ZESZYTY NAUKOWE POLITECHNIKI ŚLĄSKIEJ 2003
Seria: TRANSPORT z. 47 Nr kol. 1586

Mariusz DUDEK[1], Matthias RICHTER[2]

NIEZAWODNOŚĆ SIECI ULICZNEJ A JEJ PARAMETRY STRUKTURALNE

Streszczenie. Niezawodność sieci ulicznej ma duży wpływ na ocenę układu komunikacyjnego miasta. Na podstawie różnych układów promienisto-obwodnicowych została określona zależność pomiędzy wybranymi parametrami strukturalnymi a niezawodnością sieci. Celem jest umożliwienie określenia niezawodności na podstawie tylko analizy jej parametrów strukturalnych. Ocena struktury sieci wymaga porównywalnie mniejszej liczby danych wejściowych i krótszego czasu obliczeń. Zależności pomiędzy tymi parametrami a innymi wskaźnikami funkcjonalnymi są od dawna znane (jak np. średni czas przejazdu) [3, 4]. Dlatego też niniejsze badania będą się ograniczały do analizy niezawodności sieci.

RELIABILITY OF STREET NETWORK AND ITS STRUCTURAL PARAMETERS

Summary. The calculation of reliability parameters is an essential part of the analysis of transportation networks. By means of different ring-radial-structures the relation between several structural parameters and the reliability of street networks is considered. The aim is to draw conclusions with respect to the network reliability by the help of structural parameters which are available by a comparatively small amount of computing time and input data. The relation between these structural parameters (namely the dispersion and the index of underdevelopment) and other characteristics which are of practical relevance is well-known, see e. g. [3, 4]. Taking the reliability into account, these considerations are supplemented.

1. WPROWADZENIE

Niezawodność można najczęściej wyjaśnić jako pewność funkcjonowania określonego urządzenia bądź systemu. Dlatego też niezawodność sieci ulicznej można zdefiniować jako prawdopodobieństwo osiągnięcia wybranego celu w mieście i to najlepiej w przewidywanym przez podróżującego czasie. Z tego powodu ma ona duży wpływ na ocenę układu komunikacyjnego miasta. Przyczynami zawodności poszczególnych odcinków sieci mogą być:

[1] Instytut Inżynierii Drogowej i Kolejowej, Politechnika Krakowska ul. Warszawska 24, 31-155 Kraków, tel. (+48 12) 628 23 25, e-mail: mariusz@transys.wil.pk.edu.pl
[2] Fakultat für Matrhematik, Technische Universtät Chemnitz 09107 Chemnitz, Germany, tel. (+49 371) 531-2669, e-mail: matthias.richter@mathematik.tu-chemnitz.de

- wypadek lub kolizja pojazdów (ale tylko taki, który powoduje uniemożliwienie przejazdu dla wybranego kierunku lub w całym przekroju),
- remont nawierzchni jezdni lub elementów infrastruktury technicznej,
- zamknięcie z powodu uroczystości, imprez kulturalnych i sportowych, manifestacji itp.,
- zamknięcie z powodu przejazdu ważnych osobistości (VIP),
- przeciążenie ruchem (należy się zastanowić, jaki poziom uznać za krytyczny).

Prawdopodobieństwo zajścia wyszczególnionych zdarzeń jest bardzo trudno wyznaczyć, dlatego też w dalszych analizach posłużono się określonymi wartościami prawdopodobieństwa zawodności poszczególnych odcinków uzależnionymi jedynie od przewidywanej funkcji w układzie oraz jego położenia.

Procedury obliczenia wskaźników niezawodności sieci ulicznych są bardzo rozbudowane i wymagają bardzo dużego nakładu pracy. Dlatego też celem niniejszych analiz jest znalezienie zależności pomiędzy niezawodnością sieci a parametrami strukturalnymi sieci, które są znacznie prostsze do określenia. Wówczas określenie zmian niezawodności wskutek przekształcenia układu ulicznego byłoby znacznie łatwiejsze.

