

Jacek Brdulak¹
Piotr Pawlak²

ZMIANY JAKOŚCIOWE INFRASTRUKTURY DROGOWEJ W ODNIESIENIU DO MODELI RUCHU I KORZYŚCI LOKALIZACYJNO-EKONOMICZNYCH PRZEDSIĘBIORSTW

DOI: 10.26399/meip.3(74).2022.15/j.brdulak/p.pawlak

WPROWADZENIE

Zmiany jakościowe w transporcie samochodowym są nieuchronną częścią ewolucji społeczno-klimatyczno-gospodarczą. Znacząco przekształca się też podejście społeczeństwa do przyszłego kształtu transportu samochodowego, zwłaszcza w miejscach koncentracji ludzi, przeważnie w dużych aglomeracjach miejskich. Dużo zależy także od zobowiązań regulacyjnych UE i terminów wprowadzania poszczególnych rozwiązań; nawet w sytuacji nacisku ze strony części społeczeństwa, o którym świadczą wyniki sondażu przeprowadzonego w marcu 2021 r. wśród mieszkańców 15 największych miast Europy z ośmiu krajów. Odpowiedzi udzielało 10 050 respondentów, a sondaż wykazał, że 63% mieszkańców europejskich miast popiera dopuszczenie do sprzedaży po 2030 r. tylko samochodów bezemisyjnych. Aby jednak osiągnąć ten cel, charakter rynku motoryzacyjnego, zwłaszcza w krajach słabiej rozwiniętych, musi ulec zmianie, co nie będzie zadaniem łatwym³. Transport jest istotny dla prawidłowego funkcjonowania działalności gospodarczej i stanowi klucz do zapewnienia dobrobytu

¹ Jacek Brdulak – dr hab., prof. SGH, Kolegium Nauk o Przedsiębiorstwie, Szkoła Główna Handlowa w Warszawie, e-mail: jbrdul@sgh.waw.pl, ORCID: 0000-0002-6746-8770.

² Piotr Pawlak – dr, Instytut Transportu Samochodowego w Warszawie, e-mail: piotr.pawlak@its.waw.pl, ORCID: 0000-0001-7713-9770.

³ European Federation for Transport and Environment, *In cities 63% support EU ban on petrol and diesel car, sales after 2030*, <https://www.transportenvironment.org/discover/cities-63-support-eu-ban-petrol-and-diesel-car-sales-after-2030/> [dostęp: 5.08.2022].

społecznego. Zapewnia on codzienną mobilność ludzi i ma ogromne znaczenie dla produkcji i dystrybucji towarów. Odpowiednia infrastruktura jest podstawowym warunkiem wstępnym dla funkcjonowania systemów transportowych. Istnienie fizycznych barier lub przeszkód, takich jak niewystarczająca lub nieodpowiednia infrastruktura transportowa, wąskie gardła i brak odpowiedniej jakości oraz ilości połączeń transportowych, a także brak środków na usunięcie tych niedogodności stanowi nadal problem, również w Polsce. Rozwiązanie tych problemów jest trudne. Wymaga działań ze strony zainteresowanych rządów, a także działań skoordynowanych z innymi rządami na szczeblu międzynarodowym.

Transport, zwłaszcza przewozy samochodowe osób i ładunków, choć wiąże się z dużą emisyjnością zanieczyszczeń, nadal stanowi bardzo istotną dziedzinę gospodarowania. Dotyczy to środowiska lokalnego, regionalnego oraz płaszczyzny państwowej i ponadnarodowej⁴.

Analiza związana z takimi pojęciami jak ruch generowany, podróże wzbudzone czy kwestie badań i budowy modeli ruchu pozwalają, na zaobserwowanie trendów, które są związane ze zmianami w infrastrukturze drogowej. Prowadzenie tego typu analiz jest konieczne zarówno ze względu na próbę oszacowania efektów społeczno-gospodarczych, jak i w kontekście działalności decyzji o lokalizacji przedsiębiorstw i działalności przewozowej, która wpływa na osiągnięcie ekonomicznych korzyści przez przedsiębiorstwa.

1. RUCH GENEROWANY ORAZ PODRÓŻE WZBUDZONE W KONTEKŚCIE MODELOWANIA RUCHU

Analizując dwa przedstawione zagadnienia, należy wyjaśnić definicję każdego z nich. Dodatkowe podróże nazywane są generowanym ruchem. Ruch generowany, zgodnie z definicją, składa się z ruchu skierowanego – są to m.in. podróże przesunięte w czasie, zmiana trasy czy celu podróży. Drugim pojęciem są podróże wzbudzone przy wykorzystaniu pojazdów i dotyczą przesunięcia z innych środków transportu, występowania dłuższych przejazdów czy nowych podróży⁵.

Modelowanie systemów transportowych jest istotnym zagadnieniem zarówno z punktu widzenia mobilności, jak i ze względu na aspekty środowiskowe i próby minimalizowania kosztów zewnętrznych transportu. Dotyczy to zwłaszcza gałęzi transportu,

⁴ P. Pawlak, *Rozbudowa infrastruktury drogowej a lokalizacja i rozwój przedsiębiorstw*, „Kwartalnik Nauk o Przedsiębiorstwie” 2020, nr 55(2), s. 65–82.

⁵ T. Litman, *Generated Traffic and Induced Travel. Implications for Transport Planning*, Victoria Transport Policy Institute, www.vtpi.org/gentraf.pdf [dostęp: 10.08.2022].

którą jest transport samochodowy. Potrzeby przewozowe są obecnie najczęściej zaspokajane z wykorzystaniem właśnie tej gałęzi transportu. Inne gałęzie transportu obsługują teren w bardziej liniowy i punktowy sposób, natomiast transport samochodowy działa najbardziej powierzchniowo, co sprzyja w największym stopniu równomiernemu rozwojowi regionalnemu.

W ramach systemu transportowego popyt wyraża się liczbą podróży generowanych lub absorbowanych przez dany obszar. Podróż jest sekwencją przemieszczeń realizowanych jednym lub większą liczbą środków lokomocji, która ma zapewnić osiągnięcie miejsca, w którym odbywa się określona aktywność ważna dla konkretnej osoby bądź grupy osób. Konsekwencją realizacji takiej podróży jest obciążenie ruchem poszczególnych odcinków sieci transportowej na trasie pomiędzy źródłem a celem podróży. W związku z tym dla określonego punktu jednym z ważnych parametrów ruchu jest natężenie ruchu. Dla odcinka i całej sieci istotne są praca przewozowa i gęstość ruchu. Podróż zawsze jest związana z użytkownikiem systemu transportowego. Zmieniająca się liczba podróży wynika w dużej mierze ze zmian w zakresie czynników sprawczych odbywania podróży. Czynniki te odnoszą się do aktywności, które są charakteryzowane rodzajem i intensywnością, zależnymi od konieczności odbycia podróży (dojazd do pracy), preferencji użytkownika (przeważnie dodatkowe aktywności, takie jak dojazd na basen, siłownię, do kina), możliwości finansowych, a także zagospodarowania przestrzennego i transportowego danego obszaru. Zmiana liczby podróży może się również dokonywać bez zmian w zagospodarowaniu przestrzennym, a także ze względu na zmiany w systemie transportowym, które dotyczą infrastruktury oraz parametrów oferty przewozowej. Bodźcami wpływającym na wzrost liczby podróży mogą być m.in.: budowa nowego ciągu drogi, poszerzenie istniejącej drogi, przebudowa skrzyżowania zwiększająca jego przepustowość lub zwiększenie częstotliwości kursowania pojazdów transportu zbiorowego. Zmiany te pozwalają skrócić czas trwania potencjalnej podróży i zwiększyć standard podróżowania, m.in. zwiększenie płynności przejazdu. Dodatkowe podróże, które są związane z wystąpieniem zmian w systemie transportowym, nazywane są podróżami wzbudzonymi. Oczywiście przedstawione zjawisko może mieć także odwrotną charakterystykę, ponieważ na zmniejszenie liczby podróży mogą mieć wpływ takie czynniki, jak np.: zwężenie jezdni w sposób trwały bądź czasowy w okresie przebudowy skrzyżowania, zmniejszenie częstotliwości kursowania czy likwidacja linii transportu zbiorowego. Działania te powodują wydłużenie czasu podróży i pogorszenie warunków podróżowania, przez co zwiększa się zatłoczenie, a warunki podróżowania ulegają pogorszeniu. Zmniejszenie liczby podróży wywołane zmianami w systemie transportowym nazywane jest podróżami tłumionymi.

