

Andrzej KRYCH¹, Jakub DROZDOWSKI

SPÓJNOŚĆ INTERMODALNA WĘZŁÓW W EUROPEJSKICH KORYTARZACH TRANSPORTOWYCH

Streszczenie. Obszary węzłowe powinny być traktowane jako integralne elementy korytarzy transportowych. Zaproponowane kryterium spójności obszaru węzłowego stanowi dobre odwzorowanie funkcji i kosztów transportu, uwzględniające intermodalne funkcje węzła transportowego. Zasadnicze propozycje wiążą się ze standaryzacją kryterium w porównaniu rezultatów projektów zwiększających dostęp różnych aglomeracji i regionów do korytarzy transportowych.

INTERMODAL COHESION OF JUCTIONS IN TRANSEUROPEAN TRANSPORT CORRIDORS

Summary. This article concerns the analysis of junction structures. Junctions are defined as integral elements of transport corridors and the same time as integral attributes of macroeconomical regional area. The analysis is carried out by: introducing the definition of transport cohesion based on accession matrix; defining the elements of the matrix; introducing of standardization and normalization matrixes; mathematical operations. As result we get a cohesion index that characterizes the junction structure. The analysis can be used in transport policy and as a justification of new project works.

1. WĘZŁY KORYTARZY TRANSPORTOWYCH

Rozwój i wykorzystanie infrastruktury w korytarzach transportowych winny się wiązać z rozwojem odpowiedniej infrastruktury węzłowej.

O efektywności infrastruktury korytarzy decydują węzły transportowe i odpowiednia ich infrastruktura. Istotą formowania korytarzy transportowych jest zarazem możliwość optymalizacji wyboru środków transportu, która w łańcuchu przewozów wynika z zainteresowań popytu, a z punktu widzenia zrównoważonego rozwoju i z racji różnic w kosztach zewnętrznych jest przedmiotem przekształceń. Kierunek tych przekształceń jest wyrazem określonych polityk transportowych poszczególnych regionów, państw i Unii Europejskiej.

Węzły kształtują dostęp krajów i regionów do infrastruktury korytarzy - co również jest przedmiotem polityk transportowych, jeżeli chociażby nawiązać do priorytetów funduszy strukturalnych i polityki równych szans regionów na mapie Europy [1].

Za Steenbrinckiem [2] wyróżnijmy dwa atrybuty systemowego ujęcia problemu, to jest normatywną bądź opisową strukturę popytu i rozkładu ruchu. W sytuacji formowania polityk nastawionych na przekształcenia stanu opisowego popytu dość odległego od stanu normatywnego podstawowym problemem pozostaje kwestia norm - kryteriów ocen rozwiązań

¹ Politechnika Poznańska, Zakład Dróg Ulic i Lotnisk

projektowych podlegających finansowaniu. Typowym przykładem dylematu jest Sektorowy Plan Operacyjny [3], którego kryteria w kontekście priorytetów polityki zrównoważonego rozwoju stanowiące są zbyt arbitralnie lub nie dość jasno, co w następstwie powodować może brak spójności pomiędzy celami polityki a rezultatami aplikowanych projektów.

Budując przejrzyste i sprawne instrumentalnie systemy finansowania projektów konieczne jest wprowadzenie takich standardów, norm i kryteriów, które wnosiłyby skuteczny wkład w kształtowanie europejskiego systemu transportowego realizującego efektywnie cele wspólnego rynku i zasady równych szans. Dlatego właściwe i konieczne zarazem jest zdefiniowanie pojęcia obszaru węzłowego, jako integralnego elementu korytarza transportowego w znaczeniu globalnym (np. paneuropejskiego), a zarazem integralnego atrybutu przestrzeni makroekonomicznej w sensie lokalnym (np. regionu).