2. PARAMETRY STRUKTURALNE SIECI ULICZNYCH

We wcześniejszych publikacjach [4] zostało stwierdzone, że spośród wielu parametrów strukturalnych, opracowanych z wykorzystaniem teorii grafów, do oceny sieci ulicznych najlepiej nadają się dwa następujące:

- *Dyspersja sieci* jest to średnia liczba odcinków na najkrótszej w sensie teorii grafów drodze pomiędzy dwoma węzłami sieci. Ponieważ wskaźnik ten może być stosowany dla sieci o różnej liczbie węzłów, dlatego też należy stosować jej wartość przeciętną (iloraz dyspersji sieci i kwadratu liczby jej węzłów)

$$D = \frac{1}{n^2} \cdot \sum_{y=1}^{n} A_y = \frac{1}{n^2} \cdot \sum_{y=1}^{n} \sum_{x=1}^{n} d_{xy} \tag{1}$$

gdzie: d_{xy} jest liczbą odcinków na najkrótszej (w sensie teorii grafów) drodze pomiędzy węzłami x i y, a n – liczbą węzłów sieci.

- *Wskaźnik niedorozwoju sieci* jest definiowany za pomocą wzoru (oznaczenia przyjęto zgodnie z publikacją źródłową)

$$Km = \frac{1}{n^2} \cdot \sum_{i,j=1}^{n} \left[zhko(i,j) - zhk(i,j) \right] \tag{2}$$

gdzie: n – liczba węzłów sieci, $zhk(i,j)$ – minimalna liczba krawędzi, jakie trzeba usunąć, aby wyeliminować wszelkie połączenia pomiędzy węzłami i oraz j. Oznaczając jako $val(i)$ liczbę krawędzi, jaka jest przyporządkowana węzłowi i, tzn. dla których ten węzeł będzie stanowił punkt początkowy lub końcowy, otrzymujemy wówczas zależność:

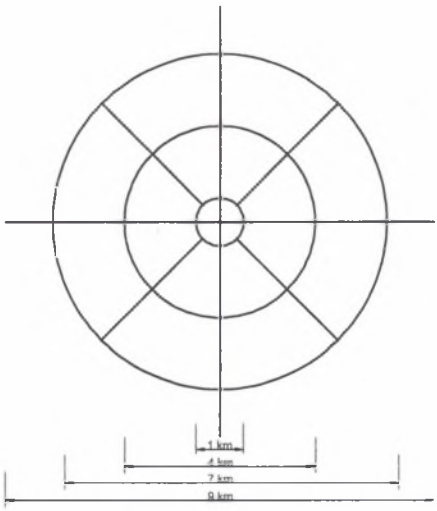
$$zhko(i,j) = \min\ (val(i), val(j)) \geq zhk(i,j). \tag{3}$$

Spośród wielu teoretycznych układów komunikacyjnych najlepiej sieci rzeczywiste odzwierciedla układ promienisto-obwodnicowy. Układ ten można scharakteryzować za pomocą zbioru R złożonego z obwodnic $R_1, R_2, \ldots, R_S$ (które są cyklami parami rozdzielnymi, a więc nie posiadającymi punktów wspólnych) i zbioru M odcinków promienistych, mających jeden punkt wspólny i_0 (odzwierciedlający punkt centralny miasta). Każda para odcinków

promienistych nie posiada poza centrum żadnego punktu wspólnego, natomiast każda obwodnica posiada jeden wspólny punkt z każdym odcinkiem promienistym.

Układy promienisto-obwodnicowe można spotkać w wielu miastach, także średniej wielkości. Nadają się one bardzo dobrze do wprowadzenia uspokojenia ruchu w centrum. Eliminacja ruchu z centrum miasta jest konieczna w celu ochrony jego funkcji kulturowej i usługowej.

Rozpatrywana sieć promienisto-obwodnicowa została przyjęta na podstawie analizy rzeczywistych układów komunikacyjnych siedmiu polskich miast średniej wielkości. Pełny model stanowiący podstawę do dalszych możliwych przekształceń i analiz został przedstawiony na rys. 1.



