Jacek Brdulak
Szkoła Główna Handlowa i Uczelnia Łazarskiego
Piotr Pawlak
Instytut Transportu Samochodowego

OCENA SKUTKÓW INWESTYCJI DROGOWYCH Z WYKORZYSTANIEM METOD EKONOMICZNYCH

Artykuł opisuję rozważania na temat oceny skutków inwestycji drogowych z wykorzystaniem metod ekonomicznych. Zakres tego typu badań nie jest obecnie popularny wśród ekonomistów i geografów gospodarczych, dlatego tematyka ta jest warta przybliżenia. W artykule pokrótce opisano metody ciążenia potencjału i wzajemnego oddziaływania, metody oceny opłacalności inwestycji, modele ruchu wzbudzonego pojazdów oraz analizę efektów inwestycji infrastrukturalnych, względem zmiany liczby podróży[1].

ASSESSMENT OF EFFECTS OF ROAD INVESTMENTS, WITH USE OF ECONOMIC METHODS

Article describes considerations on the assessment of the effects of road projects using economic methods. The scope of this type of research is not popular among economists and economic geographers, that's why is worth to look at them closer. The article briefly describes, among others: method of interaction, methods for assessing the profitability of investments, induced traffic models of vehicles, analysis of the effects of infrastructure investments, on the change in the number of trips.

[1] Tekst artykułu w kompleksowym ujęciu został opublikowany w Zeszycie Naukowym Instytutu Transportu Samochodowego nr 112/2016 p.t. „Problemy programowania inwestycji infrastrukturalnych w transporcie", który stanowi relację z badań statutowych autorów: 6420/ZBE „Wpływ zmian sieci drogowej na pracę przewozową wykonywaną przez przedsiębiorstwo", 2014-2015 i 6514/ITS „Badanie związków pomiędzy rozwojem gospodarczym regionów, a stanem rozwoju infrastruktury drogowej", 2015-2017. Stworzony w przyszłości Zeszyt Naukowy ITS, będący kontynuacją w/w, zawierać będzie warstwę obliczeniową. Wydaje się celowe przygotowanie syntetycznych rezultatów zastosowania prezentowanych metod rachunku w warunkach rozbudowy polskiej infrastruktury drogowej.

Wstęp

Podstawową funkcją systemu transportowego staje się zaspokojenie[2] potrzeb przewozowych, do czego niezbędna jest kompletna, nowoczesna gałęziowa infrastruktura techniczna – liniowa oraz punktowa.

Zakres badań potrzeb przewozowych, szczególnie w skali makro, nie jest obecnie popularny wśród ekonomistów i geografów gospodarczych. Rozważania tego typu odnoszą się przeważnie do skali mikro poszczególnych podmiotów gospodarczych. Nieskomplikowane metody matematyczno-statystyczne, zwane metodami ciążenia potencjału i wzajemnego oddziaływania w przestrzeni, mogą być wykorzystane w analizie różnego rodzaju ciążeń między obszarami określonego regionu i jego ośrodkiem centralnym.

1. Metody ciążenia potencjału i wzajemnego oddziaływania

Modele ciążenia i potencjału stanowią klasyczne narzędzie obliczania potencjalnych potrzeb przewozowych i związków transportowych wynikających z obsługi regionów węzłowych osadnictwa. Pozwalają przy tym syntetyzować zjawiska przestrzenne, wykorzystując liczne uproszczenia. Dokładniejsza analiza, odpowiadająca na pytania: „kto przewozi?" „ile?" „skąd?" „dokąd?", wymaga zastosowania metody programowania liniowego. Przy wykorzystaniu programowania liniowego optymalizowane są teraźniejsze lub przyszłe zadania przewozowe, wynikające z obsługi poszczególnych składowych procesu produkcji dóbr materialnych lub usług [9].

Według jednego z prekursorów tego typu rozważań, W. Isarda, miara ciążeń między ośrodkami przybiera następującą postać [21]:

$$I_{ij} = G\frac{w_j(F_i)^{\alpha} \times w_i(F_j)^{\beta}}{d_{ij}^{\mu}} \tag{1}$$

gdzie:

I_{ij} - miara ciążeń między ośrodkami i, j;

w_i, w_j - wagi mas F_i, F_j;

α, β - wykładniki mas F_i, F_j;

μ - wykładnik odległości.

Obecnie wielu krajowych autorów stosuję w badaniach nad potokami przewozowymi metodę bilansową. Polega ona na ilościowym ustaleniu głównych grup ładunkowych w układach relacji przewozowych, dokonywanym na podstawie analiz bilansów przepływów towarowych wewnątrz- i międzyregionalnych. W postaci modelu matematycznego taką zależność bilansową można przedstawić następująco:

[2] Transport obok podstawowej funkcji przemieszczania ludzi i dóbr materialnych spełnia szereg funkcji dodatkowych, na przykład: aktywizuje obszary słabiej rozwinięte, utrzymuje administracyjną i polityczną zwartość regionów i państw, współkształtuje potencjał obronny państwa, wyrównuje poziom kulturalny regionów [4 s. 146].

$$z = \sum_{i=1}^{m} \sum_{j=1}^{n} c_{ij} x_{ij} \rightarrow \min \tag{2}$$

przy warunkach:

$$\sum_{i=1}^{m} x_{ij} = a_i \qquad (i = 1, \ldots, m)$$

$$\sum_{j=1}^{n} x_{ij} = b_j \qquad (j = 1, \ldots, n)$$

$$x_{ij} \geq (i = 1, \ldots, m; j = 1, \ldots, n)$$

$$\sum_{i=1}^{m} a_i = \sum_{j=1}^{n} b_j$$

$$a_i > 0 \qquad b_j > 0$$

gdzie:

z - zbilansowane zadanie transportowe,

x_{ij} - szukana wielkość dostawy kierowanej od dostawcy D_i do odbiorcy O_j,

$a_1, a_2, \ldots, a_m$ - odpowiednie ilości zasobu towaru u dostawców $D_1, D_2, \ldots, D_m$,

$b_1, b_2, \ldots, b_n$ - odpowiednie zapotrzebowanie na ten towar zgłaszane przez odbiorców $O_1, O_2, \ldots, O_n$,

c_{ij} - współczynniki określające koszt przewozu jednostki towaru między dostawcą D_i i odbiorcą O_j.

W powyższym modelu poszukuje się układu dostaw zapewniających najniższy łączny koszt przewozów. Jest to zadanie z zakresu programowania liniowego, w którym w trakcie postępowania obliczeniowego otrzymane w każdej iteracji dane liczbowe zestawiane są w tzw. tablicę transportową. Uzyskujemy ją przez nałożenie na siebie tablicy przepływów (przemieszczeń) reprezentującej określone rozwiązania dopuszczalne i tablicy danych wyjściowych ze współczynnikami C_{ij} oraz w razie potrzeby z ich wartościami przekształconymi w odpowiedni sposób. Powstaje jednak niezwykle ważny, często zaś pomijany w badaniach, problem kompletności i rzetelności współczynników A_m, B_n i C_{ij}[3]. Współczynniki muszą być skonstruowane w poprawny sposób, tym bardziej, że

[3] Przykładowo, R. Domański zwracał uwagę na konieczność szczegółowej analizy „komunikacyjnego" zachowania się ludności w postaci funkcji czasu przejazdu, kosztu przejazdu i innych charakterystyk [R. Domański, 17, s. 162].

uwzględnienie zależności między regionami wyraża się w funkcji odległości rozumianej jako ogólne koszty transportu oraz jako tendencja do korzystania z danej gałęzi lub środka transportu. Koszty transportu cały czas się zmieniają, a tendencje popytowe są same w sobie zjawiskami dynamicznymi kształtowanymi przez zespoły uwarunkowań o różnym charakterze [4 s. 176-179].