2. SPÓJNOŚĆ TRANSPORTOWA OBSZARU WĘZŁOWEGO

Klasyczne rozumienie węzła transportowego w sieci, jako miejsca nadania, odbioru i transferu ładunków, pasażerów lub pojazdów w określonej sieci, rozszerzymy na dowolny obszar administracyjny lub działalności gospodarczej o określonym położeniu w stosunku do sieci korytarza transportowych. O ile identyfikacja węzła w stosunku do jednego typu środka transportu w grafie sieci jest zagadnieniem trywialnym, to na mapie kilku nałożonych sieci węzły rzadko osiągają współbieżność położenia. O ile łuki grafu łączą się we wspólne korytarze dość czytelnie przez współbieżny wektor połączeń, ich węzły trzeba łączyć w obszary węzłowe, w których, chociaż różnej jakości, występują połączenia pomiędzy węzłami łukami sieci drogowej.

Dla obszaru obejmującego wiele węzłów z dwóch i więcej sieci wprowadzimy pojęcie intermodalnej spójności transportowej obszaru węzłowego opartej na macierzy $\{t_{ij}\}$ dostępności (t) zbioru r obiektów nadania, odbioru i transferu ładunków, pasażerów lub/i pojazdów pomiędzy sobą, gdzie (i,j) należą do zbioru r liczb naturalnych określających numer miejsc nadania (i) lub odbioru (j). Wprowadzimy uogólnioną formułę dostępności wzajemnej obiektów (t_{ij}), gdzie (t) wyraża uogólnioną formułę kosztu - czasu przejazdu, długości dystansu, kosztu transportu lub np. kompilację czasu i dystansu wg formuły Bensha. Ponieważ wielogałęziowość transportu tworzy lepsze warunki potencjalnej jego optymalizacji, w zasadzie uogólniona formuła spójności transportowej winna obejmować wszystkie rodzaje transportu - zwłaszcza alternatywne do transportu drogowego, co w nawiązaniu do definicji transportu intermodalnego określono tytułową formułą spójności intermodalnej.

Określimy znaczenie wzajemnej dostępności każdej pary obiektów wagą (s_{ij}), gdzie (s) przyjmuje wartości zerowej zapisane w formie macierzy $\{s_{ij}\}$. Macierz tę nazwiemy macierzą standaryzującą, natomiast iloczyn elementów o pozycji (ij) w macierzach $\{t_{ij}\}$ i $\{s_{ij}\}$ nazwiemy macierzą zestandaryzowaną dostępności $\{t_{s,ij}\}$:

$$\{t_{s,ij}\} = \{t_{ij} * s_{ij}\} \quad (1)$$

Uniwersalną funkcją macierzy standaryzującej jest umożliwienie pewnych operacji w segmentach obiektów, gałęziach lub podmiocie transportu (osoby, ładunki), a także wyłączenia pewnych połączeń nieistotnych. W szczególności może być wykorzystana do standaryzacji macierzy dostępności umożliwiających porównanie różnych obszarów węzłowych i różnych dla nich projektów. Konstrukcja macierzy $\{s_{ij}\}$ o tożsamych rozmiarach r i pozycji obiektów w macierzy zapewnia przejrzystość operacji. Wyłączając pewne nieistotne połączenia przez wartości $s_{ij} = 0$ z macierzy spójności wprowadzamy standardową macierz spójności.

Na podobnej zasadzie wprowadzimy macierz normalizującą $\{n_{ij}\}$, której wartości są wagami znaczącymi wartościami względnymi wprowadzonymi dla obiektów lub dla połączeń między obiektami (w każdym z obu przypadków suma elementów macierzy $\{n_{ij}\}$ równa jest 1). Macierz normalizująca kształtowana może być przez instytucję sterującą wyborem projektów, odpowiedzialną za politykę transportową, a w następstwie definiującą odpowiednio parametry priorytetów bądź dla obiektów, bądź dla połączeń.

