorszenie warunków ruchu, a z drugiej są skutkiem pogarszających się warunków ruchu. Powtarzające się zakłócenia w ruchu drogowym występują tam, gdzie natężenie ruchu przewyższa przepustowość wskutek dużych dopływów pojazdów [1]. Zakłócenia mogą występować z powodu [2]: zwożeń przekroju (stałych bądź okresowych spowodowanych robotami drogowymi), wzniesień, krótkich odcinków przeplatania, wjazdów, regularnego występowania mgieł, itp.

Na potrzeby badań postrzegania warunków ruchu dokonano klasyfikacji zakłóceń ruchu, którą zaprezentowano na rysunku 2.



Rys. 2. Klasyfikacja zakłóceń ruchu drogowego przyjęta na potrzeby badań
 Źródło: Opracowanie własne.

Aby zbadać wpływ tak sklasyfikowanych zakłóceń na płynność ruchu ustalono przyczyny ich powstawania:

- a) przyczyny zakłóceń ruchowych to:
 - zwiększenie natężenia ruchu (wzajemne oddziaływanie użytkowników jezdni),
 - wzrost gęstości sieci w obszarach zurbanizowanych determinujących zwiększenie wykonywanych manewrów pojazdów (włączanie, wyłączanie, przeplatanie, krzyżowanie), które z kolei powodują powiększenie liczby punktów kolizji (skrzyżowania, wjazdy i zjazdy z dróg wielopasowych),
 - wpływ innych użytkowników dróg (rowerzyści, piesi),
 - zły stan nawierzchni drogowej,
 - błędy w organizacji ruchu (głównie oznakowania poziome i pionowe),
 - błędy w rozwiązaniach geometrycznych (niewystarczająca szerokość pasa ruchu, błędy w projektowaniu drogi w planie oraz przekrojach podłużnych i poprzecznych),
 - błędy w planowaniu i organizacji miejsc parkingowych,
 - czynnik ludzki (nieumiejętność prowadzenia pojazdu – brawura i brak doświadczenia, łamanie przepisów ruchu drogowego, inne nieprzewidywalne zachowania).
- b) do głównych przyczyn zakłóceń atmosferycznych zaliczono:
 - silne opady śniegu i deszczu,
 - gołoledź i zlodowacenie jezdni,
 - mgły,
 - silny wiatr,
 - ostre słońce i wysokie temperatury (silnie oddziałujące na kierowców podróżujących w pojazdach bez klimatyzacji).
- c) główne przyczyny zakłóceń losowych to:
 - wypadki i zdarzenia drogowe,
 - usterki systemów organizacji ruchu (sygnalizacje, znaki zmiennej treści),
 - usterki pojazdów na drogach,
 - inne.
- d) do przyczyn zaplanowanych zakłóceń zaliczono:
 - zmiany w organizacji ruchu (wynikające na przykład z zamknięcia jednego z pasów ruchu, czy organizacji imprez masowych)

- zwężenia jezdni na skutek wykonywanych robót drogowych,
- budowa na środku jezdni konstrukcji (chodniki, szerokie pasy dzielące, wyspy) zmniejszających prędkość jazdy.

3. Wyniki badań ankietowych

Badania postrzegania warunków ruchu miejskiego w kontekście płynności ruchu przeprowadzone zostały na przełomie marca i kwietnia 2009 roku wśród mieszkańców 13 miast aglomeracji górnośląskiej (Będzin, Bytom, Chorzów, Czeladź, Dąbrowa Górnicza, Gliwice, Katowice, Mysłowice, Ruda Śląska, Siemianowice Śląskie, Sosnowiec, Świętochłowice, Zabrze - rysunek 3). Respondentami byli mieszkańcy przemieszczający się samochodem osobowym. Spośród całej próby (2742 respondentów) do dalszej analizy wybrano tylko odpowiedzi osób, które korzystają z samochodu co najmniej 4 dni w tygodniu (nie są to osoby korzystające z samochodu sporadycznie a raczej regularnie). Dodatkowo po odrzuceniu odpowiedzi błędnych i niepełnych otrzymano ok. 650 ankiet.

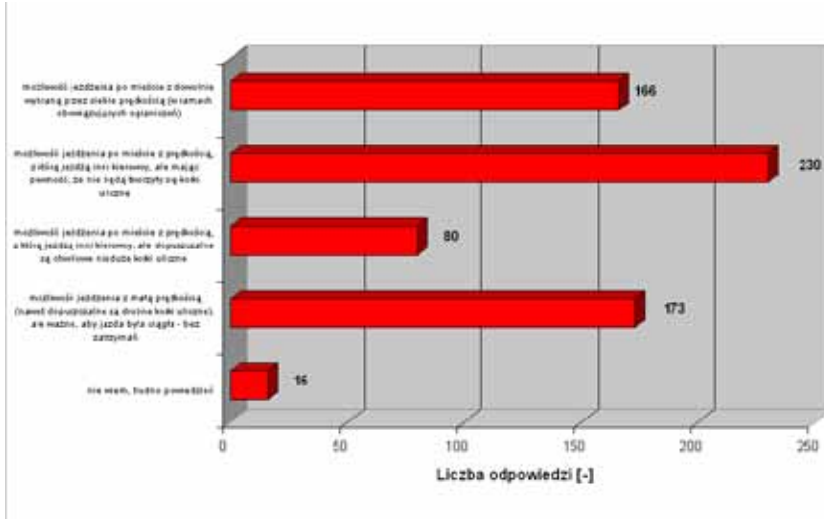


Rys. 3. Obszar objęty badaniem postrzegania warunków ruchu miejskiego w kontekście płynności ruchu

Źródło: Opracowanie własne.

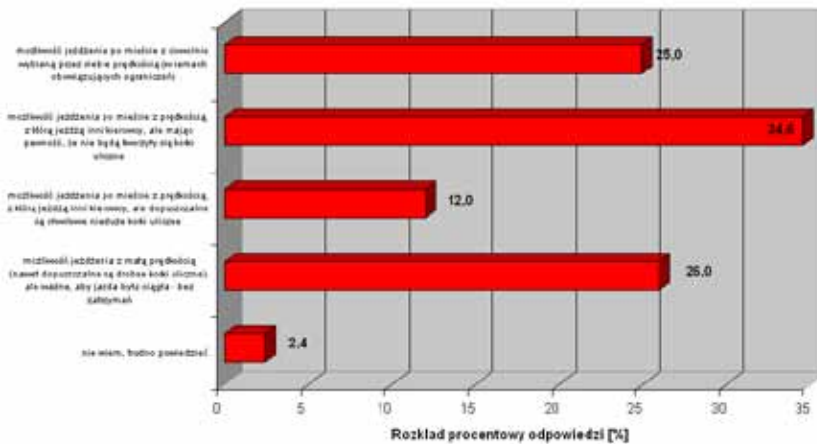
3.1. Wyniki postrzegania ruchu płynnego

Poniżej przedstawiono rozkłady odpowiedzi na pytanie „*Jak Pan(i) postrzega tak popularne obecnie pojęcie płynności ruchu. Podam Panu(i) kilka sposobów jeżdżenia samochodem po mieście. Proszę zaznaczyć, który Pana(i) zdaniem uważany jest za płynny?*”



Rys. 4. Rozkład odpowiedzi na pytanie: „Jak Pan(i) postrzega tak popularne obecnie pojęcie płynności ruchu?” – wartości bezwzględne

Źródło: Opracowanie własne.



Rys. 5. Rozkład odpowiedzi na pytanie: „Jak Pan(i) postrzega tak popularne obecnie pojęcie płynności ruchu?” – wartości względne w [%]

Źródło: Opracowanie własne.

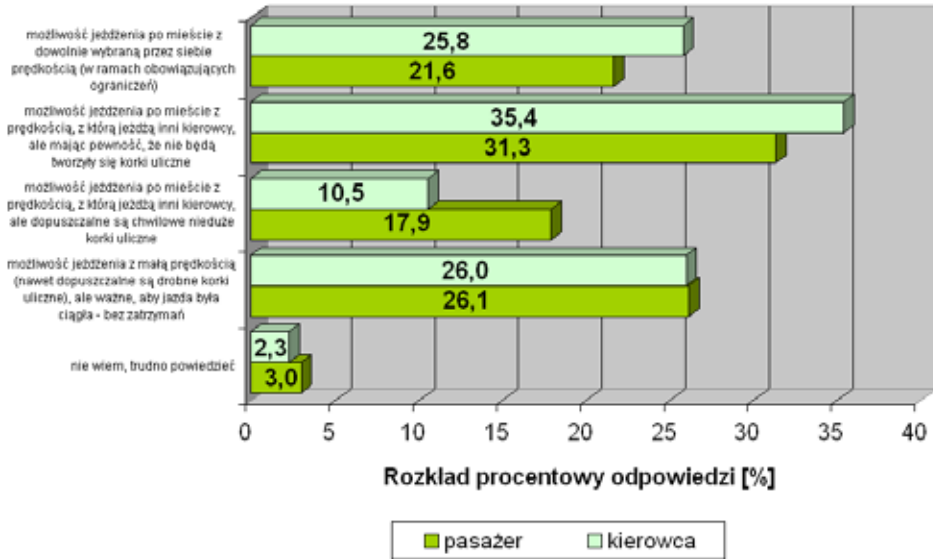
W rozkładach odpowiedzi (rys. 3 i 4) można zauważyć, że największy udział (prawie 35%) ma odpowiedź: *b) Możliwość jazdy po mieście z prędkością, z którą jeżdżą inni kierowcy, ale mając pewność, że nie będą tworzyły się korki uliczne*. Jednak znamienym jest wysoki i praktycznie jednakowy udział odpowiedzi: *a) Możliwość jazdy po mieście z dowolnie wybraną przez siebie prędkością (w ramach obowiązujących ograniczeń)* – prawie 25% i *d) Możliwość jazdy z małą prędkością (nawet dopuszczalne są drobne korki uliczne), ale ważne, aby jazda była ciągła - bez zatrzymań* - 26%.

O ile odpowiedź *a)* można przypisać do warunków ruchu swobodnego przy małej gęstości i małym natężeniu, to odpowiedź *d)* dotyczy stanu niepożądanego ze względu na płynność i swobodę ruchu – ruchu wymuszonego z małą prędkością w kolumnie z możliwością występowania drobnych zatorów. Można stąd próbować wysnuć wniosek, iż stosunkowo duża część kierowców (26%) przyzwyczała się już do kongestii, jako codziennej sytuacji i postrzega płynność jako w ogóle możliwość poruszania się w kolumnie (w „ruchomej kolejce”). Może to również opisywać sytuacje „jazdy na zamek” („na suwak”, „na zakładkę”), którą coraz częściej ustalają co bardziej świadomi kierowcy dostosowując swoją prędkość na pasie kończącym się zamknięciem do prędkości pojazdów poruszających się w kolumnie na pasie czynnym. Tym samym następuje eliminacja zaburzeń powodowanych przy zwichnięciu przez kierowców włączających się na czoło kolumny.

Ze względu na minimalną różnicę (1%) pomiędzy odpowiedziami *a* i *d* (odpowiednio 25% i 26%) zdecydowano się na rozróżnienie *ruchu płynnego swobodnego* oraz *ruchu płynnego wymuszonego*.

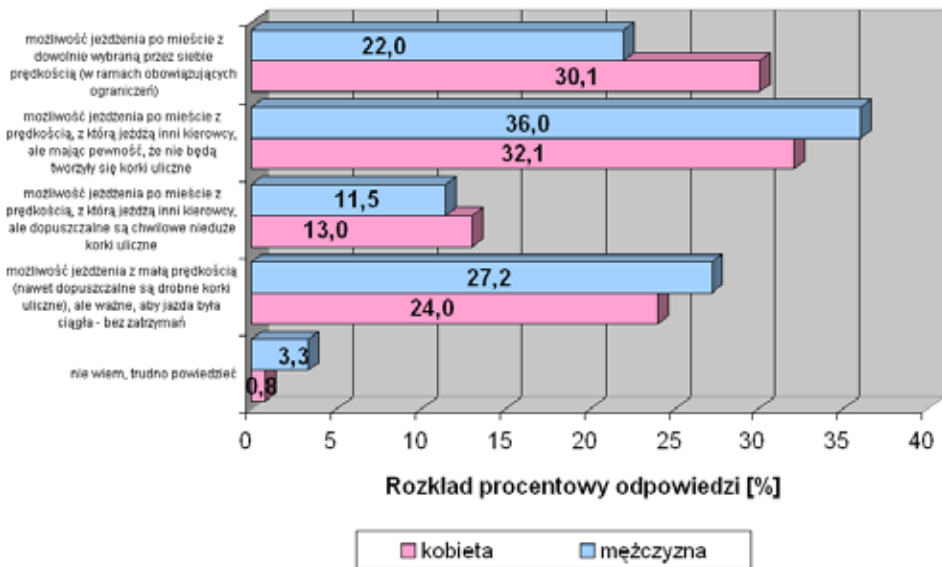
Poza odpowiedzią na powyższe pytanie zebrano także informacje o sposobie użytkowania samochodu, płci, wykształceniu oraz grupie społecznej, co przedstawiono na kolejnych wykresach (rys. 6-9).

Spośród respondentów 80% to kierowcy a 20% to pasażerowie. Rozkład odpowiedzi wśród kierowców kształtuje się podobnie jak w całej próbie, jednak wśród pasażerów udział odpowiedzi *c) możliwość jazdy po mieście z prędkością, z którą jeżdżą inni kierowcy, ale dopuszczalne są chwilowe nieduże korki uliczne*, jest znacznie wyższy niż w przypadku kierowców.



Rys. 6. Rozkład odpowiedzi (kierowca / pasażer) na pytanie: „Jak Pan(i) postrzega tak popularne obecnie pojęcie płynności ruchu?” – wartości względne w [%]

Źródło: Opracowanie własne.

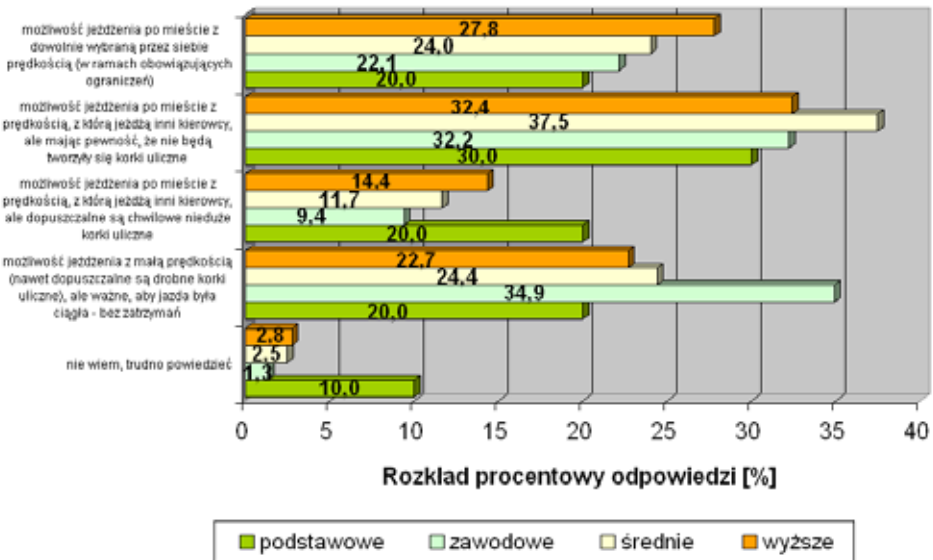


Rys. 7. Rozkład odpowiedzi (kobieta / mężczyzna) na pytanie: „Jak Pan(i) postrzega tak popularne obecnie pojęcie płynności ruchu?” – wartości względne w [%]

Źródło: Opracowanie własne.

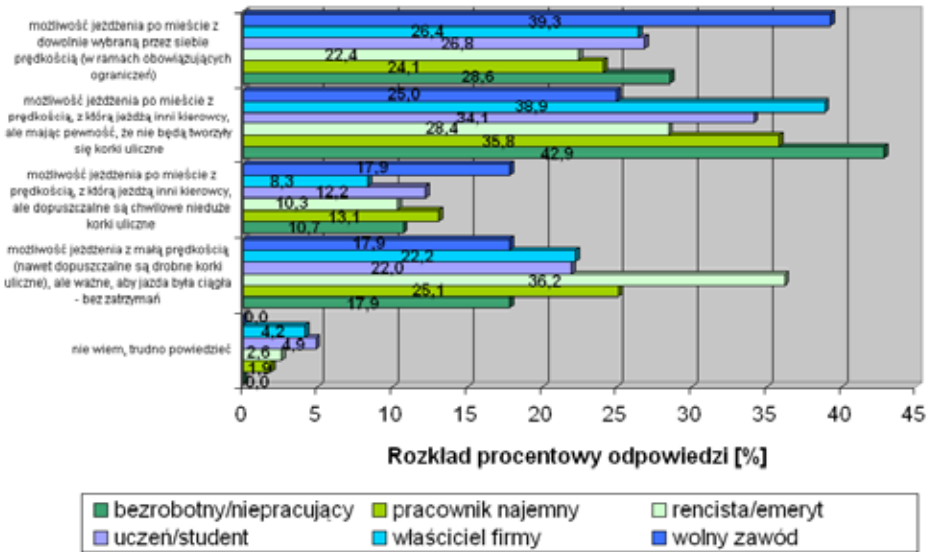
W rozkładzie odpowiedzi ze względu na płeć występuje odmienna ocena ruchu płynnego. Ruch płynny swobodny postrzegany jest przez 30% kobiet a tylko przez 22% mężczyzn. Natomiast ruchu płynny wymuszony postrzegany jest z mniejszym zróżnicowaniem: 24% - kobiety, 27% - mężczyźni. Mężczyźni częściej „akceptują” ruch płynny wymuszony w przeciwieństwie do kobiet, które „preferują” ruch płynny swobodny.

W rozkładzie odpowiedzi ze względu na wykształcenie daje się również zauważyć podobny sposób odbioru warunków ruchu pod względem jego płynności. Respondenci z wykształceniem zawodowym najczęściej wybierali odpowiedź *d) możliwość jazdy z małą prędkością (nawet dopuszczalne są drobne korki uliczne), ale ważne, aby jazda była ciągła - bez zatrzymań.* (prawie 35%) w przeciwieństwie do pozostałych grup zawodowych, w których najczęściej wskazywaną odpowiedzią jest: *b) możliwość jazdy po mieście z prędkością, z którą jeżdżą inni kierowcy, ale mając pewność, że nie będą tworzyły się korki uliczne.*



Rys. 8. Rozkład odpowiedzi (wykształcenie) na pytanie: „Jak Pan(i) postrzega tak popularne obecnie pojęcie płynności ruchu?” – wartości względne w [%]

Źródło: Opracowanie własne.



Rys. 9. Rozkład odpowiedzi (grupy społeczne) na pytanie: „Jak Pan(i) postrzega tak popularne obecnie pojęcie płynności ruchu?” – wartości względne w [%]

Źródło: Opracowanie własne.

W rozkładzie odpowiedzi ze względu na grupy społeczne można zauważyć różnice. Osoby bezrobotne zdecydowanie częściej postrzegają ruch płynny w stanie częściowo wymuszonym (prawie 43%) i w stanie swobodnym (ponad 28%) a tylko w 18% jako ruch płynny wymuszony. Przedstawiciele wolnego zawodu najczęściej oceniają ruch płynny w stanie swobodnym (ponad 39%) oraz w stanie częściowo wymuszonym (25%). Natomiast ruch płynny wymuszony w największym stopniu (ponad 36%) „akceptują” emeryci i renciści.

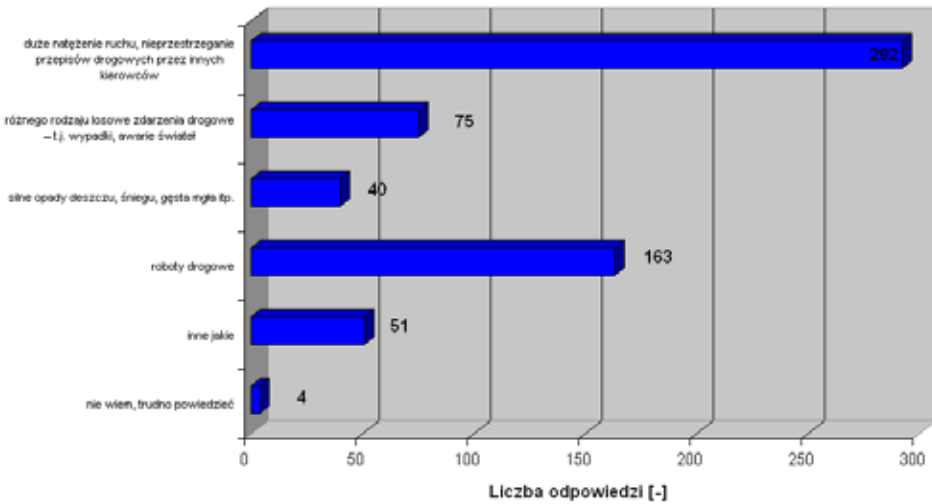
3.2. Wyniki postrzegania zakłóceń ruchu płynnego

Drugie pytanie zadane respondentom dotyczyło postrzegania przyczyn zakłócających ruch płynny: *Biorąc pod uwagę Pana(i) doświadczenie w poruszaniu się samochodem po mieście, proszę powiedzieć, które z następujących zdarzeń Pana(i) zdaniem w największym stopniu utrudnia utrzymanie płynnego ruchu w mieście?* Respondenci mieli do wyboru jedną z następujące odpowiedzi:

- b) duże natężenie ruchu, nieprzestrzeganie przepisów drogowych przez innych kierowców,

- c) różnego rodzaju losowe zdarzenia drogowe, np.: wypadki, awarie świateł,
- d) silne opady deszczu, śniegu, gęsta mgła itp.,
- e) roboty drogowe,
- f) inne, jakie?
- g) nie wiem, trudno powiedzieć.

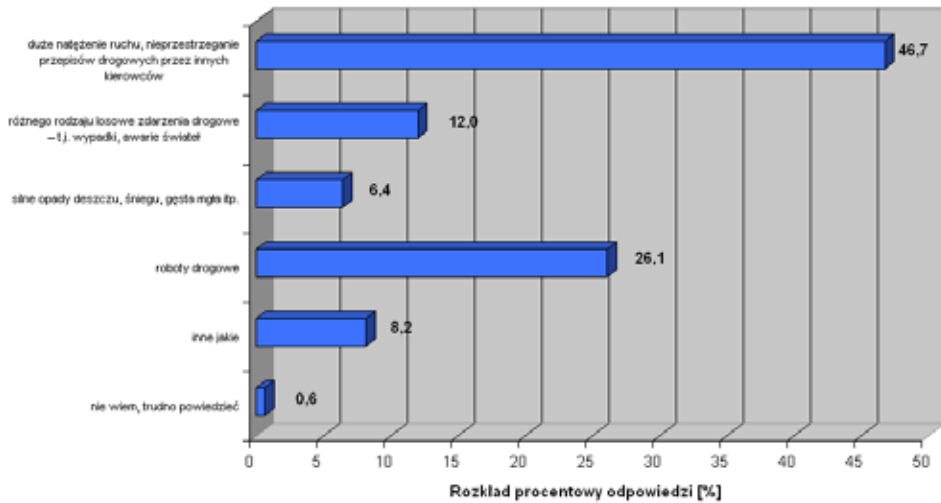
Na kolejnych rysunkach przedstawiono rozkłady odpowiedzi na powyższe pytanie: rysunki 10 i 11 – zestawienie ogólne. Natomiast na rysunkach 12-15 zaprezentowano odpowiedzi w podziale na: kierowca/pasażer, kobieta/mężczyzna, wykształcenie, grupy społeczne.



Rys. 10. Rozkład odpowiedzi na pytanie dotyczące postrzegania zakłóceń ruchu płynnego – wartości bezwzględne

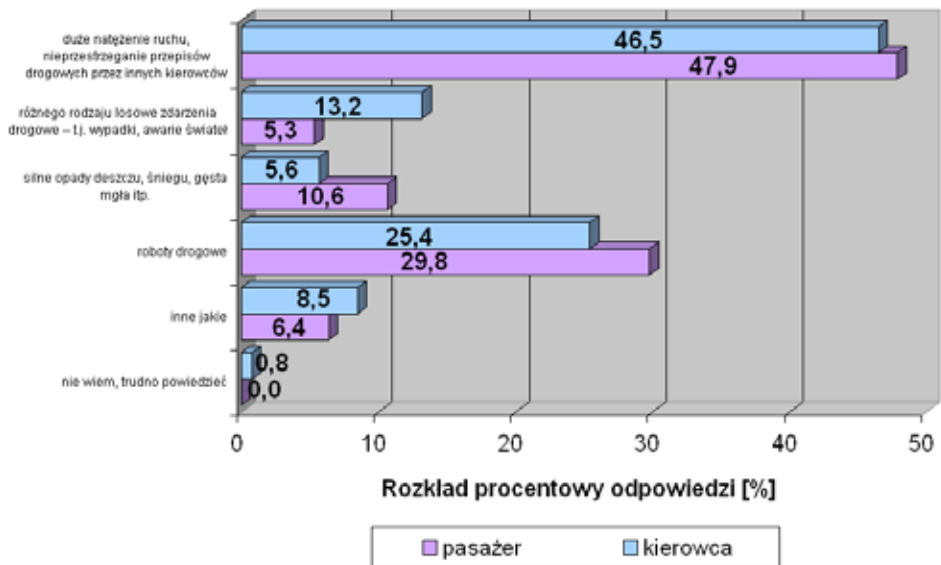
Źródło: Opracowanie własne.

