

**RUCH NA DROGACH SZYBKIEGO RUCHU W OTOCZENIU MIAST,
CZ. I – METODA ANALIZ**

WPROWADZENIE

Rozwój systemu autostrad i dróg ekspresowych wymaga specjalnego, wielostopniowego podejścia do planowania układów komunikacyjnych. Z jednej strony niezbędne są studia planistyczne na poziomie krajowym i europejskim z drugiej, ze względu na funkcje jakie drogi szybkiego ruchu (DSR) pełnią w obsłudze ruchu docelowego, powiązania z obszarami przez które przebiegają i wpływ jaki wywierają na ich aktywizację gospodarczą, szczególną wagę należy przywiązywać do analiz na poziomie regionu i miasta.

Z punktu widzenia Państwa, w kontekście ustawy o zagospodarowaniu przestrzennym [1], prawidłowe, uwzględniające specyfikę lokalną, zaplanowanie przebiegu autostrady lub drogi ekspresowej nabiera nowego znaczenia. Może bowiem wpływać na znaczne ułatwienie ich późniejszej realizacji.

Ukształtowanie przebiegu dróg szybkiego ruchu odgrywa także ważną rolę z punktu widzenia funkcjonowania społeczności lokalnych. Wynika to z funkcji jakie drogi te pełnią w obszarach zurbanizowanych. Najpełniej funkcje te scharakteryzowali A. Rudnicki i S. Sarna [2], jako najważniejsze wymieniając:

- 1) prowadzenie ruchu tranzytowego poza obszarem miasta, a przynajmniej jego zwartej zabudowy, uwalniające miasto od uciążliwości ruchu nim nie zainteresowanego i stworzenie dogodnych warunków dla płynnego i szybkiego przejazdu przez miasto rozumianego jako punkt sieci drogowej,
- 2) współtworzenie węzła dróg zewnętrznych rozumiane jako rozrządzenie ruchu tranzytowego pochodzącego z pozostałych dróg zewnętrznych,
- 3) rozrządzenie ruchu źródłowo-docelowego związanego z miastem (zapewnienie dojazdu do celu podróży zlokalizowanego w mieście możliwie najszybszą drogą, łagodzenie uciążliwości dla otoczenia związanych z realizacją podróży docelowo-źródłowych),
- 4) realizowanie powiązań wewnątrzmijskich dalekiego zasięgu lub powiązań w obrębie zespołu miejskiego.

Aby powyższe funkcje mogły być zrealizowane, konieczne jest spełnienie określonych wymogów planistycznych. Wywołuje to jednak dylematy decyzyjne, gdyż istnieje konflikt między potrzebami ruchu na duże odległości w interesie którego leży, aby autostrada przebiegała

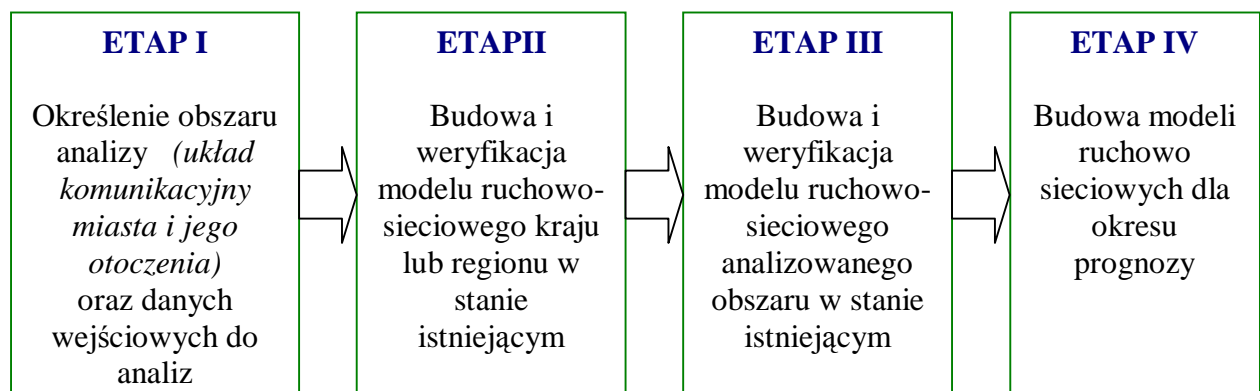
przez tereny niezabudowane i potrzebami zbliżenia autostrady do potencjalnych celów podróży, których największymi koncentracjami są miasta.

