

DYLEMATY I BŁĘDY W MODELACH I PROGNOZACH RUCHU

Wacław Jastrzębski

mgr inż., URS Polska Sp. z o.o., ul. Rejtana 17, 02-516 Warszawa, tel.: +48 22 427 3700 wew. 220, e-mail: wacław.jastrzebski@Urs.com

Streszczenie: Artykuł zawiera omówienie podstawowych dylematów i błędów na jakie można się natknąć lub jakie można popełnić na różnych etapach budowy modelu ruchu. Opiera się na 30 letnim doświadczeniu w budowie modeli ruchu różnej skali dla różnych środków transportu.

Słowa kluczowe: Modelowanie ruchu, prognozy ruchu

1. Wprowadzenie

Model ruchu w największym skrócie jest to sekwencja funkcji matematycznych wraz z ich parametrami pozwalająca na przekształcenie informacji o zagospodarowaniu przestrzennym oraz informacji o systemie transportowym na informacje o wielkości i warunkach ruchu na sieci transportowej. Model taki pozwala na sprawdzenie, jak będą zmieniały się warunki ruchu w sieci drogowej i transportu zbiorowego na skutek zmian w zagospodarowaniu przestrzennym czy zmian w sieci transportowej.

Te same funkcje matematyczne i ich parametry mogą być wykorzystane w różnych programach do modelowania ruchu – CUBE, EMME, Saturn czy VISUM a wcześniej były wykorzystywane w takich programach jak UTPS czy Aprom.

Naturalną tendencją każdego twórcy modelu jest uwzględnienie wszystkich możliwych czynników wpływających na wyniki. Z drugiej strony trudność w dostępie do wiarygodnych danych oraz ograniczenia w czasie przeznaczonym na budowę modelu powodują konieczność stosowania uproszczeń i generalizowania pewnych zjawisk. Istotne są też oczekiwania klienta. Bardzo często występuje silna presja na wykazanie efektywności planowanych inwestycji w rozwój sieci, mimo że obliczenia modelowe niekoniecznie to potwierdzają. Nacisk ten powoduje, że niekiedy stosuje się parametry sztucznie zwiększające oszczędności czasu czy liczbę pasażerów korzystających z planowanej inwestycji.

W artykule przedstawiono problemy, z którymi autor zetknął się w trakcie prac nad modelami ruchu dla miast, regionów i państw, w Polsce i za granicą, zarówno w trakcie ich budowy, jak i analizy modeli tworzonych przez innych autorów. W artykule świadomie nie podano pełnej bibliografii – autorowi chodzi o wska-

zanie pewnych problemów i zjawisk, bez krytykowania kogokolwiek. Należy też dodać, że wiele z opisywanych błędów autor miał szansę popełnić osobiście przez 30 lat pracy z wykorzystaniem matematycznych modeli ruchu.

2. Dane o ruchu vs wyniki modelu

Bardzo często jako element badań ruchu na potrzeby tworzenia modelu zlecane jest wykonanie serii pomiarów natężeń ruchu i potoków komunikacji publicznej. Bardzo szczegółowo definiowane są okresy doby i miejsca wykonywania pomiarów. Dodatkowo stawiane są bardzo szczegółowe wymogi zgodności wielkości uzyskanych w modelu z wielkościami pomierzonymi. Nie zwraca się natomiast uwagi na sezonowe wahania ruchu. Wahania te występują zarówno jeśli chodzi o wielkości ruchu, jak i o kierunkowość.

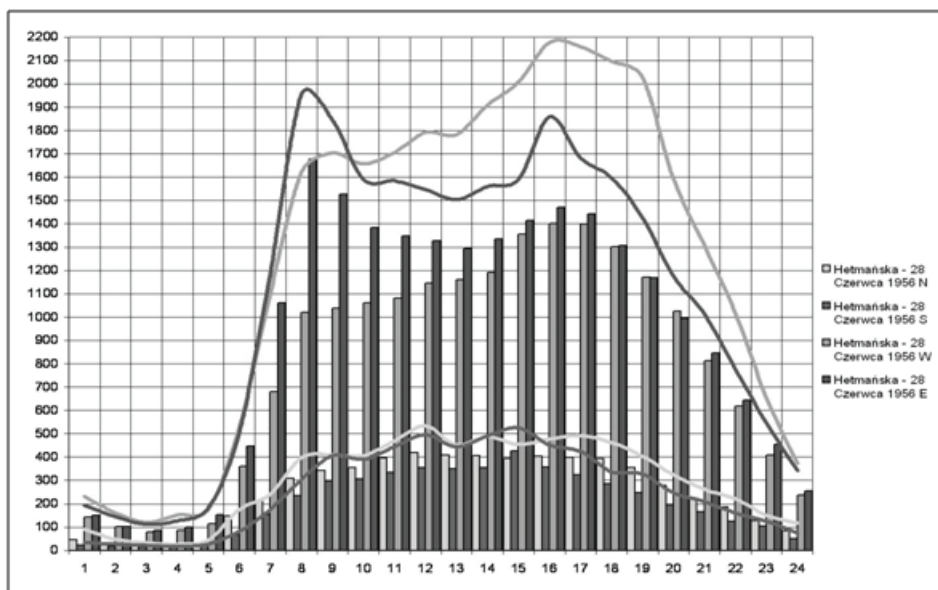
Skrajnym przykładem takiej niefrasobliwości był SIWZ na plan rozwoju systemu transportowego dla znanej nadmorskiej miejscowości wypoczynkowej. Ze specyfikacji wynikało, że pomiary i badania ruchu należy przeprowadzić w grudniu. Wartość tych pomiarów dla planów usprawnienia transportu w sezonie wakacyjnym jest znikoma. Model ruchu nawet zgodny w 100% z pomiarami nie będzie miał także żadnej wartości przy ocenie proponowanych rozwiązań.

W chwili obecnej coraz szerzej stosowane są systemy sterowania ruchem pozwalające na dostosowywanie sterowania ruchem do jego wielkości. Ubocznym (z punktu widzenia osób zajmujących się zarządzaniem ruchem) produktem takich systemów jest możliwość gromadzenia danych o natężeniach ruchu. Pozwala to na uzyskanie informacji o średnich potokach ruchu na odcinkach w średni dzień roboczy w poszczególnych godzinach oraz wahaniami tych wielkości. Niestety, znane autorowi funkcjonujące systemy sterowania nie zapewniają systemu regularnego gromadzenia danych w jednolitym formacie, nie wspominając już o przetwarzaniu i syntetyzowaniu tych danych. Na rysunku poniżej przedstawiono przetworzone z wykorzystaniem narzędzi bazodanowych wyniki pomiarów z systemu sterowania ruchem dla jednego ze skrzyżowań w Poznaniu [2]. Na rysunku pokazano wartości średnie dla dni roboczych (wtorek, środa, czwartek) i wartości maksymalne. Zarejestrowane badania obejmowały okres kilku miesięcy.

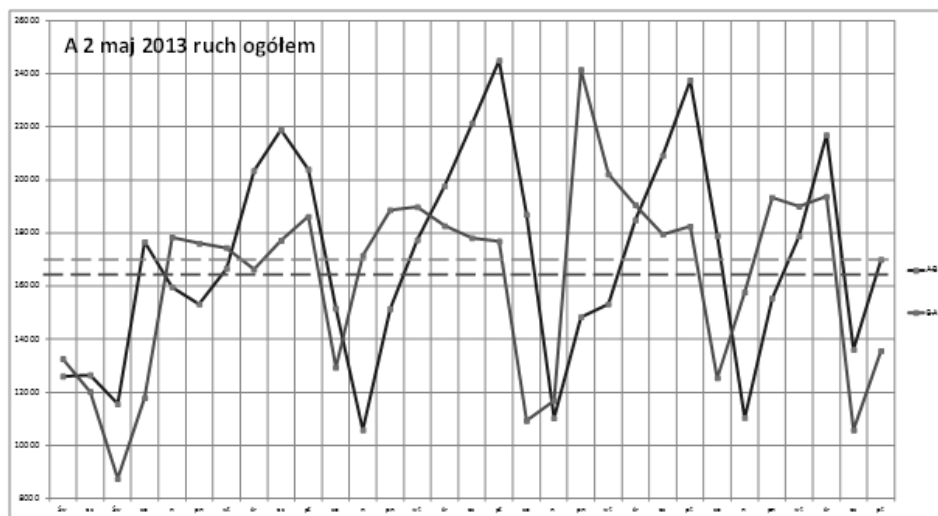
Średni ruch w godzinie szczytu na jednym z wlotów to ruch rzędu 1400 pojazdów na godzinę. Maksymalny ruch zarejestrowany to ok. 2200. Znacząco różne będą wyniki analiz w modelu zgodnego z ruchem średnim i ruchem maksymalnym.

Podobne zjawiska występują na drogach pozamiejskich. Na rysunku poniżej pokazano natężenie ruchu uzyskane ze stacji pomiarów ciągłych na obwodnicy Poznania. Struktura kierunkowa ruchu, w zależności od dnia tygodnia, różni się nawet o 30%. Autor w swojej karierze zawodowej wielokrotnie spotkał się z zarzutami, że wyliczenia modelowe są do niczego, bo Zleceniodawca pojechał, pomierzył ruch przez 2 godziny, pomnożył wynik przez 12 i ruch dobowy wyszedł mu inny niż z modelu. Przy tak znaczących różnicach w strukturze kierunkowej

ruchu pomiary jednodniowe **nie mogą** stanowić podstawy do stwierdzenia czy model, obrazujący umowny średni dzień czy średni dzień roboczy jest poprawny czy niepoprawny.



Rys. 1. Średnie i maksymalne natężenia ruchu na wlotach na skrzyżowanie
Źródło: opracowanie własne na podstawie danych UM Poznań



Rys. 2. Ruch dobowy na A2 w podziale na kierunki
Źródło: opracowanie własne na podstawie danych GDDKiA

Osobną klasą problemu jest wiarygodność klasyfikacji pojazdów. Na ogół nie zastanawiamy się nad tym, czy dane uzyskane z urządzeń pomiarowych są wiary-

godne – pomiar to pomiar. W zeszłym roku autor miał okazję uczestniczyć w sporze, którego przedmiotem były dane o ruchu w podziale na kategorie uzyskiwane z urządzeń pomiarowych administrowanych przez różne podmioty. Wskazania udziału ruchu ciężkiego różniły się w sposób istotny. Co więcej, urządzenia zamontowane przez jeden podmiot na odcinku drogi i łącznicach węzła dawały znacząco różne wyniki w liczbie pojazdów różnych kategorii. **Należy krytycznie podchodzić do wyników pomiarów automatycznych, szczególnie jeśli chodzi o podział na kategorie pojazdów.**

Podobne zastrzeżenia można mieć do pomiarów w transporcie zbiorowym. Kilka lat temu autor otrzymał jako materiał wejściowy do modelu ruchu dla jednego z miast w Polsce wyniki pomiarów ruchu w miejskiej komunikacji zbiorowej. Było to grube tomiszczce zawierające wyniki przeprowadzonych jednego dnia pomiarów ruchu na wszystkich liniach i kursach we wszystkich środkach transportu publicznego. Można się było dowiedzieć, że w trakcie kursu N linii X na przystanku A wsiadły 2 osoby a wysiadła 1. Wyniki były dostępne nawet w formie *.xls, natomiast ich format był ustawiony tak, aby ułatwiało to drukowanie tabel, natomiast nijak nie pozwalało na łatwe przetwarzanie bazodanowe i uzyskanie informacji na pewnym stopniu agregacji – np. potoków godzinowych na odcinkach. Można też przypuszczać, że pomiary przeprowadzone innego dnia pozwoliłyby na uzyskanie innych wyników. Ktoś złośliwy po stwierdzeniu, że w trakcie kursu N linii X na przystanku A wsiadła 1 a wysiadły 2 osoby mógłby stwierdzić, że błąd pomiaru wynosi 100%. Miasto wykonywało takie pomiary cyklicznie. Zdaniem autora wydaje się sensowniejszym po dokonaniu pojedynczego pomiaru wytypowanie miejsc newralgicznych i prowadzenie tam pomiarów stałych zamiast sprawdzania raz na jakiś czas czy na peryferyjnym przystanku wsiada jedna czy dwie osoby.

