

Agnieszka LEŚNICKA<sup>1</sup>

## PROBLEMY PRZEPUSTOWOŚCI WĘZŁÓW AUTOSTRADOWYCH ZLOKALIZOWANYCH NA TERENACH MIEJSKICH

**Streszczenie.** W artykule przedstawiony został problem zapewnienia dostatecznej przepustowości węzłów autostradowych zlokalizowanych na terenach miejskich oraz wyniki badań warunków ruchu przeprowadzonych na węźle autostradowym Al. Górnośląska - Murckowska w Katowicach.

### MOTORWAY JUNCTIONS CAPACITY PROBLEMS LOCATED IN URBAN AREAS

**Summary.** In the article there has been introduced problem with adequate motorway junctions capacity assurance in urban areas as well as the results of traffic conditions monitored on Al. Górnośląska – Murckowska junction in Katowice.

#### 1. WSTĘP

Problem zapewnienia dostatecznej przepustowości węzłów autostradowych znajdujących się na terenach miejskich jest problemem nietypowym i szczególnym. Niestety, problem taki występuje między innymi w przypadku węzła Aleja Górnośląska – Murckowska zlokalizowanego niedaleko od centrum Katowic na autostradzie A-4. Najślabszym (ograniczającym) elementem tego węzła są wjazdy i zjazdy. Niedostateczna przepustowość tych elementów węzła powoduje powstawanie długich kolejek oczekujących pojazdów, a przez to utrudnienia w ruchu miejskim w Katowicach oraz na autostradzie A-4.

#### 2. ANALIZA PRZEPUSTOWOŚCI WĘZŁÓW AUTOSTRADOWYCH

Przepustowość węzła autostradowego jest sumą natężeń ruchu zaobserwowanych na poszczególnych relacjach, gdy natężenie ruchu na jednym z elementów węzła jest równe przepustowości [1]. W tym rozumieniu przepustowość nie oznacza maksymalnej liczby pojazdów, które mogą poruszać się po węźle, gdyż po uzyskaniu stanu przepustowości na danym elemencie węzła natężenia ruchu na innych elementach mogą wzrastać. W zależności od typu i kształtu węzła jego krytycznymi elementami podlegającymi analizie przepustowości i ocenie warunków ruchu są:

<sup>1</sup> Wydział Transportu, Politechnika Śląska, ul. Krasińskiego 8, 40-019 Katowice, tel/fax (+48 32) 6034000, lesnicka@polsl.katowice.pl

- wjazdy i zjazdy oraz drogi łącznikowe,
- obszary przeplatania.

Dokładność analizy oraz lokalizacja sprawdzanych na węźle punktów i odcinków zależą od wybranej do analizy metody oceny warunków ruchu. Najbardziej rozbudowaną pod tym względem jest zalecana do stosowania w Polsce metoda HCM-94. Metoda ta została opisana w wydanej w 1995 r. przez GDDP instrukcji: „Instrukcja obliczania przepustowości dróg I i II klasy technicznej (Autostrada i drogi ekspresowe)”. Instrukcja ta obejmuje wiele różnych typów analiz przepustowościowych dla dróg istniejących i projektowanych. Została dostosowana do stosowanych w Polsce wartości prędkości projektowych oraz jednostek metrycznych, uwzględniono w niej również zmiany, jakie w latach 1992 – 94 wprowadzono do metody HCM – 85.

### 2.1. Czynniki wpływające na przepustowość węzła autostradowego

Główne zadanie wjazdu to połączenie dwóch potoków ruchu przy zachowaniu możliwie dużej prędkości jazdy pojazdów przy minimalnych zakłóceniach. Pojazdy, które wjeżdżają na drogę główną lub drogę zbiorczo-rozdzielczą, wykorzystują odstępy między pojazdami w potoku głównym, a jednocześnie swoją obecnością powodują zmianę proporcji obciążenia pasów głównych. Jest wiele czynników, głównie geometrycznych i ruchowych, wpływających na zachowania kierowców na wjazdach, a tym samym na rozkłady akceptowanych odstępów między pojazdami, prędkości łączących się potoków oraz przepustowość obszaru wjazdu. Do najistotniejszych czynników mających wpływ na przepustowość wjazdu należą: typ wjazdu, typ łącznicy, liczba pasów ruchu na autostradzie i drodze zbiorczo-rozdzielczej, położenie względem siebie sąsiednich wjazdów i zjazdów oraz natężenie ruchu na jezdni głównej, natężenie ruchu na analizowanej łącznicy, jak i na sąsiednich łącznicach oraz udział pojazdów ciężkich w ruchu.