Przez spójność transportową węzła (ST) rozumiemy sumę wartości elementów macierzy:

$$ST = \sum_{ij} (t_{ij} * s_{ij} * n_{ij}) \quad (2)$$

określoną odpowiednio jako spójność zestandaryzowana (ST_s), normatywna (ST_n) lub normatywna zestandaryzowana ($ST_{s,n}$), gdy w powyższej formule uwzględnić macierze standaryzujące $\{s_{ij}\}$ i/lub $\{n_{ij}\}$ inne niż jedynkowe.

Fizyczna interpretacja spójności obszaru węzłowego wiąże się z kosztem pracy transportowej w sieci obszaru węzłowego. Przy wykorzystaniu macierzowej formuły zapisu popytu $\{x_{ij}\}$ (gdzie x - natężenie strumienia ładunków, osób lub pojazdów w określonym czasie) stosunkowo prosto można uzyskać wielkość kosztu transportu w układzie intermodalnym obszaru jako:

$$\sum_{ij} (x_{ij} * t_{ij}). \quad (3)$$

3. STANDARYZACJA MACIERZY SPÓJNOŚCI

Pośród kilku wyróżnić można trzy klasyczne rodzaje zadania:

- wybór miejsca lokalizacji (np. terminalu kontenerowego, lotniska lub centrum logistycznego),
 - wybór najlepszego spośród projektów powiązań w obszarze (np. w planie aglomeracji lub regionu),
 - wybór najlepszych projektów niezależnie od obszaru,
- w których zachodzi potrzeba standaryzacji umożliwiającej porównywalność projektów i obszarów. Kryterium ST oparte na strukturze macierzowej wymaga standaryzacji według jednej z trzech opcji:

- liczby obiektów - rozmiarów macierzy (r_s),
- samego wskaźnika ST skorygowanego zależnością od niestandardowych rozmiarów macierzy: $r_s(1-r_s)$ do $r(1-r)$ (por. tablica 1),
- standaryzacji rozpatrywanych połączeń, co wskażemy niżej jako najlepsze rozwiązanie.

Zbiór obiektów (i,j) tworzą terminale, centra logistyczne, węzły i skrzyżowania sieci drogowej oraz kolejowe stacje towarowe. W odniesieniu do korytarzy obligatoryjnymi obiektami obszaru węzła powinny być "bramy" do infrastruktury korytarzy, również jeżeli leżą one poza obszarem - węzeł drogowy/skrzyżowanie na drodze w korytarzu, stacja towarowa i dworzec osobowy na magistrali kolejowej korytarza, a także "bramy" do nielądowych połączeń transportowych (port lotniczy i port morski).

W celu standaryzacji pozostaje określenie w strukturze macierzy w sposób obligatoryjny najtańszych (w znaczeniu uogólnionej formuły "t") obiektów węzłów prowadzących transfer do bram zlokalizowanych poza obszarem węzłowym. Szczególnie częstym tego przykładem może być port morski dla przeważającej liczby obszarów położonych w głębi lądu, dla których dostęp do bramy wymaga określenia odpowiedniego węzła reprezentatywnego dla formuły (t).

