

## OPÓR PRZESTRZENI DLA ALTERNATYWNEJ REALIZACJI PODRÓŻY<sup>1</sup>

**Ireneusz Celiński**

mgr inż., Katedra Inżynierii Ruchu, Wydział Transportu,  
Politechnika Śląska, 40-019 Katowice, ul. Krasińskiego  
8, tel. +48 32 603 4121, e-mail: ireneusz.celinski@  
polsl.pl

**Grzegorz Sierpiński**

dr inż., Katedra Inżynierii Ruchu, Wydział Transportu,  
Politechnika Śląska, 40-019 Katowice, ul. Krasińskiego  
8, tel. (032) 603 4115, e-mail: grzegorz.sierpinski@  
polsl.pl

**Streszczenie.** *Artykuł prezentuje koncepcję opracowania funkcji oporu przestrzeni typu 3D dla potrzeb modelowania ruchu. W proponowanej metodzie uwzględniany jest wymiar pionowy przemieszczeń z jednoczesnym uwzględnieniem zmienności wartości tej funkcji w obszarze sieci drogowej. Prezentowany artykuł opracowano na podstawie kilkuletnich badań własnych autorów (w tym niepublikowanych głównie w przedmiocie przemieszczeń pionowych). Przedmiotem zainteresowania badań były preferencje mieszkańców w zakresie wariantów przemieszczania się w sieci miejskiej w stosunku do przemieszczeń wykonywanych w ramach podróży obligatoryjnych. W tym kontekście analizie poddane zostały opory przestrzeni dla zbadanych w ramach ankiet podróży rzeczywistych (obligatoryjnych) i ich odpowiedników substytucyjnych. Zamierzeniem wykonania ankiet było sprawdzenie jedynie pewnych ogólnych tendencji w poruszanych w artykule aspektach związanych z przemieszczeniami w sieci transportowej. Zdaniem autorów modelowanie procesów ruchu w gęstych sieciach transportowych wymaga stosowania innych niż dotychczas funkcji oporu, a przynajmniej modyfikacji oporów przestrzennych i wprowadzenia poprawek z uwagi na przemieszczenia wertykalne. Współcześnie w sieciach gęstych parametry przemieszczeń, możliwość wyboru substytucyjnych środków transportu, analiza przemieszczeń pionowych istotnie różnią się, w tym statystycznie, od wykonywanych jeszcze dwie, trzy dekady wstecz. Zastosowanie właściwych funkcji oporu w przestrzeni jest warunkiem konstrukcji zasadnych modeli ruchu. Ponadto istotne w modelowaniu procesów transportowych jest zestawianie konkurencyjnych modeli ruchu w oparciu o substytucyjne relacje podróży. Te relacje mogą znacząco różnić się w zakresie funkcji oporu przestrzeni. Prezentowana koncepcja została zilustrowana projekcjami funkcji oporu przestrzeni typu 3D (hipotetycznymi i rzeczywistymi). Jednym z efektów badań jest również opracowanie dotyczące sposobów postrzegania przestrzeni przez respondentów w kontekście realizowanych przez nich przemieszczeń rzeczywistych i substytucyjnych w sieci miejskiej. W podsumowaniu artykułu autorzy przedstawiają pewne kierunki rozwoju modeli ruchu, które implikowane są prezentowaną koncepcją.*

**Słowa kluczowe:** *modelowanie podróży, prognozowanie ruchu, opór 3D, wariancja funkcji oporu w przestrzeni, przemieszczenia pionowe, postrzeganie czasu i odległości*

1 Wkład autorów w publikację: Celiński I, 50%, Sierpiński G. 50%

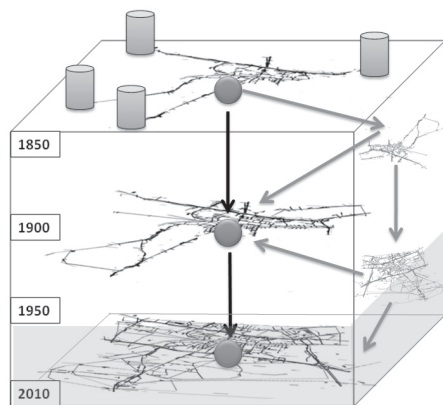
## 1. Wprowadzenie

Modele ruchu opisują przede wszystkim rozłożenie potoków ruchu w sieci transportowej przy określonym zapotrzebowaniu na podróże i przewozy [12]. Do słabych stron tych modeli można zaliczyć: statyczny opis stosowany do wyrażenia dynamicznych procesów, możliwość wystąpienia błędów statystycznych, możliwość założenia błędnych profil statystycznych stosowanych w trakcie gromadzenia danych, dyskretny opis stosowany dla ciągłych charakterystyk [6]. Niedostatki procesu modelowania ruchu należy eliminować w celu możliwie wiernego odwzorowania rzeczywistych procesów w ruchu. Stało się to możliwe wraz z rozwojem i upowszechnieniem nowoczesnych systemów telekomunikacyjnych i teleinformatycznych.

W sieci transportowej wykonywane podróże można opisać z pomocą ustalenia parametrów rozkładu przestrzennego elementów generujących i absorbujących ruch. Współcześnie w sieciach transportowych obserwowane jest ponadto zwiększanie się mobilności i dynamiki ruchu, co ma istotny wpływ na rozkład generowanych podróży. Zdaniem autorów, ukonstytuowanym na podstawie badań własnych, prawdopodobnie bardziej istotne dla rozkładów potoków ruchu w sieci transportowej są parametry obszaru sieci transportowej w zakresie możliwości absorpcji ruchu [37]. Wynika to wprost z faktu, że rozkład absorbentów ruchu wykazuje większą dynamikę, aniżeli rozkład jego generatorów [16], [30]. Z technicznego punktu widzenia, elementy infrastruktury społecznej mają dłuższy cykl eksploatacji aniżeli elementy ekonomiczne. Zasadniczo, jeszcze do początku lat 90. XX wieku rozkład ten można było traktować jako statyczny w kilku, kilkunastoletnich horyzontach prognozy ruchu. Obecne procesy transformacji społeczno-gospodarczych, zmieniają w istotny sposób dynamikę rozkładu generatorów i absorbentów ruchu w przestrzeni fizycznej. Kwestia ta wymaga dodatkowych badań porównawczych z uwagi na rosnącą dynamikę tych zjawisk. Określenie parametrów generacji i absorpcji umożliwia zasadne „geograficzne rozłożenie” potoków ruchu w obszarze poddawany analizie. Parametry generacji i absorpcji ruchu ustala się dla uprzednio wyłonionych, na drodze delimitacji obszaru analizy, reżimów przestrzennych tzw. rejonów komunikacyjnych. Nietrudno zauważyć, że w krótkim i średnim horyzoncie planowania dla modeli ruchu parametry te charakteryzują się niewielką wariancją. Generowany ruch rozkładany jest na sieć transportową, której elementy infrastruktury liniowej i punktowej są trwale zlokalizowane w przestrzeni. Zmienność w zakresie parametrów technicznych infrastruktury transportu jest znikoma w horyzoncie średnio- i krótkoterminowym. Dotyczy to nie tylko długości elementów liniowych infrastruktury, ale również sposobów organizacji i sterowania ruchem – głównie w jej elementach punktowych. Zmienność ta jest znikoma również w odniesieniu do ilostanu środków transportu zbiorowego, zwłaszcza wobec postępującej atrofii linii komunikacyjnych tych ostatnich (głównie połączeń kolejowych). Model ruchu budowany jest zwykle w oparciu o formy macierzowe opisujące charakterystyki ruchu w obszarze analizy. Macierze te buduje się dla różnych przekrojów analizy: sposobów prze-

mieszczania się, motywacji podróży, uczestników ruchu itp. Wymienione struktury określane są ponadto w układzie przestrzennym i czasowym. Warto zwrócić uwagę, że dane wejściowe dla modeli ruchu wyznaczone są dla stanu istniejącego lub dla zbioru stanów przyszłych – wartości prognozowane (uwzględniając możliwości rozbudowy i modernizacji sieci transportowej). Stan ten tylko pozornie jest rzeczywistym obrazem ruchu w zakresie zapotrzebowania na przemieszczenia w konkretnych relacjach dla określonej sieci transportowej. W praktyce jest on w pierwszym rzędzie wymuszony zdeterminowanym rozmieszczeniem infrastruktury społeczno-gospodarczej (ukształtowanym historycznie) oraz elementów infrastruktury liniowej i punktowej transportu (również ukształtowanym historycznie na bazie tej pierwszej). W sposób wtórny stan ten jest kształtowany poprzez ofertę transportu zbiorowego i okoliczności związane z realizacją przemieszczeń w transporcie indywidualnym (te z kolei wynikają w dużym stopniu z ograniczenia pierwszego – infrastrukturalnego). Do okoliczności tych należą również parametry makroekonomiczne takie jak ceny paliw, koniunktura na rynku itp. Punktem wyjścia dla modeli ruchu nie są zatem bezpośrednio rzeczywiste potrzeby transportowe, lecz pewne zachowania komunikacyjne, ukształtowane przez wszelkiego rodzaju zaszczości historyczne: pierwotne – infrastrukturalne i wtórne – organizacyjne oraz wiele innych czynników w tym głównie ekonomicznych. Kolejne warianty prognostyczne zestawianych modeli ruchu obejmujące plany inwestycyjne w zakresie infrastruktury transportu w oparciu o istniejącą bazę w tym zakresie są zatem w dużej mierze powtarzaniem (replikacją i multiplikacją) zaszczości historycznych, nie zaś dostosowaniem się do rzeczywistych potrzeb transportowych (choć z drugiej strony potrzeby te w pewnym stopniu pokrywają z istniejącym stanem sieci transportowej). Problemem jest odpowiedź na pytanie w jakim stopniu popyt jest równoważony z podażą w tym przedmiocie? odniesieniu do głównych elementów infrastruktury liniowej fakt tej niezgodności nie ma większego znaczenia w praktyce – istotne zmiany, możliwe do wykonania w tym zakresie są problematyczne z uwagi na niezbędne wysokie nakłady finansowe oraz inne, liczne ograniczenia związane z budową infrastruktury liniowej. Założyć należy, że bez względu na różnorodne czynniki w systemie transportowym, szkielet jego sieci musi pozostać bez większych zmian. Przy czym można wskazać pewne niereprezentatywne dla przedmiotu analizy przypadki (różna skala), w których takie zmiany, polegające na wyłączeniu dużych elementów liniowych infrastruktury ze szkieletu sieci transportowej zostały przeprowadzone (np. Route 66 w Stanach Zjednoczonych Ameryki Północnej, program rozbudowy infrastruktury dla całego kraju) [20]. Nastąpiło w tym przypadku przeniesienie głównych w skali kraju potoków ruchu z jednego elementu infrastruktury liniowej na inny. Odniesione w tym przypadku korzyści nie są w żadnym wypadku jednoznaczne z punktu widzenia procesów i zjawisk społecznych. Dla przypadku zmian w organizacji ruchu i systemach sterowania na ograniczonym obszarze jest to możliwość o znaczeniu fundamentalnym (odtworzenie infrastruktury liniowej dla stanu potrzeb). Modele budowane w oparciu o stan istniejący historycznie posiadają ograniczenie w otwartości spojrzenia na problem, a modele, które mogłyby być budowane w oparciu o stan pożądany

(dostosowujące się do postulowanych lub obserwowanych potrzeb użytkowników) mogą uzyskać większe ramy zastosowań. Ilustracje takiego podejścia do modelowania ruchu zaprezentowano na rysunku 1.

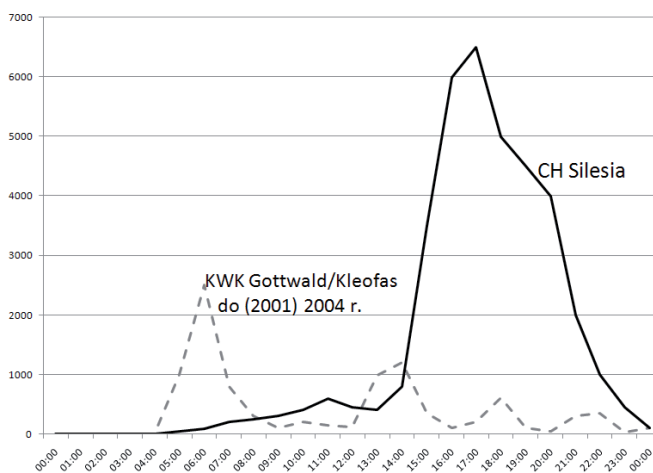


Rys. 1. Hipotetyczna historia modelu ruchu w oparciu o stan istniejący (rozwój klasyczny –linie w osi pionowej sześcianu) i pożądany (rozwój zgodny z potrzebami ludności – pozostałe linie)

Zródło: opracowanie własne

W przypadku prezentowanym na rys. 1 (sieć drogowa Katowic) głównym czynnikiem rozwoju sieci transportowej, determinującym jej kształt i strukturę, była lokalizacja miast sąsiednich (oznaczono je poprzez walce) oraz rozmieszczenie elementów infrastruktury społeczno-gospodarczej w połowie XIX wieku (głównie kilku kopalń i hut na terenie Katowic). Blisko punktów lokalizacji zakładów infrastruktury ekonomicznej powstawały węzły transportowe. W dalszym ciągu, mimo istotnej alokacji rozkładu przestrzennego generatorów i absorbentów ruchu na tym obszarze w ciągu blisko 200 lat, sieć transportowa Katowic działa w oparciu o wykształcony na początku XIX wieku podstawowy przestrzenny układ połączeń transportowych (określających główne kierunki jazdy). W okresie blisko 200 lat wielokrotnie zmieniła się więźba ruchu – w odniesieniu do szkieletu sieci, który nie uległ zasadniczym zmianom (poza wzrostem parametrów technicznych dróg) [16]. Barię rozwoju przedmiotowego modelu jest struktura sieci drogowej wykształcona wg potrzeb historycznych XIX i XX wieków, a nie obecnych. Dotyczy to prawdopodobnie wszystkich sieci transportowych miast z tzw. dłuższą historią. Są tu wyjątki w odniesieniu do miast, gdzie całe założenie urbanistyczne było określane od podstaw (Tychy, Brasilia itp.). W przypadku rozwoju systemów transportowych w XIX i w pierwszych dekadach XX wieku rozwarstwienie modelu ruchu pomiędzy stanem istniejącym, a pożądanym było prawdopodobnie nieistotne (nie występowały w sieci drogowej istotne ograniczenia przepustowości, relacje charakteryzowały się krótszymi przemieszczeniami). Wiązało się to z licznym występowaniem osiedli przyzakładowych (zmniejszone potrzeby w zakresie przemieszczeń), braku odpowiednich środków transportu, mniejszą mobilnością itp. Ostatnie dekady XX wieku i początek XXI przyniosły jednak istotne zmiany.

Zmiany te wynikają głównie z przeobrażeń społeczno-gospodarczych, a związane są z istotną alokacją generatorów i absorbentów ruchu w przestrzeni miejskiej (sklep wielko powierzchniowy w inny sposób absorbuje ruch aniżeli zakład przemysłowy – wynika to chociażby z rozkładu potoków ruchu w czasie). Dla przykładu zlokalizowaną w centrum Katowic, zamkniętą już kopalnię węgla kamiennego zastąpiono jednym z większych w skali kraju centrów handlowych (86 000 m<sup>2</sup>) [40]. Średnio na dobę centrum to odwiedza 36 000 klientów (zgodnie z informacjami właścicieli centrum [40]). Występują tu zasadniczo dwa problemy przy takiej zmianie zagospodarowania przedmiotowego terenu w odległości zaledwie 1,5 km od ścisłego centrum miasta. Zmianie ulega zarówno wolumen potoków ruchu w okolicy centrum, jak również ich rytm dobowy, tygodniowy, miesięczny i roczny. W stosunku do okresu, w którym funkcjonowała w tym miejscu kopalnia węgla kamiennego wolumen potoków ruchu wzrósł w ten sposób 5-6 krotnie (biorąc pod uwagę sam fakt zmiany, abstrahując od innych okoliczności: modernizacji dróg i węzłów w okolicy centrum). Zmianie uległ również rytm dobowy potoków ruchu związanych z tym miejscem w sieci drogowej. W przypadku kopalni były to w ciągu doby 4 okresy ruchu szczytowego skorelowane z dobowym i tygodniowym harmonogramem pracy kopalni (skorelowanym z 4 zmianowym systemem pracy). Co ciekawe szczyty te występowały albo przed albo w początkowym okresie typowych okresów szczytów komunikacyjnych. W przypadku centrum handlowego potoki ruchu, poza ich drastycznym wzrostem, zostały przeniesione zasadniczo na okres popołudniowy. Co więcej największe przyrosty przeniesione zostały na ruch weekendowy i przedświąteczny. Tego typu problemy wymagają prac badawczych związanych z wariacją oporów przestrzeni zarówno w czasie jak i w odniesieniu do obszaru. Na rys. 2 pokazano zasadniczą różnicę w analizowanym przypadku, inny absorbent umiejscowiony w tym samym punkcie sieci drogowej nie oznacza identycznego rozkładu potoków ruchu w czasie i przestrzeni.