Do ocen poprawności modelu należałoby porównywać wyniki modelu z natężeniami średnimi z dopuszczalnym granicami błędu proporcjonalnym do odchyień standardowych od wartości średnich. Dotyczy to zarówno ruchu pojazdów, jak i potoków pasażerów transportu publicznego. Nowoczesne systemy ITS pozwalają na zbieranie danych o ruchu w sposób ciągły. Konieczne jest jednak uwzględnienie konieczności gromadzenia i agregacji danych na etapie budowy systemu. Konieczna jest także stała kalibracja automatycznych urządzeń pomiarowych.

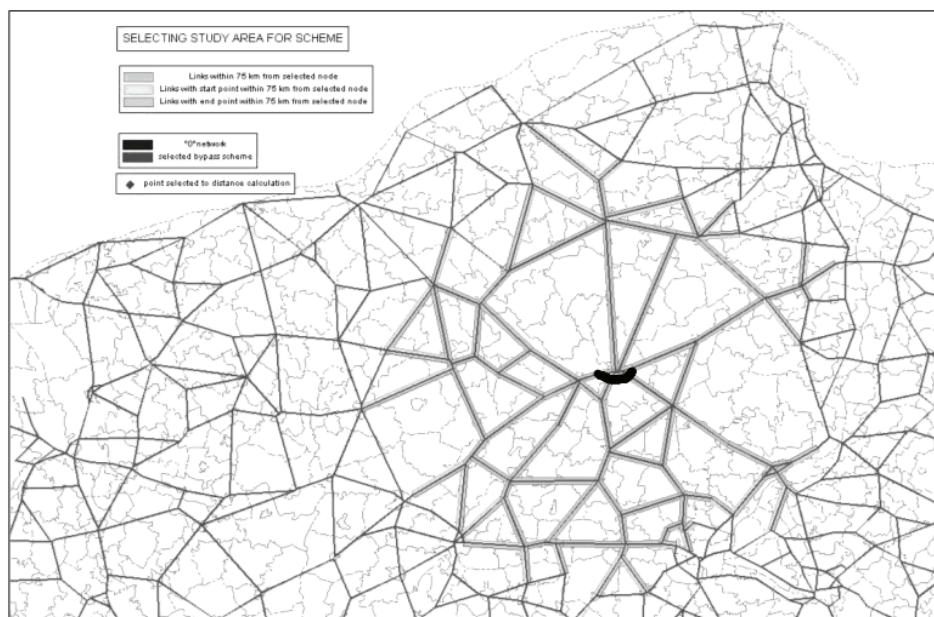
3. Zasięg opracowania

Kolejnym problemem, który powinien być rozstrzygnięty jest zasięg opracowania. Jak na sytuację na analizowanym odcinku drogi, trasie komunikacji publicznej czy obszarze wpływa jego otoczenie. Jak daleko sięga wpływ danej trasy, jaki jest rozmiar aglomeracji?

Wydaje się oczywiste, że model ruchu dla dużego miasta powinien obejmować samo miasto w granicach administracyjnych i wszystkie gminy przy-

ległe. Trudno sobie wyobrazić model ruchu dla Gdańska bez analizy całego Trójmiasta i przyległych powiatów. To samo dotyczy GOP-u. Jest to jeden organizm miejski, w którym granice administracyjne nie mają żadnego znaczenia z punktu widzenia transportu.

Zawsze pojawia się pytanie, jak duży obszar powinien być objęty analizami. W roku 2004 firma Scott Wilson (obecnie URS) wykonywała na rzecz GDD-KiA opracowanie [4]. W ramach tego opracowania tworzony był model analiz dla różnych inwestycji drogowych. Między innymi analizowano korzyści wynikające z budowy obwodnic miejscowości. Konieczne było określenie, jaki jest zasięg oddziaływania takiej inwestycji, w jakim promieniu można analizować korzyści w pojazdo-kilometrach i pojazdo-godzinach wynikające z budowy obwodnicy miejscowości.



Rys. 3. Zasięg oddziaływania obwodnicy

Źródło: opracowanie własne

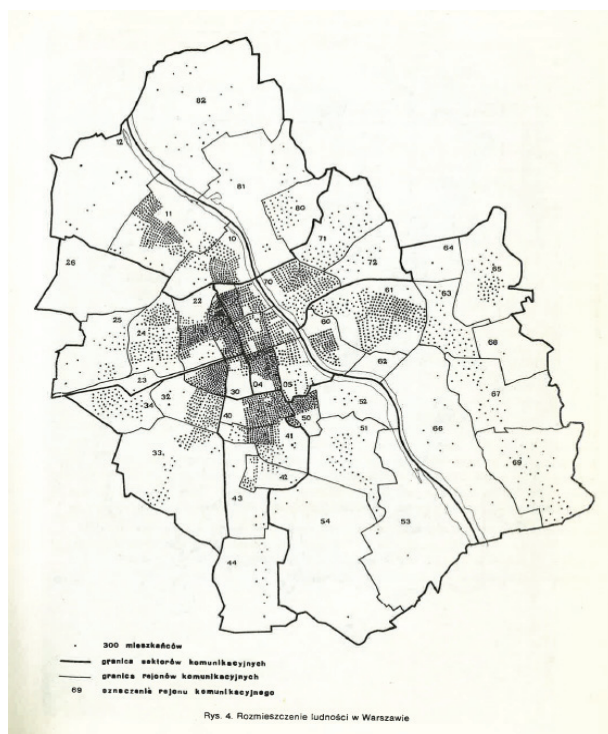
Po wielu analizach i przeliczeniach stwierdzono, że istotne zmiany w natężeniach ruchu występują w odległości do 75 km od analizowanego odcinka. Na rysunku powyżej pokazano fragment sieci z analizowaną obwodnicą. Obwodnica jest zaznaczona czarnym pogrubieniem. Ciemnoszarym pogrubieniem są oznaczone odcinki, których przynajmniej jeden koniec leży bliżej niż 75 km od krańców obwodnicy. Granica ta została określona jedynie na podstawie analiz modelowych. Pojawia się pytanie, jak ma się to do rzeczywistości. Już po kilku latach pojawiło się źródło informacji pozwalające śledzić zmiany ruchu ciężkiego na wielu odcinkach dróg - elektroniczny system poboru opłat (ESPO). Dane z systemu pozwalają na sprawdzenie, jak inwestycje drogowe wpływają na ruch. W trakcie analizowa-

4. Generacja ruchu

4.1. Podział na rejony komunikacyjne

Istotnym elementem modelu ruchu jest podział na rejony komunikacyjne. W sposób oczywisty mogłoby się wydawać, że im dokładniejszy podział tym lepszy model. Nie do końca jest to prawdą. Należy pamiętać, że jakość modelu zależy od jakości dostępnych danych. Niekiedy uzyskanie danych w odpowiednio drobnym podziale (np. o liczbie miejsc pracy czy np. wielkości PKB) jest bardzo trudne. Przy drobniejszym podziale konieczne jest rozszacowanie zgeneralizowanych danych, co prowadzi do błędów. Nie jest to polska specyfika – takie problemy występują na całym świecie. Pomocne w rozwiązywaniu tego problemu może być korzystanie z SIP-u (System Informacji Przestrzennej zwany też GIS). Korzystając z bazy danych PESEL i mapy adresowej można uzyskać informacje o liczbie mieszkańców w podziale na grupy wiekowe dla praktycznie dowolnego podziału na rejony komunikacyjne – takie analizy wykonywano w Warszawie.

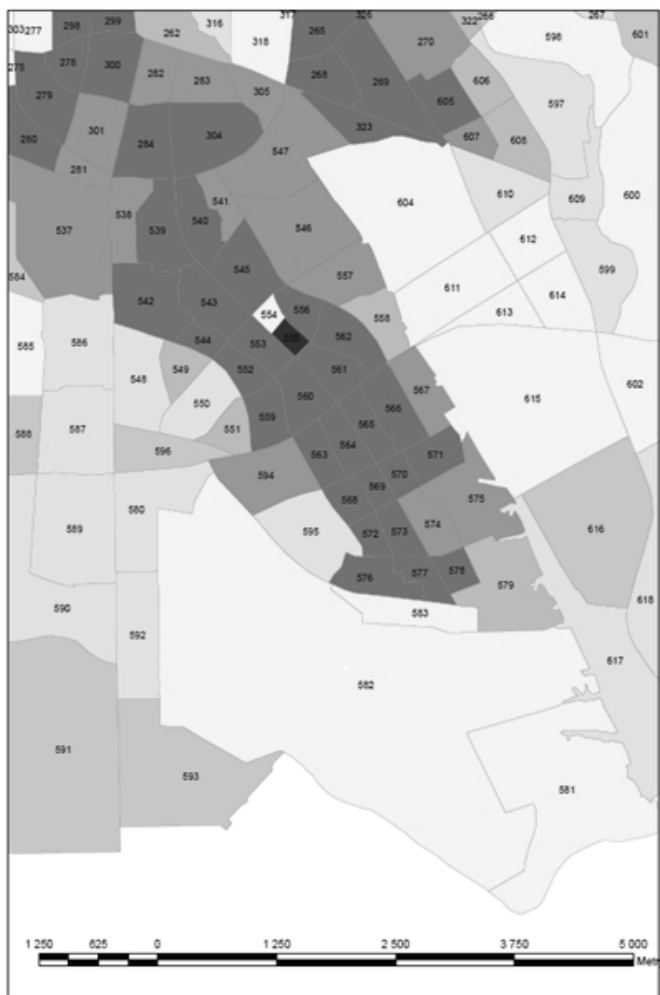
Drugim istotnym problemem, o którym należy pamiętać przy podziale na rejony jest planowany rozwój miasta. Tam, gdzie dzisiaj jest śmietnisko jutro będzie nowe osiedle czy centrum handlowe. W pierwszym KBR (Kompleksowym Badaniu Ruchu) w Warszawie w 1970 roku obszar dzisiejszego Ursynowa to był jeden rejon komunikacyjny [3]. W rejonie mieszkało 1800 osób.