Występowanie podróży wzbudzonych lub tłumionych ma wpływ na zmiany ruchu w sieci. Zmienia się natężenie ruchu, wielkość potoków pasażerskich, a także wielkość pracy przewozowej. Oczywiście nie jest to jedyny czynnik sprawczy zmian, jednak

ma duże znaczenie. Zmiany w obrazie ruchu dokonują się także bez zmiany w liczbie realizowanych podróży, a w wyniku modyfikacji takich atrybutów podróży jak m.in. wydłużenie lub skrócenie podróży, wybór innej trasy, zmiana liczby osób w samochodzie. W odniesieniu do kierunku tych zmian można zaobserwować ruch generowany lub redukowany. Zmiany w obrazie ruchu są powodowane przekształceniami parametrów infrastruktury transportowej objawiającej się wzrostem lub spadkiem przepustowości poszczególnych elementów sieci, zdolności przewozowej transportu zbiorowego, zwiększeniem lub zmniejszeniem prędkości komunikacyjnej, poprawą bądź pogorszeniem płynności ruchu czy zmianą dostępności miejsc parkingowych bądź innym komfortem podczas jazdy w pojeździe transportu zbiorowego. Pojęcie ruchu generowanego związane jest również ze zmianą w zagospodarowaniu przestrzennym, taką jak np. budowa galerii handlowej, nowego osiedla czy jednostki przemysłowej. Zmiany te w pewien sposób wymuszają nowe podróże, a także przyczyniają się do relokacji źródeł i celów dotychczasowych podróży.

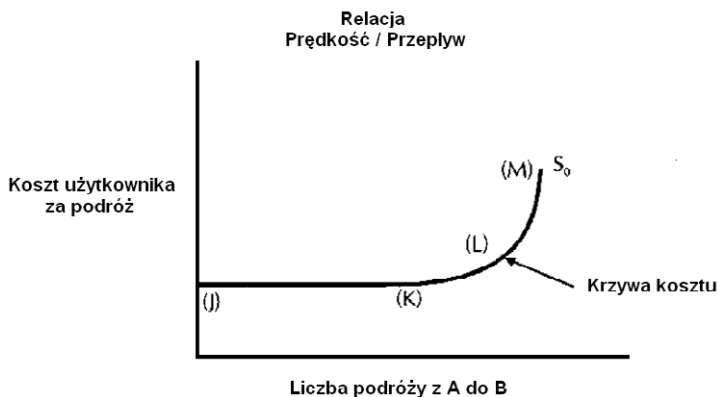
Zmiany, które zachodzą w systemie transportowym, wpływają na zmniejszenie lub wydłużenie czasu podróży: fizycznego (rzeczywistego) bądź subiektywnego, a także kosztu uogólnionego podróży. Zmiana dostępności transportowej wywołana zmianami stanu sieci transportowej jest jednym z podstawowych czynników, które wpływają na liczbę podróży wzbudzonych lub tłumionych. Parametryzuje się ją skróceniem lub wydłużeniem czasu podróży różnymi środkami przewozowymi⁶.

Badanie efektów inwestycji infrastrukturalnych w postaci zmiany liczby podróży stanowi ważną tematykę pod kątem przemieszczania osób i towarów, a także ze względu na wpływ transportu samochodowego na środowisko naturalne człowieka. Przeprowadzanie tego typu analiz pozwala na ocenę efektywności funkcjonalnej i efektywności ekonomicznej danej inwestycji infrastrukturalnej. Obecnie często pomija się ruch generowany, co prowadzi do niedoszacowania lub przeszacowania wartości efektywności inwestycji infrastrukturalnej. Nieuwzględnianie ruchu generowanego może prowadzić do przeszacowania korzyści dla sieci o wysokim stopniu zatłoczenia transportowego.

Koszty użytkownika związane z poruszaniem się w systemie transportowym to przede wszystkim koszt czasu i koszt użytkowania pojazdu. Koszt podróży pomiędzy dwoma odcinkami zależy od dystansu, fizycznej charakterystyki drogi i gęstości ruchu, jaką napotkano. Ostatnie dwa wymienione czynniki dotyczą relacji prędkości do przepływu w ruchu drogowym. Mając wiedzę na temat pieniężnej wartości czasu oraz relacji pomiędzy prędkością a kosztami operacyjnymi, można tę zależność przedstawić jako krzywą kosztu (rysunek 1).

⁶ P. Pawlak, *Modelowanie podróży związane ze zmianą stanu infrastruktury transportowej*, „Logistyka” 2015, nr 3.

Rysunek 1.
Relacja prędkości do przepływu w wersji uproszczonej



Źródło: opracowanie własne na podstawie: The Department of Transport, The Standing Advisory Committee on Trunk Road Assessment, Chairman: Mr D.A. Wood QC, *Trunk roads and the generation of traffic*, HMSO, London 1994, s. 116.

Krzywa kosztu została oznaczona symbolem S_0 i określa poziom kosztów użytkownika, które musi ponieść w związku z podróżą przy każdym możliwym natężeniu ruchu. Dla warunków swobodnego przepływu (odcinek JK) krzywa jest pozioma, ponieważ prędkość, czas i koszty przejazdu za podróż nie będą zależne od poziomu ruchu. Odcinek KL reprezentuje pogorszony przepływ ruchu, co wiąże się ze wzrostem kosztu podróży wraz ze wzrostem wielkości ruchu. W sytuacji tej dodatkowe natężenie ruchu jest związane z mniejszą prędkością i dłuższym czasem podróży. Ostatni odcinek, LM, odwzorowuje sytuację niestabilnego przepływu (zakorkowania na drodze). Pojawiają się i wzrastają znaczne opóźnienia, występują kolejki, koszt podróży rośnie, a liczba podróży utrzymuje się cały czas na podobnym poziomie. W takich warunkach nie pojawiają się podróże wzbudzone i tłumione. Przedstawione zależności wskazują potencjalne zachowanie konsumentów, decydentów w kontekście skłonności do odbycia podróży w stosunku do jej kosztów, a także w odniesieniu do relacji prędkości i przepływu ruchu.

