ZESZYTY NAUKOWE POLITECHNIKI ŚLĄSKIEJ 2007
Seria: TRANSPORT z. 61 Nr kol. 1704

Renata ŻOCHOWSKA

MODEL SIECI DLA OCENY JAKOŚCI KOMUNIKACJI MIEJSKIEJ

Streszczenie. W artykule omówiono model matematyczny opisujący funkcjonowanie sieci miejskiej komunikacji zbiorowej. Model ten można również wykorzystać do oceny jakości tej komunikacji, stosując różnego rodzaju mierniki. Analizy jakościowe są częścią bardziej złożonych zagadnień związanych koherentnie z szeroką charakterystyką przewozów pasażerskich w wybranym rejonie. Dla usprawnienia obliczeń zbudowano relacyjną bazę danych oraz odpowiednie narzędzia informatyczne, które uporządkują wyniki pomiarów prowadzonych w tym zakresie.

MODEL OF NETWORK FOR ESTIMATION OF QUALITY IN URBAN PUBLIC TRANSPORT

Summary. The mathematical model of urban public transport network is a subject of the article. The model may be also applied to the transport quality estimation by means of various measures. The quality analysis is a part of more complex problems concerning broad characteristic of public transport in selected region. The relational database has been built to improve the calculations. The proper computer application should order the results of measurements in this field.

1. WPROWADZENIE

Badania i analizy prowadzone w zakresie komunikacji miejskiej wymagają budowy odpowiednich modeli sieci związanych z liniami komunikacyjnymi. Każdą z nich można rozłożyć na pewne elementy składowe, którymi są przystanki oraz odcinki międzyprzystankowe. Właściwości tych elementów wpływają na ocenę jakości funkcjonowania komunikacji zbiorowej. Stąd istotnym problemem staje się właściwe opracowanie modeli sieci dla prowadzenia analiz na bardzo szczegółowym poziomie agregacji.

2. MODEL SIECI KOMUNIKACJI ZBIOROWEJ

Budowa modelu sieci w znacznym stopniu uzależniona jest od jego przeznaczenia oraz od poziomu szczegółowości prowadzonych analiz. Do opisu poszczególnych jego elementów można wykorzystać teorię grafów [1, 2].

Ze względu na złożoność czynników, które należy brać pod uwagę przy budowie modelu sieci komunikacji zbiorowej, niezbędne jest powiązanie ze sobą dwóch elementów [3]:

- sieci w sensie technicznym, rozumianej jako stosowany (lub planowany) układ drogowy (lub torowy),
- sieci w sensie funkcjonalnym, określonej przebiegiem linii i lokalizacją przystanków.

Wynikową sieć wybranego środka komunikacji zbiorowej uzyskuje się przez nałożenie elementów sieci funkcjonalnej na odpowiednie układy: drogowy lub torowy.

Sieć w sensie technicznym powstaje na bazie wybranego układu drogowego (torowego). Przy wyborze elementów danego modelu można wziąć pod uwagę pełny układ drogowy (torowy) w analizowanym obszarze lub ograniczyć się jedynie do podsieci utworzonej z tych węzłów i odcinków, przez które przechodzą poszczególne linie komunikacyjne. W zależności od przeznaczenia modelu sieci i od przewidywanych jego zastosowań należy określić stopień jego szczegółowości. W związku z tym trzeba sprecyzować interpretację poszczególnych węzłów i odcinków. Węzłami mogą być np. miejscowości, rejony komunikacyjne, skrzyżowania, wloty i wyloty skrzyżowań itp.

Wykorzystując teorię grafów, układ drogowy (torowy) linii komunikacyjnych w danym obszarze można zapisać jako:

$$G_T = (N_T, L_T), \tag{1}$$

gdzie:

G_T - graf opisujący strukturę sieci w sensie technicznym,

N_T - zbiór węzłów charakteryzujących układ drogowy (torowy) badanego obszaru,

L_T - zbiór odcinków charakteryzujących układ drogowy (torowy) badanego obszaru.

Wykorzystując ten opis, sieć komunikacji zbiorowej w sensie technicznym można opisać jako:

$$S_T = (G_T, \{f_T^i\}, \{h_T^j\}), \tag{2}$$

gdzie:

f_T^i - zbiór charakterystyk technicznych węzłów sieci S_T,

h_T^j - zbiór charakterystyk technicznych odcinków sieci S_T.