Rys. 5. Podział na rejony komunikacyjne Warszawa KBR 1970

Źródło: [3]

We współczesnym modelu Ursynów to kilkadziesiąt rejonów i 130 tys. mieszkańców. Zmiany takie nastąpiły w przeciągu niecałych 20 lat. Na rysunku poniżej przedstawiono podział na rejon komunikacyjny wg danych z początku XXI wieku. Odcienie szarości pokazują gęstość zaludnienia. Dzisiaj już ten rysunek ma wartość archiwalną. Rejony 604 i 610-615 w ostatnich latach zostały intensywnie zurbanizowane. Pokazuje to tempo zmian w zagospodarowaniu przestrzennym. Jeśli rozwój systemu transportowego ma odpowiadać na zmiany zagospodarowania przestrzennego podział na rejon musi uwzględniać przewidywany rozwój obszaru.



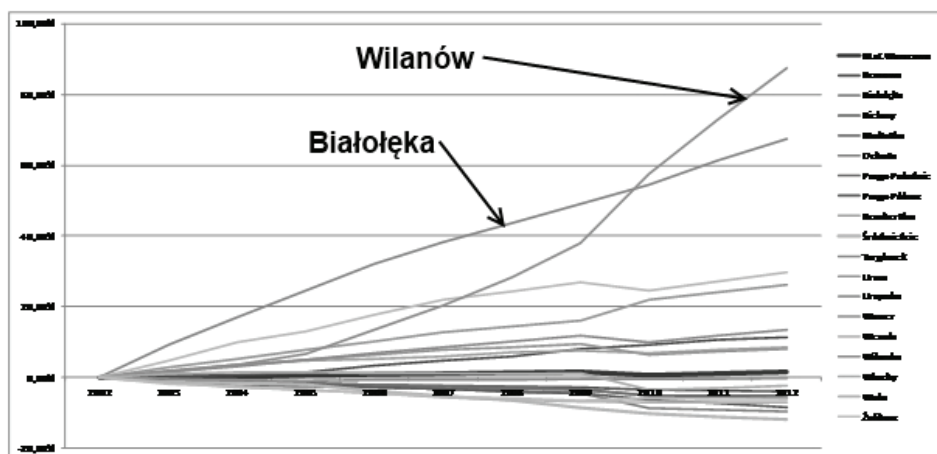
Rys. 6. Podział na rejon komunikacyjny Ursynowa

Źródło: UM Warszawy

Podział na rejon komunikacyjny musi uwzględniać istniejące i planowane zagospodarowanie przestrzenne. Musi być dopasowany do modelu sieci i uwzględniać dostępność danych.

4.2. Model generacji ruchu – dane demograficzne

Kolejnym, bardzo istotnym, zagadnieniem są wiarygodne dane demograficzno-przestrzenne. Mówiąc szerzej zarówno dane jak i model generacji ruchu. Należy zwrócić uwagę, że każda zmienna objaśniająca wykorzystana w modelu ruchu powinna zostać poddana analizie w jaki sposób zmieniać się będzie w przyszłości. Zmiany liczby mieszkańców to nie jest tylko dodanie nowych mieszkańców, tak jak to wynika np. z chłonności urbanistycznej rejonu. Trzeba pamiętać, że tylko część nowych mieszkańców to migranci z zewnątrz obszaru analizy. Pozostali to migracje wewnątrz obszaru opracowania. Inaczej mówiąc przyrost liczby mieszkańców w rejonie x w dużej części pochodzi z tego, że liczba mieszkańców w pozostałych rejonach spadła. Analizując zmiany liczby mieszkańców Warszawy w ostatnich 10 latach¹ (patrz rysunek poniżej) można zauważyć, że o ile całkowita liczba mieszkańców miasta wzrosła nieznacznie – 1,6% (27,3 tys. mieszkańców) o tyle przyrosty w niektórych dzielnicach przekraczają 50% (w wartościach bezwzględnych są to przyrosty rzędu 10-40 tys.). Te przyrosty mogą powodować konieczność zasadniczych zmian zasad obsługi transportowej różnych regionów miasta.



Rys. 7. Względne zmiany liczby mieszkańców w dzielnicach Warszawy
Źródło: BDL GUS

Należy także pamiętać, że oprócz zmian w liczbie mieszkańców zmienia się także ich struktura wiekowa. W centralnych dzielnicach szybciej przybywa emerytów, natomiast obszary rozwojowe w większym stopniu zaludniają mieszkańcy aktywni zawodowo z dziećmi. Wpływa to na rozkłady przestrzenne podróży w różnych motywacjach.

Przy omawianiu problemów na etapie generacji ruchu należy także wskazać konieczność głębokiego przemyślenia zmiennych opisujących równania generacji. Zawsze należy sobie postawić pytanie jak dana wartość będzie się zmieniać w czasie i czy jesteśmy w stanie prognozować te zmiany. Jeśli na przykład przyjmujemy

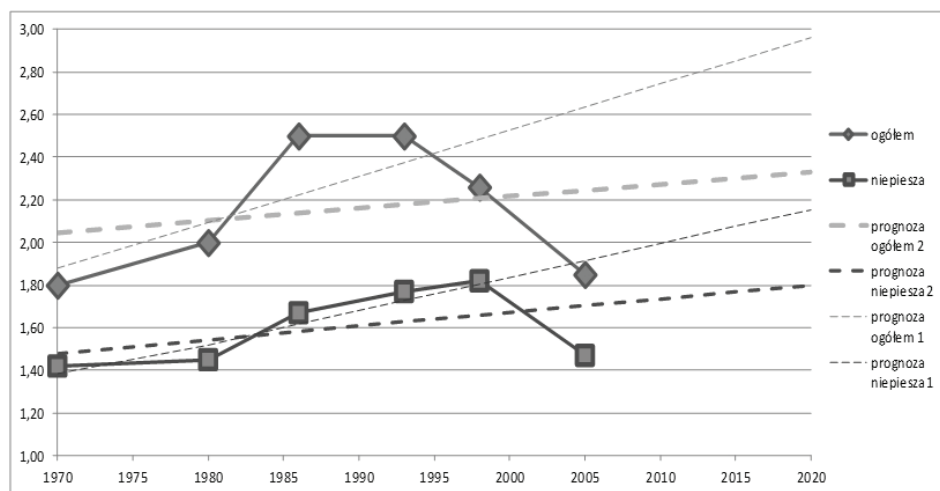
¹ Źródło http://www.stat.gov.pl/bdl/app/dane_podgrup.display ludność wg miejsca zamieszkania stan na 31 XII

jako zmienną objaśniającą liczbę gospodarstw domowych, to należy sprawdzić np. jak zmieniała się w ostatnich latach średnia wielkość gospodarstwa i czy wskaźniki przeliczeniowe mieszkańców na gospodarstwa domowe należy modyfikować w przyszłości. Jeśli chcemy uwzględnić np. liczbę szkół w rejonach, to należy rozważyć, czy na nowych osiedlach powstaną nowe szkoły, czy rodzice będą musieli wozić dzieci do innych części miasta. Można stwierdzić oczywiście, że nie jest to zmartwienie specjalisty od modeli ruchu – jeśli jednak zależy nam na wiarygodności prognoz trzeba zawsze zwrócić na to uwagę.

Każda zmienna objaśniająca modelu generacji powinna być przeanalizowana pod kątem jej zmienności w czasie i przestrzeni.

4.3. Model generacji ruchu – ruchliwość

Wielce istotnym czynnikiem definiującym liczbę podróżujących jest ruchliwość statystycznego mieszkańca. Jest to czynnik zmienny w czasie, zależny od poziomu rozwoju ekonomicznego i cywilizacyjnego. Analizy zmian ruchliwości są niezmiernie istotne przy tworzeniu modeli i sporządzaniu prognoz ruchu. Na rysunku poniżej przedstawiono zmiany ruchliwości ogółem i niepieszej statystycznego mieszkańca Warszawy począwszy od pierwszego KBR w 1970 roku.



Rys. 8. Zmiany ruchliwości ogółem i niepieszej mieszkańców Warszawy

Źródło: opracowanie własne na podstawie badań Biura Planowania Rozwoju Warszawy

Jak łatwo zauważyć ruchliwość niepiesza rosła systematycznie przez prawie 30 lat od roku 1970 do 1998. Kolejne badanie w roku 2005 wykazało spadek średniej ruchliwości. Zjawisko spadku ruchliwości wystąpiło także w innych badaniach na terenie naszego kraju. Pojawia się pytanie, czy jest to wynik błędów w badaniu czy początek trwałego trendu.

Analizując wyniki badań postawiono hipotezę, że uzyskana ruchliwość jest zaniżona ze względu na dużą liczbę odmów bądź niemożności skontaktowania się

z mieszkańcami wylosowanych lokali. Stwierdzono, że częściej odmawiają wywiadu lub trudniej zastać ich w domu, ludzie o wyższym statusie materialnym i bardziej ruchliwi.

Należy pamiętać, że zmiany demograficzne powodują, że w miastach rośnie grupa emerytów. Z drugiej strony należy pamiętać, że dzisiejsi emeryci częściej mają prawo jazdy i są bardziej ruchliwi niż kilka-kilkanaście lat temu. Na spadek ruchliwości może wpływać zmniejszenie liczby podróży po zakupy – model zakupów weekendowych. Możliwa jest także częściej praca w domu.

Z drugiej strony zakupy internetowe i usługi w domu klienta generują dodatkowe podróże usługodawców i dostawców. Szczególnie wzrost tej ostatniej kategorii – ruch kurierów i dostawców wymaga wprowadzenia dodatkowych pytań w ankietowaniu gospodarstw domowych lub prowadzeniu analiz ruchu w firmach kurierskich, co może być utrudnione w związku z niechęcią firm do ujawniania informacji traktowanych przez nie jako tajemnica handlowa.

5. Dokładność i błędy kodowania sieci

Bardzo istotnym czynnikiem jest dokładność kodowania sieci. Mówiąc obrazowo nie ma potrzeby kodowania dróg gminnych w modelu, w którym podział na rejony jest z dokładnością do powiatu – drogi gminne nie będą się w zdecydowanej większości obciążały ruchem. Dokładność i szczegółowość kodowania sieci powinna być taka sama jak dokładność pozostałych elementów modelu.