Ruch pojazdów zjeżdżających z drogi głównej uznaje się za niezależny od ruchu pozostałych pojazdów poruszających się po pasach przelotowych. Z punktu widzenia przepustowości krytycznym miejscem obszaru zjazdu jest przekrój na początku pasa wyłączania, a głównymi czynnikami wpływającymi na jakość ruchu są: typ zjazdu (liczba pasów ruchu przed i za zjazdem), typ i długość pasa wyłączania, typ łącznicy.

Droga łącznikowa rzadko może stanowić krytyczny element węzła, chociaż w niektórych przypadkach jej parametry geometryczne mogą być przyczyną niedostatecznej przepustowości. Do najważniejszych czynników wpływających na tę przepustowość zalicza się: długość i przekrój tej drogi, pochylenia podłużne oraz udział w ruchu pojazdów ciężkich.

Obszar przeplatania na węźle to obszar, w którym występuje strefa łączenia się i rozdzielania dwóch strumieni ruchu. W obszarze przeplatania kierowcy dokonują manewru zmiany pasa ruchu w celu osiągnięcia pasa dogodnego dla zjazdu. Do najbardziej istotnych czynników, które decydują o przepustowości obszaru przeplatania, należą: długość i szerokość (liczba pasów) obszaru przeplatania, położenie względem siebie oraz liczba pasów wejściowych i wyjściowych, natężenia potoków przeplatających się i nie przeplatających się, wzajemne proporcje tych natężeń oraz udział w ruchu pojazdów ciężkich.

### 2.2. Przepustowość obszarów wpływu wjazdów i zjazdów

Podstawowymi kryteriami oceny PSR (Poziomu Swobody Ruchu) dla obszarów wpływu wjazdów i zjazdów są: jako miernik podstawowy maksymalna gęstość ruchu  $k_w$  [E/km/pas] oraz jako miernik pomocniczy minimalna prędkość  $V_w$  [km/h]. Analiza przepustowości łącznic przeprowadzana jest poprzez ustalenie gęstości, prędkości oraz PSR

ruchu dla jednopasowej łącznicy wjazdowej lub dla jednopasowej łącznicy wyjazdowej. Procedura obliczeniowa składa się z następujących kroków:

- przeliczenie natężeń ruchu,
- obliczenie natężeń ruchu  $Q_{12}$  na 1 i 2 pasie autostrady,
- obliczenie natężeń w przekrojach sprawdzania przepustowości,
- ustalenie PSR.

Przeliczenie natężenia ruchu na autostradzie i ruchu na łącznicach na ekwiwalentne wartości  $Q_0$  w [E/h] dokonywane jest według poniższego wzoru:

$$Q_0 = \frac{Q_h}{k_{15} \cdot f_p \cdot f_c \cdot f_{zd}} \quad [\text{E/h}] \quad (1)$$

gdzie:

$Q_0$  – natężenie w szczytowych 15 minutach, przeliczone na godzinę, w idealnych warunkach drogowo - ruchowych,

$Q_h$  – godzinowe natężenie ruchu zmierzone lub prognozowane w rzeczywistych warunkach drogowo - ruchowych,

$f_p$  – współczynnik wpływu szerokości pasów ruchu i odległości przeszkód bocznych,

$f_c$  – współczynnik wpływu samochodów ciężarowych i autobusów oraz rodzaju terenu, spadków i ich długości,

$f_{zd}$  – współczynnik znajomości drogi wśród kierowców.

Następnie oblicza się natężenie ruchu na 1 i 2 pasie autostrady. Obliczenia te dla łącznicy jednopasowej (wyjazd z łącznicy) wykonuje się za pomocą wzoru (2), natomiast dla łącznicy jednopasowej (wjazd na łącznicę) wykonuje się za pomocą wzoru (3).

$$Q_{12} = Q_a \cdot p_w \quad (2)$$

gdzie:

$p_w$  – udział ruchu autostradowego pozostającego na pasach 1 i 2,

$Q_a$  – całkowite natężenie ruchu na autostradzie przed analizowanym obszarem [E/h].

$$Q_{12} = Q_r + (Q_a - Q_r) \cdot p_z \quad (3)$$

gdzie:

$p_z$  – udział ruchu autostradowego pozostającego na pasach 1 i 2,

$Q_r$  – całkowite natężenie ruchu na analizowanej łącznicy [E/h].