Najczęściej postrzeganymi przyczynami zakłóceń są przyczyny sklasyfikowane jako ruchowe – prawie 47% odpowiedzi a) *duże natężenie ruchu, nieprzestrzeganie przepisów drogowych przez innych kierowców*. W drugiej kolejności wybierano odpowiedź roboty drogowe (26%) zaklasyfikowane do grupy przyczyn zaplanowanych. Losowe zdarzenia drogowe (wypadki, awarie świateł) wskazywane były w 12% przypadków, a zakłócenia z grupy atmosferycznych to tylko 6,4% odpowiedzi.



Rys. 11 Rozkład odpowiedzi na pytanie dotyczące postrzegania zakłóceń ruchu płynnego – wartości względne w [%]

Źródło: Opracowanie własne.

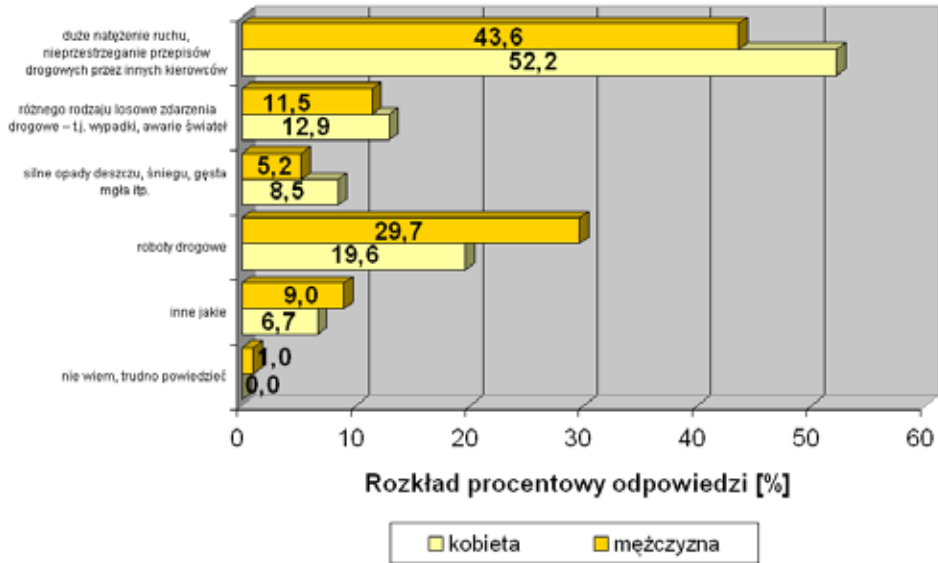


Rys. 12. Rozkład odpowiedzi (kierowca/pasażer) na pytanie dotyczące postrzegania zakłóceń ruchu płynnego – wartości względne w [%].

Źródło: Opracowanie własne.

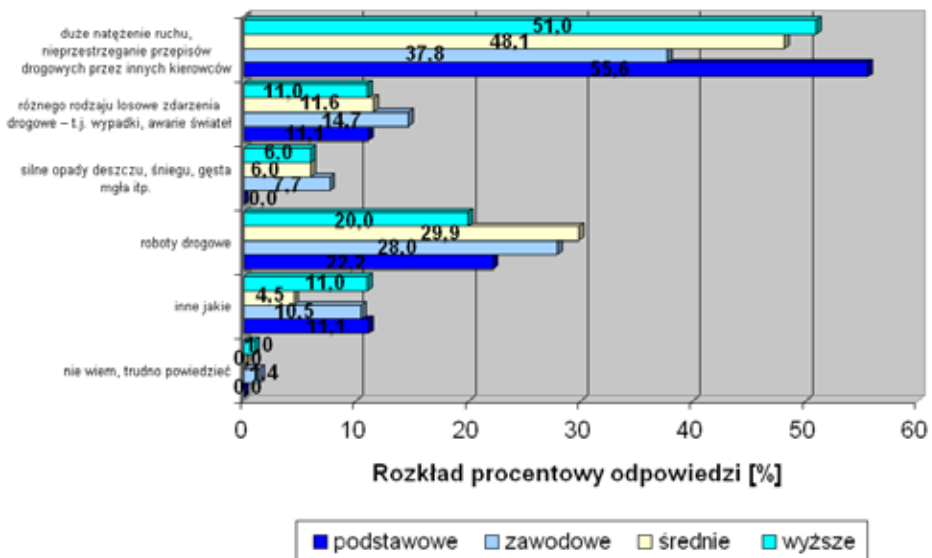
Rozkład przyczyn z rozróżnieniem użytkownika jako kierowcy i pasażera jest podobny do rozkładu w próbie, poza odmiennym postrzega-

niem przyczyn losowych drogowych i losowych atmosferycznych. Kierowcy postrzegają przyczyny losowe ruchowe w 13,2% a tylko w 5,6% przyczyny losowe atmosferyczne. Natomiast pasażerowie odwrotnie: przyczyny losowe ruchowe w 5,3% a przyczyny losowe atmosferyczne w 10,6%.



Rys. 13. Rozkład odpowiedzi (kobieta/mężczyzna) na pytanie dotyczące postrzegania zakłóceń ruchu płynnego – wartości względne w [%]

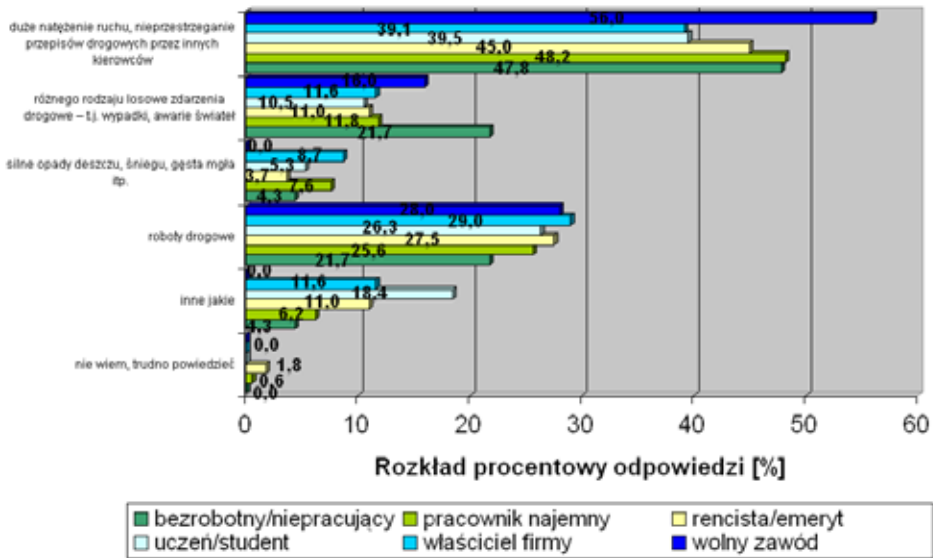
Źródło: Opracowanie własne.



Rys. 14. Rozkład odpowiedzi (wykształcenie) na pytanie dotyczące postrzegania zakłóceń ruchu płynnego – wartości względne w [%]

Źródło: Opracowanie własne.

Rozkład odpowiedzi ze względu na płeć wskazuje, że kobiety częściej postrzegają przyczyny ruchowe (52,2%) niż mężczyźni (43,6%). Z kolei roboty drogowe częściej postrzegane są przez mężczyzn (29,7%) niż przez kobiety (19,6%).



Rys. 15. Rozkład odpowiedzi (grupy społeczne) na pytanie dotyczące postrzegania zakłóceń ruchu płynnego – wartości względne w [%].

Źródło: Opracowanie własne.

Struktura odpowiedzi w przekrojach: wykształcenie oraz grupy społeczne przedstawia się podobnie jak w całej próbie, tj. dominują przyczyny ruchowe oraz wyraźnie rysują się przyczyny zaplanowane (roboty drogowe).

W ramach odpowiedzi „inne” respondenci wskazali między innymi poniższe przyczyny utraty ruchu płynnego:

- zła nawierzchnia,
- parkingi a raczej ich brak,
- przez pieszych,
- dziury w jezdni,
- duży ruch w szczycie,
- brak synchronizacji sygnalizacji,
- korki na drogach,
- brak zielonej fali,
- niedopasowanie dróg do ilości samochodów,
- źle ustawienie znaków.

Odpowiedzi te przypisano do grupy zakłóceń ruchowych. W takim ujęciu zakłócenia ruchowe są postrzegane przez ponad 50% kierowców jako czynniki powodujące utratę płynności ruchu. Zdaniem co czwartego respondenta grupa zakłóceń zaplanowanych stanowi najistotniejszy czynnik utraty płynności ruchu. Pozostałe dwie grupy zakłóceń, czyli atmosferyczne i losowe nie są już tak istotne dla tego zjawiska.

4. Podsumowanie

Wyniki badań wskazują, że ruch płynny jest postrzegany przez 26% użytkowników transportu indywidualnego jako w ogóle możliwość poruszania się w sieci objętej kongestią. Można zaryzykować stwierdzenie, że kierowcy przyzwyczaili się już do ruchu w kolejkach. Ponadto takie określanie ruchu płynnego może być związane z tym, iż kierowcy postrzegają zakłócenia jako przejściowe trudności, które kiedyś ustaną. Wskazuje na to również duży, 26% udział grupy zakłóceń zaplanowanych (odpowieź *roboty drogowe* na pytanie dotyczące głównej przyczyny zakłóceń).

Jednocześnie podobny udział (25%) ma odpowiedź *a) możliwość jazdy po mieście z dowolnie wybraną przez siebie prędkością (w ramach obowiązujących ograniczeń)*. Ze względu na minimalną różnicę (1%) pomiędzy odpowiedziami *a* i *d* zdecydowano się na rozróżnienie *ruchu płynnego swobodnego* oraz *ruchu płynnego wymuszonego*. Wszystkie wykresy uwzględniające strukturę respondentów wskazują również w różnym stopniu na taki dualizm ruchu płynnego.

Koniecznym byłoby zweryfikowanie omawianych wyników na większej próbie i w innych aglomeracjach (np. podczas wykonywania badań ankietowych w gospodarstwach domowych). W modelu podziału modalnego kryterium wyboru pomiędzy transportem indywidualnym a zbiorowym jest czas przemieszczania. Natomiast potwierdzenie takich zachowań komunikacyjnych może dać podstawy do rozszerzenia modelu rozkładu modalnego o czynnik uwzględniający wybór systemu transportowego pod względem płynności ruchu.

Badania nad postrzeganiem warunków ruchu będą również stanowiły jeden z etapów budowy modelu opisującego funkcję płynności ruchu drogowego. Funkcja będzie uzupełnieniem mierników jakości-

wych ruchu (PSR) oraz mierników ilościowych ruchu (np. przepustowość, stopień wykorzystania przepustowości, straty czasu, długości kolejek).

Bibliografia

- [1] Datka S., Suchorzewski W., Tracz M.: Inżynieria ruchu. Wydawnictwa Komunikacji i Łączności, Warszawa 1999.
- [2] Gaca S., Suchorzewski W., Tracz M.: Inżynieria Ruchu Drogowego. Teoria i praktyka. Wydawnictwa Komunikacji i Łączności. Warszawa 2008.
- [3] Grzegorzczuk A.: Działania Krajowej Rady Bezpieczeństwa Ruchu Drogowego. XLIX Techniczne dni drogowe. SITK. Szczyrk 2006, s.107 – 115.
- [4] Karoń G., Firlejczyk G.: Oczekiwana płynność ruchu na odcinku z komputerowym systemem ITLIS – odcinek linii 139: Łodygowice – Żywiec – Węgierska Górka. Technika Transportu Szynowego, 2008, nr 1 – 2 , s. 50 – 56.
- [5] Haight F.: Mathematical theories of traffic flow. Academic Press, New York 1963.
- [6] Heidemann D.: A queueing theory approach to speed – flow – density relationships. In: Transportation and Traffic Theory 103 – 118, Pergamon 1996.
- [7] Heidemann D., Wegmann H.: Queueing at unsignalized intersections. Transportation Research Part B 31, pp. 239 – 263, 1997.
- [8] Jacyna M.: Wybrane zagadnienia modelowania systemów transportowych. Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa 2008.
- [9] Malarski M.: Inżynieria ruchu lotniczego. Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa 2006.
- [10] Potthoff G.: Teoria potoków ruchu kolejowego. WKŁ, Warszawa 1973.
- [11] Starowicz W.: Jakość przewozów w miejskim transporcie zbiorowym. Wydawnictwo PK. Kraków 2007.
- [12] Szarata A.: Wpływ inwestycji komunikacyjnych na liczbę podróży. Drogi 4/2008.

- [13] Szymczak M.: Logistyka miejska, Wyd. AE w Poznaniu, Poznań 2008.
- [14] Towpik K.: Infrastruktura transportu kolejowego. OWPW. Warszawa 2009.
- [15] Węgierski J.: Metody probabilistyczne w projektowaniu transportu szynowego. WKiŁ, Warszawa 1971.
- [16] Woch J.: Podstawy inżynierii ruchu kolejowego. WKiŁ, Warszawa 1983.
- [17] Woch J.: Narzędzia analizy efektywności i optymalizacji sieci kolejowej. Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice 2001.

PERCEPTION OF URBAN TRAFFIC CONDITIONS – TRAFFIC SMOOTHNESS – RESULTS OF SURVEY

Summary

The results of survey (year 2009) on the perception of conditions in urban traffic of the Silesia region (agglomeration) have been presented in this article. The results describe colloquial terms: traffic flow, traffic smoothness in opinion of passengers and drivers of individual vehicles.

Keywords: *traffic smoothness, traffic flow, traffic smoothness theory, congestion, traffic conditions*

WAHRNEHMEN DER STADTVERKEHRSBEDINGUNGEN – BETRIEBSFLIESSFÄHIGKEIT – ERGEBNISSE DER ENQUETENUNTERSUCHUNGEN

Zusammenfassung

Im Vortrag werden die Ergebnisse von Enquetenuntersuchungen aus 2009, die das Wahrnehmen der Stadtverkehrsbedingungen von den Bewohnern des Oberschlesienballungsgebietes im Zusammenhang mit der Verkehrsfließfähigkeit betreffen, dargestellt. Die Ergebnisse bilden einen Versuch der Antwort auf die Frage – wie die Fahrer und die Fahrgäste den Begriff des flüssigen Betriebs verstehen, sowie welche Faktoren nach ihnen den flüssigen Betrieb wesentlich verschlimmern.

Die Schlüsselwörter: *der flüssige Betrieb, die Verkehrsfließfähigkeit, die Kongestion, die Betriebsbedingungen*

Andrzej Szarata¹

O CELOWOŚCI ZASTOSOWANIA WNIOSKOWANIA ROZMYTEGO W MODELOWANIU ZACHOWAŃ KOMUNIKACYJNYCH

Streszczenie

Artykuł prezentuje możliwości zastosowania procedur wnioskowania rozmytego do modelowania podróży. Głównym celem artykułu jest przedstawienie sposobu doboru kształtu funkcji przynależności i ich wpływu na otrzymane wyniki układu wnioskującego. Skupiono się na zastosowaniu układu dla potrzeb modelowania podziału zadań przewozowych z uwzględnieniem podróży w systemie Park and Ride. Ponadto zaproponowano możliwość zastosowania wnioskowania rozmytego do modelowania ruchu wzbudzonego.

Słowa kluczowe: wnioskowanie rozmyte, podział zadań przewozowych, ruch wzbudzony

1. Wprowadzenie

Wyznaczenie efektywności funkcjonalnej inwestycji w infrastrukturę transportową związane jest z założeniem niezmienności sumarycznego popytu na podróże. Oznacza to, że nowa inwestycja przyczyni się do poprawy warunków ruchu poprzez zwiększenie podaży przy niezmienionym popycie. W takich analizach pomija się występowanie ruchu wzbudzonego, czyli podróży związanych z pojawieniem się nowych elementów układu komunikacyjnego miasta. Mechanizm powstawania ruchu wzbudzonego polega na generowaniu dodatkowych podróży odrzucanych wcześniej z powodu trudnych warunków

¹ dr inż., Politechnika Krakowska, Instytut Inżynierii Drogowej i Kolejowej, Katedra Systemów Komunikacyjnych, e-mail: aszarata@pk.edu.p

ruchu (np. długiego czasu podróży). Równocześnie uważa się, że pojęcie ruchu wzbudzonego ma charakter dwukierunkowy tzn. obejmuje również przypadek jego zmniejszenia np. w wyniku pojawienia się ograniczeń (wzbudzenie ze znakiem ujemnym).

Problem modelowania ruchu wzbudzonego wymaga rozbudowanej bazy danych wejściowych i uwzględnienia środowiska podejmowania decyzji przez użytkownika. Proces decyzyjny w takim przypadku nie ma charakteru jednoznacznego i często opiera się na nieprzewidywalnych przesłankach (np. osobiste preferencje czy przyzwyczajenia) i skutkuje dużym rozrzutem rozwiązań. Decyzja, czy dodatkowa podróż wynikająca z poprawy warunków podróżowania może się pojawić jest uwarunkowana, w głównej mierze, występowaniem oszczędności w czasie podróży, odnoszących się zarówno do komunikacji zbiorowej jak i indywidualnej [1], [2]. Spodziewane zmiany można usystematyzować w następujące grupy:

- zmiany w podziale zadań przewozowych, wynikające ze zmian w czasie podróży dostępnymi środkami podróżowania,
- podróże wydłużone lub skrócone w stosunku do pierwotnie odbywanych – zwiększające / zmniejszające średnią długość podróży,
- nowe podróże – realizowane w relacjach, które w pierwotnej sytuacji (przed inwestycją) nie występowały.

O ile dwie pierwsze grupy dają się kwantyfikować powszechnie stosowanymi metodami (poprzez zastosowanie funkcji oporu w modelu grawitacyjnym lub modelowanie podziału zadań przewozowych), to ruch wzbudzony nie jest analizowany. Najczęściej do opisu tego zjawiska stosuje się narzędzia statystyczne, lecz niejednoznaczność danych wejściowych i zróżnicowane wyniki uzyskane w ramach prowadzonych badań np.[3] wskazują, że warto podjąć próbę opisu przy wykorzystaniu nowych i innowacyjnych technik obliczeniowych, uwzględniających rozproszone środowisko decyzyjne towarzyszące procesowi powstawania ruchu wzbudzonego. W ramach niniejszego artykułu zostanie przedstawiona propozycja zastosowania procesu wnioskowania rozmytego, ze szczególnym uwzględnieniem doboru kształtu funkcji przynależności. Pretekstem do dyskusji będą wyniki szczegółowych badań autora nad doбором funkcji przynależności w ramach modelowania podziału zadań przewozowych.

2. Dobór kształtu funkcji przynależności

Podstawą procesu wnioskowania rozmytego jest operowanie na funkcjach przynależności poprzez zastosowanie działań sumy i przecięcia zbiorów rozmytych oznaczających spójniki, odpowiednio: *Or*, *And* (operacje przecięcia zbiorów stosuje się również w celu opisu procesu implikacji: *Then*). Oznacza to, że najistotniejszym czynnikiem determinującym jakość uzyskanych wyników jest kształt funkcji przynależności, którego dobór uzależniony jest od doświadczenia eksperta. Budowa układów wnioskujących bazujących na różnych kształtach i funkcjach (określonych przez różne osoby) przynosi zróżnicowane wyniki. Jest to spowodowane charakterem procesu wnioskowania, gdzie konieczna jest wiedza charakteryzująca się raczej intuicyjnością niż ścisłością określenia. Aby zminimalizować niepewność wyniku, można podjąć próbę doskonalenia architektury układu poprzez dwa zasadnicze toki postępowania [9]:

- **Modele samo-nastrajające się** - polegają one na stworzeniu stałej bazy reguł wnioskujących a proces strojenia polega na takim dobraniu funkcji przynależności, aby zminimalizować błąd modelu w stosunku do stanu rzeczywistego. Jednym z możliwych rozwiązań jest aplikacja podejścia neuronowo – rozmytego, łączącego zalety obu metodologii, tj. zdolność radzenia z nieprecyzyjnymi danymi jaką daje wnioskowanie rozmyte, oraz uczenie i tworzenie nowych reguł co jest domeną analiz neuronowych. System taki składa się z takich samych składników jak układ rozmyty, jednakże na każdym etapie obliczenia wykonywane są przez uczące się sieci neuronowe. W bloku rozmywania, każdy neuron reprezentuje funkcję przynależności poprzedzającej go reguły rozmytej. Przykładem może być tutaj architektura zaproponowana przez T. Lin [6].
- **Rozmyta metodyka delficka** - odnosi się do procesów decyzyjnych i znajduje zastosowanie w modelowaniu podejmowania decyzji przez użytkownika systemu. W celu zmniejszenia rozrzutu deklarowanych odpowiedzi przeprowadzono drugi etap badań. Korzystając z elementów tzw. techniki delfickiej [7], specjalnie dobrana ankieta będzie sugerować odpowiedź, a zadaniem respondenta jest wskazanie, w jakim stopniu zgadza się on z podanymi wartościami. Metoda delficka powstała w latach czterdziestych

XX wieku w firmie Rand i została opracowana przez O. Helmer'a i O. Dalkey'a [8]. Początkowo była to technika przewidywania przyszłych wydarzeń, jednak biegiem czasu metoda ta ewoluowała i ostatecznie została zdefiniowana, jako możliwość porozumienia się w grupie, umożliwiająca rozwiązywanie określonych zadań. Metoda delficka jest metodą ankietową, opartą na pytaniach zamkniętych, które wymagają odpowiedzi o znaczeniu liczbowym. Argumenty i kontrargumenty ograniczają się tylko do tego rodzaju kwantyfikacji. Badania są przeprowadzane kilkakrotnie, a po każdym etapie wyniki opracowuje się statystycznie. W ostatecznym wyniku osiąga się zgodność przypadająca na środek rozkładu poszczególnych ocen. W dalszej części referatu szczegółowo omówiona zostanie procedura doboru kształtu funkcji przynależności metodą delficką.

3. Schemat układu wnioskującego

Proces wnioskowania rozmytego polega na przekształcaniu wybranych danych wejściowych i wyjściowych przy wykorzystaniu elementów logiki rozmytej. Pierwszym etapem modelowania jest wykorzystanie wiedzy eksperta i dostrojenie układu tak, aby reagował na dane wejściowe przedstawione w formie zmiennych lingwistycznych, w oczekiwany przez eksperta sposób. Takim procesem jest np. układ Mamdaniego [4] – rys. 1.



Rys. 1. Zasada wnioskowania rozmytego wg modelu Mamdaniego.

Podejście rozmytej metodyki delfickiej zostało zastosowane do modelowania podziału zadań przewozowych w ujęciu multimodalnym (uwzględniającym podróże w systemie Park and Ride [10]). W ramach niniejszego artykułu przedstawiony zostanie podstawowy element modelu, polegający na oszacowaniu udziału podróży realizowanych komunikacją indywidualną. Dla tego przypadku wykorzystano system

wnioskowania z jednym zbiorem wejściowym. Udział komunikacji indywidualnej w podróżach pieszych uzależniono od ilorazu kosztu uogólnionego podróży środkami komunikacji zbiorowej i samochodem osobowym Δs . Stanowi on zmienną lingwistyczną o nazwie *iloraz*, dla której przyjęto odpowiednie terminy:

- a) Wartość $\Delta s \leq 1$ – charakteryzuje podróże korzystne pod względem kosztu uogólnionego z punktu widzenia komunikacji zbiorowej. Wartość Δs oznacza w tym przypadku, że koszt uogólniony podróży środkami komunikacji zbiorowej jest niższy od kosztu uogólnionego podróży samochodem osobowym.
- b) Wartość $1 < \Delta s < 3$ – charakteryzuje podróże korzystne pod względem kosztu uogólnionego z punktu widzenia komunikacji indywidualnej. Oznacza to, że koszt uogólniony podróży samochodem osobowym jest niższy od kosztu uogólnionego podróży środkami komunikacji zbiorowej. Jako górną granicę przedziału przyjęto wartość 3,0. Założono, że dla warunków miejskich zazwyczaj nie występuje ponad trzykrotna różnica w koszcie uogólnionym podróży komunikacją zbiorową i indywidualną.