2. ROZWÓJ MODELI I BADAŃ RUCHU

Analizując modele ruchu, można się odnieść już do połowy XIX w. i prac H.-G. Desarta, belgijskiego inżyniera budownictwa. Analizował on obszerny i unikatowy jak na owe czasy zestaw danych, na które składały się szczegółowe statystyki dotyczące

podróży pasażerskich kolei belgijskich. Pięć lat po uzyskaniu niepodległości w 1830 r. Belgia się pochwalić pierwszą w Europie koleją z trakcją, która była wyłącznie parowa. Belgia stanowiła pierwsze państwo, w którym sieć linii kolejowych zaplanowana została odgórnie. Przez kolejną dekadę powstały korytarze, które łączyły północ kraju z południem, a także wschód z zachodem⁷. Do 1843 r. rząd belgijski wybudował 345-kilometrowy system kolejowy. System ten był w pełni sprawny, jednak przynosił skromne zyski. W związku z tym pojawił się popyt na rozbudowę systemu, co wywołało debatę o decyzji, które linie zbudować i czy powinien to zrobić rząd czy prywatne przedsiębiorstwa. Zaangażowanie w planowanie nowych linii wiązało się z koniecznością spojrzenia nie tylko na aspekty inżynieryjne problemu, ale także na zapotrzebowanie na usługi kolejowe. Podobnie jak we Francji, tak i w Belgii zadanie to zazwyczaj zlecano inżynierom. Prowadziło to naturalnie do problemu określenia użyteczności kolei. Dlatego Desart zdecydował się prowadzić badania w tym kierunku. Doprowadziły one do odkrycia modeli grawitacyjnych w 1846 r., co ciekawe, kilkanaście lat przed opublikowaniem przez H.C. Careya⁸ książki, którą uważa się za pierwsze znaczące dzieło na temat modeli ruchu. Desart najpierw wymyślił wersję modelu grawitacyjnego w postaci przedstawionej poniżej.

$$c(D) P_1 P_2 (1)$$

Odkrył, że liczba podróży między dwoma miastami z populacjami P_1 i P_2 w odległości D wynosiła w przybliżeniu $c(D)P_1P_2$, gdzie $c(D)$ jest stałą zależną tylko od odległości D . Linia południowa belgijskich kolei została odłączona od pozostałych linii, a także od połączenia ze stolicą – Brukselą, dzięki czemu można było łatwiej zbadać ruch na niej panujący. Dla takiego rozwiązania Desart uzyskał wyniki prowadzonych obliczeń. Przygotował tabelę podającą wartości $c(D)$ dla różnych wartości D wynoszących od 2 do 250 km. Typową wartość określił następująco: $c(D) = 44,83$ dla D pomiędzy 19 a 20 km. Populacje jednostek osadniczych Desart mierzył w jednostkach po 1 tys. mieszkańców, a odległość w kilometrach. Wykreślając $c(D)$ Desarta w skali logarytmicznej (dla D sięgającego aż 250 km), można stwierdzić, że wartości dla $D > 11$ km spadają prawie w linii prostej, a obliczenie dopasowania liniowego metodą najmniejszych kwadratów pokazuje, że najlepsze nachylenie tej linii wynosi $-2,25$. Desart rok później doszedł do nieco innej formy równania, ponieważ dla $D > 11$ km ustalenia odpowiadały modelowi grawitacyjnemu postaci równania przedstawionego poniżej (2) z $\alpha = 2,25$.

⁷ Kurier Kolejowy, *Początki kolei w Belgii*, <https://kurier-kolejowy.pl/aktualnosci/9472/poczatki-kolei-w-belgii.html>, (dostęp: 12.08.2022).

⁸ H.C. Carey, *Principles of Social Science*, Henry Carey Baird & CO., Industrial Publishers, Philadelphia 1879.

$$\frac{P_1 P_2}{D^\alpha} \quad (2)$$

Dojście do tych wniosków zajęło Desartowi rok, jednakże statystyka w XIX w. nie była zbyt wyrafinowana, więc ten tok rozumowania był wówczas bardzo oryginalny. Nawet wcześniejsze prace Desarta, bez określenia standardowej formy prawa grawitacji, były znacznie bardziej zaawansowane niż inne publikacje z ówczesnych kręgów kolejowych. W ramach swoich badań Desart przedstawił również obszerne ilościowe oceny dopasowania swojego modelu. Warto zauważyć, że grawitacyjny model postaci równania (2) przy $\alpha = 2,25$ odpowiada bardzo wysokiemu stopniowi lokalizacji. Wynika to również z faktu, że opłaty były zwykle proporcjonalne do odległości, przy tak wysokiej wartości α nawet przychody są w dużej mierze zdominowane przez ruch lokalny, co jeszcze bardziej przemawia za położeniem większego nacisku na węzły pośrednie linii kolejowych, a mniej na bezpośrednie połączenia, linie.

Bardzo często w celu uzyskania lepszego dopasowania stosuje się różne warianty modeli grawitacyjnych, ponieważ wytyczne są często przybliżone, a nie dokładnie takie same. Jednym z takich wariantów jest właśnie wzór (2). Oblicza się go przeważnie dla pewnej stałej wartości α , zwykle z przedziału $1 \leq \alpha \leq 2$. Często stosuje się jeszcze bardziej rozbudowane wersje, czasami z D zastępowanym przez jakąś uogólnioną miarę kosztu lub odległość oddzielającą P_1 i P_2 . Dochodzenie Desarta było motywowane bardzo praktycznym problemem, stworzeniem projektu belgijskiego systemu kolejowego. Gdyby jego wyniki stały się powszechnie znane i właściwie zinterpretowane, systemy kolejowe na całym świecie z pewnością zostałyby zbudowane znacznie wydajniej. Problem polegał na tym, że planiści kolejowi nie mieli odpowiedniego rozeznania w lokalizacji ruchu i spodziewali się, że większość popytu będzie pochodzić z podróży na duże odległości. Doprowadziło to do pogoni za tzw. liniami bezpośrednimi i powiązanymi gałęziami, zazwyczaj skoncentrowanymi na kilku największych miastach. Zanedbano ruch lokalny i krzyżowy.

Modele grawitacyjne, choć mają dłuższą historię, weszły do powszechnego użytku dopiero po II wojnie światowej. Od tego czasu wiele dziedzin opiera się na tzw. grawitacyjnych modelach interakcji przestrzennej, które zapewniają ilościowe oszacowanie stopnia lokalizacji w transporcie lub komunikacji. W najprostszej postaci modele te mówią, że dwie populacje P_1 i P_2 w odległości D oddziałują (wartości mierzone liczbą lotów samolotem, telefonami, e-mailami lub podobnymi czynnościami) z proporcjonalną intensywnością⁹. Analizując okres od połowy XX w., należy przede

⁹ A. Odlyzko, *The forgotten discovery of gravity models and the inefficiency of early railway networks*, School of Mathematics, University of Minnesota, s. 1–14, <http://www.dtc.umn.edu/~odlyzko/doc/mania09.pdf> [dostęp: 11.08.2022].

wszystkim uwzględnić transport samochodowy i na tej gałęzi transportu skupia się niniejszy artykuł.

Różne czynniki związane z procesem globalizacji mają wpływ na wielkość przepływów handlowych pomiędzy poszczególnymi krajami, która w warunkach europejskich opiera się na transporcie samochodowym. Handel zagraniczny jest jednym z kluczowych czynników przyspieszających rozwój gospodarczy; zwiększa też konkurencyjność gospodarki oraz przynosi korzyści obywatelom – ze względu na dużą różnorodność dostępnych towarów oferowanych po niższych cenach. Do oceny intensywności relacji handlowych można stosować modele grawitacyjne, przyjmując założenie, że siła przyciągania pomiędzy krajami jest wprost proporcjonalna do wielkości ich gospodarek i odwrotnie proporcjonalna do odległości między tymi krajami. Przedstawione determinanty stanowią alternatywę fizycznej odległości między państwami w równaniu grawitacji, które zostało przedstawione przez Tinbergena. Dlatego model grawitacji stanowi także odpowiednie narzędzie do analizy bilateralnych obrotów handlowych¹⁰. W panelowych modelach grawitacji ważnymi determinantami, poza wartością PKB, są zmienne związane z postępem cywilizacyjnym, które podkreślają wpływ kosztów transportu i komunikacji, rozwój technologii czy rosnące znaczenie kapitału ludzkiego¹¹.