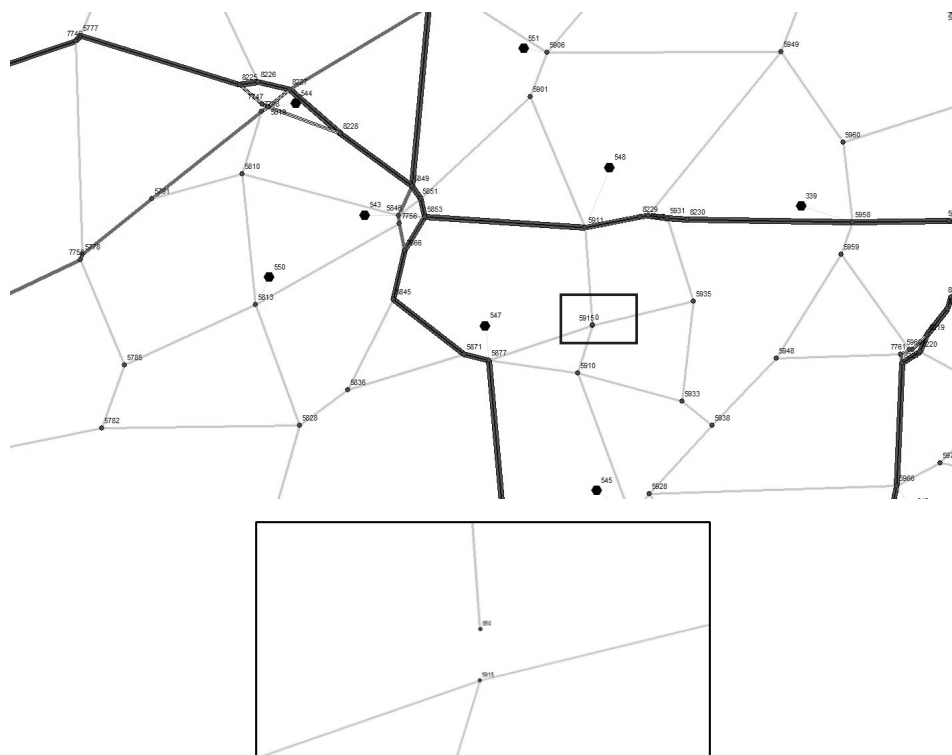
Należy także pamiętać o prostych błędach w kodowaniu sieci. W „dawnych” czasach komputerów mainframe i możliwości uzyskania rysunku sieci tylko wtedy, kiedy tydzień wcześniej zamówiło się czas na ploterze i zawiozło nagrany na taśmie rysunek sieci do jednego z dwóch ośrodków w Warszawie, gdzie można było wykonać rysunek, najgroźniejsze były czeskie błędy. Autor nigdy nie zapomni swojego przerażenia, gdy odkrył, że jeden z dużych generatorów ruchu na północy Warszawy zamiast do węzła sieci 1236 w pobliżu jest podłączony do węzła 1326 na południu miasta. Na szczęście dziś, kiedy kodowanie sieci odbywa się z użyciem edytorów graficznych tego typu błędy są mało prawdopodobne.

Dużą uwagę należy zwrócić na niepowtarzalność numeracji węzłów przy łączeniu danych wektorowych pochodzących z różnych źródeł (np. budowa modelu regionalnego przez połączenie sieci regionu ze szczegółową siecią miasta).

Możliwe są nieciągłości w sieci wynikające z nakładania się lub bliskiego położenia węzłów – patrz przykład poniżej.

Innym błędem, który jest groźny przy przenoszeniu sieci z jednego oprogramowania do drugiego, jest nieuwzględnienie współczynnika skali do przeliczania jednostek układu współrzędnych na długości odcinków. Przy złym ustawieniu współczynnika skali nagle pojawiają się odcinki o długości kilku tysięcy kilometrów. Rozwiązaniem tego typu problemów jest stworzenie procedur kontroli sieci. Powinny one sprawdzać, czy w sieci nie ma węzłów o tych samych współrzędnych

(tych samych z odpowiednią tolerancją). Powinny także sprawdzać, czy zakodowana długość odcinka jest równa długości wyliczonej ze współrzędnych jego końców (znów z odpowiednią tolerancją). Taka procedura powinna też sprawdzać, czy odcinki sieci są symetryczne – czy parametry dla kierunku AB są takie same jak dla kierunku BA. Z reguły tak powinno być – odcinki o innych parametrach dla kierunków powinny być rzadkością. Takiej procedurze kontroli powinna być poddana każda sieć sprowadzana z zewnątrz, a własne sieci, te na których pracuje się na co dzień, należy kontrolować co kilka miesięcy.



Rys. 9. Przykład nieciągłości w sieci wynikającej z nakładania się węzłów
Źródło: błąd własny

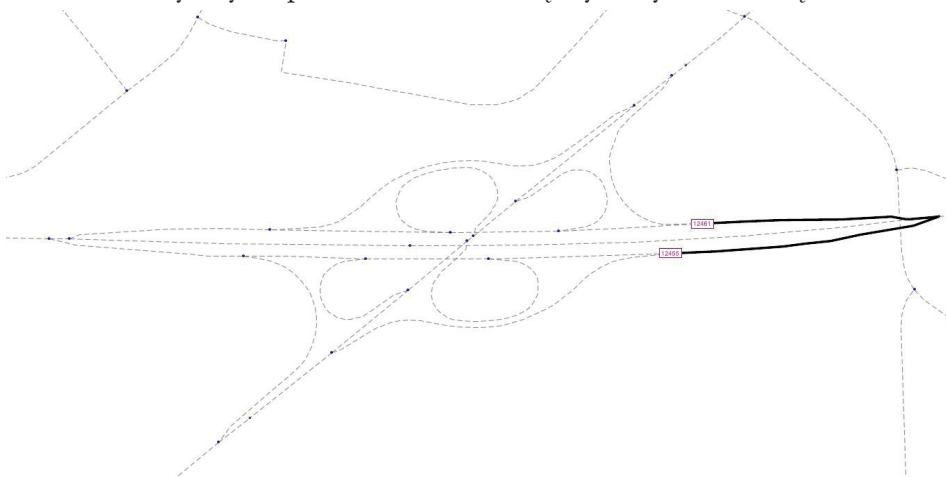
Niekiedy można także spotkać w opisach typów odcinków odcinki specjalne. Są odcinki typowe np. autostrada 2x2 w obszarze zabudowanym czy droga GP w obszarze pozamiejskim 1x2 z pobocznymi. Pojawiają się jednak czasem w opisach odcinki typu Trasa Łazienkowska, ulica Rycerska czy też droga Pikutkowo Dolne- Pikutkowo Górne. Pojawienie się w opisie takich typów odcinków może świadczyć, że:

- ulica nie spełnia wymogów przypisanej jej kategorii,
- źle zdefiniowano kategorie dróg,

- zły jest model generacji i rozkładu przestrzennego ruchu – ruch na drodze jest za duży lub za mały w stosunku do pomiarów nie dlatego, że droga ma złe parametry tylko dlatego, że tego ruchu brak lub jest go za dużo w modelu popytu.

Należy zdecydowanie unikać wprowadzania indywidualnych jednostkowych parametrów dla odcinków sieci.

Na rysunku poniżej przedstawiono kolejny błąd. Autorzy modelu postanowili zakodować bardzo dokładnie wszystkie węzły. Może to być niekiedy przydatne. Pamiętali nawet o tym, żeby na łącznicach był ruch jednokierunkowy. Zapomnieli jednak o zablokowaniu możliwości niektórych skrętów. Powoduje to, że możliwe są ruchy takie jak np. zaznaczony kolorem czarnym. Jest to całkowicie niezgodne ze stanem faktycznym i prowadzić może do błędnych wyników obciążeń.



Rys. 10. Przykład błędnego zakodowania szczegółów w sieci

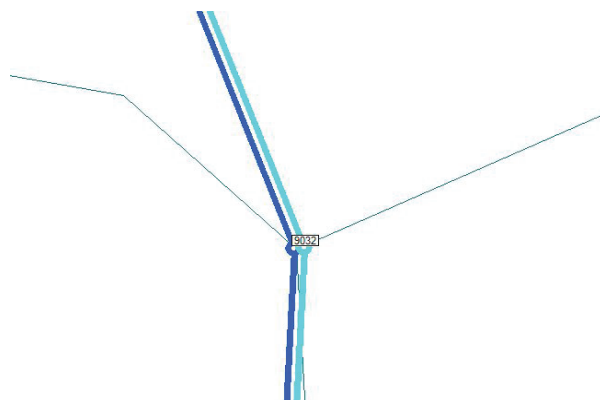
Źródło: błąd zewnętrzny

5.1. Sieci komunikacji publicznej

Istotnym elementem sieci komunikacji publicznej jest położenie przystanków. Generalnie można przyjąć, że przystanek na skrzyżowaniu można odwzorować jako położony w tym samym miejscu dokładnie na skrzyżowaniu – patrz rysunek 11.

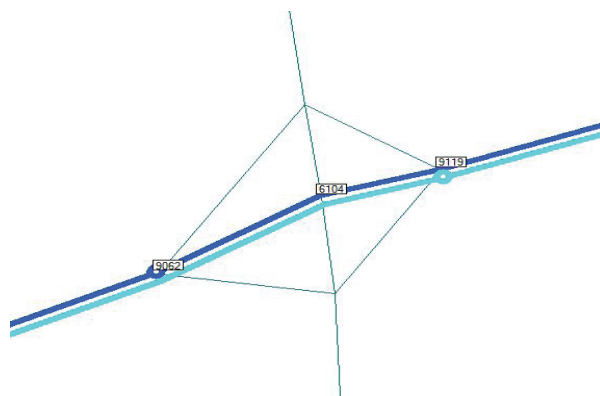
Chcąc być bardziej dokładnym można zakodować przystanki osobno dla każdego kierunku za skrzyżowaniem – tak jak na rysunku 12.

Należy jednak pamiętać, że brak czujności przy takim dokładnym podejściu może doprowadzić do sytuacji (przy kodowaniu nowej linii czy też przy kopiowaniu sieci z jednego systemu do drugiego), kiedy linia w obu kierunkach ma przystanek przed i za skrzyżowaniem – tak jak na rysunku 13.



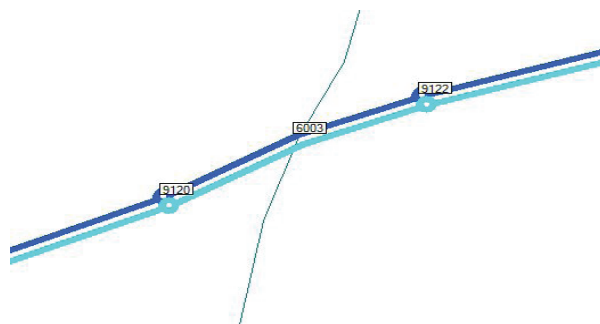
Rys. 11. Przystanek w węzle sieci

Źródło: opracowanie własne



Rys. 12. Przystanek za skrzyżowaniem w zależności od kierunku linii

Źródło: opracowanie własne



Rys. 13. Przystanek przed i za skrzyżowaniem w obu kierunkach

Źródło: błąd własny

Nie jest to oczywiście błąd krytyczny, deformujący znacząco wyniki obliczeń modelowych, tym niemniej jest to błąd. Pojawia się szersze pytanie, czy w ogóle ma sens różnicowanie położenia przystanków. Zdaniem autora, tak jak na każdym etapie budowy modelu, należy pamiętać o zasadzie „generalizuj tam gdzie mo-

żesz, uszczegóławiaj tam gdzie musisz”. Jeśli na węźle krzyżują się dwie czy trzy linie i przesiada się kilka osób nie ma sensu różnicowanie położenia przystanków przed/za skrzyżowaniem. Dla dużych węzłów przesiadkowych typu skrzyżowanie Marszałkowska-Jerozolimskie w Warszawie czy rondo Kaponiera w Poznaniu warto pokazać w modelu, że przystanki różnych linii i środków są położone w różnych miejscach i konieczne są przesiadki.