Sieć w sensie funkcjonalnym opisuje elementy składowe linii komunikacyjnych. Węzłami są przystanki komunikacji zbiorowej, natomiast odcinkami – bezpośrednie połączenia pomiędzy nimi, z których korzystają poszczególne linie. Jeżeli przez D oznaczony zostanie zbiór wszystkich linii komunikacyjnych w analizowanym obszarze, to graf opisujący strukturę linii można opisać jako:

$$G_F^d = (N_F^d, L_F^d), \tag{3}$$

gdzie:

G_F^d - graf opisujący strukturę linii $d \in D$,

N_F^d - zbiór węzłów odpowiadających przystankom linii $d \in D$,

L_F^d - zbiór odcinków między sąsiednimi przystankami (międzyprzystankowych) linii $d \in D$.

Tworząc sumę mnogościową grafów można uzyskać graf opisujący strukturę szukanej sieci funkcjonalnej:

$$G_F = \bigcup_{d \in D} G_F^d \tag{4}$$

$$G_F = \left(N_F = \bigcup_{d \in D} N_F^d, L_F = \bigcup_{d \in D} L_F^d \right), \tag{5}$$

gdzie:

G_T - graf opisujący strukturę sieci funkcjonalnej w badanym obszarze,

N_F - zbiór węzłów odpowiadający przystankom wszystkich linii komunikacyjnych w badanym obszarze,

L_F - zbiór odcinków międzyprzystankowych wszystkich linii komunikacyjnych w badanym obszarze.

Wykorzystując ten opis, sieć komunikacji zbiorowej w sensie funkcjonalnym można opisać jako:

$$S_F = \left(G_F, \{f_F^i\}, \{h_F^j\}\right), \tag{6}$$

gdzie:

f_F^i - zbiór charakterystyk funkcjonalnych węzłów sieci S_F,

h_F^j - zbiór charakterystyk funkcjonalnych odcinków sieci S_F.

Budując **właściwą sieć komunikacji miejskiej**, którą można będzie wykorzystać do dalszych badań, należy skompilować (według odpowiednich zasad) sieć funkcjonalną z siecią techniczną. Ponieważ w pracy ograniczono się wyłącznie do analizy sieci autobusowej, również model został zbudowany z uwzględnieniem specyfiki tego środka transportu.

W grafie opisującym strukturę sieci autobusowej G_A przyjęto, że węzłami sieci są zarówno węzły sieci technicznej N_T, jak i funkcjonalnej N_F:

$$N_A = N_T \cup N_F \tag{7}$$

Aby utworzyć zbiór odcinków sieci autobusowej L_A, wprowadzono następujące oznaczenia:

- dla sieci technicznej:
  - poszczególne węzły jako $n_i^T \in N_T$,
  - poszczególne odcinki jako $l_i^T = \left(n_{i_1}^T, n_{i_2}^T\right)$, gdzie $l_i^T \in L_T$,
- dla sieci funkcjonalnej:
  - kolejne węzły (przystanki) na linii jako $n_i^F \in N_F$,
  - kolejne odcinki międzyprzystankowe jako $l_i^F = \left(n_i^F, n_{i+1}^F\right)$, gdzie $l_i^F \in L_F$.

Dodatkowo przyjmując założenie, że każdy przystanek zlokalizowany jest na pewnym odcinku międzywęzłowym (nie na skrzyżowaniu) w dowolnej odległości od węzła, można określić przyporządkowanie $f_0 : N_F \to L_T$. Opisuje ono lokalizację przystanków n_i^F w stosunku do elementów sieci drogowej l_j^F. Funkcja f_0 przyjmuje następujące wartości:

- $f_0\left(n_i^F, l_j^T\right) = 0$ - jeżeli węzeł (przystanek) n_i^F nie leży na odcinku $l_j^T \in L_T$,
- $f_0\left(n_i^F, l_j^T\right) = 1$ - jeżeli węzeł (przystanek) n_i^F leży na odcinku $l_j^T \in L_T$.