W połowie XX w., podczas pracy nad modelami podróży, stworzono również często wykorzystywane podejście, które łączyło cztery składowe podróży. Modele te zostały nazwane czterostadiowymi. Zaczęły się one rozwijać i znalazły szerokie zastosowanie w dziedzinie planowania systemów transportowych. Pomimo swoich niedoskonałości oraz stosowania wielu uproszczeń (m.in. sposób prowadzenia analiz uwzględniający stały popyt) modele czterostadiowe stanowią nadal powszechny sposób modelowania podróży. Najważniejszą jednostką przestrzenną, która jest stosowana do modelowania podróży dla aglomeracji, jest rejon transportowy. Jest on wyodrębnionym obszarem, który stanowi zagregowane miejsce rozpoczęcia i zakończenia podróży. Dla rejonu wyznacza się zmienne, takie jak m.in.: liczba mieszkańców, liczba miejsc pracy czy osoby czynne zawodowo. W sytuacji, gdy brakuje szczegółowych danych, modele te bazują na danych szacunkowych. Następnie przeprowadzane są ankietowe badania ruchu pośród losowo dobranej grupy gospodarstw domowych. Po uwzględnieniu wyników badań opracowuje się matematyczne zależności opisujące podróże realizowane w modelowanym rejonie. Odrębnym elementem jest budowa modelu sieciowego, który ma odwzorować układ drogowo-uliczny, biorąc pod uwagę ograniczenia w ruchu oraz parametryzując poszczególne przekroje, np. określając prędkość

¹⁰ M. Bułkowska, *Model grawitacyjny w handlu zagranicznym: wybrane aspekty teoretyczne i metodyczne*, „Prace Naukowe Uniwersytetu Ekonomicznego we Wrocławiu” 2018, nr 529, s. 39–47.

¹¹ N. Drzewoszewska, M.B. Pietrzak, J. Wilk, *Grawitacyjny model przepływów handlowych między krajami Unii Europejskiej w dobie globalizacji*, „Roczniki Kolegium Analiz Ekonomicznych” 2013, nr 30.

w ruchu swobodnym czy przepustowość poszczególnych odcinków drogowych. Podczas budowy modeli sieciowych wykorzystuje się teorię grafów¹². Odcinki grafu określającego system transportowy są używane do opisu podróży realizowanych pomiędzy rejonami transportowymi. W grafie reprezentującym sieć transportową występują ścieżki, które składają się z kolejnych odcinków łączących węzeł początkowy i końcowy w sieci. Podejście to pozwala prognozować liczbę potencjalnych podróży w przyszłości, co umożliwi podjęcie odpowiednich decyzji inwestycyjnych. Konkretnie odcinki w modelu sieciowym charakteryzowane są pojęciem kosztu, który jest związany z czasem jego przejazdu. Czas przejazdu określa się funkcją wielkości potoku ruchu i cechami danego odcinka drogowego (np. przepustowość i prędkość w ruchu swobodnym). W przypadku odcinka międzywęzłowego czas jego przejazdu będzie również zależny od tego, czy jest to odcinek dwujezdniowy, na który nie ma wpływu ruch z kierunku przeciwnego, czy jednojezdniowy, w którym na czas przejazdu ma także wpływ wielkość potoku ruchu pojazdów poruszających się w kierunku przeciwnym¹³.

Pod koniec XX w. zainteresowanie różnymi aspektami modeli ruchu zaczęło rosnąć. W badaniach przeprowadzonych w Kanadzie w regionie jeziora Ontario¹⁴ stworzono i wykorzystano bazę danych zawierającą informacje dotyczące podróży realizowanych przez użytkowników systemu transportowego w okresie trzech miesięcy. Zebrane dane dotyczyły informacji: kiedy respondenci planowali konkretną aktywność, jak często zmieniali atrybuty przypisane do decyzji związanych z tą aktywnością i z jakiej części aktywności zrezygnowali. Modele opierające się na aktywnościach użytkowników systemu mogą być odpowiednim narzędziem uwzględniającym wpływ różnych czynników zewnętrznych na decyzję o tym, czy realizować daną podróż, czy z niej zrezygnować.

Innym podejściem jest analiza podróży wzbudzonych z uwzględnieniem modeli symulacyjnych. Wagę wpływu podróży wzbudzonych na efektywność inwestycji badano w Wielkiej Brytanii, USA czy Izraelu. Dla przykładu ocena efektywności inwestycji prowadzonych w Izraelu bazowała na analizie kosztów i korzyści, co pozwoliło oszacować korzyści społeczne wynikające z realizacji danego projektu¹⁵. Uwzględniono dwa podejścia do rozwiązania problemu związanego z przyjęciem stałego popytu ruchu

¹² Graf – struktura matematyczna służąca do przedstawiania i badania relacji między obiektami. Graf to zbiór wierzchołków oraz krawędzi łączących wierzchołki w taki sposób, że każda krawędź kończy się i zaczyna w którymś z wierzchołków.

¹³ A. Szarata, J. Żyglowicz, *Dynamiczne modele podróży, cz. I*, <http://edroga.pl/inzynieria-ruchu/dynamiczne-modele-podrozy-cz-i-20025431/statyczne-metody-rozkładu> [dostęp: 9.08.2022].

¹⁴ S. Doherty, E. Miller, W. Axhausen, T. Garling, *A conceptual model of the weekly household activity-travel scheduling process*, "Travel Behaviour: Patterns, Implications and Modelling" 1997, s. 5–6.

¹⁵ Y. Shiftan, M. Ben-Akiva, G. de Jong, S. Hakkert, D. Simmonds, *Evaluation of externalities in transport projects*, Institute of Transport Studies, University of Leeds, Leeds 2002.

w modelach czterostadiowych. Zastosowano w modelu dane oparte na aktywnościach (ang. *activity-based-models*) oraz uwzględniono pojęcia dostępności, definiowanej jako łatwość osiągnięcia celu podróży przez użytkownika systemu kwantyfikowanej np. czasem podróży. J.-C. Thill i M. Kim twierdzili, że podróż jest ściśle związana z jak najłatwiejszą możliwością jej odbycia, rozumianą jako dostępność, dlatego popyt na podróż został określony jako funkcja dostępności do konkretnego rejonu. Thill wskazał na związek pomiędzy zdefiniowaną przez niego dostępnością transportową a wielkością podróży generowanych przez wybrany rejon transportowy¹⁶.

P. Headicar analizował wpływ otwarcia odcinka autostrady Londyn–Oxford na warunki ruchu i zauważył związek między zwiększeniem dostępności a zmianą popytu na podróż¹⁷. W przeprowadzonych badaniach uwzględniono także dokumenty planistyczne, co pozwoliło określić zależność szybkiego rozwoju zabudowy jednorodzinnej powiązanej ze zwiększeniem dostępności transportowej analizowanych obszarów.

Z kolei P.J. Hills w prezentowanym podejściu rozróżniał pojęcia ruchu wzbudzonego, który objawiał się przez zwiększenie pracy przewozowej w pojazdokilometrach, oraz zjawiska podróży wzbudzonych – zwiększenie częstotliwości podróżowania¹⁸. Rozróżnienie tych zjawisk wydaje się zasadne. Charakter prowadzonej działalności, wielkości produkcji i lokalizacja przedsiębiorstwa będą wpływać na zadania przewozowe, które będą wykonywane odmiennie. Podstawowym rozróżnieniem jest częstotliwość i średnia wielkość przewożonych produktów, które zostały wytworzone w przedsiębiorstwie. Różnice te będą wpływały na wielkość wykonywanej pracy przewozowej, a także liczbę wykonywanych podróży. T. Litman również opisał efekt, który może wystąpić po zwiększeniu przepustowości układu drogowego, tj. zwiększenie pracy przewozowej wyrażonej w pojazdodomilach¹⁹. Poprawa warunków drogowych przyczynia się do zwiększenia podróży o charakterze wzbudzonym, co wpływa z kolei na znaczne zwiększenie pracy przewozowej. Do stabilizacji poziomu ruchu dochodzi w momencie osiągnięcia równowagi pomiędzy kosztem podróży a popytem transportowym.