Rys. 2. Wpływ zmiany absorbentu ruchu na jego wolumen.

Źródło: opracowanie własne

Na rysunku 2 przedstawiono ilustracje dla problemu lokalizacji absorbentów ruchu w przedmiotowej sieci drogowej. Istniejąca w latach do 2001 r. (2004 r.) kopalnia KWK Kleofas/Gottwald generowała zupełnie inny rozkład czasoprzestrzenny potoków ruchu. Wybudowane w tym miejscu CH Silesia (2005 r.) generuje zupełnie inne charakterystyki potoków ruchu. Na rysunku nie uwzględniono innych potoków ruchu związanych z CH Silesia (nowe osiedle mieszkaniowe, centrum biurowe itp.). Należy oczekiwać, że rozkład przestrzenny wolumenów ruchu generowanych w centrum handlowym, w odniesieniu do całej aglomeracji również daleko odbiega od tego generowanego w czasie funkcjonowania kopalni KWK Kleofas/Gottwald. Mówiąc kolokwialnie CH jest zupełnie inną „soczewką” skupiającą ruch aniżeli kopalnia węgla kamiennego.

W ostatnich latach ponadto systematycznie zmieniają się wartości wskaźników ruchliwości i motoryzacji. Alokacja atraktorów w sieci drogowej przy jednoczesnym zachowaniu szkieletu sieci transportowej wykształconego historycznie powoduje, że staje się on „sztywną ramą” kształtowania wymuszonych zachowań komunikacyjnych osób podróżujących, a więc zarazem tworzonych modeli ruchu. Zdaniem autorów, podstawowym problemem jest kwestia, w jaki sposób, przy możliwie najmniejszych nakładach skorelować stan pożądany sieci transportowej z istniejącą i nowo budowaną infrastrukturą transportu.

Nowoczesne technologie np. GPS (ang. Global Positioning System) czy GSM (ang. Global System for Mobile Communications) oraz powszechny dostęp do mediów elektronicznych wskazują na możliwość ustalenia pożądanych, a nie wymuszonych potrzeb w zakresie ruchu. Autorzy wielokrotnie omawiali zagadnienia zastosowania tych technologii, jako wsparcia dla celów optymalizacji pewnych zagadnień w systemach transportowych (np. [1], [10], [11], [32]).

Proponowana w artykule koncepcja umożliwia odmienne podejście do problematyki kształtowania systemów transportowych i zestawiania dla nich zasadnych modeli ruchu. W miejsce budowy modeli ruchu na tzw. stan istniejący – powinno dążyć się do zdefiniowania stanu pożądane. Poprzez stan pożądany rozumieć należy rozkłady podróży, które realizowane byłyby, gdyby usunięto określone bariery: organizacyjne, techniczne, infrastrukturalne, ekonomiczne oraz inne w otoczeniu każdej osoby wykazującej potrzebę przemieszczania na wybranym obszarze. Zagadnienie to dotyczy problemu wykształcenia właściwego sprzężenia zwrotnego pomiędzy systemem transportowym, a społeczeństwem. Sprzężenie takie powinno być integralną częścią każdego rozbudowanego i zaawansowanego technicznie systemu ITS. Zdaniem autorów przedmiotowa koncepcja jest zasadna merytorycznie oraz może zostać zrealizowana w oparciu o powszechnie dostępne technologie istniejące i planowane w otoczeniu systemu transportowego.

W tej chwili zwraca uwagę brak postulowanego sprzężenia zwrotnego pomiędzy popytem społecznym w tym zakresie, a podażą w postaci sieci drogowej. W przypadku obserwowanych w ostatnich dwóch dekadach likwidacji linii transportu zbiorowego (nader częstych i dotyczących głównie transportu szynowego) mieszkańcy obszaru, który dotknięty zostaje takim działaniem przesiadają się na komunikację indywidualną. Jest to ekwiwalent ujemnego sprzężenia zwrotnego.



Proces przesiadania dotyczy na ogół zakupu starych i wyeksploatowanych technicznie pojazdów. Ponadto dalszemu zwiększeniu ulegają potoki ruchu obserwowane w sieci drogowej w i tak już nadmiernie obciążonych przekrojach. Jest tu wiele problemów, których poruszenie przekracza ramy tego artykułu. Zwrócić uwagę należy jeszcze na pełzający charakter likwidacji linii transportu zbiorowego, likwidacja w pierwszym etapie punktów obsługi podróży, zmniejszanie częstotliwości kursów, przenoszenie początkowych punktów obsługi w obszarze sieci (Katowice). Brak jest dodatkiego sprzężenia z pomocą którego społeczeństwo mogło by wpływać na istniejący bieg rzeczy lub ludzie ci nie potrafią lub nie chcą wykorzystać potencjalne kanały oddziaływania na organy samorządowe i przewoźników działających w obszarze komunikacji zbiorowej. Jest to problem, który będzie z pewnością systematycznie narastał z uwagi na obserwowane tendencje w systemie transportowym Polski.

Różnica pomiędzy obrazem ruchu obserwowanym w praktyce (rzeczywistą więźbą ruchu), a ruchem, który mógłby być obserwowany w przypadku realizacji podaży w relacjach i na poziomie wolumenu zgłaszanym przez popyt jest z pewnością trudna do oszacowania. W aspekcie poruszonym w referacie dotyczy to tłumienia ruchu spowodowanego nie tylko zamknięciami i ograniczeniami ruchu w wyniku prac budowlanych i modernizacyjnych, czy inwestycyjnych, lecz przede wszystkim niedopasowaniem infrastruktury liniowej i punktowej do rzeczywistych potrzeb. W tym wypadku badania natężenia ruchu nie są w stanie określić nawet w przybliżeniu skali i poziomu problemu. Częściowe badania ankietowe również są w takim przypadku mocno przybliżone. Na różnice pomiędzy ruchem rzeczywistym, a pożądanym składają się zarówno wolumeny ruchu tłumionego jak również ruchu wzbudzanego [31]. Warto w tym kontekście zwrócić uwagę, że w większej skali modelowania np. regionalnego zachodzi zjawisko przenoszenia ruchu na inne sieci transportowe. Dobrym przykładem może być w tym aspekcie wzajemny układ lotnisk w Krakowie Balicach, Ostrawie i Pyrzowicach w korelacji z elementami istniejącej i planowanej sieci drogowej.

W artykule przedstawiono wątpliwości dotyczące konstruowanych modeli ruchu w aspekcie zachodzących zmian społeczno-gospodarczych. Szczególną uwagę zwrócono na sytuacje możliwych zmian w podziale modalnym ruchu poprzez zmiany zachowań komunikacyjnych poszczególnych osób podróżujących, które w danej chwili stanowiły próbę do budowy modelu. Następnie przedstawione zostały wyniki badań pilotażowych wykonanych w celu oceny zasadności stawianych w referacie tez. Artykuł zawiera także sugestie dotyczące istotności przemieszczeń wertykalnych w modelowaniu ruchu. Zaproponowano także wykorzystanie nowoczesnych technologii do badania potrzeb osób podróżujących. Wspólnym mianownikiem poszukiwań autorów w przedmiocie artykułu jest przestrzenny rozkład funkcji oporu, z uwzględnieniem przemieszczeń wertykalnych określony w tym kształcie jako opór typu 3D (trójwymiarowy). Problem poszukiwania optymalnych wariantów rozwiązań dla sieci transportowej (w różnych aspektach) z uwagi na zmiany popytu jest dostrzegany w środowisku. Budowane są modele kształtowania przedmiotowych zmian oraz definiowane są

kryteria wyboru optymalnego wariantu sieci [2]. Prezentowany artykuł przedstawia zaledwie jeden aspekt takich analiz.

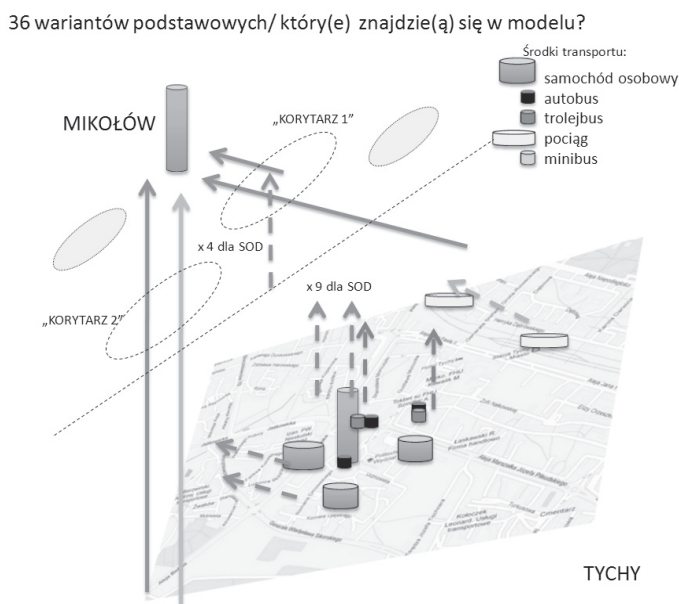
## 2. Konkurencyjne modele ruchu

Model ruchu stanu istniejącego realizowany jest na bazie danych dotyczących n-podróży generowanych i absorbowanych w pewnym obszarze analizy w ściśle określonym czasie obserwacji (model dla stanu istniejącego). Technika pobierania próby dla potrzeb budowy takiego modelu ruchu jest opisana szeroko w literaturze (np. [13, 15] i wiele innych). Zazwyczaj, w zależności od rozmiaru populacji obszaru analizowanego pod kątem budowy modelu ruchu stanu istniejącego pobierana jest próba rzędu  $1\% \div 10\%$  populacji, czasem dla małych miejscowości zwiększana jest do  $20\%$  (istnieje korelacja, im mniejsza populacja tym większa próba). Na podstawie analizy podróży wykonanych przez n-respondentów ankiety budowany jest model ruchu (techniki budowy modelu są różne – popularny jest model czterostopniowy (ang. 4SM Four Step Model) [8], [15], [25]). Należy zauważyć, że analizowane dla stanu istniejącego podróże wykonane zostały w zaobserwowany sposób z uwagi na: istniejące rozwiązania w zakresie infrastruktury liniowej i punktowej transportu, ściśle ramy w zakresie zarządzania, organizacji i sterowania w danej sieci transportowej, aktualne uwarunkowania ekonomiczne, parametry czasoprzestrzenne związane z motywacją podróży, warunki atmosferyczne itp. Można przyjąć, że każda z wymienionych indywidualnych n-podróży została wykonana w przestrzeni charakteryzującej się najmniejszym oporem ruchu w aspekcie wyżej wymienionych czynników zewnętrznych i wewnętrznych w systemie transportowym. Szczegółowej analizy wymagają wszystkie wymienione czynniki pod kątem możliwości wykonania przemieszczeń substytucyjnych (ew. substytucyjno-komplementarnych) w stosunku do tego, które stanowi (spośród n-elementowej próby) podstawę wykonania modeli ruchu dla stanu istniejącego. W szczególności należy zwrócić uwagę na bariery, jakie istnieją w zakresie możliwości wykonania podróży substytucyjnym środkiem transportu (różne sposoby przemieszczania).

W celu zademonstrowania istoty problemu zaprezentowano substytucyjne formy przemieszczenia się z jednego punktu znajdującego się w aglomeracji górnośląskiej do innego, oddalonego o 9 km (relacja: Tychy – Mikołów – Tychy).

Na rys. 3 przedstawiono możliwe sposoby przemieszczenia osoby z budynku publicznego zlokalizowanego w pewnym mieście w aglomeracji górnośląską-zagłębiowskiej do innego budynku zlokalizowanego w innym mieście oddalonym o 9 km. Obszar metropolii górnośląskiej stanowi przykład gęstej sieci transportowej, wynika stąd duża liczba wariantów realizacji przedmiotowego przemieszczenia.





Rys. 3. Model ruchu w oparciu o stan istniejący i pożądany – różnice dla możliwych relacji przemieszczenia

Źródło: opracowanie własne

Sposób realizacji podróży samochodem osobowym zależy od: sytuacji ruchowej na drogach pomiędzy miastami, dostępności przestrzeni parkingowej i obowiązującej taryfy na komercyjnych parkingach w otoczeniu źródła podróży, okresu doby, w którym podróż jest wykonywana itp. Podobnie dla innych środków transportu dostępnych w tym miejscu sieci: autobusu i trolejbusu wyróżnić można co najmniej 5 zasadnych sposobów realizacji przedmiotowego przemieszczenia, które w różny sposób obciążają sieć transportową miasta (lub obu miast). Kryterium wyboru sposobu przemieszczenia, w tym aspekcie, jest istniejący rozkład jazdy poszczególnych linii transportu zbiorowego i/ oraz ramy czasowe wykonywanego przemieszczenia, obowiązująca taryfa przewozowa. W analizowanym przypadku, poza obszarem sieci transportowej miasta Tychy zasadniczo istnieją dwa „korytarze” transportowe w kierunku Mikołowa, którymi mogą zostać zrealizowane wymienione wyżej przemieszczenia (poza siecią miejską następuje redukcja wariantów przemieszczenia). Tym niemniej w ramach tych dwóch korytarzy podróż pomiędzy wymienionym źródłem i celem, może zostać w zasadny sposób zmieniona kolejno na 4 różne sposoby (w zależności od celów pośrednich np. jazda w systemie car pooling, zakupy po drodze, inne (dowolne) cele pośrednie). Zatem w prezentowanym przykładzie w odniesieniu do sieci miejskiej miasta Tychy wykonać można przedmiotową podróż w zasadny sposób na co najmniej 14 wariantów (dla SOD, samochód osobowy i dostawczy). Poza siecią transportową miasta Tychy sposoby te redukują się do około 4 możliwości (wariantów) realizacji przemieszczenia w rozpatrywanej relacji źródło-cel. Ogółem w analizowanym przypadku istnieje 36 kombinacji podstawowych

wych (można jeszcze wariantować dojścia i odejścia, co zwiększa liczbę wariantów). W tym kontekście zauważyć należy, że obecnie stosowane podejście do modelowania ruchu dla przykładowej sieci transportowej miasta Tychy obejmuje rejestrację  $n$ -pojedynczych podróży wykonanych w określony sposób. Autorzy zwracają jednak uwagę na fakt, że dla omawianego przypadku (relacji podróży) będzie to minimum 1 z 14 możliwych, różnych relacji – w zależności od wylosowanego respondenta i wielu innych czynników losowych. Mniejsza próba reprezentatywna oznacza w tym przypadku mniejszą zdolność do wykrywania rzeczywistych sposobów przemieszczeń mieszkańców. To z kolei implikuje wzrost prawdopodobieństwa budowy modelu stanu istniejącego oderwanego od rzeczywistych potrzeb transportowych ludności w danym obszarze. Wylosowany respondent implikuje czynniki losowe dla danej podróży. Każde z tych przemieszczeń trafia do „bazy danych” jednego modelu, choć może należeć (być bardziej reprezentatywne) dla innego modelu lub zbioru hipotetycznych modeli ruchu (w istocie konkurencyjnych w wielu aspektach). W rzeczywistości sposób realizacji przemieszczenia jest określony pewnym prawdopodobieństwem uzależnionym od czynników losowych, które można uporządkować w zbiorze danych w formie (kradzież lub zniszczenie samochodu, warunki atmosferyczne, dostępność miejsc parkingowych, czas realizacji podróży, cele pośrednie itp.):

$$p_1 \leq p_2 \leq p_3 \leq \dots p_i \leq \dots p_n \quad (1)$$

gdzie:

$p_i$  - prawdopodobieństwo odbycia podróży  $i$ -tym sposobem

Prezentowane wyżej prawdopodobieństwa są niczym innym, jak wyrazem niejednorodności czasoprzestrzennej w ruchu związanej z jego stochastycznym charakterem. Prawdopodobieństwa te oznaczają, że podróż wskazana w ankiecie, która może odbyć się z jednym z tych prawdopodobieństw tworzy (ściślej zbiór takich podróży) różne – odmienne i konkurencyjne modele ruchu:  $M_1, M_2, \dots, M_i$ . W tym sensie interesującym rozwiązaniem może być tworzenie zbioru wariantowych modeli ruchu na bazie preselekcji zbiorów dla próby reprezentatywnej. W dalszych etapach do budowy modelu stanu istniejącego wykorzystywany będzie ten, który kalibracja spełnia najbardziej rygorystyczne kryteria. Dla przykładu rozpatrzono przypadek osoby poruszającej się w tej relacji samochodem osobowym. Jeśli w roku kalendarzowym budowy modelu podróż taka posłużyła do konstrukcji modelu ruchu – to w innych latach – przy zmianie środka transportu na np. autobus – ten przypadek statystyczny jest poza „obowiązującym” modelem ruchu, jeśli był to jedyny przypadek dla tej relacji zarejestrowany w próbie reprezentatywnej. Problemem jest w tym wypadku określenie, na ile zestawiony model ruchu jest „średnim” i reprezentatywnym dla całej populacji. Czy w ogóle można konstruować jeden model „średni” dla całego obszaru? Czy reprezentatywnym modelem będzie ten uwzględniający najwięcej prawdopodobnych podróży? Jest to ciekawy i szeroki temat – dyskusja aspektów statystycznych z nim związanych przekracza ramy

tego artykułu. Warto odnotowania w aspekcie budowy modelu stanu istniejącego jest to, że wykonywany on jest z reguły w oparciu o próbę losową. Stąd model taki jest wiarygodny w stopniu wprost proporcjonalnym do prawdopodobieństwa zaliczenia do próby reprezentatywnej podróży (dla poszczególnych respondentów), których wykonanie charakteryzuje się największym prawdopodobieństwem tj.:

$$SWM = \frac{\sum_1^n p_i^r / n}{\sum_1^n \max p_i / n} \quad (2)$$

gdzie:

SWM – stopień wiarygodności modelu [0...1],

$p_i$   $p_i^r$  - prawdopodobieństwo odbycia podróży wylosowanej do próby (r- podróż wylosowana, max- podróż najczęściej wykonywana obecnie).

n – liczba respondentów w próbie „reprezentatywnej”.

Kwestie wyrażone w (1) i (2) rozwiązuje w pewnym zakresie metodyka doboru respondentów do próby reprezentatywnej i sposób akwizycji danych na drodze zbierania ankiet – np. dobór losowy. Zdaniem autorów powinno stosować się techniki łączone poprzez wprowadzenie dla części próby doboru celowego. Preselekcja próby reprezentatywnej dotyczyć musi możliwie rozległego zbioru parametrów: motywacji, zmotoryzowania, ruchliwości itp. Ma to na celu uwzględnienie w próbie osób cechujących się zwiększonym wskaźnikiem ruchliwości (wybór w odpowiednich grupach aktywności zawodowej). Z drugiej strony w próbie tej powinny znaleźć się również w odpowiedniej proporcji podróże „nietypowe”. Tym niemniej, moim zastosowania preselekcji zawsze powstanie błąd wynikający z różnicy pomiędzy prawdopodobieństwem wykonania podróży, która zarejestrowana została w badaniu ankietowym, a częstością podróży, która wykonywana jest w rzeczywistości w chwili powstania i funkcjonowania danego modelu ruchu. Do próby mogą trafiać osoby odbywające podróże w nietypowy sposób, które zostaną zaklasyfikowane jako reprezentatywne. Ten „błąd” zwiększa się wraz z czasem, wzrostem wskaźnika motoryzacji, wzrostem ruchliwości, likwidacją linii transportu zbiorowego, zmianami zachowań komunikacyjnych itp.:

$$\delta = \sum_1^n (\max p_i - p_k) / n \quad (3)$$

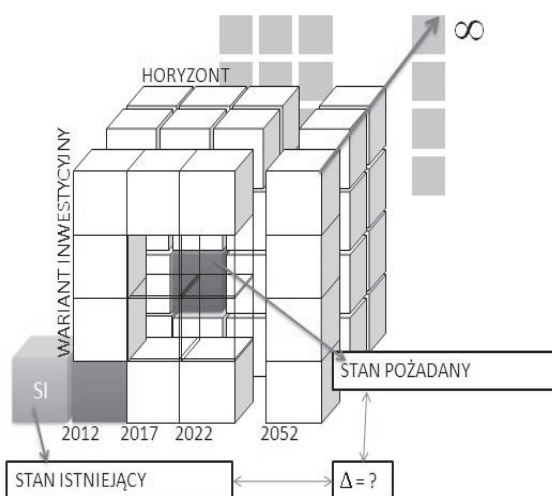
gdzie:

$p_k$  - podróż wykonywana w rzeczywistości (częstość) w okresie w którym model „uruchomiono” i prawdopodobieństwo odpowiedniej podróży w próbie.

Problematyka ta jest znana konstruktorom modeli ruchu. Przyjęte w Niebieskiej Księdze tolerancje 10% i 20% umożliwiają zestawienie modeli ruchu zasad-

nych dla zebranych danych o przemieszczeniach. Każdy z wymienionych wyżej procentów dotyczy poziomu zaspokojenia popytu na przemieszczenie w danej sieci drogowej (szerzej transportowej) Błędów tej klasy jest kilka. Pierwszy jest różnicą pomiędzy prawdopodobieństwem podróży wykonanej a częstością podróży wykonywanej obligatoryjnie (wariantowanie podróży). Kolejny błąd wynika z różnicy pomiędzy charakterystyką podróży wykonywanych przez różnych respondentów. Błędy te można wyeliminować budując model stanu istniejącego poprzez doprecyzowanie parametrów podróży wykonywanych przez respondentów, jak również poprzez zadanie kilku pytań pomocniczych (prawdopodobnie najprostszy sposób), np. pytania typu "w jaki sposób zazwyczaj wykonuje Pan/Pani podróż". Ponadto błędy tego rodzaju można wyeliminować poprzez pytania o substytucyjne środki transportu i sposoby przemieszczanie się, które mogłyby być wykorzystane przy likwidacji określonych barier i ograniczeń w przyszłości (w otoczeniu respondenta – a ściślej miejsc, gdzie generowana jest i absorbowana jego podróż). Takie podróże substytucyjne są przedmiotem zainteresowania tego artykułu. Dotyczy to również podróży komplementarnych, gdzie do dotychczasowego łańcuch podróży dodawany jest nowy środek transportu. Problemem, który nie został poruszony w tym artykule, jest problem reprezentatywności respondentów dobieranych do próby. Problem ten bezpośrednio powiązany jest z prezentowanym przykładem dla miasta Tychy. Do próby mogą trafić podróże realizowane pomiędzy źródłem, a celem podróży w sposób specyficzny. Powoduje to, że w modelu ruchu eksponowane są relacje niereprezentatywne dla danego obrazu ruchu. W przypadku szkieletu sieci przy dużych próbach niewiele to zmienia, jednakże w pozostałych przypadkach może istotnie zniekształcać model ruchu. Problem ten jest i może być rozwiązywany na drodze zwiększania rozmiarów próby. Niestety z uwagi na ograniczenia finansowe i specyfikę badań ankietowych w praktyce takie zwiększanie rozmiarów próby jest mocno ograniczone. Dyskusja na ten temat przekracza ramy niniejszego artykułu [4, 5, 27].

Modele ruchu wykonywane są nie tylko dla stanu istniejącego (roku bazowego), lecz również dla określonych horyzontów prognozy. Horyzonty te zestawiane są dla określonych scenariuszy w zakresie trendów demograficznych, jak również w odniesieniu do realizowanych i planowanych inwestycji w infrastrukturze liniowej i punktowej transportu. W praktyce należy więc rozważyć nie tylko implikacje wynikające z modelu stanu istniejącego oraz jego horyzontów prognozy, lecz również pewną grupę modeli konkurencyjnych. Modele nazwane „konkurencyjnymi” uwzględniać powinny możliwości w zakresie przełamywania barier i ograniczeń pod kątem realizacji podróży źródło-cel z wykorzystaniem różnych sposobów realizacji podróży, zarówno substytucyjnych w odniesieniu do środka transportu jak również komplementarnych w odniesieniu do wprowadzenia do łańcucha przemieszczeń nowej mody. Przestrzeń rozwiązań modelowych sieci transportowych, w takim ujęciu, prezentuje rysunek 4.



Rys. 4. Przestrzeń modelowania ruchu w oparciu o stan istniejący, horyzonty prognozy i stany pożądane przez użytkowników systemu transportowego – różnice

Źródło: opracowanie własne

Na rysunku 4 przedstawiono stopnie swobody realizowane najczęściej dotychczas w modelowaniu ruchu. Dotyczy to wariantu inwestycyjnego oraz horyzontu prognozy, przy założeniu, że stan istniejący jest jeden i jest to właściwa reprezentacja potrzeb przewozowych występujących w danej populacji. Jeśli przyjąć, że istnieje liczba  $k$ -możliwych odwzorowań stanu istniejącego (modeli konkurencyjnych,  $k \gg 0$ ) to właściwą przestrzenią rozwiązań modeli ruchu nie jest graf płaski (węzły traktowane jako dopuszczalne realizacje modelu ruchu). Autorzy stawiają hipotezę, że aktualna dysfunkcjonalność w wielu płaszczyznach sieci transportowych jest wynikiem nie tylko ograniczenia przepustowości w stosunku do obserwowanych natężeń ruchu w wąskich gardłach. Sytuacja ta ma znacznie szerszy kontekst i dotyczy coraz większych i sukcesywnie zwiększających się różnic (paradoksalnie) pomiędzy stanem istniejącym sieci transportowej (w tym organizacji ruchu), a stanem pożądanym przez jej uczestników. Kolokwialnie można stwierdzić, że następuje sztuczne „nasylenie ruchem” tych odcinków, które uzyskują lepsze parametry ruchu. Dotyczy to również sztucznego nasycenia środków transportu określonego typu, zwłaszcza komunikacji indywidualnej. Działania w zakresie zrównoważenia rozwoju w odniesieniu do podziału modalnego są więc w tym przypadku nieadekwatne. Klient (sieci transportowej) korzysta z tego, co postrzega jako lepsze, a nie z tego, co lepszym jest w istocie (lub może być w przypadku zastosowania drobnych modyfikacji). Na rysunku 3 zwraca uwagę fakt, że przestrzeń, w której można konstruować modele ruchu, ograniczona jest do kilku wariantów w zakresie zmian inwestycyjnych w odniesieniu do sieci transportowej. Wynika to z faktu, że w modelowaniu ruchu uwzględnia się inwestycje o zasadniczym wpływie na sieć transportową. Zestawianie horyzontów w ten, czy w inny sposób, jest również ograniczone do kilku wariantów w zależności od interwału prognozy (często okres

ten wynosi 5 lat). Stan pożądaný można wariantować w sposób „nieskończony”, ponieważ możliwe jest wariantowanie dla każdego  $i$ -tego członka populacji (co oczywiście nie jest zasadne merytorycznie). Dla każdego członka populacji można wyróżnić kilka wariantów stanu pożądanego sieci transportowej w odróżnieniu do każdej motywacji podróży (np. relacja Tychy – 14 wariantów podróży, jeden realizowany, ale niekoniecznie pożądaný). W praktycznej implementacji takiego podejścia wymagana będzie pewna agregacja charakterystyk oporu przestrzeni. Autorzy stawiają tezę, że istniejące technologie, takie jak GSM i GPS oraz szerzej rozwój systemów telekomunikacji i informatyki, umożliwiają w najbliższej przyszłości agregację możliwych wariantów prezentowanych na rysunku 3 w ramach jednego spójnego i zasadnego modelu ruchu. Z całą pewnością takie podejście umożliwi wprowadzenie rozwiązań legislacyjnych w przedmiocie obowiązku wyposażenia każdego pojazdu mechanicznego uczestniczącego w ruchu na drogach publicznych w jednostki typu OBU (ang. OnBoard Unit). Problem w tym, że nie nastąpi to wcześniej niż za kilkanaście lat, kiedy nowe pojazdy wyprą całkowicie z ruchu stare. Z punktu widzenia podejścia metodycznego działania w tym kierunku będą dotyczyły uśrednienia parametrów podróży na populacji (lub wartości zbliżonej do populacji), a nie na próbie losowej, jak ma to miejsce obecnie. Ponadto model taki może być prawdopodobnie najbliższy stanowi pożądanemu dla każdego mieszkańca (zawiera dane praktycznie wszystkich zachowań komunikacyjnych). Szersze omówienie tej problematyki przekracza ramy referatu.

### 3. Opór przestrzeni typu 3D

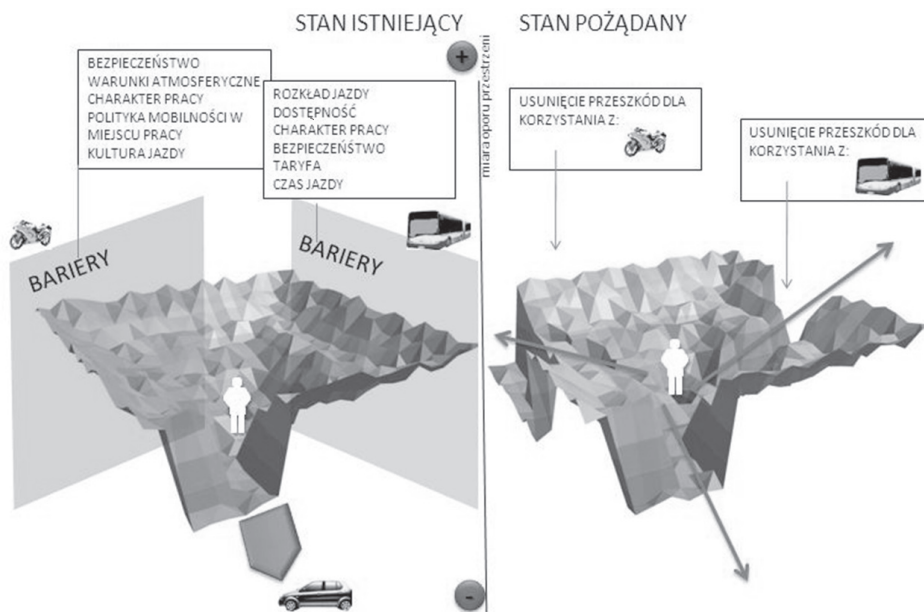
W atrykule poruszany jest szeroki przekrój zagadnień stanowiących tło dla zasadniczego elementu, który spaja omawiane zagadnienia to jest funkcji oporu. Stosowane w praktyce techniki badań ruchu, czy też wyznaczania macierzy podróży, związane są częstokroć z koniecznością realizacji badań ankietowych. Niezależnie od tego profilowanie próby oraz dalsza budowa modeli ruchu wymagają znajomości wielu parametrów demograficznych, socjologicznych, a często nawet leżących na pograniczu psychologii zachowań społecznych w odniesieniu do populacji (czego dotychczas z reguły nie uwzględnia się, ankiety i badania ruchu stanowią i tak znaczący problem organizacyjny). Rozwój kognitywistyki w ostatnich latach winien mieć tu swoje zastosowanie. Dlaczego mówi się w przypadku wykonywania ankiet o badaniu zachowań komunikacyjnych? Wszak zbierane są konkretne, ścisłe informacje o przebiegach rzeczywistych podróży bez gruntownej analizy powodów wyboru dokonywanego przez osobę podróżującą. Już kilka dodatkowych pytań stosowanych w tych ankietach mogłoby uściślić ramy zachowań komunikacyjnych respondentów. W przedmiocie zagadnień poruszanych w referacie, autorzy przygotowali ankietę, która może być pomocna w szacowaniu zmienności funkcji oporu przestrzeni dla modeli ruchu stanu pożądanego. W ankiecie tej zadano respondentom pytanie nie tylko o podróż wykonaną w danym dniu, ale