Badania o ekonomicznym charakterze powinny opierać się na starannym doborze wykorzystywanych wskaźników. Stanowią one ważny komponent przeprowadzonego rachunku ekonomicznego. Poniżej przedstawiono dwa przykładowe wskaźniki.

- Wskaźnik skrócenia czasu przejazdu (WSCP) - jest łatwy do przeliczenia na koszt eksploatacji środków transportu, np. osobowego lub ciężarowego pojazdu samochodowego [22 s. 36].

$$WSCP = \frac{-(CP_{t_1} - CP_{t_1 - t_2})}{CP_{t_1 - t_2}} \tag{3}$$

gdzie:

$WSCP$ - wskaźnik skrócenia czasu podróży;

$CP_{t_1 - t_2}$ - czas przejazdu w roku t_1 bez uwzględnienia inwestycji zakończonych w roku t_2;

CP_{t_1} - czas przejazdu w roku t_1.

- Wskaźnik wąskich gardeł transportowych (WWGT) - stanowi odniesienie obliczeniowego natężenia ruchu na odcinku drogi, do przepustowości tego odcinka drogowego.

$$WWGT_i = \frac{Q_i}{P_i} \tag{4}$$

gdzie:

$WWGT_i$ - wskaźnik wąskiego gardła transportowego na odcinku i,

Q_i - obliczeniowe natężenie ruchu na odcinku i,

P_i - przepustowość na odcinku i.

W analizach prowadzonych przez IGiPZ PAN założono, że w wąskim gardle drogowym natężenie ruchu jest wyższe od przepustowości drogi. W związku z tym wskaźnik ten przyjmuje wartości wyższe od jedności. Wartość wyższa od 1,5 oznacza stan krytyczny [22 s. 32]. Obliczeniowe natężenie ruchu Q wyliczane jest według formuły:

$$Q = Q_o + Q_d f_d + Q_c f_c \tag{5}$$

gdzie:

Q - obliczeniowe natężenie ruchu,

Q_o - średniodobowe natężenie ruchu pojazdów osobowych,

Q_d - średniodobowe natężenie ruchu pojazdów ciężarowych lekkich (dostawczych),

Q_c - średniodobowe natężenie ruchu pojazdów ciężarowych (z przyczepami i bez przyczep), autobusów i ciągników,

f_d - współczynnik wpływu pojazdów ciężarowych lekkich w ruchu,

f_c - współczynnik wpływu pojazdów ciężkich i ciągników w ruchu.

Wymienione metody wskaźnikowe pozwalają uzyskać obraz kierunku i siły zjawisk związanych ze zmianami sieci drogowej. Otrzymujemy możliwość przeprowadzenia rachunku ekonomicznego poszczególnych projektów, a przy pełniejszym spojrzeniu na rozwój sieci transportowej, także określić ekonomiczne skutki jej zmian ilościowych i jakościowych.

2. Metody oceny opłacalności inwestycji

Spośród metod rachunku ekonomicznego, wykorzystywanych do oceny inwestycji infrastrukturalnych w drogownictwie i innych gałęziach transportu, można rozróżnić bezwzględne i względne metody oceny opłacalności przedsięwzięć inwestycyjnych:

- metody bezwzględne – ocena pojedynczych projektów i przedsięwzięć gospodarczych,
- metody względne – wyłonienie spośród wielu możliwych do realizacji wariantów przedsięwzięcia, tego który jest najbardziej efektywny i opłacalny.

Innym kryterium podziału metod rachunku ekonomicznego jest uwzględnianie w algorytmie zmienności wartości pieniądza w czasie. Można wyróżnić następujące metody [28 s. 87]:

- metody proste, które nie uwzględniają zmiany wartości pieniądza w czasie i oparte są na zysku jako mierze korzyści netto;
- metody złożone, uwzględniające zmienność wartości pieniądza w czasie, ryzyko i złożoność przedsięwzięć inwestycyjnych.

Proste metody rachunku ekonomicznego obarczone są ryzykiem, jednak charakteryzują się także zaletami. Nie wymagają szczegółowych danych i szybko dostarczają informacji o porównywalnych projektach. Dzięki tym cechom są użyteczne w regionalnych, punktowych badaniach infrastruktury liniowej na obszarach słabiej zurbanizowanych, gdzie przeważnie wielkość projektów inwestycyjnych nie jest duża. Wykorzystywane wielkości roczne są wielkościami nominalnymi, niezdyskontowanymi w momencie przeprowadzania oceny, co umożliwia porównanie efektów i nakładów, bez względu na moment rzeczywistego ich wystąpienia [28].

Proste metody okresu zwrotu są przeważnie wykorzystywane przez inwestora, który angażuje się finansowo w projekt. Przy prawidłowym, kompleksowym rachunku, mogą stanowić ważną przesłankę decyzyjną w procesie przygotowywania konkretnego projektu inwestycyjnego. Problem pojawia się w momencie, gdy to państwo jest inwestorem, a tak zazwyczaj się dzieje w przypadku rozbudowy bądź modernizacji infrastruktury. Wynika to z faktu, iż państwo w swoich decyzjach bierze pod uwagę również szereg uwarunkowań pozaekonomicznych (społeczne, integracyjne, regionalne, polityczne, prawno-międzynarodowe, obronne i wiele innych).

Ogólnie rzecz biorąc, metody okresu zwrotu pozwalają na dokonywanie wyboru spośród wielu projektów inwestycyjnych takiego wariantu, który pozwala jak najszybciej odzyskać poniesione nakłady. Okresem zwrotu jest liczba lat, w których poniesione

nakłady inwestycyjne zwrócą się w formie gospodarczego efektu tych inwestycji. Zaletą metod okresu zwrotu jest prostota i komunikatywność przekazu, wadami są brak obiektywnego kryterium decyzyjnego, pomijanie kwestii wartości pieniądza w czasie, nie uwzględnianie efektów po okresie zwrotu oraz opieranie się na wynikach księgowych, a nie na przepływach pieniężnych. Do tego inwestycje infrastrukturalne są kapitałochłonne i długotrwałe, a ich długoterminowy efekt można często szacować jedynie z określonym prawdopodobieństwem. Wpływa to na ograniczoność zastosowania omawianych metod. Przykładem są m.in. proste stopy zwrotu nakładów inwestycyjnych:

ROI (Return of Investment)

$$ROI = \frac{Z_o}{I_c} \times 100\% \tag{6}$$

gdzie:

Z_o - zysk operacyjny,

I_c - całkowite nakłady inwestycyjne.