Skutki rozbudowy czy modernizacji infrastruktury transportowej powinno się analizować jako efekt krótkoterminowy oraz długoterminowy. Określanie wskazanych zależności powinno uwzględniać również długofalowe efekty inwestycji, które mogą się wiązać z wydłużeniem podróży spowodowanym zmianą zachowań transportowych, np. zmianą podstawowych źródeł i celów podróży, które są powiązane ze zmianą miejsca

¹⁶ J.-C. Thill, M. Kim, *Trip making, induced travel demand and accessibility*, „Journal of Geographical Systems” 2005, nr 7, s. 229–248.

¹⁷ P. Headicar, *The local development effects of major new roads, M40 case study*, „Transportation” 1996, t. 23, s. 55–69.

¹⁸ P.J. Hills, *What is induced traffic?*, „Transportation” 1996, t. 23, s. 5–16.

¹⁹ T. Litman, *Evaluating ccessibility for transportation planning, measuring people’s ability to reach desired goods and activities*, Victoria Transport Policy Institute, 2014.

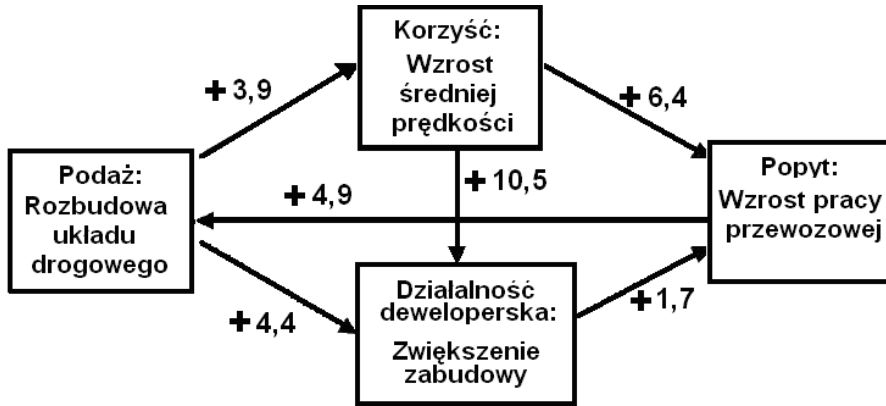
zamieszkania, dojazdem do pracy czy zmianami w zagospodarowaniu przestrzennym. Przedsiębiorstwa powinny w miarę możliwości uwzględniać przedstawione zależności i brać je pod uwagę w procesie decyzyjnym dotyczącym lokalizacji prowadzonej działalności gospodarczej. Budowa nowego przedsiębiorstwa wiąże się z kosztami i jest przeważnie postrzegana jako inwestycja długofalowa, dlatego warto uwzględniać opisane wyżej okresy i reakcję użytkowników na zmiany ruchu w sieci drogowej.

Kolejnym czynnikiem wpływającym na liczbę podróży jest charakter realizowanych podróży. Często podróże o charakterze regionalnym lub krajowym przenoszą większą część ruchu towarowego, w porównaniu do ruchu lokalnego i miejskiego. Wykonane analizy podkreślały również istotną rolę zmian związanych z zagospodarowaniem przestrzennym, które również powinno się uwzględniać w procesie modelowania podróży. Zmiany te prowadzą często do pojawienia się nowych inwestycji drogowych, co za tym idzie wywołują one efekt ruchu wzbudzonego, a to wpływa na warunki ruchu (13% zwiększenia ruchu dla efektu krótkoterminowego i 18% dla efektu długoterminowego)²⁰. Jeżeli na nowym odcinku drogi ruch zwiększy się o prawie jedną piątą, to np. lokalizacja wzdłuż tego odcinka nowych sklepów firmowych może wpływać na rozwój przedsiębiorstwa w związku z wykorzystaniem dogodnych warunków drogowych, które równocześnie wpływają na zwiększenie potencjalnej liczby klientów i zwiększenie rynku zbytu wytwarzanych produktów.

Kolejną osobą badającą tematykę ruchu wzbudzonego był R. Cervero, który wykorzystywał prędkość w sieci jako pochodną warunków zatłoczenia drogowego. W długim okresie określił zależności pomiędzy takimi zmiennymi, jak: podaż (rozbudowa układu drogowego, ang. Supply: Lane Mile Growth Share), korzyści (wzrost średniej prędkości, ang. Benefits: Broadway Speed), popyt (wzrost w pracy przewozowej, ang. Demand, VMT Growth Share) oraz zmiany i aktywność w zagospodarowaniu budowlanym przestrzeni (ang. Development Activity: Building Growth Share).

²⁰ C.J. Rodier, J.E. Abraham, R.A. Johnston, J.D. Hunt, *Anatomy of induced travel using an integrated land use and transportation model in the Sacramento region*, Federal Highway Administration, 2000.

Rysunek 2.
Procentowe wyniki w modelu ścieżki ruchu dla długiego okresu



Źródło: opracowanie własne na podstawie: R. Cervero, *Road Expansion, Urban Growth, and Induced Travel, A Path Analysis*, „Journal of the American Planning Association” 2013, t. 69, nr 2, s. 160.

Zależności w przypadku efektu długoterminowego przyjmują stosunkowo duże wartości, dla przykładu wzrost prędkości o 10,5% powoduje wzrost pracy przewozowej w pojazdomilach o 6,4%²¹. Przedstawione zależności pozwalają analizować poszczególne odcinki dróg i określać, nawet szacunkowo, jak zwiększenie prędkości wpłynie na możliwości przewozowe przedsiębiorstwa, a pośrednio może rzutować na jego decyzję lokalizacyjną.

Z drugiej strony warto także zwrócić uwagę na tendencje do utrzymywania się równowagi w przypadku powstawania zatorów drogowych. Natężenie ruchu wzrasta, aż opóźnienia w korkach zniechęcą do dodatkowych podróży. W sytuacji gdy przepustowość dróg się zwiększa, liczba podróży w godzinach szczytu rośnie, aż zatory ponownie ograniczą dalszy wzrost ruchu. Wyniki niektórych badań wskazują, że modele, które nie uwzględniają ruchu generowanego, mogą przeceniać korzyści związane z rozbudową przepustowości dróg o 50% lub więcej. Podczas planowania zestawienia zalecanych projektów infrastrukturalnych, do ich oceny powinno się włączać informacje zwrotne. Ignorowanie ruchu generowanego może wpływać na decyzje planistyczne. Oprócz projektów rozbudowy dróg najwyższej klasy technicznej powinno się także rozważać inne opcje zarządzania popytem transportowym, które mogą zmniejszać koszty zewnętrzne transportu samochodowego. Są to takie działania, jak: ustalanie cen dróg, usprawnienie tranzytu i programy redukcji dojazdów do pracy²². Ostatnie może być

²¹ R. Cervero, *Road expansion...*, *op. cit.*

²² T. Litman, *Generated Traffic...*, *op. cit.*

coraz częściej stosowane dzięki szerszemu wykorzystaniu możliwości pracy zdalnej. Na przyspieszenie tego trendu wpłynęła także pandemia COVID-19.