Rys. 1. Pełna sieć ulic o strukturze promienisto-obwodnicowej
Fig. 1. Complete ring-radial street network

Przedstawiona na rysunku sieć stanowiła podstawę do opracowania dalszych wariantów układów komunikacyjnych różniących się od wyjściowego:

- istnieniem tylko obwodnicy wewnętrznej (a więc praktycznie funkcjonujący jako układ promienisty),
- brakiem obwodnicy zewnętrznej,
- brakiem obwodnicy wewnętrznej (praktycznie ilustrujący wprowadzenie uspokojenia ruchu w centrum na szerszą skalę),
- brakiem uzupełniających ulic promienistych łączących obwodnicę wewnętrzną z zewnętrzną.

Każdy z wariantów sieci drogowo-ulicznej był rozpatrywany zarówno w sytuacji możliwości przejazdu przez punkt centralny, jak i przy braku takiego przejazdu, co odpowiadało wprowadzeniu uspokojenia ruchu w centrum miasta.

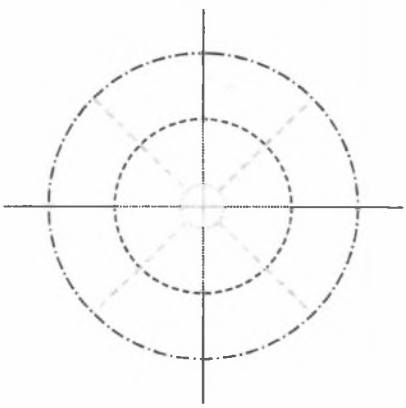
3. ALGORYTM OBLICZANIA NIEZAWODNOŚCI SIECI ULICZNEJ

Dla potrzeb obliczenia niezawodności sieć komunikacyjna została przedstawiona jako graf skończony $G=G(V,A)$, przy czym V oznacza zbiór węzłów, a A – zbiór odcinków. Każdemu odcinkowi k ze zbioru A zostanie przyporządkowana niezawodność p_k. W dalszych analizach niech m będzie liczbą odcinków, a n – liczbą węzłów w grafie G.

Dla potrzeb analizy niezawodności sieci komunikacyjnej konieczne jest zdefiniowanie na początku ważniejszych wskaźników niezawodnościowych. Niezawodność sieci ulicznej można określić jako średnią wartość niezawodności połączeń pomiędzy wszystkimi węzłami tej sieci. Szczególnie ważne będzie więc zdefiniowanie niezawodności połączenia $P(u,v)$ dwóch określonych węzłów u oraz v. $P(u,v)$ jest prawdopodobieństwem, że istnieje przynajmniej jedna funkcjonująca (przejezdna) droga między węzłami u oraz v. Drogę nazywamy „funkcjonującą", gdy składa się ona tylko z funkcjonujących odcinków. Przyjęto dodatkowe założenia:

- wszystkie węzły są absolutnie niezawodne (wyłączenie węzła z ruchu można zastąpić wyłączeniem wszystkich lub tylko wybranych odcinków do niego dochodzących),
- wszystkie odcinki są albo w stanie „funkcjonowania" albo „niefunkcjonowania", przy czym stany poszczególnych odcinków są binarnymi liczbami losowymi wzajemnie stochastycznie niezależnymi.

Możliwość wyboru w określaniu niezawodności połączenia polega z jednej strony na określeniu węzłów u oraz v. Można tutaj przeanalizować różne warianty ich położenia. Z drugiej strony istnieje swoboda w określeniu prawdopodobieństwa funkcjonowania poszczególnych odcinków. Jest przy tym celowe, aby wszystkie ulice danej kategorii (np. obwodnica zewnętrzna) miały takie same wartości tego prawdopodobieństwa – propozycja takiego podziału została przedstawiona na rys. 2. Przy określaniu niezawodności poszczególnych kategorii ulic można uwzględnić liczbę pasów ruchu.



Rys. 2. Wyodrębnione niezawodnościowe kategorie ulic
Fig. 2. Separated reliabilities of street categories

W literaturze opisano [1, 2] wiele możliwości obliczania $P(u,v)$. Ponieważ dotyczą one obliczeń $P(u,v)$ dla konkretnych przypadków, a nie tylko jego oszacowania, dlatego też opisane procedury są numerycznie bardzo rozbudowane. Dla rozpatrywanych struktur sieci ulic jest to szczególnie ważne, ponieważ na podstawie złożoności równoważnego przedstawienia struktury sieci jako kombinacji połączeń równoległych i szeregowych jest to

trudne do zrealizowania, a rozszerzenie w oparciu o wzajemną zależność poszczególnych elementów połączeń jest dodatkowo bardzo pracochłonne.

