ZESZYTY NAUKOWE POLITECHNIKI ŚLĄSKIEJ 2005
Seria: TRANSPORT z. 58 Nr kol. 1688

Agnieszka LEŚNICKA[1]

BADANIA NATĘŻENIA I STRUKTURY RUCHU ORAZ ANALIZA PRZEPUSTOWOŚCI I OCENA WARUNKÓW RUCHU OBSZARÓW WJAZDÓW WĘZŁA CHRZANÓW II AUTOSTRADY A-4

Streszczenie. W artykule przedstawione zostały wyniki pomiarów natężenia i struktury ruchu oraz rozkładu ruchu na pasach, przeprowadzonych w dniach: 20 października 2004 roku oraz 20 kwietnia i 4 maja 2005 roku, w obszarach wjazdów węzła Chrzanów II autostrady A–4. Zgromadzone w czasie pomiarów dane stanowiły podstawę analizy przepustowości oraz oceny warunków ruchu w obszarach wjazdów tego węzła.

RESEARCHES OF VOLUME AND STRUCTURE OF TRAFFIC AS WELL AS CAPACITY CALCULATION AND ESTIMATE OF TRAFFIC CONDITION ON FREEWAY A-4 INTERCHANGE CHRZANÓW II ENTRANCE AREA

Summary. The results of researches on volume and structure of traffic as well as division of traffic conducted on days: the 20th of october 2004, the 20th of april and the 4th of may 2005 at the freeway A-4 interchange Chrzanów II entrance area have been presented in this article. The results of researches have been used to calculating of capacity and estimating of traffic condition on this interchange

1. WPROWADZENIE

Wjazd autostradowy, ze względu na swoją szczególną funkcję związaną z tym, iż jest to miejsce zmiany warunków drogowych (geometria trasy w planie) i ruchowych (dostosowanie prędkości jazdy pojazdów do prędkości umożliwiającej włączenie się do ruchu pojazdów na prawym pasie autostrady), pełni ważną rolę w ruchu na węźle. Jest również jednym z tych elementów węzła autostradowego, który w stopniu zależnym od typu i kształtu węzła wpływa na jego poprawne funkcjonowanie oraz przepustowość. Stąd też analiza przepustowości i ocena warunków ruchu obszarów wjazdów jest tak istotna dla zachowania przepustowości węzłów autostradowych. Dokładność analizy przepustowości wjazdu zależy od rzetelności zebranych o wjeździe danych geometryczno – ruchowych, czyli od sposobu wykonywania pomiarów natężenia i struktury ruchu oraz od wybranej do analizy metody oceny warunków ruchu. Najbardziej rozbudowana pod tym względem jest zalecana do stosowania w Polsce metoda oparta na HCM, która została opisana w wydanej w 1995 roku przez GDDP instrukcji: „Instrukcja obliczania przepustowości dróg I i II klasy technicznej (Autostrada i drogi ekspresowe)".

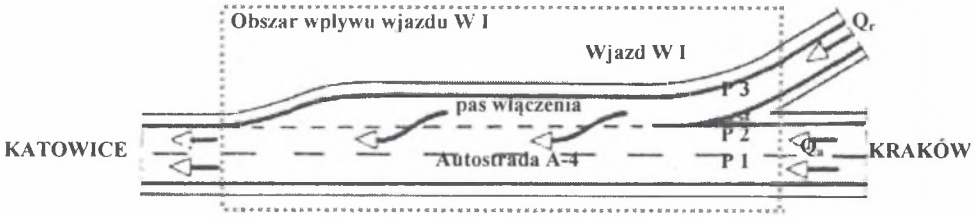
[1] Zakład Inżynierii Ruchu, Wydział Transportu, Politechnika Śląska, ul. Krasińskiego 8, 40-019 Katowice, tel. (0- prefix-32) 6034121, e-mail: agnieszkalesnicka@wp.pl

2. POMIARY NATĘŻENIA I SRUKTURY RUCHU NA PASACH W OBSZARACH WJAZDÓW WĘZŁA CHRZANÓW II AUTOSTRADY A-4

Do przeprowadzenia pomiarów natężenia i struktury ruchu oraz procentowego rozkładu natężenia ruchu na pasach w obszarach wjazdów wybrane zostały wjazdy (WI i WII) na węźle Chrzanów II autostrady A-4. Lokalizacja tego węzła oraz schemat jego działania (wjazdy WI i WII) przedstawione zostały na rys. 1.