Wytyczne dotyczące analizy transportu brytyjskiego Departamentu Transportu (DfT 2007) zawierają sekcję dotyczącą modelowania zmiennego popytu (ang. Variable Demand Modelling), wymagając opisanie ruchów podróźnych w kategoriach czynników generujących lub przyciągających podróże. Istnieją dwa alternatywne sposoby opisanie schematu podróży. Pierwszy, kiedy wzorce podróżowania są konstruowane na podstawie pomiarów drogowych. W takiej sytuacji podróże są logicznie opisywane przez miejsce rozpoczęcia podróży i miejsce jej zakończenia. Jest to zwyczajowo określane jako wzorzec podróży oparty na punkcie początkowym-docelowym (*origin/destination*, O/D). Alternatywny sposób patrzenia na schemat podróży dotyczy czynników, które powodują wytworzenie lub przyciąganie podróży, tj. na podstawie tzw. punktów produkcji (np. podróż do pracy, domu) oraz atrakcji, jako podróży związanych z innymi celami wypoczynkowymi (*productions/attractions*, P/A)²³. Modelowanie zmiennego popytu wykorzystuje prognozy jego wzrostu dla przypadków referencyjnych oraz dla danych społeczno-ekonomicznych, które wpływają na wykonywanie podróży przez poszczególne jednostki. Wpływ różnych środków politycznych na poszczególne grupy ludzi można realistycznie przedstawić i przewidzieć w sposób zadowalający tylko wtedy, gdy proces modelowania popytu jest odpowiednio podzielony na segmenty. Modelowanie powinno wykorzystywać grupy podróźnych (segmenty), co do których oczekuje się, że z czasem będą się zachowywać podobnie. Model popytu zmiennego będzie musiał obejmować etap przypisania konkretnej drogi, np. odcinka autostrady, tak by dostarczyć informacje o kosztach potrzebnych do modelu popytu. Zapotrzebowanie na podróże i poziomy ruchu zmieniają się w ciągu dnia, co zwykle wymaga modelowania różnych okresów. Konieczność podziału dnia na różne okresy związane jest z dobowymi profilami ruchu drogowego. Wszystkie modele transportu opierają się na powiązaniu wyborów dokonywanych przez ludzi z szacunkami ich uogólnionych kosztów podróży – ważonej sumy czasu i innych kosztów podróży, które można zmierzyć w jednostkach pieniężnych lub w czasie. Istnieją pewne dowody na to, że wrażliwość odpowiedzi na zmiany kosztów uogólnionych zmniejsza się wraz ze wzrostem długości podróży²⁴.

Analizy związane z planowaniem potoków ruchu, sporządzaniem prognoz ruchowych, a także projektowaniem zmian organizacyjnych powinny opierać się również na macierzach podróży. Macierz stanowi odzwierciedlenie popytu transportowego

²³ Department of Transport, *Transport Analysis...*, *op. cit.*

²⁴ Department of Transport, *Transport Analysis Guidance (TAG)*, January 2014. <https://webarchive.nationalarchives.gov.uk/ukgwa/20140304105650/http://www.dft.gov.uk/webtag/documents/expert/unit3.10.2.php>.

w układzie relacji przemieszczania. Efektywne zarządzanie ruchem, zwłaszcza w sytuacjach krytycznych (awarie, wypadki, roboty drogowe, itp.) wymaga znajomości celów podróży poszczególnych uczestników ruchu. W takiej sytuacji można wykorzystywać tzw. dynamiczne macierze podróży, które podlegają aktualizacji w określonych przedziałach czasu, co pozwala wyznaczać optymalne trasy objazdowe²⁵.

3. UWZGLĘDNIENIE MODELI RUCHU W EKONOMICZNYCH ASPEKTACH ROZWOJU INFRASTRUKTURY DROGOWEJ W ODNIESIENIU DO LOKALIZACJI PRZEDSIĘBIORSTW

Szybki rozwój systemów transportowych, który objawia się przez wprowadzenie do powszechnego użytku lokalnych systemów sterowania ruchem, wyznaczanie priorytetów dla transportu zbiorowego, korzystanie ze współdzielonych systemów nawigacji ruchem, a także potencjalne wprowadzenie pojazdów zautomatyzowanych i połączonych (CAD – *connected and autonomous vehicles*), spowodowało, że powstaje coraz więcej nowych modeli ruchu, które mają na celu sprostać zbiorom licznych danych wejściowych. Przedsiębiorcy mogą korzystać z różnych modeli, określając korzyści wybranej decyzji lokalizacyjnej²⁶. Jedno z podejść skupia się na wspomnianej wcześniej aktywności mieszkańców. Potrzeby transportowe użytkowników systemu transportowego są determinowane przez konieczność ich udziału w różnego rodzaju działaniach, a ich aktywności są rozproszone w czasie i przestrzeni. Użytkownik systemu transportowego podejmuje decyzje w interakcji z całym systemem, dlatego inni użytkownicy systemu mają także wpływ na proces decyzyjny. Przedsiębiorstwo transportowe, zawierając kontrakty na przewóz, operuje na konkretnych odcinkach sieci drogowej i wchodzi w interakcję z innymi użytkownikami systemu transportowego. Wybór danej aktywności jest determinowany przez koszty i czas podróży, położenie celu podróży oraz czas trwania samej czynności. Dlatego przy wykorzystaniu modeli opartych na aktywnościach niezbędny jest dostęp do szczegółowych baz danych na temat podróży realizowanych przez użytkowników. Wraz z rozwojem systemów nawigacji, a także innych nowoczesnych technologii, takich jak np. internet rzeczy (ang. *Internet of things*), coraz łatwiej monitorować ruch drogowy. Zagregowane dane pochodzące z nawigacji pojazdów podróżujących konkretnym odcinkiem drogowym, jeżeli są dostępne, mogą stanowić doskonałe narzędzie badawcze.

²⁵ R. Żochowska, *Wyznaczanie dynamicznych macierzy podróży w sieciach miejskich*, „Logistyka” 2013, nr 5.

²⁶ J. Brdulak, P. Pawlak, C. Krysiuk, B. Zakrzewski, *Podstawowe teorie lokalizacji działalności gospodarczej oraz znaczenie czynnika transportu*, „Logistyka” 2014, nr 6, s. 2254–2260.

Wykorzystanie modeli transportowych w decyzji lokalizacyjnej przedsiębiorstwa może się odbywać przez stworzenie zbioru formuł matematycznych opisujących oba komponenty funkcjonującego systemu transportowego (podaż i popyt), uwzględniając występujące między nimi współzależności w czasie. Oparcie decyzji lokalizacyjnej w ujęciu zyskowności poszczególnych przedsiębiorstw ma wymierne korzyści, a zyskowność jest związana z dostępem do rynków zbytu i odpowiednim dostępem do poszczególnych podmiotów danego przedsiębiorstwa. Opisane czynniki związane z uwzględnieniem modelowania ruchem i jego skutków powinny być brane pod uwagę przez decydentów przedsiębiorstwa przy decyzji lokalizacyjnej swojej siedziby czy oddziału, ponieważ czynniki te wpływają na funkcjonowanie przedsiębiorstwa i osiągnięte przez nie korzyści – zarówno sprzedażowe, jak i związane z ograniczaniem kosztów transportu. Ryzyko związane z lokalizacją przedsiębiorstwa może prowadzić do niekorzystnej relacji efektów do nakładów oraz ewentualnego spadku wartości przedsiębiorstwa. Wszelkie inwestycje infrastrukturalne wpływają na dany region, a także na poszczególne przedsiębiorstwa operujące w tym regionie. Lokalizacja nowego przedsiębiorstwa w pobliżu istniejącego lub planowanego węzła autostrady czy drogi ekspresowej ma znaczenie pod względem dostępności przedsiębiorstwa do sieci dróg szybkiego ruchu. Obserwacja obecnych parametrów ruchu, jak również szacowanie przyszłych wartości mogą pozwolić wybrać optymalną lokalizację prowadzenia działalności gospodarczej.