Zaproponowano opis zbioru terminów zmiennej *iloraz*, następującymi terminami:

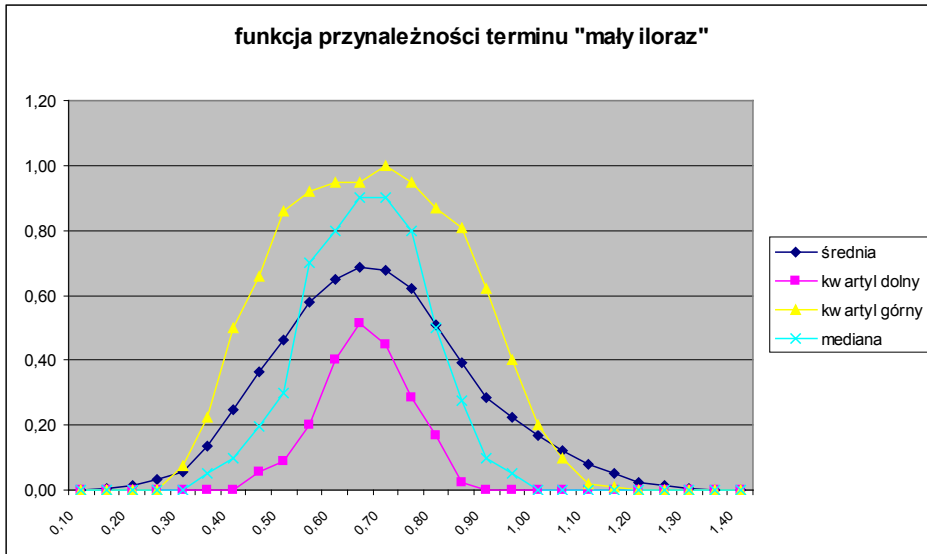
Δs („*iloraz*”) = {„bardzo mały”, „mały”, „równoważny”, „duży”, „bardzo duży”}

Jako dane wyjściowe, przyjęto udział komunikacji zbiorowej w podziale zadań przewozowych, który stanowi zmienną lingwistyczną o nazwie „*udział*”. Zbiór terminów zmiennej *udział* przyjmie następującą postać:

U („*udział*”) = {„mały”, „średni”, „duży”, „bardzo duży”}

Podstawowym elementem wnioskowania rozmytego są właściwie dobrane funkcje przynależności. W tym celu przygotowano ankietę przeprowadzoną wśród wybranego grona ekspertów, wyjaśniając uprzednio cel ankiety charakter funkcji przynależności. W ankiecie wyjaśniono szczegółowo wartość ilorazu i podano przykład kształtów funkcji przynależności, nie sugerując położenia i zasięgu poszczególnych krzywych (na przykładzie nie naniesiono skali). Łącznie uzyskano 41 ankiet eksperckich. Zdecydowano się na aproksymowanie wyników ankiety funkcją Gaussa, ponieważ funkcja ta jest najczęściej stosowana w przypadku wnioskowania rozmytego. W celu ustalenia parametrów wybranej funkcji, odczytano współrzędne punktów

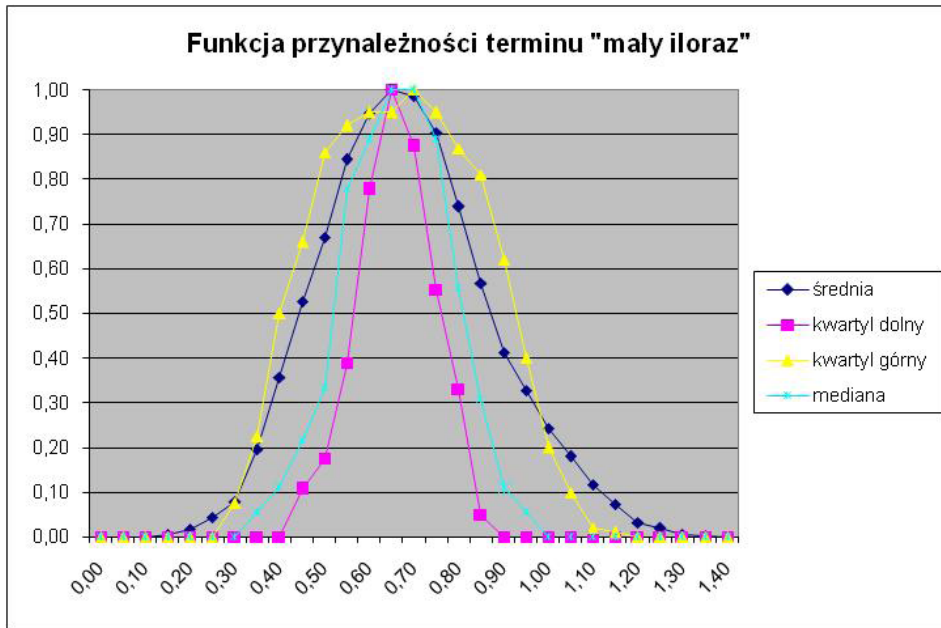
tworzących wykresy w ankietach, uśredniono i zestawiono w postaci wykresów (rys. 2) dla wartości średniej, mediany i kwartyli (górnego i dolnego).



Rys. 2. Przykład uzyskanych wyników dla zmiennej lingwistycznej „mały iloraz”- wyniki pierwotne, funkcje subnormalne

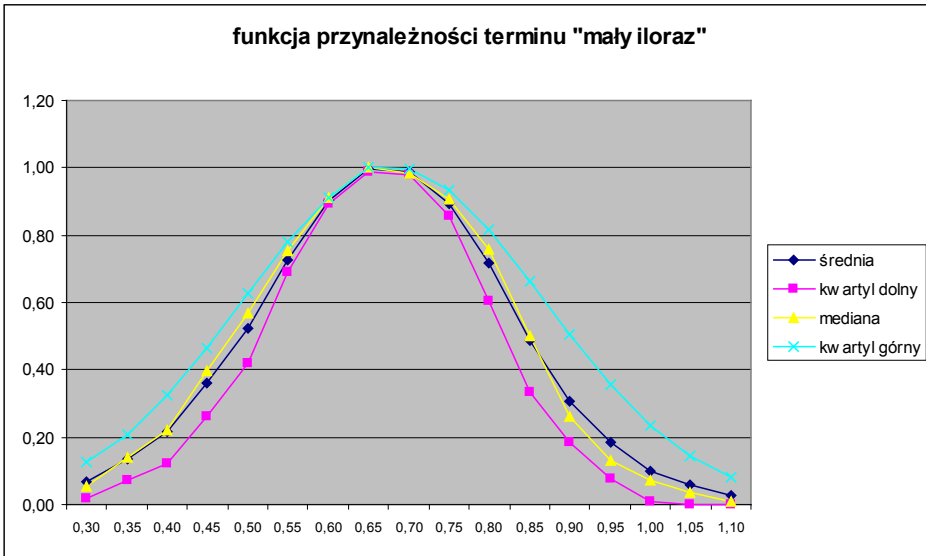
Wybór kwartyli (górnego i dolnego) podyktowany był założeniami metodyki delfickiej, w której kolejny etap ankietowania zawęża możliwość wskazań przez ekspertów. Powierzchnia między kwartynami stanowi właśnie zawężony obszar, wewnątrz którego można wskazać powtórnie wykresy funkcji przynależności.

Należy zwrócić uwagę na ważny aspekt prowadzonych badań - w poszczególnych ankietach wszystkie wykresy osiągały wartość 1,0 ale dla różnej wartości ilorazu. Jednakże dla terminów „mały iloraz” i „duży iloraz” wartości opisujące medianę czy kwartyli dolny nie osiągały jedności (są to zbiory rozmyte subnormalne). Wynika to ze znacznego rozrzutu wartości ilorazu Δ_s dla tych terminów, w udzielanych ankietach. Ponieważ funkcja przynależności dla poszczególnych terminów musi przyjmować wartość równą 1,0 (w przeciwnym wypadku oznaczałoby to, że nie ma wartości ilorazu Δ_s w pełni opisującej określony termin). Do dalszej analizy przeprowadzono proces normalizacji zbiorów (ustalając uprzednio wysokość $h(A)$ zbiorów). W wyniku normalizacji uzyskano funkcje przynależności spełniające wymagane kryteria rys. 3.



Rys. 3. Przykład uzyskanych wyników dla zmiennej lingwistycznej „mały iloraz” – wyniki końcowy, po procesie normalizacji (por. rys. 2)

Konieczność normalizacji zbiorów rozmytych opisujących zmienną lingwistyczną „iloraz” wynika z dużego rozrzutu udzielanych odpowiedzi, a zwłaszcza o bardzo zróżnicowanym kwantyfikowaniu wartości przyjmujących maksimum dla poszczególnych terminów. W celu zmniejszenia rozrzutu uzyskiwanych odpowiedzi przeprowadzono ponownie ankietę, zawężając możliwość udzielania odpowiedzi. Zgodnie z założeniami techniki delfickiej, przygotowano ankietę, w której pytano tę samą grupę ekspertów o kształt poszczególnych funkcji przynależności. Jednakże w przygotowanym formularzu pokazano wyraźnie krzywe odzwierciedlające kwartył górny i kwartył dolny z danych pochodzących z pierwszej ankiety i poproszono o wkreślanie przebiegu krzywej tak, aby mieściła się ona między wykresami. Dodatkowo pokazano przebieg krzywej odpowiadającej wartościom średnim i zaznaczono, że istnieje możliwość pozostawienia wykresu bez poprawek, co oznacza akceptację przebiegu krzywej zgodnie z kształtem krzywej dla wartości średnich. Wyniki ankietowania przedstawiono na rys. 4.



Rys. 4. Przykład uzyskanych wyników dla zmiennej lingwistycznej „mały iloraz” – wyniki II etapu ankietowania metodyką delficką

W wyniku przeprowadzenia drugiego etapu ankietowania, uzyskano znacznie mniejszy rozrzut odpowiedzi, co jest konsekwencją zastosowania metodyki delfickiej i ograniczania możliwości wyboru położenia i kształtu funkcji. Następnie aproksymowano uzyskane wyniki funkcją Gaussa i zweryfikowano przyjęte parametry funkcji przy pomocy testu Kołmogorowa – Smirnowa. Ostateczny kształt funkcji przynależności dla zmiennej „mały iloraz” przyjął postać (1):

$$f(x, \delta, c) = e^{-\frac{(x-0,67)^2}{0,05}} \quad x \in \langle 0,15; 1,15 \rangle \quad (1)$$

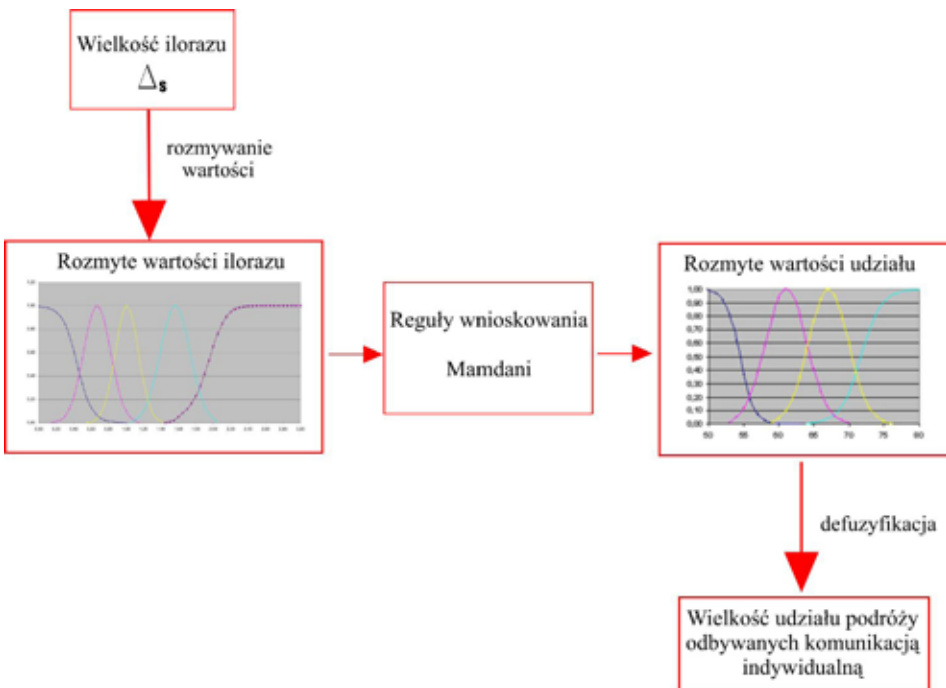
W podobny sposób wyznaczono kształt pozostałych funkcji przynależności dla poprzednika i następnika układu wnioskującego.

4. Budowa modelu rozmytej metodyki delfickiej

Model podziału zadań przewozowych opracowano w programie Matlab i składa się z bloku danych wejściowych stanowiących rozmyte zbiory terminów opisujących zmienną lingwistyczną „iloraz” (będą-

cym ilorazem kosztu uogólnionego podróży komunikacją zbiorową do kosztu uogólnionego podróży samochodem osobowym). Drugim elementem modelu jest blok danych wyjściowych stanowiących zbiory rozmyte opisujące zmienną lingwistyczną „udział” (jest to udział komunikacji indywidualnej w podróżach i dotyczy osób mających możliwość wyboru środka transportu).

Ostatnim elementem układu wnioskowania rozmytego jest blok reguł wnioskowania. Składa się on z układu reguł typu IF...THEN. Semantykę reguł opracowano w następujący sposób: stworzono bazę wszystkich możliwych reguł (pięć terminów opisujących dane wejściowe i cztery terminy opisujące dane wyjściowe daje 20 kombinacji) a następnie odrzucono reguły nielogiczne np. IF „iloraz” jest „bardzo mały” THEN „udział” jest „bardzo duży”. Drogą eliminacji uzyskano 12 reguł stanowiących podstawę modelu. Dane wyjściowe zostały poddane procesowi agregacji i defuzyfikacji, co w efekcie pozwoliło uzyskać nierozmytą wartość wyjściową. Schemat blokowy całego modelu wnioskowania przedstawiono na rysunku 5:



Rys. 5. Model wnioskowania rozmytego, opisującego udział podróży odbywanych komunikacją indywidualną [10]

W celu umożliwienia porównania uzyskanych wyników z dostępnymi modelami podziału zadań przewozowych zdecydowano się na aproksymowanie zbioru danych wyjściowych jednym równaniem. W tym celu wykorzystano program Mathematica i dobrano wzór empiryczny dla ustalonej doświadczalnie zależności funkcyjnej:

$$u_{ki} = 65,19 * \Delta_s^{0,11} \quad (2)$$

gdzie:

u_{ki} – udział komunikacji indywidualnej w podróżach;

Δ_s – iloraz kosztu uogólnionego podróży komunikacją zbiorową do kosztu uogólnionego podróży komunikacją indywidualną.

5. Zastosowanie wnioskowania rozmytego do zarządzania systemem wyboru trasy bazującym na znakach zmiennej treści [11]

Znaki zmiennej treści kierują ruch drogowy przez najlepszą trasę, dostępną pośród wszystkich połączeń punktów źródłowych i docelowych. Obraz dynamiczny sytuacji ruchowej uzyskuje się przez urządzenia detekcji ruchu rozmieszczone na głównych i alternatywnych odcinkach dróg. Do wyboru najlepszego połączenia stosuje się kryteria takie jak czas podróży, prędkość, odległość lub sparametryzowany stopień zanieczyszczenia powietrza. Większość algorytmów sterujących bazuje na podejściu optymalizacji kosztu uogólnionego podróży. Jednakże pojawia się dodatkowy czynnik obejmujący własne doświadczenia użytkowników np. preferujące najkrótszy czas podróży. Doświadczenia wskazują, że systemy bazujące na optymalizacji pracy systemu z punktu widzenia użytkownika osiągają znacznie lepsze dopasowanie do rzeczywistości niż układy analizujące sytuację z punktu widzenia systemu transportowego. Wiele systemów kontroli bazuje na pracy operatorów wprowadzający czynnik ludzki do podejmowanych decyzji. Aby symulować proces decyzyjny podejmowany przez człowieka zdecydowano się zastosować elementy teorii zbiorów rozmytych, opisujących w sposób matematyczny takie pojęcia jak „wysoki” czy „mały”. Celem opracowanego układu jest stworzenie w pełni zautomatyzowanego systemu bazującego na ludzkich ocenach sytuacji ruchowej i podejmowaniu decyzji dotyczących wskazania optymalnej trasy.

Model podejmowania decyzji w warunkach rozmytości został opracowany jako układ wnioskujący z dwoma danymi wejściowymi: długość kolejki i prędkość podróży. Jako dane wyjściowe przyjęto dwuwartościowy układ wskazujący konieczność wyświetlenia na tablicy zmiennej treści sygnału dla kierowców o zmianie trasy. Kształt funkcji przynależności dla poszczególnych zbiorów rozmytych reprezentujących zmienne wejściowe został dobrany na podstawie ankiet eksperckich przeprowadzonych wśród osób zajmujących się zawodowo zagadnieniami kontroli wyboru trasy. Kalibrację opracowanego modelu wnioskowania rozmytego przeprowadzono w formie porównania z decyzjami podejmowanymi przez człowieka. Okazało się, że całkowite koszty funkcji celu zostały zmniejszone o 13%, natomiast czas reakcji na zaistniałą sytuację drogową skrócił się z 15 min (potrzebnych operatorowi do analizy otrzymanych danych i podjęcia decyzji) do niecałej minuty. Wyniki symulacji wskazują, że algorytm wnioskowania rozmytego może być uznawany za krok w dobrym kierunku, wpływając istotnie na poprawę warunków ruchu.

6. Kierunki dalszych badań - problem modelowania ruchu wzbudzonego

W przypadku modelowania podziału zadań przewozowych nie podjęto próby budowy modelu samo-nastrajającego się ponieważ nie oczekiwano konkretnej funkcji a jedynie zgodności z generalną tendencją w zmianach udziału podróży realizowanych komunikacją indywidualną. W takim przypadku podejście jest wystarczające, lecz dla modelowania podróży wzbudzonych, należałoby zastosować podejście neuronowo-rozmyte, gdyż w tym przypadku można dysponować danymi pozwalającymi nauczyć układ wnioskujący i dopasować kształt funkcji przynależności do zapotrzebowania. Do nauczania układu (efektem będzie dopasowanie kształtu funkcji przynależności) wykorzystane zostaną własne badania ankietowe dla trzech nowych linii tramwajowych (w Krakowie – zmodernizowana linia tramwaju szybkiego na Krowodrzy, w Gdańsku – nowa linia tramwajowa na Chełm, oraz w Łodzi – zmodernizowana linia szybkiego tramwaju). Podstawowymi danymi wejściowymi będzie wynik badań bazujących na przeprowadzonych ankietach wskazujący związek pomiędzy skróceniem

czasu podróży spowodowany budową nowego, szybkiego połączenia tramwajowego a dodatkowymi podróżami, które wcześniej (przed inwestycją) nie występowały. Tak rozbudowana baza danych pozwoli stworzyć zbiór danych uczących i testujących nowy układ wnioskująco – rozmyty.

Istotą podejścia jest przeprowadzenie dokładnych ankiet typu SP (deklaracje stwierdzone) pośród użytkowników nowych inwestycji (pasażerów tych linii tramwajowych), ukierunkowane na dodatkowe podróże – podobne badania były już prowadzone przez autora [10]. Wyniki badań będą stanowiły podstawę do sporządzenia prognozy zerowej (dla stanu istniejącego), bazując na modelach symulacyjnych miast opracowanych wg wyników kompleksowych badań ruchu (Kraków 2003, Gdańsk 2000, Łódź 1999). Prognoza zerowa będzie ukierunkowana na bezpośredni obszar wpływu inwestycji i będzie miała charakter analizy korytarzowej. Zastosowanie narzędzia makro – symulacyjnego pozwoli kwantyfikować spodziewane efekty pojawienia się ruchu wzbudzonego i porównania wyników między analizowanymi miastami.

7. Podsumowanie i wnioski

Wnioskowanie rozmyte nadaje się do obrazowania informacji nieprecyzyjnych, nieokreślonych bądź niekonkretnych. Umożliwia opis pojęć wieloznacznych, w których tradycyjna logika dwuwartościowa napotyka na bariery trudne do pokonania. Zdaniem autora problematyka wyznaczenia ruchu wzbudzonego należy do takich pojęć i stanowi dobry poligon badawczy w prowadzonych analizach.

Główny problem poruszony w niniejszym artykule odnosił się do doboru funkcji przynależności, prowadząc do następujących spostrzeżeń:

- trudność w interpretacji znaczenia funkcji przynależności i konieczność szczegółowego wyjaśnienia podstawowych pojęć,
- w prowadzonych badaniach interpretacji przedstawiono iloraz kosztów uogólnionych podróży, co znacznie utrudniło oszacowanie właściwego kształtu. Koniecznym było uproszczenie ankiety i przyjęcie rozwiązania pośredniego, polegającego na zastąpieniu

kosztu czasem podróży (udowodniono wcześniej statystyczną zależność między tymi zmiennymi),

- różnorodność opisywanych zmiennych lingwistycznych i ich znaczna ilość mogła przyczynić się do udzielania nieprecyzyjnych odpowiedzi,
- zastosowanie metodyki delfickiej pozwoliło doprowadzić do zmniejszenia rozrzutu uzyskanych odpowiedzi w ramach jednej zmiennej lingwistycznej, co stanowiło pewien kompromis między opiniami ekspertów,
- weryfikacja uzyskanych wyników polega na porównaniu modelu rozmytego z dostępnymi modelami podziału zadań przewozowych. Ponieważ uzyskane wyniki są zbliżone do modeli opartych na badaniach ruchu [10] można wnioskować, że przyjęta metodologia sprawdzi się w modelowaniu udziału podróży w systemie P&R,
- podejście ma zastosowanie w przypadku, kiedy nie oczekujemy konkretnych wyników a jedynie kierunek zmian w układzie. Zastosowanie takiego podejścia było możliwe, ponieważ celem badań nie było odwzorowanie modelu podziału zadań przewozowych dla konkretnego miasta, a jedynie opracowanie uniwersalnego narzędzia.

Literatura

- [1] DeCorla-Souza P.: Estimating induced travel, emissions and benefits in highway corridor analysis. Transportation Research Board, Washington D.C. 1999.
- [2] Goodwin P.: Empirical evidence of induced traffic, a review and synthesis. Transportation 23, page 35-54, 1996.
- [3] Bailly H.: Assessing the issue of induced travel: a briefing on evidence and implications from the literature. Washington Metropolitan Council of Governments, July 2000.
- [4] Fuzzy logic toolbox. User Guide, version 2, The Math Works Inc. 2000.
- [5] Szarata A.: Ocena efektywności funkcjonalnej systemu parkingów przesiadkowych (P+R). Rozprawa doktorska, Politechnika Krakowska, Kraków 2005.

-
- [6] Lin C.T.: Neural Fuzzy Control Systems with Structure and Parameter Learning. World Scientific, ISBN 981-02-1613-0, Singapore, 1994.
- [7] Antoszkiewicz J.: Metody heurystyczne. Państwowe Wydawnictwo Ekonomiczne, Warszawa 1982.
- [8] Wiegiers K.: Delphic Metod. Trang Hoang Nguyen Post, 28 August 2001.
- [9] Rykaczewski K.: Systemy rozmyte i ich zastosowania. Toruń 2006.
- [10] Szarata A.: Modelowanie ruchu wzbudzonego w miastach. 54 Konferencja Naukowa Komitetu Inżynierii Lądowej i Wodnej PAN i Komitetu Nauki PZITB, Krynica 2008.
- [11] Bogenberger K.: A new rerouting control system which is based on fuzzy logic. Traffic Engineering and Control, page 44-49, February 2003.

THE USEFULNESS OF FUZZY INFERENCE SYSTEMS FOR TRIP MODELLING

Summary

The paper presents possibilities of Fuzzy Inference Systems (FIS) applications within trip modelling. The main goal of the paper is presentation of the procedure focused on shaping of the membership function in Mamdani FIS and their influence on obtained results. The inference system was developed in purpose of Park and Ride modelling. Moreover it was proposed an application of FIS into induced traffic modelling.

Keywords: *fuzzy inference, modal split, induced traffic*

ANWENDUNGSZWECKMÄSSIGKEIT DER AUSSPÜLUNGSFOLGERUNG N DER MODELLIERUNG DER VERKEHRSVERHALTENWEISE

Zusammenfassung

Der Vortrag präsentiert die Anwendungsmöglichkeiten von Ausspülungsfolgerungsprozeduren für die Reisemodellierung. Das Hauptziel des Vortrages ist die Darstellung der Auswahlweise für die Form der Zugehörigkeitsfunktionen, sowie ihrer Einflusses auf die gewonnenen Ergebnisse des Folgerungssystems. Die Beschreibung konzentriert sich auf die Anwendung dieses Systems für die Modellierung der Transportaufgabenteilung unter Berücksichtigung der Reisen im „Park and Ride“-System. Außerdem wird die Möglichkeit der Anwendung der Ausspülungsfolgerung für die Modellierung des Erregungsbetriebes vorgeschlagen.