Porównanie obszarów o potencjalnie różnej liczbie obiektów (różnych rozmiarach macierzy -r, tj. różnej liczbie węzłów wewnątrz obszaru, a także bram poza obszarem) wymaga przyjęcia zasad standaryzacji według jednej z trzech wyżej podanych opcji. W najbardziej ogólnym i zarazem trafnym podejściu będzie to wyłączenie określonych połączeń (ij) z oceny ST poprzez zerowe wartości (s). Nawiązując do przykładu portów morskich, które jako obligatoryjne "bramy" w strukturze macierzy obszaru lądowego winny mieć rozpatrywane wartości (t_{ij}), interesuje nas wyłącznie połączenie z obiektem w obszarze najszybszego/najkrótszego bądź najtańszego transferu (w zależności od miary - t w ocenie spójności). Podobnie nieistotne w ocenie spójności węzła są przemieszczenia pomiędzy różnymi bramami zlokalizowanymi poza obszarem węzłowym. Zestandaryzowanie połączeń spowodować więc można nie tyle do wyłączenia obiektów poza rozmiary macierzy (opcja 1) lub uśrednienia ST (opcja 2), ile do przyjęcia zasady wyboru spośród wielu portów, stacji i węzłów ze standardowej liczby: nie więcej niż jednego, dwóch, trzech połączeń najtańszych (najkrótszych, najbliższych) w danej gałęzi (porty, drogi, koleje). W istocie operacja zatem sprowadzałaby się do "wyzerowania" w macierzy $\{s_{ij}\}$ ponadstandardowej liczby połączeń międzygałęziowych (przykładowo, ze stacji towarowej kolejowej dwóch spośród pięciu osadzonych w macierzy węzłów dróg krajowych). W ten sposób zachowuje się możliwość optymalizacji rozwiązania (hierarchia połączeń może się różnić w stanie z i bez projektu), zachowuje się wpływ większej liczby występujących w obszarze obiektów na wskaźnik spójności ST, a zarazem obszar opisywany jest zestandaryzowaną wartością ST.

W identyfikacji rozpatrywanego obszaru występować winna możliwość doboru lepszej konfiguracji, zważywszy na dwojakie możliwości - rozciągnięcia obszaru do najbardziej odległego z obligatoryjnych obiektów lub pozostawiania bardziej oddalonych bram poza obszarem węzła, co pozwoli wyzerować połączenia wg warunków dla s_{ij} . Stąd proponuje się wprowadzenie dodatkowej informacji o rozległości obszaru węzłowego, to jest promień obszaru obejmujący wszystkie obiekty obszaru węzłowego (R_{min}).

4. WĘZŁY OBSZAROWE W KORYTARZACH PANEUROPEJSKICH W POLSCE

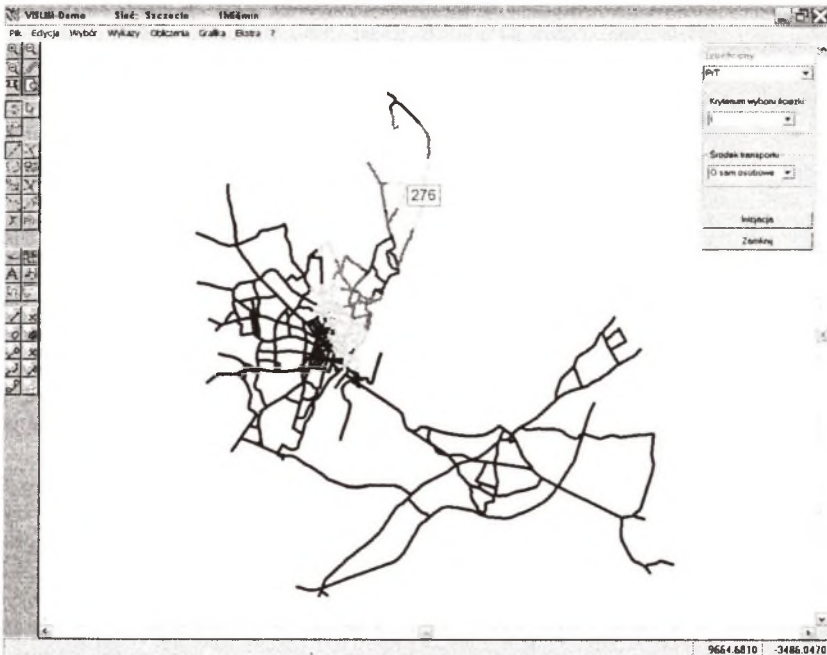
W pracy [3] wyróżniono węzły na skrzyżowaniach korytarzy paneuropejskich na terenie Polski. Spośród piętnastu z nich osiem stanowią aglomeracje. Praktyczną aplikację podstawowych założeń zastosowano dla sześciu aglomeracji. Wskaźniki spójności obszarowej węzłów zilustrowano w tablicy 1. Wykorzystano modele ruchu i sieci drogowej dla konstrukcji macierzy $\{t_{ij}\}$ z raportów graficznych programu VISUM/IT analizy izochronowej poszczególnych obiektów (rysunek 1).