Dostrzegając wagę problemów związanych z kształtowaniem przebiegu dróg szybkiego ruchu w otoczeniu miast, w niniejszym artykule zdecydowano się przedstawić wyniki prac przeprowadzonych w Instytucie Dróg i Mostów Politechniki Warszawskiej. Prace te dotyczyły wzbogacenia metodyki badania związków ruchowych pomiędzy miastami a otaczającymi je układami drogowymi, w tym szczególnie związków wynikających z modyfikacji układów uzupełnionych o drogi szybkiego ruchu.

Artykuł podzielono na dwie części. W części I scharakteryzowano podstawy metodyki przeprowadzonych analiz. W części II¹, przedstawiono wyniki badań stanowiących weryfikację proponowanej metody, wykonaną na przykładzie analiz trzech miast średniej wielkości: Kalisza, Kielc i Tarnowa.

OPIS METODY

W zastosowanej metodyce analiz można wyróżnić 4 podstawowe etapy:



ETAP I jest etapem przygotowawczym do modelowania i prowadzenia analiz ruchu. W tej części prac niezbędne jest:

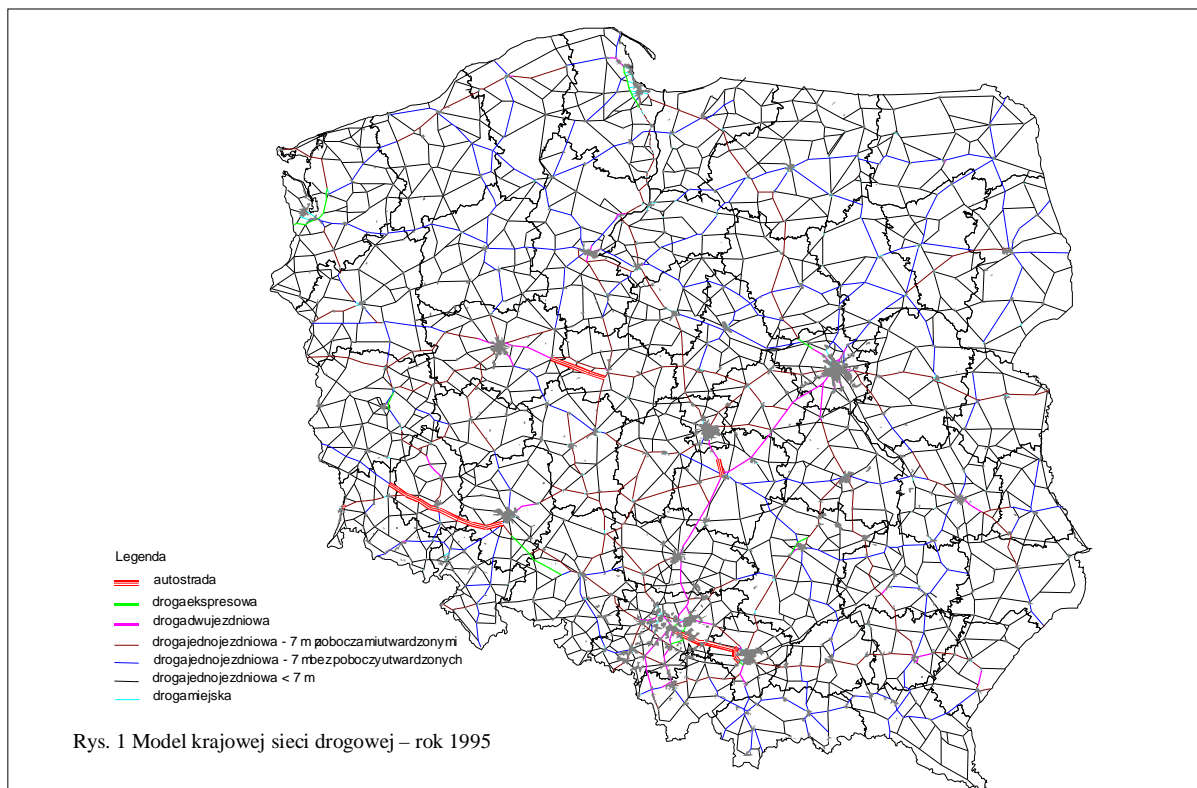
- określenie przedmiotu analizy czyli miasta/obszaru zurbanizowanego oraz układu drogowego z nim związanego,
- zgromadzenie dostępnych danych o ruchu oraz danych socjo-demograficznych,
- rozpoznanie planów inwestycyjnych związanych z powstawaniem nowej infrastruktury drogowej w otoczeniu wytypowanego obszaru oraz w konsekwencji zdefiniowanie, w celu dalszych analiz, wariantów przebiegu autostrad i dróg ekspresowych.

