

Ryszard JANECKI

Institut Transportu Kolejowego
Politechniki Śląskiej

WYKORZYSTANIE METOD GRAFOWYCH DO TOPOLOGICZNEJ ANALIZY
SIECI KOMUNIKACJI MIEJSKIEJ NA PRZYKŁADZIE NIEKTÓRYCH
MIAST AGLOMERACJI GOP-u

Streszczenie. W artykule przedstawiono istotę metod grafowych. Wskazano na obszar ich zastosowań, który stanowi między innymi analiza topologiczna struktury przestrzennej sieci komunikacyjnej. Zaprezentowano również praktyczne wykorzystanie omówionych metod na przykładzie komunikacji miejskiej wybranego obszaru aglomeracji GOP.

Wstęp

Tradycyjnym przedmiotem zainteresowań w badaniach sieci transportowych, a więc również sieci komunikacji miejskiej, jest przestrzenna analiza tych sieci. W badaniach tego rodzaju, od mniej więcej dwudziestu lat [2, 98] stosuje się metody grafowe, które wykorzystują topologiczne właściwości grafów. Metody grafowe pozwalają na:

- wyznaczenie punktów centralnych sieci komunikacyjnej,
- wyznaczenie dostępności sieci z danego jej wierzchołka oraz ustalenie węzłów najbardziej dostępnych,
- ustalenie hierarchii istniejących (lub też wprowadzonych) odcinków sieci o charakterze substytucyjnym,
- delimitację regionów węzłowych,
- określenie równowagi strukturalnej układu.

W artykule przedstawiono istotę metod grafowych oraz ich praktyczne zastosowanie do topologicznej analizy sieci komunikacji miejskiej na obszarze miast Katowice, Chorzów, Świętochłowice, Ruda Śląska i Gliwice.

1. Metody grafowe w badaniach sieci transportowych

Podstawowym wymogiem analizy topologicznej jest przedstawienie rzeczywistej sieci transportowej w postaci abstrakcyjnego układu zbioru X węzłów lub wierzchołków, połączonych zbiorem U odcinków, krawędzi lub łuków. Ujęcie grafowe zwraca uwagę przede wszystkim na układ połączeń między węzłami.

Istnieje jednak możliwość zastąpienia oddalenia topologicznego miarą odległości, czasem przewozu lub kosztem przewozu między węzłami.

W literaturze przedmiotu istnieje wiele wskaźników, które mierzą różne aspekty struktury grafów. Szczególne znaczenie mają miary charakteryzujące spójność sieci oraz jej dostępność, hierarchię węzłów i połączeń. Pierwsza grupa wskaźników obliczana jest na podstawie danych o liczbie wierzchołków i krawędzi grafu sieci. Druga natomiast wykorzystuje informację o długości drogi lub łańcucha w grafie.

W celu porównania złożoności struktury kilku sieci korzysta się z miar określających stopień spójności sieci. Według Z. Prihara [2, 103] stopień spójności sieci C_{st} określa się z zależności:¹⁾

$$C_{st} = \frac{\varphi(\varphi - 1)}{2e}, \quad (1)$$

gdzie:

- φ - liczba wierzchołków grafu G sieci transportowej,
- e - liczba krawędzi.

Wielkość tego wskaźnika waha się w przedziale $1 \leq C_{st} < \frac{\varphi}{2}$, przy czym

$C_{st} = 1$ - spójność maksymalna,

$C_{st} = \frac{1}{2}$ - spójność minimalna.

Pojęcie długości drogi i długości łańcucha w grafie posłużyło do opracowania miar dostępności węzłów w sieci. Ustalenie dostępności węzłów w sieci wymaga sporządzenia macierzy oddaleń (dostępności). Największe oddalenie z danego wierzchołka x grafu G sieci transportowej do wszystkich pozostałych, co można zapisać:

$$e(x) = \max_{y \in X} d_{xy}, \quad (2)$$

gdzie:

d_{xy} - oddalenie wierzchołka x od wierzchołka y, nazywamy liczbą asocjacji wierzchołka.

Wierzchołek x_0 , dla którego liczba asocjacji jest skończona i najmniejsza ze względu na wszystkie wierzchołki, nazywa się punktem centralnym sieci (grafu) G.