Tablica 1

Wskaźniki spójności w badanych aglomeracjach

Nazwa obszaru węzłowego	Rozmiar (r)	R_{min} (km)	ST (min)	$ST_{\bar{r}} = ST[r(r-1)]$	ST_s dla $r_s=13$
Trójmiasto	12	15,0	1.757	13,3	2.076
Warszawa	17	9,0	4.257	15,65	2.442
Katowice	13	12,5	2.301	14,75	2.301
Poznań	11	6,0	1.671	15,2	2.371
Wrocław	11	7,8	1.625	14,8	2.310
Szczecin - bez projektu	12	10,5	2.320	17,6	2.320
Szczecin - z projektem	12	10,5	1.672	12,7	1.975

Źródło: Tablica jest korektą i modyfikacją z materiału źródłowego (Drozdowski J. [4])



Rys.1. Izochrony dla węzła kolejowego Szczecin Glinki [4]

Fig.1. Isochrones for railway terminal Szczecin Glinki [4]

Wyniki eksperymentu [4] w znacznym stopniu implikowały rozwiązania zaproponowane w niniejszej publikacji. Interesującymi rezultatami tego badania pozostają następujące kwestie:

1. Problem zestandaryzowania rozmiarów macierzy wiąże się z prawidłowością wzrostu liczby istotnych obiektów z wielkością aglomeracji (Warszawa z 17 obiektami znacznie przeważa nad pozostałymi aglomeracjami, podobny problem zarysowałby się w przypadku Katowic, gdyby rozpatrywać je w układzie pełnej konurbacji).
2. Zastosowanie standaryzacji według opcji uśrednienia: $ST_s = ST \times [r_{13}(r_{12}-1)][r(r-1)]^{-1}$ wykazało znaczny poziom wyrównania uprzednio zróżnicowanych wartości ST. Hipoteza o niskiej wrażliwości przyjętej miary została jednak odrzucona po badaniu wpływu zrealizowanego projektu trasy przez Rogalicę w Szczecinie na wartość ST_s (por. tablica 1 - Szczecin z i bez Projektu). Podobieństwo wskaźników ST_s odwzorowuje faktyczne podobieństwo infrastruktury obszarów węzłów Poznania i Wrocławia, a także Katowic (wyrwanych w istocie z kontekstu całej aglomeracji) oraz Szczecina (przed uruchomieniem projektu).
3. Badania prowadzono z wykorzystaniem miary czasu jako kosztu. Podane wartości R_{min} są jednak bardzo zróżnicowane w rozległości obszarów przy jednocześnie znacznym podobieństwie wskaźników ST_s . Zastosowana procedura uwzględnia jednak stan kongestii w sieci drogowej - obiekty peryferyjne są bardziej dostępne w sieci drogowej, zatem miara czasu w znacznym stopniu niweluje zróżnicowanie czynnika rozległości w sieciach zatłoczonych.

Metoda budowania wskaźników t_{ij} okazała się nieskomplikowana i wiarygodna przy wykorzystaniu modelu ruchu i modelu sieci w jednej ze standardowych i stosunkowo powszechnie dostępnych na rynku krajowym procedur (VISUM/IT).

5. WNIOSKI

Infrastruktura węzłów obszarowych odgrywa ważną rolę w efektywnym wykorzystaniu korytarzy transportowych, realizacji polityk zrównoważonego rozwoju i strategii rozwoju regionalnego. Dotychczasowe kryteria nie w pełni odwzorowują wszystkie aspekty realizacji głównych i podstawowych celów inwestycji transportowych. Nie ma zatem pewności, że środki kierowane na te inwestycje są wydatkowane optymalnie.