również o jej alternatywnie (jedna alternatywa wyłączająca dotychczasowy sposób realizacji podróży) akceptowane przez respondentów sposoby/możliwości (alternatywne w znaczeniu wyboru środka transportu, problem wyboru trasy podejmowany m. in. w [37, 38] nie był wyróżniony w ankiecie). Respondenci mieli za zadanie wskazać, co najwyżej dwa warianty realizacji wykonanej podróży. Pytano o podróże obowiązkowe – w motywacji dom-praca lub dom-nauka. Przeważająca większość przemieszczeń odbywających się w godzinach szczytu (zarówno porannego, jak i popołudniowego) to podróże związane z pracą i edukacją (wartość ta często przekracza 90% wszystkich przemieszczeń, np. w Warszawie 92,1% w szczycie porannym [3]). W przypadku, gdy respondenci nie byli skłonni do zmiany sposobu realizacji podróży podstawowej w ciągu doby, także zaznaczali ten fakt w ankiecie. Całość badania zrealizowana została przy założeniu, że w otoczeniu źródła podróży usunięte zostaną bariery w celu umożliwienia innego sposobu jej realizacji (1, 2 warianty podstawowe). W praktyce zdecydowana większość respondentów w próbie wybiera wyłącznie jeden wariant (85%) – badanie w tym aspekcie większej liczby wariantów jest zatem problematyczne. W tym aspekcie analizowana jest możliwość drobnych zmian w przestrzeni sieci transportowej w otoczeniu respondenta bez zmiany jej zasadniczego szkieletu (badana jest skłonność do zmiany środka transportu lub relacji podróży). W odróżnieniu od klasycznego podejścia w modelowaniu, gdzie zmienia się wariant w horyzontach prognozy na podstawie kluczowych inwestycji (kilku, kilkunastu, kilkudziesięciu, maksymalnie kilkuset), tu zakłada się „nieskończoną” liczbę drobnych zmian w otoczeniu generatorów i absorbentów ruchu (abstrahując od parametrów tej zmiany). Warto zauważyć, że zmiany takie przesuwają często nakłady finansowe poza bezpośrednie struktury systemu transportowego. W ankiecie tego typu uwzględnia się k-zmian (tu: 2), umożliwiających wykonanie podróży w inny sposób (wariant) dla n- członków analizowanej populacji. Zamiast modelować i konstruować nowe warianty modelu w oparciu o znaną liczbę przyszłych i obecnie realizowanych inwestycji zakłada się w prezentowanej koncepcji przejście do podejścia holistycznego (duża liczba drobnych zmian, ale dla wszystkich członków populacji). Zakłada się wystąpienie innych odmiennych efektów takiego podejścia rzutujących na parametry sieci transportowej. W tym ujęciu obszar sieci transportowej dla każdego respondenta modelowany jest za pomocą zmiennego w czasie rozkładu trójwymiarowej funkcji oporu (w formie trójwymiarowej funkcji gęstości), która uwzględnia możliwości wyboru różnych wariantów przemieszczania się jej użytkowników. Rozkład ten prezentuje funkcję oporu do najbliższego elementu sieci drogowej (szerzej transportowej). Jest to rozkład od punktu zakończenia/rozpoczęcia podróży. Złożenie tych funkcji cząstkowych stanowi obraz funkcji dla całej sieci. Zauważyć należy, że rozkład funkcji oporu na poszczególnych odcinkach drogi jest pochodną tego wyjściowego oporu przestrzeni. Praktycznie przy wykorzystaniu współczesnych środków technicznych, badanie takich alternatyw, jest możliwe dla każdego osobnika w populacji. Prawie każdy ma wszak aparat telefonii komórkowej lub jest w zasięgu systemu GPS (z wyłączeniem niektórych obszarów zabudowy) [22]. W Polsce w 2012 roku zanotowano około 47 mln czynnych kart SIM we wszystkich sieciach

GSM, przy populacji około 33-35 mln (kilka milionów stałych rezydentów przebywa permanentnie poza granicami kraju).

Funkcja oporu przestrzeni typu 3D wykazuje wartości malejące na drodze dojścia i odejścia do tych środków transportu, które są wykorzystywane obecnie lub mogą być stosowane w przypadku usunięcia drobnych barier. Hipotetyczny przykład takiej teoretycznej funkcji dla indywidualnego użytkownika sieci drogowej demonstruje rysunek 5. Funkcja ta jest oporem w kierunku elementów sieci drogowej w pobliżu miejsca zamieszkania/pracy/nauki respondenta.



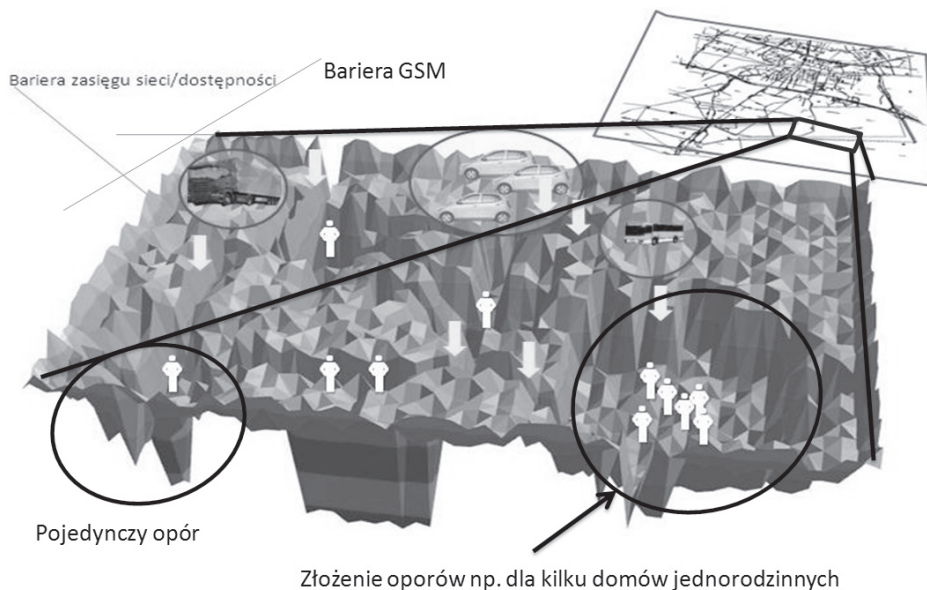
Rys. 5. Bariery na drodze osiągnięcia stanu pożądanego przez użytkowników systemu transportowego (rysunek po lewej) – drobne zmiany w otoczeniu generatorów jako droga w kierunku zrównoważenia transportu (rysunek po prawej)

Zródło: opracowanie własne

Rysunek 5 w tej formie uwzględnia fakt, że w najbliższym otoczeniu źródeł i celów podróży istnieją pewne korytarze charakteryzujące się mniejszym oporem przestrzeni w powiązaniu ze środkiem transportu, do którego „prowadzą”. Zdaniem autorów profile prezentowanych funkcji oporu przestrzeni mogą być w pewnym zakresie kształtowane poprzez właściwą organizację ruchu oraz ingerencję w infrastrukturę społeczno-gospodarczej i techniczną transportu w ich otoczeniu.

Rysunek 5 prezentuje mały opór przestrzeni dla elementu badanej populacji w kierunku wybranych lokalizacji środków transportu. Mniejszy jest opór dojścia do parkingu pod domem do samochodu osobowego. Większy jest opór dojścia do zlokalizowanego dalej przystanku komunikacji zbiorowej. Jeszcze większy dla dojścia odległej np. o 3 km stacji kolei. Takie wykresy konstruowane dla każdego członka populacji można następnie zagregować w postaci jednego wykresu wypadkowego dla określonego obszaru sieci drogowej (transportowej).

Mogą to być bardzo interesujące charakterystyki, które dotychczas nie były obiektem szczegółowych dociekań. Inny problem stanowi realizacja techniczna takich dociekań i realne korzyści, jakie można uzyskać na ich podstawie. Szeroko stosowane współcześnie technologie takie jak GSM czy GPS umożliwiają monitoring rejestracji przemieszczeń praktycznie w odniesieniu do całej populacji [26]. Jest to głównie kwestia organizacyjna i techniczna, jak zbudować system rejestrujący przemieszczenia poszczególnych (wszystkich posiadających telefon komórkowy) osobników w populacji. Stąd już tylko krok, po skorelowaniu tras podróży użytkowników sieci GSM, z siecią transportową, w kierunku wykreślenia rzeczywistej funkcji oporu przestrzeni 3D (z dokładnością do kilku, kilkunastu metrów, jako kombinacji osobniczych oporów przestrzeni w kierunku dojścia do środka transportu). Wykresy te mogą być rozszerzone poprzez uwzględnienie dodatkowych oporów przestrzeni związanych z wykorzystaniem określonego środka transportu i oporów odcinków sieci drogowej. Wykres taki może zostać sporządzony w odniesieniu do każdej koordynaty obszaru miejskiego, w której rejestrowane są terminale MS (telefony komórkowe), inaczej mówiąc dla każdego osobnika w populacji posługującego się terminalem komórkowym. Przykładowy hipotetyczny kształt funkcji oporu przestrzeni 3D dla większej liczby użytkowników sieci transportowej może wyglądać, tak jak przedstawiono to na rysunku 6.



Rys. 6. Obszarowy wykres funkcji oporu 3D – zbiorczo dla  $n$ -zlokalizowanych w danych koordynatach sieci terminali MS (wybrany moment czasowy)

*Źródło: opracowanie własne*

Na rysunku 6 przedstawiono płaszczyznę obszaru, którego mieszkańcy obsługiwani są przez pewną sieć transportową. Opór przestrzeni na rysunku 5 wyrażono wartością funkcji 3D w miejscu o określonych współrzędnych  $x, y$  (koordynata szerokości i długości). Należy oczekiwać, że prezentowany na rysunku 6 obraz trój-

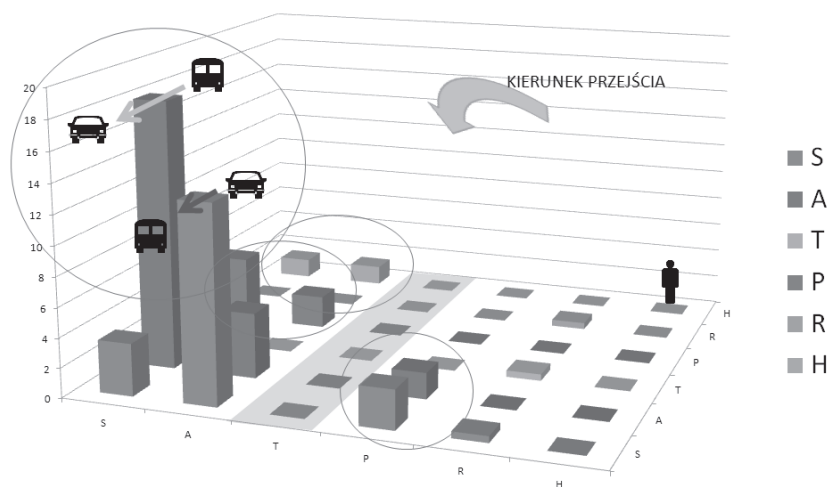
wymiarowej funkcji oporu przestrzeni z uwzględnieniem wariantów przemieszczeń będzie formą wytłoczenia w płaszczyźnie obszaru analizy kombinacji charakterystyk danej sieci transportowej, sieci osadniczej, infrastruktury społecznej i ekonomicznej. Wysokość (wartość) funkcji 3D stanowi opór przestrzeni w każdym punkcie określony na bazie kombinacji danych (sieć infrastruktura, dane z sieci GSM, dane lokalizacji punktów obsługi komunikacji zbiorowej i inne). Podejście takie być może uniezależnia tworzenie modeli ruchu od delimitacji obszaru na rejony komunikacyjne. Skoro delimitacje sieci można wykonać dynamicznie z dokładnością do kilku metrów – to nie ma potrzeby tworzenia sztywnych rejonów komunikacyjnych w modelach ruchu (chyba, że dla celów statystycznych). W dalszej części artykułu pokazany zostanie schemat, jak w praktyce można, z technicznego punktu widzenia, uzyskać prezentowane na rysunku 6 wykresy. Ponadto w podejściu takim można korelować charakterystyki oporu przestrzeni z analogicznymi parametrami odcinków drogi, na które rozkładany jest ruch. Opory odcinków dróg są pewną wypadkową oporów przestrzeni, jakie notują w pobliżu miejsca swojego zamieszkania użytkownicy sieci drogowej. Odcinek obciążony zostaje w wyniku poruszania się osobników w populacji po zmniejszonych oporach w pobliżu swoich miejsc pracy zamieszkania. W praktyce prezentowany na rysunku 6 wykres oporu przestrzeni jest różny w odniesieniu do poszczególnych środków transportu.

W powyższym kontekście wykonano pilotażowe badania ankietowe, celem poznania zarysu preferencji osób przemieszczających się po wybranym terenie. Autorzy przebadali 250 respondentów w konurbacji górnośląsko-zagłębiowskiej pod kątem możliwości obserwacji zmian w charakterystykach funkcji oporu przestrzeni w zakresie odbywanych przez nich podróży obligatoryjnych. W próbie znalazły się osoby o różnej strukturze wiekowej, różnej strukturze osiedleńczej, różne grupy zawodowe itp. Wybrano podróże obligatoryjne jako te, które powinny podlegać/podlegają stosunkowo niewielkim fluktuacjom w przestrzeni i czasie. Należy oczekiwać, że w ramach podróży fakultatywnych zmienność funkcji oporu przestrzeni będzie znacząco większa. Mimo to, proponowana w artykule koncepcja ma znaczenie zarówno w przypadku podróży obligatoryjnych, jak i fakultatywnych. Na bazie ankiety pytano respondentów o możliwości i chęci wariantowania dotychczas realizowanych podróży obligatoryjnych w sieci transportowej analizowanego obszaru. Respondenci mogli wskazać maksymalnie dwa warianty realizacji dotychczas wykonywanego codziennego przemieszczenia obligatoryjnego. W trakcie przeprowadzania badań zwrócono respondentom uwagę, że zmiana sposobu podróży dotyczy „małych” z globalnego punktu widzenia inwestycji w sieci transportowej. Dotyczy to np. wybudowania parkingu bliżej domu, co oznacza skrócenie czasu dojścia do samochodu, zmiany lokalizacji przystanku autobusowego itd. Dotyczy to również planowanego zakupu samochodu przez respondenta, zapoczątkowanie „zdrowego trybu życia” (przejsie na rower), skorzystanie z car-poolingu itp. W przypadku transportu zbiorowego przykładem może być ułatwienie dostępu do przystanku transportu zbiorowego (np. nowobudowana kładka dla pieszych) lub zwiększenie częstotliwości kursowania pojazdów transportu zbiorowego. Pówód zmiany środka transportu nie był analizowany w ankiecie, a wyłącznie para-

metry czasoprzestrzenne takiego zachowania. Generalnie w ankiecie należało ująć wszystkie te zmiany, które w jakikolwiek sposób (losowy lub zdeterminowany) mogą skłonić respondentów (ich zdaniem) do zmiany dotychczasowych sposobów realizacji przemieszczeń obligacyjnych w sieci transportowej. Jeśli zmiany takie badać z pewną dokładnością wystarczy określać opory przestrzeni dla reprezentanta określonej grupy zamieszkującej określoną przestrzeń.