Jak skomplikowana jest to procedura, ilustruje poniższy przykład. Rozpatrzmy dwie drogi w_1 oraz w_2 w grafie G pomiędzy punktami u oraz v, przy czym prawdopodobieństwo przejezdności $P(w_j)$ dla każdej z tych dróg określa wzór:

$$P(w_j) = \prod_{k \in w_j} p_k \,. \tag{4}$$

Prawdopodobieństwo, że drogi w_1 lub w_2 są przejezdne, można określić zależnością

$$P(w_1 \cup w_2) = P(w_1) + P(w_2) - P(w_1 \cap w_2)\,. \tag{5}$$

Gdy jednak drogi w_1 lub w_2 mają wspólne odcinki, wówczas przypisane im zdarzenia nie są w ogólności stochastycznie niezależne, co znacząco utrudnia obliczenie czynnika $P(w_1 \cap w_2)$. Wówczas celowe jest znalezienie takich kombinacji „wybranych" i „niewybranych" odcinków, które nie są parami połączone. Powinny przy tym należeć do każdej z takich kombinacji drogi z u do v i wszystkie takie drogi powinny zostać wykryte. Jedną z możliwości byłoby oczywiście zbadanie przejezdności wszystkich kombinacji „wybranych" i „niewybranych" wszystkich odcinków (numeracja całkowita). Zastosowany tutaj algorytm wykorzystuje procedurę Branch-and-Bound polegającą na tym, że zostanie skoncentrowanych możliwie wiele wzajemnie wykluczających się pojedynczych zdarzeń, które prowadzą do „przejezdności" lub „nieprzejezdności" pomiędzy węzłami u i v. Przyjmijmy, że:

- $KW(i)$ długość najkrótszej drogi w grafie G od węzła i do węzła v.
- $M(i)$ aktualne oznaczenie i, przy czym $M(i)=j$, gdy wówczas od i do j przejeżdża się przez odcinek (j,i).
- $S(k) = \begin{cases} 1, & \text{gdy odcinek } k \in A \text{ jest zamknięty} \\ 0, & \text{w pozostałych przypadkach} \end{cases}$
- EB obserwowane drzewo decyzyjne, przy czym

  $$EB(i) = \begin{cases} (k,j), & \text{gdy warunek (+) jest spełniony,} \\ (-k,0), & \text{w pozostałych przypadkach} \end{cases}$$

  warunek (+): węzeł i drzewa decyzyjnego powstał z węzła i-1 poprzez przyjęcie odcinka k ze zbioru A, przy czym węzeł j ze zbioru V został oznaczony.
- $P(a)$ jest prawdopodobieństwem należącym do gałęzi a drzewa decyzyjnego, t jest aktualnym poziomem drzewa decyzyjnego.

Zastosowany algorytm składa się z trzech kroków.

Krok 1:

Obliczenie $KW(i)$ dla wszystkich i ze zbioru V. $M(u):=n+1$. $M(i):=0$ dla $i \neq u$. $S(k):=0$ dla wszystkich k ze zbioru A. $t:=1$. $EB(1):=(m+1,n+1)$. $P:=0$.

Krok 2:

$t:=t+1$.

W przypadku, gdy nie ma niefunkcjonujących krawędzi, które łączą oznaczony węzeł z nieoznaczonym w grafie G, przejść do kroku 3.

W pozostałych przypadkach: wybrać spośród wszystkich funkcjonujących odcinków, które łączą oznaczony węzeł z innym nieoznaczonym, $k=(i,j)$ o następujących właściwościach: i jest węzłem oznaczonym, j jest węzłem nieoznaczonym, $KW(j)$ ma wartość minimalną.