Maksymalna liczba asocjacji wierzchołka w całej sieci $\delta(G) = \max_{x, y \in X} d_{xy}$ oznacza jej średnicę.

A. Shimmel [2, 121] zaproponował dwie inne miary topologiczne:
- dostępność grafu (sieci) z danego wierzchołka A_y

¹⁾ Stosuje się również między innymi wskaźniki Kansky'ego, stopień rozwinięcia grafu wg Zagożdżona - zob. [2, 104].

$$A_y = \sum_{x=1}^{\vartheta} d_{xy} \quad x = 1, 2, \dots, \vartheta \quad x, y \in X \quad (3)$$

- dyspersję sieci

$$D(G) = \sum_{y=1}^{\vartheta} \sum_{x=1}^{\vartheta} d_{xy} \quad x, y = 1, 2, \dots, \vartheta \quad x, y \in X \quad (4)$$

Najniższą wartość A_y wykazuje węzeł najbardziej dostępny. Korzystając ze wskaźnika dostępności topologicznej można wyznaczyć dwa istotne wskaźniki charakteryzujące daną sieć transportową [2, 12] :

- przeciętną długość drogi łańcucha z wierzchołka y w sieci

$$P_y = \frac{\Delta y}{\vartheta} \quad (5)$$

- względną dostępność topologiczną

$$\Omega = \frac{A_y - A_{\min}}{A_{\max} - A_{\min}} \cdot 100, \quad (6)$$

gdzie:

A_{\min} - minimalna wartość dostępności (węzeł najbardziej dostępny),
 A_{\max} - maksymalna wartość dostępności (węzeł najbardziej niedostępny) w całej sieci.

Węzeł, którego względna dostępność topologiczna jest najbliższa zeru, uważa się za punkt centralny.

Zastosowanie wskaźników spójności i dostępności sieci transportowej pokazano na przykładzie niektórych miast GOP-u. Stanowi to przedmiot rozważań w kolejnym punkcie artykułu.

2. Analiza układu topologicznego sieci komunikacji miejskiej na badanym obszarze aglomeracji GOP-u

W ramach analizy układu topologicznego sieci komunikacyjnej wybranego obszaru aglomeracji wyznaczono punkty centralne sieci autobusowej WPK, najbardziej dostępne węzły tej sieci, jej dyspersję oraz scharakteryzowano wzajemne powiązania węzłów sieci autobusowej, tramwajowej i kolejowej.

Węzły transportowe sieci autobusowej i tramwajowej WPK stanowiły:
 - początkowe i końcowe przystanki poszczególnych tras, niezależnie od ich technicznego sposobu rozwiązania,

- przystanki przy skrzyżowaniach tras autobusowych lub tramwajowych oraz autobusowych i tramwajowych,
- przystanki graniczne pomiędzy poszczególnymi miastami.

Natomiast dla sieci kolejowej: dworce, przystanki osobowe i punkty na granicach obszarów rozpatrywanych miast.

Przykładowo sieć komunikacyjną miasta Świętochłowice jako graf płaski nieskierowany przedstawiono na rys. 2.1, a w tabl. 2.1 macierz dostępności N .

Tablica 2.1.