Rys. 1. Lokalizacja i schemat węzła Chrzanów II
Fig. 1. Location and scheme of interchange Chrzanów II

Wjazd WI (kierunek Kraków-Katowice) jest to typowy wjazd poprzez pas włączenia (według RAL typ konstrukcyjny A). Pas włączenia ma konstrukcję równoległą, długość 250 [m] oraz pas ruchu o szerokości 3,5 [m]. Schemat tego wjazdu przedstawiony został na rys. 2. Widok ogólny obszaru wjazdu WI obrazują zdjęcia na rys. 3a i b. Zdjęcia na rys. 3c i d to widok tego wjazdu od strony drogi łącznikowej.

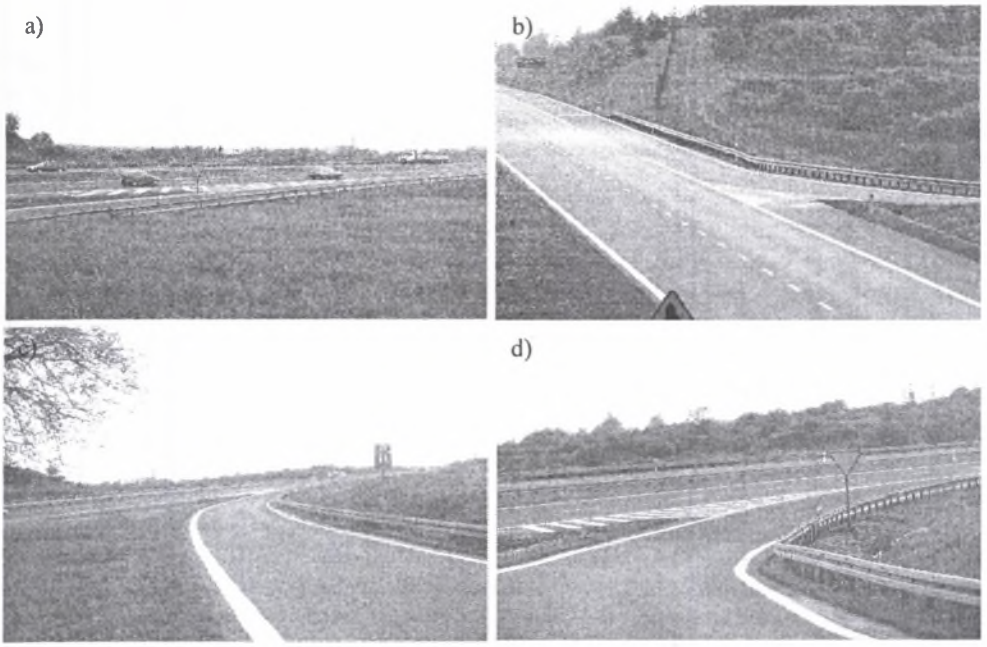


Rys. 2. Schemat obszaru wpływu wjazdu WI węzła Chrzanów II
Fig. 2. Scheme of freeway entrance area WI on interchange Chrzanów II

Pomiary w obszarze wjazdu WI zostały przeprowadzone metodą notowania ręcznego w godzinach od 8^{00} do 9^{00} i od 15^{00} do 16^{00} w dniach: 20 października 2004 roku (środa) oraz 20 kwietnia (środa) i 5 maja (środa) 2005 roku. Pomiary obejmowały natężenia i strukturę ruchu na pasach P1 i P2 autostrady tuż przed włączeniem oraz rozkład natężenia ruchu na tych pasach (P1/P2). Zmierzono również natężenie i strukturę ruchu na pasie P3 wjazdu WI. Struktura rodzajowa ruchu badana była z uwzględnieniem podziału na dwie grupy rodzajowe:

- SOiD – samochody osobowe i dostawcze,
- SC+A – samochody ciężarowe zwykłe i z przyczepami oraz autobusy; dla tej grupy rodzajowej przyjęto współczynnik ekwiwalentny wynoszący 2,5.

Wyniki przeprowadzonych pomiarów zostały zebrane w tabl. 1 oraz przestawione graficznie w postaci wykresów na rys. 4, 5 i 6.



Rys.3. Wjazd WI na autostradę A-4 (Węzeł Chrzanów II) [zdjęcia: Leśnicka]
Fig.3. Entrance WI on freeway A-4 (Interchange Chrzanów II) [photos: Leśnicka]

Natężenie ruchu autostradowego Q_a przed włączeniem zostało wyznaczone jako suma natężeń na pasach P1 i P2 autostrady (autostrada A-4 ma 2 pasy ruchu na każdej z jezdni). Rozkład natężenia ruchu na tych pasach (P1/P2) określa procentowe obciążenie ruchem każdego z nich w stosunku do całości natężenia ruchu autostradowego przed włączeniem Q_a. Natężenie ruchu pojazdów wypływających z drogi łącznikowej na pas włączenia Q_r to natężenie ruchu zmierzone na pasie P3.