W pierwszym rzędzie należy określić, jaki procent respondentów jest w skłonny wariantować w ten sposób swoje podróże obligacyjne. W tym celu w ankiecie jedną z możliwych opcji było zaznaczenie pola „nie zmienię w żadnym przypadku swojego dotychczasowego sposobu podróżowania”. Liczba „konserwatywnych” respondentów wskazuje wprost jaka może być potencjalna wariancja funkcji oporu przestrzeni sieci transportowej w badanej próbie w aspekcie poruszanych problemów (tu podróże obligacyjne). Konsekwentne korzystanie z tych samych środków transportu i dróg przemieszczenia bez chęci ich zmiany zadeklarowało 41,4% respondentów. Stwierdzenie „konserwatystów”, miało charakter kategoryczny: „nigdy nie zmienię...”. W badanej próbie istnieje więc 40% subpopulacja „konserwatystów” nie zainteresowana jakimikolwiek zmianami w dotychczasowych formach realizacji przemieszczeń obligacyjnych. Jednakże blisko 60% respondentów zadeklarowało zainteresowanie i możliwość zmiany sposobu realizacji podróży obligacyjnych. Co oznacza w praktyce podział populacji w stosunku 40/60 (konserwatysty/moderniści). Zdaniem autorów może to oznaczać, że różnice pomiędzy modelem stanu istniejącego i stanu pożądanego mogą dochodzić maksymalnie do 60% wolumenu w niektórych potokach ruchu. Trudno wyrokować na podstawie tak skromnej próby o szczegółowym rozkładzie cech w populacji, można mówić co najwyżej o pewnej tendencji. Warto również zaznaczyć, że konserwatyzm 40% populacji jest typowo koniunkturalny – zależny od wielu czynników niezależnych od nich samych (zatory drogowe, dostępność powierzchni parkingowej, ceny benzyny itp.). Trudno dywagować bez szczegółowych badań, w odniesieniu do każdego respondenta, jak ta różnica jest kształtowana w rzeczywistości. Każdy przypadek należałoby rozpatrywać indywidualnie (jest to możliwe z wykorzystaniem współczesnej techniki przy opracowaniu odpowiednich algorytmów). Osoby przywiązane do dotychczasowego sposobu realizacji podróży obligacyjnej, a korzystające z samochodów osobowych stanowią 29,07% badanej próby, co stanowi 70,21% spośród „konserwatystów”. „Konserwatywni” użytkownicy autobusów stanowią 7,48% w próbie, co przekłada się na 18,08% wśród konserwatystów. Na rysunku 7 przedstawiono wszystkie możliwości wariantowania „przejść” między środkami transportu w badanej próbie. Warto zauważyć, że wariantowanie to istotne jest w odniesieniu do parametrów sieci transportowej zwłaszcza w przypadkach krótkich przemieszczeń. W przypadku przemieszczeń na większe odległości warianty podróży sprowadzać się będą do pewnych ściśle określonych „korytarzy transportowych”, co w pewien sposób ogranicza możliwości wyboru środka transportu. Tym samym przy małych możliwościach wyboru środka transportu maleje znaczenie tych lokalnych funkcji oporu przestrzeni typu 3D. Wzrasta rola oporów na odcinkach drogi.





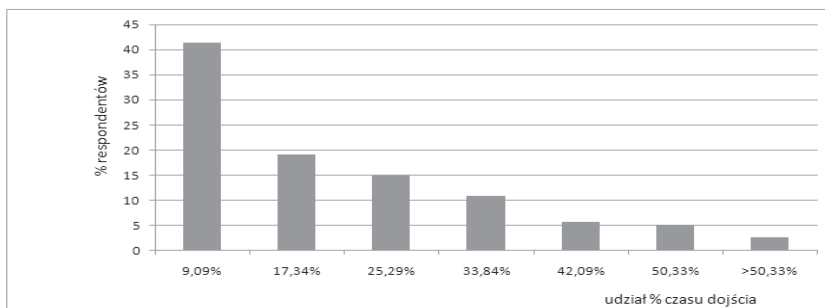
Rys. 7. Wariantowanie środków transportu – macierz przejść  
 (S-samochód, A-autobus, T-tramwaj, P-pociąg, R-Rower, H-pieszo)  
 Źródło: opracowanie własne

Rysunek 7 należy czytać w ten sposób, że wysokość słupka odpowiada deklarowanym zmianom [%] środka transportu (z jednego na drugi). Wybrane słupki opisano piktogramami reprezentującymi kierunek przejścia respondentów z jednego środka transportu na drugi (z prawej strony wykresu na lewo, tak jak pokazano to z pomocą strzałki na wykresie). Oś rzędnych wertykalnych odpowiada procentowi respondentów skłonnych do zmiany środka transportu przy wystąpieniu pewnych nowych okoliczności. Na rysunku 7 przedstawiono, jak rozkładają się możliwości przejścia pomiędzy poszczególnymi środkami transportu w badanej próbie. Rozkład ten nazwano macierzą przejść modalnych. Widać tu wyraźną dominację przejść z transportu zbiorowego do transportu indywidualnego nawet przy łamaniu barier (infrastrukturalnych i organizacyjnych) ograniczających dostęp do transportu zbiorowego. Każde przejście w takiej macierzy związane jest z pokonaniem określonej bariery w otoczeniu punktu generującego lub absorbującego ruch. Dla przykładu przejście S→S (z samochodu do samochodu (inny parking)) oznacza np. wybudowanie/udostępnienie parkingu bliżej celu lub źródła podróży (deklaracja 4% respondentów wśród badanej próby). Problemem na drodze zrównoważonego rozwoju transportu jest więc zasadne niwelowanie barier w dostępności do określonych środków transportu (zgodnie z wytycznymi Białej Księgi środków alternatywnych dla samochodu osobowego).

W artykule zwrócono szczególną uwagę na aspekt wymiaru pionowego przemieszczeń w sieci transportowej. Należy w tym kontekście spróbować określić, ile czasu zajmują przemieszczenia pionowe w odniesieniu do czasów związanych z jazdą w konkretnym środku transportu. W tym celu wykonano w oparciu o badania ankietowe analizy w odniesieniu do czasów dojścia do środka transportu. W przypadku zabudowy wysokościowej i wykreślaniu funkcji oporu przestrzeni



typu 3D dla grupy osób aspekt ten nabiera szczególnego znaczenia. Średni czas dojazdu do wykorzystywanego w podróży obligatoryjnej środka transportu w analizowanej próbie wynoszący 5,29 minuty stanowi 20,2% średniego czasu podróży w analizowanej próbie w odniesieniu do czasu jazdy wybranym środkiem transportu. Uwzględniając łańcuchy łamane (z reguły na większe odległości) udział ten spada do 9,92%. Zarejestrowany najmniejszy udział czasu dojazdu w analizowanej próbie do łącznego czasu podróży (bez przesiadek) wyniósł 0,85%. Największy udział czasu dojazdu (pomijając podróże wyłącznie piesze) wyniósł 83,3% (kolejny 71,42%). Czasy te należy traktować z dużą ostrożnością z uwagi na powszechne błędy w szacowaniu czasu i odległości przez ludzi. Rozkład udziału czasu dojazdu w analizowanej próbie przedstawiono na rysunku 8.



Rys. 8. Rozkład udziału czasu dojazdu w czasie podróży

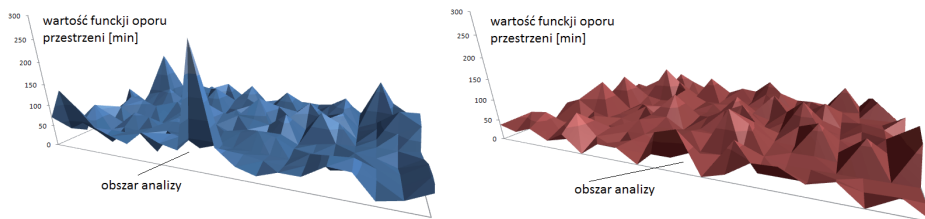
Źródło: opracowanie własne

Jeżeli za istotny udział czasu dojazdu w czasie podróży uznać wartości przekraczające próg 33,84% to rysunek 8 wskazuje, że blisko 1/4 podróży w analizowanej próbie dotyczy takich zdarzeń (dokładnie: 24,35%). Czasy dojazdu w tej właśnie grupie respondentów stanowić mogą o wyborze bądź nie alternatywnych środków transportu (kształcie wartości lokalnych wartości funkcji oporu przestrzeni typu 3D). Skrócenie czasu dojazdu może być czynnikiem decydującym o zmianie środka transportu. W przypadku grupy użytkowników, dla których czasy dojazdu są niskie, dotyczyło to transportu indywidualnego (którzy to użytkownicy, jak napisano wyżej, nie wykazują szczególnej skłonności do zmiany środka transportu). Kolejną kwestią do zbadania w przedmiocie analizy jest udział czasu przemieszczenia pionowego w czasie dojazdu. Ten aspekt jest często pomijany przy modelowaniu ruchu. Wydaje się jednak, że może mieć istotne znaczenie zwłaszcza w obszarach wysokiej i średniej zabudowy miejskiej.

#### 4. Opór przestrzeni w modelach substytucyjnych (konkurencyjnych)

W przeprowadzonej ankiecie pytano respondentów o podróże substytucyjne (w przypadku realizacji innymi środkami transportu, inną drogą itp.) przy założeniu pokonania określonych barier w ich otoczeniu (w celu realizacji podróży

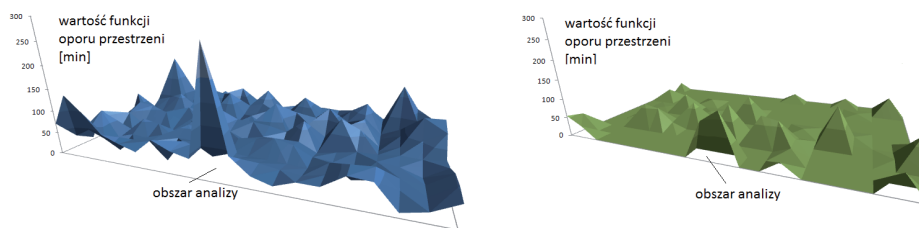
tym innym sposobem). Baza danych otrzymana na tej podstawie może stanowić w odniesieniu do populacji asumpt dla tworzenia tzw. modeli substytucyjnych ruchu. Jeżeli założyć, że model 4SM konstruowany jest na podstawie ostatnich podróży realizowanych w okresie poprzedzającym badanie można zdefiniować na bazie prowadzonej ankiety conajmniej trzy warianty modeli (podstawowy i dwa konkurencyjne). W przedmiotowej ankiecie pytano o conajmniej dwa warianty podróży, które mogłyby być zrealizowane w przypadku usunięcia obiektywnych i subiektywnych przeszkód w miejscu rozpoczęcia i zakończenia podróży. Pierwszą podróż innym środkiem transportu zadeklarowało 55,9% respondentów w próbie. Drugą zadeklarowało 14,97% respondentów w próbie. Sytuacja taka wynika z faktu, że realnie respondenci wybierają głównie pomiędzy podróżą samochodem osobowym, a autobusem. Rozkład wariantów podróży z analizowanej próby w stosunku do rzeczywiście odbywanych w pierwszym przypadku zaprezentowano na rysunku 9. W drugim przypadku (drugi wariant) rozkład wariantów podróży zaprezentowano na rysunku 10. Rysunki 9 i 10 skonstruowano w ten sposób, że skojarzono wariant podróży z odpowiadającym mu środkiem transportu i czasem dojazdu w odniesieniu do „pierwotnego sposobu podróżowania”. Respondentów rozmieszczono geograficznie w przestrzeni.



Rys. 9. Trójwymiarowy obraz oporu przestrzeni – pierwsza alternatywa podróży

Zródło: opracowanie własne

Na rysunku 9 zaprezentowano po lewej stronie opór przestrzeni wyrażony czasem podróży odniesionym do lokalizacji miejsca generacji podróży. Opór przestrzeni wyrażono czasem podróży (oś pionowa na rys. 9). Po prawej stronie zaprezentowano analogiczny wykres, ale wykreślony dla wariantu podróży z wykorzystaniem innego środka transportu. Podróż ta realizowana jest przy założeniu likwidacji pewnego ograniczenia w sieci transportowej w miejscu generacji lub absorpcji ruchu. Widoczne jest zdecydowanie spłaszczenie trójwymiarowej funkcji oporu przestrzeni, co odpowiada spadkom oporu przestrzeni w tym „modelu ruchu”. Spłaszczenie to wynika czasami z rezygnacji z alternatywnego sposobu przemieszczania się w zakresie podróży obligatoryjnej (zerowe wartości funkcji oporu na prawym rysunku).

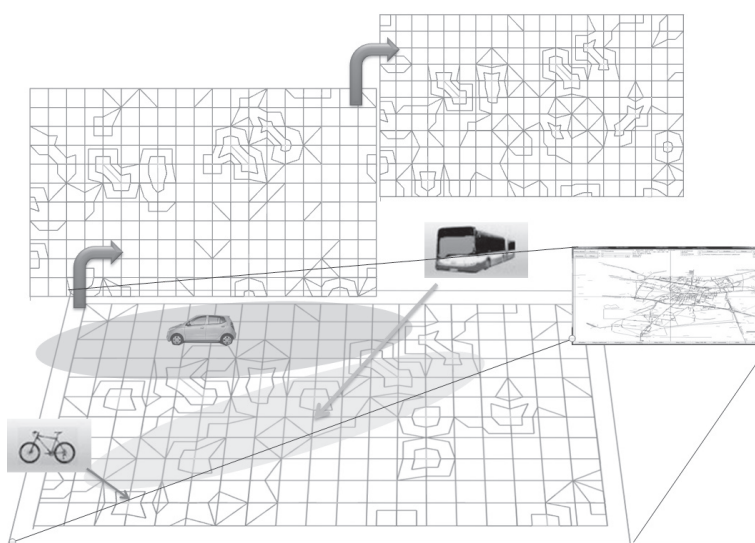


Rys. 10. Trójwymiarowy obraz oporu przestrzeni – drugi wariant podróży

Źródło: opracowanie własne

Rysunek 10 przedstawia po prawej stronie wariant podróży z miejsca generacji z wykorzystaniem drugiego możliwego do wyboru środka transportu. Związane jest to z usunięciem kolejnej bariery stojącej na drodze realizacji podróży tym sposobem.

Na rysunku 11 zaprezentowano środki transportu, jakimi realizowano podróże z miejsc generacji ruchu w analizowanej próbie. Rysunek 11 przedstawia, w jaki sposób zmieniają się rozkłady przestrzenne wykorzystywanych środków transportu w obszarze pewnego układu miejskiego. Na rysunku 10 powierzchnie wielokątów o różnych obszarach i kształtach oznaczają dominujące wykorzystanie danego sposobu przemieszczania w określonej lokalizacji przestrzeni miejskiej. Rozkład prezentowany na rysunku 11 zależy od rozmiaru próby pobieranej z populacji. Na rysunku tym zaznaczono strzałkami ( $\Gamma$ ) przejścia do kolejnych rozkładów, które definiowane są poprzez wybór wariantów wykorzystywanych środków przemieszczenia.



Rys. 11. Sposoby przemieszczania dla analizowanych wariantów podróży

Źródło: opracowanie własne

Rysunek 11 ilustruje fakt, że w pierwszej wersji alternatywnej w przestrzeni miejskiej zaczyna dominować tendencja do korzystania z transportu indywidualnego. Dopiero wybór kolejnych wariantów przemieszczenia zdywersyfikuje rozkład modalny podróży w przestrzeni miejskiej (zwiększa się liczba możliwych wariantów podróży w przestrzeni miejskiej w odniesieniu do potencjalnych możliwości odbycia podróży). Wynika stąd, że dla zrównoważonego rozwoju transportu należy działać również lokalnie, poprzez drobne zmiany w przestrzeni miejskiej, a nie tylko globalnie.