ROE (Return of Equity)

$$ROE = \frac{Z_n}{I_{kp}} \times 100\% \tag{7}$$

gdzie:

Z_n - zysk netto,

I_{kp} - całkowite nakłady inwestycyjne finansowane udziałem własnym.

W przypadku stosowania złożonych metod rachunku ekonomicznego także występują problemy z zapewnieniem pełnego, kompleksowego i rzetelnego wsadu informacyjnego, również przy dyskontowaniu przyszłej wartości kapitału. Jednak pomimo przeciwności należy dążyć do stosowania złożonych metod oceny projektów inwestycyjnych, takich jak metoda zaktualizowanej wartości netto NPV (ang. Net Present Value). Aby wyznaczyć wartość NPV należy [28]:

- oszacować wartość przepływów pieniężnych netto w całym ekonomicznym cyklu infrastrukturalnego przedsięwzięcia inwestycyjnego,
- oszacować wartość zdyskontowaną dla każdego przepływu pieniężnego netto,
- zsumować zdyskontowane przypływy pieniężne netto.

Wynik sumowania traktuje się jako skumulowaną korzyść netto z danego przedsięwzięcia inwestycyjnego, czyli NPV. Uzyskana wartość powinna być większa od zera. Według innego założenia, metoda ta opiera się na zdyskontowanych (operacyjnych) przepływach środków pieniężnych, na kalkulacji rachunku w całym okresie trwania projektu inwestycyjnego (t = 0,1,2,…, n-1,n) oraz na przyjęciu ostrożnego założenia dotyczącego stopy dyskonta, którą przyjmuje się na poziomie kosztu pozyskania kapitału do realizacji projektu (średni ważony koszt kapitału). Koszt kapitału powinien być niższy od stopy zwrotu oczekiwanej przez inwestorów [6 s. 107-108].

$$NPV = \sum_{t=0}^{n} NCF_t \times CO_t \tag{8}$$

gdzie:

NCF_t - przepływy pieniężne netto w kolejnych latach okresu obliczeniowego,

CO_t - czynnik obecnej wartości (współczynnik dyskontowy) dla kolejnych lat okresu obliczeniowego (właściwy dla przyjętego poziomu stopy procentowej),

t = 0,1,2…,n - kolejny rok okresu obliczeniowego.

Jeżeli całość nakładu ponoszona jest w roku t = 0, to wzór przyjmuje postać:

$$NPV = \sum_{t=0}^{n} \frac{D_t}{(1+i)^t} - I_t \tag{9}$$

gdzie:

D_t - przepływy pieniężne netto związane z bieżącym funkcjonowaniem przedsięwzięcia (bez udziałów kapitałowych) w kolejnych latach okresu obliczeniowego,

I_t - nakłady kapitałowe w kolejnych latach okresu obliczeniowego,

i – roczna stopa procentowa,

t = 0,1,2…,n - kolejny rok okresu obliczeniowego.

Projekty inwestycyjne są zasadne dla warunku NPV > 0, względy pozaekonomiczne mogą w wyjątkowych przypadkach usprawiedliwić NPV = 0.

Powyższe rozważania sprowadzają się do refleksji, iż punktowe, ograniczone finansowo badania skutków inwestycji infrastrukturalnych transportu samochodowego w regionach słabiej rozwiniętych powinny opierać się na wybraniu możliwie uproszczonej metodologii badawczej. Metody te powinny umożliwić sformułowania wniosków, w części nawet intuicyjnych, o charakterze eksperckim. Tego typu podejście, przy występujących ograniczeniach zasobowych, może ocenić pożądany kierunek i siłę zmian stale komplikującej się przestrzeni społeczno-gospodarczej państw, regionów i środowisk lokalnych.

3. Modele ruchu wzbudzonego pojazdów

Jednym z rozwiązań wyżej wymienionych problemów badawczych jest propozycja polegająca na określaniu tzw. ruchu wzbudzonego pojazdów na budowanych lub modernizowanych odcinkach sieci drogowej po likwidacji „wąskich gardeł", czy wprowadzaniu istotniejszych zmian w organizacji ruchu. Jedno z podejść dzieli system transportowy na dwa podstawowe komponenty: popyt – liczba podróży generowana lub absorbowana przez dany obszar oraz podaż – obiekty budowlane, które służą do realizacji zamierzonych podróży (np. układ drogowy, torowiska tramwajowe czy linie kolejowe) [30]. Istotnym parametrem systemu jest czas, ponieważ system podlega zmianom w czasie zachowując jednocześnie swoje podstawowe właściwości. Modele transportowe to zbiór formuł matematycznych, które opisują komponenty systemu transportowego (podaż i popyt), uwzględniając jednocześnie występujące między nimi współzależności w czasie. W modelowaniu systemów transportowych popyt jest wyrażony przez liczbę podróży

generowanych bądź absorbowanych przez dany obszar, a podróż to sekwencja przemieszczeń realizowanych jednym lub większą liczbą środków lokomocji, zapewniająca osiągnięcie miejsca aktywności. Konsekwencją odbywania podróży jest obciążenie ruchem poszczególnych odcinków sieci transportowej na trasie między źródłem, a celem podróży. Jednym z najbardziej istotnych parametrów ruchu jest: w odniesieniu do określonego punktu – natężenie ruchu, natomiast w odniesieniu do odcinka oraz całej sieci – praca przewozowa i gęstość ruchu. Zmiany w obrazie ruchu są wywoływane zmianą parametrów infrastruktury transportowej objawiającej się wzrostem lub spadkiem przepustowości elementów sieci ulic oraz zdolności przewozowej transportu zbiorowego. Konsekwencją zmian w systemie transportowym jest zmniejszenie lub wydłużenie czasu podróży: fizycznego (rzeczywistego) bądź subiektywnego, a także kosztu uogólnionego podróży. Ruch wzbudzony zależny jest częściowo od zmian w zagospodarowaniu przestrzennym (np. budowa nowego osiedla, zakładu produkcyjnego czy dużego domu handlowego), co wymusza nowe podróże oraz przyczynia się do relokacji źródeł i celów dotychczasowych podróży. Miarę zagregowanego wpływu na generowanie podróży wzbudzonych można wyrażać przez wskaźnik dostępności będący odwrotnością fizycznego czasu podróży. Dlatego jednym z podstawowych czynników wpływających na liczbę podróży wzbudzonych bądź tłumionych jest zmiana dostępności transportowej wywołana zmianami stanu sieci transportowej, parametryzowana skróceniem lub wydłużeniem czasu podróży różnymi środkami przewozowymi.

