

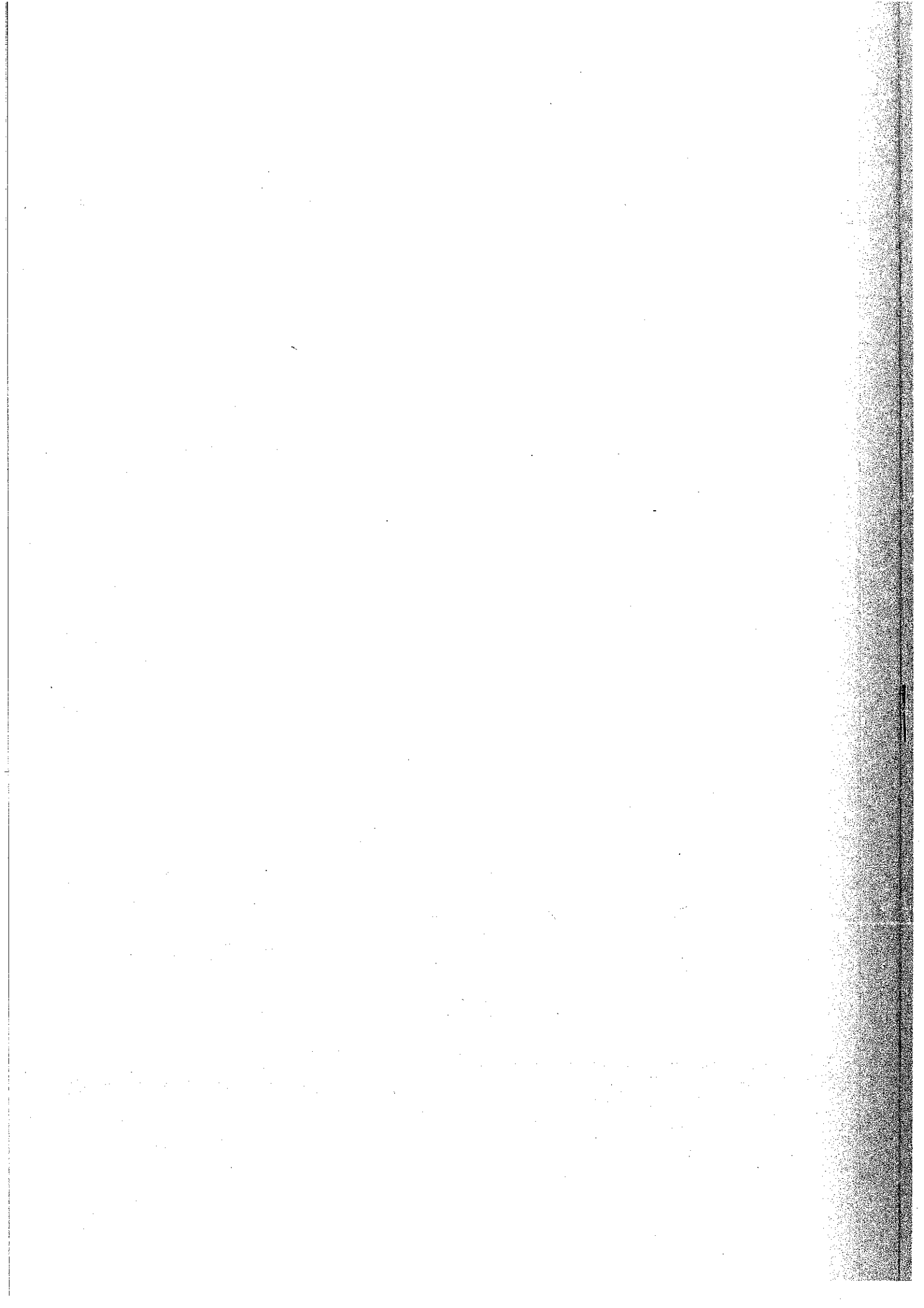
GENERALNA DYREKCJA DRÓG KRAJOWYCH I AUTOSTRAD