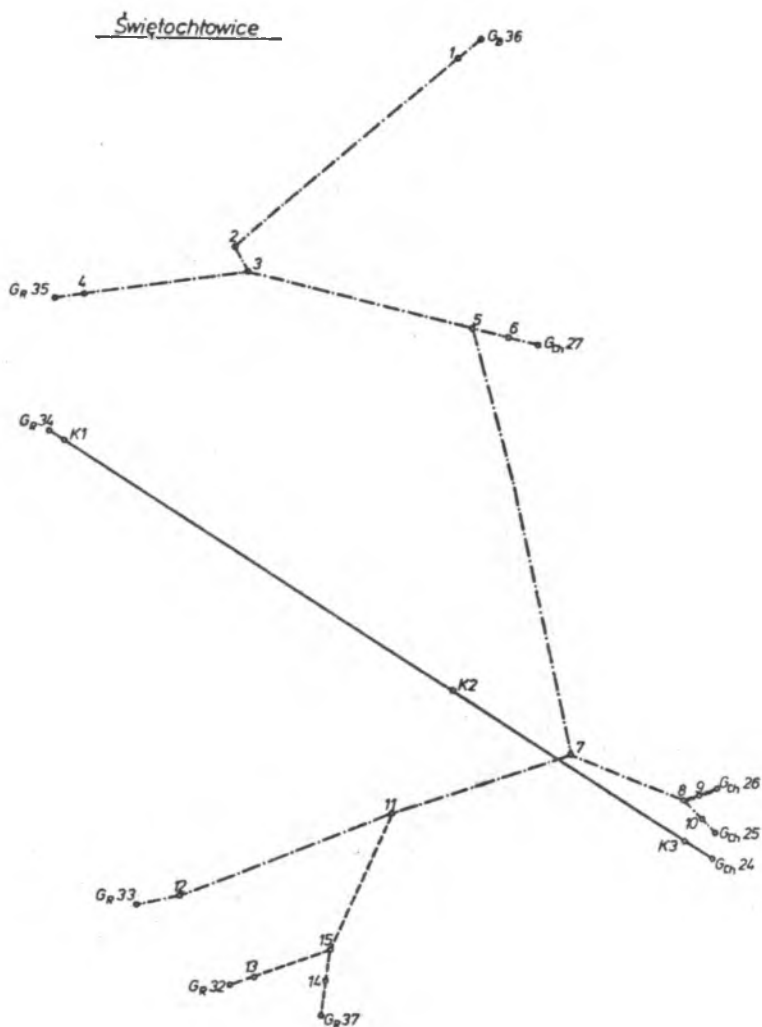
Macierz dostępności N sieci autobusowej miasta Świętochłowice

	Numery węzłów sieci autobusowej														
	1	2	3	4	5	6	7	8	10	11	12	13	14	15	
1	X	1	2	3	3	4	4	5	6	5	6	7	7	6	
2	1	X	1	2	2	3	3	4	5	4	5	6	6	5	
3	2	1	X	1	1	2	2	3	4	3	4	5	5	4	
4	3	2	1	X	2	3	3	4	5	4	5	6	6	5	
5	3	2	1	2	X	1	1	2	3	2	3	4	4	3	
6	4	3	2	3	1	X	2	3	4	3	4	5	5	4	
7	4	3	2	3	1	2	X	1	2	1	2	3	3	2	
8	5	4	3	4	2	3	1	X	1	2	3	4	4	3	
10	6	5	4	5	3	4	2	1	X	3	4	5	5	4	
11	5	4	3	4	2	3	1	2	3	X	1	2	2	1	
12	6	5	4	5	3	4	2	3	4	1	X	3	3	2	
13	7	6	5	6	4	5	3	4	5	2	3	X	2	1	
14	7	6	5	6	4	5	3	4	5	2	3	2	X	1	
15	6	5	4	5	3	4	2	3	4	1	2	1	1	X	

Źródło: opracowanie własne

W tabl. 2.2 zamieszczono charakterystykę węzłów sieci autobusowej WK¹⁾ na badanym obszarze ze względu na rodzaj obsługujących środków transportowych.

¹⁾ Jest to podstawowy środek komunikacji miejskiej na badanym obszarze GOP-u.

**LEGENDA**Opis krawędzi grafu:

- połączenia autobusowe WPK
- połączenia tramwajowe WPK
- .-.-.- połączenia autobusowe i tramwajowe
- połączenia kolejowe

Opis węzłów grafu:

- 1, 2, ... węzły sieci autobusowej i tramwajowej WPK
- K1, K2, ... węzły sieci kolejowej
- G_{8.33}, ... węzły graniczne sieci

Indeksy punktów granicznych:

- B - wylot w kierunku Bytomia
- Ch - wylot w kierunku Chorzowa
- R - wylot w kierunku Rudy Śląskiej

Rys. 2.1. Sieć komunikacyjna miasta Świętochłowice jako graf płaski nieskierowany

Tablica 2.2

Węzły sieci autobusowej WPK i rodzaje obsługujących je środków transportowych

Nazwa miast	Liczba węzłów sieci autobusowej WPK w [%]			
	obsługiwanych wyłącznie przez autobus WPK	obsługiwanych przez autobus i tramwaj WPK	obsługiwanych przez autobus WPK i kolej	obsługiwanych przez autobus i tramwaj WPK oraz kolej
1	2	3	4	5
Katowice	70	16	8	6
Chorzów	38	57	2,5	2,5
Świętochłowice	21	79	0	0
Ruda Śl.	50	38	6	6
Zabrze	49	35	0	16
Gliwice	72	18	8	2
Ogółem badany obszar	59	30	5,5	5,5