Die Schlüsselwörter: *die Ausspülungsfolgerung, die Teilung der Transportaufgaben, der Erregungsbetrieb*

Mariusz Szubra¹
Małgorzata Broda²

ZNACZENIE PROGNOZ RUCHU W PROCESIE OCENY EFEKTYWNOŚCI PROJEKTÓW TRANSPORTOWYCH

Streszczenie

Decyzje inwestycyjne zapadają w oparciu o przeprowadzony rachunek efektywności finansowej i ekonomicznej. W przypadku projektów transportowych, które albo nie powodują powstania przychodów w ogóle (projekty drogowe) albo w wysokości nie pokrywającej nawet kosztów operacyjnych (projekty z zakresu transportu publicznego), ocena efektywności opiera się głównie na rachunku społecznym. W przypadku omawianych rodzajów projektów, rachunek ten bazuje na szacunku wzrostu ilości pasażerów w transporcie publicznym, oszczędności czasu pasażerów, kosztów utrzymania pojazdów, kosztów wypadków, kosztów środowiskowych itp. Wszystkie wymienione kategorie są pochodną analizy specyficznej dla sektora, która wymagana jest chociażby przez programy unijne, a którą jest dla omawianych inwestycji prognoza ruchu. Można zatem stwierdzić, że jej znaczenie w procesie podejmowania decyzji inwestycyjnej jest fundamentalne. Stąd też jakość tej prognozy nie może budzić żadnych zastrzeżeń metodologicznych.

Słowa kluczowe: *studium wykonalności, prognozowanie ruchu, aplikacje o środki unijne, ocena efektywności*

¹ mgr, Wiceprezes Zarządu International Management Services Sp. z o.o., Kraków, ul. Felicjanek 4/10, e-mail mariusz.szubra@ims.biz.pl

² mgr, malgorzata.broda@ims.biz.pl

1. Wprowadzenie

Przygotowanie prawidłowych prognoz ruchu ma zasadnicze znaczenie dla oceny efektywności ekonomicznej projektów transportowych. Prognozy te muszą uwzględniać skutki planowanej inwestycji i wszelkie inne stwierdzone lub prawdopodobne zmiany w sieci.

Poprawnie przygotowana prognoza ruchu powinna uwzględniać następujące zagadnienia³:

- Określenie wielkości analizowanego obszaru i dokładności analizy.
- Opis stanu istniejącego.
- Wykonanie badań i pomiarów.
- Przygotowanie modelu sieci w analizowanym obszarze.
- Określenie horyzontu czasowego prognozy.
- Obliczenie generacji podróży.
- Podział pracy przewozowej pomiędzy systemy transportowe.
- Przygotowanie macierzy ruchu.
- Symulacja rozkładu ruchu na sieci, analiza obciążenia odcinków sieci.
- Przygotowanie danych wyjściowych dla następnych etapów analizy.

Ostatnim etapem procesu prognozowania ruchu jest podsumowanie najważniejszych danych wyjściowych. Obliczenia prognostyczne przeprowadzane są przy uwzględnieniu wpływu proponowanych elementów oferty przewozowej na wielkość popytu dla każdego z wariantów. Prognozowany ruch dzieli się na następujące kategorie:

- ruch dotychczasowy, na wielkość którego nie ma wpływu realizacja inwestycji,
- ruch przejęty (nowi pasażerowie kolei, drogi, transport publiczny, przejęci z innego środka transportu),
- ruch wzbudzony (tzn. nowi użytkownicy kolei, drogi, transportu publicznego, którzy zaczęli podróżować w wyniku poprawy jakości usług).

Dane wyjściowe prognozy ruchu przedstawia się dla co najmniej dwóch okresów czasowych. Wszystkie dane powinny być prezentowane w podziale na kategorie pojazdów przyjęte w całym procesie anali-

3 Na podstawie podręczników Niebieska księga Jaspers dla projektów transportowych

zy. Dane zawierają wszystkie informacje potrzebne do dalszych analiz, zarówno technicznych, jak i ekonomicznych i finansowych.

Obejmują one, w zależności od rodzaju projektu, między innymi:

- liczbę pasażerów lub użytkowników sieci,
- liczbę pasażerogodzin i pasażerokilometrów (jeżeli ma to zastosowanie, dane dotyczące ruchu należy podzielić na dane dotyczące ruchu istniejącego, przejętego z innych środków transportu, wzbudzonego w wyniku nowej oferty);
- przewozy towarów w tonach i tonokilimetrach,
- liczbę samochodokilometrów w przypadku projektów drogowych z podziałem na samochody osobowe, ciężarowe i inne,
- liczbę pociągów (lub innego taboru) i pociągokilometrów w przewozach pasażerskich i towarowych.

Wymienione powyżej dane wyjściowe stanowią podstawę do wyliczenia korzyści w ramach analizy efektywności ekonomicznej projektu. Na ich podstawie oblicza się ilościowy aspekt skutków ekonomicznych inwestycji takich jak:

- oszczędność kosztów eksploatacji pojazdów,
- oszczędność czasu pasażerów,
- redukcję liczby wypadków,
- spadek zanieczyszczenia środowiska,
- zmianę poziomu hałasu,
- koszty biletów nowych pasażerów transportu publicznego,
- inne koszty i korzyści społeczne zidentyfikowane dla danego projektu.

Następnie przypisuje się powyższym kosztom i korzyściom wartości jednostkowe otrzymując w ten sposób efekty ekonomiczne inwestycji, które pozwalają określić wskaźniki oceny, które z kolei stanowią podstawowe narzędzie decyzyjne w procesie kierowania projektem do realizacji.

Proces przygotowania studium wykonalności projektu wymaga współdziałania zespołu osób odpowiedzialnych za poszczególne części raportu: inżynierów, ekonomistów, finansistów, prawników i wreszcie „modelarzy ruchu”. Jak już wspomniano, efekty pracy tych ostatnich mają fundamentalne znaczenie dla wyników analiz ekonomicznych. Proces tworzenia studium przebiega zazwyczaj wg scenariusza, w którym dopiero po zakończeniu pracy przez zespół przygotowujący prognozy ruchu, zespół finansowo-ekonomiczny zaczyna intensyfikować

swoją pracę nad projektem. I zazwyczaj nie analizuje wyników pracy zespołu wcześniejszego, wkładając wyniki prognozy ruchu do swojego modelu. Z jednej strony trudno mieć do nich pretensje z uwagi na to, że nie chcą się zagłębiać w warsztat pracy modelarzy albo po prostu trudno im zrozumieć zależności funkcjonujące w modelu ruchu. Ważne jest natomiast, aby przynajmniej starali się zrozumieć wyniki ruchowe jakie otrzymali i próbowali spojrzeć na nie w miarę krytycznie. Zdarza się bowiem, że po włożeniu wyników prognoz ruchu do modelu ekonomicznego otrzymuje się wartości końcowe, które nie odbiegają istotnie od wyników analiz z innych projektów. Wtedy zazwyczaj otrzymane wyniki nie poddawane są dalszej ocenie. Gorzej jest w sytuacji, kiedy nawet po uzyskaniu wartości nieporównywalnych przechodzi się nad nimi do porządku dziennego argumentując to uzyskaną właśnie prognozą ruchu. Pojawia się jednak pytanie czy ona zawsze jest zrobiona poprawnie, czy w przyjętych założeniach nie było gdzieś błędu, skąd wyniki prognozy dające wartości wskaźników efektywności tak drastycznie różne od innych projektów. Chociażby to powinno skłonić zespół sporządzający analizy ekonomiczne do konfrontacji z autorami prognoz ruchu.

2. Studium pewnego przypadku

W pewnym projekcie analizowano opłacalność budowy dodatkowych linii transportu zbiorowego o łącznej długości ok. 35 km w mieście o populacji ok. 1 mln mieszkańców⁴.

Analizę przeprowadzono zgodnie z zaleceniami Niebieskiej księgi dla sektora transportu publicznego, wg następującego schematu:

- zestawienie przepływów finansowych, obejmujących nakłady inwestycyjne oraz przepływy operacyjne;
- korekta przepływów finansowych o podatek VAT oraz transfery fiskalne;
- ustalenie czynników społeczno - ekonomicznych o istotnym poziomie oddziaływania na projekt;
- wycena kosztów i korzyści społecznych;

⁴ W niniejszym artykule zaprezentowano analizę tylko jednego wariantu inwestycyjnego, co jest zdaniem autorów wystarczające dla zobrażenia omawianego zagadnienia i pozwala uprościć prezentację sposobu rozumowania. W rzeczywistości ocenie poddano kilka wariantów, których założenia w zakresie nakładów oraz wskaźniki efektywności były zbliżone.

- zestawienie przepływów ekonomicznych projektu i obliczenie wskaźników efektywności ekonomicznej.

Analizę efektywności projektu przeprowadzono z punktu widzenia operatora transportu publicznego, przy czym w przepływach operacyjnych nie uwzględniono rekompensaty za pracę przewoźową, bo ona stanowi koszt organizatora transportu i jako, że zawsze musi pokryć koszty operatora, zaburzyłaby ocenę efektywności przedsięwzięcia.

W analizie uwzględniono następujące efekty społeczne:

- oszczędność kosztów czasu dotychczasowych pasażerów transportu publicznego,
- spadek kosztów wypadków komunikacyjnych dzięki mniejszej liczbie podróży odbywanych samochodami,
- oszczędność kosztów eksploatacyjnych samochodów osobowych pasażerów przejętych przez transport zbiorowy,
- oszczędność rekompensaty za pracę przewoźową autobusów i tramwajów na dotychczasowych liniach,
- koszty biletów byłych użytkowników samochodów osobowych przejętych przez transport zbiorowy,
- oszczędność kosztów uciążliwości środowiskowych powodowanych przez transport drogowy w wyniku ograniczenia ruchu samochodowego.

Podstawą oszacowania kosztów i przychodów operacyjnych oraz wszystkich korzyści społecznych z realizacji projektu były prognozy ruchu przygotowane dla wariantu inwestycyjnego i bazowego.

Opierano się na prognozach przygotowanych przy użyciu programu VISUM dla roku zakończenia inwestycji R1 oraz na koniec okresu prognozy RN. Zestawiając macierz ruchu dla lat pomiędzy R1 i RN zastosowano ekstrapolację liniową.

Obliczenia wykonano metodą różnicową, przyjmując do analiz różnicę pomiędzy wariantem inwestycyjnym i bazowym, uznając, że jest ona efektem realizacji projektu.

Znaczenie prognoz ruchu dla wyników oceny efektywności projektu z dziedziny transportu publicznego obrazuje poniższa analiza.

Tablica 1. I wersja prognozy ruchu

	mln rocznie	R1		RN	
		WB	WI	WB	WI
Transport publiczny	<i>pasażerów</i>	446	628	506	884
Ruch w transporcie publicznym w usługach/sieci/ korytarzu transportowym -autobus	<i>pasażerów</i>	265	302	261	394
Ruch w transporcie publicznym w usługach/sieci/ korytarzu transportowym -tramwaj	<i>pasażerów</i>	165	207	155	243
Ruch w transporcie publicznym w usługach/sieci/ korytarzu transportowym proponowanego projektu	<i>pasażerów</i>	0	126	0	269
Ruch dodatkowy	<i>pasażerów</i>	0	0	0	0
-pochodzący z innych usług transportu publicznego	<i>pasażerów</i>	0	0	0	0
-przechwycony z konkurencyjnych środków transportu (samochód)	<i>pasażerów</i>	0	26	0	32
-ruch wzbudzony	<i>pasażerów</i>	0	156	0	346
Ruch samochodowy w korytarzu	<i>pojazdów</i>	318	297	419	374
Ruch samochodowy w korytarzu	<i>pasażerów</i>	398	371	502	449
Praca przewozowa - samochody	<i>pojkm</i>	6 895	6 790	8 986	8 152
Średni czas trwania jednego przejazdu pojazdów transportu publicznego	<i>min</i>	37,22	19,98	38,57	19,62
Praca przewozowa -autobus	<i>pasgodz</i>	80	59	93	74
Praca przewozowa -tramwaj	<i>pasgodz</i>	37	29	41	33
Praca przewozowa - projekt	<i>pasgodz</i>	0	13	0	28
Praca przewozowa -autobus	<i>paskm</i>	1 506	1 052	1 505	1 310
Praca przewozowa -tramwaj	<i>paskm</i>	658	620	725	1 261
Praca przewozowa -projekt	<i>paskm</i>	0	592	0	672

Podstawowe zastrzeżenia, które wzbudziła ta prognoza były następujące:

- zbyt długi czas trwania przejazdu transportem publicznym – prawie 40 min, co wydawało się mało realistyczne, bo w materiałach publikowanych na temat transportu w mieście podawano średni czas przejazdu komunikacją zbiorową w granicach kilkunastu minut; również intuicyjnie ta wielkość wydawała się zawyżona;
- skrócenie czasu trwania przejazdu transportem publicznym prawie o 50% - rozpatrywana inwestycja miała znacznie usprawnić przejazd przez niektóre obszary miasta, ale wydawało się mało wiarygodne, aby projekt mógł w tak radykalny sposób skrócić czas przejazdu podróży na całej sieci;
- suma pasażerów podróżujących poszczególnymi środkami transportu publicznego różna od ogólnej liczby pasażerów transportu publicznego;

- redukcja pracy przewozowej dotychczasowych tramwajów wyrażonej w pasażerogodzinach i wzrost tej pracy wyrażonej w pasażerokm.

Ze względu na powyższe wątpliwości przeanalizowano prognozę wraz z jej autorami jeszcze przed przystąpieniem do obliczania efektywności ekonomicznej projektu.

Wskaźnik ERR policzono jedynie na potrzeby niniejszego artykułu i wyniósł on dla tych danych prognostycznych aż 108,5%. Warto zaznaczyć, że efektywność powyżej 15% uznawana jest już za dość wysoką. Obserwowany wskaźnik ERR próbki projektów inwestycyjnych finansowanych przez UE w poprzednich okresach programowania w wybranych sektorach zestawiono w poniższej tabelicy 2.

Tablica 2. Wskaźniki ERR projektów inwestycyjnych finansowanych przez UE w poprzednich okresach

Sektor	Liczba projektów	Średnia ERR	Odchylenie standardowe ERR	Średnia sektora / średnia ogólna
Transport i dystrybucja energii	2	12,6	6,22	0,77
Drogi i autostrady	56	15,53	9,58	0,71
Koleje naziemne i podziemne	48	11,62	8,21	0,71
Porty, lotniska	20	26,84	28,99	1,64

Źródło: Przewodnik do Analizy Kosztów i Korzyści projektów inwestycyjnych. Fundusze strukturalne, Fundusz Spójności oraz Instrument Przedakcesyjny, Komisja Europejska, Dyrekcja Generalna ds. Polityki Regionalnej, czerwiec 2008; str. 63

Tablica 3. II wersja prognozy ruchu

	mln rocznie	R1		RN	
		WB	WI	WB	WI
Transport publiczny	<i>pasażerów</i>	428	628	493	884
Ruch w transporcie publicznym w usługach/sieci/ korytarzu transportowym -autobus	<i>pasażerów</i>	225	302	266	394
Ruch w transporcie publicznym w usługach/sieci/ korytarzu transportowym -tramwaj	<i>pasażerów</i>	134	207	169	243
Ruch w transporcie publicznym w usługach/sieci/ korytarzu transportowym proponowanego projektu	<i>pasażerów</i>	0	126	0	269
Ruch dodatkowy	<i>pasażerów</i>	0	0	0	0
-pochodzący z innych usług transportu publicznego	<i>pasażerów</i>	0	0	0	0
-przechwycony z konkurencyjnych środków transportu (samochód)	<i>pasażerów</i>	0	26	0	32
-ruch wzbudzony	<i>pasażerów</i>	0	156	0	346
Ruch samochodowy w korytarzu	<i>pojazdów</i>	318	297	419	374
Ruch samochodowy w korytarzu	<i>pasażerów</i>	398	371	502	449

Praca przewozowa - samochody	<i>pojkm</i>	6 895	6 790	8 986	8 152
Średni czas trwania jednego przejazdu pojazdów transportu publicznego	<i>min</i>	22,18	19,98	22,37	19,62
Praca przewozowa - autobus	<i>pasgodz</i>	57	59	63	74
Praca przewozowa - tramwaj	<i>pasgodz</i>	27	29	33	33
Praca przewozowa - projekt	<i>pasgodz</i>	0	13	0	28
Praca przewozowa - autobus	<i>paskm</i>	1 013	1 052	1113	1 310
Praca przewozowa - tramwaj	<i>paskm</i>	475	620	577	1 261
Praca przewozowa - projekt	<i>paskm</i>	0	592	0	672

Zweryfikowane wartości pogrubiono

Powyższe dane wprowadzono do modelu ekonomicznego i obliczono wskaźniki efektywności ekonomicznej, otrzymując ERR – 50%. Jest to nadal wartość bardzo wysoka, dlatego ponownie wrócono do analizy danych wejściowych.

Tablica 4. III wersja prognozy ruchu

	mln rocznie	R1		RN	
		WB	WI	WB	WI
Transport publiczny	<i>pasażerów</i>	428	453	504	543
Ruch w transporcie publicznym w usługach/sieci/korytarzu transportowym -autobus	<i>pasażerów</i>	225	221	217	246
Ruch w transporcie publicznym w usługach/sieci/korytarzu transportowym -tramwaj	<i>pasażerów</i>	134	152	254	141
Ruch w transporcie publicznym w usługach/sieci/korytarzu transportowym proponowanego projektu	<i>pasażerów</i>	0	77	0	156
Ruch dodatkowy	<i>pasażerów</i>	0	24	0	39
-pochodzący z innych usług transportu publicznego	<i>pasażerów</i>	0	13	0	13
-przechwycony z konkurencyjnych środków transportu (samochód)	<i>pasażerów</i>	0	6	0	12
-ruch wzbudzony	<i>pasażerów</i>	0	5	0	15
Ruch samochodowy w korytarzu	<i>pojazdów</i>	318	313	403	392
Ruch samochodowy w korytarzu	<i>pasażerów</i>	398	391	484	471
Praca przewozowa - samochody	<i>pojkm</i>	3 193	3 146	4 177	4 077
Średni czas trwania jednego przejazdu pojazdów transportu publicznego	<i>min</i>	22,37	20,64	26,00	24,03
Praca przewozowa -autobus	<i>pasgodz</i>	57	44	48	53
Praca przewozowa -tramwaj	<i>pasgodz</i>	27	23	41	20
Praca przewozowa - projekt	<i>pasgodz</i>	0	11	0	18
Praca przewozowa -autobus	<i>paskm</i>	802	788	928	956
Praca przewozowa -tramwaj	<i>paskm</i>	475	472	762	426
Praca przewozowa -projekt	<i>paskm</i>	0	592	0	672

Ekonomiczna stopa zwrotu obliczona na podstawie powyższych wielkości wyniosła ERR – 14,5%. Wyniki te, uzyskane po jeszcze raz przeprowadzonej analizie, uznano za wiarygodne.

Jak widać z powyższego raportu z przebiegu pracy, faza dojścia od wyników wstępnych do końcowych w istotny sposób zweryfikowała wartość wskaźnika efektywności ERR. Tak jak wspomniano wcześniej, mogłoby się jednak zdarzyć, że raport zamknięto by już po uzyskaniu wyników z kroku pierwszego. Najprawdopodobniej proces weryfikacji nastąpiłby na etapie oceny merytorycznej wniosku, co z jednej strony przedłużyłoby znacznie proces samego aplikowania, a z drugiej mogło doprowadzić do istotnego obniżenia wiarygodności wyników prac już na wstępie oceny kolejnej wersji.

Wracając do zaprezentowanego przykładu warto podnieść jeszcze jedną kwestię. Otrzymane wyniki końcowe uzyskano przy uwzględnieniu parametrów kosztów jednostkowych zaczerpniętych z Niebieskiej księgi, który np. dla kosztu czasu pasażera jest stosunkowo wysoki i wynosi 56,83 zł dla godziny podróży związanej z pracą. Po urealnieniu tej stawki do poziomu średniego krajowego wynagrodzenia otrzymano ERR na poziomie 5,9%, przy wartości granicznej wynoszącej 5%. Przy takiej wartości, przyjmując margines błędu szacowania nakładów i prognoz ruchu, należałoby już stwierdzić, że inwestycja jest na granicy opłacalności społecznej i trudno jest ją jednoznacznie zarekomendować do realizacji. Zatem mamy do czynienia z sytuacją, gdzie od stwierdzenia bardzo wysokiej efektywności projektu i niemalże rekomendacji jego realizacji doszliśmy do stwierdzenia poddającego pod wątpliwość zasadność wdrażania projektu.

3. Podsumowanie

Ocena przedsięwzięcia inwestycyjnego, bez względu na zastosowaną metodę, jest dokonywana w oparciu o zgromadzone dane. Dane te mogą mieć charakter historyczny bądź prognostyczny. W obu przypadkach należy zdawać sobie sprawę z ich niedoskonałości: dane historyczne są często niekompletne i obarczone trudno mierzalnymi błędami, natomiast dane prognostyczne wymagają przy ich wykorzystywaniu krytycznego spojrzenia i uwzględnienia związanego z nimi ryzyka.

Jak wykazano w niniejszym artykule, decyzje inwestycyjne zapadają w oparciu o przeprowadzony rachunek efektywności ekonomicznej. W przypadku projektów transportowych bazuje on na przygotowanych prognozach ruchu. Ich znaczenie w procesie podejmowania decyzji inwestycyjnej jest fundamentalne. Stąd też jakość tych prognoz nie może budzić żadnych zastrzeżeń metodologicznych.

Wskazano ponadto, że w trakcie oceny projektu inwestycyjnego konieczne jest ściśle współdziałanie zespołu przygotowującego prognozę ruchu i zespołu sporządzającego na jego podstawie analizę efektywności ekonomicznej. Ten drugi, zdaniem autorów artykułu, nie może bezkrytycznie przyjmować wyników prognoz ruchu; powinien poddać je ocenie wstępnej, następnie testom weryfikacji zgodnie z metodologią modelowania, po tym etapie dokonać oszacowania wskaźników efektywności, poddać je ocenie końcowej i dopiero przejść do fazy końcowej analizy projektu.

Zespół przygotowujący prognozy ruchu z kolei nie może „obrażać się” na uwagi i sugestie zespołu ekonomicznego. Powinien właśnie dążyć do tego, aby one się pojawiły albo przynajmniej wymusić na zespole ekonomicznym spotkanie koordynacyjne, aby zorientować się czy rozumie on dostarczone mu wyniki, które dla niego staną się danymi wejściowymi jego analiz.

Tylko takie podejście i współdziałanie podzespołów projektowych zapewni wysoką wiarygodność uzyskanych wyników i rekomendacji, a tym samym znacznie poprawi jakość przygotowanej dokumentacji i sprawność przeprowadzenia procesu decyzyjnego.

TRAFFIC FORECAST SIGNIFICANCE IN THE PROCESS OF EFFICIENCY ASSESSMENT OF TRANSPORTATION OBJECTS

Summary

The investment decisions are usually taken basing on the account of finance and economic performance. In the case of transportation projects the assessment of finance and economic performance is based mainly on social account, because the transportation projects do cause no revenue at all (road projects) or the revenue volume does not cover even the operating costs (projects in the field of public transport). In the case of projects mentioned above the account is basing on the estimation of the increase of

public transport passengers volume, the savings of passengers' time, costs of vehicles maintenance, costs of accidents, environmental costs, etc. The all mentioned categories are a derived of specific analysis for the sector and this analysis is required by EU programmes so is closely related to the traffic forecast. It could be said that the traffic forecast has fundamental importance for the process of decision making. Therefore the quality of the traffic forecast should not cause any methodological objections.

Keywords: *feasibility study, traffic forecasting, efficiency assessment*

BEDEUTUNG DER BETRIEBSPROGNOSEN IM BEURTEILUNGSPROZESS DER WIRKSAMKEIT VON VERKEHRSPROJEKTEN

Zusammenfassung

Die Investitionsentscheidungen werden in Anlehnung an die durchgeführte finanzielle und wirtschaftliche Wirksamkeitsrechnung gefasst. Im Fall der Verkehrsprojekte, die entweder überhaupt keine Einnahme geben (die Straßenbauprojekte), oder so kleine, dass sie sogar die Operationskosten nicht tragen (Projekte für ÖPNV), stützt sich die Wirksamkeitsbeurteilung hauptsächlich auf die gesellschaftliche Rechnung. In solchen Projekten basiert die Rechnung auf die Abschätzung des Anzahlenwachstums von Fahrgästen in ÖPNV, auf die Zeitsparsamkeiten der Fahrgäste, der Fahrzeugunterhaltungskosten, der Unfallkosten, der Umweltkosten, usw. Alle erwähnten Kategorien sind aus der spezifischen Analyse für den Sektor abgeleitet, die wenigstens von EU-Programmen erforderlich ist, und die für die besprochenen Investitionen die Betriebsprognose bildet. Man kann behaupten, dass die Bedeutung der Betriebsprognose im Entscheidungsprozess für die Investition fundamental ist. Daher kann die Qualität dieser Prognose keine methodologischen Vorbehalte herausrufen.