Oznaczyć $M(j):=i$. Podstawić $EB(t):=(k,j)$.
W przypadku gdy $j \neq v$: powtórzyć krok 2.
W pozostałych przypadkach: obliczyć $P(a)$ oraz $P:=P+P(a)$.
Podstawić $EB(t):=(-EB(t)[1],0)$. Podstawić $M(v):=0$. Podstawić $S(|EB(t)[1]|):=1$.
Powtórzyć krok 2.

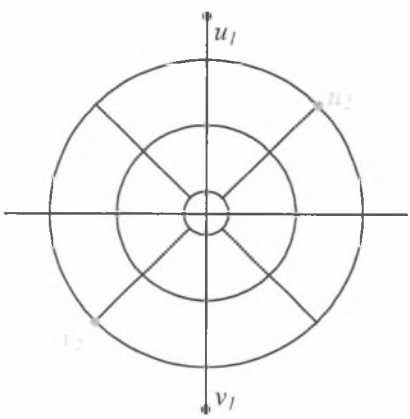
Krok 3:
$t:=t-1$.
Gdy $EB(t)[1]<0$, podstawić $S(|EB(t)[1]|):=0$. Powtórzyć krok 3.
W pozostałych przypadkach:
gdy $EB(t)[1]=m+1$: zakończyć algorytm.
gdy $EB(t)[1]\neq m+1$: podstawić $M(EB(t)[2]):=0$; podstawić $EB(t):=(-EB(t)[1],0)$;
podstawić $S(-EB(t)[1]):=1$; przejść do kroku 2.

Przy zakończeniu algorytmu obliczona wartość P odpowiada poszukiwanemu prawdopodobieństwu niezawodności $P(u,v)$. Można łatwo dowieść, że dla tworzenia P posłużono się składnikami należącymi do zdarzeń niezależnych parami. Każde z tych zdarzeń jest połączone przejezdną drogą z węzła u do v. Dlatego też dzięki temu algorytmowi zostały uwzględnione wszystkie „korzystne" zdarzenia dla przejezdności.

4. WPŁYW RÓŻNYCH CZYNNIKÓW NA NIEZAWODNOŚĆ.

Jako przykład obliczenia niezawodności połączeń zostały wybrane dwie pary punktów leżące na przeciwnych krańcach sieci ulicznej (rys. 2):

- połączenie (u_1,v_1) charakteryzujące przejazd w ruchu tranzytowym, przy czym wloty do miasta leżą na głównych ulicach promienistych,
- połączenie (u_2,v_2) charakteryzujące przejazd w ruchu wewnętrznym pomiędzy dwoma punktami leżącymi na peryferiach miasta.



Rys. 3. Lokalizacja par punktów wybranych do analizy niezawodności
Fig. 3. Location of pair points chosen for reliability analysis

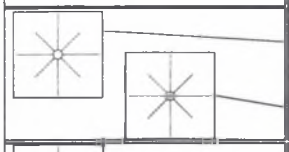
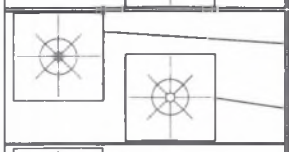
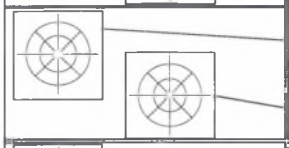
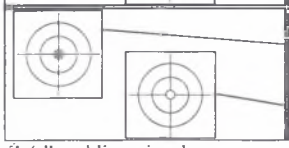
Obliczenia symulacyjne niezawodności wybranych połączeń zostały przeprowadzone dla czterech kombinacji prawdopodobieństw funkcjonowania poszczególnych kategorii odcinków, przy czym odpowiadały one ich parametrom funkcjonalno-technicznym.

Niestety, obliczenie niezawodności wybranych połączeń dla pełnej sieci promienisto-obwodnicowej z trzema obwodnicami i wszystkimi ulicami promienistymi, zarówno z możliwym przejazdem przez centrum miasta, jak i z uspokojeniem ruchu na tym obszarze, z powodu zbytniego rozbudowania modelu numerycznego nie mogło zostać przeprowadzone. Wyniki przeprowadzonych obliczeń symulacyjnych niezawodności rozpatrywanych połączeń zostały przedstawione w tablicy 1.