Zbiór odcinków sieci autobusowej L_A utworzono według następujących reguł:

1) $\exists_{l_j^T \in L} \ \forall_{n_i^F \in N_F} \ f_0(n_i^F, l_j^T) = 0 \Rightarrow l_j^T \in L_A$ - co oznacza, że do zbioru odcinków L_A zalicza się wszystkie te odcinki sieci drogowej l_j^T, na których nie ma ani jednego przystanku,

2) $\exists_{\substack{n_i^F \in N_F \\ n_{i+1}^F \in N_F \\ l_j^T \in L_T}} \left(f_0(n_i^F, l_j^T) = 1 \ \wedge \ f_0(n_{i+1}^F, l_j^T) = 1\right) \Rightarrow l_i^F \in L_A$ - co oznacza, że do zbioru odcinków L_A zalicza się wszystkie odcinki sieci funkcjonalnej l_i^F, które łączą sąsiednie przystanki na tym samy odcinku drogi l_j^T,

3) $\exists_{\substack{n_{i-1}^F \in N_F \\ n_i^F \in N_F \\ l_j^T \in L_T}} \left(f_0(n_{i-1}^F, l_j^T) = 0 \ \wedge \ f_0(n_i^F, l_j^T) = 1\right) \Rightarrow (n_{j_1}^T, n_i^F) \in L_A$ - co oznacza, że do zbioru odcinków L_A zalicza się odcinki łączące węzeł początkowy $n_{j_1}^T$ odcinka l_j^T sieci drogowej oraz pierwszy przystanek n_i^F na tym odcinku,

4) $\exists_{\substack{n_i^F \in N_F \\ n_{i+1}^F \in N_F \\ l_j^T \in L_T}} \left(f_0(n_i^F, l_j^T) = 1 \ \wedge \ f_0(n_{i+1}^F, l_j^T) = 0\right) \Rightarrow (n_i^F, n_{j_2}^T) \in L_A$ - co oznacza, że do zbioru odcinków L_A zalicza się odcinki łączące ostatni przystanek n_i^F na odcinku l_j^T sieci drogowej oraz węzeł końcowy $n_{j_1}^T$ tego odcinka.

Po zbudowaniu struktury grafu $G_A = (N_A, L_A)$ należy na jego elementach składowych opisać funkcje charakteryzujące oba rodzaje węzłów oraz połączenia między nimi otrzymując sieć autobusową jako:

$$S_A = (G_A, \{f_A^i\}, \{h_A^j\}), \tag{8}$$

gdzie:

f_A^i - zbiór charakterystyk węzłów sieci S_A,

h_A^j - zbiór charakterystyk odcinków sieci S_A.

Funkcje f_A^i oraz h_A^j w znacznym stopniu mogą pochodzić z naturalnego rozszerzenia charakterystyk występujących w sieciach S_T i S_F na zbiory N_A oraz L_A, a także dodatkowo być tworzone na potrzeby analiz funkcjonowania komunikacji autobusowej.

3. INFORMATYCZNE NARZĘDZIA WSPOMAGAJĄCE GROMADZENIE DANYCH

W celu usprawnienia obliczeń zbudowano relacyjną bazę danych, umożliwiającą wprowadzenie wartości wejściowych niezbędnych do opisania zagadnienia i wyznaczenia potrzebnych parametrów oceny jakości funkcjonowania komunikacji miejskiej. Bazę zbudowano przy wykorzystaniu środowiska Delphi - narzędzia programowania typu RAD (Rapid Application Development) firmy Borland/Inprise Inc, umożliwiającego szybkie

tworzenie aplikacji [4, 5, 6, 7, 8]. Dodatkowo wbudowany strukturalny język zapytań SQL (Structured Query Language) umożliwia proste wyprowadzanie żądanych informacji z bazy danych [9, 10].

Baza danych została zaprojektowana w formacie Dbase IV [11], gdzie dane mogą być gromadzone w postaci plików o strukturze tablicowej. Baza ta może być wykorzystywana do budowy modeli matematycznych węzłów transportowych, niezbędnych do wyznaczenia przepustowości i globalnych opóźnień w sieci drogowej.

Parametry geometryczno-ruchowe węzłów i odcinków sieci drogowej odpowiadające charakterystykom $\{f_T^i\}$ oraz $\{h_T^j\}$, zamieszczono w tablicy 1.