Die Schlüsselwörter: *das Ausführungsstudium, die Betriebsprognostizierung, die Wirksamkeitsbeurteilung*

Andrzej Zalewski¹

MODELE RUCHU ROWEROWEGO W MIASTACH I AGLOMERACJACH

Streszczenie

W artykule przedstawiono przegląd tendencji w modelowaniu ruchu rowerowego w różnych fazach procedury planowania transportu oraz prognozowania ruchu rowerowego w miastach i aglomeracjach. Przedstawione zagregowane i zdezagregowane modele generacji ruchu oraz podziału zadań przewozowych zostały porównane z modelami dla innych środków transportu, stosowanymi na tym samym poziomie procedury planistycznej.

Słowa kluczowe: *rower, ruch rowerowy, modelowanie i prognozowanie ruchu rowerowego, systemy transportu w miastach i aglomeracjach*

1. Wprowadzenie

W końcu I dekady XXI wieku ruch rowerowy w miastach i w aglomeracjach pełni coraz większą rolę, jako proekologiczna forma zrównoważonego transportu. W wielu obszarach zurbanizowanych udział rowerów w podróżach przekracza 20% (m.in. [9, 14]), co skłania do bardzo poważnego uwzględnienia roweru w planowaniu systemów transportowych tych obszarów. Celem niniejszego artykułu jest przegląd tendencji w prognozowaniu i modelowaniu ruchu rowerowego.

¹ dr inż., Politechnika Łódzka, Wydział Budownictwa, Architektury i Inżynierii Środowiska

2. Tendencje w prognozowaniu ruchu rowerowego

Przegląd badań nad prognozowaniem ruchu rowerowego zawartych w pracach zagranicznych i krajowych pozwala wyróżnić następujące tendencje:

- 1) Tworzenie układów ruchu rowerowego jako integralnej części systemu transportowego danego miasta bądź aglomeracji bez określania prognozy ruchu [1, 6, 24, 25].

W ujęciu klasycznej czterofazowej procedury planistycznej, fazie generacji ruchu odpowiada model podróży rowerowych w obszarze opracowania. Faza rozkładu przestrzennego zastąpiona jest określeniem układu linii pożądaných przemieszczeń, które następnie nakłada się na antycypowane trasy przemieszczeń rowerowych, co tworzy model układu dróg rowerowych i wyznacza główne korytarze ruchu dla tego środka lokomocji. Szerokość tych korytarzy wyznaczona jest odległością po 150 m po obu stronach danego ciągu komunikacyjnego. Faza ta odpowiada rozkładowi ruchu na sieć. Kolejnym krokiem w procedurze jest uszczegółowienie przebiegu i wybór typu drogi rowerowej na poszczególnych odcinkach układu dróg rowerowych, z uwzględnieniem uwarunkowań przekształceń przestrzeni publicznej oraz potrzeb ruchu innych środków lokomocji. W konsekwencji przekształcony zostaje dotychczasowy przekrój normalny ulicy. W warunkach europejskich bądź amerykańskich, jeśli tylko stosunkowo niewielka część podróży, poza nielicznymi wyjątkami, wykonywana jest - lub przewiduje się, że będzie wykonywana - rowerem (np. w miastach średniej wielkości jest to ok. 10÷15% przemieszczeń wewnątrzmijskich), nie sporządza się prognozy ruchu, gdyż przepustowość układu dróg rowerowych sprostą potrzebom spodziewanego potoku rowerowego. W związku z tym prognoza ilościowa zastąpiona jest prognozą graficzną o fazach omówionych powyżej. Długości linii pożądaných przemieszczeń odpowiadają charakterystyce funkcjonalno – technicznej roweru jako środka lokomocji, tj. długościom podróży codziennych (3÷6 km) i rekreacyjnych (9÷15 km).

- 2) Prognozowanie wielkości ruchu rowerowego przez przyjęcie pewnego procentu ogółu podróży osób [5].

W prognozie zakłada się wydzielenie z ogólnej liczby podróży 10÷15% ruchu, jako podróży rowerowych, który będzie wzbudzony po zrealizowaniu układu dróg rowerowych i przy aktywnej pro-rowerowej polityce komunikacyjnej. W tej metodzie postępowania nie chodzi o dokładne ustalenie wielkości ruchu rowerowego, lecz o uświadomienie sobie jaki, rząd podróży może ruch rowerowy przyciągnąć. Powyższe założone 10÷15% może przewyższyć spodziewany rozmiar podróży rowerowych. Natomiast ewentualne zniżenie prognozy nie będzie mieć ujemnych skutków, ze względu na większe rezerwy przepustowości dróg rowerowych niż w przypadku dróg samochodowych.

3) Prognozowanie ruchu w oparciu o przyjęcie danych z innych obszarów o analogicznej wielkości, o rozwiniętej infrastrukturze rowerowej i aktywnej, pro-rowerowej polityce komunikacyjnej oraz o:

a) podobnym udziale podróży rowerowych w podziale zadań przewozowych [10,11];

b) podobnej ruchliwości podróży rowerowych przypadających na mieszkańca lub gospodarstwo domowe [5].

Układ rowerowy uważany jest jako jeden z niezbędnych elementów systemu transportowego do prawidłowego funkcjonowania komunikacji. Nie jest przy tym istotna ilościowa prognoza natężeń ruchu na poszczególnych odcinkach, natomiast uwaga powinna być zwrócona na takie ukształtowanie układu dróg rowerowych, które zapewni bezpieczeństwo i komfort ruchu oraz spełnienie wymogów ochrony środowiska i ochrony zdrowia.

4) Prognozowanie ruchu oparciu o wykonane badania:

a) określające liczbę podróży rowerowych przypadających na mieszkańca lub na gospodarstwo domowe.

Podejście to reprezentują modele opisujące ruch rowerowy w krajach lub w miastach o trwałej pozycji roweru w polityce komunikacyjnej, jako jej integralnego elementu lub miast z tradycją korzystania z tego środka lokomocji, czyli tam gdzie rower w badaniach komunikacyjnych ma swoje trwałe miejsce. W Polsce, gdzie dotychczas prowadzono stosunkowo mało badań ruchliwości mieszkańców, rower jako samodzielny środek lokomocji uwzględniono tylko w nielicznych

miastach. Najczęściej jednak w ankietowaniu gospodarstw domowych był ujmowany razem z ruchem pieszym.

- b) indywidualnych zachowań mieszkańców, obejmujących cechy psychofizyczne, charakterystykę socjo-demograficzną oraz uwarunkowania lokalne [8]. Wybór roweru jako środka danej podróży jest indywidualną decyzją mieszkańca, uwzględniająca: specyfikę danego przemieszczenia, potencjalną dostępność innych środków lokomocji, realizowaną politykę transportową w mieście oraz subiektywne preferencje ankietowanej osoby.

3. Modelowanie ruchu rowerowego na tle modelowania ruchu miejskiego

Wśród wymienionych wyżej form modeli ilościowego podejścia do prognozowania ruchu wyróżnić można modele obejmujące następujące fazy prognozowania podróży:

- model generacji ruchu rowerowego;
- model generacji ruchu i wyboru środka przewozowego;
- model wyboru środka i rozkładu przestrzennego ruchu;
- model generacji ruchu, wyboru środka transportowego i rozkładu przestrzennego ruchu.

Pod względem poziomu agregacji danych używanych do kalibracji, analizowane modele zaliczyć można do:

- Modeli zagregowanych (m.in. są to modele do prognozy ruchu na poziomie miasta lub rejonu komunikacyjnego). Jako zmienne objaśniające wykorzystuje się: odległości pomiędzy elementami struktury przestrzennej miasta, potencjał demograficzny (liczbę ludności), wyposażenie gospodarstw domowych w środki lokomocji (samochody osobowe i rowery), stan infrastruktury komunikacji rowerowej, warunki geograficzno-środowiskowe (ukształtowanie terenu, opady, zachmurzenie), stan bezpieczeństwa ruchu, preferencję użytkowników co do trasy przejazdu.
- Modeli zdezagregowanych (m.in. [15,16,18]). Są to modele do prognozowania ruchu na poziomie rejonu komunikacyjnego lub miasta, a jednostką o homogenicznych zachowaniach komunikacyjnych jest osoba. Zmiennymi objaśniającymi są: charakte-

rystyka socjalna (płeć, wiek, poziom dochodów, posiadanie lub nie prawa jazdy, pozycja w gospodarstwie domowym, pozycja zawodowa ankietowanego), wyposażenie gospodarstwa w środki lokomocji: samochód osobowy, motorower, rower; struktura funkcjonalno-przestrzenna (długości podróży); poziom usług komunikacji publicznej; percepcja warunków ruchu na trasie przejazdu. Są to z reguły modele, które łączą wybór środka lokomocji z rozkładem przestrzennym ruchu.

W zależności od zastosowanych metod matematycznych, podział modeli prognostycznych jest następujący:

- 1) Modele regresji jedno- lub wielokrotnej, liniowej lub nieliniowej [2,12,13].
- 2) Modele logitowe (binarne lub wielokrotne) [2,15,16,18], które oparte są na hipotezie, że prawdopodobieństwo zmiennej objaśnianej ma rozkład logitowy.
- 3) Model maksymalizacji entropii [18] wykorzystywany do modelowania wyboru roweru jako środka lokomocji oraz do modelowania rozkładu przestrzennego ruchu rowerowego i wyboru środka przewozowego łącznie. W zakresie rozkładu przestrzennego wykorzystuje się klasyczne podejście w modelowaniu rozkładu przestrzennego, tj. rozkład grawitacyjny bądź rozkład proporcjonalny.
- 4) Model będący rozwinięciem w szereg Taylora [19]. Pozwala to wyznaczyć dla zadanego okresu czasu zmienność ruchliwości osób wg środka lokomocji i motywacji podróży.

Przegląd analizowanych modeli wskazuje, że ruch rowerowy, ze względu na swą specyfikę oraz stosunkowo małe natężenia ruchu modelowany jest przede wszystkim w ujęciu całodobowym oraz dla wszystkich motywacji [2, 4, 10, 11, 16, 21, 22], chociaż nie brak również podejścia uwzględniającego tylko wybrane motywacje [4, 12, 21] i różne okresy w ciągu doby (godzina szczytu porannego i popołudniowego oraz w okresie międzyszczytowym) [4, 12].

Prawie wszystkie analizowane modele obejmują zarówno rower wykorzystujący siłę mięśni, jak również motorower. Zatem prognoza ruchu dotyczy łącznie tych dwóch subkategorii pojazdów. Wyjątkiem jest np. model dla miasta Tilburga [19], gdzie prognoza dotyczy motoroweru (mopedu), gdyż udział podróży realizowanych tą formą roweru jest znaczący. Rower „klasyczny” uwzględniony jest wspólnie z ruchem

pieszym, gdyż przemieszczenia tymi środkami lokomocji uznano za bardzo zbliżone do siebie. Natomiast w modelu [18] obie te kategorie roweru uwzględniono osobno.

W modelach prognostycznych miarą użytkowania roweru jest ruchliwość wyrażona liczbą podróży rowerem w ciągu doby przypadającą na 1 mieszkańca, bądź procentowy udział roweru w podziale zadań przewozowych.

Specyficzną formę miary wyrażającą ruchliwość rowerem (podobnie i innymi środkami lokomocji) przedstawiono w modelu holenderskim [19]. Ruchliwość rowerem wyrażono w jednostkach pracy przewozowej, tj. w pojazdokilometrach, co jest wygodne ze względu na przeznaczenie modelu, jakim jest określenie krótkoterminowej prognozy wykorzystania roweru w skali kraju, miasta, lub aglomeracji w oparciu o zmiany w strukturze demograficznej, zatrudnieniu, dochodach, poziomie motoryzacji i w stanie obsługi oraz w kosztach podróży komunikacją zbiorową, jakie to zmiany dokonają się w stosunku do stanu wyjściowego (istniejącego).

Wśród modeli prognostycznych zaliczanych wg [23] do modeli klasycznych, lecz o matematycznej formie mieszanej, regresyjno-wskaźnikowej należy model podróży niepieszych Böhme [4]. Jest to model wyprowadzający generację ruchu z pierwotnego podziału zadań przewozowych i zintegrowany z elementami rozkładu przestrzennego podróży. Potok ruchu rowerowego generowany (lub absorbowany) przez rejon komunikacyjny zależy od: wielkości miasta, średniej liczby podróży odbywanych przez mieszkańca lub gospodarstwo domowe z uwzględnieniem udziału osób zawodowo-czynnych i statusu zawodowego, stopnia wyposażenia gospodarstwa domowego w samochody i w motocykle.

Zwrócić uwagę należy również, że większość modeli prognozuje wykorzystanie roweru tylko w dniu roboczym. Uwzględnienie w prognozach pory roku, wpływającej na poziom użytkowania roweru ma miejsce tylko w nielicznych modelach. Nie daje to pewności czy model prognozuje średnioroczny poziom użytkowania, czy warunki dla okresu wiosenno-letniego, kiedy wykorzystanie roweru jest zdecydowanie większe.

Głównym celem prognostycznym modelu zachowań komunikacyjnych jest określenie potencjalnego udziału danego środka lokomocji w podziale zadań przewozowych, w tym m.in. roweru. Wybór ten wynikiem indywidualnej decyzji użytkownika systemu transportowego

odnoszącej się do danej podróży realizowanej określonym środkiem lokomocji i w istniejących uwarunkowaniach lokalnych. Badania, które są podstawą do opracowania modeli, powinny uwzględniać większość czynników wpływających na użytkowanie i wybór środka podróży, w tym percepcję warunków lokalnych, co w badaniach zachowań komunikacyjnych jest zwykle pomijane. Wymaga to jednak znacznie większej pracowitości, użycia innych narzędzi badawczych oraz innego przygotowania i wyższych kwalifikacji ankieterów. Badanie te powinny ujmować;

- obiektywność wyboru roweru jako środka transportu,
- ograniczenia techniczne roweru, wykluczające wykorzystanie go w danej podróży, co narzuca użycie innego środka lokomocji;
- percepcja czasu podróży rowerem w kontekście warunków drogowo – ruchowych na trasie przejazdu.

Modelowanie wg powyższych zasad potencjalnego wykorzystania roweru w warunkach niemieckich miast średniej wielkości pokazuje, że rozwój infrastruktury dla ruchu rowerowego oraz pro-rowerowa polityka komunikacyjna mogą zwiększyć użytkowanie rowerów o 66% oraz zmniejszyć wykorzystanie prywatnych samochodów osobowych o 11%.

Studia literatury, m.in. [23], oraz własne badania w zakresie preferencji w użytkowaniu roweru wskazują, że rowerzyści silnie preferują poruszanie się po trasach jak najkrótszych, co stanowi przesłankę do modelowania rozkładu ruchu rowerowego na sieć. W tym wypadku najodpowiedniejsza jest metoda „wszystko albo nic” obciążająca całym potokiem ruchu najkrótszą trasę między dwoma określonymi punktami ruchotwórczymi. W Norwegii i w Finlandii [3] przeprowadzono szczegółowe studia dotyczące wpływu wydłużenia trasy przejazdu ścieżką dla rowerów stosunku do trasy najkrótszej, lecz przebiegającej ciągiem ulic. Otrzymane wyniki potwierdzają znaczący wpływ wydłużenia na rezygnację z poruszania się drogą dla rowerów. Wydłużenie trasy przejazdu o 10% powoduje, że ze ścieżki korzysta tylko 40% rowerzystów, a przy wydłużeniu o ok. 70% - zaledwie 3%.

4. Podsumowanie i wnioski

1. Prognozowanie wielkości wykorzystania roweru w warunkach miast europejskich, poza Holandią i krajami o dużym udziale

- roweru w podróży miejskich nie stanowiło dotychczas elementu prognozy znacząco wpływających na kształt systemu transportowego danego obszaru zurbanizowanego.
2. Wśród możliwych do prognozowania parametrów charakteryzujących wykorzystanie roweru, najistotniejsze dla planowania układów komunikacyjnych ma określenie: udziału podróży rowerem w podziale zadań przewozowych oraz ruchliwości rowerem.
 3. Określenie potencjalnego względnego (tj. udziału w podziale zadań przewozowych) lub bezwzględnego (tj. ruchliwości w podróży/ mieszkańca/ dobę) poziomu wykorzystania roweru w danych warunkach przestrzennych i funkcjonalnych oraz rozwoju gospodarczego ma znaczenie przede wszystkim dla polityki komunikacyjnej, gdyż daje możliwość oszacowania, o ile można spodziewać się mniejszego wykorzystania w podróży innych mechanicznych środków.
 4. Wielkości relacji w rozkładzie przestrzennym ruchu rowerowego mają znaczenie drugoplanowe. Główne relacje powiązań wynikają z położenia źródeł i celów ruchu rowerowego, które w mieście średniej wielkości można łatwo wyznaczyć na podstawie rozmieszczenia funkcji zagospodarowania przestrzennego. Natomiast nie występuje problem przepustowości poszczególnych odcinków dróg rowerowych, gdyż wobec możliwości do wystąpienia nateżeń ruchu rowerowego, układ będzie posiadać znaczne rezerwy.
 5. Podstawowymi czynnikami wpływającymi na użytkowanie roweru są charakterystyki demograficzne dotyczące populacji danego miasta, ponadto rozległość przestrzenna (oddziaływająca na długość podróży), poziom i struktura motoryzacji w gospodarstwach domowych oraz wyposażenie w ścieżki rowerowe i drogi dostępne dla rowerów. Tylko nieliczne modele generacji ruchu uwzględniają w skwantyfikowanej formie poziom: obsługi miasta komunikacją zbiorową, bezpieczeństwa ruchu oraz ukształtowanie terenu i warunki atmosferyczne.
 6. W warunkach polskich przy prognozowaniu ruchu rowerowego, mimo mniejszej dokładności, bardziej użyteczne są modele zagregowane, gdyż wymagają znajomości ograniczonej liczby zmiennych wpływających na użytkowanie roweru, w tym nie

wymagają danych socjologicznych, których zebranie zwiększa pracochłonność badań.

7. W czteroetapowej procedurze prognozowania w odniesieniu do ruchu rowerowego najistotniejsze znaczenie ma potencjał ruchotwórczy, który wynika z ruchliwości statystycznego mieszkańca odnoszącej się do okresu doby. W konsekwencji pozwala to określić udział roweru w podziale zadań przewozowych. Wielkości te dostatecznie informują o roli roweru w podróży.
8. W przedstawionych modelach regresji pojedynczej do prognozowania ruchliwości rowerem, obliczone współczynniki determinacji są stosunkowo niskie. Najwyższe wynoszą ok. 46%, co oznacza, że ruchliwość rowerem w ponad 50% wpływów spowodowana jest innymi czynnikami niż czynnikiem uwzględnionym w modelu, co czyni je mało przydatnymi w prognozowania ruchu rowerowego.
9. W wyniku porównania udziału podróży rowerem w podziale zadań przewozowych wg modelu Zalewskiego [23] i modeli wg Knoflachera – Klossa [13], które okazały się bardzo zbliżone do siebie, do czasu opracowania modelu uwzględniającego warunki krajowe, można wykorzystywać dla miast polskich średniej wielkości do szacowania potrzebnej łącznej długości układu dróg rowerowych L [km] w funkcji liczby mieszkańców (Mk) wzór:

$$L = 15 + 3 \cdot 10^{-4} Mk$$

Natomiast do oszacowania w podziale niepieszych zadań przewozowych, udziału y_r (%) podróży rowerem w dzień roboczy w okresie wiosenno-letnim, w zależności od gęstości demograficznej sieci dróg rowerowych ($m = L/1000 Mk$) rekomenduje się wzór:

$$y_r = 2,5 + 24m$$

10. W miarę wzrostu liczby uzyskanych wyników ruchliwości w miastach polskich należy opracować nową wersję modelu, gdyż niektóre z czynników wpływu zmieniły poziom wartości (np. wzrósł znacząco poziom motoryzacji), co może mieć wpływ na istotność zmiennych w modelu, jak również na ich charakter wpływu na wykorzystanie roweru. Należy dążyć do zwiększenia liczby miast, z których wyniki badań zostaną uwzględ-

nione w modelu, co powinno wpłynąć korzystnie na jego jakość statystyczną. W nowej wersji modelu należy starać się uwzględnić inne czynniki, które pominięto w dotychczas opracowanych modelach, w tym przede wszystkim wpływ funkcjonowania dróg rowerowych różnych typów. Za celowe uważa się opracowanie modelu ruchliwości rowerem dla dni weekendowych w okresie sprzyjających warunków klimatycznych oraz dla ruchu turystycznego dalszego zasięgu.

Literatura

- [1] Amenagement d'espce reserve aux cyclists et cyclomotoristes: Zurich, Departament Federal de Justice et Police, 1984.
- [2] Beim M.: Model ruchu rowerowego w Poznaniu, Uniwersytet A. Mickiewicza, magisterska praca dyplomowa, Poznań 2003, www.beim.hti.pl [stan październik 2009r.
- [3] Bello Morales A. Fonseca J.M.: Manual para el planimento proyecto y ejecucion de pistas ciclistas, Association Espanola Permanente de los Congresos de Carreteras, Madrif 1985.
- [4] Beyer I. i inni: Planung und Gestaltung von Radverkehrsanlagen in städtischen Gebieten. Wissenschaft und Technik in Strassenwesen, Zentrales Forschungsinstitut des Verkehrswesens. Zentrum für Personenverkehr und Verkehrsnetze, Wissenschaftsbereich Verkehrsorganisation, Berlin 1986,
- [5] Bieda K., Rudnicki A. i inni: Kształtowanie stref ruchu pieszego i rowerowego w obszarach zabytkowych, etap II MR.I.06. temat VI/A/3, Instytut Urbanistyki i Planowania Przestrzennego Politechniki Krakowskiej, Kraków 1982, mps niepublikowany.
- [6] Bicycle Facilities – Planning and Design Manual Department of Transportation Federal Highway Administration, Washington D.C. 1982.
- [7] Böhme V.: Grundlagen zur Berechnung des städtischen Personennaheverkehrs. Wissenschaft und Technik im Strassenwesen. Sonderreihe des Informationsheftes “Das Strassenwesen”, Berlin 1977.

-
- [8] Brog W., Erl E.: Application of a model of individual behavior (situation approach) to explain household activity patterns in an urban area and to forecast behavior changes, s. 42 – 70.
- [9] Cities make room for cyclists, Examples from towns in the Hetherlands, Denmark, Germany and Switzerland, Ministry of Transport, Public Works and Water Management, Den Haag 1995.
- [10] Goras E., Kochański K.: Prognozowanie ruchu rowerowego w miastach polskich, Biuletyn IKŚ 5/1984.
- [11] Gostyński A.: Ścieżki rowerowe w systemie transportowym miasta i w organizacji wypoczynku, Materiały z konferencji naukowo – technicznej „Problemy systemowe planowania ruchu rowerowego”, SITK Kraków 1981, s. 40 -48.
- [12] Hanson S., Hanson P.: Problems in integrating bicycle travel into the urban transportation planning process, TRB TRR 629, Washington D.C.
- [13] Knoflacher H., Kloss H.P.: Radverkehrsanlagen den Ergebnisse einer Erhebung, Strassenverkehrstechnik 4/1979.
- [14] Le vélo aux Pays-Bas, Ministerie van Verkeer en Waterstaat, Fietsberaad, Den Haag 2009.
- [15] Lott D.Y. i inni: Bicycle Transportation for Downtown Work Trips: A Case Study in Davis, California, TRR 629, TRB TRR Washington D.C. 1976.
- [16] Modele désagrégés – Principes généraux, Metodologie, Applications. Centre Etudes des Transports Urbains (CETUR), Centre des Etudes de Technique d'Equipement Lyon i l'Quest (CETE), Paris 1986.
- [17] Model Questor 7.0, podręcznik użytkownika DHV Consultants, Amersfoort 1999.
- [18] Richards M.M& Voorhees Associates of Disaggregate Technique to Calibrate a Trip Distribution and Modal Split, TRB 592 NRC Washington D.C. 1976.
- [19] Rujgrok C.J.: A method for making short term predictions of passenger transport, M.F.A.M. Maarseveen Traffic &Transportation Group TNO, Delft 1984.
- [20] Sammer G.: The Effects of Seasonal and Daily Weather Conditions on Bicycle Use and Mode Substitution, PTRC Summer

- Annual Meeting University of Sussex, V243, England 1983, Seminar N, s. 229 – 238.
- [21] Waldman J.A.: Bicycle Use in Towns: A Quantitative Investigation, PTRC Summer Annual Meeting, university of Warwick England 1978, Proceedings of Seminar H, s. 46-53.
- [22] Zalewski A. : Le modèle des déplacements des deux-roues légers dans les agglomération françaises, Congrès International Francophone, ATEC, Versailles 1993, s. 146 – 152.
- [23] Zalewski A.: Wpływ infrastruktury komunikacyjnej i czynników środowiskowych na ruch rowerowy w miastach średnich w Polsce, rozprawa doktorska, Instytut Dróg, Kolei i Mostów Politechniki Krakowskiej, Kraków 1993.
- [24] Zalewski A.: Koncepcja układu dróg rowerowych dla m. Tychy, AZ – Plan, Warszawa 1994, mps niepublikowany.
- [25] Zalewski A.: Koncepcja układu dróg rowerowych dla miasta i gminy. Wyszaków, AZ – Plan, Warszawa 1994, mps niepublikowany.