Źródło: obliczenia własne

Tablica 2.3

Charakterystyka topologiczna przestrzennej struktury sieci autobusowej WPK na badanym obszarze

Nazwa miasta	Stopień spójności sieci autobusowej WPK C_{st}	Liczba węzłów \downarrow	Średnica sieci $\delta(G)$	Minimalna liczba asociacji $\min s(x)$	Liczba węzłów centralnych sieci	Minimalna dostępność topologiczna węzłów sieci $\min A_j$	Maksymalna dostępność topologiczna węzłów sieci $\max A_j$	Względna dostępność punktu centralnego α_c	Względna dostępność punktu najbardziej dostępnego α_d	Dyspersja sieci $D(G)$	Liczba krawędzi wychodzących z punktu centralnego	W e k s z n i k i			
												średnia liczba węzłów na 10 km ² pow.	średnia liczba węzłów na 10 tys. mieszkań	stosunek dyspersji sieci do liczby węzłów $D(G): \downarrow$	stosunek $D(G)$ do pow. w 10 km ²
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Katowice	1 < 40,8 < 53,5	107	15	8	2	483	998	0	0	72225	4	6,5	3,0	663	40,2
Chebnów	1 < 16,7 < 18,5	37	19	10	2	186	368	0	0	9876	3	10,9	2,5	240	70,6
Świętochłowice	1 < 7,0 = 7,0	14	7	4	2	29	59	0	0	610	3	10,8	2,3	44	33,5
Ruda Śląska	1 < 13,8 < 16,0	32	10	5	1	99	194	0,04	0	4400	3	4,1	2,0	138	17,6
Zabrze	1 < 20,2 < 25,2	51	15	8	2	214	410	0	0	15468	4	6,4	2,6	303	37,9
Gliwice	1 < 25,1 < 30,5	61	14	8	3	260	527	0	0	22647	4	4,5	3,1	371	27,3

Źródło: opracowanie własne.

Tablica 2.4

Charakterystyka powiązań sieci tramwajowej
z siecią autobusową WPK na badanym obszarze

Nazwa miast	Liczba węzłów sieci tramwajowej obsługiwanych wyłącznie przez tramwaj	Liczba odcinków sieci tramwajowej o charakterze substytucyjnym	Liczba odcinków sieci tramwajowej o charakterze komplementarnym	Czy pętle tramwajowe są przystankami początkowymi linii autobusowych?
1	2	3	4	5
Katowice	4	8	19	tak - na obszarze centrum miasta
Chorzów	3	7	17	tak - Plac 1.Maja
Świętochłowice	1	1	10	nie
Ruda Śląska	0	0	13	nie
Zabrze	0	0	25	nie
Gliwice	0	7	6	nie
Ogółem badany obszar	6	23	90	-

Źródło: opracowanie własne

Jak wynika z danych zamieszczonych w tabl.2.2, tylko 30% węzłów komunikacji autobusowej WPK jest jednocześnie dostępna od strony tramwaju, a 11% także od strony kolei. Najmniej korzystnie wskaźniki te kształtują się dla miast Katowice i Gliwice. Na obszarach tych miast przede wszystkim transport kolejowy mógłby realizować znacznie większe zadania w zakresie przewozów pasażerskich niż obecnie, gdyż układ sieci kolejowej na terenie obu wymienionych miast jest sprzyjający dla realizacji przemieszczeń pasażerów w ich granicach.

W tabl.2.3 zamieszczono charakterystykę topologicznej struktury sieci autobusowej WPK, którą sporządzono na podstawie grafów sieci komunikacji miejskiej i macierzy odległości dla poszczególnych miast. Natomiast w tabl. 2.4 scharakteryzowano powiązania komunikacji tramwajowej i autobusowej WPK.