Prezentowane na rysunku 11 mapy rozkładów przestrzennych wykorzystywanych środków transportu w powiązaniu z oporem przestrzeni mogą być asumptem dla celów realizacji zasadnej organizacji ruchu w transporcie zbiorowym i indywidualnym. Na rysunku 10 przedstawiono obszary (poprzez kontury), dla których opór przestrzeni jest mały w odniesieniu do konkretnego środka transportu (środek ten przedstawiono w postaci małego obrazu). Dotyczyć to może np. zmian w lokalizacji przystanków transportu zbiorowego, a zarazem przebiegu linii. Dotyczyć to może również drobnych udogodnień lokalnych w ruchu pieszym (nowe chodniki, kładki, lepsza informacja pasażerska). Szerzej problem dynamicznego korzystania z prezentowanych rozkładów poruszony zostanie przy omawianiu określania funkcji oporu z wykorzystaniem technologii GSM i GPS.

## 5. Wertykalna współrzędna funkcji oporu przestrzeni

Prezentowana w poprzednich podpunktach koncepcja tworzenia funkcji oporu przestrzeni typu 3D opierała się na założeniu możliwości wykreślenia jej wartości w dowolnym punkcie obszaru. Trudno oczekiwać budowy charakterystyk 3D dla pojedynczych osób, należy raczej myśleć o agregowaniu funkcji oporu przestrzeni dla pewnych reżimów terytorialnych. W tym aspekcie szczególnego znaczenia nabiera identyfikacja rozkładu przemieszczeń wertykalnych w analizowanej próbie w odniesieniu do ich udziału w czasach dojazdu i całkowitym czasie podróży. Jest to możliwe z wykorzystaniem zalet technologii GPS i GSM. Niezbędnym warunkiem jest objęcie analizowanego punktu zasięgiem tych technologii (w praktyce dla GSM i GPS dotyczy to obszaru wszystkich miast w Polsce). Wówczas w obszarze analizy muszą być rejestrowane relacje podróży abonentów wyposażonych w terminal MS, na bazie obserwacji których wykreślana jest funkcja oporu przestrzeni typu 3D. Omówienie szczegółowo metodyki wykreślenia funkcji oporu przekracza ramy tego artykułu. Zauważyć należy, że w najprostszej formie wymiarem  $Z$  (wertykalnym) tej funkcji jest bezpośrednio wartość funkcji oporu przestrzeni (czas przejazdu, odległość przejazdu). W praktyce jako wartość tą można uwzględnić również położenie respondenta (terminala MS) nad poziomem morza (lub gruntu) i w ten sposób zmodyfikować wartość funkcji oporu przestrzeni o kolejny parametr (doprecyzować). Czy takie działanie ma sens i jakiegokolwiek znaczenie praktyczne? W miastach metropolii wschodniego wybrzeża Stanów

Zjednoczonych Ameryki Północnej (Waszyngton, Nowy Jork) były prowadzone badania na temat udziału przemieszczeń pionowych w funkcji oporu przestrzeni, głównie w zakresie dostępności do linii metra. W zabudowie śródmiejskiej (drapacze chmur) często wartość przemieszczenia pionowego jest istotnym składnikiem czasu przemieszczenia w sieci transportowej. Dotyczy to zejścia z określonej kondygnacji w budynku, często pokonania kilku dodatkowych kondygnacji do stacji metra itd. W praktyce w sieciach transportowych znajdujących się na obszarze niskiej i średniej zabudowy (przypadek rozpatrywany – metropolia górnośląska) czasy przemieszczenia pionowego prawdopodobnie nie powinny wpływać istotnie na wartości funkcji oporu przestrzeni. Tym niemniej taką tezę należy zweryfikować badaniami empirycznymi. Na rysunku 8 prezentowano udział czasu dojścia respondentów w analizowanej próbie w stosunku do całkowitego czasu przemieszczenia (tabela 1).

Tab. 1. Udział czasu dojścia w czasie podróży ogółem

Udział procentowy czasu przemieszczenia pionowego w ogólnym czasie dojścia Klasy	% respondentów w klasie
<0%÷9,09%)	41,45
<9,09%÷17,34%)	19,17
<17,34%÷25,29%)	15,02
<25,29%÷33,84%)	10,88
<33,84%÷42,09%)	5,69
<42,09%÷50,33%)	5,18
≥50,33%	2,59

Źródło: opracowanie własne

Na podstawie danych zawartych w tablicy 1 zauważyć można, że czasy dojścia są istotnym składnikiem czasu podróży dla ok. 2,6% respondentów w badanej próbie (>50% czasu całkowitego podróży). Można postawić pytanie, jakie są w praktyce granice uciążliwości czasu dojścia pieszego do środka transportu? Czy wiązać je z wartościami bezwzględными czasu dojścia do parkingu lub przystanku transportu zbiorowego czy raczej z udziałem tego czasu w podróży ogółem? Czas ten dla 15% respondentów w próbie w dalszym ciągu stanowi ok. 25% całkowitego czasu podróży. Co więcej, zasadne może być pytanie, jak istotnym składnikiem czasu dojścia jest przemieszczenie pionowe. Autorzy zbadali w tym celu próbę respondentów zadając im pytanie o przemieszczenia pionowe związane z czasem dojścia do przystanku transportu zbiorowego lub parkingu. Ankieta zawierała następujące pytania:

1. Na którym piętrze budynku Pan/Pani mieszka?
2. Ile czasu zajmuje Panu/Pani opuszczenie budynku? [minuty]
3. Ile czasu zajmuje Panu/Pani dojście do najbliższego środka lokomocji? [minuty]

- (bez czasu na opuszczenie budynku)
4. Ile czasu zajmuje Panu/Pani dojście do najczęściej wybieranego środka lokomocji? [min]
- (bez czasu na opuszczenie budynku)
5. Czym Pan/Pani jedzie dalej?

Na podstawie wyników badanej próby można stwierdzić, że statystyczny mieszkaniec regionu przebywa w przemieszczeniu pionowym odległość z piętra 2 i 1 do poziomu gruntu (wysokość około:  $7 \div 9$  m.). Najczęściej respondenci zadeklarowali średni czas na wykonanie tego typu przemieszczenia (od drzwi mieszkania w poziomie korytarza i dalej w pionie klatką schodową do drzwi wyjściowych z budynku lub poza posesję) wynoszący 1,33 minuty. W próbie zarejestrowano najkrótszy czas przemieszczenia wynoszący 20 sekund i najdłuższy wynoszący 4 minuty. Czas skorelowany jest bezpośrednio z piętrem, z którego następuje wykonanie przemieszczenia oraz obecnością (lub brakiem) w średniej i wysokiej zabudowie windy (piętra 4-6, nie zarejestrowano przypadku respondenta mieszkającego powyżej 6 piętra). W badanej próbie udział czasu przemieszczenia pionowego w czasie dojścia do najbliższego środka lokomocji wynosi aż 45,68% i należy oczekiwać, że zależy głównie od charakteru zabudowy miejskiej w danej okolicy. Obserwowany jest więc w tym wypadku prawdopodobnie wpływ wysokiej i średniej zabudowy na opór przestrzeni. Udział czasu przemieszczenia pionowego waha się w granicach od 2 do 100% całego czasu dojścia do środka transportu. Dla najczęściej wybieranego środka transportu udział ten wynosi odpowiednio 49,43%. Zwrócić należy szczególną uwagę na fakt, że to właśnie dla komunikacji indywidualnej czas ten ma istotne znaczenie. Podsumowując dwa fakty: dla respondentów udział czasu dojścia jest istotny i wynosi 15% czasu podróży oraz fakt, że blisko połowa tego czasu to przemieszczenie pionowe – należy uznać, że czas ten powinien być analizowany w modelach ruchu na obszarach o dużej gęstości zabudowy i występującej w jej obszarze zabudowie średniej i wysokiej (tak jak rozpatrywany w tym przypadku obszar metropolii górnośląskiej- duże jego fragmenty). Dane powyższe w rozbiciu na różne sposoby przemieszczania wykorzystywane w trakcie realizacji dalszej podróży przedstawiają się następująco – dla samochodu osobowego udział przemieszczenia pionowego w czasie dojścia to 53,57%, dla autobusu 25,72%, dla tramwaju 26% i odpowiednio dla pociągu 30,25%. Oznacza to, że dla najpopularniejszego obecnie środka transportu udział czasu przemieszczeń pionowych jest istotny. Zwłaszcza w obliczu tendencji w kierunku zwiększania udziału w ruchu środków transportu indywidualnego. Jaka może być korzyść z uwzględniania w modelowaniu ruchu przemieszczeń pionowych – można zgrubnie oszacować w sposób następujący:

- 15% podróży charakteryzuje się istotnym czasem dojścia do środka transportu, którym realizowana jest podróż,
- z tego dla najpopularniejszego obecnie środka transportu ponad 50 % wartości czasu dojścia stanowią przemieszczenia pionowe,



- dla pozostałych sposobów przemieszczania od 30% do 25% czasu dojścia to przemieszczenia pionowe.

Zgrubnie można przypuszczać, że doprecyzowanie trójwymiarowej funkcji oporu przestrzeni o przemieszczenia pionowe (zwłaszcza przy wysokiej i średniej zabudowie) może zwiększać dokładność funkcji oporu przestrzeni o kilka procent. Być może te kilka procent wpływa w jakiejś mierze na spotykane w praktyce problemy z kalibracją modeli ruchu?

## 6. Wiarygodność danych uzyskanych z badań ankietowych zachowań komunikacyjnych

W ankiecie przygotowanej do przedmiotowego artykułu, podobnie jak w innych tego typu opracowaniach, miarami odniesienia w stosunku do wykonanej podróży jest droga i czas. Czas przemieszczenia wyrażono w przedmiotowej ankiecie w minutach natomiast odległość w metrach. W literaturze przedmiotu znane są problemy związane z postrzeganiem drogi i czasu przez ludzi [14, 33, 34]. Obydwie wielkości, a ściślej ich wartości są subiektywizowane przez uczestników wszelkiego rodzaju badań demoskopowych. Co więcej na odpowiedzi ma wpływ postać formułowanych pytań, np. inne odpowiedzi można uzyskać pytając respondenta o odległość w metrach, a inne gdy ma do wyboru konkretne obiekty [28].

W przedmiotowej ankiecie prowadzone badania nie dotyczyły postrzegania czasu ani odległości przemieszczenia, ponieważ nie obserwowano wspólnej odległości czy relacji przemieszczenia. Tym niemniej wyniki badań, w kontekście proponowanej koncepcji, skłaniają do przytoczenia kilku zasadniczych uwag w tej materii. Proponowana koncepcja w zamyśle ma na celu wprowadzenie badań przemieszczeń w oparciu o pomiar relacji podróży z wykorzystaniem technologii GSM i GPS. Technologie te obciążone są kilkoma mankamentami w tym zakresie. Pomiar przemieszczenia z wykorzystaniem GPS nie może być prowadzony wewnątrz zabudowy miejskiej – zanik sygnału poza otwartą przestrzenią. Z kolei pomiar z wykorzystaniem GSM, w tym wspomagany aGPS (ang. assisted GPS), obciążony jest pewną niedokładnością związaną z interpolacją danych pomiarowych i kalibracją sygnału. Tym niemniej metody te pozwalają na obiektywny pomiar czasu i odległości przemieszczenia ze stosunkowo stałym błędem adekwatnym do wybranej metody pomiaru. Niestety, jak wykazała przedmiotowa ankieta, nawet najgorsza metoda techniczna określania odległości i czasu przemieszczenia będzie zawsze lepsza od metody ankietowej.

Tab. 2. Czas dojścia

T[min]	Czas dojścia w minutach, klasy										
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Liczebność klasy $n_i$	5	67	26	24	2	45	0	7	4	0	23

Źródło: opracowanie własne.

Tablica 2 prezentuje dla przykładu czasy dojścia do miejsca lokalizacji środka transportu w rozbięciu na liczebności występujące w klasach 0, 1, 2 minut itd. Kilka wartości w tablicy 2 zwraca natychmiastową uwagę w zakresie wiarygodności przedmiotowych danych. Kilkakrotnie podano czas dojścia mniejszy niż 1 minuta, co natychmiast musi budzić sprzeciw (zwłaszcza w odniesieniu do zawartości ankiet dla czasów przemieszczeń pionowych). Kilka klas wartości czasów dojścia nie zostało obsadzonych lub charakteryzują się małą liczebnością – mimo, że sąsiadujące wartości zostały określone i mają stosunkowo dużą liczebność. Dotyczy to zwłaszcza czasu dojścia wynoszącego 4 minuty, gdzie sąsiednie przedziały są licznie reprezentowane w badanej próbie. Sytuacja taka może wynikać z przyczyn „poza transportowych” – pewne liczby są kojarzone przez respondentów szybciej od innych przy braku obiektywnego narzędzia pomiarowego. Jest to bardziej przyczynek do rozważań o charakterze kognitywistycznym niż modelowania w transporcie. Analogiczna sytuacja dotyczyła czasów dojścia wynoszących 6 i 9 minut. Jak zatem przedstawiała się sytuacja w stosunku do czasów dojścia w kierunku środków transportu wybieranych w dwóch wariantach?

Tablica 3. Czas dojścia (środki transportu dla dwóch wariantów)

Czas dojścia [min]	Czas dojścia w minutach- wariant 1 i 2/klasy minut										
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Liczebność w wariancie 1-szym $n_{i1}$	8	43	19	8	4	10	0	4	1	1	10
Liczebność w wariancie 2-gim $n_{i2}$	3	8	3	2	0	5	1	1	2	0	3

*Źródło: opracowanie własne*

Tablica 3 wskazuje na pewną prawidłowość albo w sposobie określania i postrzegania czasu przez respondentów albo podobieństwo w samej próbie + występowanie silnej autokorelacji danych wynikających ze wspólnych miejsc zamieszkania respondentów (choć to mniej prawdopodobne – przystanki różnych środków transportu nie zawsze zlokalizowane są w tym samym miejscu). Ponownie czasy dojścia wynoszące 4, 6 i 9 minut charakteryzują się zaniżoną reprezentatywnością w badanej próbie. Podobnie dziwi silna reprezentacja czasów dojścia poniżej jednej minuty. Problem ten, jak zaznaczono wcześniej, może istnieć wyłącznie w sferze postrzegania pewnych zjawisk i ich reprezentacji myślowej i werbalnej. Porównanie dla odległości dojścia zestawiono w tablicy 4.

Tablica 4. Odległość dojścia

S [m]	Odległość dojścia w metrach [m]														
	100	200	300	400	500	600	700	800	900	1000	1100	1200	1300	1400	1500
Liczebność w poszczególnych wariantach															
$n_0$	107	26	22	14	17	4	4	9	6	11	1	1	1	0	8
$n_{i1}$	76	11	10	4	6	3	2	3	2	5	1	2	0	0	3
$n_{i2}$	33	1	1	1	2	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0

*Źródło: opracowanie własne*

W odniesieniu do zagadnienia określenia odległości przemieszczenia sytuacja jest tylko „nieco lepsza”. Funkcja oporu przestrzeni jest w tym wypadku znacznie bardziej wygładzona, nie ma klas pustych i zdecydowanych maksimum w miejscach, gdzie funkcja powinna maleć. Tym niemniej i tu dostrzegane są pewne anomalie. Na przykład wartości odległości przemieszczenia w klasach o wartościach „okrągłych” (tu: dla 500 metrów, 1 km i 1,5 km) charakteryzują się zawyżoną liczebnością. Wynikać to może z naturalnej dla człowieka skłonności do zaokrąglania wartości przy braku precyzyjnego instrumentu dla pomiaru określonej wartości. Jednak i w tym przypadku (podobnie jak miało to miejsce dla czasów przemieszczeń) pewne klasy mają zaburzoną liczebność w stosunku do klas sąsiednich. Respondenci nie byli skłonni wskazywać liczb 4, 6, 7, 8, 9, 13, 14. Widać w tych danych pewną prawidłowość. Kwestią wtórną pozostaje zbadanie tej prawidłowości w odniesieniu do rzeczywistych odległości i czasów realizowanych podróży. Odległości i czasy przemieszczenia respondentów środkami transportu nie były porównywane. Są to wartości związane z przemieszczaniem się, któremu towarzyszy utrudniony pomiar parametrów fizycznych ruchu. W związku z tym oczekiwać należy dalszego wzrostu procesu subiektywizowania parametrów podróży przez respondentów, abstrahując od wzrostu bądź nie błędu samego pomiaru danej wielkości. Generalnie jest to przyczynek dla realizacji badań na zupełnie innej płaszczyźnie.