¹ Część II artykułu ukaże się w kolejnym numerze Transportu Miejskiego.

W **II ETAPIE** prac wykorzystywany jest model ruchowo-sieciowy w skali kraju lub np. regionu. Istotą proponowanej metody analiz jest uwzględnienie wpływu wprowadzenia do układu pełnego ciągu drogi szybkiego ruchu. Pozwala to na zidentyfikowanie i uwzględnienie zmian w rozkładzie ruchu w całej sieci drogowej, w tym także w otoczeniu analizowanego miasta, wywołanych wprowadzeniem ciągu drogowego o wysokich parametrach.

Dla potrzeb stosowania metody, w Instytucie Dróg i Mostów PW powstał komputerowy model ruchowo-sieciowy Polski, na który składają się:

- komputerowy model sieci drogowej (rys.1) obejmujący w wersji podstawowej 3909 odcinków o łącznej długości 44750 km; model ten obejmuje 7 kategorii dróg zamiejskich i odwzorowuje 98% rzeczywistej sieci dróg krajowych w Polsce,
- macierz przemieszczeń, w której 40% podróży² odwzorowano na podstawie badań ruchu, a pozostałe podróże na podstawie stworzonego modelu grawitacyjnego.



Model ruchowo-sieciowy opracowano, tworząc na jego potrzeby oryginalne modele: poszukiwania najlepszych połączeń w sieci, eliminacji podróży wielokrotnych i podróży wewnątrzrejonowych oraz specjalną metodę budowy macierzy zagregowanej na podstawie macierzy cząstkowych, przygotowanych dla poszczególnych punktów badań ruchu typu źródło-cel.

² Do budowy macierzy wykorzystano wyniki dostępnych w Polsce badań ruchu, łącznie 197 punktów pomiarowych i 567,6 tys. wywiadów z kierowcami.

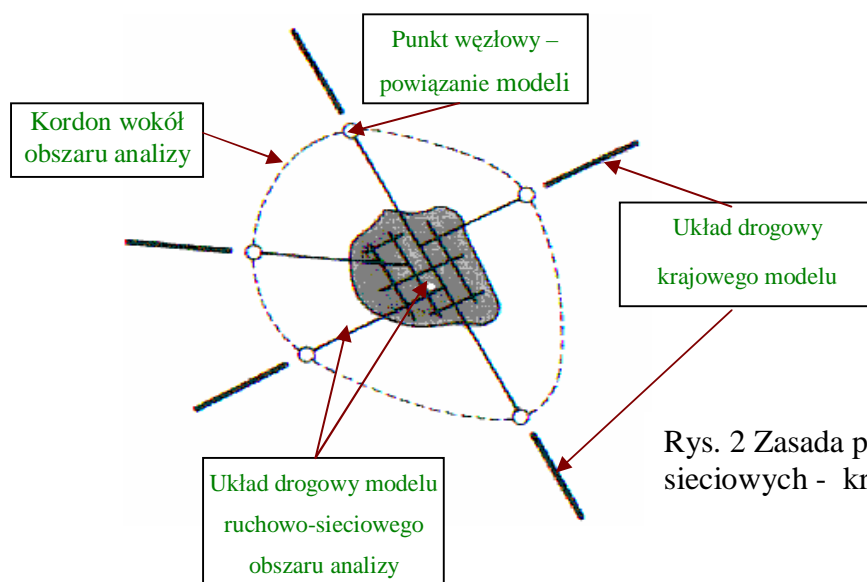
W **ETAPIE III** następuje uszczegółowienie modelu krajowego dla potrzeb analiz układów lokalnych. Wymaga to uzupełnienia danych w zakresie:

- modelu sieci ulicznej miasta,
- podziału miasta na rejony komunikacyjne wraz z danymi o mieszkańcach i zatrudnieniu,
- ruchu wewnętrznego (macierz ruchu wewnątrzmijskiego),
- pomiarów natężeń ruchu drogowego na kordonie miasta lub w jego układzie wewnętrznym (dla potrzeb kontroli uzyskiwanych wyników rozkładów ruchu).

Z uwagi na wystarczającą dla celów planistycznych dokładność analiz w budowie modeli sieci drogowej miast uwzględniane są 3 podstawowe kategorie dróg miejskich [3]:

- **ulica główna ruchu przyspieszonego – GP** – jako kontynuacja dróg III klasy technicznej lub też połączenie układu dróg miejskich z drogami I, II i III klasy,
- **ulica główna – G** – jako kontynuacja dróg IV klasy i połączenie dróg miejskich z drogami II i III klasy; wprowadzono zróżnicowanie na odcinki jedno i dwujezdniowe,
- **ulica zbiorcza – Z** – jako kontynuacja dróg V i VI klasy i ulica obsługująca zespoły osiedli, dzielnice, itp.; ulica o przekroju jednojezdniowym, z jednym pasem ruchu na kierunek.

Uwzględniając stopień szczegółowości odwzorowania sieci drogowej, modele lokalne mogą uzyskać połączenie z krajowym modelem sieci drogowej jedynie za pośrednictwem dróg krajowych. W tym celu, konieczne jest zdefiniowanie kordonu wokół badanego obszaru oraz punktów węzłowych sieci, stanowiących punkty powiązania obu modeli. Zasadę tworzenia połączenia obu modeli przedstawiono na rys. 2



Rys. 2 Zasada połączenia modeli ruchowo-sieciowych - krajowego i lokalnego

Krajowy model ruchowo-sieciowy jest wykorzystywany do budowy macierzy ruchu zewnętrznego w stosunku do badanego miasta. Na podstawie rozkładu krajowej więźby ruchu na

sieć, we wszystkich punktach węzłowych położonych na kordonie badanego obszaru, identyfikowane są relacje ruchowe przechodzące przez te punkty. Następnie punktom węzłowym kordonu przyporządkowywane są potencjały generujące i absorbujące odpowiadające zidentyfikowanej liczbie relacji. W wyniku budowane są zagregowane macierze ruchu: źródłowo-docelowego do centrum miasta i tranzytowego.

Ponieważ więźby ruchu krajowego przedstawiają ruch średniodobowy w Polsce, zaś w analizach ruchu miejskiego z reguły operuje się ruchem w godzinach szczytu, więźby ruchu zewnętrznego wymagają przeliczenia na godzinę szczytu popołudniowego. W tym celu można zastosować wskaźniki przeliczeniowe GDDP opracowane na podstawie GPR'95 [4].

Obciążenie badanych układów drogowych, więźbą ruchu źródłowo-docelowego, wymaga dezagregacji więźb do poziomu rejonów komunikacyjnych zdefiniowanych w mieście. Na tym etapie konieczne jest wykorzystanie dostępnych danych dotyczących podstawowych charakterystyk socjo-demograficznych opisujących rejony komunikacyjne miasta (liczba mieszkańców, liczba i rodzaj miejsc pracy, itp.).