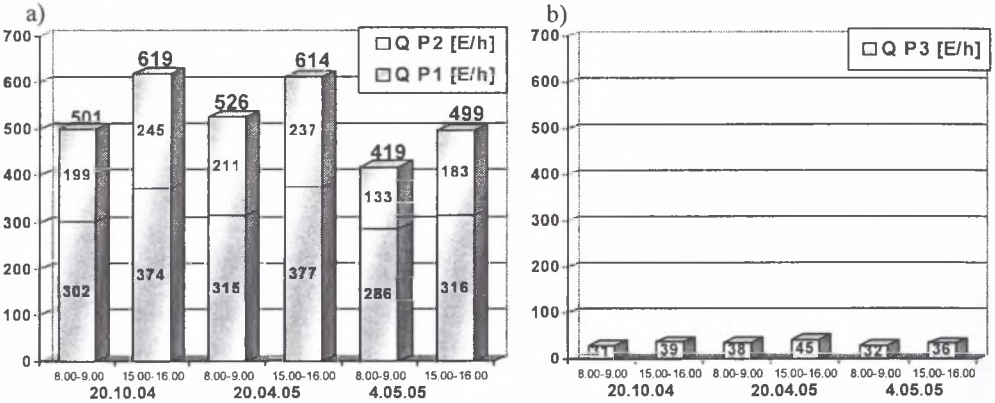
Tablica 1

Natężenia i struktura ruchu pojazdów na autostradzie A-4 i na wjeździe WI

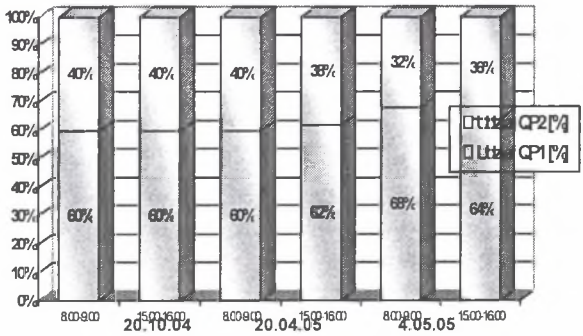
		20.10.04			20.04.05			4.05.05		
		8^{00} - 9^{00}	15^{00} - 16^{00}	śr. d.	8^{00} - 9^{00}	15^{00} - 16^{00}	śr. d.	8^{00} - 9^{00}	15^{00} - 16^{00}	śr. d.
Q P1 [P/h]	SOiD	254	301	282	257	299	278	241	263	252
	SC+A	19	29	26	23	31	29	18	21	20
Q P2 [P/h]	SOiD	156	197	177	161	192	177	105	145	125
	SC+A	17	19	18	20	18	20	11	15	13
Qa [P/h]		457	546	502	465	540	504	375	444	410
Udział [%]	SOiD	92,2	91,2	91,7	90,8	90,9	90,85	92,3	91,9	92,1
	SC+A	7,8	8,8	8,3	9,2	9,1	9,15	7,7	8,1	7,9
Q P3 [P/h]	SOiD	26	31	29	30	35	33	27	28	28
	SC+A	2	3	3	3	4	4	2	3	3
Qr [P/h]		28	34	32	33	39	37	29	31	30
Udział [%]	SOiD	92,9	91,2	92,05	90,9	89,8	90,35	93,1	90,3	91,7
	SC+A	7,1	8,8	7,95	9,1	10,2	9,65	6,9	9,7	8,3
Q P1 [E/h]		302	374	346	315	377	346	286	316	301
Q P2 [E/h]		199	245	221	211	237	224	133	183	158
Qa [E/h]		501	619	567	526	614	570	419	499	459
Rozkład natężenia ruchu P1/P2 [%]		60/40	60/40	60/40	60/40	62/38	61/39	68/32	64/36	66/34
Q P3 [E/h] = Q_r		31	39	35	38	45	42	32	36	34