Tablica 1

Parametry geometryczno-ruchowe odcinków i węzłów

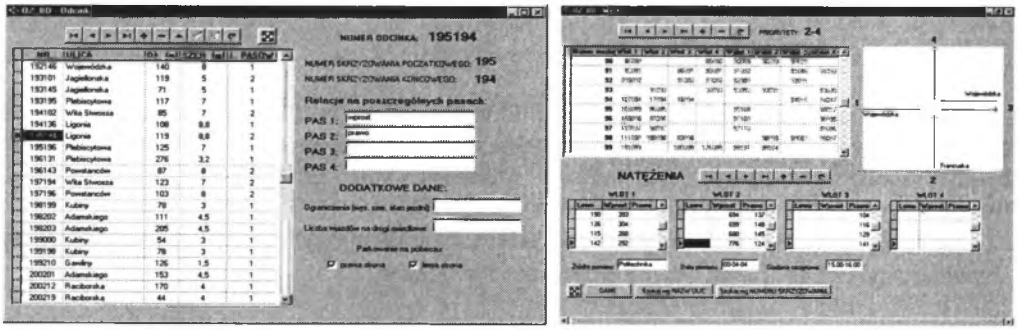
ODCINKI	WĘZŁY
- numer odcinka, - nazwa ulicy, - długość i szerokość odcinka, - liczba pasów, - relacje na poszczególnych pasach, - parkowanie po lewej i prawej stronie pobocza, - ograniczenia typu: wysokość, prędkość, szerokość, stan jezdni itd., - liczba wjazdów na drogi osiedlowe nieujętych w sieci, - numer skrzyżowań: początkowego i końcowego, - pochylenie, - widoczność, - liczba autobusów zatrzymujących się w czasie godziny szczytowej, - aktywność parkowania, - wielkość powierzchni akumulacji dla skrętu w lewo, - liczba pojazdów korzystających z zielonej strzałki przy skręcie w prawo, - typ dopływu do końcowego skrzyżowania.	- numer skrzyżowania, - numery wlotów i wylotów, - priorytety, - znaki podporządkowania na wlotach, - kanalizacja na skrzyżowaniu, - wielkość ruchu pieszych na wlotach, - kierunek główny na skrzyżowaniu, - współczynnik wahań w godzinie szczytu, - lokalizacja skrzyżowania, - zainstalowanie sygnalizacji świetlnej.

Źródło: opracowanie własne.

Opracowana aplikacja składa się z trzech podstawowych formularzy zawierających:

- charakterystyki techniczne odcinków sieci drogowej,
- charakterystyki techniczne węzłów sieci drogowej,
- mapę będącą wizualizacją charakterystyk technicznych.

Widoki formularzy przedstawiono na rys. 1.



Rys. 1. Widoki formularzy charakteryzujących odcinki i węzły sieci drogowej
Fig. 1. The screens of forms describing links and nodes of the road network

Tablica nadrzędna, określająca numery wlotów i wylotów, tworzy relację z polem określającym numer węzła w tablicy, zawierającej dane dotyczące natężeń dla tego węzła. Wyszukiwania odpowiedniego skrzyżowania można dokonać dwoma sposobami:

- według numeru skrzyżowania,
- według nazw krzyżujących się ulic.

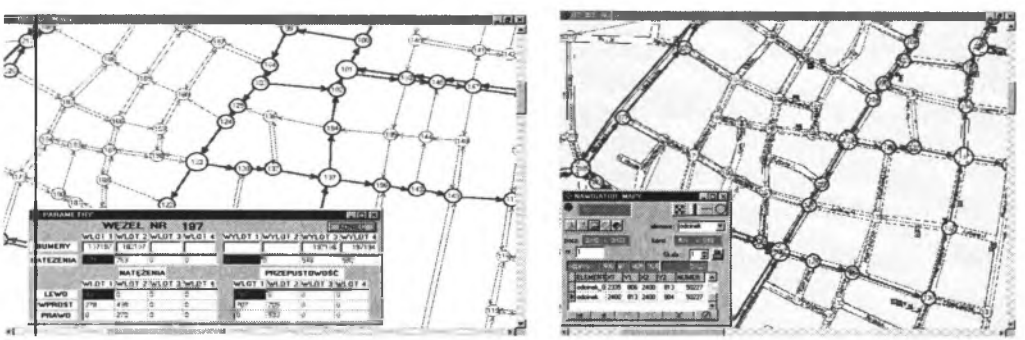
Na formularzu głównym dodatkowo umieszczono prosty schemat o charakterze orientacyjnym, przedstawiający rzeczywisty geograficzny układ skrzyżowania. Wybór opcji „DANE" umożliwia przejście do formularza zawierającego dodatkowe informacje, dotyczące priorytetowych relacji, kanalizacji skrzyżowania, znaków na wlotach, natężenia ruchu pieszego oraz relacji na poszczególnych pasach. Dane te są niezbędne do wyznaczenia parametrów przepustowościowych.