Obliczenia natężeń w przekrojach przepustowości obliczane są oddzielnie dla obszarów włączeń i wyłączeń według wzorów (4) i (5).

$$Q_{ow} = Q_a + Q_r \quad (\text{obszary włączeń}) \quad (4)$$

$$Q_{r12} = Q_r \cdot Q_{12} \quad (\text{obszary wyłączeń}) \quad (5)$$

W przypadku gdy obliczone natężenia są większe od podanych w tablicach wartości przepustowości, przyjmuje się PSR F.

Gęstość ruchu dla PSR od A do E oblicza się z następujących wzorów:

- dla wjazdu z łącznicy 1-pasowej w obszar włączenia:

$$k_w = 3,403 + 0,00456 \cdot Q_r + 0,00485 \cdot Q_{12} - 0,0128 \cdot l_w \quad [\text{E/km/pas}] \quad (6)$$

- dla wjazdu na 1-pasową łącznicę z obszaru wyłączenia:

$$k_w = 2,643 + 0,00534 \cdot Q_{12} - 0,0183 \cdot l_z \quad [\text{E/km/pas}] \quad (7)$$

gdzie:

$Q_{12}$  – natężenie ruchu na 1 i 2 pasie ruchu autostrady [E/h],

$Q_r$  – całkowite natężenie ruchu na łącznicy [E/h],

$l_w, l_z$  – całkowita długość pasa włączenia, wyłączenia [m].

Prędkość na łącznicy obliczana jest w zależności od typu łącznicy i rodzaju ruchu za pomocą jednego z grupy czterech wzorów. Brak jest w tej metodzie wzorów obliczających gęstość ruchu w przypadku, gdy występuje PSR F. Przeciętne wartości prędkości podróży w obszarze łącznicy obliczane są również za pomocą wybranych, w zależności od żądanego PSR oraz rodzaju ruchu (ciągły, nieciągły), wzorów.

### 2.3. Przepustowość odcinków z przeplataniem

Klasyfikacja warunków ruchu na odcinkach przeplatania jest zależna od średnich prędkości jazdy pojazdów przeplatających i nie przeplatających się. PSR odcinka, na którym odbywa się przeplatanie, ustalana jest oddzielnie dla pojazdów nieprzeplatających się i pojazdów przeplatających się. Procedura obliczeniowa składa się z następujących kroków:

- wybór typu odcinka z przeplataniem,
- przeliczenie natężeń ruchu na obliczeniową wartość natężenia ruchu  $Q_{15}$ ,
- stworzenie diagramu przeplatania,
- obliczenie prędkości ruchu pojazdów przeplatających się i nie przeplatających się,
- sprawdzenie, czy dany odcinek działa w warunkach wymuszonych/niewymuszonych,
- określenie PSR.

Procedura obliczeniowa daje możliwość wyboru jednego z trzech typów odcinków z przeplataniem:

A – każdy z przeplatających się pojazdów zmienia jeden pas ruchu,

B – jeden strumień pojazdów nie zmienia pasa ruchu, podczas gdy inny strumień zmienia pas ruchu,

C – jak B, ale pojazdy zmieniają pas ruchu co najmniej dwa razy.

Przeliczenie natężeń ruchu na obliczeniową wartość natężenia ruchu  $Q_{15}$  dokonywane jest za pomocą następującego wzoru:

$$Q_{15} = \frac{Q}{k_{15} \cdot f_p \cdot f_c \cdot f_{zd}} \quad [E/h] \quad (8)$$

gdzie: oznaczenia jak we wzorze (1).

W celu utworzenia diagramu odcinka przeplatania niezbędne jest ustalenie następujących wielkości:

- $Q_{p1}/Q_{p2}$  – natężenie większego/mniejszego z przeplatających się potoków,
- $Q_p$  – łączne natężenie potoków przeplatających się,
- $Q$  – łączne natężenie ruchu w obszarze przeplatania,
- $Q_p/Q$  – wskaźnik natężeń,
- $Q_{p2}/Q_p$  – wskaźnik przeplatania.