Źródło: badania własne

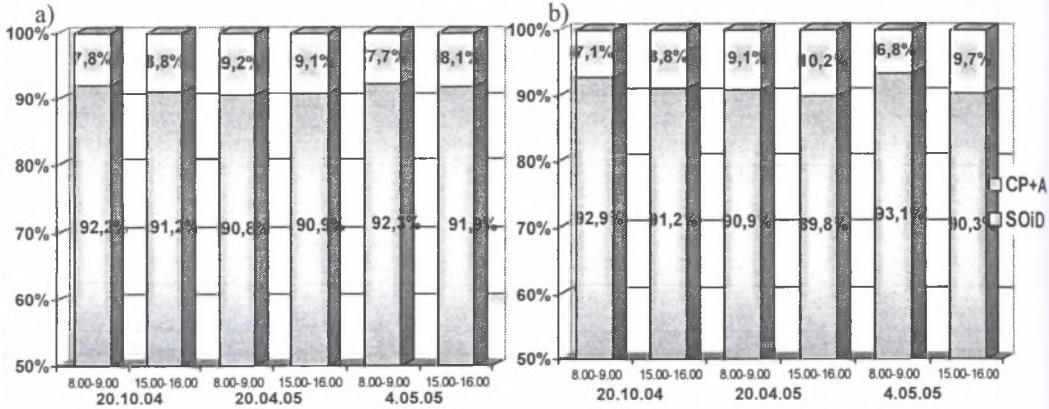
Oprócz zmierzonych na pasach P1, P2 i P3 natężeń ruchu tabl. 1 zawiera również kolumnę „śr. d.", która reprezentuje wartość średnią obliczoną z godzin 8^{00} - 9^{00} i 15^{00} - 16^{00} dla poszczególnych dni pomiarowych. Wartość średnia natężenia ruchu wyrażona w pojazdach rzeczywistych [P/h] lub umownych [E/h] została zaokrąglona do jednej pełnej jednostki w górę.



Rys.4. Natężenia ruchu: a) na pasach P1 i P2 autostrady A-4, b) na pasie P3 wjazdu WI
Fig. 4. Traffic volume: a) on freeway A-4 lanes P1 and P2, b) on entrance WI lane P3

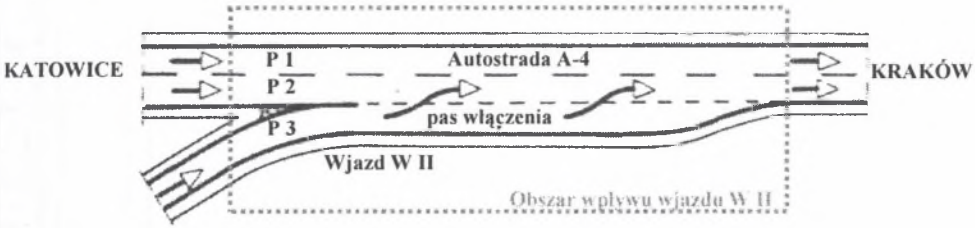


Rys.5. Rozkład natężenia ruchu na pasach P1 i P2 autostrady A-4
Fig. 5. Division of traffic volume on freeway A-4 lanes P1 and P2



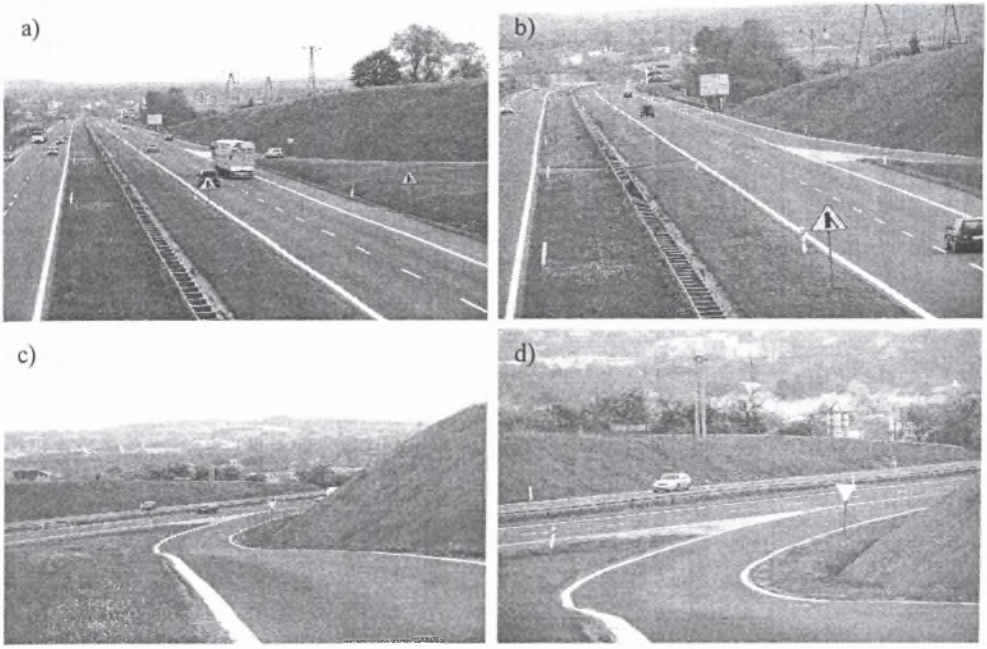
Rys.6. Struktura rodzajowa ruchu: a) na pasach P1 i P2 autostrady A-4, b) na pasie P3 wjazdu WI
Fig. 6. Traffic structure: a) on freeway A-4 lanes P1 and P2, b) on entrance WI lane P3

Wjazd WII (kierunek Katowice-Kraków) jest podobnie jak wjazd WI wjazdem poprzez pas włączenia (według RAL typ konstrukcyjny - A). Pas włączenia ma konstrukcję równoległą, długość 250 m, oraz szerokość pasa ruchu wynoszącą 3,5 m. Schemat wjazdu WII przedstawiony został na rys. 7. Widok ogólny obszaru wjazdu WII obrazują zdjęcia na rys. 8a i b. Zdjęcia na rys. 8c i d to widok tego wjazdu od strony drogi łącznikowej.