Aplikację wzbogacono o dodatkowy formularz, który w sposób schematyczny odwzorowuje związki sieciowe [12]. Sprzężona z nim tablica zawiera elementy graficzne służące do wyświetlania mapy wektorowej na ekranie monitora. Odpowiednie skonfigurowanie umożliwia pracę w dwóch trybach: rysowania elementów mapy oraz wyświetlania potrzebnych parametrów.

Dodatkowy formularz, pełniący rolę nawigatora mapy, umożliwia m.in.:

- załadowanie mapy bitowej ułatwiającej zachowanie rzeczywistych odległości pomiędzy rysowanymi elementami,
- wyświetlanie aktualnych współrzędnych,
- przełączanie trybów.

Widoki formularza przedstawiającego związki sieciowe w trybie wyświetlania danych oraz z podkładem w postaci planu miasta przedstawiono na rys. 2.



Rys. 2. Widoki formularzy w trybie wyświetlania danych oraz z planem miasta
Fig. 2. The screens of forms in data displaying mode and with street map

W celu zgromadzenia informacji i danych o liniach autobusowych na wybranym obszarze zbudowano dodatkową bazę zawierającą elementy niezbędne do wyznaczenia wskaźników jakości. Zestaw parametrów funkcjonalnych poszczególnych węzłów (przystanków) odpowiadający charakterystykom $\{f_F^i\}$, to m.in.:

- nazwa przystanku,
- numery linii korzystających z tego przystanku,
- wyposażenie przystanku typu: ławka, wiata, zatoka autobusowa, kosz na śmieci itp.,
- położenie przystanku.

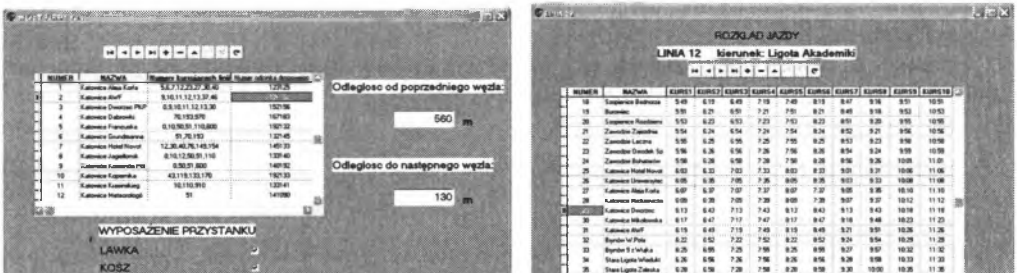
Lokalizacja przystanku odpowiada jego położeniu w sieci technicznej, które opisuje numer odcinka sieci drogowej, na którym leży przystanek oraz odległościom od węzłów technicznych poprzedniego i następnego (z uwzględnieniem kierunku trasy).

Przy opisie charakterystyk funkcjonalnych odcinków $\{h_F^j\}$ należy uwzględnić również jego długość, która przy założeniu pewnej średniej prędkości jest niezbędna do wyznaczenia czasu podróży.

Aby w pełni scharakteryzować sieć w sensie funkcjonalnym, należy oddzielnie opisać właściwości każdej z linii autobusowych kursujących w badanym obszarze z uwzględnieniem jej kierunku. Podstawowe elementy niezbędne do analiz jakości funkcjonowania komunikacji zbiorowej to:

- trasa linii zawierająca szczegółowy wykaz wszystkich przystanków,
- rozkład jazdy opisany przez czasy odjazdów z kolejnych przystanków na trasie dla poszczególnych kursów w dobie.