Z uwagi na powyższe naturalnym w modelowaniu ruchu powinno być podejście proponowane w niniejszej koncepcji w oparciu o pomiar rzeczywistych parametrów przemieszczeń z wykorzystaniem technologii GSM i GPS. Poza znanym powszechnie faktem zaokrąglania przez respondentów wartości parametrów podróży autorzy zwracają uwagę na inne niekorzystne zjawisko. Polega ono na tendencji do wybierania pewnych charakterystycznych liczb i cyfr. Skłonność ta winna być przedmiotem odrębnych analiz o znacznie większym stopniu szczegółowości. Wybór ten bowiem ma podłoże nieobiektywne, związane z mentalnym (subiektywnym) postrzeganiem cyfr arabskich i skorelowanych z nimi liczb. Są tu pewne cyfry i liczby kulturowo postrzegane w konotacji negatywnej i z tego powodu niechętnie wskazywane przez respondentów. Jest to istotny czynnik podawania nieprawdziwych informacji występujący niezależnie od zaokrąglania rzeczywistych wartości parametrów przemieszczeń.

## 7. Określanie funkcji oporu z wykorzystaniem technologii GSM i GPS

W zagadnieniach modelowania ruchu funkcje oporu przestrzeni można odnosić albo w układzie między rejonowym (dla rejonów komunikacyjnych) albo w układzie odcinków sieci transportowych. Pierwszy przypadek można nazwać skojarzeniem oporu przestrzennie, drugi – relacyjnie. Pierwszy z nich można opisywać głównie na podstawie danych z badań ankietowych i innych realizacji technik statystycznych. Drugi przypadek można obliczać za pomocą różnorodnych metod

empirycznych (w tym również na podstawie badań ankietowych). Proponowana koncepcja jest pewną syntezą tych dwóch różnych metod. W proponowanym podejściu funkcja oporu przestrzeni jest bowiem zestawiana w dowolnym miejscu przestrzeni i w praktycznie dowolnym czasie (kwestia przepustowości systemów informacyjnych GSM). Badania funkcji oporu przestrzeni w doniesieniu do odcinków można realizować w sposób podobny, jednakże problematyczne jest w tym przypadku ujęcie dynamiczne tego problemu. Zastosowanie systemów GPS i GSM w tym celu jest więc nad wyraz zasadne. W systemach telekomunikacyjnych i nawigacyjnych: GPS i GSM istnieją różnorodne techniki obserwacji przemieszczania się abonentów wyposażonych w telefony komórkowe (terminale MS). Z uwagi na fakt, że elementy tej sieci skorelowane są z konkretnymi współrzędnymi geograficznymi można wiązać położenie elementów w zbiorach: sieć komórkowa – sieć transportowa. Dla celów wykreślenia funkcji oporu przestrzeni w ujęciu odniesionym do parametrów rejonów komunikacyjnych wystarczy lokalizacja abonentów w sieci GSM wyłącznie z wykorzystaniem procedury lokalizacji zmiany stacji bazowej BSS przez abonenta. W przypadku konieczności dokładniejszego oszacowania funkcji oporu przestrzeni w wykorzystaniu sieci GSM konieczne będzie wykorzystanie dokładnych procedur lokalizacji udostępnianych w tej sieci (konieczność szybszego i precyzyjnego ustalania położenia terminala na krótkich odcinkach sieci drogowej w sieciach gęstych). Podstawowa metoda lokalizacji – aktualizacja położenia terminala MS (ang. Location Update Procedure) wynika wprost z zasady działania GSM. Po włączeniu, telefon komórkowy loguje się do stacji bazowej BSS (ang. Base Station System), która ma najsilniejszy sygnał radiowy w jego lokalizacji. Następnie, przy przemieszczaniu użytkownika (telefonu komórkowego) następuje także zmiana stacji bazowej, z którą w danym momencie MS jest połączony. W praktyce w zasięgu abonenta znajduje się 4 do 6 BSS (proces przełączania się ma charakter dynamiczny). Opisy wielu innych technik lokalizacji MS z dużą dokładnością (do kilku metrów) można znaleźć w literaturze (m.in. [18, 19, 21, 23, 24, 32, 35]). Metody wykorzystujące z systemu GPS (ang. Global Positioning System) umożliwiają lokalizację MS z dużą dokładnością (do kilku metrów). Przykłady takich technik to:

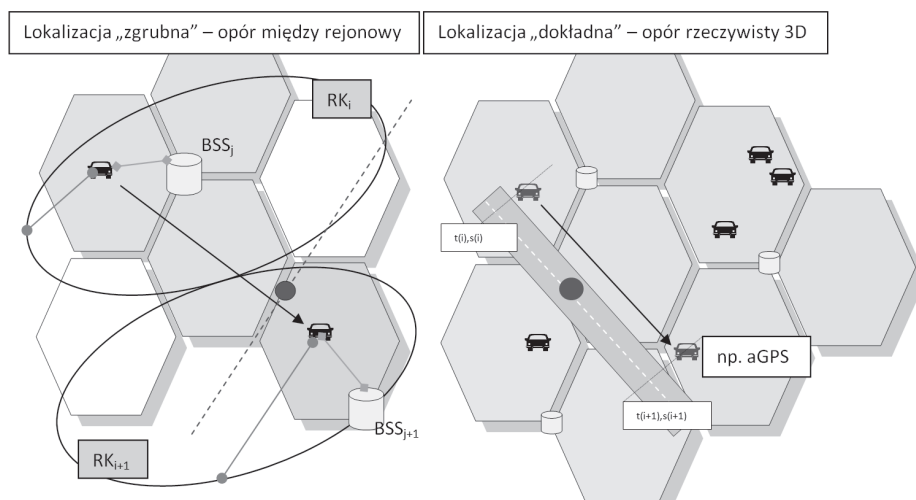
- metoda COO (ang. CELL of Origin), która umożliwia lokalizację MS z dokładnością do pojedynczej komórki (element struktury sieci GSM). Stąd precyzja wynika bezpośrednio z wielkości komórki, w której lokalizowany jest MS. Współcześnie obserwuje się tendencję do tworzenia coraz mniejszych komórek w sieciach metropolitalnych, co zwiększa dokładność tej metody;
- metoda COO CS (ang. COO with Cell Sector), wykorzystująca właściwość dzielenia komórek BTS na sektory. Zwykle każdy BTS obsługuje w ramach komórki trzy sektory. Zwiększa to dokładność metody;
- metoda COO CS RSS (ang. Cell of Origin with Cell Sector with Received Signal Strength), często nazywana metodą odcisków palców. Bazuje na zmienności mocy sygnału odbieranego w terminalu MS. Telefon komórkowy odbierając sygnał z kilku BTS realizuje połączenie z BTS o najsilniej-

szym w danej chwili sygnałem radiowym. Pomiar mocy tego sygnału (RSS) umożliwi dokładniejsze określenie lokalizacji terminala MS, ponieważ siła sygnału RSS ze stacji BTS zależy od odległości aparatu od nadajnika;

- metody triangulacyjne (korzystające z obecności kilku stacji BTS jednocześnie) lokalizują MS na podstawie odpowiedzi z trzech różnych BTS, np. metoda E-ODT (ang. enhanced observed time difference);
- metoda A-GPS (ang. Network Assisted GPS) jest wspomagana pozycjonowaniem sygnału MS również w technologii GPS. W takim wypadku ograniczeniem dokładności lokalizacji jest jedynie precyzja sygnału GPS dochodząca od kilku metrów do kilku centymetrów (w przypadku bliskości stacji naziemnej sygnału GPS tzw. stacji referencyjnej sygnału).

W teorii, zakładając wykorzystanie wszystkich możliwości technicznych systemów GSM i GPS można zlokalizować w przestrzeni obiekt o kubaturze  $2 \text{ cm}^3$ .

Ideę alternatywnych sposobów lokalizacji osoby w sieci transportowej, w oparciu o sieć telefonii komórkowej prezentuje rysunek 12.



Rys. 12. Graficzna ilustracja lokalizacji użytkowników MS sieć GSM → sieć osadnicza w celu estymacji funkcji oporu rejonu/podróży

*Źródło: opracowanie własne*

Prezentowana na rysunku 12 po lewej stronie metoda umożliwia szybkie „kreślenie” funkcji oporu przestrzeni pomiędzy rejonami komunikacyjnymi w oparciu o zmiany stacji bazowych użytkowników poruszających się w sieci GSM. Jest to procedura stosunkowo mało precyzyjna. Istnieje tu problem korelacji istniejącej sieci komórkowej, jej delimitacji strukturalnej z odpowiednią delimitacją sieci transportowej na rejon komunikacyjny. Tym niemniej jest to metoda szybka (w sensie czasu trwania operacji przetwarzania danych) i dynamiczna. Praktycznie funkcja oporu przestrzeni może być w tym przypadku wykreślana co jedną sekundę. Dokładność metody będzie związana wprost z rozmiarami komórek sieci GSM

lub będzie wymagała delimitacji sieci transportowej bezpośrednio w oparciu o tą pierwszą. Na rysunku 11 po prawej stronie prezentowane jest podejście dokładne. W tym podejściu każdy użytkownik sieci GSM jest lokalizowany geograficznie z dokładnością do kilku, kilkunastu metrów. Niestety procedura ta wymaga zastosowania zaawansowanych procedur lokalizacyjnych. W przypadku dużej liczby pojazdów lokalizowanych jednocześnie (należy się z tym liczyć w sieciach gęstych) istniejąca infrastruktura sieci GSM nie zapewnia dostatecznej przepustowości łącz informacyjnych. Tym niemniej podejście takie umożliwia określenie w pewnym zakresie i z pewną dokładnością funkcji oporu przestrzeni dla każdego punktu  $x$ ,  $y$  w przestrzeni fizycznej miasta (sieci transportowej). Można również próbować dobierać próby reprezentatywne w takiej sieci stosownie do przepustowości systemów informacyjnych w sieci GSM.

Kwestia poszukiwania z wykorzystaniem technologii GSM jakiegoś ekwiwalentu funkcji oporu przestrzeni typu 3D powinna być w kolejnym kroku skojarzona z postulowanym dążeniem do kształtowania sieci transportowej w postaci jak najbardziej zbliżonej do stanu pożądanego. Podstawą opracowania metodyki w tym przypadku jest więc porównanie dwóch trójwymiarowych funkcji gęstości. Warto podkreślić, że z zastosowaniem wykorzystania systemu GSM będzie wiązało się obserwowanie wartości funkcji oporu dla użytkowników również poza elementami infrastruktury liniowej i punktowej transportu. W dalszej kolejności procedura korygowania sieci transportowej na stan pożądaný może dotyczyć np. budowania infrastruktury w miejscach o dużym oporze ( $=0$ ), w których dotychczas ona nie występowała. Szersze omówienie problemu przekracza ramy tego referatu. Możliwości korelowania obrazów trójwymiarowych funkcji obrazujących infrastrukturę transportu i analogicznych funkcji obrazujących opór przestrzeni jest wiele. Kryterium może być różnica pomiędzy obserwowanymi wartościami:

$$\Delta^{bud} = f_{xyz}^{inf} - f_{xyz}^r \quad dla \quad f_{xyz}^r / f_{xyz}^{inf=0} \neq 0 \quad (4)$$

$$\Delta^{mod} = f_{xyz}^{inf} - f_{xyz}^r \quad dla \quad f_{xyz}^r / f_{xyz}^{inf>0} \neq 0 \quad (5)$$

Równanie (4) określa kryteria budowy nowych elementów infrastruktury liniowej i punktowej transportu, z kolei równanie (5) określa warunki modernizacji istniejących elementów infrastruktury. W praktyce uśredniając wartości funkcji oporu w koordynatach  $x, y, z$ , należy oczekiwać, że wartości równe zero będą niezmiernie rzadkie (miejsca, w których absolutnie nikt nie bywa). Problem jest szeroki i wymaga określenia szeregu procedur szczegółowych, jak chociażby nadawania wag odpowiednim elementom infrastruktury w powiązaniu z istniejącą organizacją i sterowaniem w ruchu drogowym. Schemat postępowania może polegać na budowie w pierwszym rzędzie kilku trójwymiarowych funkcji oporu (warstw) opisujących infrastrukturę sieci transportowej. Wynika to chociażby z faktu, że w sieci mogą występować drogi dwupoziomowe. Może również występować



pować zmienna organizacja ruchu bądź sterowanie dla tych samych elementów infrastruktury transportu. Podobnie dla obszaru analizy zestawianych powinno być kilka warstw oporu na bazie pomiarów pojedynczych charakterystyk dla członków populacji bądź próby reprezentatywnej. Istota sprowadza się zawsze do korelacji mniejszej lub większej liczby takich warstw w zależności od rozwiązywanego problemu. Można oczekiwać, że proponowana koncepcja spowoduje „dryf” sieci infrastruktury w kierunku stanu pożądanego przez jej użytkowników.

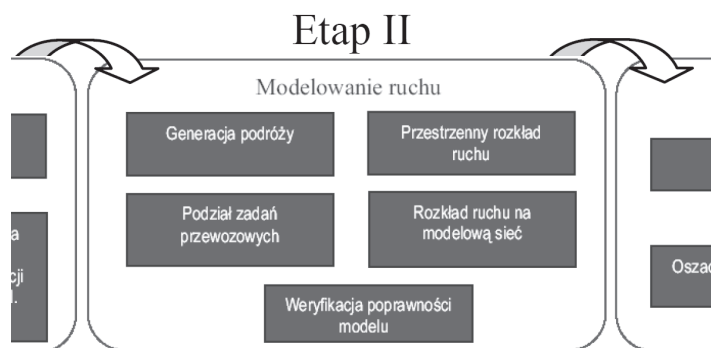
## 8. Wnioski i uwagi końcowe

W artykule zaprezentowana została wyłącznie pewna koncepcja opracowania funkcji oporu przestrzeni typu 3D z uwzględnieniem wymiaru pionowego przemieszczeń z jednoczesnym uwzględnieniem wariacji jej wartości w płaszczyźnie sieci drogowej (stan pożądaný modelu ruchu). Przedstawione dane nie roszczą sobie charakteru badań statystycznych (próbą z przyczyn obiektywnych jest bardzo mała). Zamiarem autorów było zweryfikowanie pewnych możliwych kierunków eksploracji obszarów badawczych w celu poszukiwania zasadnych modeli ruchu. Dotychczas poszukiwanie optymalnego modelu ruchu nie było możliwe z powodu braku technologii zdolnej do poszukiwania takiego rozwiązania w przestrzeni możliwych realizacji. Pojawienie się na rynku i upowszechnienie takich technologii, jak GSM i GPS, stwarza realne podstawy dla urzeczywistnienia tej koncepcji. Możliwość zbadania przemieszczeń praktycznie w odniesieniu do pojedynczych osobników całej populacji powoduje, że możliwe staje się wyznaczanie oporów przestrzeni trójwymiarowych z dokładnością do pojedynczych punktów obszaru analizy. Problemem jest wdrożenie techniczne takiej koncepcji w praktyce z uwagi na uwarunkowania infrastrukturalne sieci GSM. W przypadku pomyślnego wdrożenia takich metod badań funkcji oporu przestrzeni otwierają się nowe horyzonty w przedmiocie modelowania ruchu w sieciach transportowych. Wynika to z faktu, że metody te ze swej natury stanowią asumpt do konstrukcji dynamicznych modeli ruchu. Tylko takie modele mogą sprostać wzrastającej dynamice zmian w zakresie czynników społeczno-gospodarczych współczesnych społeczeństw.