Osobnym problemem, który pojawia się niekiedy w dyskusjach o modelach ruchu jest sposób traktowania dworców kolejowych i lotnisk – jako węzły przesiadkowe czy węzły generujące. Jak już wspomniano wyżej wszystkie elementy modelu powinny być spójne. Jeśli model obejmuje obszar na tyle duży, że podróże kolejają są to podróże wewnętrzne (model dla aglomeracji), to dworce i przystanki kolejowe to normalne węzły przesiadkowe.

Lotnisko to zawsze węzeł generujący – no chyba, że ktoś tworzy modele na skalę kontynentu czy państwa wielkości Rosji czy Stanów Zjednoczonych.

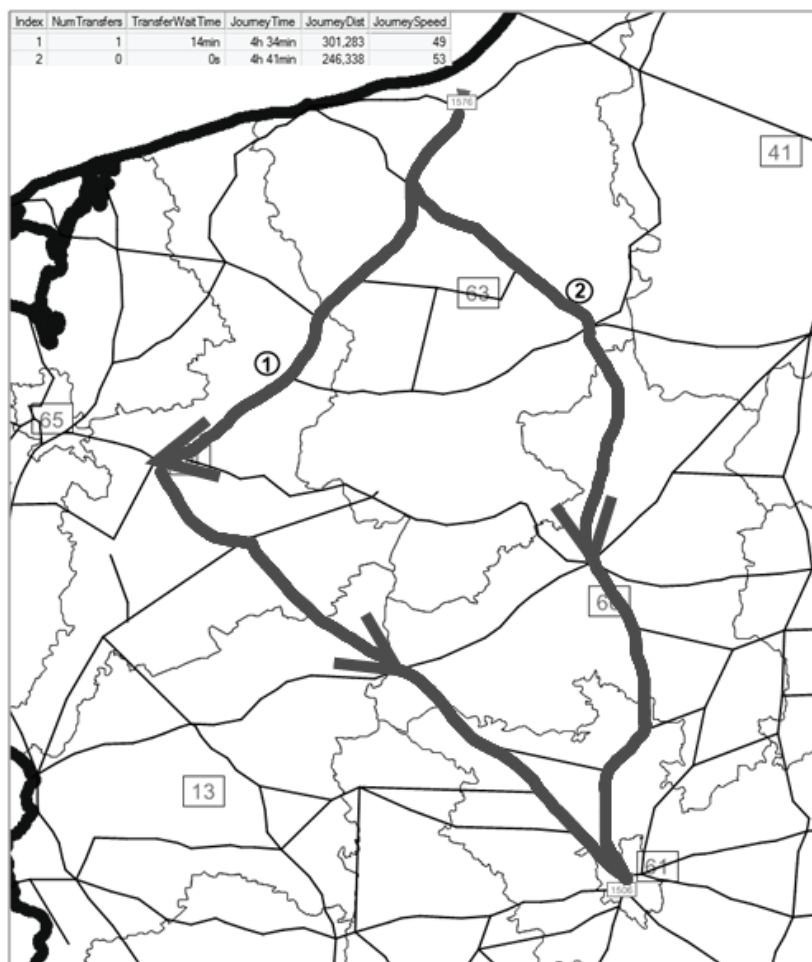
Należy tu zwrócić uwagę, że przyjęcie dworców jako normalnych węzłów przesiadkowych powoduje konieczność zwrócenia uwagi na rodzaje linii. Np. w aglomeracji warszawskiej można wyróżnić linie podmiejskie, które zatrzymują się na wszystkich przystankach i dworcach i linie dalekobieżne zatrzymujące się tylko na trzech dworcach. Należy zwracać uwagę, że ruch kolejowy na granicy obszaru opracowania należy rozdzielić na dwa rejony – jeden podłączony tak, że można korzystać tylko z linii dalekobieżnych a drugi tylko do linii podmiejskich. W przeciwnym przypadku ruch dalekobieżny będzie obciążał linie podmiejskie i stacje, na których nie ma szans się pojawić.

Analizując sieć komunikacji publicznej pojawia się następne pytanie – czy stosować minutowe rozkłady kursowania linii, czy przyjmować częstotliwości kursowania. Każde z tych rozwiązań ma swoje wady i zalety. Z pozoru wydaje się, że zakodowanie linii wg rozkładów jazdy prowadzi do większej dokładności modelu. Nie do końca jest to prawdą. Należy pamiętać, że istniejące rozkłady jazdy są lepiej lub gorzej ale skoordynowane. Analiza usprawnień na jednej trasie powoduje przyspieszenie prędkości kursowania. Zmienia to rozkłady linii kursujących po tej trasie. Zmiana ta powoduje, że koordynacja z liniami poprzecznymi pogarsza się. W szczególnych przypadkach pogorszenie koordynacji – czyli wydłużenie czasów przesiadek, może spowodować, że ruch na ulepszonej trasie spada. Zatem polepszenie dokładności modelu wymaga równie głębokiej analizy wszelkich zmian.

Osobną klasą modeli, o niespotykanym stopniu komplikacji, są modele próbujące odwzorować sieć kolejową w naszym kraju. Po pierwsze nie udostępnia się danych o sieci. Po drugie, jeśli się je udostępnia to są one niewiarygodne i niespójne. Zgodnie z par. 13 pkt 4 Rozporządzenia Ministra Transportu i Gospodarki Morskiej z dnia 10 września 1998 r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budowle kolejowe i ich usytuowanie „Linię kolejową uznaje się za przystosowaną do danej prędkości, jeśli na co najmniej połowie jej długości układ geometryczny, [...] oraz urządzenia sterowania ruchem są przystosowane do ruchu pociągów z daną prędkością”. Przyjęcie takiego założenia powoduje często, że faktyczna prędkość handlowa pociągów na linii kolejowej może być zna-

cząco niższa od prędkości deklarowanej w danych o sieci. Prowadzi to konieczności kodowania poszczególnych pociągów wg rozkładów jazdy, tak, aby poruszały się z rzeczywistą prędkością handlową. Kodując jednak sieć zgodnie z rozkładami jazdy pamiętać należy, że dokładne zakodowanie poszczególnych pociągów według rozkładów rodzi inne trudności. Na rysunku poniżej pokazano w czym tkwi problem. Podróż z rejonu 1576 do rejonu 1506 możliwa jest dwoma ścieżkami. Ścieżka 1, mimo 14 minutowej przesiadki, jest o 6 minut krótsza niż ścieżka 2. W rzeczywistości jednak wszyscy rejestrowani pasażerowie wybierają ścieżkę 2 – połączenie bezpośrednie. Tak na marginesie to spojrzenie na średnie prędkości handlowe obu ścieżek (ostatnia kolumna tabelki na rysunku) jednoznacznie wskazuje, dlaczego koleje w Polsce tracą pasażerów.

Przykład ten pokazuje także, jak niezmiernie istotne mogą być parametry rozkładu ruchu na sieć w komunikacji publicznej – będzie to omówione w dalszej części artykułu.

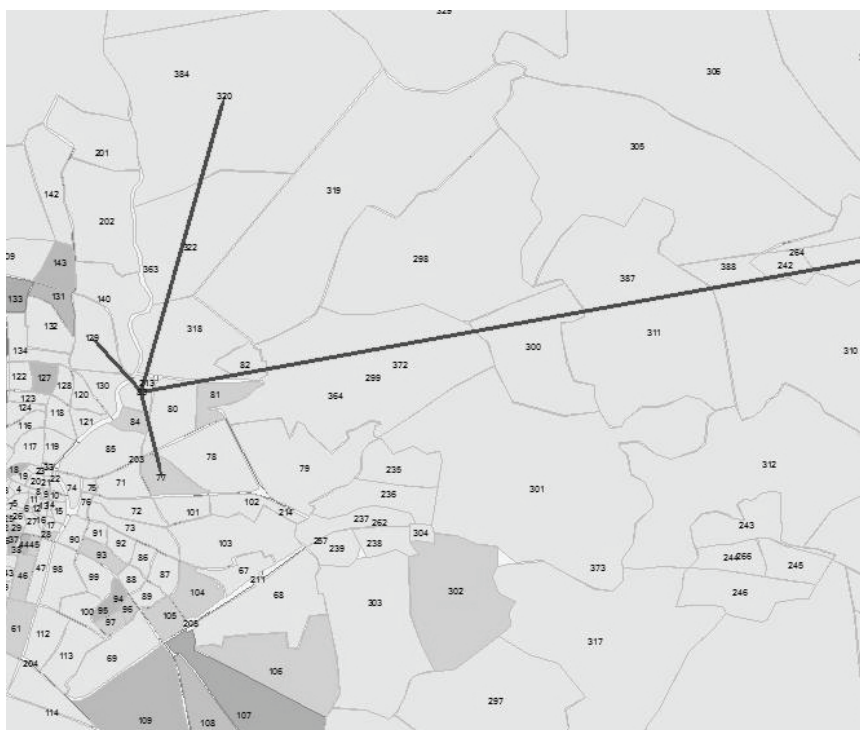


Rys. 14. Porównanie dwóch ścieżek podróży transportem publicznym

Zródło: opracowanie własne

6. Rozkład przestrzenny ruchu

Korzystając z modelu ruchu dla jednego z miast w Polsce autor zetknął się z nietypowym podejściem do rozkładu przestrzennego ruchu. Autorzy modelu uznali, że nie dysponują dostatecznie liczną próbką do budowy modelu grawitacyjnego i zdecydowali się na uzyskanie macierzy podróży dla miasta poprzez proste rozszerzenie macierzy uzyskanej w wyniku badań ankietowych mieszkańców. Spróbujmy przyjrzeć się bliżej takiemu postępowaniu. Jeśli wyobrazimy sobie rejon, w którym w badaniu zarejestrowano kilka podróży to obraz macierzy z badań przedstawia się jak na rysunku 15. Jeśli przyjmiemy, że badaniem objęto 5% populacji, to rozszerzenie jest wykonywane mnożnikiem 20. Każda wartość 1 zamienia się na 20 – patrz rysunek 16. Przyjmuje się zatem, że wszystkie podróże generowane w rejonie odbywają się tam, gdzie wybrał ślepy los wskazując takie a nie inne gospodarstwo i osoby do ankietowania. Jak byśmy nie próbowali, dla wszystkich okresów prognostycznych tylko te relacje będą brane pod uwagę, zmieniać się będą jedynie ich wartości. Jeśli jeszcze rejon leży w obszarze, w którym są planowane znaczące zmiany zagospodarowania i w przyszłości liczba mieszkańców wzrośnie tam znacząco nadal wszyscy będą podróżowali do tych samych rejonów docelowych. Wszelkie analizy transportowe oparte na takich macierzach podróży dadzą fałszywe wyniki.