W opracowanej aplikacji zamieszczono najważniejsze elementy sieci funkcjonalnej, które można dalej wykorzystać w różnego rodzaju analizach. Na rys. 3 przedstawiono formularze, na których zawarto charakterystyki funkcjonalne poszczególnych przystanków oraz rozkład jazdy dla przykładowej linii autobusowej badanego obszaru.



Rys. 3. Widoki formularzy przedstawiających charakterystyki funkcjonalne przystanków i linii komunikacyjnych

Fig. 3. The screens of forms displaying the functional characteristic of bus stops and public transport lines

Połączenie obu rodzajów sieci (technicznej i funkcjonalnej) jest niezbędne do dokładnych analiz jakości komunikacji zbiorowej, szczególnie pod względem punktualności oraz czasu jazdy, gdzie należy brać pod uwagę zarówno czas tracony na przystanku, jak i czas oczekiwania na skrzyżowaniach, zlokalizowanych wzdłuż analizowanej trasy, a także straty czasu wynikające ze zmian prędkości na poszczególnych jej odcinkach składowych.

4. MOŻLIWOŚCI WYKORZYSTANIA OPRACOWANEGO MODELU SIECI KOMUNIKACJI ZBIOROWEJ

Przez jakość usług przewozowych zwykle rozumie się zespół cech opisujących usługi przewozowe, z punktu widzenia przewozów, przewoźnika i pasażerów, decydujących o stopniu zaspokojenia stwierdzonych potrzeb klientów miejskiego transportu zbiorowego w zakresie realizacji ich podróży [13].

Ocena jakości funkcjonowania miejskiej komunikacji zbiorowej jest złożonym procesem wartościowania, opartym na wielu kryteriach. Do kontroli jakości usług przewozowych najczęściej wykorzystuje się kryteria: punktualności, regularności, komfortu oraz niezawodności.

Punktualność traktowana jako zgodność (w ramach określonej tolerancji) rzeczywistego kursowania pojazdów komunikacji zbiorowej z rozkładem jazdy [14], powinna być rozpatrywana z punktu widzenia dwóch podmiotów: przewoźnika oraz pasażera. Dla przewoźnika oznacza ona dotrzymanie deklaracji świadczenia usług w określonej przestrzeni i w określonym czasie, natomiast dla pasażera uzasadnia sens planowania podróży na podstawie rozkładu jazdy i jest miernikiem zaufania do przewoźnika.

Z punktualnością wiążą się pojęcia [14]:

- odchyłka – różnica między przewidzianym w rozkładzie jazdy czasem odjazdu a rzeczywistym czasem odjazdu,
- tolerancja – przedział, w którym występujące czasy odjazdu są uznawane za punktualne, pomimo że mogą być opóźnione nie więcej niż t_{min} i przyspieszone nie więcej niż t_{max}.

W związku z tym można wyróżnić m.in. następujące mierniki punktualności:
- procent kursów punktualnych,
- uciążliwość niepunktualności,
- stopień punktualności.

Procent kursów punktualnych (P) to udział kursów mieszczących się w granicach tolerancji (miara jakości realizacji rozkładu jazdy) [14]:

$$P = \frac{L_p}{L_o - L_u} 100\%, \tag{9}$$

gdzie:
L_o - liczba kursów (odjazdów, przyjazdów lub przejazdów) obserwowanych (przewidzianych w rozkładzie jazdy),
L_p - liczba kursów prawidłowych (o odchyłkach mieszczących się w zadanej tolerancji),
L_u - liczba kursów, w których stwierdzone nieprawidłowości były usprawiedliwione (nie zawinione przez przewoźnika).