Przeprowadzona analiza topologiczna sieci komunikacji miejskiej (jej syntetyczne wyniki zamieszczono w tablicach 2.2 - 2.4) na obszarze miast Katowice, Chorzów, Świętochłowice, Ruda Śl., Zabrze i Gliwice pozwala zauważyć, iż w większości przypadków punkty centralne sieci autobusowej WPK są jednocześnie punktami najbardziej dostępnymi, za wyjątkiem miasta Ruda Śląska. Najczęściej są one usytuowane na obszarach centralnych miast. W przypadku Katowic i Zabrze stanowią je duże przystanki autobusowe i dworce WPK.

Analiza wskaźników dyspersji i spójności sieci komunikacyjnej wskazuje na małą jej spójność na obszarach takich miast jak Chorzów, Świętochłowice i Ruda Śląska.

Jak wynika z danych zamieszczonych w tabl.2.4 spośród odcinków, na których przewoży pasażerów realizowane są przez tramwaje, 20% ma charakter substytucyjny a 80% komplementarny. Sieć tramwajowa w miastach Katowice, Chorzów, Świętochłowice i Gliwice poprawia dostępność sieci autobusowej WPK oraz zmniejsza jej dyspersję. Natomiast w miastach Ruda Śląska i Zabrze znajdują się wyłącznie odcinki o charakterze komplementarnym, biegnące równolegle do istniejących linii autobusowych. Inną cechą charakterystyczną, tym razem dla miast Katowice i Chorzów, jest to, iż pętle tramwajowe usytuowane w centrach tych miast są jednocześnie przystankami początkowych linii autobusowych, bądź znajdują się w bezpośrednim sąsiedztwie przystanków początkowych komunikacji autobusowej WPK. Sprzyja to możliwościom wyboru przez pasażera środka transportu oraz umożliwia stosunkowo dogodne przemieszczanie się w relacjach "przesiadkowych".

Podsumowanie

Zaprezentowane w niniejszym artykule wyniki badań nad strukturą przestrzenną sieci komunikacyjnej wybranego obszaru aglomeracji GOP potwierdzają dużą przydatność praktyczną metod grafowych do rozwiązywania tego rodzaju problemów. Takie ujęcie stanu istniejącego sieci komunikacyjnej, na jakie pozwalają omówione w artykule metody grafowe, jest również wielce przydatne w rozwiązywaniu złożonych problemów transportu. Twierdzenie

to oparte jest na doświadczeniach zespołu badawczego Instytutu Transportu Kolejowego Politechniki Śląskiej (którego członkiem jest autor niniejszego artykułu), który wykorzystał wyniki badań topologicznej struktury sieci komunikacji miejskiej uzyskane przy zastosowaniu metod grafowych, do rozwiązywania zagadnienia racjonalizacji zużycia paliw i energii w miejskim transporcie pasażerskim [1].

LITERATURA

- [1] Pidrych Z. z zespołem: Zmniejszenie zużycia energii i paliw w oparciu o integrację technik przewozów pasażerskich - etap II. Praca Instytutu Transportu Kolejowego Politechniki Śląskiej, Katowice 1984.
- [2] Petrykowski M., Taylor Z.: Geografia transportu. PWN, Warszawa 1982.

Recenzent: Prof. dr inż. Edward Perykaszka

Wpłynęło do Redakcji w czerwcu 1984 r.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ГРАФНЫХ МЕТОДОВ ДЛЯ ТОПОЛОГИЧЕСКОГО АНАЛИЗА СЕТИ ГОРОДСКОГО СООБЩЕНИЯ НА ПРИМЕРЕ НЕКОТОРЫХ ГОРОДОВ АГЛОМЕРАЦИИ ВЕРХНЕСИЛЕЗСКОГО ПРОМЫШЛЕННОГО ОКРУГА

Р е з ю м е

В статье представлена сущность графных методов. Указывается на область их применения, которая составляет между прочим топологический анализ пространственной структуры сети сообщения. Представлено также практическое использование описанных методов на примере городского сообщения отобранной территории агломерации Верхнесилезского промышленного округа.

USE OF GRAPH METHODS FOR TOPOLOGICAL ANALYSIS OF A TOWN TRANSPORTATION NETWORK ON THE BASIS OF SOME GOP AGGLOMERATION CITIES

S u m m a r y

The article shows the requirements as far as the technical, exploitative and natural features of the stations and loading points are concerned. This way the optimal view of the perfect loading station has been achieved. A station like that may be designed and built or it could be reached after the wide range reconstruction of the existing loading stations.