MODELS OF BICYCLE TRAFFIC IN TOWNS AND AGGLOMERATIONS

Summary

The tendencies in bicycle travels and traffic modeling for different stages of transportation planning procedure in towns and agglomerations have been described and discussed in the paper. The aggregated and disaggregated models of generation and modal split have been presented. The different foreign mathematical models of bicycle trips generation and spatial distribution have been compared with the models concerning the same level of planning procedure, but related to the others transportation modes.

Keywords: *bicycle traffic, bicycle traffic modelling and forecasting, transportation systems in cities and agglomerations*

MODELLE DES FAHRRADBETRIEBS IN DEN STÄDTEN UND BALLUNGSGBIETEN

Zusammenfassung

Im Vortrag wird die Übersicht der Tendenzen in der Modellierung des Fahrradbetriebes in den verschiedenen Phasen der Verkehrsplanungsprozedur, sowie der Prognostizierung des Fahrradbetriebes in den Städten und Ballungsgebieten, dargestellt. Die dargestellten aggregierten und unaggregierten Modelle für die Betriebsgenerierung, sowie für die Teilung der Transportaufgaben werden mit den Modellen für die anderen Verkehrsmittel, die auf dieses Niveau der Planungsprozedur angewandt werden, verglichen.

Die Schlüsselwörter: *der Fahrradbetrieb, die Betriebsmodellierung, die Betriebsprognostizierung, die Stadtverkehrssysteme*

Andrzej Żurkowski¹

MODELOWANIE WYBORU ŚRODKA TRANSPORTU W KORYTARZU TRANSPORTOWYM

Streszczenie

Modelowanie wyboru środka transportu stanowi jedno z fundamentalnych zagadnień teoretycznych modelowania przewozów. W rozpatrywanym korytarzu transportowym funkcjonuje zazwyczaj kilku lub kilkunastu przewoźników, reprezentujących różne gałęzie transportu: koleje, transport drogowy oraz lotniczy. Każdy podróżny konfrontowany jest ze zbiorem potencjalnych wariantów realizacji podróży. Efektem podejmowanych decyzji jest rozłożenie potoku na poszczególnych przewoźników. Wyniki modelowania mogą stanowić przesłanki do decyzji zarówno w zakresie polityki transportowej (krajowej lub regionalnej), jak i do decyzji handlowych przewoźników, optymalizujących swoje oferty przewozowe w oparciu o wybrane kryteria (np. maksymalizację przychodów). W artykule przedstawiono zarys problemu oraz wybrane modele wraz z przykładami ich zastosowań..

Słowa kluczowe: *model transportowy, przewozy pasażerskie, korytarze transportowe, przewozy multimodalne, podział modalny*

1. Wprowadzenie

Modelowanie wyboru środka transportu jest jednym z najważniejszych, klasycznych zagadnień związanych z planowaniem transportowym [5]. Dotyczy to zarówno przewozów wewnątrz aglomeracji, jak

¹ dr inż., Centrum Naukowo – Techniczne Kolejnictwa

i pomiędzy nimi. Planując podróż pasażer ma zazwyczaj do wyboru kilka (skończony zbiór) środków transportu, stąd też odwzorowanie jego procesu decyzyjnego wymaga zastosowania modeli wyborów dyskretnych (ang. *discrete choice models*) [1]. Modele te były intensywnie rozwijane w okresie ostatnich 25 lat co pozwala stwierdzić, że opierają się na silnych podstawach teoretycznych, zweryfikowanych wieloma zastosowaniami praktycznymi.

Wykorzystując swoje wieloletnie doświadczenia zawodowe autor skoncentrował się na zagadnieniach wyboru środka transportu w przewozach pomiędzy aglomeracjami, w szczególności w korytarzach transportowych. Modelowanie wyboru w tak ustalonych warunkach łączy w sobie szereg specyficznych zagadnień związanych z tzw. przewozami kwalifikowanymi², realizowanymi koleją oraz innymi środkami transportu. Powstaje zasadnicze pytanie o czynniki decydujące o wyborze przez pasażerów sposobu podróżowania, co w konsekwencji prowadzi do rozłożenia potoków pasażerskich pomiędzy dostępne środki transportu, a idąc dalej, także pomiędzy operujących w korytarzu przewoźników.

W obecnych warunkach rynkowych konkurencja w przewozach pasażerskich ma zarówno charakter intermodalny, a zatem dotyczący różnych środków transportu, jak też intramodalny, czyli związany z konkutowaniem poszczególnych dostawców usług (przewoźników) wykorzystujących ten sam środek transportu. Ten drugi rodzaj konkurencji istnieje już od wielu lat w przewozach lotniczych czy drogowych, gdzie rywalizują pomiędzy sobą towarzystwa lotnicze czy przedsiębiorcy autobusowi, w ostatnich latach także prywatni. Nowością jest jednak pojawienie się konkurencji pomiędzy przewoźnikami kolejowymi, spowodowane w szczególności ostatnimi zmianami właścicielskimi spółki PKP Przewozy Regionalne. Wkrótce konkurencja ta będzie miała także również charakter międzynarodowy, co będzie następstwem liberalizacji przewozów pasażerskich w całej Unii Europejskiej począwszy od stycznia 2010 roku.

Niezależnie od powyższych uwarunkowań istnieje także stały problem rywalizacji pomiędzy transportem publicznym a motoryzacją indywidualną. Współczesne oczekiwania odbiorców usług przewozowych (podróżnych) wobec dostawców usług (przewoźników) obejmują

2 Systemowa organizacja kolejowych przewozów pasażerskich wyróżnia cztery podsystemy: międzyaglomeracyjne, międzyregionalne, aglomeracyjne i regionalne. Termin *przewozy kwalifikowane* używany jest żargonowo na określenie przewozów międzyaglomeracyjnych. Może on być także odnoszony do przewozów realizowanych innymi środkami transportu.

możliwie szeroką dostępność transportu, niezawodność, bezpieczeństwo (osobiste i komunikacyjne), terminowość i szybkość przewozu, a wszystko to w warunkach możliwie komfortowych i za przystępną cenę. Pomimo starań profesjonalnych przewoźników, w tym głównie kolei, oczekiwania te w znacznej mierze spełnia dzisiaj motoryzacja indywidualna. Wobec oczywistych zalet transportu publicznego powstaje zatem pytanie, w jaki sposób należy kształtować ofertę przewozową, aby zachęcić klientów do korzystania z jego usług.

Omówione dalej metody modelowania stanowią narzędzia teoretyczne umożliwiające udzielenie odpowiedzi na tak postawione pytanie. Ich najważniejsze obszary zastosowania to:

- tworzenie polityki transportowej (krajowej lub regionalnej), która powinna koncentrować się m.in. na kształtowaniu racjonalnego – zależnie od wybranego kryterium (lub kryteriów) – podziału zadań transportowych pomiędzy poszczególne gałęzie transportu,
- przygotowywanie oferty przewozowej przez poszczególnych przewoźników, umożliwiającej osiągnięcie zakładanego udziału w rynku przewozowym, maksymalizację zysku itp.

Tworzone w ten sposób modele, stanowiące ze swej natury uproszczony opis rzeczywistości, pozwalają lepiej zrozumieć złożoność rozważanego systemu transportowego. Umożliwiają także przewidywanie jego przyszłych stanów, kontrolowanie i wpływanie na jego zachowanie, a także optymalizację funkcjonowania [2].

W artykule – wychodząc od struktury pełnego modelu transportowego – przedstawiono syntetycznie problematykę modeli wyboru środka transportu w korytarzu transportowym. W tym celu opisano podstawowe założenia do budowy modeli dyskretnych. Następnie w zasadniczej części artykułu skoncentrowano się na dwóch modelach: tzw. modelu cena – czas, często stosowanym w warunkach europejskich do modelowania wyboru pomiędzy transportem lotniczym a KDP (Kolejami Dużych Prędkości) oraz na modelu PREFERENCJE, opracowanym przez Autora. W obu przypadkach przedstawiono przykłady obliczeniowe.

2. Systematyka modeli wyboru środka transportu

Zasadniczym kanonem planowania przewozów jest tzw. klasyczny czteroetapowy model transportowy KCMT (ang. *classic four step transport model*), obejmujący kolejno następujące kroki:

- 1) **generowanie potoków** (ang. *trip generation*), określające częstość podróżowania na podstawie danych demograficznych oraz socjoekonomicznych,
- 2) **dystrybucja potoków** (ang. *trip distribution*), kojarząca (zestawiająca) początki (źródła) i końce (ujścia) tych potoków, np. w postaci macierzy, z ewentualnym wykorzystaniem np. modelu grawitacyjnego,
- 3) **podział modalny** (ang. *mode choice*), polegający na modelowaniu wyboru środka transportu,
- 4) **przydział do dróg przewozu** (ang. *route assignment*), sprowadzający się do ustalenia tras przemieszczania poszczególnych części potoku.

KCMT ma zatem charakter sekwencyjny, ponieważ wymaga opracowania kolejno czterech sub-modeli. Wyniki uzyskiwane w kolejnych krokach stanowią podstawę dalszego modelowania. Według obecnych poglądów model ten stanowi dogodną podstawę do opracowywania szeregu metod alternatywnych. I tak na przykład istnieje możliwość łączenia kolejnych kroków w jednym modelu (modele syntetyczne), co schematycznie przedstawiono w tablicy 1.

Tablica 1. Modele sekwencyjne i syntetyczne [2], [3]

Moduł	Modele sekwencyjne	Modele syntetyczne		
I	Generowanie	I + II modele synchroniczne	II + III modele złożone	I + II + III modele bezpośrednie
II	Dystrybucja			
III	Podział modalny			
IV	Przydział			

Model klasyczny w pełnej wersji wykorzystywany jest głównie do modelowania przewozów na sieci transportowej, na przykład w aglomeracjach, na obszarze kraju lub regionu. Podobne podejście może być również zastosowane do określonego podsystemu, o ile spełnia on wymagania zupełności i rozłączności [5]. Przykładem takiego podsystemu może być korytarz transportowy, pod którym to pojęciem rozumie się zbiór tras przemieszczania różnych środków transportu

między wyróżnionymi węzłami sieci transportowej³. Najbardziej racjonalne wydaje się rozpatrywanie korytarzy pomiędzy dwiema aglomeracjami [10], np. z Warszawy do Krakowa, z Łodzi do Poznania itp. W takim przypadku modelowanie powinno dotyczyć w szczególności określenia:

- całkowitego zapotrzebowania na przewozy pomiędzy rozpatrywanymi aglomeracjami,
- podziału zadań przewozowych jako konsekwencji wyborów dokonanych przez podróżnych.

Odnosząc te zagadnienia do kanonu KCMT można ogólnie stwierdzić, że w przewozach kwalifikowanych szczególne znaczenie mają modele bezpośrednie (ang. *direct demand models*).

Istnieje bardzo wiele metod prognozowania przewozów wykorzystujących modele szeregów czasowych, modele ekonometryczne oraz opartych na metodach heurystycznych [2], [4], [6], [11]. Wiele współczesnych zastosowań znajduje na przykład model grawitacyjny, do budowy którego wykorzystywane jest pojęcie kosztu generalizowanego [2], [7]. Metody te nie będą tutaj dalej szczegółowo rozpatrywane. Przy prezentowaniu modeli wyboru, co stanowi zasadniczy cel artykułu przyjmuje się założenie, że całkowity potok, zarówno obecny jak i perspektywiczny, jest znany.

Koncentrując się zatem na modelowaniu wyboru środka transportu (lub bardziej szczegółowo – konkretnego przewoźnika), należy rozpocząć od stwierdzenia, że modelowanie w tym zakresie to typowy przykład zastosowania – przywołanych we wstępie – modeli wyborów dyskretnych czyli takich, które opisują wybór dokonywany ze skończonego zbioru wariantów. Są to jednocześnie tzw. modele drugiej generacji – zdezagregowane (ang. *DM – disaggregate demand model*). Bazują one na danych pochodzących z obserwacji zachowań pojedynczych (indywidualnych) podróżnych oraz gospodarstw domowych. Szczegóły na ten temat zawiera kolejny punkt.

³ W języku polityki transportowej na szczeblu międzynarodowym pod pojęciem korytarza rozumie się zazwyczaj zbiór tras przemieszczania osób i ładunków na znaczne odległości, obejmujące szereg relacji przewozowych składających się na całkowity potok.

3. Założenia do budowy modeli dyskretnych

W celu opracowania modeli odwzorowujących zachowania pojedynczych podróżnych należy przyjąć następujące założenia [1], [3], [6], które dotyczą kolejno:

- 1) konsumenta (podróżnego) wraz z jego charakterystyką,
- 2) zbioru wariantów przejazdu, które ma do wyboru,
- 3) zbioru cech (atrybutów) każdego wariantu,
- 4) reguł (zasad) wyboru.

3.1. Konsument

Każdego indywidualnego podróżnego (decydenta) charakteryzuje zbiór cech, takich jak posiadanie samochodu i prawa jazdy, struktura rodzinna, dochód, charakterystyka miejsca zamieszkania itp. Zależnie od konkretnej sytuacji koncepcja „indywidualizacji zachowań” może być także rozszerzona na pewną zbiorowość. Najbardziej oczywistym przykładem jest rodzina. Z punktu widzenia modelowania zachowań podróżnych istotne są jej decyzje ostateczne – dokąd, kiedy i czym odbędzie podróż. Przebieg wewnętrznych dyskusji pomiędzy członkami rodziny przed ich podjęciem nie jest istotny.

Powyższą możliwość wykorzystano w modelu PREFERENCJE [8], [9]. Zakłada on dekompozycję potoku podróżnych przemieszczających się w korytarzu transportowym na kilka charakterystycznych grup, których zachowania (ocena wariantów) są bardzo zbliżone. Sam model nie przesądza o metodzie takiej dekompozycji ani o liczbie takich grup. Sugerowany podział dla warunków polskich to biznesmeni (osoby podróżujące służbowo), studenci (młodzież szkół średnich i wyższych), seniorzy (osoby na emeryturze lub rencie) oraz rodziny (podróże grupowe).

Z kolei model cena – czas zakłada [2], że wybór środka transportu ma charakter dyskretny (ze zbioru dwuelementowego) i dotyczy np. pociągu i samolotu lub pociągu i samochodu. Sam wybór opiera się na ocenie wartości własnego czasu dokonywanej przez każdego podróżnego. Skala takiej oceny jest oczywiście ciągła i może zawierać się od kilku do kilkuset złotych lub jeszcze więcej.

3.2. Warianty wyboru

Analiza zachowań podróżnych wymaga znajomości zarówno tych wariantów, które zostały wybrane, jak i odrzuconych. Modelowanie wyborów dyskretnych zakłada, że lista wariantów jest skończona i może być jednoznacznie sformułowana. Istnieją przy tym dwie koncepcje wyboru [1]: *uniwersalna*, która dotyczy wszelkich możliwych teoretycznie wariantów oraz *zredukowana*, będąca jej podzbiorem i zawierająca tylko warianty realne. Przykładem wariantu potencjalnie możliwego jest przejazd samochodem, ale wybór taki jest niemożliwy dla osoby nie posiadającej prawa jazdy.

W praktyce modelowania konieczne jest zatem opracowanie metody zestawiania zbioru wariantów (ang. *choise set generation*) w sposób adekwatny do analizowanego przypadku. Następnie konieczne jest przyjęcie założenia, że podróżnemu znane są wszystkie potencjalne sposoby zrealizowania podróży oraz posiada wystarczające informacje dotyczące każdego z nich. W rzeczywistości taka idealna sytuacja nie ma oczywiście miejsca, ale w procesie modelowania można zapobiec istotnym niedokładnościom.

W przypadku korytarza transportowego opisywanego modelami cena – czas i PREFERENCJE zakłada się, że podróżny nie dokonuje zmiany środka transportu w czasie przejazdu, a każda z istniejących możliwości przemieszania jest mu znana. W modelu cena – czas zbiór wariantów wyboru C jest dwuelementowy, co zapisać można symbolicznie:

$$C_1 = \{kolej, samolot\} \quad \text{lub} \quad C_2 = \{kolej, samochód\}$$

W modelu PREFERENCJE zbiór wariantów wyboru może być dowolnie duży. W praktyce dostępne w korytarzach środki transportu tworzą na przykład zbiór:

$$C_3 = \{kolej, samolot, samochód, autobus\}$$

3.3. Cechy (atrybuty) wariantów

Każdy wariant dla potrzeb modelowania musi zostać opisany (scharakteryzowany) zbiorem atrybutów. Podobnie jak to czyni konsument (podróżny) również analityk przygotowujący model musi dokonać zestawienia cech istotnych przy wyborze wariantu.

Lista cech stosowanych w modelu zależy zasadniczo od rodzaju środka transportu. Mogą być one zarówno ogólne i dotyczyć wszystkich rodzajów (np. cena, czas, komfort, bezpieczeństwo) jak i specyficzne, jak na przykład częstotliwość kursowania, mająca sens tylko w odniesieniu do transportu publicznego.

W modelu cena – czas przyjmuje się założenie, że tylko dwa atrybuty zawarte w jego nazwie stanowią o wyborach dokonywanych przez podróżnych. W modelu PREFERENCJE⁴ lista atrybutów nie jest zasadniczo ograniczona (tab. 2). Byłoby jednak nieracjonalnym założenie, że przeciętny podróżny rozpatruje ich bardzo wiele. Stąd w praktyce proponuje się uznać za najważniejsze maksimum pięć cech [8]: cenę, czas, bezpieczeństwo, wygodę i regularność. Poszczególne cechy obejmują swoim znaczeniem także inne elementy. Przykładowo regularność odnosi się zarówno do liczby oferowanych połączeń (częstotliwości), dostosowania rozkładu jazdy do potrzeb podróżnych, ale oznacza także ocenę (oczekiwanej) punktualności.

Tablica 2. Zbiór cech wariantów wyboru

Lp.	Cechy (atrybuty) wariantów	Znaczenie (opis)
1.	cena	koszt podróży
2.	czas przejazdu	czas podróży
3.	bezpośredniość	możliwość odbycia podróży bez przesiadania się
4.	dostępność geograficzna	odległość do najbliższego terminala (dworzec, przystanek, lotnisko)
5.	dostępność czasowa	zgodność godzin kursowania z oczekiwaniem podróżnych
6.	bezpieczeństwo komunikacyjne	prawdopodobieństwo szczęśliwego zrealizowania podróży
7.	bezpieczeństwo osobiste	ocena zagrożeń typu przestępczego
8.	komfort	wygoda podróżowania
9.	planowość	zgodność podróży z rozkładem jazdy lub przewidywaniem (samochód)
10.	zawodność	prawdopodobieństwo unieruchomienia środka transportowego
11.	elastyczność	możliwość modyfikowania trasy przejazdu

Wymienione cechy mają charakter zarówno ilościowy, jak i jakościowy. W modelu cena – czas elementem wiążącym jest koszt generalizowany. W modelu PREFERENCJE zakłada się możliwość ich porównywania dzięki zastosowaniu specjalnej metody. W każdym przypadku ograniczeniem wykorzystania określonych cech może być dostępność danych niezbędnych do modelowania.

W modelach można stosować wartości rzeczywiste cech ilościowych lub funkcje z nimi związane. Często zamiast wartości czasu wykorzy-

⁴ Każdy atrybut związany z wariantem wyboru ma dla podróżnego określoną wartość, stąd można je porównywać. Decyzja o większym znaczeniu jednej cechy nad drugą zależy od preferencji podróżnego, stąd nazwa modelu.

stywany jest jego logarytm, natomiast zamiast kosztu przejazdu – stosunek ceny biletu do zakładanych przychodów podróżnego [1].

Ważne jest także spostrzeżenie, że badanie zachowań podróżnych odnosi się do ich decyzji wynikających z subiektywnych odczuć. Należałoby zatem mówić o koszcie podróży lub czasie przejazdu *odczuwanym przez podróżnego*. Pewnym uproszczeniem jest na przykład przekonanie, że porównując czas podróży z Warszawy do Krakowa samolotem i pociągiem pasażer dodaje wprost do czasu przelotu zakładany czas przejazdu na i z lotniska. Tymczasem sposób odczuwania czasu spędzanego w kokpicie, przedziale, w taksówce czy w autobusie jest odmienny. W praktyce trudno byłoby jednak w procesie modelowania odwzorować te różnice.

3.4. Reguły (zasady) wyboru

W poprzednich punktach scharakteryzowane zostały zarówno preferencje podróżnych, jak i warianty wyboru (oferty przewozowe) dostępne na rynku w korytarzu transportowym. Powstaje zatem zasadnicze pytanie o podstawowe założenia dotyczące samego postępowania przy wyborze wariantów. Poniżej rozpatrzone zostaną przesłanki wynikające z neoklasycznej teorii ekonomicznej wykorzystywanej w modelach cena – czas oraz PREFERENCJE, a następnie zasygnalizowane zostaną dwa inne podejścia: tzw. aksjomat wyboru (ang. *choice axiom*) pozwalający na określenie prawdopodobieństwa wyboru określonego wariantu oraz losowe modele użyteczności (ang. *Random Utility Models*) [1], [2], [3].

3.4.1. Neoklasyczna teoria mikroekonomiczna

Podstawowe założenie teorii wyborów konsumenckich stanowi, że każdy pojedynczy konsument prowadzi swoisty rachunek ekonomiczny, który polega na kalkulowaniu jak najkorzystniejszego stosunku nakładów do uzyskiwanych efektów. Wiąże się to z nieustannym dokonywaniem wyborów i podejmowaniem decyzji. Taka optymalizacja zaspokojenia potrzeb oznacza w praktyce maksymalizację tzw. użyteczności, czyli osiągania możliwie największego zadowolenia, przyjemności czy satysfakcji. Przyjmuje się jednocześnie założenie, że zachowania typowego konsumenta są w pełni racjonalne [2].

Teoria ta zakłada zatem [1], że każdy konsument (decydent – w tym przypadku podróżny) jest w stanie porównać dwa warianty oznaczone \mathbf{a} oraz \mathbf{b} (należące do zbioru wariantów \mathbf{C}) aby dokonać wyboru, co symbolicznie zapisuje się w postaci operatora preferencji–obojętności⁵ „ \geq ”. Jeżeli zatem $\mathbf{a} \geq \mathbf{b}$ to znaczy, że podróżny preferuje wybór wariantu \mathbf{a} lub jest to obojętne. Właściwości relacji opisanej operatorem \geq są następujące:

1) **Zwrotność**

$$\mathbf{a} \geq \mathbf{a}, \forall \mathbf{a} \in \mathbf{C}$$

2) **Przechodniość**

Jeżeli $\mathbf{a} \geq \mathbf{b}$ oraz $\mathbf{b} \geq \mathbf{c}$ to $\mathbf{a} \geq \mathbf{c}$ dla każdego $\mathbf{a}, \mathbf{b}, \mathbf{c} \in \mathbf{C}$

3) **Porównywalność**

Zachodzi $\mathbf{a} \geq \mathbf{b}$ lub $\mathbf{b} \geq \mathbf{a}$ dla każdego $\mathbf{a}, \mathbf{b} \in \mathbf{C}$

Jak wcześniej założono, zbiór \mathbf{C} jest skończony. Zagwarantowane jest zatem istnienie takiego wariantu \mathbf{a}^* , że:

$$\text{dla każdego } \mathbf{a} \in \mathbf{C} \text{ jest } \mathbf{a}^* \geq \mathbf{a}. \quad (1)$$

Istnieje zatem funkcja użyteczności $\mathbf{U}(\mathbf{a})$

$$\mathbf{U} : \mathbf{C} \rightarrow \mathbf{R} : \mathbf{a}; \mathbf{U}(\mathbf{a}) \quad (2)$$

taka, że:

$$\text{dla każdego } \mathbf{a} \geq \mathbf{b} \Leftrightarrow \mathbf{U}(\mathbf{a}) \geq \mathbf{U}(\mathbf{b}). \quad (3)$$

Wybrany wariant \mathbf{a}^* można zatem zdefiniować jako:

$$\mathbf{a}^* = \max_{\mathbf{a} \in \mathbf{C}} \mathbf{U}(\mathbf{a}). \quad (4)$$

Jeśli założymy teraz, że każdy wariant \mathbf{a} można opisać wektorem zmiennych \mathbf{X}_a , to w ujęciu ogólnym funkcja użyteczności przyjmuje postać [2]:

$$\mathbf{U}_a = f(\mathbf{X}_a) \quad (5)$$

gdzie:

\mathbf{U}_a – użyteczność związana z wariantem \mathbf{a} ,

⁵ W języku angielskim „preference– indifference operator” [2].