Skutki niepunktualności oznaczają przede wszystkim wydłużenie czasu oczekiwania, wynikające z opóźnienia pojazdu oraz zmniejszenie liczby przewożonych pasażerów i straty czasu, będące efektem wcześniejszego przyjazdu. Wskaźnikiem wyrażającym nadmierne średnie straty czasu oczekiwania pasażerów z powodu odchyłek od rozkładu jazdy jest **uciążliwość niepunktualności** (U) wyznaczana z empirycznej zależności [14]:

$$u_i = \begin{cases} -1{,}3 \cdot d_i - 1{,}6 & dla \quad d_i \le -2 \\ -0{,}5 \cdot d_i & dla \quad -2 < d_i \le 0 \\ 0{,}162 \cdot h \cdot d_i & dla \quad 0 < d_i \le 6 \\ 0{,}97 \cdot h & dla \quad d_i > 6 \ i \ kursu \ niewykonanego \end{cases} \tag{10}$$

gdzie:
u_i - wartość miernika dla pojedynczej obserwacji,
d_i - odchyłka od rozkładu jazdy, w minutach,
h - średni interwał między pojazdami, w minutach.

Dla zbioru odchyłek wyznacza się U jako wartość średnią wszystkich u_i.

Ponieważ odczuwanie punktualności ma charakter intuicyjny i granice pomiędzy odjazdem punktualnym a już uznanym za niepunktualny nie są ostre, do oceny punktualności często stosuje się miernik określany jako **stopień punktualności** (Q) – wyznaczony w zbiorze rozmytym odczuć pasażera o „punktualnych odjazdach", będący funkcją przynależności do tego zbioru. Opierając się na granicach zbioru rozmytego oś czasu podzielono na 5 przedziałów:

$$(-\infty, d_1), (d_1, d_2), (d_2, 1), (1, 2), (2, +\infty).$$

W zależności od wielkości odchyłki wartość miernika dla pojedynczej obserwacji oblicza się następująco [14]:

$$q_i = \begin{cases} 0 & dla \quad d_i < d_1 \text{ lub } d_i > 2 \\ \dfrac{d_i - d_1}{d_2 - d_1} & dla \quad d_1 \le d_i < d_2 \\ 1 & dla \quad d_2 \le d_i \le 1 \\ 2 - d_i & dla \quad 1 < d_i \le 2 \end{cases} \tag{11}$$

gdzie:

$$d_1 = -\frac{2 \cdot h + 150}{45} \qquad d_2 = -\frac{h + 75}{45}$$

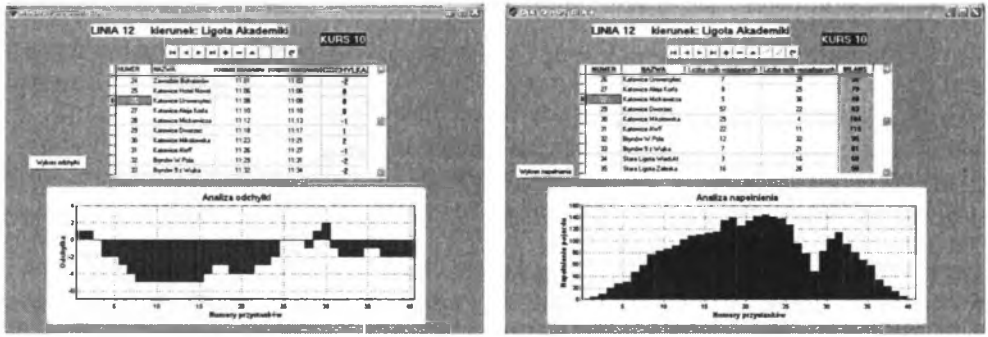
Dla zbioru odchyłek wyznacza się Q jako wartość średnią wszystkich q_i. Im większa wartość miernika Q, tym lepsza jest punktualność.

Opracowany model matematyczny sieci oraz narzędzia informatyczne umożliwiają analizę punktualności, czasu jazdy oraz analizy napełnienia.

Do przyjętego modelu można wprowadzać m.in. następujące funkcje charakterystyczne, uzyskane z pomiarów:

- liczba pasażerów wsiadających i wysiadających na poszczególnych przystankach,
- czas postoju na przystanku,
- rzeczywisty czas odjazdu z przystanku (analiza punktualności).

Na rys. 4 przedstawiono formularze służące do analizy punktualności na podstawie obliczonych odchyłek na poszczególnych przystankach autobusowych oraz napełnienia na kolejnych odcinkach międzyprzystankowych dla przykładowej linii komunikacyjnej.