# **METODA OBLICZANIA PRZEPUSTOWOŚCI SKRZYŻOWAŃ Z SYGNALIZACJĄ ŚWIETLNA**

## **INSTRUKCJA OBLICZANIA**





**GENERALNA DYREKCJA DRÓG KRAJOWYCH I AUTOSTRAD  
w Warszawie**

**MOP-SZS-04**

**METODA OBLICZANIA  
PRZEPUSTOWOŚCI SKRZYŻOWAŃ  
Z SYGNALIZACJĄ ŚWIETLNA**

**INSTRUKCJA OBLICZANIA**

**Warszawa 2004**

„Metodę obliczania przepustowości skrzyżowań z sygnalizacją świetlną”  
opracowano na zlecenie  
Generalnej Dyrekcji Dróg Krajowych i Autostrad, Warszawa, ul. Żelazna 59

Opracowanie: Katedra Budowy Dróg i Inżynierii Ruchu  
Politechnika Krakowska im. T. Kościuszki



Zespół autorski:

prof. dr hab. inż. Marian Tracz  
dr inż. Janusz Chodur – autor kierujący  
dr hab. inż. Stanisław Gaca  
dr inż. Stanisław Gondek  
mgr inż. Mariusz Kieć  
mgr inż. Krzysztof Ostrowski

Współpraca:

mgr inż. Konrad Malicki  
mgr inż. Remigiusz Wojtal  
mgr inż. Krystian Woźniak

Instrukcję zaopiniował:

dr inż. Kazimierz Jamroz – Politechnika Gdańska

Komisja Oceny Przedsięwzięć Inwestycyjnych przy Generalnym Dyrektorsze Dróg Krajowych i Autostrad przyjęła instrukcję na posiedzeniu w dniu 14 kwietnia 2004 r.

Opracowanie redakcyjne: dr inż. Stanisław Gondek

Zdjęcie na okładce: Wojciech T. Bednarski

© Copyright by POLITECHNIKA KRAKOWSKA, 2004

Rozpowszechnianie:

STRADA CONSULTING – Zakład Usług Drogowych, 30-150 Kraków,  
ul. Armii Krajowej 2/62, tel. 0-603-124-095, fax +12-633-62-44

Wydanie:

Wydawnictwo PiT, 31-455 Kraków, ul. Ułanów 54/51  
tel. +12-290-32-10, fax +12-290-32-11

ISBN 83-86219-44-0



## ZARZĄDZENIE NR 20

### GENERALNEGO DYREKTORA DRÓG KRAJOWYCH I AUTOSTRAD z dnia 23. lipca 2004 r.

w sprawie wprowadzenia zasad i metod obliczania  
przepustowości skrzyżowań drogowych.

Na podstawie § 3 ust.2 pkt 1 Regulaminu Organizacyjnego Generalnej Dyrekcji Dróg Krajowych i Autostrad stanowiącego załącznik do Zarządzenia nr 61 Generalnego Dyrektora Dróg Krajowych i Autostrad z dnia 28 maja 2002 roku zmienionego Zarządzeniem nr 66 z dnia 20 sierpnia 2002 roku, Zarządzeniem nr 2 z dnia 21 stycznia 2003 roku, Zarządzeniem nr 9 z dnia 27 maja 2003 roku, Zarządzeniem nr 3 z dnia 29 stycznia 2004 roku oraz Zarządzenia nr 5 z dnia 2 marca 2004 r. zarządza się, co następuje:

#### § 1

Wprowadza się do stosowania w Generalnej Dyrekcji Dróg Krajowych i Autostrad instrukcje obliczania przepustowości skrzyżowań stanowiące załączniki do niniejszego zarządzenia:

1. „Metoda obliczania przepustowości rond – instrukcja obliczania” – określona w załączniku nr 1,
2. „Metoda obliczania przepustowości skrzyżowań z sygnalizacją świetlną – instrukcja obliczania” – określona w załączniku nr 2,
3. „Metoda obliczania przepustowości skrzyżowań bez sygnalizacji świetlnej – instrukcja obliczania” – określona w załączniku nr 3