3.1. Modele czterostadiowe

W połowie XX wieku podczas pracy nad modelami podróży, stworzono podejście łączące cztery składowe podróży tzw. modele czterostadiowe, które znalazły szerokie zastosowanie w dziedzinie planowania systemów transportowych. Pomimo niedoskonałości i stosowania licznych uproszczeń modele te stanowią podstawowy sposób modelowania podróży. Jednostką przestrzenną stosowaną w modelowaniu podróży dla aglomeracji jest rejon transportowy. Jest to wyodrębniony obszar stanowiący zagregowane miejsce rozpoczęcia i zakończenia podróży. Dla rejonu transportowego wyznacza się zmienne jak m.in.: liczba mieszkańców, liczba miejsc pracy czy osoby czynne zawodowo. W przypadku braku szczegółowych danych modele te bazują na danych szacunkowych. Następnie przeprowadza się ankietowe badania ruchu w losowo dobranej grupie gospodarstw domowych i po uwzględnieniu ich wyników opracowuje się matematyczne zależności opisujące podróże realizowane w modelowanym rejonie. Kolejnym elementem jest budowa modelu sieciowego danego obszaru. Model ten odwzorowuje układ drogowo-uliczny, biorąc pod uwagę ograniczenia w ruchu oraz parametryzując poszczególne przekroje, np. podając prędkość w ruchu swobodnym i przepustowość odcinków. Budując modele sieciowe, bazuje się na teorii grafów. Konkretne odcinki modelu są charakteryzowane pojęciem kosztu związanego z czasem przejazdu odcinka. Czas jest funkcją wielkości potoku ruchu i cech danego odcinka (np. przepustowości i prędkości w ruchu swobodnym). Czas przejazdu odcinka międzywęzłowego będzie również zależny od tego czy jest to odcinek dwujezdniowy, na który nie ma wpływu ruch z kierunku przeciwnego czy odcinek jednojezdniowy, gdzie na czas przejazdu ma także wpływ wielkość potoku ruchu poruszającego się w kierunku przeciwnym. Tak opracowany model sieciowy jest podstawą budowy modelu transportowego bazującego na ujęciu czterostadiowym. Poniżej przedstawione zostały cztery stadia modelowania.

1. Pierwsze stadium modelowania – generacja podróży (modelowanie powstawania ruchu).

2. Drugie stadium modelowania – rozkład przestrzenny podróży (rozkład ruchu pomiędzy rejonami).
3. Trzecie stadium – podział zadań przewozowych (podział ruchu na środki transportu).
4. Czwarte stadium – rozkład ruchu w sieci systemu transportowego danego obszaru (rozkład ruchu na sieć transportową).

Negatywne cechy modeli czterostadiowych nie wpływają znacząco na wyniki końcowe analiz prognostycznych dlatego są one powszechnie stosowane. Jednak obecnie szybki rozwój systemów transportowych, wprowadzanie lokalnych systemów sterowania ruchem czy priorytetów dla transportu zbiorowego powoduję, że modele czterostadiowe nie są w stanie sprostać coraz większemu zbiorowi danych wejściowych.

3.2. Modele oparte na aktywności mieszkańców

Innym podejściem do modelowania podróży jest analiza aktywności mieszkańców, aniżeli samych podróży. Modele te opierają się na założeniu, że potrzeby transportowe użytkowników są determinowane przez ich potrzebę do udziału w różnych aktywnościach rozproszonych w czasie i przestrzeni. Pojedynczy użytkownik systemu transportowego podejmuje indywidualne decyzje w interakcji z całym systemem, co wpływa na fakt, iż inni użytkownicy także mają wpływ na proces decyzyjny. Ogólne założenia ujęcia modelowania opierającego się na aktywnościach są następujące:

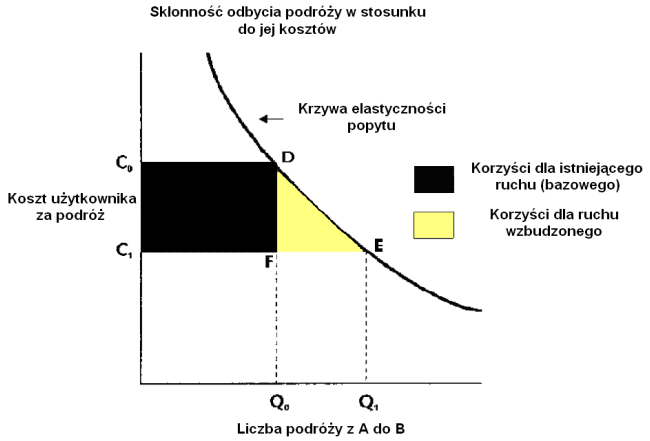
- konieczność podróży jest powodowana chęcią zmiany położenia użytkownika systemu, co jest związane z planowanymi aktywnościami (praca, zakupy itp.),
- użytkownik przy wyborze aktywności dysponuje pewnym ustalonym budżetem (ekwiwalentem czasu, posiadanymi środkami i uwarunkowaniami społecznymi),
- użytkownik dopasowuje i koordynuje swoje potrzeby wraz z innymi członkami gospodarstwa domowego,
- ograniczeniami dla wyboru aktywności mogą być: dostęp do samochodu (współ korzystanie z niego przez innego członka gospodarstwa domowego), dostęp do systemu transportu publicznego, czas trwania podróży,
- wybór konkretnej aktywności jest determinowany przez czas wyjazdu, czas trwania oraz położenie celu podróży.

W modelach opartych na aktywnościach niezbędny jest dostęp do szczegółowych baz danych na temat podróży realizowanych przez użytkowników. Dane te przeważnie są zapisywane w postaci dzienniczków podróży, w których ankietowany opisuje podróże z dnia poprzedzającego dzień badań. Informacje są zapisywane w postaci sekwencji przemieszczeń z uszczegółowieniem każdego etapu podróży. Odpowiednio skonstruowane badania pozwalają na opracowanie modeli uwzględniających: interakcję członków gospodarstwa domowego, opracowania łańcuchów aktywności oraz przypisania danych aktywności do czasu ich realizacji (ang. *activity scheduling*). Można wyróżnić trzy poziomy modelowania: modele średnioterminowe i długoterminowe, a także kalendarz dzienny. W badaniach przeprowadzonych w Kanadzie (Hamilton w stanie Ontario) Doherty i in. [13 s. 5-6] wykorzystano bazę danych na temat podróży realizowanych przez użytkowników systemu w ciągu siedmiu dni w celu określenia kiedy respondenci planowali konkretną aktywność, jak często zmieniali atrybuty przypisane do decyzji związanych z tą aktywnością i z jakiej części aktywności zrezygnowali. Badania te były pierwowzorem dla podobnych analiz przeprowadzonych w Niemczech i USA. Modele oparte na aktywnościach są dobrym narzędziem uwzględniającym wpływ różnych

czynników zewnętrznych na decyzję o tym czy realizować daną podróż czy z niej zrezygnować.

4. Analiza efektów inwestycji infrastrukturalnych, a zmiana liczby podróży.

Rola tego typu analiz jest istotna z punktu widzenia efektywności funkcjonalnej oraz ze względu na określenie efektywności ekonomicznej danej inwestycji infrastrukturalnej. Obecnie często pomija się ruch wzbudzony w analizach efektywności ekonomicznej, co prowadzi do niedoszacowania/przeszacowania tej wartości. Na rysunku 1 przedstawiono związek między kosztem podróży, a liczbą podróży wzbudzonych.