Do wykonania rozkładu ruchu na sieć miasta i otaczającego go obszaru przyjmuje się rozkład proporcjonalny, jako opisujący z dużym przybliżeniem więźbę ruchu w mieście średniej wielkości. Punktem wyjścia jest model sieci miasta oraz cząstkowe więźby ruchu:

- wewnętrznego – uzyskana np. na podstawie studiów ruchu wykonywanych dla miasta,
- źródłowo-docelowego – uzyskana na podstawie krajowego modelu ruchowo-sieciowego,
- tranzytowego – uzyskana na podstawie krajowego modelu ruchowo-sieciowego.

W algorytmie rozkładu ruchu na sieć wybór połączenia odbywa się na zasadzie najkrótszego czasu przejazdu, uzależnionego od wielkości potoku ruchu na danym odcinku modelowej sieci. Do określenia zależności opisującej opór odcinka sieci wykorzystuje się formułę wprowadzoną przez U.S Bureau of Public Roads [5]:

$$t_i = t_0 * \left(1 + a * \left(\frac{q}{c * q_{\max}} \right)^b \right) \quad (1)$$

gdzie:

t_i – czas przejazdu odcinka sieci,

t_0 – czas przejazdu po odcinku nie obciążonym ruchem,

q – natężenie ruchu w poj./h,

q_{\max} – przepustowość odcinka w poj./h - natężenie krytyczne dla poziomu swobody ruchu C,

a, b, c – parametry do kalibracji funkcji.

Formuła ta definiuje wzajemną zależność pomiędzy czasem przejazdu przez odcinek a natężeniem. Dla potrzeb modelowania układów komunikacyjnych, w podziale na w/w kategorie ulic miejskich, oszacowano zależności pomiędzy natężeniem ruchu a prędkością podróży (czasem przejazdu przez odcinek). W tym celu wykorzystano badania przeprowadzone w USA, których efektem była metoda HCM-85³. Pamiętając o dopuszczalnych uproszczeniach stosowanych w analizach związanych z planowaniem układów komunikacyjnych miast, przyjęto następującą formułę opisującą natężenie krytyczne dla arterii miejskiej przy zadanym poziomie swobody ruchu (PSR):

$$C_i = Q_i \times N \times \left(\frac{t_z}{T} \right)_i \quad (2)$$

gdzie:

C_i - natężenie krytyczne odcinka danej kategorii, dla danego PSR (w p/h/kierunek)⁴

Q_i - natężenie krytyczne dla pasa ruchu dla danego PSR, bez wpływu skrzyżowań (w p/h/pas ruchu)

N - liczba pasów ruchu

t_z/T - współczynnik korygujący dla ciągów ulicznych o ruchu przerywanym – stosunek długości zielonego światła do długości cyklu, dla danej kategorii.

Dla trzech kategorii ulic uwzględnionych w modelu przyjęto następujące założenia:

Założenie 1, dotyczące stosunku t_z/T :

Dla kategorii ulic występujących w modelu przyjęto:

- dla odcinka ulicy GP – 0,65;
- dla odcinka ulicy G – 0,55;
- dla odcinka ulicy Z – 0,45.

Założenie 2, dotyczące szacunkowego natężenia krytycznego:

Dla kolejnych poziomów swobody ruchu założono szacunkowe natężenia krytyczne na pasie ruchu (tab. 1), bez uwzględnienia wpływu skrzyżowań (p/h/pas ruchu):

Tabela 1: Szacunkowe natężenia krytyczne na pasie ruchu (bez wpływu skrzyżowań)

Poziom swobody ruchu	Gp (2x2)	G (2x2)	G (1x2)	Z (1x2)
B	1000	1000	450	450
C	1400	1400	700	700
D	1600	1600	850	850
E	2000	2000	1000	1000

³ Metodę amerykańską zdecydowano się wykorzystać z uwagi na jej szerokie zastosowanie w innych krajach, a także brak polskich doświadczeń na dostatecznie zróżnicowanych poligonach badawczych

⁴ W pojazdach rzeczywistych, przy założonym 20% udziale samochodów ciężarowych.