Rys. 15. Rozkład podróży z rejonu uzyskany np. badań ankietowych

Źródło: rysunek własny



Rys. 16. Rozszerzona macierz z badań ankietowych

Źródło: rysunek własny

Jedyną metodą obliczenia poprawnej macierzy ruchu jest opracowanie równań rozkładu przestrzennego ruchu (co przy dzisiejszych narzędziach do analiz matematyczno-statystycznych nie stanowi problemu) i wyliczenie macierzy podróży dla stanu istniejącego i okresów prognostycznych z wykorzystaniem tych równań. Porównanie podróży wyliczonych jedną i drugą metodą przedstawiono na rysunku 17.



Rys. 17. Rozszerzona macierz z badań ankietowych

Źródło: rysunek własny

Należy też zwrócić uwagę, że wyliczając, z zastosowaniem metody Fratara, macierze podróży na lata prognostyczne bazując na macierzy uzyskanej z rozszerzenia próbki uzyskanej z badań, mamy prawie 100% pewność, że nie uzyskamy zbieżności procesu obliczeń. Brak tej zbieżności spowodował, że korzystając z modelu stworzonego przez inny zespół autor zaczął dociekać przyczyn i dowiedział się o zastosowanym uproszczeniu.

Macierz zbudowana w ten sposób uniemożliwia uwzględnienie w analizach znaczących zmian w zagospodarowaniu. Powstanie nowego, wielkiego centrum handlowego nie spowoduje pojawienia się nowych relacji – do centrum będą dojeżdżały tylko osoby w relacjach przypadkowo wychwyconych w badaniach. **Dla modeli miejskich i aglomeracyjnych zawsze należy budować model rozkładu przestrzennego ruchu.**

Należy także pamiętać, że model służy analizie wpływu zmian w zagospodarowaniu przestrzennym na zmiany w ruchu. Stosowanie zatem całościowych wskaźników wzrostu ruchu dla obszaru analizy jest błędem. Przyjęcie, że skoro np. liczba mieszkańców wzrośnie o 10% i ruchliwość o 50%, to wystarczy pomnożyć macierz istniejącą przez 1,65 i mamy prognozy ruchu jest błędem. Takie podejście jest bardzo częste i zdarza się nawet w opracowaniach wykonywanych dla miast z dość dobrymi modelami ruchu. **Wszelkie analizy ruchowe bez uwzględnienia zmian w przestrzennym rozmieszczeniu zagospodarowania są bezwartościowe.**

6.1. Miernik oporu przestrzeni

W trakcie budowy modeli ruchu często pojawia się pytanie, co powinno być miernikiem oporu przestrzeni – odległość czy czas, a jeżeli czas to jak liczony – najkrótszy, średni czy w godzinach szczytu, czas podróży samochodem czy czas podróży KZ czy też może jakaś średnia ważona.

Jeżeli podejmujemy decyzję o wyborze celu podróży to najpierw stawiamy sobie pytanie czy to daleko czy blisko? Miarą odległości w pierwszym podejściu jest odległość w kilometrach. Potem dochodzi refleksja, że z wybranych sklepów np. IKEA do sklepu A dojedzie się szybciej. Wreszcie na końcu krótkiej analizy wkraça czynnik warunków ruchu – ale do A w piątek po południu to nie warto jechać, bo trasa do A na pewno będzie zakorkowana. Można pojechać dopiero po 18:30.

I tu pojawia się pytanie – czy do rozkładu przestrzennego ruchu należy stosować jako miarę odległości czasy po sieci obciążonej? Zdaniem autora nie – powinno się stosować czasy po sieci swobodnej lub odległości. Warunki ruchu na odcinkach sieci pogarszają się ponieważ wiele osób chce tam dojechać – zatem model rozkładu przestrzennego nie powinien ograniczać możliwości dojazdu. Z drugiej strony, w analizach ruchu aglomeracyjnego należy pamiętać, że przeważająca liczba podróży w godzinie szczytu to podróże obligatoryjne – do/z pracy i do/ze szkoły. Niewiele jest osób, które zmieniają pracę czy uczelnię, bo dojazd jest uciążliwy. Osoby takie zmieniają sposób podróżowania – a o tym będzie mowa niżej.

Autor zdecydowanie preferuje odległość jako miernik oporu przestrzeni. Niekiedy stosował też kombinację odległości i czasu po sieci swobodnej.

Czasy po sieci obciążonej wpływają na podział zadań przewozowych – patrz dalej.

6.2. Ile macierzy i po co

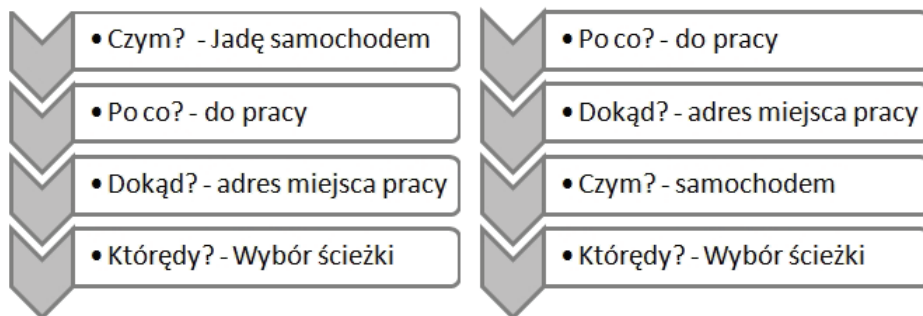
Bardzo często w modelach popytu na transport dzieli się macierze wg motywacji podróży, zasięgów przestrzennych, klas dochodów, liczebności rodziny, faktu posiadania bądź nie samochodu osobowego itd. itd. Wszystkie takie podziały mają swoje uzasadnienie, ale jak wszędzie, należy zachować umiar. Autor jednego z modeli miejskich w naszym kraju wydzielił około 120 różnych kategorii podróży zapisanych w odrębnych macierzach. Średnio rzecz biorąc jedna macierz to mniej niż 1% całości ruchu. Biorąc pod uwagę fakt, że macierz wewnętrzna dom-praca to co najmniej kilkanaście procent całości ruchu w zbiorze muszą się znajdować macierze zawierające ułamki promila całości ruchu. Nie ma sensu, przy sumarycznej macierzy podróży rzędu 250 tys. osób wydzielać kategorii, która liczy kilkanaście czy kilkadziesiąt osób. Wpływ tej kategorii, nawet jeśli jej modele zachowań będą istotnie inne, będzie żaden. Podobnie ma się sprawa z wydzieleniem różnych kategorii pojazdów.

Nie należy wydzielać macierzy, której wielkość jest mniejsza niż 2-3% macierzy sumarycznej.

7. Podział zadań przewozowych

7.1. Podział pierwotny-wtórny

Dość często pojawia się pytanie jaki podział zadań przewozowych stosować – pierwotny (czyli na etapie generacji ruchu) czy wtórny (po rozkładzie przestrzennym ruchu). Zdaniem autora model powinien odwzorowywać proces podejmowania decyzji. Poniżej przedstawiono schemat podejmowania decyzji przy pierwotnym (z lewej) i wtórnym podziale zadań przewozowych.



Rys. 18. Schemat decyzji przy pierwotnym i wtórnym podziale zadań przewozowych

Źródło: opracowanie własne

Bardziej naturalny, szczególnie w warunkach miejskich, wydaje się schemat drugi – najpierw decyduję, że muszę jechać np. po zakupy, potem zastanawiam się gdzie i dopiero decyduję czym pojadę. Po podjęciu decyzji dokąd jadę, na podstawie doświadczeń z poprzednich podróży dysponuję wiedzą o warunkach na trasie przejazdu i u celu podróży. Mogę na tej podstawie podjąć decyzję o wyborze środka. Rzeczywiste decyzje są oczywiście znacznie bardziej skomplikowane – będzie o tym mowa poniżej. Podobnie z decyzjami w podróżach obligatoryjnych. Muszę dojechać do pracy. Jest coraz większy kłopot ze znalezieniem miejsca do parkowania pod firmą i pojawiły się nowe, szybkie tramwaje. Wiem po co i dokąd mam dojechać – zmieniam tylko sposób podróżowania.

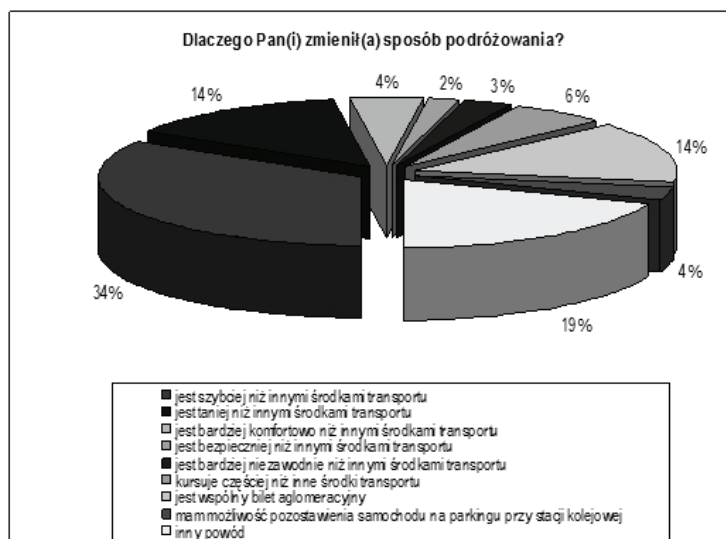
Stosowanie wtórnego podziału zadań pozwala na łatwiejsze stosowanie modeli ze zmiennym podziałem zadań przewozowych oraz modelowania podróży ze zmianą środka (parkingi Parkuj i Jedź).

Autor artykułu zdecydowanie rekomenduje przyjmowanie wtórnego podziału zadań przewozowych.