Rys. 4. Widoki formularzy umożliwiających analizę punktualności oraz napełnienia
Fig. 4. The screens of forms that punctuality and filling analysis makes possible

Ocena istniejącego systemu komunikacji zbiorowej jest podstawową informacją niezbędną przy podejmowaniu racjonalnych decyzji związanych z jego bieżącym usprawnianiem oraz dalszym rozwojem.

5. PODSUMOWANIE

Poprawa jakości usług przewozowych przynosi korzyści zarówno o charakterze wewnętrznym (dotyczącym pasażera i przewoźnika), jak i zewnętrznym (dotyczącym podmiotów, które nie są użytkownikami transportu zbiorowego w regionie) [15]. Korzyści wewnętrzne polegają na uzyskaniu lepszych parametrów obsługi pasażerskiej oraz efektów zarządzania transportem zbiorowym, co w efekcie sprzyja większemu zadowoleniu pasażera. Korzyści zewnętrzne to głównie korzyści wynikające z przesunięcia podróży z samochodu na transport publiczny, skutkuje to zmniejszeniem kosztów związanych z zatorami w ruchu drogowym i środowiskowymi kosztami użytkowania samochodu.

Każde działanie zmierzające w kierunku poprawy jakości przewozowej powinno być poprzedzone gruntowną analizą różnych aspektów oraz mierników określających, w sposób szczegółowy, czynniki wpływające na jakość. Skutecznym narzędziem wspomagającym proces decyzyjny jest opracowany model sieci oraz aplikacja komputerowa.

Baza danych została uzupełniona wynikami pomiarów prowadzonych przez Katedrą Inżynierii Ruchu Politechniki Śląskiej. Dotychczas ograniczono się do analizy linii autobusowych. W przyszłości planuje się rozszerzenie zagadnień o większą liczbę wskaźników jakościowych oraz włączenie do badań innych środków komunikacji (tramwajowa, kolejowa, mikrobusowa).

Literatura

1. Ford L.R., Fulkerson D.R.: Przepływy w sieciach. PWN, Warszawa 1969.
2. Korzan B.: Elementy teorii grafów i sieci. Metody i zastosowania. WNT, Warszawa 1978.
3. Komar Z., Wolek Cz.: Inżynieria ruchu drogowego–wybrane zagadnienia. Wydawnictwo Politechniki Wrocławskiej, Wrocław 1994.

4. Jakubowski A.: Delphi 4. Tworzenie systemów baz danych – księga eksperta. Helion, Gliwice 1999.
5. Teixeira S., Pacheco X.: Delhi 4 – vademecum profesjonalisty. Helion, Gliwice 1999.
6. Taylor D.: Programowanie w Delhi. Mikom, Warszawa 1997.
7. Struzińska-Walczak A., Walczak K.: DELPHI. Nauka programowania systemów baz danych. Wydawnictwo W&W, Warszawa 1999.
8. Pamuła T.: Aplikacje w Delhi. Przykłady. Helion, Gliwice 2003.
9. Szeliga M.: ABC języka SQL. Helion, Gliwice 2002.
10. Van der Lans R.F.: An SQL quide for dBase IV. Reading, MA 1991.
11. Steele P., Heydt R.: Professional dBase IV 1.1 and SQL programming. John Wiley and Sons, Inc, New York 1990.
12. Żochowska R., Karoń G.: Informatyczne narzędzia wspomagania planowania zamknięć w sieciach transportowych – wizualizacja bazy danych. Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej, s. Transport, z. 42, Gliwice 2001.
13. Starowicz W.: Kształtowanie jakości usług przewozowych w miejskim transporcie zbiorowym. Wydawnictwo Naukowe Uniwersytetu Szczecińskiego, Szczecin 2001.
14. Rudnicki A.: Jakość komunikacji miejskiej. Zeszyty Naukowo-Techniczne Oddziału SITK w Krakowie, Monografie nr 5, Kraków 1999.
15. Starowicz W.: Problemy jakości przewozów w transporcie publicznym. Materiały konferencyjne II Konferencji Naukowo-Techniczne nt. „Systemy Transportowe. Teoria i praktyka". Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej. s. Transport, z. 52, Gliwice 2004.

Recenzent: Dr hab. inż. Romuald Szopa
Prof. Politechniki Częstochowskiej

Praca wykonana w ramach badań BW-493/RT5/2007