Prędkość ruchu pojazdów przeplatających się  $V_w$  i pojazdów nie przeplatających się  $V_n$  oblicza się ze wzoru:

$$V_w, V_n = 24 + \frac{80}{1 + a \cdot \left(1 + \frac{Q_p}{Q}\right)^b \cdot \left(\frac{Q}{n}\right)^c \cdot (3,3 \cdot l_p)^d} \quad [km/h] \quad (9)$$

gdzie:

$Q$  – łączne natężenie w obszarze przeplatania [E/h],

$Q_p$  – łączne natężenie potoków przeplatających się [E/h],

$n$  – liczba wszystkich pasów ruchu w obszarze przeplatania,

$l_p$  – długość odcinka przeplatania [m],

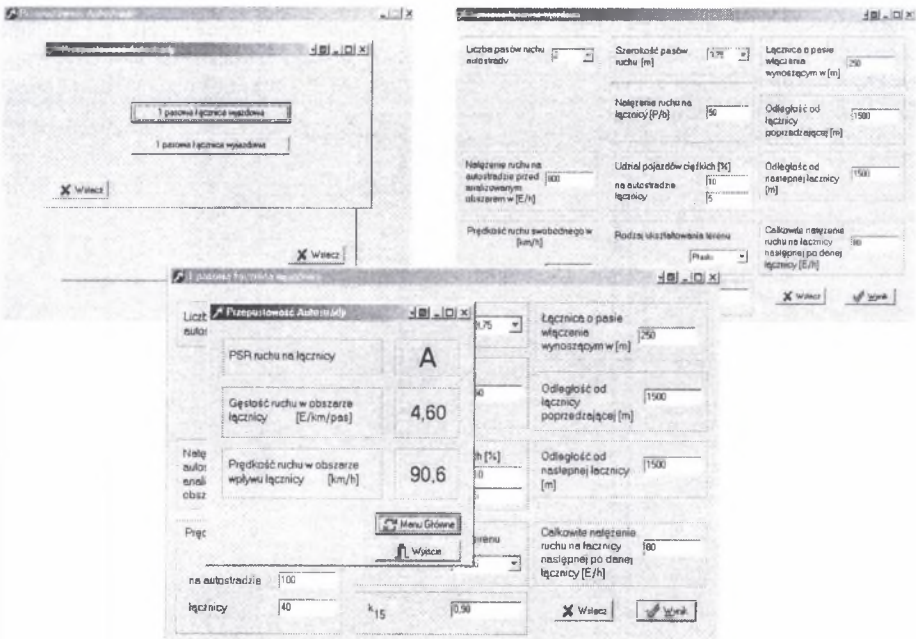
$a, b, c, d$  – stałe, zależne od typu ukształtowania obszaru przeplatania.

Sprawdzenie, czy dany odcinek działa w warunkach wymuszonych czy niewymuszonych, odbywa się poprzez porównanie dwóch wielkości: obliczonej liczby pasów  $n_p$  (liczba pasów ruchu dla pojazdów przepalających się w niewymuszonych warunkach ruchu) oraz odczytanej z tablicy liczby pasów  $n_{pmax}$  (liczba dostępnych dla pojazdów przepalających się pasów). W przypadku gdy  $n_p < n_{pmax}$  – to mówimy, że na analizowanym odcinku odbywa się ruch niewymuszony, jeśli natomiast  $n_p > n_{pmax}$  – to na danym odcinku odbywa się ruch wymuszony. Jeśli  $n_p > n_{pmax}$ , to obliczone wcześniej prędkości należy ponownie przeliczyć z zastosowaniem parametrów dla ruchu wymuszonego. Określenie PSR następuje poprzez porównanie wartości obliczonych  $V_w$  i  $V_n$  z zawartymi w tablicy minimalnymi prędkościami dla poszczególnych PSR.

Szczegółowy opis metody przeprowadzania analizy przepustowości obszarów wjazdów i zjazdów, dróg łącznikowych oraz obszarów przepalania można znaleźć w publikacjach [2] i [3].

#### 2.4. Program „Przepustowość autostrad”

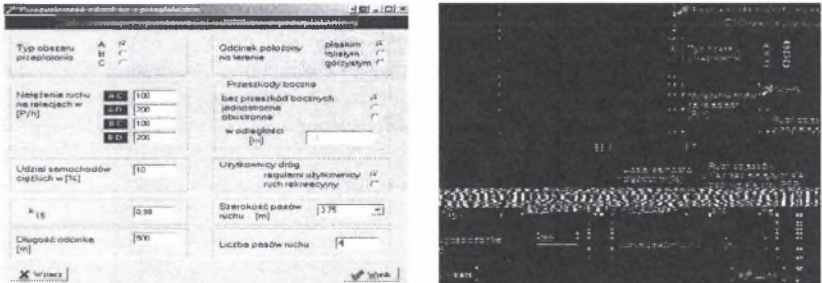
Analizę przepustowości poszczególnych elementów istniejących i nowo powstałych autostrad za pomocą metody HCM-94 ułatwia program „Przepustowość autostrady”. W programie tym oprócz przeprowadzania analizy przepustowości obszarów wjazdów i zjazdów, dróg łącznikowych oraz obszarów przepalania można również przeprowadzić analizę przepustowości odcinków podstawowych (międzywęzłowych) autostrady. Na rysunku 1 przedstawione zostały okna dialogowe umożliwiające wpisanie danych niezbędnych do wykonania analizy przepustowości obszarów łącznic wjazdowych i zjazdowych.