Rys. 7. Schemat obszaru wpływu wjazdu WII węzła Chrzanów II
Fig. 7. Scheme of freeway entrance area WII on interchange Chrzanów II

Pomiary natężenia i struktury ruchu oraz procentowego rozkładu natężenia ruchu na pasach w obszarze wjazdu W II zostały przeprowadzone metodą notowania ręcznego w tych samych terminach co pomiary w obszarze wjazdu WI. Wyniki pomiarów dla wjazdu W II zostały zgromadzone w tabl. 2 oraz przestawione graficzne w postaci wykresów na rys. 9, 10 i 11.



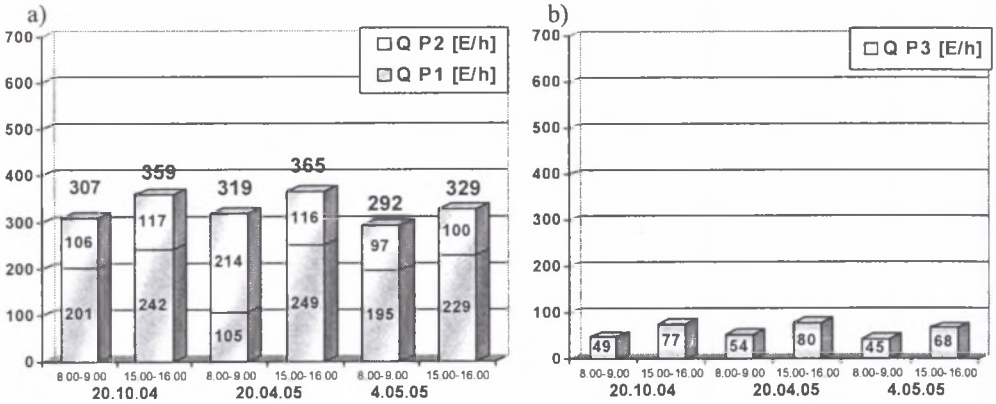
Rys.8. Wjazd WII na autostradę A-4 (Węzeł Chrzanów II) [zdjęcia: Leśnicka]
Fig. 8. Entrance WII on freeway A-4 (Interchange Chrzanów II) [photos: Leśnicka]

Tablica 2

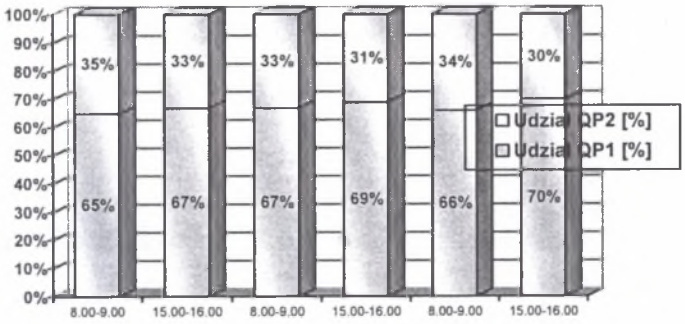
Natężenia i struktura ruchu pojazdów na autostradzie A-4 i na wjeździe WII

		20.10.04			20.04.05			4.05.05		
		$8^{(x)}$ - $9^{(x)}$	$15^{(x)}$ - $16^{(x)}$	śr. d.	$8^{(x)}$ - $9^{(x)}$	$15^{(x)}$ - $16^{(x)}$	śr. d.	$8^{(x)}$ - $9^{(x)}$	$15^{(x)}$ - $16^{(x)}$	śr. d.
Q P1 [P/h]	SOiD	178	199	189	181	204	193	155	189	177
	SC+A	11	17	14	13	18	16	10	16	14
Q P2 [P/h]	SOiD	86	89	88	85	91	88	79	80	80
	SC+A	8	11	10	8	10	9	7	8	8
Qa [P/h]		283	316	300	287	323	305	263	293	278
Udział [%]	SOiD	93,3	91,9	92,6	92,7	91,4	92,05	92,8	91,8	92,3
	SC+A	6,7	8,9	7,4	7,3	8,6	7,95	7,2	8,2	7,7
Q P3 [P/h]	SOiD	39	59	49	41	62	52	35	53	44
	SC+A	4	7	24	5	7	6	4	6	4
Qr [P/h]		43	66	55	46	69	58	39	59	49
Udział [%]	SOiD	90,7	89,4	90,05	89,1	89,9	89,5	89,7	89,8	89,75
	SC+A	9,3	10,6	9,95	10,9	10,1	10,5	10,3	10,2	10,25
Q P1 [E/h]		201	242	222	214	249	232	180	229	205
Q P2 [E/h]		106	117	112	105	116	111	97	100	99
Qa [E/h]		307	359	333	319	365	342	277	329	303
Rozkład natężenia ruchu P1/P2 [%]		65/35	67/33	66/34	67/33	69/31	68/32	66/34	70/30	68/32
Q P3 [E/h] = Q_r		49	77	63	54	80	67	45	68	56