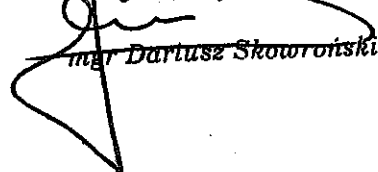
#### § 2

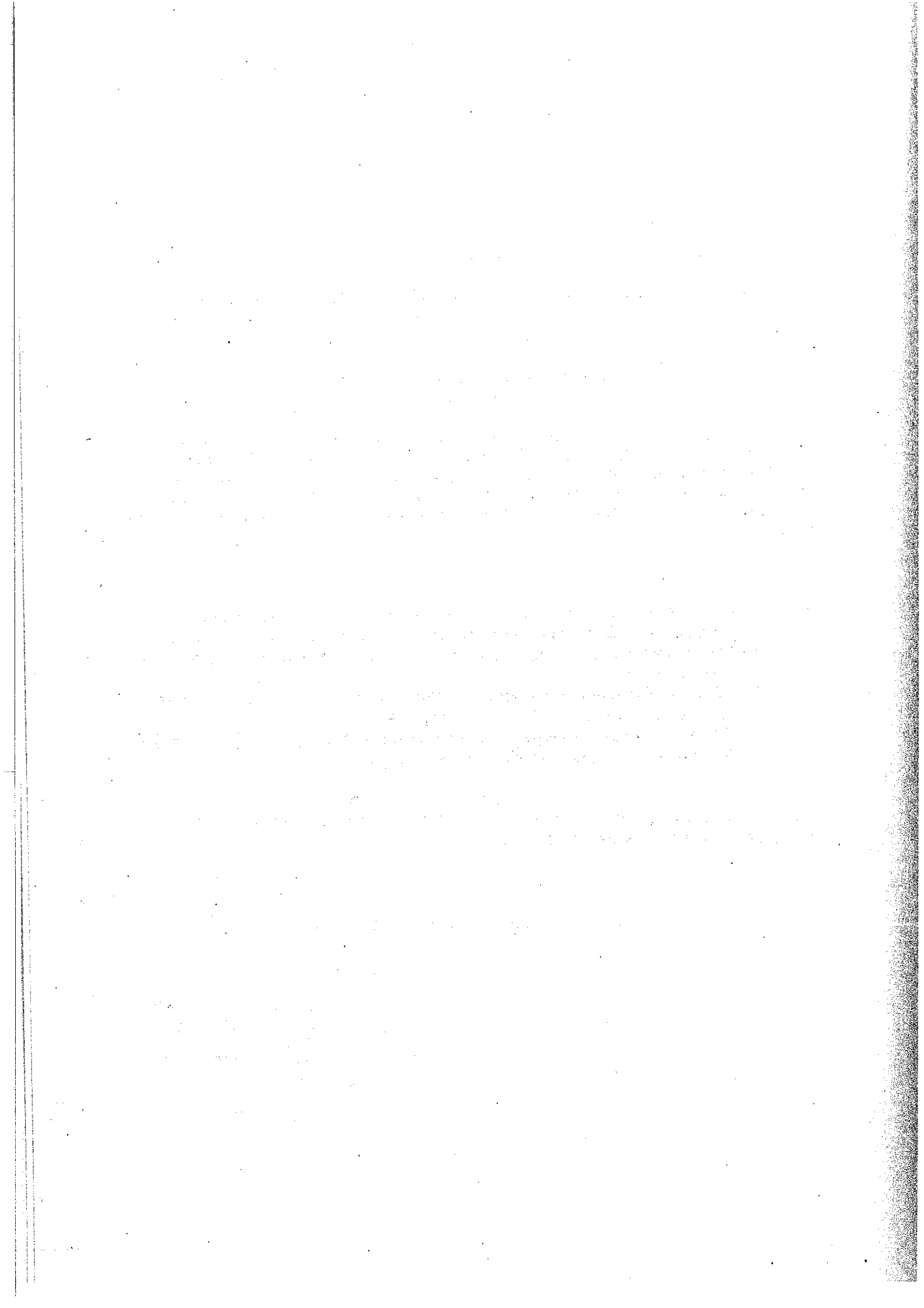
Instrukcje, o których mowa w § 1, zaleca się do stosowania przez zarządców dróg samorządowych oraz jednostki projektowe.