\mathbf{X}_a – wektor zmiennych składających się na ocenę użyteczności wariantu \mathbf{a} .

Podstawowy problem związany z takim podejściem wynika z faktu, że użyteczność poszczególnych zmiennych składających się na wektor $\mathbf{X}_a = [\mathbf{x}_j]_n$ co do zasady nie jest znana, a zatem należy postawić, a następnie zweryfikować hipotezę odnoszącą się do postaci funkcji $f(\mathbf{X}_a)$. Racjonalnym podejściem wydaje się wykorzystanie danych zgromadzonych w ramach badań ankietowych.

Jednocześnie najbardziej oczywiste jest zbudowanie funkcji użyteczności w postaci liniowej kombinacji zmiennych [2]:

$$U_a = \sum_{j=1}^n \beta_j \cdot x_j \quad (6)$$

gdzie:

U_a – użyteczność związana z wariantem \mathbf{a} ,

j – indeks zmiennej przyjętej do opisu użyteczności wariantu \mathbf{a} ,

β_j – współczynnik odpowiadający zmiennej \mathbf{x}_j ,

\mathbf{x}_j – zmienna składająca się na ocenę użyteczności wariantu \mathbf{a} .

Podejście takie ma podstawową zaletę wynikającą z łatwości skalowania modelu liniowego, czyli wyznaczania wartości poszczególnych współczynników związanych ze zmiennymi z wektora \mathbf{X} .

Zachowanie w pełni racjonalne to oczywiście wyidealizowany model człowieka. Przeciętny konsument zachowuje się racjonalnie, ale nie „idealnie racjonalnie”. Nie jest też pewne, że dysponuje on kompletem niezbędnych informacji jako przesłanek podejmowanych decyzji. Stąd istotny jest dylemat, czy rzeczywisty obraz wyborów dokonywanych w pewnej populacji lepiej oddają modele deterministyczne, czy też stochastyczne. Poniżej zasygnalizowane zostaną dwa podejścia pozwalające uniknąć ograniczeń wynikających z modeli deterministycznych.

3.4.2. Aksjomat wyboru

Aksjomat ten zaproponowany został przez Luce'a [1]. Oznaczając przez $P_C(a)$ prawdopodobieństwo wyboru wariantu \mathbf{a} ze zbioru \mathbf{C} oraz przez \mathbf{S} podzbiór \mathbf{C} taki, że: $S \subseteq C$ można opisać dwie własności:

- 1) Jeżeli istnieje wariant $b \in C$ taki, że jest on zawsze preferowany przed wariantem a , czyli $P_C(a) = 0$, to usunięcie a ze zbioru C nie zmienia prawdopodobieństwa wyboru wariantu b .

- 2) Jeżeli nie zachodzi przypadek 1, czyli dla każdego wariantu \mathbf{a} ze zbioru \mathbf{C} zachodzi $0 < P_C(\mathbf{a}) < 1$, to prawdopodobieństwo wyboru wariantu \mathbf{a} nie zależy od sekwencji decyzji, czyli $P_C(\mathbf{a}) = P_C(S) \cdot P_S(\mathbf{a})$.

W drugiej części aksjomatu wykazuje się, że powyższa równość jest warunkiem koniecznym i dostatecznym na istnienie funkcji wyboru $v: C \rightarrow R^+$ takiej, że dla każdego $S \subseteq C$ zachodzi:

$$P_S(\mathbf{a}) = \frac{v(\mathbf{a})}{\sum_{b \in S} v(b)} \quad (7)$$

Przyjmując określone warunki różniczkowalności funkcji v może być ona interpretowana jako funkcja użyteczności. Podejście to prowadzi zatem do modeli wyrażanych w postaci ilorazu funkcji.

Podobnie losowe modele użyteczności zakładają, że należy uwzględnić także niepewność (przypadkowość), której źródłem mogą być zarówno warianty, które nie są brane pod uwagę przez konsumenta, jak i nie zaobserwowane prawidłowości w opisie takiego decydenta. Użyteczność dotycząca wyboru wariantu a przez decydenta i zostaje zatem zapisana w postaci:

$$U_a^i = V_a^i + \varepsilon_a^i \quad (8)$$

gdzie:

U_a – użyteczność związana z wariantem \mathbf{a} ,

V_a – część deterministyczna użyteczności,

ε_a – część stochastyczna, odwzorowująca niepewności.

Wówczas prawdopodobieństwo wyboru wariantu a ze zbioru \mathbf{C} przez decydenta i określa wzór:

$$P_C^i(\mathbf{a}) = P\left[U_a^i = \max_{b \in C} U_b^i\right] \quad (9)$$

Szczegółowy opis i systematyka modeli wyborów dyskretnych zdecydowanie przekracza zakres artykułu. Z uwagi na wykorzystanie przez autora w metodzie PREFERENCJE wielomianowego modelu logitowego (ang. *Multinomial Logit Model*) podać należy jego zasadniczą postać. Zakładając zatem, że istnieje skończony zbiór wariantów \mathbf{C}

o liczebności n elementów, to prawdopodobieństwo P wyboru wariantu a określone zostaje wzorem:

$$P_c(a) = \frac{e^{\mu V_a}}{\sum_{k=1}^n e^{\mu V_k}} \quad (10)$$

gdzie:

P_c – prawdopodobieństwo wyboru wariantu a ,

V_a, V_a – funkcje użyteczności,

μ – parametr wymagający skalowania.

4. Wybrane modele wyboru środka transportu

4.1. Model cena – czas

Model cena – czas stosowany jest szczególnie często w praktyce modelowania przewozów lotniczych i Kolei Dużych Prędkości (KDP) [2]. Kluczowym elementem wyboru środka transportu jest wartość h_i , czyli tzw. jednostkowy koszt czasu podróznego (inaczej „walor” albo „wartość czasu” podróznego). Jest to zatem wartość (wyrażona na przykład w zł/h), jaką przypisuje on swojemu czasowi poświęcanemu na podróż⁶. W ten sposób użytkownik i wybiera ten środek transportu, którego koszt generalizowany (uogólniony) G jest mniejszy.

Jeśli zatem c_p oraz c_s są odpowiednio kosztami przejazdu pociągiem i przelot samolotem oraz jeśli t_p i t_s są czasami podróży (z uwzględnieniem wszystkich składników), to koszty generalizowane odnoszące się do użytkownika i są następujące:

$$\begin{aligned} G_p^i &= c_p + h_i t_p \\ G_s^i &= c_s + h_i t_s \end{aligned} \quad (11)$$

gdzie:

G_p^i – koszt generalizowany przejazdu pociągiem podróznego i ,

G_s^i – koszt generalizowany przelotu samolotem podróznego i .

⁶ Ocena kosztu jednostkowego (wartości czasu) ma charakter indywidualny (zdezagregowany). Definicja przenosząca to pojęcie na pewną populację podrózników (agregacja) jest następująca: jeżeli jedna godzina wydłużenia czasu podróży daje taki sam efekt w postaci zmniejszenia zapotrzebowania na przewozy, jak wzrost ceny biletu o h złotych, to h nazywamy wartością (walorem) czasu.

Zatem w rozważanej relacji istnieje wartość czasu h_0 taka, że:

$$G_p^i = G_s^i \quad (12)$$

a stąd:

$$h_0 = \frac{c_s - c_p}{t_p - t_s} \quad (13)$$

Wartość h_0 nazywana jest *obojętną* dla danej relacji. Jeżeli $h_i < h_0$ to oznacza, że użytkownik wybrał pociąg; w przeciwnym przypadku użytkownik wybrał samolot.

Postać rozkładu wartości czasu h_i w populacji użytkowników i w danej relacji nie jest zazwyczaj znana. Przyjmuje się zatem hipotezę, że jest ona taka sama (analogiczna) jak rozkład przychodów w społeczeństwie. Rozkład taki przyjmuje postać rozkładu logarytmiczno-normalnego lub rozkładu Pareto (w formule $\frac{1}{x^\alpha}$).

Model cena-czas został zastosowany do warunków korytarza transportowego Warszawa – Kraków. W odstępstwie od typowych rozważań kolej – samolot zbadano podział modalny pomiędzy koleją a samochodem. Kontekstem tych rozważań była ocena potencjalnych korzyści prowadzonych właśnie prac modernizacyjnych na linii CMK i dalej na odcinku Psary – Kraków oraz testy nowej lokomotywy elektrycznej ES64U4 (*Husarz*) na 200 km/h. W efekcie uzyskane planowane jest skrócenie czasu przejazdu pociągów, a związane z tym pytanie dotyczy zbadania efektów rynkowych z punktu widzenia przewozów pasażerskich. Wyznaczone za pomocą programu symulacyjnego (przejazdy teoretyczne) czasy przejazdu w tej relacji w funkcji prędkości maksymalnej (drogowej) podano w tablicy 3.

Tablica 3. Czasy przejazdu pociągu w relacji Warszawa – Kraków (w minutach)

Odcinek		Prędkości maksymalne [km/h]				
od	do	160	200	220	250	300
Warszawa Centralna	Grodzisk Mazowiecki	22,0	15,6	15,6	15,6	15,6
Grodzisk Mazowiecki	Psary	71,0	54,9	50,5	45,4	39,4
Psary	Kraków Główny	82,0	51,0	51,0	51,0	30,5
Warszawa Centralna	Kraków Główny	175,0	121,5	117,1	112,0	85,5

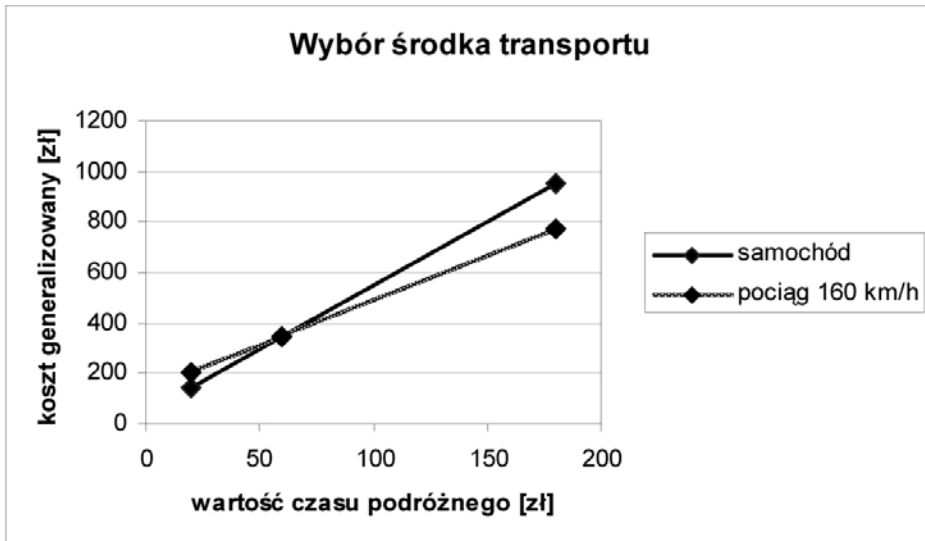
Źródło: A. Massel „Modernizacja CMK – zagadnienia ruchowe”, Konferencja SITK, Lublin 2008.

Potoki pasażerskie w relacji Warszawa – Kraków to około 3,03 mln podróżnych rocznie w obu kierunkach. Przewozy koleją i samochodami stanowią 86%, a zatem jest to około 2,6 mln podróżnych, z czego na kolej przypada 2 mln. Obecny podział modalny pomiędzy te dwa środki transportu to odpowiednio 77 i 23%. Dane przyjęte do budowy modelu cena-czas przedstawiono w tabelicy 4.

Tablica 4. Parametry podróży w relacji Warszawa – Kraków.

Czasy i cena przejazdu	pociąg	samochód
Czas przejazdu	2 h 55	4 h 55
Czas dostępu	0 h 10	0 h 30
Czas odprawy	0	0 h10
Cena przejazdu	40,00 zł	130,00 zł

Dla tak ustalonych danych wykresy kosztu generalizowanego w funkcji wartości czasu podróznego h_i przedstawiono na rysunku 5. Obojętna wartość czasu, dla której koszty generalizowane przejazdu pociągiem G_p i samochodem G_s (dla danych z tablicy) są jednakowe, wynosi $h_o = 60$ zł/h.



Rys. 1. Koszt generalizowany w funkcji wartości czasu podróznego

Można teraz postawić pytanie, jak obecny podział rynku pomiędzy pociągiem a samochodem ustalony dla aktualnego rozkładu wartości

czasu podróznego w populacji osób podróżujących na trasie Warszawa – Kraków zmieni się w przypadku:

- zmniejszenia ceny biletów np. o 30 zł,
- skrócenia czasu przejazdu pociągu z 2h55 do 2h02.

Dla uzyskania wiarygodnych danych odnośnie do rozkładu wartości czasu wśród osób podróżujących w korytarzu Warszawa – Kraków należałoby przeprowadzić szczegółowe (i kosztowne) badania marketingowe. W celu zilustrowania działania modelu cena – czas założmy, że zgodnie z przywołanymi w literaturze modelami teoretycznymi [2] rozkład ten odwzorować można w postaci rozkładu Pareto opisanego funkcją gęstości $f(x) = x^{-0,1}$.

Zakłada się jednocześnie, że wartość czasu podróznym korzystających z kolei i samochodu mieści się we przedziale od 20 do 180 zł/h. Ocenę skutków obniżenia ceny biletu na pociąg o 30 złotych oraz skrócenia czasu przejazdu wymagają kolejno obliczenia kosztów generalizowanych dla obu środków transportu oraz pola na wykresie funkcji gęstości rozkładu Pareto. Wyniki przeprowadzonych obliczeń przedstawiono w tablicy 5.

Tablica 5. Udział w przewozach Warszawa – Kraków dla różnych parametrów modelu cena-czas

Parametry przejazdu pociągu			h0 [zł/h]	Udział w rynku [%]	
vmax	cena biletu [zł]	czas jazdy godz.min		pociąg	samochód
160 km/h	130.00	2.55	60	77	23
	100.00	2.55	40	88	12
200 km/h	130.00	2.02	38	90	10
	100.00	2.02	25	97	3

Powyższy przykład potwierdza prawidłowe działanie modelu cena – czas dla warunków korytarza transportowego. Brak szczegółowych informacji na temat rozkładu wartości czasu w populacji osób podróżujących w tym korytarzu nie pozwala na wyciągnięcie w pełni wiarygodnych wniosków. Tak radykalne przejęcie przez kolej potoku podróznym (dla $t_p = 2h02$ oraz $c_p = 100$ zł), jak to wynika z przykładu, wydaje się jednak mało prawdopodobne.

Można również domniemywać, że cena i czas nie są w warunkach polskich jedynymi czynnikami decydującymi o wyborze środka transportu. Zbadanie tego zagadnienia umożliwi model PREFERENCJE, opisany w kolejnym punkcie.

4.2. Model PREFERENCJE

Druga z rozpatrywanych metod – opracowana przez autora artykułu – zakłada, że w rozważanym multimodalnym korytarzu transportowym [5] łączącym wybrane aglomeracje funkcjonują przewoźnicy \mathbf{m} ($\mathbf{m} = 1 \dots \mathbf{M}$). Pasażerowie korzystający z ich usług podzieleni zostają na kategorie \mathbf{k} ($\mathbf{k} = 1 \dots \mathbf{K}$)⁷. Ofertę przewozową każdego dostawcy można opisać za pomocą atrybutów \mathbf{n} ($\mathbf{n} = 1 \dots \mathbf{N}$). Jednocześnie każdej kategorii podróży można przypisać ocenę każdego atrybutu o wartości r_{kn} . Opracowana metoda tzw. interakcji międzygałęziowych⁸ pozwala na:

- modelowanie podziału zadań przewozowych pomiędzy dostawców usług w funkcji ustalonych parametrów preferencji użytkownika,
- badanie relacji nabywca – dostawca usług przewozowych odwzorowujących rzeczywiste warunki systemu transportowego oraz pozwalające na objaśnienie obecnego oraz prognozowanie przyszłego podziału zadań.

Do zbadania powyższej interakcji konieczne jest zbudowanie dwóch modeli: dostawcy oraz odbiorcy usług transportowych.

Model dostawcy charakteryzuje oferty przewozowe dostępne w korytarzu transportowym. Elementy zbioru ofert najwygodniej przedstawić w postaci macierzy dostawców \mathbf{D} :

$$\mathbf{D} = [d_{mn}]_{M \times N}$$

gdzie każdy element d_{mn} ma wartość cechy (atrybutu) \mathbf{n} dla dostawcy \mathbf{m} .

Model odbiorcy charakteryzuje preferencje podróży w korytarzu transportowym. Elementy zbioru preferencji najwygodniej przedstawić w postaci macierzy odbiorców \mathbf{R} :

$$\mathbf{R} = [r_{kn}]_{K \times N}$$

gdzie każdy element r_{kn} ma wartość oceny znaczenia cechy (atrybutu) \mathbf{n} dla odbiorcy kategorii \mathbf{k} .

Algorytm metody PREFERENCJE jest następujący. Dla ustalonego korytarza transportowego należy kolejno:

1. Określić zbiory dostawców usług (przewoźników) oraz kategorii odbiorców usług (podróżnych).

⁷ W przypadku odstąpienia od tej segmentacji mamy $\mathbf{K} = 1$.

⁸ Następuje wzajemne oddziaływanie (interakcja) nabywców usług, biorących pod uwagę własne oczekiwania (preferencje) oraz działania dostawców tych usług (przewoźników), próbujących sprostać tym oczekiwaniom.

2. Na podstawie danych od przewoźników oraz np. badań marketingowych zbudować macierze \mathbf{D} oraz \mathbf{R} .
3. Dokonać normowania elementów macierzy \mathbf{D} oraz \mathbf{R} w celu uzyskania porównywalności ich elementów. Przekształcone w ten sposób macierze zapisane zostają jako $\mathbf{D}^* = [d_m^*]_M$ oraz $\mathbf{R}^* = [r_k^*]_N$.
4. Wyznaczyć \mathbf{K} – elementowy wektor $\mathbf{U} = [u_k]$ oceny ofert przewoźników z punktu widzenia każdej kategorii pasażerów korzystając ze wzoru (10); postać wielomianu jest następująca:

$$v_k = \sum_{n=1}^N r_k^* \cdot d_k^* .$$

5. Wyznaczyć \mathbf{M} – elementowy wektor $\mathbf{Q} = [q_m]$ tzw. współczynników konkurencyjności przewoźników z punktu widzenia ocen podróży; element $q_m = \prod_{k=1}^K \frac{u_k}{r_k}$

6. Wyznaczyć udział kolejnych dostawców w realizacji popytu,
7. Wyznaczyć liczbowe rozłożenie nabywców usług przewozowych na dostawców.

Na podstawie powyższej metody opracowany został program PREFERENCJE napisany w języku DELPHI, pracujący w środowisku Windows.



Rys. 2. Strona tytułowa programu PREFERENCJE

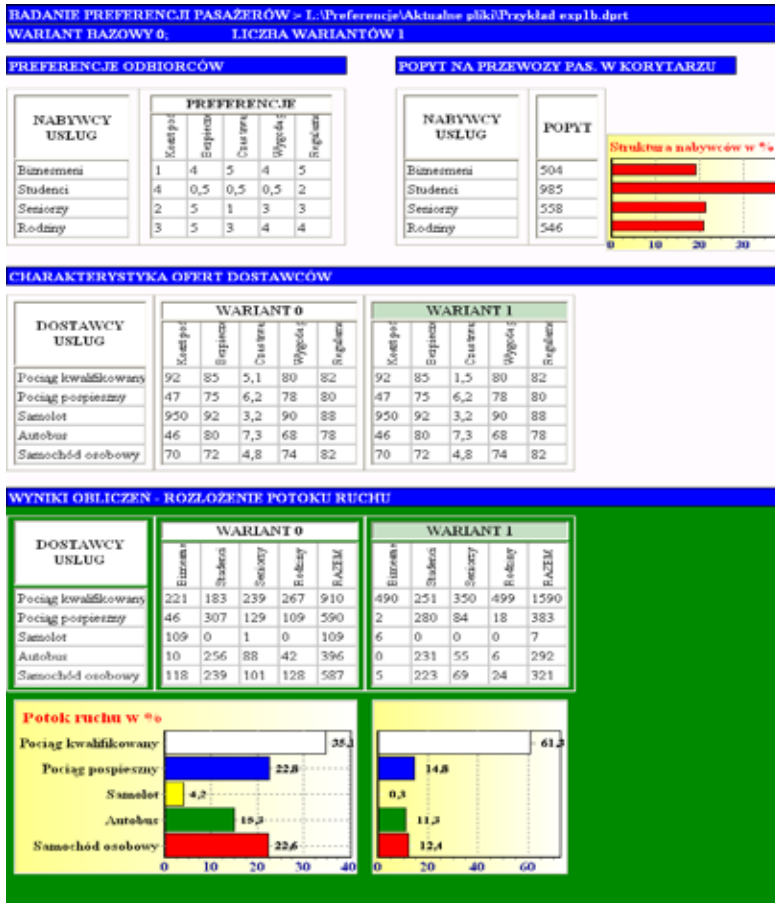
Funkcje realizowane przez program PREFERENCJE obejmują:

1. Wprowadzanie, zapis, odczyt, drukowanie i edycję danych.
2. Wyznaczanie rozłożenia potoku ruchu pasażerskiego dla zdefiniowanych wariantów wartości cech jakościowych ofert dostawców usług przewozowych.
3. Badanie wpływu zmian wartości cech jakościowych ofert dostawców usług przewozowych na rozłożenie potoku ruchu.
4. Sporządzenie:
 - zestawień dla poszczególnych dostawców usług oraz wartości cech jakościowych pozwalających określić wpływ zmian wartości cech jakościowych ofert dostawców na rozłożenie potoku ruchu,
 - wykresów rozłożenia potoku ruchu ogółem oraz podróźnych wybranej kategorii dla kolejnych dostawców usług przewozowych w funkcji zmian wartości poszczególnych cech jakościowych ich ofert,
 - wykresów wrażliwości nabywców usług przewozowych na zmiany wartości cech jakościowych ofert poszczególnych dostawców.
5. Optymalizacja cen usług przewozowych z punktu widzenia wybranego dostawcy.

Program „Preferencje” wyposażony jest we własny edytor służący do wprowadzania, zapisywania, odczytywania oraz edycji danych. Po wykonaniu obliczeń wynik prezentowany jest w formie tekstowej (zapis do pliku lub wydruk). Możliwe jest także uzyskanie wykresu funkcji celu (przychodów danego dostawcy usług) oraz wykresu wielkości potoku ruchu w funkcji ceny za usługę. W efekcie obliczeń realizowanych przez program „Preferencje” otrzymuje się zbiory wyników w trzech podstawowych zakresach, tj.:

- rozłożenia potoku ruchu,
- badania wpływu zmian wartości cech jakościowych ofert dostawców usług przewozowych na rozłożenie potoku ruchu,
- optymalizacji cen usług przewozowych z punktu widzenia wybranego dostawcy.

Wyniki uzyskiwane w ramach poszczególnych zakresów mogą być prezentowane w postaci raportu szczegółowego lub uproszczonego. W raporcie uproszczonym – z uwagi na wymiar ekranu – z wariantem bazowym mogą być porównane dwa inne dowolnie wybrane warianty.



Rys. 3. Wyniki rozłożenia potoku ruchu – raport uproszczony z programu „Preferencje”

W części analitycznej Program „Preferencje” umożliwia:

- badanie wpływu zmian wartości cech jakościowych ofert dostawców usług przewozowych na rozłożenie potoku ruchu pasażerskiego,
- optymalizację cen usług przewozowych z punktu widzenia wybranego dostawcy,
- analizę wrażliwości.

Weryfikacji opisanej powyżej metody oraz programu PREFERENCJE dokonano na przykładzie korytarza transportowego Warszawa – Wrocław. Wybór korytarza wynikał z faktu, że funkcjonują w nim wszystkie podstawowe środki transportu, a dodatkowym atutem prowadzonych analiz jest perspektywa budowy linii szybkiego ruchu (tzw. „Y”).

Zbiory dostawców i odbiorców usług wraz z charakterystykami ofert przewozowych i preferencji przedstawiono w tablicach 6 oraz 7.

Tablica 6. Charakterystyki ofert przewozowych (zbiór D)

Dostawy usług	Cechy jakościowe usługi transportowej				
	Czas [h]	Bezpieczeństwo ^{*)}	Koszt [zł, gr.]	Wygoda ^{*)}	Punktualność ^{*)}
1	2	3	4	5	6
Pociąg kwalifikowany kl. I	5,83	4,0	131,00	3,8	4,5
Pociąg kwalifikowany kl. II	5,83	3,8	94,00	3,6	4,5
Pociąg pospieszny kl. I	7,25	3,2	77,60	3,5	4,4
Pociąg pospieszny kl. II	7,25	3,1	51,75	3,3	4,4
Samolot	2,17	4,9	440,00	3,8	4,2
Autobus	7,67	3,4	47,00	2,4	3,8
Samochód	5,75	3,8	90,00	4,9	4,1

^{*)} skala ocen od 0 do 5 (0 – jakość nie odpowiada pasażerom, 5 – jakość w pełni satysfakcjonująca)

Tablica 7. Preferencje podróżnych (zbiór R)

Nabywcy usług transportowych	Cechy jakościowe usługi transportowej				
	Czas	Bezpieczeństwo	Koszt	Wygoda	Punktualność
Biznesmeni	5	4	1	4	5
Studenci	0,5	0,5	6	0,2	1
Seniorzy	2	5	3	4	3
Rodziny	0,5	4	5	3	2

Obliczenia przeprowadzono dla dwu wariantów.