Rys. 1. Okna dialogowe programu (obliczanie przepustowości łącznic wjazdowych i wyjazdowych)

Fig. 1. Program's dialogue window (capacity of motorway entries and exits calculations)

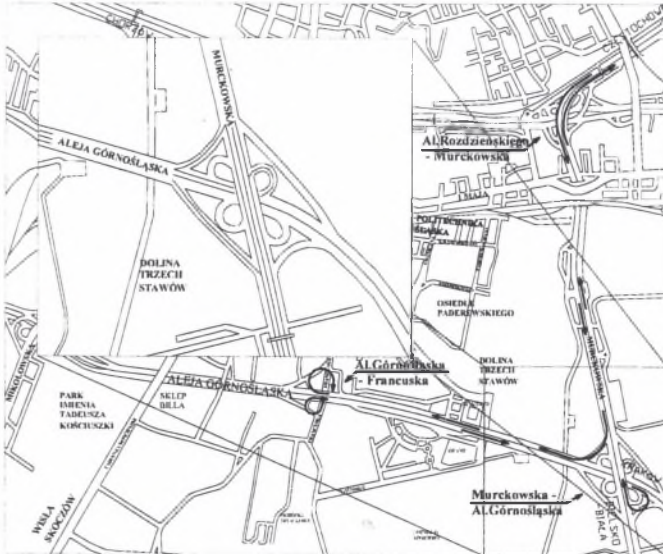
Okna dialogowe umożliwiające analizę przepustowości obszarów przeplatania przedstawia rysunek 2. Szczegółowe informacje na temat możliwości zastosowania oraz sposobu obsługi tego programu zawiera instrukcja do programu „Przepustowość autostrady”.



Rys. 2. Okna dialogowe programu (obliczanie przepustowości obszarów przeplatania)  
Fig. 2. Program's dialogue window (capacity of interleave areas calculations)

### 3. WĘZŁ AL. GÓRNOŚLĄSKA – MURCKOWSKA KATOWICE

Do przeprowadzenia badań warunków ruchu panujących na węźle Al. Górnośląska – Murckowska w Katowicach wykorzystano metodę pojazdu testowego. Trasa i kierunek przejazdu (rys. 3) została dobrana tak, aby uzyskane wyniki badań uwzględniały wpływ bardzo bliskiej lokalizacji dwóch węzłów drogowych Al. Roździeńskiego - Murckowska, Al. Górnośląska - Francuska.



Rys. 3. Lokalizacja węzła Al. Górnośląska – Murckowska w Katowicach (trasa przejazdu)  
Fig. 3. Location of Al. Górnośląska – Murckowska junction in Katowice (drive route)

Badania wykonywane były od piątku do czwartku w godzinach między  $7^{00}$  –  $7^{30}$  i  $15^{00}$  –  $15^{30}$  w okresie od 28.02.2003 do 6.03.2003. Badaniom podlegały: całkowity czas przejazdu, zatłoczenie - możliwość swobodnego wykonywania manewrów, kolejki – czas oczekiwania w kolejce. Wyniki badań zestawiono w tabelicy 1.

Tabela 1

Wyniki badań warunków ruchu na węźle Al. Górnośląska – Murckowska w Katowicach

Data pomiaru (dzień tygodnia)	Całkowity czas przejazdu	Zatłoczenie D/S/M	Czas oczekiwania w kolejce		
			Kolejki I	Kolejki II	Kolejki III
<b>Czas pomiaru</b>			$7^{00} - 7^{30}$		
28.02.03 (piątek)	14min 2s	S	-	30s	49s
1.03.03 (sobota)	13min 38s	M	-	-	-
2.03.03 (niedziela)	12min 41s	M	-	-	-
3.03.03 (poniedziałek)	15min 11s	S	-	45s	50s
4.03.03 (wtorek)	14min 25s	S	-	44s	-
5.03.03 (środa)	15min 32s	S	-	1min 14s	1min 3s
6.03.03. (czwartek)	13min 23s	S	-	23s	-
<b>Czas pomiaru</b>			$15^{00} - 15^{30}$		
28.02.03 piątek	17min 3s	S	-	6min 3s	1min
1.03.03 sobota	13min 40s	M	-	-	-
2.03.03 niedziela	13min 51s	M	-	-	-
3.03.03 poniedziałek	19min 25s	D	-	7min 30s	45s
4.03.03 wtorek	20min 18s	D	-	8min 13s	39s
5.03.03 środa	21min 42s	S	-	9min 4s	54s
6.03.03. czwartek	18min 7s	S	-	5min 55s	38s