#### § 3

Zarządzenie wchodzi w życie z dniem podpisania

GENERALNY DYREKTOR  
Dróg Krajowych i Autostrad

  
mgr Dariusz Skowroński



## SPIS TREŚCI

	str.
<b>1. WPROWADZENIE .....</b>	<b>10</b>
1.1. Zastosowania metody obliczeniowej .....	10
1.2. Podstawy metody obliczeniowej .....	10
1.3. Określenia podstawowe .....	11
1.4. Podstawowe oznaczenia .....	14
<b>2. METODOLOGIA ANALIZ .....</b>	<b>19</b>
2.1. Metodologia analiz przepustowości .....	19
2.2. Metodologia oceny warunków ruchu .....	22
<b>3. DANE WYJŚCIOWE I USTALENIA DO OBLICZEŃ .....</b>	<b>23</b>
3.1. Zakres danych do analiz przepustowości i warunków ruchu .....	23
3.2. Natężenia miarodajne i okres analiz .....	24
3.3. Obliczeniowe grupy pasów .....	27
3.4. Efektywny sygnał zielony i czas tracony w fazie .....	29
<b>4. OBLICZENIA NATĘŻEŃ NASYCENIA .....</b>	<b>31</b>
4.1. Czynniki wpływające na natężenie nasycenia .....	31
4.2. Procedura obliczania natężenia nasycenia pasa ruchu .....	33
4.3. Natężenie nasycenia relacji na wprost .....	34
4.4. Natężenie nasycenia bezkolizyjnej relacji skrajnej .....	35
4.5. Natężenie nasycenia kolizyjnej relacji w lewo .....	36
4.6. Natężenie nasycenia relacji skrajnej kolizyjnej z ruchem pieszym .....	41
4.7. Natężenie nasycenia pasa ruchu .....	43
4.8. Natężenie nasycenia obliczeniowej grupy pasów .....	44
4.9. Natężenie nasycenia relacji podczas sygnału dopuszczającego skręcanie w kierunku wskazanym strzałką .....	44
4.10. Natężenia nasycenia pasów ruchu na wlotach skrzyżowania z wyspą centralną .....	46
4.11. Wpływ przystanku autobusowego na natężenie nasycenia .....	48
4.12. Wpływ przystanku tramwajowego z wymianą pasażerów na jezdni na natężenie nasycenia .....	51
4.13. Natężenie nasycenia w przypadku krótkiego pasa .....	52
4.13.1. Krótki pas ruchu na wlocie .....	53
4.13.2. Krótki pas ruchu na wylocie .....	54
4.13.3. Równoczesne występowanie krótkich pasów na wlocie i wylocie skrzyżowania .....	55
4.14. Rozkład ruchu w obliczeniowej grupie pasów .....	55
<b>5. OBLICZENIA PRZEPUSTOWOŚCI I POCHODNYCH MIAR SPRAWNOŚCI SKRZYŻOWANIA .....</b>	<b>59</b>
5.1. Ogólne zasady obliczania przepustowości .....	59
5.2. Przepustowość pasa ruchu .....	59
5.3. Przepustowość obliczeniowej grupy pasów .....	59
5.4. Przepustowość wlotu .....	60