7.2. Czynniki wpływające na podział zadań przewozowych

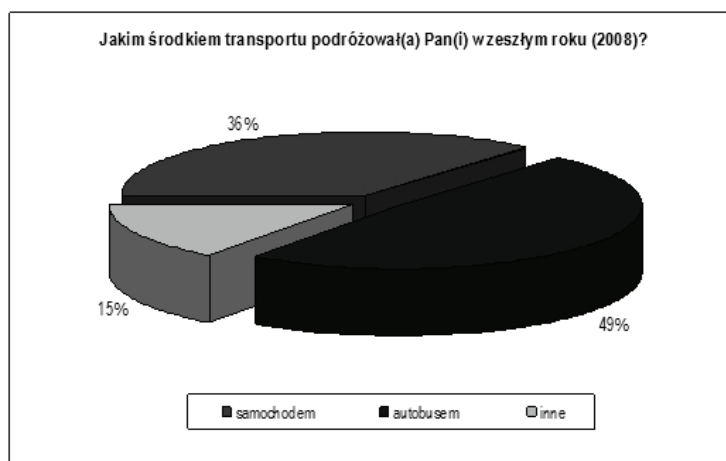
Wybór środka transportu zależy od wielu czynników, zarówno mierzalnych (np. czas podróży, odległość, koszt zgeneralizowany), jak i trudno mierzalnych (poczucie bezpieczeństwa, odczuwanie komfortu podróży). Należy też pamiętać, że różne elementy czasu podróży mają różny wpływ na użytkowników. Czas spędzony w korku jest znacznie bardziej dolegliwy dla kierowców niż czas jazdy. Dla pasażerów komunikacji publicznej czas oczekiwania czy przesiadki jest odczuwany znacznie dotkliwiej niż czas jazdy w pojeździe. Należy też pamiętać, że podróżni (poza nielicznymi wyjątkami) nie mierzą swoich czasów podróży stoperami. Jak pokazują wyniki badań ankietowych czasy podróży są szacowane z dokładnością do 5 minut – różnice mniejsze niż 5 minut mają niewielki wpływ na decyzje użytkowników. Z drugiej strony należy pamiętać, że skrócenie czasu podróży nie będzie powodowało wzrostu liczby użytkowników wprost proporcjonalnie do poprawy czasu podróży. Z badań chęci płacenia za skrócenie czasu podróży – badanie takie pokazuje ile w złotówkach jest warte dla użytkownika zmniejszenie czasu traconego na podróż – wynika, że istnieje pewien przedział, dla którego wartość zaoszczędzonego czasu jest największa. Dalsze skracanie czasu podróży jest, z punktu widzenia użytkownika, coraz mniej istotne (za każdą dodatkową zaoszczędzoną minutę użytkownik jest gotów zapłacić coraz mniej). Pojawia się pytanie, jak badać czynniki wpływające na podział zadań przewozowych. W ramach jednego z opracowań przeprowadzono badania pasażerów kolei aglomeracyjnej. W ankiecie padło pytanie – czy rok temu korzystał(a) Pani/Pan z kolei. W przypadku odpowiedzi NIE pojawiała się seria pytań o przyczyny zmiany środka transportu. Uzyskano bardzo ciekawe wyniki. Otóż rok wcześniej z kolei nie korzystało 25% ankietowanych (z ponad 1000 respondentów). Wśród czynników wpływających na zmianę zachowań były czynniki mierzalne takie jak czas podróży czy koszt podróży. Były także czynniki trudne do odwzorowania w modelu takie

jak parking przy stacji czy wspólny bilet. Kolejne pytanie to ilu podróżnych zmieniło środek transportu z samochodu na transport zbiorowy, a ilu zmieniło środek w ramach transportu zbiorowego. Pomijając odpowiedzi „inne” (w większości były to osoby, które mieszkały gdzie indziej) można powiedzieć, że proporcja jest zbliżona do pół na pół – 57% przesiadło się z autobusu a 43% z samochodu). Widać zatem, że mniej więcej połowa przyrostu powinna wynikać ze zmiany modelu podziału zadań, a połowa z działania modelu wyboru ścieżki w rozkładzie transportu publicznego.



Rys. 19. Rozkład odpowiedzi na pytanie dotyczące powodów zmiany sposobu podróżowania wśród ankietowanych na peronach

Źródło: badanie własne



Rys. 20. Rozkład odpowiedzi na pytanie dotyczące środka transportu przed zmianą wśród ankietowanych na peronach

Źródło: badanie własne

Model podziału zadań przewozowych powinien uwzględniać czynniki mierzalne i parametry stałe reprezentujące czynniki niemierzalne. Te ostatnie powinny być stosowane z dużą rozwagą. Należy rozdzielić podział na środki transportu (transport zbiorowy – indywidualny) i na czynniki wpływające na wybór środka przewozowego w obrębie transportu zbiorowego (wybór ścieżki).

Tworząc modele podziału zadań przewozowych pomiędzy komunikacją zbiorową a indywidualną należy także pamiętać, że dla danej relacji nigdy żaden ze środków nie przejmie 100% ruchu. Zawsze będą ortodoksi, którzy za nic nie zrezygnują z korzystania z samochodu. I zawsze będą osoby, które z przyczyn materialnych (brak samochodu) lub doktrynalnych (świadomość ekologiczna) nigdy nie skorzystają z samochodu. Oszacowanie udziału takich podróży i ich zmienność w czasie jest jednym z istotnych etapów tworzenia modelu zadań przewozowych.

Model wyboru środka transportu powinien uwzględniać margines osób, które z różnych przyczyn nie są skłonne zmieniać sposobu podróżowania.

7.3. Sztuczna dyskryminacja środków

Niekiedy dla uzyskania lepszych efektów analizowanej inwestycji pojawia się pokusa sztucznego pogorszenia warunków podróżowania konkurencyjnymi środkami transportu. Uzyskuje się to np. przyjmując, że dla stanu odniesienia sieć drogowa pozostaje jak w stanie istniejącym, natomiast rozwija się tylko transport publiczny. Powoduje to sztuczne zwiększanie liczby pasażerów w transporcie publicznym i zawyżanie efektywności ekonomicznej inwestycji. Zdarza się też, że np. przyjmuje się założenie, że prędkość w centrum miasta zostanie ograniczona do 15 km/h (w sposób sztuczny, jako ograniczenie wprowadzone modelowo). Założenie, z pozoru słuszne i możliwe do przyjęcia, jeśli przyjrzeć mu się bliżej, prowadzi do absurdalnych wyników. Jeśli przyjrzeć się raportom sumarycznym dla sieci drogowej okazuje się, że średnia odległość podróży samochodem rośnie 2,5 krotnie (w analizowanym mieście z 7 do 18 km) – wynika to z faktu, że kierowcy wybierają ścieżki omijające Centrum.

Podsumowując, należy zwracać uwagę, że stan „0” dla danej inwestycji jest zmienny w czasie i powinien uwzględniać zmiany w czasie całego systemu transportowego. Jednocześnie należy być bardzo ostrożnym w przyjmowaniu założeń o polepszaniu lub pogarszaniu warunków ruchu, aby wyniki nie wykraczały poza granicę zdrowego rozsądku. Należy też pamiętać, że nie każda inwestycja w rozwój sieci transportowej musi być efektywna ekonomicznie.

8. Rozkład ruchu na sieć

Modele rozkładu ruchu na sieć są zasadniczo różne dla pojazdów i dla sieci transportu publicznego.

8.1. Rozkład ruchu pojazdów

Zasadnicze błędy popełniane na tym etapie obliczeń modelowych to:

- Nieuwzględnianie ograniczeń przepustowości (rozkład wszystko albo nic po najkrótszych ścieżkach). Na żadnej sieci (czy to dróg miejskich czy pozamiejskich) nie możemy przyjąć, że występuje pełna swoboda ruchu. Wzrost natężenia ruchu powoduje spadek prędkości i ten czynnik musi być brany pod uwagę. Autor zetknął się z prognozami wykonywanymi bez uwzględnienia funkcji oporu. Prowadzi to do całkowicie błędnych wyników w przypadku analiz ruchu, np. na obwodnicach. Duża część ruchu na nich pojawia się w celu ominięcia przeciążonych ulic w obszarach centralnych. Ruch ten nie pojawi się bez uwzględnienia ograniczeń przepustowości w centrum.
- Stosowanie niewłaściwych funkcji oporu.
- Nieuwzględnianie opłat za korzystanie z dróg i kosztów ruchu. Wprowadzenie opłat może spowodować kilkukrotny spadek ruchu. Spadek ten zależy od poziomu opłat. Zmiany ruchu mogą wystąpić w odległości kilkudziesięciu kilometrów od odcinka, na którym wprowadzono opłaty.

8.2. Rozkład ruchu komunikacji publicznej

Jak już wspomniano parametry rozkładu ruchu na sieć komunikacji zbiorowej mogą drastycznie zmienić wyniki obliczeń. Np. w pracach nad modelem ruchu w Warszawie stosowanie standardowej kary za przesiadki (1 min.) na dworcach i przystankach kolejowych spowodowało, że ruch koleją był dwukrotnie większy od pomierzonego. Zwiększenie tych kar (co miało swoje uzasadnienie kiepskim powiązaniem dworców i przystanków z otaczającym układem komunikacyjnym i koniecznością pokonywania różnicy poziomów) spowodowało lepszą zgodność z pomiarami. Należy pamiętać, że dokładność szacowania czasu podróży przez użytkowników sieci transportowych jest ograniczona do 5 minut. To, że ścieżka jest krótsza o kilka sekund nie spowoduje, że wszyscy podróżni ją wybiorą. Istotne jest także uwzględnianie bezpośredniości połączeń – patrz przykład na rys.14.

9. Doba czy godzina szczytu

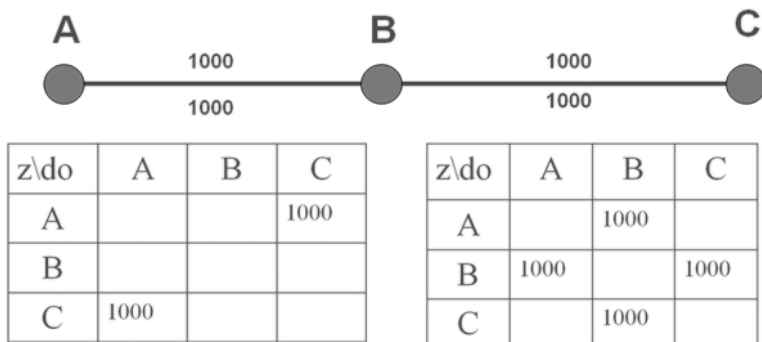
Bardzo często pojawia się pytanie czy obliczenia modelowe i prognostyczne powinny być wykonywane dla godzin szczytu czy dla doby. Zdaniem autora modele i prognozy wykonywane dla miast i aglomeracji powinny być liczone dla godzin

szczytu. Różnice w potokach ruchu w godzinach szczytu i okresach pozaszczytowych (szczególnie w komunikacji zbiorowej) są na tyle istotne, że wyliczenia np. korzyści z inwestycji mogą być znacząco różne dla przeliczeń dobowych i godzinowych. Należy także pamiętać, że ruch miejski charakteryzuje się znaczącymi nierównomiernościami kierunkowymi ruchu. Rano większe są ruchy w kierunku centrum, a po południu od centrum. Biorąc pod uwagę nieliniowy charakter funkcji oporu odcinka i jej znacznie szybszy przyrost oporu w miarę wzrostu ruchu do wartości bliskich przepustowości, można oczekiwać, że suma strat czasu w bardziej obciążonym kierunku będą znacznie większa niż straty wyliczone dla potoku średniego.