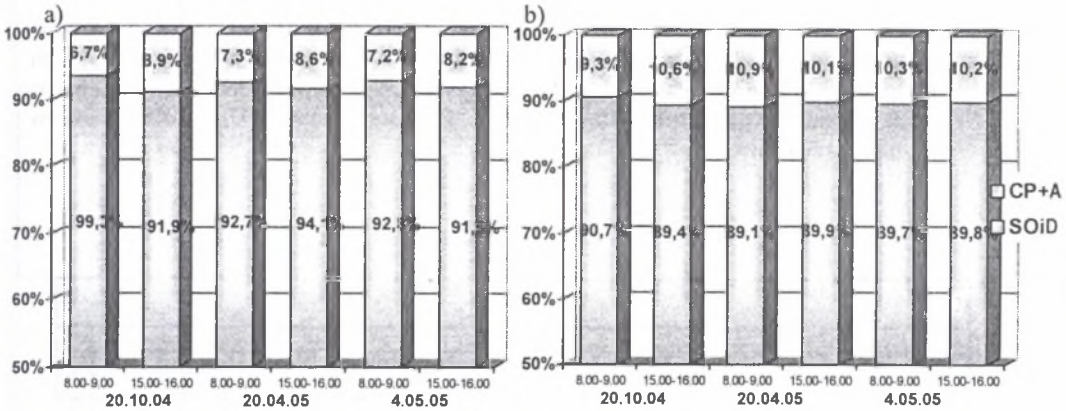
Źródło: badania własne



Rys.9. Natężenia ruchu: a) na pasach P1 i P2 autostrady A-4, b) na pasie P3 wjazdu WII
Fig. 9. Traffic volume: a) on freeway A-4 lanes P1 and P2), b) on entrance WII lane P3



Rys.10. Rozkład natężenia ruchu na pasach P1 i P2 autostrady A-4
Fig. 10. Division of traffic volume on freeway's A-4 lanes P1 and P2



Rys.11. Struktura rodzajowa ruchu: a) na pasach P1 i P2 autostrady A-4, b) na pasie P3 wjazdu WII
Fig. 11. Traffic structure: a) on freeway A-4 lanes P1 and P2, b) on entrance WII lane

3. ANALIZA PRZEPUSTOWOŚCI I WARUNKÓW RUCHU W OBSZARCH WJAZDÓW WI I WII WĘZŁA CHRZANÓW II

Procedura analizy przepustowości i oceny warunków ruchu wjazdu z 1-pasowej łącznicy, oparta na metodzie HCM i opisana w Instrukcji [1], składa się z następujących kroków: przeliczenie natężeń ruchu, obliczenie natężeń ruchu na dwóch skrajnych pasach ruchu autostrady, obliczenie natężeń w przekrojach sprawdzania przepustowości oraz ocena PSR. Przeliczenia natężeń ruchu autostradowego i ruchu na łącznicach na ich ekwiwalentne wartości Q_o w [E/h] dokonuje się zgodnie ze wzorem [1]:

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

gdzie: Q_o – 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,

k_{15} – współczynnik wahań ruchu,

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.

Obliczenie natężeń ruchu na dwóch skrajnych pasach ruchu autostrady dokonywane jest zgodnie ze wzorem [1]:

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

gdzie: p_w – udział ruchu autostradowego pozostającego na dwóch skrajnych pasach autostrady,

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

Następnie dokonuje się obliczenia natężeń w przekrojach sprawdzania przepustowości. Przepustowość ta sprawdzana jest na dwa sposoby:

- pierwszy dotyczy maksymalnego natężenia potoku ruchu wypływającego z obszaru włączenia, który jest równy przepustowości następującego po łącznicy odcinka autostrady, czyli 2200 [E/h/pas],

- drugi dotyczy maksymalnego natężenia potoku ruchu, który może bez zakłóceń wjechać do obszaru wpływu włączenia. Natężenie to obliczane jest jako suma Q_r, czyli całkowitego natężenia ruchu na łącznicy [E/h] i Q_{12} - obliczonego natężenia ruchu na dwóch skrajnych pasach autostrady [E/h]. Wartości przepustowości dla obszarów włączenia przedstawia tabl. 3.