Źródło: Badania własne

Zatłoczenie oceniano w zależności od zaobserwowanej podczas badań możliwości swobodnego wykonywania manewrów, a w szczególności manewru zmiany pasa ruchu, stąd zatłoczenie określano w trzech kategoriach: D - duże zatłoczenie, duże utrudnienia w ruchu, S – średnie zatłoczenie, niewielkie utrudnienia w ruchu, M – małe zatłoczenie, brak utrudnień w możliwości wykonywania manewrów.



Rys. 4. Lokalizacja miejsc występowania kolejek

Fig. 4. Location of queue occurrences

Lokalizację miejsc, w których tworzyły się kolejki, zaznaczono (gruba linia) na rysunku 4. Na węźle Al. Roździeńskiego – Murckowska – KI nie zaobserwowano powstawania żadnych kolejek, natomiast największe kolejki występowały na węźle Al. Górnośląska – Murckowska – KII (zjazd z autostrady A-4). Dodatkowo w przypadku tego węzła kolejki oczekujących pojazdów utrudniają wjazd z ul. Prowansalskiej i ul. Pułaskiego na autostradę A-4 (rys. 4). Na węźle Al. Górnośląska – Francuska – KIII również zaobserwowano tworzenie się niewielkich kolejek w obu okresach pomiarowych.

Zastosowane w przypadku węzła autostradowego Al. Górnośląska – Murckowska rozwiązania geometrycznego, węzła typu pełna koniczyna z równoległymi wzdłuż drogi głównej drogami z – r (zbiorczo – rozdzielczymi), powinno zapewnić dobrą przepustowość. Zwłaszcza, że zastosowane jezdnie z – r są miejscem dodatkowego, odbywającego się poza jezdnią główną, przeplotu potoków pojazdów. Ponieważ jednak węzeł ten znajduje się w centrum Katowic, problemy z zapewnieniem dostatecznej przepustowości pojawiają się szczególnie w godzinach szczytu ( $6^{00}$ - $8^{40}$  i  $14^{00}$ - $17^{00}$ ). W przypadku węzła Al. Górnośląska – Francuska (węzeł typu półkoniczyna) poprawę przepustowości i polepszenie warunków ruchu można uzyskać poprzez dobudowę pasa włączeń na zjeździe z autostrady A-4.

#### 4. PODSUMOWANIE

Likwidacja zatłoczenia spowodowanego niedostateczną przepustowością węzła autostradowego jest jednym z ważniejszych celów uzasadniających przeprowadzanie badań przepustowości węzła. Polepszenie warunków ruchu na węźle oraz zwiększenie przepustowości można osiągnąć poprzez zmianę parametrów geometrycznych tego węzła. Niestety, przebudowa istniejącego już węzła drogowego jest zadaniem niezwykle kosztownym i trudnym, dlatego wyniki badań warunków ruchu i przepustowości istniejących już węzłów powinny być jednym z ważniejszych zagadnień rozpatrywanych podczas przeprowadzania analizy przepustowościowej nowo projektowanych węzłów autostradowych.

#### Literatura

1. Praca zbiorowa pod red. Krystek R.: Węzły drogowe i autostradowe. WKiŁ, Warszawa 1998.
2. Instrukcja obliczania przepustowości dróg I i II klasy technicznej (Autostrady i drogi ekspresowe). GDDP, Warszawa 1995.
3. Transportation research Board: Highway Capacity Manual, Special Report 209, Washington D.C., 1985.

#### Abstract

One of the most important objectives which gives grounds to carry out junction capacity monitoring is liquidation of overcrowding caused by inadequate capacity of the junction. Improvement in traffic conditions on a junction and increase in junction capacity may be achieved by junction geometry modification. Unfortunately reconstruction of the existing junction is a difficult and expensive task, therefore the results of traffic conditions monitoring of existing junctions should be one of the most important issues being considered during analyzing the capacity of new designed motorway junctions.