Przy korzystaniu z obciążeń godziny szczytu dla celów analiz efektywności ekonomicznej konieczne jest przeliczanie kosztów pasażero-kilometrów i pasażero-godzin na dobę i rok. Konieczne jest zatem opracowanie wskaźników przeliczeniowych, które pozwolą na wiarygodne przeliczanie korzyści z godzin szczytu na dobę. Przeliczenie wykonane w latach 90-tych dla Warszawy wykazały, że osobo-godziny poza szczytem to ok. 1/3 tego co w szczycie, natomiast osobo-kilometry to ok. 2/3. Takie wskaźniki przeliczeniowe powinny być opracowywane raz na jakiś czas i stosowane przy ocenie wszelkich projektów transportowych.

10. Kalibracja i ocena prawidłowości modelu

Jednym z elementów oceny modelu ruchu (a często jedynym) jest porównanie wyników badań z wynikami pomiarów. Należy pamiętać, że zgodność potoków z pomiarami jest to warunek konieczny acz niewystarczający. Możemy sobie wyobrazić sytuację trzech rejonów generujących A, B i C jak na rysunku poniżej. Na odcinkach łączących rejonów zarejestrowano potoki po 1000 pojazdów w każdą stronę. Zarówno macierz z lewej strony, jak i z prawej zapewnia 100% zgodność z pomiarami. Macierz z lewej to 2000 podróży, macierz z prawej 4000. Żadna z nich nie odwzorowuje prawidłowo rzeczywistości. Prawda jest gdzieś pomiędzy i istnieje nieskończenie wiele rozwiązań zapewniających prawidłową korelację potoków modelowych z pomiarami.



Rys. 21. Przykład różnego dopasowania macierzy podróży do potoków

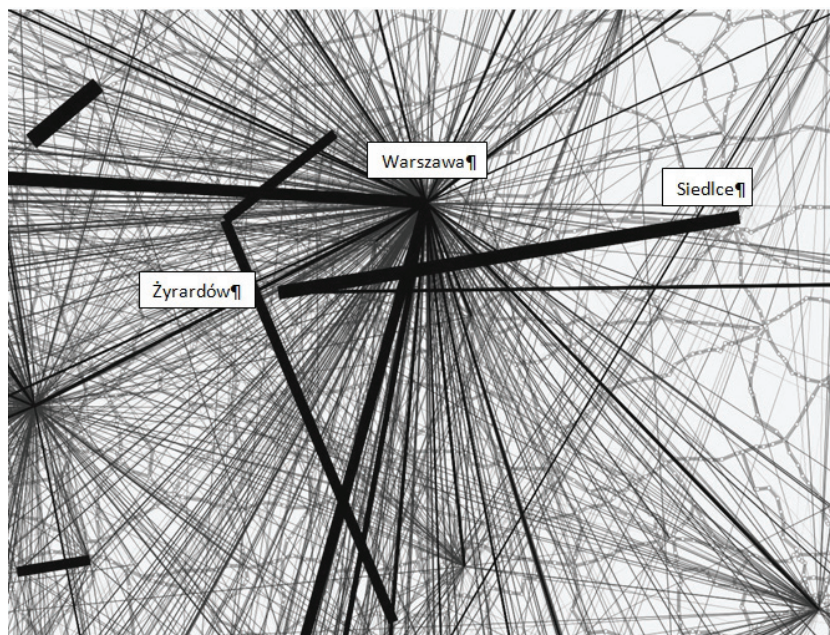
Źródło: opracowanie własne

Sprawdzeniem poprawności uzyskanego modelu muszą być także rozkłady średnich odległości i czasów podróży dla najbardziej istotnych kategorii podróży.

11. Wyrównywanie macierzy do pomiarów

W chwili obecnej praktycznie każdy program dedykowany modelowaniu ruchu daje możliwość implementacji algorytmu wyrównywania macierzy ruchu do pomiarów. Generalnie bazują one na metodzie najmniejszych gradientów opisanej w pracy [5]. Narzędzie jest bardzo wygodne i powszechnie stosowane. Autor artykułu wprowadził kiedyś do modelu macierz jedynkową – jeden w każdej komórce macierzy. Już po kilkunastu iteracjach uzyskał wysoką zgodność potoków modelowych z pomiarami. Można mieć zatem śmiecie na wejściu i uzyskać „prawidłowe” wyniki. Na rysunku poniżej przedstawiono macierz ruchu ciężkiego przygotowaną przez jednego z konsultantów. Grubość kresek jest proporcjonalna do wielkości ruchu pomiędzy rejonami. Na ciemno-szaro wyróżniono wartości większe niż 100. Skala kresek niebieskich i czerwonych jest taka sama.

Pojawia się pytanie coż takiego dzieje się w Żyrardowie i Siedlcach, że ruch ciężki pomiędzy tymi miastami jest tak duży. Autor artykułu jest gotów założyć się o dużą stawkę, że jest to efekt wyrównywania macierzy i próby uzyskania wysokiej zgodności ruchu na DK50 przy niedopracowanych funkcjach oporu i wielkościach ruchu na obszarze Warszawy.



Rys. 22. Macierz ruchu ciężarowego w otoczeniu Warszawy

Źródło: opracowanie własne na podstawie materiałów GDDKiA

W pracy [5] autor wyraźnie stwierdza, że „kluczowa jest dogłębna i krytyczna analiza wyników. Należy oczekiwać, że zmiany w macierzy podróży będą niewielkie i niesystematyczne. Znaczne lub systematyczne zmiany prawie zawsze wskazują na problem z danymi wejściowymi. Także porównanie rozkładów długości podróży ważony ich liczbą przed i po wyrównaniu jest bardzo cennym sprawdzeniem. We wszystkich dotychczasowych zastosowaniach pierwszy przebieg z wykorzystaniem metody gradientów prowadził do wykrycia błędów w sieci – nawet jeśli niektóre z tych sieci były wykorzystywane od lat.”

12. Wyniki – krytyczna ocena

Na każdym etapie obliczeń modelowych i prognostycznych konieczna jest krytyczna analiza wyników. Otrzymane wyniki powinny być niesprzeczne ze zdrowym rozsądkiem. Autor sam stosował i spotykał się w różnych opracowaniach z raportami sumarycznymi, w których wyliczano, na ilu odcinkach potok jest większy od przepustowości. Czynił tak do czasu, aż jeden z recenzentów jego pracy słusznie zwrócił uwagę, że definicja przepustowości jest to „największa liczba pojazdów, którą w określonych warunkach drogowych i ruchowych może przepuścić przekrój drogi w jednostce czasu”[1]. Zatem jeśli w wynikach modelu występuje potok większy od przepustowości to świadczy to o tym, że model nie jest całkowicie poprawny. Popołniono błąd przy określaniu przepustowości lub szacowaniu popytu. W prawidłowo działającym modelu stanu istniejącego nie mogą wystąpić potoki większe od przepustowości.

Jak już wspomniano wyżej, porównanie potoków obliczonych z pomiarami nie może być jedynym sprawdzeniem poprawności modelu. Konieczne jest sprawdzenie rozkładów średnich czasów i odległości podróży dla najbardziej istotnych kategorii podróży.

Konieczne jest także sprawdzenie, czy średnie czasy podróży oraz ich odległości i prędkości mieszczą się w granicach zdrowego rozsądku. Jeśli wynikiem obliczeń modelowych dla miasta jest np. średnia prędkość podróży w roku 2020 wynosząca 5 km/h to można wnioskować, że model jest mało realny. Taka sytuacja nigdy nie zaistnieje. Po pierwsze pogarszanie sytuacji ruchowej spowoduje odpływ mieszkańców z miasta (nastąpi zmiana założeń demograficznych). Po drugie nastąpią zmiany zachowań komunikacyjnych (np. średnie napelnienie pojazdu, zmiana godzin rozpoczynania podróży, zmiana środków transportu). Istotne jest zatem, żeby nie pokazywać wyników bez sensu. Pokusa taka jest szczególnie silna przy porównywaniu wariantów bezinwestycyjnych i inwestycyjnych. Jakież to wspaniałe efekty efektywności można uzyskać, jeśli w wariacie bezinwestycyjnym mamy średnią prędkość podróży wynoszącą 5 km/h.

Należy także wspomnieć o sytuacji, gdzie w raportach wyników pojazdy poruszają się z prędkością dźwięku. Autor opiniował studium wykonalności apli-

kujące o fundusze europejskie, w którym prędkości pojazdów w tabelach do wyliczeń efektywności oscylowały wokół 6534 km/godz. Był to ewidentny błąd formatowania, tym niemniej opracowanie przeszło wewnętrzną kontrolę wykonawcy, zostało zaakceptowane przez zleceniodawcę, przyjęte przez stosowne ministerstwo i przekazane konsultantowi. Na żadnym wcześniejszym etapie takie wyniki nie wzbudziły niepokoju.

Często, szczególnie jeśli wyniki analiz modelowych nie do końca odpowiadają oczekiwaniom zamawiającego, rozpoczyna się dyskusja o poprawności modelu. W dyskusjach takich często pada bardzo merytoryczny argument „mnie się wydaje, że te wielkości powinny być mniejsze/większe”. Dyskusja z takimi argumentami jest niezmiernie trudna, ale nie niemożliwa. Znając mechanizmy działania modelu, jego czułość, specyficzność i dokładność można znaleźć racjonalne argumenty za uzyskanymi wynikami. Pomaga także znajomość wyników badań zmian ruchu, zarówno w kraju jak i za granicą. Pozwala to na zabicie argumentacji, że coś jest możliwe/niemożliwe. Należy jednak pamiętać, że każda dyskusja nad wynikami modelu może prowadzić do jego udoskonalen i modyfikacji oraz eliminacji błędów.

Na koniec autor pozwoli sobie przytoczyć zalecenie wieloletniego przełożonego i przewodnika w trudnej sztuce modelowania i prognozowania, Marka Roszkowskiego – „prognozę wydaje inżynier a nie komputer”.

Bibliografia

- [1] Gaca S., Suchorzewski W., Tracz M., Inżynieria ruchu drogowego – Teoria i praktyka. WKiŁ, Warszawa 2011.
- [2] Jastrzębski W, Wierchołowski M., Łosiński J., Sowulewska A., Aktualizacja Zintegrowanego Planu Rozwoju Transportu Publicznego aglomeracji poznańskiej na lata 2004-2013b ETAP I – PROGNOZY RUCHU KOMUNIKACYJNEGO. Scott Wilson Kirkpatrick Ltd dla Urzędu Miasta Poznania, Warszawa 2009.
- [3] Kompleksowe Badanie Ruchu w Warszawie, Biuro Studiów i Projektów Inżynierii i Komunikacji Miejskiej w Warszawie; Warszawa 1971.
- [4] Metoda ustalania priorytetów i programowania wydatków na drogi krajowe w Polsce. Scott Wilson na zlecenie GDDKiA; Warszawa 2004.
- [5] Spiess H., A GRADIENT APPROACH FOR THE O-D MATRIX ADJUSTMENT PROBLEM, https://www.inrosoftware.com/en/pres_papers/papers/demadj.pdf, May 1990.