W odniesieniu do zjawiska ruchu wzbudzonego już w latach 80. XX w. P. Hall, M. Breheny, R. McQuail i D. Hart rozpoczęli analizę, która wskazywała na rolę inwestycji transportowych jako jeden z podstawowych czynników wpływających na nowe formy rozwoju ekonomicznego i wzrost liczby podróży wzdłuż korytarzy transportowych²⁷. Wiedza na temat aktywności drogowej w danym regionie może ułatwić podejmowanie decyzji co do samej lokalizacji przedsiębiorstwa oraz wpływać na model funkcjonowania zadań transportowych potrzebnych do realizacji działalności gospodarczej prowadzonej przez przedsiębiorstwo.

Analiza dostępnych danych stanowi cenne źródło informacji dla przedsiębiorstwa, które będzie miało dokładniejsze informacje na temat podróży realizowanych przez jego potencjalnych konsumentów. Wiedza ta może skutkować lepszym rozmieszczeniem sklepów firmowych lub podpisywaniem kontraktów na dostawy swoich produktów z punktami sprzedaży, które są częściej wybierane przez konsumentów np. przy korytarzach transportowych.

Zgodnie z przytoczonymi wcześniej badaniami można zauważyć, że dzięki ułatwieniom infrastrukturalnym potencjalni klienci są także skłonni odbywać więcej podróży, a ich podróże mogą być dłuższe. Inwestycje w parki handlowe, które są często

²⁷ P. Hall, M. Breheny, R. McQuail, D. Hart, *Western sunrise: The Genesis and Growth of Britain's High-Tech Corridors*, Allen & Unwin, London 1987.

zlokalizowane przy najważniejszych drogach, zwiększając zapotrzebowanie na transport i stanowią dogodny lokalizacyjnie rynek zbytu towarów przedsiębiorstw lokujących tam swoje oddziały lub dostarczających wytworzony produkt.

Informacje związane z krótko- i średniookresowymi aktywnościami w obszarze, w którym operuje przedsiębiorstwo, są przydatne, ponieważ aktywności te wpływają na jego bieżącą pracę i codzienną obsługę transportową. Modele oparte na aktywnościach mogą także stanowić podstawę informacyjną dla decydentów firm transportowych w procesie kreowania swojej oferty przewozowej i analizowania opłacalności kontraktu, który by miał być realizowany w konkretnych warunkach i na odpowiedniej trasie. Szczegółowe dane pozwalają zaplanować odpowiednie pory dnia czy trasy, które będą optymalne do realizacji zadań przewozowych. Z kolei dostępność informacji na temat długoterminowych aktywności ruchu pozwala na planowanie większych operacji transportowych czy nawet takich prac jak rozbudowa przedsiębiorstwa, która w dzisiejszych warunkach wymaga przeważnie zwiększonej aktywności transportu samochodowego.

Odnosząc się do kwestii inwestycji infrastrukturalnych oraz ich wpływu na warunki ruchu, poniżej zaprezentowano uproszczoną formułę, która pozwala wyznaczyć całkowite koszty użytkownika związane z daną inwestycją infrastrukturalną:

$$K_{cat.} = \frac{(K_0 - K_1) \times (G_0 + G_1)}{2}$$

gdzie:

- K_0, K_1 – koszt uogólniony podróży, odpowiednio przed i po inwestycji,
- G_0, G_1 – liczba podróży, odpowiednio przed i po inwestycji.

Wyznaczenie wartości G_0, G_1 wymaga wielu informacji wsadowych, jednak stworzenie wzoru, który ma na celu wyliczenie kosztów użytkownika związanych z inwestycją infrastrukturalną, pokazuje, że jest to ważne zagadnienie. Dostępność tej wiedzy daje decydentom dodatkowe informacje, które przemawiają za wyborem konkretnej lokalizacji przedsiębiorstwa. Może się okazać, że odcinek, który charakteryzuje się obecnie znacznym stopniem zatłoczenia, po zrealizowaniu inwestycji drogowej będzie się cechował płynnym przepływem pojazdów, a relacja prędkości do przepływu będzie zadowalająca i wybrana lokalizacja okaże się ekonomicznie korzystna.

Analiza tego typu może być pomocna również przy ocenie realizacji potrzeb transportowych przedsiębiorstwa. Jeżeli przedsiębiorstwo zostanie zlokalizowane w pobliżu dużego rynku zbytu, ale dostępność transportowa tego regionu będzie na niskim poziomie, to należy przeanalizować kwestie związane z kosztami transportu, które będą ponoszone z tego powodu. Wyznaczanie podstawowych kierunków zbytu towarów produkowanych w danym przedsiębiorstwie może zostać oparte o wiedzę na temat ruchu drogowego w danym regionie i powinno podlegać elastycznemu dopasowaniu

do bieżącej sytuacji. Może się zdarzyć, że ze względu na wysokie koszty i trudność w realizacji potrzeb przewozowych zdefiniowane zostaną nowe rynki zbytu, być może bardziej oddalone od siedziby przedsiębiorstwa, ale lepiej skomunikowane. Wszystko zależy od sytuacji danego przedsiębiorstwa. Przykładowo dla lokalizacji zakładu produkcyjnego blisko dużego rynku zbytu, rozbudowanej sieci mniejszych punktów firmowych oraz potrzeby zapewnienia odpowiedniej jakości transportu (np. transport żywności, do którego należy wykorzystać pojazdy chłodnie, izotermy), wymagana jest większa liczba podróży z wykorzystaniem mniejszych samochodów, przeważnie dostawczych do 3,5 tony. Przedstawiona charakterystyka prowadzenia działalności transportowej generuje większą liczbę podróży, często z wykorzystaniem kilku samochodów, aniżeli zwiększanie pracy przewozowej przez pokonanie większej odległości z użyciem jednego samochodu ciężarowego z dużą przestrzenią ładunkową.

Warunkiem wykorzystania dostępnych informacji jest istnienie spójnej sieci dróg najwyższej klasy technicznej. W polskich warunkach drogowych zagadnienie to opiera się aktualnie na potrzebie domykania sieci autostrad i dróg ekspresowych, zwłaszcza z uwzględnieniem regionów, które są w tej kwestii zapóźnione (przede wszystkim są to Polska Wschodnia i Pomorze Środkowe). Zagadnienie to jest istotne, ponieważ nowa inwestycja infrastrukturalna może wpływać na poziom ruchu i zagospodarowanie przestrzenne regionu. Określenie tych tendencji może być przydatne podczas podejmowania decyzji lokalizacyjnej przez przedsiębiorstwo oraz przewidywania przyszłej sytuacji na analizowanym obszarze.

PODSUMOWANIE

Wykorzystanie danych dostarczanych przez modele ruchu w decyzji lokalizacyjnej przedsiębiorstwa, jak również w ich działalności operacyjnej może mieć kluczowe znaczenie i wpływać na przewagę konkurencyjną jednostek wykorzystujących te metody. Przedsiębiorstwa mogą odnosić wymierne korzyści związane z wykorzystaniem modeli ruchu w planowaniu działalności przewozowej, wyborem rynków zbytu, jak również w kwestii lokalizacyjnej. Problematyka ta jest szczególnie ważna dla rozwoju jednostek z terenów zapóźnionych infrastrukturalnie, jak np. Polska Wschodnia. Budowa lub modernizacja dróg najwyższej klasy technicznej pozwala przedsiębiorstwom osiągać znaczne korzyści związane m.in. z redukcją kosztów transportu. Rozwój sieci drogowej ma także znaczenie dla polityki rozwoju regionalnego. Natomiast redukcja kosztów zewnętrznych transportu samochodowego jest uzależniona w pierwszej kolejności od dokończenia całkowitej sieci dróg najwyższej klasy technicznej wraz z drogami dojazdowymi, tak aby każdy obywatel w Polsce miał równy dostęp do sieci dróg, a jego mobilność nie była ograniczana przez negatywne czynniki infrastrukturalne.