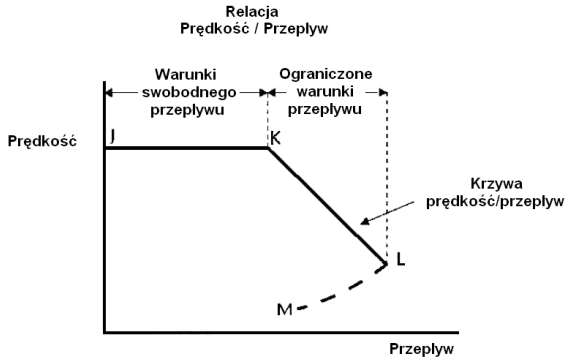


Rys. 1. Graficzne ujęcie skłonności użytkowników do odbycia podróży w stosunku do jej kosztów, opracowanie własne na podstawie [32 s. 113].

Fig. 1. Graphical presentation of tendency of users to travel in relation to travel costs, own study based on [32 p. 113].

Powyższy rysunek ukazuje wielkość osób chętnych do wykonania podróży między punktem A i B. Przy koszcie podróży C_0 wartość ta wynosi Q_0. Kiedy koszt podróży spada do wartości C_1 wielkość liczby podróży wzrasta do Q_1. Zagregowana korzyść dla podróżujących pomiędzy punktem A i B ze względu na zmniejszenie kosztów podróży to C_0DEC_1. Korzyść może być rozważana dwojako. Po pierwsze, dla liczby podróży Q_0 podróże są realizowane po koszcie C_0. Po ulepszeniu drogi koszt podróży spada do C_1. Podróże Q_0 osiągają zysk, który jest równy pełnej różnicy kosztów (C_0- C_1). Po drugie, występują podróże, które są wzbudzane przez obniżkę ich kosztów. Otrzymują one korzyść porównywalną do różnicy pomiędzy chęcią poniesienia kosztów podróży, a rzeczywistymi kosztami, różnicą jest obszar DEF. Jeżeli zmiana w kosztach nie jest zbyt duża, rozsądnie jest założyć że krzywa popytu jest liniowa w odpowiednim kierunku. W takim przypadku średnia wzmożona liczba podróży otrzymuje korzyść równą do połowy zmiany kosztów. Należy jednak zaznaczyć, że całkowity zysk użytkownika to nie to samo co zmiana w całkowitym koszcie użytkownika (zmniejszeniu go) związanym z podróżą. Na rysunku 1 jeżeli koszt użytkownika za podróż spada z C_0 do C_1, wydajność korzyści wynosi C_0DEC_1, a ogólny koszt użytkownika związany z podróżą może spaść lub wzrosnąć w zależności od elastyczności popytu. Aby dalej prowadzić analizę należy rozważyć także stronę podażową, bądź przepustowość (pojemność) sieci drogowej. Przykładowo przyjmujemy punkt rozpoczęcia pojedynczej podróży jako A, a jej cel jako

B, podróż wykonywana jest pojedynczą drogą. Rezultaty są uogólnione do wielu poszczególnych par destynacji i wielu dróg. Koszt, który ponosi użytkownik wykonując podróż to przede wszystkim koszt czasu i koszt użytkowania pojazdu. Koszt podróży między A i B zależy od dystansu, fizycznej charakterystyki drogi i gęstości ruchu jaką napotkano. Ostatnie dwa z tych czynników są zamknięte wokół relacji prędkość/przepływ.



Rys. 2. Relacja prędkości do przepływu [32 s. 116].
Fig. 2. Relationship of the speed, to the movement [32 p. 116].

Prosta relacja prędkość/przepływ składa się z dwóch komponentów – prędkości w ruchu swobodnym, ustalonej przez fizyczne charakterystyki drogi niezależnie od wielkości ruchu (zatłoczenia) i zasięgu przepływu. Zasięg przepływu (warunki swobodnego przepływu) to odcinek JK na powyższym rysunku, gdzie K jest maksymalnym swobodnym przepływem. Przepływy wyższe niż K mogą występować, ale kosztem zmniejszonej prędkości – odcinek KL na krzywej. Na tym odcinku indywidualne prędkości pojazdów wymuszone są przez obecność innych pojazdów, pomimo iż przepływ jest nadal płynny i nieprzerwany. Odcinek KL w odniesieniu do relacji prędkość/przepływ jest referowany jako ograniczony przepływ, z pewnymi opóźnieniami nakładanymi na użytkowników pojazdów kiedy wzrośnie zatłoczenie (poziom ruchu, przepływu). W rzeczywistości występuję trzeci segment, trudniejszy do zdefiniowania, który pojawia się, gdy ruch rośnie, tymczasowo zwiększając zatłoczenie, które przekracza pojemność danej trasy. Konsekwencją jest rozstrojenie stabilności przepływów, czasami charakteryzowane jako „szokująca fala podróżujących", prowadząca do zakłócenia swobodnego przepływu. Jest to odcinek LM z niestabilnymi warunkami zatłoczenia, w takim wypadku zarówno prędkość jak i przepływy spadną, występują częste postoje, tworzą się długie kolejki, a opóźnienie szybko się akumuluje.

Wagę wpływu podróży wzbudzonych na efektywność inwestycji badano również w Izraelu [29]. Ocena efektywności inwestycji prowadzonych w Izraelu bazowała na analizie kosztów i korzyści, co pozwoliło oszacować korzyści społeczne wynikające z realizacji danego projektu. Metoda bazowała na modelu czterostadiowym, który został ulepszony poprzez zastosowanie modeli opartych na aktywnościach (ang. activiti-based-models) oraz uwzględnienie pojęcia dostępności, definiowanej jako łatwość osiągnięcia celu podróży przez użytkownika systemu, kwantyfikowanej np. czasem podróży. Miary dostępności omawiano także w innej analizowanej literaturze m.in. połączenie dostępności i aktywności, w celu oceny wpływu danej inwestycji infrastrukturalnej na warunki ruchu. Jean-Claude Thill i Marim Kim [33 s. 229-248] zdefiniowali pojęcie podróży nie jako efekt końcowy, a środek do zaspokojenia pewnych, określonych potrzeb użytkowników systemu. Podróż jest ściśle związana z jak najłatwiejszą możliwością jej wykonywania,

rozumiana jako dostępność. Thill wskazał związek między zdefiniowaną przez niego dostępnością transportową, a wielkością podróży generowanych przez wybrany rejon transportowy.

Peter Headicar [17 s. 55-69] analizował efekt otwarcia odcinka autostrady M40 (Londyn-Oxford) na warunki ruchu. W trakcie badań zauważył związek między zwiększeniem dostępności, a zmianą popytu na podróże. Duży nacisk został położony na analizę dokumentów planistycznych, dzięki czemu wykazano szybki rozwój zabudowy jednorodzinnej związany ze zwiększeniem dostępności transportowej tych obszarów. Uprzednio, gdy obszary te nie posiadały planów zagospodarowania przestrzennego, ich niekontrolowany rozwój spowodował powstanie wysokiego poziomu zatłoczenia. Wdrożenie odpowiedniego zarządzania tymi terenami, z punktu widzenia gospodarki przestrzennej, pozwoliło na uporządkowanie sytuacji i odpowiednie ukierunkowanie zamierzeń budowlanych.