5.5. Przepustowość skrzyżowania .....	60
5.6. Stopień obciążenia .....	61
5.7. Przepustowość praktyczna i rezerwa przepustowości .....	62
<b>6. PROCEDURA OCENY WARUNKÓW RUCHU .....</b>	<b>63</b>
6.1. Charakterystyka ogólna miar warunków ruchu .....	63
6.2. Straty czasu .....	65
6.2.1. Straty czasu w obliczeniowej grupie pasów .....	65
6.2.2. Straty czasu na wlocie i na skrzyżowaniu .....	70
6.3. Kolejki pojazdów .....	72
6.3.1. Kolejka pozostająca .....	72
6.3.2. Kolejka maksymalna .....	73
6.3.3. Zasięg kolejki maksymalnej .....	75
6.4. Zatrzymania .....	75
6.5. Klasyfikacja warunków ruchu .....	77
<b>7. UPROSZCZONA METODA OCENY PRZEPUSTOWOŚCI SKRZY- ŻOWANIA Z SYGNALIZACJĄ DO CELÓW PLANISTYCZNYCH .....</b>	<b>79</b>
7.1. Założenia i procedura metody planistycznej .....	79
7.2. Przykład .....	83
<b>8. FORMULARZE OBLICZENIOWE .....</b>	<b>88</b>
<b>9. PRZYKŁADY OBLICZENIOWE .....</b>	<b>103</b>
9.1. Przykład nr 1 – Rozkład ruchu w obliczeniowej grupie pasów .....	103
9.1.1. Przykład nr 1.a – Rozkład ruchu w obliczeniowej grupie trzech pasów .....	103
9.1.2. Przykład nr 1.b – Rozkład ruchu w obliczeniowej grupie czterech pasów ..	105
9.2. Przykład nr 2 – Obliczenie natężeń nasycenia .....	106
9.2.1. Natężenie nasycenia relacji bezkolizyjnych .....	108
9.2.2. Natężenie nasycenia relacji kolizyjnych .....	109
9.2.3. Natężenie nasycenia relacji podczas sygnału dopuszczającego skręca- nie w kierunku wskazanym strzałką .....	115
9.3. Przykład nr 3 – Obliczenie przepustowości obliczeniowych grup pasów .....	116
9.4. Przykład nr 4 – Obliczenie miar warunków ruchu .....	118
9.4.1. Straty czasu i <i>PSR</i> .....	119
9.4.2. Średnia kolejka pozostająca .....	119
9.4.3. Średnia kolejka maksymalna .....	119
9.4.4. Kwantyl 95 % z rozkładu kolejek maksymalnych .....	120
9.4.5. Zasięg kolejki maksymalnej .....	120
9.4.6. Zatrzymania .....	120
9.5. Przykład nr 5 – Sprawdzenie przepustowości wlotu D skrzyżowania z wyspą centralną .....	136
9.5.1. Natężenie nasycenia relacji bezkolizyjnych .....	137
9.5.2. Natężenie nasycenia relacji kolizyjnych .....	138
9.5.3. Stopień nasycenia grup pasów na wlotach D i D' .....	138
9.5.4. Przepustowość grup pasów na wlotach D i D' .....	140
9.5.5. Wewnętrzna powierzchnia akumulacyjna D' dla relacji AL .....	143
<b>LITERATURA .....</b>	<b>144</b>

<b>ZAŁĄCZNIK 1 – Procedura obliczeniowa średnich strat czasu w kolejnych podokresach godziny z uwzględnieniem przenoszenia się kolejki na następny podokres .....</b>	<b>146</b>
<b>ZAŁĄCZNIK 2 – Natężenie nasycenia relacji skrętnej z kolizyjnym ruchem podczas sygnału dopuszczającego skręcanie w kierunku wskazanym strzałką .....</b>	<b>157</b>

## SPIS TABEL I FORMULARZY

4.1. Czynniki uwzględniane w obliczeniach natężenia nasycenia pasów ruchu .....	32
4.2. Prawdopodobne maksymalne ilości pojazdów $N_{max}$ przy dojeżdżających średnio $N_{sr}$ pojazdach .....	48
6.1. Wartości współczynnika $r_s$ dla danego typu sterowania .....	67
6.2. Wartości współczynnika $w_s$ uwzględniającego obecność sąsiednich skrzyżowań z sygnalizacją świetlną .....	67
6.3. Zależność pomiędzy typem dopływu a wskaźnikiem rozproszenia kolumn pojazdów dojeżdżających do wlotu $R_p$ .....	68
6.4. Współczynnik koordynacji $f_k$ dla regularnych strat czasu $d_1$ (wartości bazują na zalecanych wartościach $R_p$ i $f_{PG}$ ) .....	69
6.5. Graniczne straty czasu $d$ dla poszczególnych poziomów swobody ruchu .....	77
7.1. Wartości natężeń nasycenia i współczynniki ekwiwalentne do analiz planistycznych .....	80
8.1. Formularze używane przy analizie skrzyżowania z sygnalizacją świetlną .....	89
Formularz 1 – OBLICZANIE NATĘŻEŃ NASYCENIA RELACJI: Natężenie nasycenia relacji bezkolizyjnej .....	90
Formularz 2 – OBLICZANIE NATĘŻEŃ NASYCENIA RELACJI: Natężenie nasycenia skrętnej kolizyjnej z ruchem pieszym .....	91
Formularz 3... – OBLICZANIE NATĘŻEŃ NASYCENIA RELACJI: Natężenie nasycenia relacji w lewo kolizyjnej z pojazdami z przeciwnego wlotu i z ruchem pieszym .....	92
Formularz 3s – OBLICZANIE NATĘŻEŃ NASYCENIA RELACJI PODCZAS SYGNAŁU DOPUSZCZAJĄCEGO SKRĘCANIE W KIERUNKU WSKAZANYM STRZAŁKĄ: – relacja z wydzielonego pasa ruchu, – relacja ze wspólnego pasa ruchu .....	93
Formularz 4... – OBLICZANIE NATĘŻEŃ NASYCENIA PASÓW I GRUP PASÓW: Rozkład ruchu w obliczeniowych grupach pasów na wlocie ..., Natężenie nasycenia pasów i obliczeniowych grup pasów na wlocie ....	94
Formularz 4a – WPŁYW PRZYSTANKU AUTOBUSOWEGO: Wpływ przystanku autobusowego zlokalizowanego na wlocie; Wpływ przystanku autobusowego zlokalizowanego na wylocie .....	95
Formularz 4t – WPŁYW PRZYSTANKU TRAMWAJOWEGO Z WYMIANĄ PASAŻERÓW NA JEZDNI .....	96
Formularz 5 – OBLICZANIE PRZEPUSTOWOŚCI .....	97
Formularz 6.1 – OBLICZANIE MIAR WARUNKÓW RUCHU: Dane do obliczania miar warunków ruchu .....	98