Tablica 3

Wartość przepustowości dla obszarów włączenia (dla łącznic 1- pasowych)

Liczba pasów ruchu na jezdni autostrady	Obszary włączenia	
	maks. Q_{aw} [E/h]	maks. Q_{r12} [E/h]
2 pasy	4400	4400
3 pasy	6600	4600
4 pasy	8800	4600

Źródło: [1]

W przypadku gdy obliczone natężenia są większe od podanych w tabl.3 wartości przepustowości, przyjmuje się PSR F.

Ostatnim elementem oceny warunków ruchu jest wyznaczenie PSR. Kryteriami oceny PSR dla obszarów wpływu wjazdów są: jako miernik podstawowy maksymalna gęstość ruchu k_w [E/km/pas] oraz jako miernik pomocniczy minimalna prędkość V_w [km/h]. Zestawienie dopuszczalnych wartości tych mierników dla poszczególnych PSR zawiera tabl. 4. Gęstość ruchu dla PSR od A do E dla wjazdu z 1 - pasowej łącznicy w obszar włączania oblicza się ze wzoru [1]:

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

gdzie l_w – całkowita długość pasa włączania [m].

Prędkość na łącznicy obliczana jest za pomocą jednego z grupy wzorów. Dla 1-pasowej łącznicy wjazdowej przy ruchu ciągłym dla PSR A - E wzór ten jest następujący [1]:

$$V_w = V_{as} - (V_{as} - 67{,}6) \cdot m_{ws}, \qquad \text{[km/h]} \qquad (4)$$

Tablica 4

Kryteria oceny PSR dla obszarów wjazdów

PSR	Maksymalna gęstość ruchu k_w [E/km/pas]	Minimalna prędkość V_w [km/h]
A	6,0	93
B	12,5	90
C	17,5	83
D	22,0	74
E	25,0 – 27,5	67
F	> 23,0	< 67

Źródło: [1]

Szczegółowy opis metody HCM znaleźć można w tekście źródłowym [7]. Wersja polska tej metody dla wjazdów i pozostałych elementów autostrady przedstawiona została między innymi w publikacji [6].

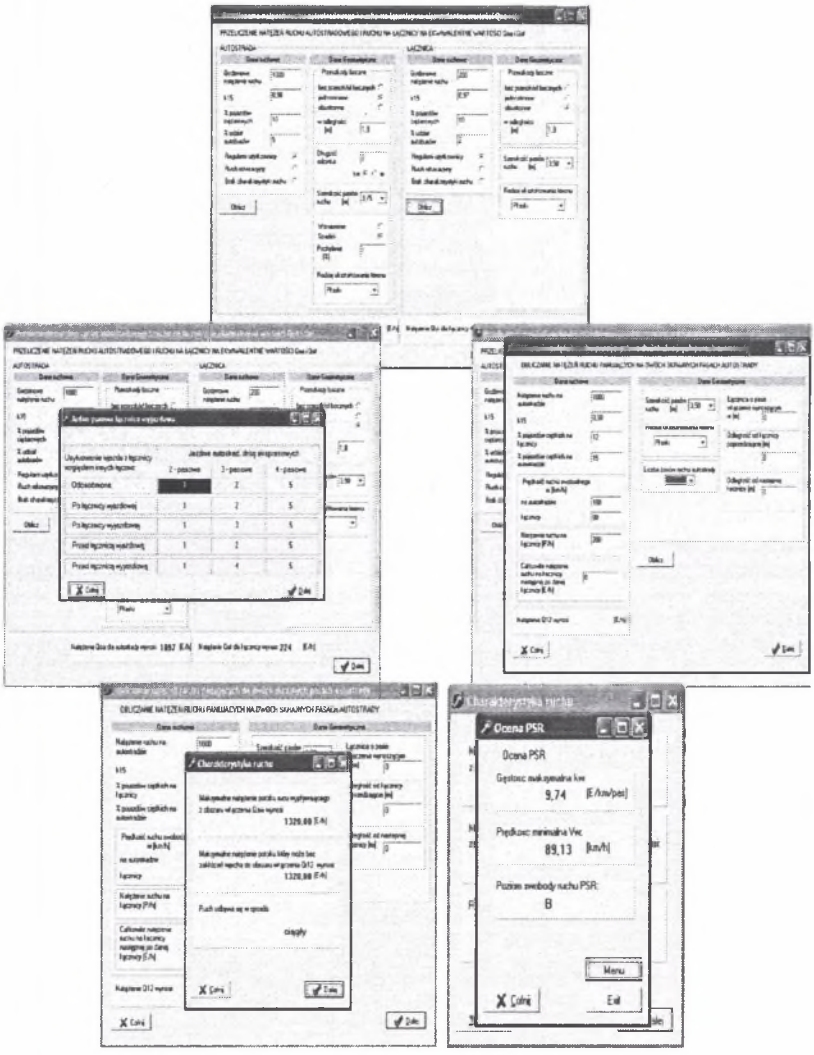
Obliczenia przepustowości i ocena warunków ruchu dla wjazdów WI i WII węzła Chrzanów II została przeprowadzona za pomocą programu „Model HCM". Szczegółowe informacje na temat możliwości zastosowania oraz sposobu obsługi tego programu zawierają publikacje [5] i [3]. Okna dialogowe programu przedstawia rys. 12. Wyniki obliczeń oraz ocenę PSR dla wjazdów WI i WII zawiera tabl. 5.