Peter J. Hills [18 s. 5-16] rozgraniczył dwa podejścia związane z analizowaną tematyką. Pierwsze dotyczy ruchu wzbudzonego (zwiększenie pracy przewozowej w pojazdokilometrach), a drugie podróży wzbudzonych (zwiększenie częstotliwości podróżowania). Zjawisko ruchu wzbudzonego było szerzej analizowane w latach 80.przez czterech anglików: Hall P., Breheny M., McQuail R., Hart D. [16]. Dokonali oni analizy wskazującej na rolę inwestycji transportowych jako jednego z podstawowych czynników wpływających na nowe formy rozwoju ekonomicznego i wzrostu liczby podróży wzdłuż korytarzy transportowych. Badania prowadzono w okresie intensywnej rozbudowy podmiejskich centrów handlowych usytuowanych w pobliżu autostrad. Wnioski były następujące, centra handlowe oraz usprawnienie/modernizacja układu drogowego wpływa znacząco na zachowania transportowe mieszkańców poprzez zmianę celów podróży, wydłużenie podróży oraz generowanie dodatkowych podróży.

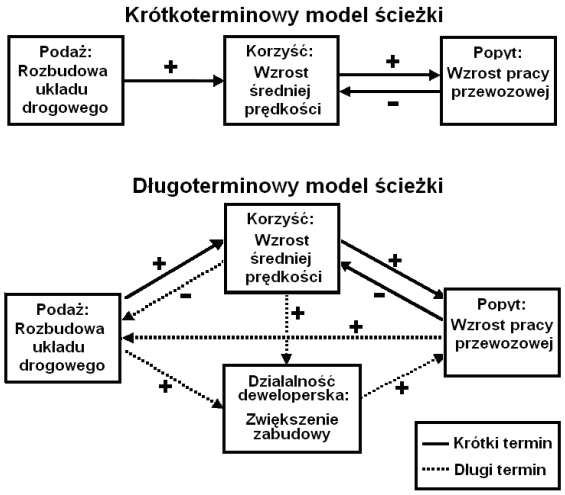
Todd Litman [24] określił reakcje, które mogą wystąpić po zwiększeniu przepustowości układu drogowego. Wykazano, iż dodatkowe podróże o charakterze wzbudzonym, dzięki poprawie warunków drogowych, przyczyniają się do istotnego zwiększenia pracy przewozowej. Dodatkową przepustowość jako efekt oddania do użytku nowej drogi (tzn. zwiększenie podaży) redukuję koszt podróży przez zmniejszenie czasów podróży, równocześnie prowadząc do zwiększenia liczby podróży (tzn. zwiększenia popytu).

Stosunkowo często przy wyznaczaniu udziału dodatkowych podróży generowanych przez inwestycje infrastrukturalne wykorzystuje się parametr redukcji kosztów związanych z czasem podróży (np. wyrażonych uogólnionym kosztem podróży). Aczkolwiek należy wziąć pod uwagę fakt, iż zwiększona liczba podróży spowodowana inwestycją infrastrukturalną może również zwiększać czas podróży, co wynika z intensywniejszego obciążenia sieci drogowej i zwiększania jej stopnia nasycenia. Sytuacja ta może z kolei wpływać na zmniejszenie szacowanego wzrostu liczby podróży. Cały proces powtarza się do momentu osiągnięcie równowagi pomiędzy kosztem podróży, a popytem transportowym.

Istotne są również długofalowe efekty inwestycji, które wiążą się z wydłużeniem podróży związanym ze zmianą miejsc zamieszkania i pracy, w związku z budową nowej linii transportu zbiorowego. Dlatego skutki rozbudowy/modernizacji infrastruktury transportowej należy analizować w dwóch czasookresach, jako efekt krótkoterminowy i długoterminowy. Początkowa reakcja użytkowników dotyczy tylko zmian w podziale zadań przewozowych i rozkładzie ruchu na sieć drogową. Dopiero po dłuższym czasie następuje zmiana zachowań transportowych związana np. ze zmianą źródeł i celów podróży (powodowanych m.in. zmianą miejsca zamieszkania, pracy czy zmian w

zagospodarowaniu przestrzennym). Drugim ważnym czynnikiem, który wpływa na liczbę podróży jest charakter realizowanych podróży, np. dla ulic miejskich, obsługujących głównie ruch wewnętrzny wartości przyrostu będą niższe ,w porównaniu do dróg, które obsługują podróże o charakterze regionalnym czy krajowym.

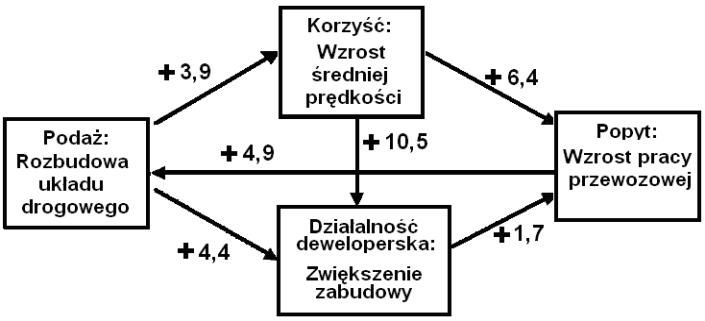
Robert Cervero [12] zauważył, iż poprzednie analizy nie biorą pod uwagę prędkości w sieci. Wykorzystuje on prędkość w sieci jako pochodną warunków zatłoczenia drogowego. W swoich badaniach uwzględnia szereg zmiennych, m.in.: długość sieci drogowej, pracę przewozową, dochód mieszkańców, zagospodarowanie przestrzenne wzdłuż uwzględnionych dróg oraz średnią wartość prędkości na obszarze analizy. Stosował on metodę najmniejszych kwadratów, a dane wejściowe dotyczyły 24 odcinków autostradowych w stanie Kalifornia. Istotą tych badań było powiązanie w/w zmiennych między sobą, co umożliwiło określenie efektów rozbudowy układu drogowego w każdym z tych elementów.



Rys. 3. Hipotetyczny model ścieżki w krótkim i długim terminie,
opracowanie własne na podstawie [12 s. 147.].
Fig. 3. Hypothetical path model in the short and long term, own study based on [12 p. 147.].

Cervero zdefiniował dwa hipotetyczne modele, dla okresu krótko i długo terminowego. Okres krótkoterminowy to zależność pomiędzy: podażą (rozbudowa układu drogowego, ang. *Supply Lane Mile Growth Share*), korzyściami (wzrost średniej prędkości, ang. *Benefit Roadway Speed*), a popytem (wzrost w pracy przewozowej, ang. *Demand, VMT*[4] *Growth Share*). W przypadku okresu długoterminowego występuję więcej zależności oraz dochodzi czwarty parametr: zmiany i aktywność w zagospodarowaniu, ang. *Development Activity: Building Growth Share*.

[4] VMT - vehicle miles traveled – pojazdomile



Rys. 4. Efekty wyników modelu ścieżki w długim terminie, opracowanie własne na podstawie [12 s. 160].