Na tej podstawie, wykorzystując formułę (2) zaproponowano wartości natężeń krytycznych dla analizowanych kategorii odcinków dla poszczególnych poziomów swobody ruchu. Uwzględnienie współczynnika t_z/T , uzależniło w sposób parametryczny, przepustowości odcinków od czasu traconego na skrzyżowaniach.

Tabela 2: Natężenia krytyczne dla kategorii odcinków w modelu sieci (w p/h)

Poziom swobody ruchu	Gp (2x2)	G (2x2)	G (1x2)	Z (1x2)
B	1300	1100	250	200
C	1800	1550	400	300
D	2100	1750	450	400
E	2600	2200	550	450

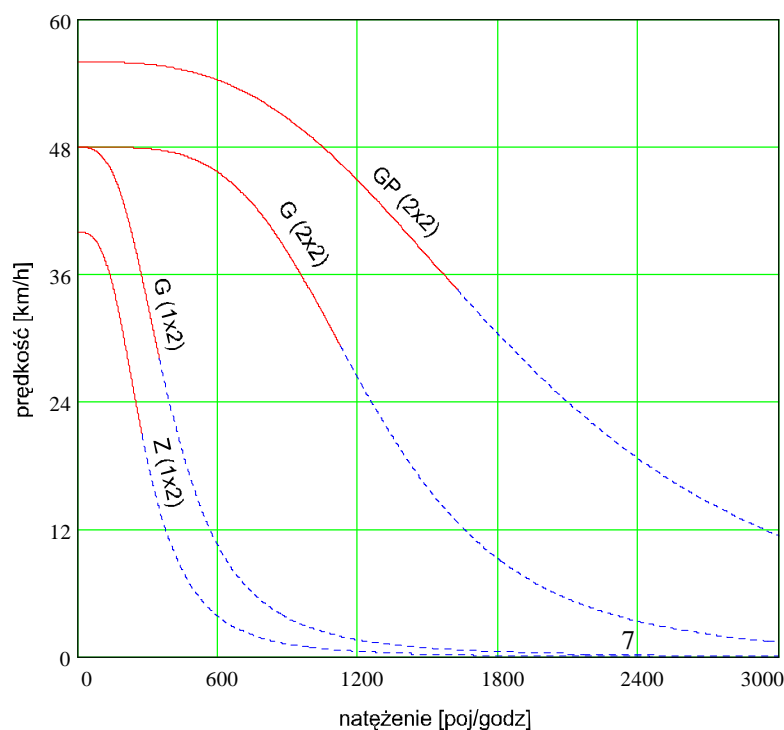
Założenie 3, dotyczące średniej prędkości podróży:

W metodzie HCM, podstawową wielkością charakteryzującą poziomy swobody ruchu na odcinkach sieci drogowej jest średnia prędkość podróży. Jest ona obliczana na podstawie długości odcinka i czasu przejazdu po nim z uwzględnieniem strat czasu na skrzyżowaniach. Jest to średnia prędkość podróży wszystkich pojazdów na danym odcinku. Wykorzystując HCM 85 przyjęto prędkości podróży jak w tab. 3.

Tabela 3: Średnie prędkości podróży na podstawie HCM 85 (w km/h)

Poziom swobody ruchu	Gp	G	Z
B	45	39	31
C	35	29	21
D	27	23	14
E	21	16	11

Na bazie powyższych założeń dotyczących natężeń krytycznych oraz średnich prędkości podróży, na podstawie formuły (1), oszacowano parametry modelu dla każdej z trzech kategorii ulic. W rezultacie otrzymano 4 krzywe opisujące zależności prędkość/natężenie (rys. 3).