LITERATURA PRZEDMIOTU

- Brdulak J., Pawlak P., Krysiuk C., Zakrzewski B., *Podstawowe teorie lokalizacji działalności gospodarczej oraz znaczenie czynnika transportu*, „Logistyka” 2014, nr 6.
- Bułkowska M., *Model grawitacyjny w handlu zagranicznym: wybrane aspekty teoretyczne i metodyczne*, „Prace Naukowe Uniwersytetu Ekonomicznego we Wrocławiu” 2018, nr 529.
- Carey H.C., *Principles of Social Science*, Henry Carey Baird & Co., Industrial Publishers, Philadelphia 1879.
- Department of Transport, *Transport Analysis Guidance (TAG)*, January 2014. <https://webarchive.nationalarchives.gov.uk/ukgwa/20140304105650/http://www.dft.gov.uk/webtag/documents/expert/unit3.10.2.php>.
- Doherty S., Miller E., Axhausen W., Garling T., *A conceptual model of the weekly household activity-travel scheduling process*, „Travel Behaviour: Patterns, Implications and Modelling” 1997.
- Drzewoszewska N., Pietrzak M.B., Wilk J., *Grawitacyjny model przepływów handlowych między krajami Unii Europejskiej w dobie globalizacji*, „Roczniki Kolegium Analiz Ekonomicznych” 2013, nr 30.
- European Federation for Transport and Environment, *In cities 63% support EU ban on petrol and diesel car, sales after 2030*, <https://www.transportenvironment.org/discover/cities-63-support-eu-ban-petrol-and-diesel-car-sales-after-2030/> [dostęp: 5.08.2022].
- Hall P., Breheny M., McQuail R., Hart D., *Western sunrise: The Genesis and Growth of Britain's High-Tech Corridors*, Allen & Unwin, London 1987.
- Headicar P., *The local development effects of major new roads, M40 case study*, „Transportation” 1996, t. 23.
- Hills P.J., *What is induced traffic?*, „Transportation” 1996, t. 23.
- Kurier Kolejowy, *Początki kolei w Belgii*, <https://kurier-kolejowy.pl/aktualnosci/9472/poczatki-kolei-w-belgii.html> [dostęp: 12.08.2022].
- Litman T., *Evaluating accessibility for transportation planning, measuring people's ability to reach desired goods and activities*, Victoria Transport Policy Institute, 2014.
- Litman T., *Generated Traffic and Induced Travel. Implications for Transport Planning*, Victoria Transport Policy Institute, www.vtpi.org/gentraf.pdf [dostęp: 10.08.2022].
- Odlyzko A., *The forgotten discovery of gravity models and the inefficiency of early railway networks*, School of Mathematics, University of Minnesota, <http://www.dtc.umn.edu/~odlyzko/doc/mani09.pdf> [dostęp: 11.08.2022].
- Pawlak P., *Modelowanie podróży związane ze zmianą stanu infrastruktury transportowej*, „Logistyka” 2015, nr 3.

- Pawlak P., *Rozbudowa infrastruktury drogowej a lokalizacja i rozwój przedsiębiorstw*, „Kwartalnik Nauk o Przedsiębiorstwie” 2020, nr 55(2).
- 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, 2000.
- 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, Leeds 2002.
- Szarata A., Żygłowicz J., *Dynamiczne modele podróży, cz. I*, <http://edroga.pl/inzynieria-ruchu/dynamiczne-modele-podrozy-cz-i-20025431/statyczne-metody-rozkladu> [dostęp: 9.08.2022].
- Thill J.-C., Kim M., *Trip making, induced travel demand and accessibility*, „Journal of Geographical Systems” 2005, nr 7.
- Żochowska R., *Wyznaczanie dynamicznych macierzy podróży w sieciach miejskich*, „Logistyka” 2013, nr 5.

ZMIANY JAKOŚCIOWE INFRASTRUKTURY DROGOWEJ W ODNIESIENIU DO MODELI RUCHU I KORZYŚCI LOKALIZACYJNO-EKONOMICZNYCH PRZEDSIĘBIORSTW

Streszczenie

Artykuł przedstawia zmiany jakościowe infrastruktury drogowej, w odniesieniu do modelowania ruchu i oceny wpływu tej infrastruktury na lokalizację przedsiębiorstw. Rozwój infrastruktury drogowej oddziałuje także na wymierne korzyści ekonomiczne osiągnięte przez przedsiębiorstwa w związku z transportem samochodowym wytworzonych produktów w lepszych warunkach. Zagadnienie to wydaje się być istotne i cały czas aktualne ponieważ transport samochodowy nadal stanowi bardzo istotną dziedzinę gospodarowania. W artykule krótko przedstawiono rozwój modeli ruchu, a także zjawiska ruchu generowanego i podróży wzbudzonych w kontekście modelowania ruchu. W obliczu dynamicznych zmian jakościowych transportu samochodowego należy je stale obserwować. Prowadzenie tego typu analiz jest konieczne zarówno ze względu na próbę oszacowania efektów społeczno-gospodarczych rozwoju infrastruktury drogowej, jak również w kontekście decyzji lokalizacyjnej przedsiębiorstw oraz ich działalności przewozowej. Przedsiębiorstwa mogą uzyskiwać wymierne korzyści związane z wykorzystaniem modeli ruchu w planowaniu optymalnej działalności przewozowej i wyboru najefektywniejszych rynków zbytu wytworzonych produktów.

Słowa kluczowe: infrastruktura drogowa, transport samochodowy, modelowanie ruchu, przedsiębiorstwa, korzyści ekonomiczne

ROAD INFRASTRUCTURE QUALITATIVE CHANGES IN RELATION TO TRAFFIC MODELS AND ALSO TO ECONOMIC AND LOCATION BENEFITS OF ENTERPRISES

Abstract

The article presents qualitative changes in road infrastructure in relation to traffic modeling and assessment of the impact of this infrastructure on the location of enterprises. The development of road infrastructure also affects measurable economic benefits achieved by enterprises in connection with motor transport of manufactured products in better conditions. This issue seems to be important and still valid because motor transport is still a very important field of economy. The article briefly presents the development of traffic models, as well as the phenomena of generated traffic and induced travel in the context of traffic modeling. In the face of dynamic qualitative changes in motor transport, they should be constantly monitored. Conducting this type of analysis is necessary both in an attempt to estimate the socio-economic effects of road infrastructure development, as well as in the context of the location decision of enterprises and their transport activity. Enterprises can obtain measurable benefits related to the use of traffic models in planning optimal transport activities and selection of the most effective markets for manufactured products.

Keywords: road infrastructure, motor transport, traffic modeling, enterprises, economic benefits

Cytuj jako:

Brdulak J., Pawlak P., *Zmiany jakościowe infrastruktury drogowej w odniesieniu do modeli ruchu i korzyści lokalizacyjno-ekonomicznych przedsiębiorstw*, „Myśl Ekonomiczna i Polityczna” 2022, nr 3(74), s. 11–30. DOI: 10.26399/meip.3(74).2022.15/j.brdulak/p.pawlak

Cite as:

Brdulak J., Pawlak P. (2022). ‘Road infrastructure qualitative changes in relation to traffic models and also to economic and location benefits of enterprises’. *Myśl Ekonomiczna i Polityczna* 3(74), 11–30. DOI: 10.26399/meip.3(74).2022.15/j.brdulak/p.pawlak