Fig. 4. The results of path model in the long term, own study based on [12 p. 160].

Zależności dotyczące efektu długoterminowego przyjmują stosunkowo duże wartości, np. wzrost prędkości o 10,5% powoduje wzrost pracy przewozowej w pojazdomilach o 6,4%. Przedstawione wyniki pozwalają odseparować wpływ różnych czynników na zmiany pracy przewozowej.

Ruch wzbudzony traktowany jest jak przykład reakcji popytu na usługi transportowe poprzez zwiększenie przepustowości układu drogowego. Niektóre analizy przedstawiają wyniki badań nad zjawiskiem podróży wzbudzonych, które spowodowane są zmianami w systemie transportowym wyrażonymi funkcją dostępności transportowej. Przeważnie tego typu analizy mają ogólny charakter i są to badania typu ex-post. Sytuacja ta wpływa na potrzebę prowadzenia badań ankietowych i uwzględniania wyników empirycznych.

Moshe Ben-Akiva i Steven R. Lerman [2], skupili się na pojęciu dostępności transportowej definiowanej jako związek pomiędzy liczbą ludności w obszarze analizy, a czasem podróży do pozostałych obszarów. Zwiększająca się dostępność wpływa na zmniejszanie się kosztu uogólnionego podróży, fakt ten potwierdza założenie, że zachowania transportowe reagują na zmiany w uogólnionym koszcie podróży.

Raport opracowany przez The Standing advisory Committee on trunk Road assessment [32] określa jakość sporządzanych prognoz ruchu dla inwestycji drogowych. Dla wielu przypadków badanych projektów, po ich wdrożeniu, prognozy zaniżały wartości natężenia ruchu w porównaniu do stanu faktycznego o ok. 10%.

Dla przykładu, w przypadku prostej sieci do której dodany został nowy odcinek, analiza podróży mająca na celu określić zwiększony ruch, powinna mieć następujące punkty oceny.

1. Dowód w postaci większego natężenia ruchu na nowym i starym odcinku, bez szczegółowej analizy.
2. Zmiany w czasie podróży – odczuwalne zwłaszcza, gdy przed inwestycją warunki ruchu cechowały się wysokim poziomem zatłoczenia.
3. Zmiany w wyborze trasy przejazdu – powinno się wykorzystać narzędzie symulacyjne lub przeprowadzić pomiary natężenia ruchu na alternatywnych ciągach dróg i wyznaczyć pracę przewozową w pojazdokilometrach dla wariantu z i bez inwestycji.
4. Zmiana środka transportu – wykonanie pomiarów w pojazdach transportu zbiorowego, jak również indywidualnego.
5. Zmiany w celu podróży lub częstotliwości jej realizowania – zmiany te mogą nie być widoczne po przeprowadzeniu pomiarów natężenia ruchu, ponieważ na niektórych odcinkach natężenie może się zmniejszyć wskutek rezygnacji części użytkowników z

danej lokalizacji, a brakująca liczba samochodów może zostać wypełniona przez innych kierowców jadących gdzie indziej. W efekcie możemy uzyskać podobne wyniki pomiarów dla krótszych podróży i większej ich liczbie.

Praca przewozowa, która stanowi jeden z parametrów opisujących stan sieci transportowej, także pojawia się w pracach badawczych nad zjawiskiem ruchu wzbudzonego. W USA badania nad spodziewanymi zmianami pracy przewozowej powodowanymi przez wybrane inwestycje drogowe przeprowadzone były m.in. dla czterech obszarów (Maryland, North Carolina, Wirginia, Baltimore Area). Wyniki wskazały istotny związek pomiędzy inwestycjami autostradowymi, a poziomem pracy przewozowej. Wykazano iż 10% zmiana w liczbie km autostrady wpływa na od 2% do 6% wzrostu całkowitej pracy przewozowej w regionie, który jest objęty wpływem inwestycji [15 s. 1-14].

W badaniach Robert B. Noland i William A. Cowart [25 s. 363-390] udowodnili istnienie silnej korelacji pomiędzy rozwojem sieci drogowej, a wzrostem pracy przewozowej tłumaczonym jako ruch wzbudzony. Jeden z mechanizmów powstawania ruchu wzbudzonego jest traktowany jako efekt poprawy przepustowości sieci drogowej. Kent M. Hymel, Kenneth A. Small i Kurt Van Dender [20] prowadzili również badania w tym względzie. W analizach dotyczących ruchu wzbudzonego dla inwestycji drogowych określanego zmianami pracy przewozowej uwzględnili szereg zmiennych. Nie tylko koszt podróży czy długość sieci drogowej były brane pod uwagę, ale również elementy zatłoczenia w sieci transportowej oraz zmiany w koszcie podróży związane ze zmianą efektywności ekonomicznej transportu. Rozpatrzony został przez autorów także tzw. efekt rykoszetu (ang. *rebound effect*[5]) tj. zmiany w polityce transportowej lub usprawnienia techniczne (np. poprawiające efektywność wykorzystania paliw), redukują koszty korzystania z taboru i wpływają na większe wykorzystanie pojazdów, generując dodatkowe podróże.

Podsumowanie

Badania nad zjawiskiem ruchu wzbudzonego i tłumionego rzadko prowadzi się w Polsce. W innych krajach europejskich, Stanach Zjednoczonych i Chinach prowadzone są regularne badania w tym względzie. Jednak pomimo licznych badań zagadnienie to nie jest jednoznaczne i często powstają problemy doboru odpowiednich metod i modeli, jak również ciężko odseparować konkretne przyczyny, które wpływają na zwiększenie liczby podróży. Podstawowym narzędziem oceny wielkości ruchu wzbudzonego są badania ex-post, polegające na wskazaniu wzrostu lub spadku liczby podróży po wprowadzeniu danej inwestycji. Prowadzone analizy również w zdecydowanej większości wyznaczają zmiany w pracy przewozowej, będące następstwem zmian w sieci drogowej. Nieliczni autorzy dostrzegają możliwość powiązania wielkości popytu z dostępnością transportową, wyrażającą stopień powiązania danego obszaru z innymi. Część badaczy wykorzystuje badania ankietowe, które mogą stanowić narzędzie wspomagające przy zastosowaniu modeli symulacyjnych. W ramach prowadzenia prac badawczych dotyczących tej tematyki proponuję się również wykorzystanie narzędzi symulacyjnych, badań ankietowych

[5] Efekt rykoszetu – postęp stwarza iż, dane urządzenie jest bardziej efektywne, dzięki czemu koszt użytkowania tego urządzenia jest mniejszy, przez co dochodzi do sytuacji, w której urządzenie jest intensywniej wykorzystywane, co sumarycznie generuję więcej pracy i kosztów związanych z jego użytkowaniem.

i pomiarów natężenia ruchu prowadzonych przed i po oddaniu danej inwestycji do użytkowania. Inwestycje w infrastrukturę transportową generują dodatkowe podróże, a zależności można obliczać wykorzystując zaawansowane modele bazujące na aktywnościach lub stosować popularne w Polsce ujęcie czterostadiowe. Niestety modele czterostadiowe nie są wrażliwe na czynnik czasu podróży jako determinanty generacji podróży. Dlatego rozbudowa modelu czterostadiowego o moduł uwzględniający wpływ zmian wartości czasu podróży jest dobrym rozwiązaniem.