Na podstawie analizy otrzymanych wyników obliczeń symulacyjnych dla pozostałych ośmiu wariantów sieci promienisto-obwodnicowej i czterech kombinacji niezawodności poszczególnych kategorii odcinków można wysnuć następujące wnioski:

Tablica 1

Zestawienie wyników obliczeń symulacyjnych niezawodności połączeń dla analizowanych wariantów parametrów funkcjonalnych poszczególnych odcinków sieci

Opis odcinka	Wariant 1		Wariant 2		Wariant 3		Wariant 4	
Obwodnica wewn.	0,9		0,9		0,95		0,9	
Obwodnica pośred.	0,9		0,9		0,9		0,95	
Obwodnica zewn.	0,9		0,95		0,98		0,98	
Ul. prom. gł – odc. centr.	0,9		0,9		0,9		0,9	
Ul. prom. gł – odc. śródm.	0,9		0,9		0,95		0,95	
Ul. prom. gł – odc. zewn.	0,9		0,95		0,98		0,98	
Promień pomocniczy	0,9		0,9		0,9		0,9	
Symbol sieci ulicznej	Niezawodność połączenia dla poszczególnych wariantów							
	(u_1,v_1)	(u_2,v_2)	(u_1,v_1)	(u_2,v_2)	(u_1,v_1)	(u_2,v_2)	(u_1,v_1)	(u_2,v_2)
	0,5270	0,6381	0,6542	0,6381	0,8306	0,6514	0,8255	0,6381
	0,4686	0,5785	0,5817	0,5785	0,8038	0,6335	0,7340	0,5785
	0,6544	0,8078	0,8124	0,8078	0,9212	0,8082	0,9221	0,8095
	0,6532	0,8064	0,8109	0,8064	0,9208	0,8078	0,9216	0,8092
	0,8078	0,9971	0,9022	0,9993	0,9604	0,9999	0,9604	0,9999
	0,8064	0,9956	0,9018	0,9990	0,9603	0,9998	0,9604	0,9999
	0,8029	0,9722	0,9015	0,9939	0,9603	0,9991	0,9603	0,9991
	0,8027	0,9720	0,9014	0,9939	0,9603	0,9991	0,9603	0,9991

Źródło: obliczenia własne

- Poprawę niezawodności sieci ulic można w większym stopniu osiągnąć poprzez jej rozbudowę aniżeli poprzez podniesienie parametrów funkcjonalnych (a co za tym idzie także poszczególnych niezawodnościowych) poszczególnych odcinków dzięki ich modernizacji.

- Niezawodność połączenia (u1,v1) jest bardziej wrażliwa na zmiany niezawodności poszczególnych odcinków sieci dla wszystkich rozpatrywanych przypadków sieci ulic niż w przypadku połączenia (u2,v2).
- Istnienie obwodnicy zewnętrznej poprawia niezawodność obydwu rozpatrywanych połączeń.
- Im lepiej rozwinięta jest sieć uliczna, tym mniejszy wpływ na niezawodność połączenia mają parametry poszczególnych odcinków sieci.
- Uspokojenie ruchu w centrum miasta nie wpływa znacząco na pogorszenie niezawodności analizowanych połączeń, gdy sieć posiada minimum dwie obwodnice.
- Modernizacja obwodnicy wewnętrznej nie przyczynia się do poprawy niezawodności rozpatrywanych połączeń (także sieci tylko z obwodnicą wewnętrzną).
- W przypadku układów z dwoma i więcej obwodnicami na niezawodność połączenia w ruchu tranzytowym (u_1,v_1) mają wpływ parametry obwodnic, zwłaszcza tych o charakterze zewnętrznym.
- W przypadku układu tylko z obwodnicą wewnętrzną wpływ na poprawę niezawodności połączeń ma modernizacja ulic promienistych, a nie obwodnicy wewnętrznej.

Należy mieć jednak na uwadze fakt, że powyższe wnioski zostały opracowane na podstawie analizy wyników obliczeń tylko dla ośmiu sieci (brak wyników dla sieci z trzema obwodnicami) i dla czterech kompletów parametrów niezawodnościowych poszczególnych odcinków. W związku z tym jednym z dalszych kierunków badań jest przeanalizowanie innych zestawów danych wejściowych.