Proponowana koncepcja sprowadza się do próby niwelowania różnic pomiędzy stanem pożądanym systemu transportowego, a jego stanem istniejącym. Z oczywistych względów granicą tych zmian jest podstawowy układ infrastruktury liniowej transportu. Czy jednak nie należy dokonywać również zmian w zakresie podstawowych liniowych elementów infrastruktury transportu? Tu być może ujawni swoje zalety podejście holistyczne proponowanej koncepcji. Oznacza to, że duża liczba drobnych zmian pozwoli uniknąć realizacji kosztownych inwestycji w podstawowe elementy infrastruktury liniowej. Jeśli tak się nie stanie, należy rozważyć na gruncie analiz ekonomicznych zasadność stosownych inwestycji liniowych. Dotychczasowe praktyki modelowania ruchu, mimo ich solidnych podstaw metodo-

logicznych, sprowadzać się będą do powstawania dalszego rozdźwięku pomiędzy tym, co jest, a tym, co mogłoby być nazywane dobrą infrastrukturą transportu.

Jak proponowana metodyka, a w zasadzie pewne zmiany do już istniejącej wpływa na tok budowy modeli ruchu? Dotychczas stosowana metodyka zaprezentowana została za pracą [9] na rysunku 12 (przykład skonstruowany na bazie wytycznych Niebieskiej Księgi). Wyraźnie zwracają uwagę dwa bloki procesu modelowania ruchu: rozkład przestrzenny ruchu oraz rozkład ruchu na modelowaną sieć drogową (transportową). W rozkładach używa się odpowiednio funkcji oporów międzyrejonowych (przestrzenny rozkład ruchu na rys. 13) oraz oporów dla odcinków drogowych analizowanej sieci (rozkład ruchu na modelowaną sieć rys. 13). W aspekcie problemów omawianych w artykule należy proces ten zmodyfikować o elementy związane z określeniem funkcji oporu typu 3D (wariantowanej z uwagi na dobór do próby reprezentatywnej) oraz zmodyfikowane zgodnie z wartościami przemieszczeń wertykalnych w próbie.

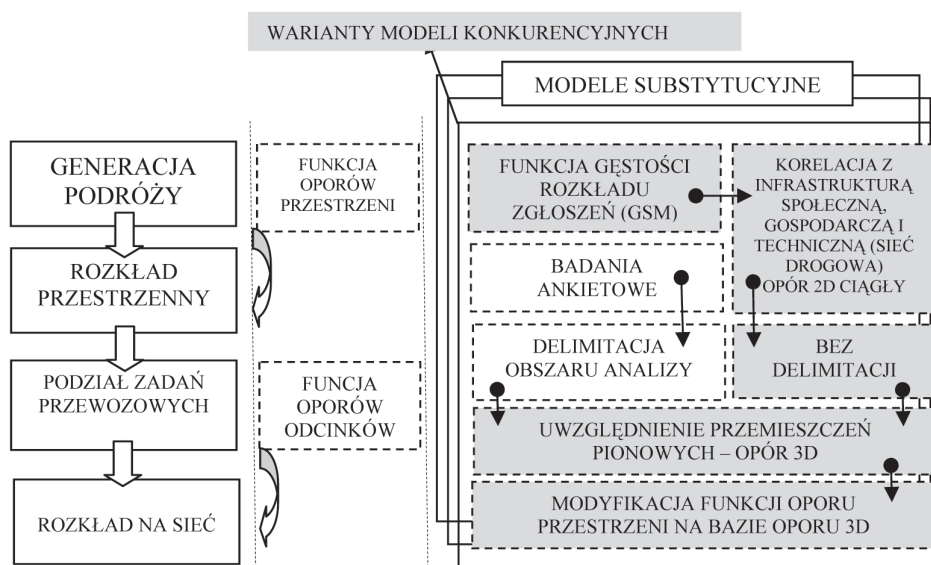


Rys. 13. Proces modelowania ruchu

Źródło: Karoń G., Łazarz B. [9]

Omawiane w artykule zmiany dotyczą przestrzennego rozkładu ruchu. Na rysunku 14 przedstawiono schemat blokowy budowy modelu ruchu zmodyfikowany o postulowane elementy. Wprowadzono na etapie przestrzennego rozkładu ruchu wartości funkcji oporu 3D.

Postulowane zmiany umożliwiają uwzględnienie w modelowaniu ruchu rzeczywistej zmienności obszarowej w zakresie oporu przestrzennego. Uwzględniane dotychczas opory międzyrejonowe, zwłaszcza dla dużych powierzchni takich jednostek, nie oddają dobrze charakterystyk przemieszczeń w całej sieci drogowej (transportowej). W jednym rejonie komunikacyjnym mogą występować skrajnie odmienne charakterystyki oporów międzyrejonowych (rzeczywistych odniesionych do fizycznych punktów lokalizacji w sieci) dla tego samego rejonu docelowego podróży (mimo to charakteryzowane jedną wielkością). Dotychczasowa specyfika modelowania pomija przemieszczenia wertykalne, które jak pokazano, zwłaszcza dla gęstej sieci transportowej i dla transportu indywidualnego, mogą mieć istotne znaczenie.



Rys. 14. Postulowane zmiany w procesie modelowania ruchu

Źródło: opracowanie własne.

Kolejną kwestią jest podział zadań przewozowych, który może być uwzględniony na etapie budowy funkcji oporu 3D, a więc wprowadzony do rozkładu przestrzennego. Na wartości tego oporu w proponowanej metodyce wpływają wszak czasy dojścia i odejścia do konkretnych środków transportu. Jest to głównie problem techniczny dekompozycji przedmiotowych danych w oparciu o funkcjonalności sieci GSM. Z drugiej strony sama możliwość technicznej realizacji pozyskiwania dynamicznie danych ruchowych w sieci GSM sprawić może, że znane będą w czasie zbliżonym do rzeczywistego charakterystyki międzywęzłowe każdego odcinka w sieci, co sprawia, że jakiegokolwiek modelowanie statyczne stanie się nieatrakcyjne z punktu widzenia jakości uzyskiwanych danych.

Zarządzanie mobilnością definiowane w ramach projektu konsorcjum EPOMM nakierowane jest głównie na wskazywanie środków zarządzania mobilnością (moduł Max Explorer) [7]. Działania takie sprowadzają się głównie do pragmatycznych aspektów realizacji stawianych w tym zakresie celów ogólnych i szczegółowych w odniesieniu do istniejącej podaży w sieci transportowej (głównie w bezpośrednim otoczeniu beneficjenta). Ewentualnie rozpatrywane są środki, których wdrożenie jest stosunkowo proste z punktu widzenia beneficjenta. W aspekcie artykułu w planach zarządzania mobilnością wskazać należy skuteczne środki tych działań przy jednoczesnym przekroczeniu horyzontów potrzeb i możliwości beneficjentów odpowiednich projektów celowych. W tym aspekcie zarządzanie mobilnością powinno dotyczyć sieci transportowej pojmowanej holistycznie nie tylko z punktu widzenia poszczególnych interesariuszy.

## Bibliografia

- [1] Bauer M., Klimontowska N., Wykorzystanie techniki GPS w badaniu zachowań pasażerów komunikacji zbiorowej. Zeszyty Naukowo-Techniczne Stowarzyszenia Inżynierów i Techników Komunikacji, zeszyt 153, Modelowanie podróży i prognozowanie ruchu, Kraków 2010, s. 9-22.
- [2] Bauer M., Szalkowski M., Propozycje zmian układu linii transportu zbiorowego w Krakowie. Transport Miejski i Regionalny 9/2012.
- [3] Brzeziński A., Zrównoważony rozwój systemów transportowych miast i aglomeracji w kontekście rosnącej mobilności. Transport Miejski i Regionalny 1/2011, s. 9-12.
- [4] Celiński I., Sierpiński G., Absorpcyjno-desorpcyjny model ruchu w logistyce miejskiej. Logistyka – Nauka nr 3/2012, s. 267-275.
- [5] Celiński I., Sierpiński G., Możliwości wykorzystania architektury systemów GSM w modelowaniu, planowaniu i obsłudze transportu publicznego i prywatnego w obszarach zurbanizowanych. Logistyka – Nauka nr 6/2011, s. 401-408.
- [6] Celiński I., The use of travel impedance function in traffic flow modelling. [in:] Janecki R., Krawiec S., Sierpiński G. (Ed.): Contemporary transportation systems. Selected theoretical and practical problems. The transportation as the factor of the socio-economic development of the regions. Publishing House of Silesian University of Technology, Gliwice 2012, pp. 173-185.
- [7] Faron A., Rudnicki A., Idea i narzędzia unijnego projektu MAX mającego na celu podniesienie świadomości potrzeby zarządzania mobilnością. TMiR 1/2010.
- [8] Jastrzębski W. P., Funkcje oporu odcinka. V Konferencja Naukowo-Techniczna: Transport a rozwój zrównoważony. Poznań 17-19 maja 2005.
- [9] Jastrzębski W., Marganec M., Suchorzewski W., Modelowanie ruchu w wycinku sieci ulic przy zastosowaniu pakietu programów QRS, [w:] Tracz M. (red.): Modelowanie procesów ruchu. Zeszyt Naukowy Politechniki Krakowskiej, Kraków 1990.
- [10] Karoń G., Łazarz B., Wybrane zagadnienia budowy modelu ruchu. Międzynarodowa Konferencja Naukowa „Transport XXI wieku”, Białowieża 21-24 września 2010.
- [11] Kmiec B., Mokrzański M., GPS jako narzędzie monitorowania podróży w miastach. Zeszyty Naukowo-Techniczne Stowarzyszenia Inżynierów i Techników Komunikacji, zeszyt 153, Modelowanie podróży i prognozowanie ruchu, Kraków 2010, s. 129-146.
- [12] Kucharski R., Metoda detekcji cellular floating data – możliwości i perspektywy. Zeszyty Naukowo-Techniczne Stowarzyszenia Inżynierów i Techników Komunikacji, zeszyt 148, Modelowanie podróży i prognozowanie ruchu, Kraków 2009, s. 143-153.

- [13] Leszczyński J., Modelowanie systemów i procesów transportowych. Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa 1994.
- [14] Metoda budowy baz danych o drogowym ruchu miejskim. Poradnik metodyczny. Zeszyty Naukowo-Techniczne Oddziału Stowarzyszenia Inżynierów i Techników Komunikacji w Krakowie, seria: Monografie, nr 7 (zeszyt 80), Kraków 2000.
- [15] National Household Travel Survey User's Guide. U.S. Department of Transportation Federal Highway Administration, February 2011.
- [16] Niebieska Księga. Sektor transportu publicznego. JASPERS. Nowe Wydanie, Wersja 1.0, wrzesień 2008.
- [17] Praca naukowo-badawcza NB-67/RT5/2009: Karoń G., Janecki R., Sobota A., Celiński I., Krawiec S., Macioszek E., Pawlicki J., Sierpiński G., Zientara T., Żochowska R., Program inwestycyjny rozwoju trakcji szynowej na lata 2008 ÷ 2011. Analiza ruchu.
- [18] Puławska S., Starowicz W., The estimation of the accessibility of public transportation systems of selected cities [in:] Janecki R., Krawiec S., Sierpiński G. (Ed.): Contemporary transportation systems. Selected theoretical and practical problems. The transportation as the factor of the socio-economic development of the regions. Publishing House of Silesian University of Technology, Gliwice 2012, pp. 115-130.
- [19] Rashid O., Coulton P., Edwards R., Implementing Location Based Information/Advertising for Existing Mobile Phone Users in Indoor/Urban Environments. IEEE Proceedings of the 4th International Conference on Mobile Business (ICMB'05), Sydney, Australia, 2005, pp. 377-383.
- [20] Richter U. et al., Location-based Services: Konkurrenz durch lizenzfreie Alternativen. VDE Kongress 2004, Berlin, Germany, 2004, pp. 65-70.
- [21] Route 66 Dining & Lodging Guide – 15th Edition. National Historic Route 66 Federation 2011.
- [22] Rutten B., van der Vlist M., de Wolff P., GSM as the source for traffic information. European Transport Conference 2004.
- [23] Rynek komórkowy po II kw. 2010. [www.telix.pl](http://www.telix.pl) (odsłona 18.05.2012).
- [24] Samsioe J.; Samsioe A., Competitor Analysis in the Location Based Service Industry. IEEE-Proceedings of First International Conference on Mobile Business (ICMB'02), Athens, Greece, 2002.
- [25] Schiller J.; Voisard A., Location-based services. Morgan Kaufmann Publishers, San Francisco, USA, 2004.
- [26] Shvetsov V.I., Mathematical Modeling of Traffic Flow; Automation and Remote Control, Vol.64, No.11, 2003.
- [27] Sierpiński G., Celiński I., Use of GSM Technology as the Support to Manage the Modal Distribution in the Cities. In: Subic A., Wellnitz J., Leary M., Koopmans L. (Eds.): Sustainable Automotive Technologies 2012. Springer, Heidelberg 2012, pp. 235-244.

- [28] Sierpiński G., Celiński I., Koncepcja użycia technologii sieci GSM do identyfikacji przemieszczeń w miastach. *Logistyka – Nauka* nr 6/2011, s. 2663-2669.
- [29] Sierpiński G., Zachowania komunikacyjne osób podróżujących a wybór środka transportu w mieście. *Prace Naukowe Politechniki Warszawskiej, seria Transport* z. 84, Analiza i badania systemów transportowych i ich elementów, Warszawa 2012, s. 93-106.
- [30] Starowicz W., Rudnicki A., Janecki R. (red.), *Kompleksowe Badania Ruchu w Katowicach i Siemianowicach Śląskich. Zeszyty Naukowo-Techniczne Oddziału Stowarzyszenia Inżynierów i Techników Komunikacji w Krakowie.* z. 73, Kraków 1999.
- [31] Szarata A., Modelowanie symulacyjne ruchu wzbudzonego i tłumionego, *Transport Miejski i Regionalny*, 3/2010.
- [32] Szarata A., O celowości zastosowania wnioskowania rozmytego w modelowaniu zachowań komunikacyjnych. *Zeszyty Naukowo-Techniczne Stowarzyszenia Inżynierów i Techników Komunikacji*, zeszyt 148, Modelowanie podróży i prognozowanie ruchu, Kraków 2009, s. 235-249.
- [33] Tarumi H.; Matsubara K.; Yano M., Implementations and Evaluations of Location-Based Virtual City System for Mobile Phones. *Proceedings of the IEEE Global Telecommunications Conference Workshops*. Dallas, USA, 2004, pp. 544-547.
- [34] *Travel Survey Manual, Travel Model Improvement Program*, Prepared by Cambridge Systematic, Inc., for U. S. Department of Transportation and U.S. Environmental Protection Agency, July 1996.
- [35] Ule A., Boucherie R.J., Adaptive dynamic channel borrowing in road-covering mobile networks. Faculty of Mathematical Sciences, University of Twente, University for Technical and Social Sciences, October 2001.
- [36] Valerio D., Road Traffic Monitoring from Cellular Network Signaling. FTW-TR-2009-003, No. of Pages: 48. March 2009.
- [37] Żochowska R., Karoń G., Macioszek E., Wyznaczanie macierzy podróży w sieciach miejskich – klasyfikacja i przegląd metod. *Zeszyty Naukowo-Techniczne Stowarzyszenia Inżynierów i Techników Komunikacji*, zeszyt 153, Modelowanie podróży i prognozowanie ruchu, Kraków 2010, s. 327-349.
- [38] Żochowska R., Modele wyboru drogi wykorzystywane w budowie dynamicznych macierzy podróży. *Logistyka – Nauka* nr 4/2011, s. 1026-1036.
- [39] Żochowska R., Modelowanie wyboru trasy w gęstych sieciach miejskich. *Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej Nr kol. 1836, seria Transport*, z. 71, Gliwice 2011, s.97-109.
- [40] Źródło internetowe: <http://www.silesiacitycenter.com.pl/2037.html>