Rys. 3 Krzywe opisujące zależności prędkość/natężenie

Po analizie specyficznych wymagań wynikających z analiz miejskich układów komunikacyjnych, w metodzie zastosowano następującą procedurę przechodzenia z więźby podróży do natężeń ruchu na sieci (rozkładu ruchu na sieć):

krok 1: wybór najkorzystniejszej trasy przejazdu pomiędzy dwoma rejonami (najkrótszy czas) odbywa się zgodnie z algorytmem Moor'a z przydzieleniem ruchu zgodnie z zasadą „wszystko albo nic”; metodę tę zastosowano opierając się na doświadczeniu, że w przypadku gęstej sieci drogowej i wielu punktów węzłowych różnice pomiędzy rozkładem “wszystko albo nic”, a innymi bardziej złożonymi modelami nie są znaczące;

krok 2: modyfikacja czasu przejazdu odcinka wynikająca z wielkości potoku ruchu, w zależności od przyjętych funkcji określających wzajemną zależność obu zmiennych; po rozłożeniu ruchu na sieć metodą “wszystko albo nic” dla każdego odcinka obliczana jest jego atrakcyjność wyrażana czasem przejazdu;

krok 3: obliczanie potoków ruchu będących punktem wyjścia dla kolejnej iteracji.

Wyniki obciążenia sieci za pomocą zaproponowanej metody zweryfikowano na przykładzie trzech miast⁵, poprzez porównanie z wynikami badań natężenia ruchu na wybranych odcinkach sieci drogowej. Uzyskano dobry stopień zgodności modelu z rzeczywistymi wartościami natężeń, charakteryzujący się wysokim, bliskim jedności, stopniem korelacji zmiennych⁶ oraz istotnie bliskim jedności współczynnikiem funkcji regresji.

ETAP IV obejmuje budowę modeli ruchowo-sieciowych dla okresu prognozy. Punktem wyjścia, podobnie jak dla stanu istniejącego, jest krajowy model ruchowo-sieciowy w którym:

- model sieci drogowej jest uzupełniany o planowane przebiegi dróg szybkiego ruchu,
- więźba ruchu dla roku 1995 jest zastępowana więźbą ruchu prognozowanego.

Chcąc zweryfikować korzyści wynikające z hierarchicznego⁷ podejścia do budowy modeli ruchu w sieciach drogowych, w tym szczególnie w zakresie badania związków pomiędzy obszarami zurbanizowanymi, a układami drogowymi uzupełnionymi o DSR, analizuje się perspektywiczne koncepcje układów i wyniki rozkładów prognozowanego ruchu na sieci drogowe.

Opisywana metoda różni się tym od metod analiz stosowanych w typowych studiach miejskich układów komunikacyjnych, gdzie wpływ wprowadzenia do układu drogi wysokiej klasy (autostrady lub drogi ekspresowej) sprawdzany jest na ogół jedynie w bezpośrednim sąsiedztwie

⁵ Kalisza, Kielc i Tarnowa.

⁶ W przypadku trzech miast dla których zastosowano proponowany w pracy model, uzyskano współczynnik korelacji w przedziale 0.92÷0.96

⁷ Występuje zależność przepływu danych pomiędzy: modelem krajowym → modelem regionalnym → modelem lokalnym

analizowanego obszaru., że badane są także konsekwencje w skali makro, wywoływane wprowadzeniem do sieci drogowej długiego ciągu o wysokich parametrach.

Dzięki metodzie prezentowanej w niniejszym artykule, badane są zmiany w rozkładzie przestrzennym ruchu wywołane wprowadzeniem nowych elementów sieci drogowej o wysokiej sprawności. Ponadto stosując zasadę wariantowania badanych układów drogowych, możliwe jest obiektywne porównanie opcji i analizowanie wpływu usytuowania (oddalenia od obszaru centralnego miasta) drogi szybkiego ruchu, na obszary położone w jej otoczeniu.

W etapie IV krajowy model ruchowo-sieciowy jest uzupełniany o przebieg planowanych tras drogowych, w tym przede wszystkim dróg szybkiego ruchu. Macierz ruchu prognozowanego, stanowiąca podstawę do określenia przyszłych potoków ruchu jest budowana na podstawie macierzy ruchu istniejącego, w wyniku pomnożenia przez wskaźniki wzrostu.