Badania również wykazywały zwiększenie ruchu nie pochodzące od zmian w podziale zadań przewozowych czy zmiany trasy przejazdu, lecz ze względu na poprawę warunków samej podróży. Wiele czynników wpływa na zwiększenie ruchu, a podróże wzbudzone przez poprawę stanu infrastruktury transportowej są jedną z przyczyn. Uwidacznia się także związek między dostępnością transportową rejonu transportowego, a liczbą podróży, co pozwala określać zwiększenie ruchu spowodowane inwestycjami infrastrukturalnymi. Przytoczeni autorzy wskazywali na potencjalny związek między przewidywanym czasem podróży, a ewentualną gotowością do jej realizacji. Nowa inwestycja transportowa często wpływa również na rozkład przestrzenny podróży, wybór środka transportu oraz wybór trasy. Zwiększanie wskaźnika dostępności transportowej dzięki nowej inwestycji transportowej będzie również zwiększało liczbę podróży.

LITERATURA

[1] Banak M., Brdulak J., Krysiuk C., Pawlak P., Kierunki rozwoju infrastruktury transportu samochodowego w Polsce. Wydawnictwo Instytutu Transportu Samochodowego, Warszawa 2014.

[2] Ben-Akiva M., Lerman S. R., Discrete Choice Analysis: Theory and Application to Travel Demand, The Massachusetts Institute of Technology Press, 1985.

[3] Brdulak J.; Transport wodny śródlądowy jako element systemu transportowego Polski, SGPiS, Warszawa 1989.

[4] Brdulak J., Kordel Z.; Dylematy polityki transportowej, „Przegląd Komunikacyjny", 1983, nr 7.

[5] Brdulak J., Pawlak P., Krysiuk C., Zakrzewski B., Domykanie sieci dróg ekspresowych i autostrad czynnikiem mnożnikowym gospodarczego rozwoju regionów, Instytut Magazynowania i Logistyki, Logistyka 3/2014.

[6] Brdulak J., Zakrzewski B., Efektywność centrum logistycznego na Południowym Podlasiu, ITS, Warszawa 2013.

[7] Brdulak J., Zakrzewski B.; Methods of Calculating the Efficiency of Logistics Centres, „Archives of Transport", 2013, issue 3-4.

[8] Brdulak J., Zakrzewski B.; Ocena ekonomicznej efektywności funkcjonowania Centrum Logistycznego w Małaszewiczach – założenia teoretyczne, „Transport Samochodowy", 2008, nr 4.

[9] Buga J., Nykowski I.; Zagadnienia transportowe w programowaniu liniowym, PWN, Warszawa 1974.

[10] Busłowska A.; Wpływ infrastruktury kolejowej na zrównoważony rozwój regionu (na przykładzie Województwa Podlaskiego), Uniwersytet w Białymstoku, Białystok 2013.

[11] Carey H. C., Principles od Social Science, Henry Carey Baird & CO., Industrial Publishers, Philadelphia 1879.

[12] Cervero R., Road Expansion, Urban Growth, and Induced Travel, A Path Analysis, Journal of the American Planning Association, Spring 2013, Vol. 69, No. 2.

[13] Doherty S., Miller E., Axhausen W., Garling T., A conceptual model of the weekly household activity-travel scheduling process, Travel Behavior: Patterns, Implications and Modeling, 1997.
[14] Domański R.; Kształtowanie otwartych regionów ekonomicznych, PWE, Warszawa 1972.
[15] Fulton L. M., Noland R. B., Meszler D. J., Thomas J. V., A statistical Analysis of Induced Travel Effects in the U.S. Mid-Atlantic Region, Journal of Transportation and statistics, April 2000.
[16] Hall P., Breheny M., McQuail R., Hart D., Western sunrise: The Genesis and Growth of Britain'a High-Tech Corridors, Allen & Unwin, Londyn 1987.
[17] Headicar P., The local development effects of major new roads, M40 case study, Transportation 23, 1996, Kluwer Academic Publishers.
[18] Hills P. J., What is induced traffic?, Transportation 23, 1996, Kluwer Academic Publishers.
[19] Hoszman A.; Dostępność transportowa: determinanty, pomiar i efekty społeczno-gospodarcze, SGH, Warszawa 2014.
[20] Hymel K. M., Small K. A., Van Dender K., Induced Demand and Reboubnd Effects in Road Transport, University of California, Irvine, 2010.
[21] Isard W. i in.; Metody analizy regionalnej, wprowadzenie do nauki o regionach, PWN, Warszawa 1965.
[22] Komornicki T. z zesp.; Ocena wpływu inwestycji infrastruktury transportowej realizowanych w ramach polityki spójności na wzrost konkurencyjności regionów (w ramach ewaluacji ex post NPR 2004-2006), Min. Rozwoju Regionalnego, Warszawa 2010.
[23] Leszczyński K.; Ekonomiczne kryterium rachunku w długim i krótkim okresie, Warszawa 1997.
[24] Litman T., Evaluating Accessibility fot Transportation Planning, Measuring People's Ability to Reach Desired Goods and Activities, Victoria Transport Policy Institute, June 2014.
[25] Noland R. B., Cowart W. A., Analysis of Metropolitan Highway Capacity and the growth in vehicle miles of travel, Transportation 27, Kluwer Academic Publishers, 2000.
[26] Pawlak P., Modelowanie podróży związane ze zmianą stanu infrastruktury transportowej, Wydawnictwo Instytut Magazynowania i Logistyki, Logistyka 3/2015.
[27] Rodier C. J., Abraham J. E., Johnston R. A., Hunt J. D., Anatomy of induced travel using an integrated land use and transportation model in the Sacramento region, Federal Highway Administration, November 2000.
[28] Rogowski W.; Rachunek efektywności przedsięwzięć inwestycyjnych, Oficyna Wydawnicza, Kraków 2006.
[29] Shiftan Y., Ben-Akiva M., de Jong G., Hakkert S., Simmonds D., Evaluation of externalities in transport projects, Institute of Transport Studies, University of Leeds.
[30] Szarata A., Modelowanie podróży wzbudzonych oraz tłumionych zmianą stanu infrastruktury transportowej, Politechnika Krakowska, Seria Inżynieria Lądowa, Monografia 439, Kraków 2013.
[31] Szarata A., Żygłowicz J., Dynamiczne modele podróży cz. I, http://edroga.pl/inzynieria-ruchu/dynamiczne-modele-podrozy-cz-i-20025431/statyczne-metody-rozkladu.
[32] The Department of Transport, The Standing Advisory Committee on Trunk Road Assessment, Trunk roads and the generation of traffic, Chairman: Mr D. A. Wood QC, December 1994, London: HMSO.
[33] Thill J-C., Kim M., Trip making, induced travel demand, and accessibility, J Geograph Syst (2005) 7: 229-248, Springer-Verlag.