Jako uniwersalne i syntetyczne kryterium zaproponowano wskaźnik intermodalnej spójności transportowej obszaru węzłowego będący sumą elementów macierzy kosztu połączeń pomiędzy obiektami węzłowymi w obszarze z uwzględnieniem węzłów w infrastrukturze korytarza.

Zaproponowany wskaźnik intermodalnej spójności transportowej obszaru węzłowego korytarzy transportowych jest na tym tle propozycją lepszą, pozwalającą zestandaryzować wartość wskaźnika dla porównywania różnych obszarów oraz rozpatrywanych projektów w różnych obszarach. Poprzez zapis macierzowy wskazań normatywnych możliwa jest obiektywna ocena oczekiwanego wpływu produktu na rezultat w ujęciu czasu, dystansu lub kosztu transportu w skali całego systemu połączeń w obszarze i pomiędzy obszarem a korytarzem.

W ocenie kilku aglomeracji polskich, stanowiących stosunkowo spójny obszar węzłowy paneuropejskich korytarzy transportowych, podjęta próba standaryzacji wykazała 20-procentowy rozrzut zestandaryzowanej wartości ST na bazie czasów połączeń (od 2 do 2,4 tys. minut). Zarazem badanie wpływu zrealizowanego projektu przeprawy mostowej przez Regalicę w Szczecinie wskazało na obniżenie zestandaryzowanego wskaźnika spójności o 15%.

Formowanie macierzy i wykonanych obliczeń jest możliwe w sposób prosty przy wykorzystaniu dostępnych i stosunkowo powszechnie stosowanych procedur obliczeniowych i/lub pomiarowych w określeniu czasu, dystansu lub innych formuł kosztu. Ich zastosowanie pozwala uwzględnić stany kongestii motoryzacyjnej w obszarze węzłowym. Zastosowanie takiego kryterium rozszerza przestrzeń interesujących projektów o wszelkie rozwiązania zmniejszające skutecznie poziom kongestii w sieci. Zwraca się uwagę na możliwość wykorzystania konwencjonalnych teorii modelowania ruchu (model grawitacyjny i formuła ograniczonej przepustowości) dla powiązania formuły macierzowej zapisu wskaźnika z modelowaniem popytu i badaniem reakcji popytu na zmiany w projektowanej strukturze sieciowo - węzłowej.

Literatura

1. Rozporządzenie Rady Europy UE nr 1260/1999/WE z 21.06.1999.
2. Steenbrinc P.,A.: Optymalizacja sieci transportowych. WKiŁ, Warszawa 1986.
3. Sektorowy Program Operacyjny Transport na lata 2004 - 2006, Ministerstwo Infrastruktury, Warszawa 2003 (uzupełnienie - 2004).
4. Drozdowski J.: Analiza obszarów węzłowych europejskich korytarzy transportowych na terenie Polski. Praca magisterska: promotor Krych A., Wydz. Budownictwa Architektury i Inżynierii Środowiska, Politechnika Poznańska, Poznań 2004.

Abstract

The infrastructure of junction areas plays important part in the effectiveness of transport corridors. At the moment the existing criteria do not enfold all aspects and therefore they are not optimal.

As universal and synthetic criteria we propose the intermodal cohesion index of a junction area that is the sum of the elements of the created journey-cost matrix. The journeys are defined inside the junction area with additional compliance junctions in the corridor infrastructure.

The cohesion index gives a possibility to standardize its value because of the usage of standardization an normalization matrixes what makes it optimal.

Creating matrixes is easy with the commonly used procedures of estimating time/cost values with the influence of transport congestion. This feature makes the index helpful in project works concerning solutions reducing road congestion.