Model ruchowo-sieciowy umożliwia podanie wskaźników wzrostu na poziomie poszczególnych rejonów komunikacyjnych, co w efekcie umożliwia zastosowane metody Frataro do rozszerzenia macierzy. Zgodnie z nią, opierając się na zasadzie ekstrapolacji, prognozę liczby podróży określa się wprost proporcjonalnie do zmian wielkości potencjałów w rejonach komunikacyjnych. Prognozę ruchu można wykonać dla trzech różnych poziomów szczegółowości:

- prognozę na poziomie całego kraju - na tym poziomie określone są średnie wskaźniki wzrostu ruchu dla całego kraju (W_k), jak również poziom wymiany międzynarodowej Polski z krajami sąsiednimi (w oparciu o zmiany: PKB, wskaźnika motoryzacji, ruchliwości, liczby podróży),
- prognozę na poziomie województw, umożliwiającą zróżnicowanie średniego wskaźnika wzrostu ruchu dla poszczególnych województw (W_w), przy uwzględnieniu różnic we wzroście liczby ludności, motoryzacji, perspektywach rozwoju gospodarczego itp.,
- prognozę na poziomie rejonów komunikacyjnych, umożliwiającą zróżnicowanie wskaźnika wzrostu ruchu pomiędzy rejonami w danym województwie (W_{rk}); na tym etapie poprzez wprowadzenie wskaźników wzrostu ruchu większych od średniej, dla rejonów w korytarzu przebiegu tras ruchu szybkiego można uwzględnić efekt tzw. ruchu wzbudzonego powstającego w wyniku budowy tych tras.

Wynikowy wskaźnik dla każdego rejonu jest iloczynem trzech wskaźników: W_k , W_w i W_{rk} .

Po zbudowaniu wariantowych modeli ruchowo-sieciowych dla okresu prognozy, w etapie IV stosowana jest identyczna procedura do tej którą opisano w etapie III, tzn.: budowa kordonu wokół badanego miasta, określenie punktów powiązań modelu krajowego i lokalnego, budowa macierzy ruchu oraz rozkład ruchu na wariantowe sieci drogowe miasta.

PODSUMOWANIE

W artykule przedstawiono podstawy metodyki stosowanej dla potrzeb planowania układów komunikacyjnych wokół miast w powiązaniu z planowanym przebiegiem dróg szybkiego ruchu. Metoda ta w odróżnieniu od dotychczas stosowanych, dzięki wykorzystaniu krajowego modelu ruchowo-sieciowego, pozwala na uwzględnienie wpływu jaki na rozkład ruchu drogowego w sieci może mieć powstanie długiego ciągu drogowego o wysokich parametrach ruchu.

W ramach prac nad metodą:

- zbudowano krajowy model ruchowo-sieciowy wykorzystujący różnorodne badania ruchu przeprowadzone w Polsce w okresie ostatnich kilku lat,
- opracowano metodę budowy zagregowanej macierzy podróży na podstawie macierzy cząstkowych przygotowanych dla poszczególnych badań typu źródło-cel, w tym wzbogacono znane dotychczas modele o model poszukiwania najlepszych połączeń w sieci i eliminacji podróży wielokrotnych oraz oryginalną metodę eliminacji podróży wewnętrzrejonowych,
- opracowano metodę rozkładu ruchu na sieć w miastach z wykorzystaniem dostosowanej do warunków polskich funkcji zależności pomiędzy prędkością podróży a natężeniem ruchu.

W kolejnym, drugim artykule poświęconym analizom przebiegu dróg szybkiego ruchu w otoczeniu miast, zostaną przedstawione wyniki zastosowania opisywanej metody do badania układów komunikacyjnych trzech polskich miast: Kalisza, Kielc i Tarnowa.

BIBLIOGRAFIA:

- [1] Ustawa o zagospodarowaniu przestrzennym z 7 lipca 1994r. Dz.U. nr 89/94
- [2] Rudnicki A, Sarna S.: Problemy planowania autostrad w dużych miastach. Materiały XLII Konferencji Naukowej Problemy Naukowo-Badawcze Budownictwa, Krynica 1996.
- [3] Wytyczne projektowania ulic. GDDP, Warszawa 1992.
- [4] Generalny Pomiar Ruchu w 1995r. Transprojekt W-Wa, Warszawa 1996.
- [5] Traffic Assignment. US Department of Transportation, Waszyngton 1973