5. MODELOWANIE ZALEŻNOŚCI MIĘDZY NIEZAWODNOŚCIĄ A PARAMETRAMI STRUKTURALNYMI

Zależność pomiędzy niezawodnością a przedstawionymi w rozdziale 2 parametrami strukturalnymi została przeprowadzona na podstawie analizy wyników badań dla 8 wariantów sieci ulic i 4 zestawów niezawodności poszczególnych kategorii odcinków. Na tej podstawie otrzymano następujące zależności pomiędzy niezawodnością wybranych połączeń a wskaźnikiem niedorozwoju sieci ulicznej:

- Dla pary punktów (u_1,v_1), które stanowią wloty do miasta i leżą na promienistych ulicach głównych (na rys. 3 - punkty (rezultaty obliczeń symulacyjnych) i linia (model regresyjny) koloru czarnego):

$$ZV = -1{,}58 \cdot Km^2 + 0{,}367 \cdot Km + 0{,}888 \qquad R^2 = 0{,}48 \qquad (6)$$

przy czym: ZV – niezawodność połączenia,
Km – wskaźnik niedorozwoju sieci.

- Dla pary punktów (u_2,v_2) łączącej dwa osiedla peryferyjne miasta (na rys. 3 - punkty (rezultaty obliczeń symulacyjnych) i linia przerywana (model regresyjny) koloru szarego):

$$ZV = -1{,}27 \cdot Km^2 - 0{,}254 \cdot Km + 1{,}06 \qquad R^2 = 0{,}98 \qquad (7)$$

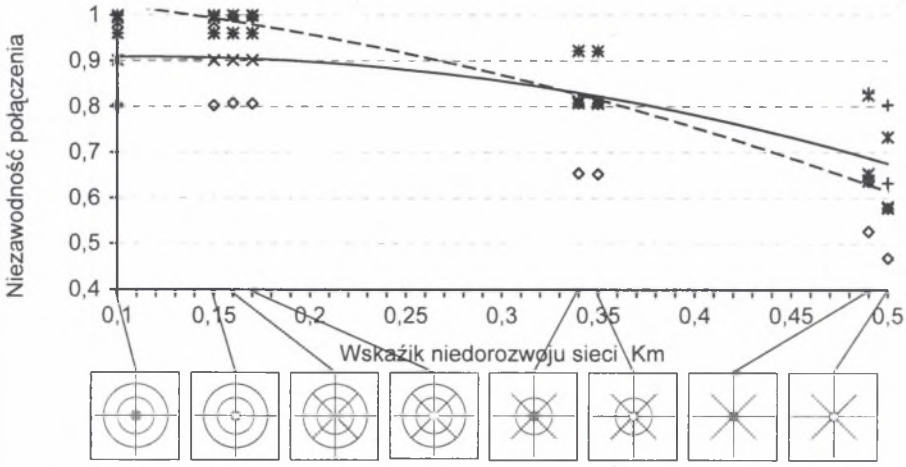
Zastanawiająca jest duża różnica wartości wskaźnika determinacji pomiędzy obydwoma rozpatrywanymi połączeniami.

W przypadku analizy zależności pomiędzy niezawodnością połączenia a przeciętą dyspersją sieci ulicznej otrzymano związki o nieco mniejszym wskaźniku determinacji:

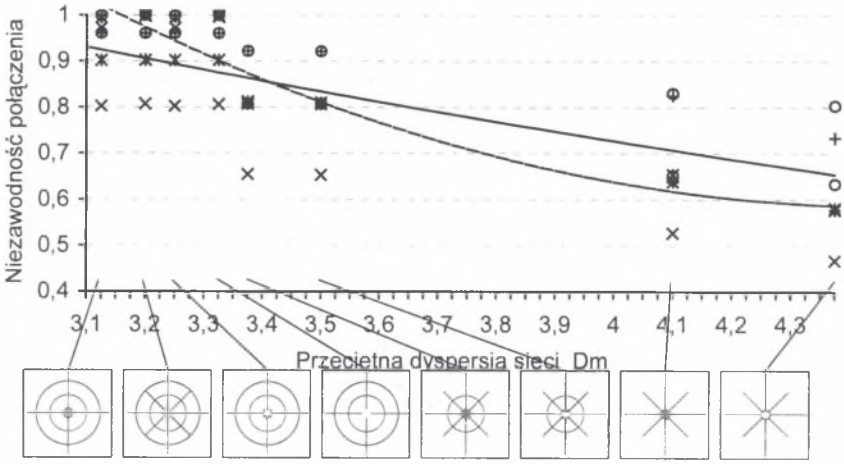
– Dla pary punktów (u_l, v_l), które stanowią wloty do miasta i leżą na promienistych ulicach głównych (na rys. 4 - punkty (rezultaty obliczeń symulacyjnych) i linia (model regresyjny) koloru czarnego):

$$ZV = 0{,}0258\,Dm^2 - 0{,}409\,Dm + 1{,}95 \qquad R^2 = 0{,}48 \qquad (8)$$

gdzie: Dm – przeciętna dyspersja sieci ulicznej.



Rys. 4. Zależność niezawodności sieci ulic od wskaźnika jej niedorozwoju
Fig. 4. Dependence of street network reliability on index of its underdevelopment



Rys. 5. Zależność niezawodności sieci ulic od jej dyspersji przeciętnej
Fig. 5. Dependence of street network reliability on its average dispersion

– Dla pary punktów (u_2, v_2) łączącej dwa osiedla peryferyjne miasta (na rys. 4 - punkty (rezultaty obliczeń symulacyjnych) i linia przerywana (model regresyjny) koloru szarego):

$$ZV = 0{,}243 \cdot Dm^2 - 2{,}17 \cdot Dm + 5.43 \qquad R^2 = 0{,}91 \qquad (9)$$

Jak widać, satysfakcjonujący poziom istotności otrzymano tylko dla połączenia pomiędzy przeciwległymi wlotami zewnętrznymi. Zastanawiający jest fakt znacznie niższych jego wartości w przypadku drugiego rozpatrywanego połączenia. Dlatego jeden z kierunków dalszych badań będzie polegał na analizie niezawodności połączeń dla innych kombinacji parametrów poszczególnych odcinków sieci. Drugim kierunkiem będzie optymalizacja opracowanego algorytmu obliczania niezawodności połączeń, umożliwiająca jej obliczenie dla innych, bardziej rozbudowanych sieci, np. dla pełnej sieci promienisto-obwodnicowej z trzema obwodnicami. Trzecim kierunkiem dalszych badań będzie obliczenie niezawodności dla pozostałych możliwych połączeń.

Literatura

1. Beichelt F., Franken P.: Zuverlässigkeit und Instandhaltung. Mathematische Methoden. Verlag Technik, Berlin 1983.
2. Bell M.G.H., Iida Y.: Transportation Network Analysis. Chichester, Wiley 1997.
3. Dudek M., Rudnicki A., Hempel L.: Zum Zusammenhang zwischen strukturellen und funktionellen Parametern eines Verkehrsnetzes. IKM 2000, Weimar 2000.
4. Hempel L., Dudek M.: Zur Bewertung der Struktur von Verkehrsnetzen. IKM 1997, Weimar 1997.

Abstract

The relationship between several structural parameters and the reliability of transportation networks is investigated. For this purpose, the real street network is modelled by a weighted graph, where each edge is associated with the corresponding probability of availability. The network reliability is an important quantity for the evaluation of street networks. By regression analysis methods, the relationship between structural parameters (such as the dispersion and index of underdevelopment) and the reliability is investigated. From the large number of variety of possible network structures the so-called ring-radial-structure seems to be suitable to describe real road networks. For the calculation of the reliability an algorithm, which is based on complete enumeration of all combinations of situations of availability and unavailability of the edges is used. The algorithm was modified with respect to the reduction of the required computational expense. By means of different ring-radial-structures the relation between the mentioned structural parameters and the reliability is specified. Therefore, with the help of these structural parameters (which are available by a comparatively small amount of computing time and input data) conclusions with respect to the reliability can be drawn.