Tablica 5

Wyniki obliczeń i ocena PSR

		20.10.04			20.04.05			4.05.05		
		8^{00} - 9^{00}	15^{00} - 16^{00}	śr. d.	8^{00} - 9^{00}	15^{00} - 16^{00}	śr. d.	8^{00} - 9^{00}	15^{00} - 16^{00}	śr. d.
WI	k_w [E/km/pas]	6,26	6,08	6,54	6,40	6,88	6,69	5,77	6,20	5,72
	V_w [km/h]	89,37	89,34	89,36	89,36	89,34	89,35	89,39	89,37	89,40
	PSR	B	B	B	B	B	B	A	B	A
WII	k_w [E/km/pas]	5,28	5,66	5,47	5,33	5,75	5,52	4,99	5,47	5,33
	V_w [km/h]	89,41	89,40	89,41	89,41	89,39	89,40	89,42	89,41	89,41
	PSR	A	A	A	A	A	A	A	A	A

Źródło: badania własne



Rys.12. Okna dialogowe programu „Model HCM"
Fig.12. Program's dialogue window „Model HCM"

Dodatkowe założenia przyjęte do obliczeń to: współczynnik k_{15}=0,95, prędkość ruchu swobodnego dla autostrady V_{as}=100 km/h i dla łącznicy V_{ws}=60 km/h, przeszkody boczne obustronne w odległości >1,8 [m] dla autostrady i brak przeszkód bocznych dla łącznicy, teren falisty, użytkownicy regularni.

Powstała również aplikacja komputerowa wspomagająca analizę przepustowości i ocenę warunków ruchu odcinków międzywęzłowych autostrad. Działanie i możliwość zastosowania tego programu opisano w publikacjach [2] i [4].

4. PODSUMOWANIE

Wykonane w obszarach wjazdów węzła Chrzanów II pomiary natężenia i struktury ruchu wskazują, iż natężenia ruchu na autostradzie tuż przed obszarem wpływu wjazdu wynosiły w badanych okresach: 375-540 [P/h] dla wjazdu WI i 263–316 [P/h] dla WII, a natężenie ruchu wypływającego z łącznicy wynosiło: 28-39 [P/h] dla wjazdu WI i 43-69 [P/h] dla WII. Udział pojazdów ciężkich stanowił 7-8% ruchu na autostradzie i 8-10% ruchu na wjazdach. Przeprowadzona na podstawie zgromadzonych danych analiza przepustowości i ocena warunków ruchu wykazały, iż wjazdy WI i WII węzła Chrzanów II funkcjonowały w analizowanych przedziałach czasowych na PSR B (wjazd WI) i PSR A (wjazd WII).

Literatura

1. Instrukcja obliczania przepustowości dróg I i II klasy technicznej (Autostrady i drogi ekspresowe). GDDP, Warszawa 1995.
2. Leśnicka A.:„Przepustowość autostrady" – program analizujący przepustowość autostrad. Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej, s. Transport, z 46, Gliwice 2002, ss. 121–128.
3. Leśnicka A.: Problemy przepustowości węzłów autostradowych zlokalizowanych na terenach miejskich. Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej, s. Transport, z 47, Gliwice 2003, I Konferencja naukowo – techniczna, Systemy transportowe – teoria i praktyka. Katowice, 10 wrzesień 2003.
4. Leśnicka A.: Komputerowe wspomaganie obliczeń przepustowości odcinków międzywęzłowych autostrad. Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej, s. Transport z 48, Gliwice 2003, ss. 291 – 300.
5. Leśnicka A.: „Model HCM" – aplikacja komputerowa wspomagająca analizę przepustowości wjazdu autostradowego. Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej, s. Transport, z 56, Gliwice 2004, ss. 331-338.
6. Praca zbiorowa pod red. Krystek R.: Węzły drogowe i autostradowe. WKiŁ, Warszawa 1998.
7. Transportation Research Board: Highway Capacity Manual, Special Report 209, Washington D.C., 1985.