Wariant I. Założono, że w wyniku zmiany ceny benzyny koszt przejazdu samochodem osobowym na trasie Warszawa – Wrocław wzrośnie około 10%. W macierzy **D** mamy zatem w tym wariancie $d_{73} = 99,00$.

Jak wynika z przeprowadzonych obliczeń wzrost cen benzyny spowodował, że 8% podróżnych korzystających dotychczas z samochodu zgodnie ze swoimi preferencjami (w tym dotyczącymi ceny) zmieni środek transportu. W ten sposób udział w rynku usług przewozowych wzrośnie na korzyść kolei oraz lotnictwa⁹ odpowiednio o 8 oraz 2%.

Wariant II. Założono, że w wyniku oddania do eksploatacji linii dużych prędkości (LDP) czas przejazdu pociągiem na trasie Warszawa – Wrocław zostanie skrócony do 2 godzin. W macierzy **D** mamy zatem w tym wariancie $d_{11} = d_{21} = 2,00$.

Po przeprowadzeniu obliczeń okazuje się, że radykalne skrócenie czasu przejazdu pociągów kwalifikowanych skutkuje znaczącymi

⁹ W przykłdzie założono, że wzrost cen benzyny nie spowoduje wzrostu ceny biletów lotniczych i autobusowych.

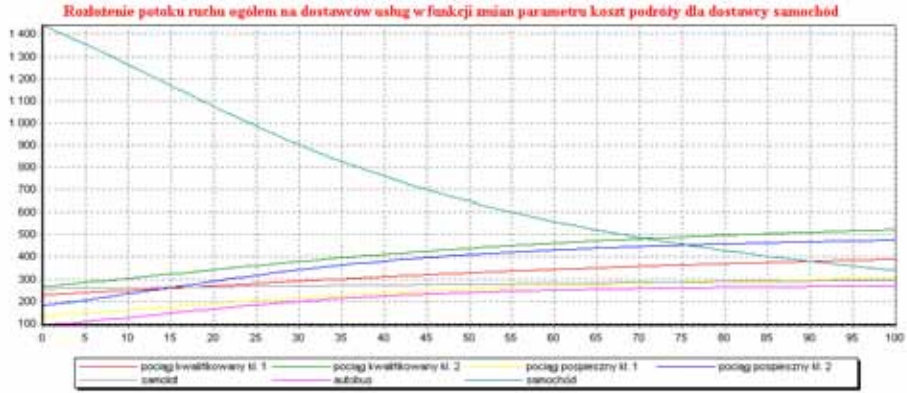
zmianami na rynku usług przewozowych. Przewozy kolejowe zostają przejęte przez pociągi dużych szybkości, zwiększając jednocześnie udział kolei w rynku z 32% do 55%. Największe spadki przewozów (równe 58%) są przewidywane dla połączenia lotniczego.

Program „Preferencje” umożliwia również wykonywanie badania wrażliwości zachowań nabywców w wielu przekrojach. Dla badanego korytarza transportowego szczególnym badaniem podano wpływ kosztu przejazdu samochodem osobowym na zachowania komunikacyjne pasażerów. Jak wynika z przeprowadzonych obliczeń, osoby korzystające z samochodów osobowych są bardziej wrażliwe na spadek kosztów niż na ich wzrost. I tak na przykład spadek o 50% kosztu przejazdu samochodem osobowym powoduje wzrost liczby jego użytkowników o nieco ponad 80%, zaś analogiczny wzrost tego kosztu skutkuje niespełna 33% ograniczeniem liczby osób korzystających z komunikacji indywidualnej.

Na spadek kosztów użytkowania samochodów osobowych najbardziej wrażliwi są „studenci”, zaś na ich wzrost – „rodziny”. Porównując zmiany liczby pasażerów korzystających z pozostałych ofert przewozowych okazuje się, że najmniejszą wrażliwość na zmianę kosztu podróży samochodem osobowym wykazują przewozy komunikacją lotniczą, gdzie zmiana liczby pasażerów dla zmiany badanego parametru w granicach 50% nie przekracza 18,5%, czyli 52 pasażerów na dobę.

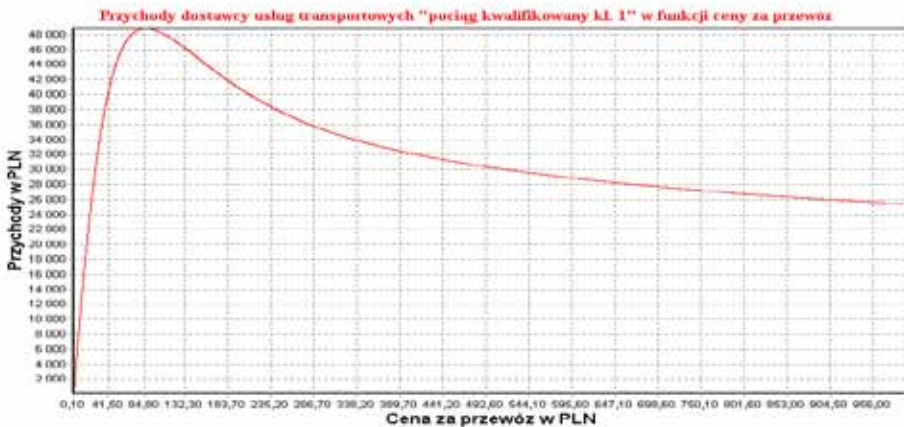
Wrażliwość przewozów komunikacją autobusową jest już znacznie wyższa i w granicach zmian badanego parametru $\pm 50\%$ wynosi ok. 19%. Podobnie kształtuje się wrażliwość przewozów w pociągach pospiesznych klasy 2 (ok. 22%). Natomiast wrażliwość przewozów w pociągach kwalifikowanych w wagonach klasy 1, pociągach kwalifikowanych w wagonach klasy 2 oraz w pociągach pospiesznych w wagonach klasy 1 jest porównywalna i przy zmianie parametru $\pm 50\%$ wynosi ok. 29%.

W programie „Preferencje” wizualizacja opisanych związków możliwa jest także przy pomocy wykresów. Przykładowo na rysunku 4 przedstawiono wykres pokazujący wpływ zmiany ceny od wartości bliskiej zeru do wartości przeciętnej – porównywalnej z ofertami innych dostawców usług (oś odciętych).



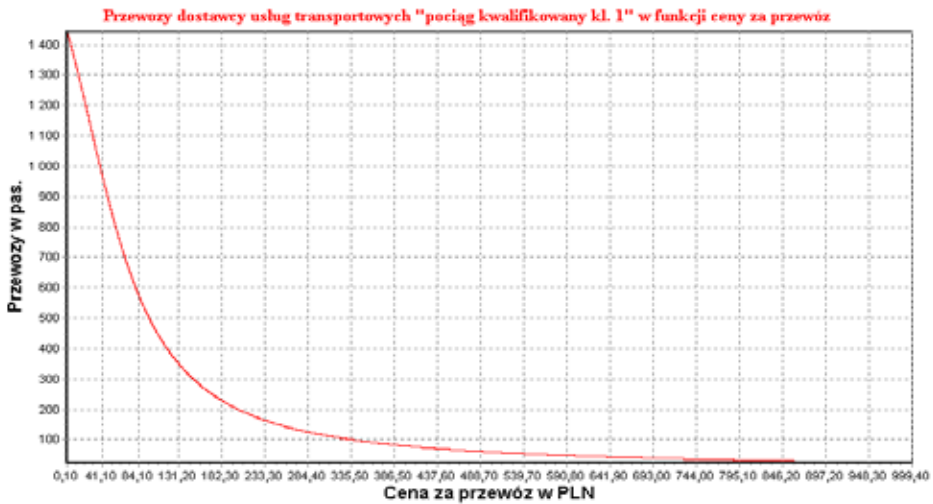
Rys.4. Wykres rozłożenia potoku ruchu na dostawców usług w funkcji zmian kosztów podróży samochodem osobowym od kosztu minimalnego do przeciętnego

Korzystając z programu „Preferencje” można także m.in. przeprowadzić poszukiwanie optymalnej ceny za przejazd. Badanie takie dla rozważanego korytarza Warszawa – Wrocław wykonano między innymi dla pociągów kwalifikowanych (wagony klasy 1). Przy obecnym ukształtowaniu ofert przewozowych oraz preferencjach pasażerów optymalna cena za przejazd pociągiem kwalifikowanym w 1 klasie jest równa 86,50 PLN. Przy tej cenie z usług przewoźnika skorzysta 564 pasażerów, przynosząc przychód równy 48786,0 PLN. Wykres funkcji celu dla pierwszego dostawcy usług przewozowych zamieszczono na rys. 5, natomiast wykres wielkości potoku ruchu obsługiwanego przez tego dostawcę w funkcji ceny biletu zamieszczono na rys.6.



Rys.5. Funkcja celu dla pociągów kwalifikowanych (klasa 1)

Jak wynika z przeprowadzonej optymalizacji dla przewozów klasą 1 w pociągach kwalifikowanych cena optymalna jest niższa od obecnej aż o 34%. Jednak stosowanie takiej ceny, według obliczeń, pozwala osiągnąć przychód większy jedynie o niewiele ponad 5%. Należy jednak zaznaczyć, że obliczenia są realizowane przy założeniu stałych pozostałych parametrów. W praktyce taka zmiana ceny taryfowej prawdopodobnie spowodowałaby obniżenie cen u konkurencyjnych dostawców. A to z kolei wpłynęłoby na zachowania nabywców usług w ten sposób, że ustalony poziom przewozów dla rozpatrywanego dostawcy usług nie zostałby osiągnięty.



Rys. 6. Wielkość obsługiwanego potoku w funkcji ceny biletu dla pociągów kwalifikowanych

5. ZAKOŃCZENIE

W artykule przedstawiono dwie metody modelowania podziału zadań przewozowych w korytarzu transportowym, tj. modele: cena – czas i PREFERENCJE. Druga z powyższych metod została opracowana przez autora artykułu. Pozwala ona na badanie wpływu preferencji nabywców pasażerskich usług transportowych na rozłożenie potoku ruchu w korytarzu transportowym.

Zaproponowane podejście stanowi rozwinięcie i zastosowanie metod pochodzących ze źródeł literaturowych, co dotyczy zwłaszcza rozszerzenia zbioru parametrów kształtujących decyzje podróżnych.

Oryginalnym elementem metody jest obliczanie tzw. *współczynnika konkurencyjności* danego dostawcy usług transportowych z punktu widzenia określonego nabywcy usług.

Metoda uwzględnia zarówno warunki charakterystyczne dla krajowego rynku transportowego, jak i specyfikę techniczno-organizacyjną systemu transportowego. Jednocześnie metoda ma charakter uniwersalny, co umożliwia wykorzystanie jej do badania wpływu oferty przewozowej dostawców na rozłożenie potoków w aspekcie preferencji nabywców dla różnych, rzeczywistych warunków korytarzy transportowych.

Przeprowadzone obliczenia z wykorzystaniem programu „Preferencje” pozytywnie weryfikują poprawność aplikacyjną metody. Zaproponowane podejście może mieć zastosowanie do badania zachowań rynkowych, dalszego kształtowania systemu transportowego, np. w zakresie wariantowania decyzji inwestycyjnych zarówno modernizacyjnych, jak i odnoszących się do całkowicie nowej infrastruktury transportowej (budowa linii kolejowych szybkiego ruchu, autostrad, lotnisk itp.).

Bibliografia

- [1] Bierlaire M.: *Discrete choice models*. MIT, Cambridge (USA) 1997.
- [2] Bonnel P.: *Prévoir la demande de transport*. Presses de l'École Nationale des Ponts et Chaussées, Paryż 2004.
- [3] Hall, Randolph W. (red.): *Handbook of Transportation Science*. Wyd. 2. Springer New York, 2003.
- [4] Hensher D.A., Button K.J.: *Handbook of transport modeling*. Pergamon, Elsevier 2000.
- [5] Jacyna M.: *Modelowanie i ocena systemów transportowych*. Oficyna Wydawnicza PW, Warszawa 2009.
- [6] Ortúzar J. de D., Willumsen L. G.: *Modeling transport*, 3^o edition. John Wiley & Sons, UK 2001.
- [7] Pradayrol J-P., Champeaux J.: *Études de dessertes „Intercités à Grande Vitesse ”*, Revue Générale des Chemins de Fer, 11/2007.

- [8] Żurkowski A.: *Badanie wpływu preferencji nabywców usług na rozłożenie potoku ruchu pasażerskiego w korytarzu transportowym*. III Międzynarodowa Konferencja Naukowo – Techniczna WT PW: Systemy logistyczne – teoria i praktyka. Spała 2008.
- [9] Żurkowski A.: *Research Influence of Preferences of Services Purchases on Selection of Supplier in Transport Channel*. The Archives of Transport Vol. XX, No 3. Warszawa 2008.
- [10] Żurkowski A.: *Modelowanie przewozów międzyaglomeracyjnych*. Problemy Kolejnictwa, zeszyt 148, Warszawa 2009.
- [11] Żurowska J.: *Prognozowanie przewozów, modele, metody, przykłady*. Wydawnictwo Politechniki Krakowskiej, Kraków 2005.

MODELLING OF SELECTION OF MEANS OF TRANSPORT IN TRANSPORT CORRIDOR

Summary

Modelling of selection of means of transport is one of the basic theoretical problems of transport modelling. There are usually a few or more operators who represent various modes of transport: rail, road and air transport. Each traveller is confronted with the set of potential variants of travel execution. The effect of undertaken decisions is the flow assignment on every operator. The result of modelling determine the premises for decisions both in the field of transportation policy (national and regional) and trade decisions of operators who optimize their offers taking into account some criterions (eg. maximization of revenues). The draft of the problem and selected models and some examples of their application have been presented in the paper.

Keywords: *transportation model, passenger transport, transportation corridors, multimodal transport, modal split*

MODELLIERUNG DER VERKEHRSMITTELAUSWAHL IM VERKEHRSKORRIDOR

Zusammenfassung

Die Modellierung der Verkehrsmittelauswahl ist eine von theoretischen Hauptfragen der Beförderungsmodellierung. In dem untersuchten Transportkorridor funktionieren einige oder mehr als zehn Spediteure gewöhnlich, die die verschiedenen Verkehrszweige, wie die Eisenbahn, den Straßenverkehr, Luftverkehr repräsentieren. Jeder Reisende ist mit der potentiellen Variantenmenge der Reiserealisation konfrontiert. Der Ergebnis der aufgenommenen Entscheidungen ist die Zerlegung des Stroms auf den einzelnen Spediteuren. Die Modellierungsergebnisse können die Voraussetzungen für die Entscheidungen im Bereich sowohl Verkehrspolitik (land oder regional) als auch der Handelsentscheidungen der Spediteure, die ihre Beförderungsangebote in der Anlehnung an ausgewählte Kriterien (z. B. Maximalisierung der Einnahme) optimieren. Im Vortrag werden der Problemumriss und die ausgewählten Modellen mit den Beispielen ihrer Anwendung dargestellt.

Die Schlüsselwörter: *das Verkehrsmodell, der Personenverkehr, die Verkehrskorridore, der multimodale Verkehr.*

Mariusz Szubra¹

WARIANT BEZINWESTYCYJNY (WB) W STUDIACH WYKONALNOŚCI PROJEKTÓW TRANSPORTOWYCH - PRZYCZYNEK DO DYSKUSJI

1. Wprowadzenie

Wnioskowanie o środki unijne wymaga przygotowania złożonej dokumentacji aplikacyjnej. Jej elementem jest zazwyczaj studium wykonalności projektu, którego zakres jest sprecyzowany czy to w odnośnych wytycznych, samym ogłoszeniu o naborze wniosków czy też w podręcznikach ogólnych zalecanych przez Komisję Europejską. Każde studium wykonalności wymaga sporządzenia tzw. analizy specyficznej dla sektora, która jest punktem wyjścia dla oszacowania wskaźników efektywnościowych projektów.

Analizą specyficzną dla projektów transportowych (drogowych, kolejowych, transportu publicznego) jest modelowanie ruchu wraz z prognozą ruchu odnoszącą się do danego projektu. Jak mówi np. Niebieska Księga dla Sektora transportu publicznego²:

„Przygotowanie prawidłowych prognoz natężenia ruchu pasażerskiego ma zasadnicze znaczenie dla AKK (analiza korzyści i kosztów)³. Prognozy te muszą uwzględniać skutki planowanej inwestycji dla transportu w analizowanym obszarze oraz korzyści z jej realizacji w porównaniu z wariantem bezinwestycyjnym(WB)”⁴.

¹ mgr, Wiceprezes Zarządu International Management Services Sp. z o.o., Kraków, ul. Felicjanek 4/10, e-mail mariusz.szubra@ims.biz.pl

² Niebieska księga. Sektor transportu publicznego, Jaspers, wydanie wrzesień 2008, str. 11.

³ Dopisek autora

⁴ Niebieska księga. Infrastruktura drogowa, Jaspers, wydanie wrzesień 2008, str. 13.

Powyższa definicja, dość czytelna i zrozumiała, wymaga jednak odpowiedzi na zasadnicze pytanie, a mianowicie, co należy rozumieć pod pojęciem WB? Odpowiedź na to pytanie ma bowiem bardzo istotne znaczenie z punktu widzenia oszacowania wskaźników efektywności projektów. Jako punkt odniesienia determinuje bowiem ich wartość, a przecież należą one do jednych z kluczowych narzędzi decyzyjnych w procesie zakwalifikowania (bądź nie) projektów do współfinansowania.

2. Definicje wariantu bezinwestycyjnego

Niebieskie księgi definiują WB jako ponoszenie niezbędnych kosztów utrzymania (które wraz z czasem mogą ulegać znacznemu wzrostowi ze względu na pogarszający się stan infrastruktury) w celu zapewnienia minimalnego poziomu utrzymania i umożliwienia funkcjonowania infrastruktury bez pogorszenia jej stanu technicznego. Ta definicja jest zazwyczaj interpretowana jako zapewnienie standardowego poziomu remontów i utrzymania, który musi umożliwiać pracę systemu bez nadmiernego pogorszenia poziomu usług.

Z kolei „Przewodnik do Analizy Kosztów i Korzyści projektów inwestycyjnych. Fundusze strukturalne, Fundusz Spójności oraz Instrument Przedakcesyjny”, opublikowany przez Komisję Europejską, Dyрекcję Generalną ds. Polityki Regionalnej w czerwcu 2008 r.⁵ mówi, że w wybraniu najlepszego wariantu pomocny jest opis scenariusza odniesienia. Zazwyczaj jest to prognoza przyszłości w sytuacji, gdyby projekt nie był realizowany, tj. prognoza „pracować jak zwykle” (PJZ). Określa się to również czasami jako scenariusz braku działań („nie robić nic”). Termin ten nie oznacza, że działanie dotychczas funkcjonujących usług zostanie zatrzymane, lecz że po prostu będą one kontynuowane bez dodatkowych nakładów kapitałowych. Krótko mówiąc, PJZ to prognoza tego, co stanie się w przyszłości w rozważanym zagadnieniu bez ponoszenia inwestycji.

⁵ Przewodnik do Analizy Kosztów i Korzyści projektów inwestycyjnych. Fundusze strukturalne, Fundusz Spójności oraz Instrument Przedakcesyjny, Komisja Europejska, Dyrekcja Generalna ds. Polityki Regionalnej, czerwiec 2008; str. 33

3. Czy na pewno „nic nie robić”?

Generalnie należy stwierdzić, że na pierwszy rzut oka powyższe definicje nie wzbudzają dużych kontrowersji interpretacyjnych. Utrzymuj w stanie niepogorszone, pozwól normalnie działać jak dotychczas, a zapewnisz postulaty definicji WB. Okazuje się jednak, że zrozumienie definicji WB jest różnie postrzegane przez autorów studiów wykonalności, a w szczególności przygotowujących modele i prognozy ruchu, a także wśród ekspertów oceniających przygotowane aplikacje. Udział autora niniejszego Komunikatu w drobnym sporze metodologicznym na ten właśnie temat skłoniło go do poddania problemu po szerszą dyskusję wśród osób zajmujących się profesjonalnie problematyką prognozowania ruchu.

Autor niniejszego stoi bowiem na stanowisku, że trudno wyobrazić sobie scenariusz „pracuj jak zwykle” bez sukcesywnego ponoszenia nakładów, pozwalających sprostać podstawowym potrzebom rozwojowym. Przecież nie po to sporządza się dla potrzeb modelowania ruchu prognozy demograficzne, określa ruchliwość, podział zadań przewozowych, średnie długości i czasy podróży, prognozy wzrostu ruchu, analizuje strategie rozwoju, studia uwarunkowań i zagospodarowania terenu itp. żeby stwierdzić, że w wariantcie bazowym oprócz utrzymywania w dobrej kondycji istniejącego stanu nic nie się nie zmieni. Taki wariant bowiem bardzo szybko doprowadziłby do paraliżu komunikacyjnych, które trudno byłoby już nazwać „jest jak dotychczas”. Ponadto Niebieska księga dla sektora transportu publicznego stwierdza, że:

„ważne jest także zapewnienie dużego stopnia realizmu WB oraz unikanie nadmiernego pogorszenia warunków istniejących usług. Należy również uwzględnić korzystne skutki nieuniknionych napraw lub innych zaplanowanych inwestycji pozostających poza zakresem bieżących wariantów projektu (np. już zaplanowanej budowy nowej linii tramwajowej)”⁶.

Tymczasem okazuje się, że istnieje pewna grupa konsultantów reprezentująca pogląd, że „utrzymanie stanu obecnego” nie powinno uwzględniać realizacji innych projektów, nawet jeżeli decyzje co do ich finansowania już zapadły. Twierdzą oni bowiem, że realizacja tych projektów nie jest stanem obecnym z uwagi na to, że są obciążone ryzykiem realizacji, więc nie są dobrym punktem odniesienia. Z wy-

⁶ Niebieska księga. Sektor transportu publicznego, Jaspers, wydanie wrzesień 2008, str. 12.

powiedzi tych konkluzje były różne, ale można je podsumować następująco:

- 1) Jeżeli projekty są od siebie wzajemnie zależne, tj. jeśli jeden projekt warunkuje sens realizacji drugiego (np. budowa linii kolejowej i zakup taboru; budowa jednego odcinka linii i zaraz za nim następnego), to dla rozdzielania efektów w dwóch studiach wykonalności, wariant inwestycyjny studium pierwszego, powinien być wariantem bazowym drugiego;
- 2) Jeżeli projekty realizowane są równolegle i oddziałują na siebie wzajemnie, ale jeśli można je realizować niezależnie (dwa odcinki linii tramwajowej na dwóch różnych trasach, albo modernizacja różnych odcinków tej samej trasy), to w wariantach bazowych nie należy zakładać, że ten drugi projekt będzie zrealizowany. Czyli WB dla obydwu projektów jest taki sam - brak projektów;
- 3) Każdy planowany projekt ma mniejszy lub większy wpływ na ruch w sieci. Które zatem projekty uwzględnić w WB, a których nie? W ten sposób należałoby w WB stworzyć scenariusz rozwoju całego systemu transportowego na kilkadziesiąt lat z uwzględnieniem wszystkich projektów, tylko bez tego, którego efektywność chcemy analizować, żeby mieć idealny wariant do porównania. Dlatego też w WB należy zachować status quo bez żadnego projektu, jako wariant odniesienia bowiem efekty ich realizacji są jedynie na etapie planowania.

O ile z punktem 1) i pierwszą częścią punktu 3) autor niniejszego komunikatu się utożsamia, o tyle z punktem 2) i ostatnim zdaniem punktu 3) już nie. Bowiem różne będą wyniki Analizy Korzyści i Kosztów w sytuacji, gdy WB będzie wariant nie uwzględniający rozwoju systemu transportowego w porównaniu z sytuacją, gdy w WB rozwój ten byłby uwzględniony. Wyniki tych porównań mogłyby dać skrajnie różne sugestie w procesie decyzyjnym.

Dlatego też autor niniejszego komunikatu zwraca się do kręgu profesjonalistów obecnych na konferencji nie tyle o potwierdzenie swego stanowiska (to może bowiem okazać się błędne), ile o sformułowanie w wyniku dyskusji postulatów pokonferencyjnych, które rozwiąłyby wszelkie wątpliwości w tej materii w celu jednolitego stosowania w nowotworzonych aplikacjach, co pozwoli zagwarantować przede wszystkim porównywalność wyników otrzymanych w toku przeprowadzanych analiz.