Formularz 6.2	– OBLICZANIE MIAR WARUNKÓW RUCHU: Straty czasu, PSR .....	99
Formularz 6.3	– OBLICZANIE MIAR WARUNKÓW RUCHU: Kolejka pozostająca, Kolejka maksymalna, Zatrzymania .....	100
Formularz 7.1	– ZESTAWIENIE ZBIORCZE PARAMETRÓW .....	101
Formularz 7.2	– ZESTAWIENIE ZBIORCZE PARAMETRÓW cd. ....	102
Z.1.1.	Zestawienie zmiennych modelu strat czasu dla poszczególnych przypadków .....	150
Formularz 3ks	– NATEŻENIE NASYCENIA RELACJI PODCZAS SYGNAŁU DOPUSZCZAJĄCEGO SKRĘCANIE W KIERUNKU WSKAZANYM STRZAŁKĄ: – relacja kolizyjna z wydzielonego pasa ruchu .....	161

## SPIS RYSUNKÓW

1.1.	Elementy geometryczne i organizacji ruchu na skrzyżowaniu z sygnalizacją .....	12
2.1.	Schemat metodologii analiz przepustowości i oceny warunków ruchu .....	20
3.1.	Okresy analizy przepustowości i warunków ruchu .....	26
3.2.	Przykłady grup pasów na wlocie skrzyżowania .....	28
3.3.	Wyznaczone grupy pasów i ich praktycznie możliwe wykorzystanie na wlotach o określonej organizacji ruchu, np. w różnych porach dnia .....	28
3.4.	Ilustracja nateżenia nasycenia i efektywnego sygnału zielonego .....	29
4.1.	Wpływ promienia skrętu na nateżenie nasycenia wydzielonego pasa ruchu dla bezkolizyjnej relacji skrętnej .....	36
4.2.	Fazy ruchu pojazdów kolizyjnego skrętu w lewo .....	37
4.3.	Ilustracja wewnętrznej powierzchni akumulacyjnej dla pojazdów skręcających w lewo w fazie kolizyjnej z ruchem z przeciwległego wlotu .....	39
4.4.	Wpływ nateżenia nadrzędnego pojazdów $Q_n$ , liczby pasów nadrzędnych $n$ , długości cyklu $T$ i udziału sygnału zielonego efektywnego w cyklu $\lambda$ na nateżenie nasycenia kolizyjnego skrętu w lewo .....	40
4.5.	Wpływ nateżenia nadrzędnego pojazdów $Q_n$ , pojemności wewnętrznej powierzchni oczekiwania $a$ i długości cyklu $T$ na nateżenie nasycenia kolizyjnego skrętu w lewo ....	40
4.6.	Wpływ nateżenia nadrzędnego pojazdów $Q_n$ i nateżenia ruchu pieszego $QP$ i długości cyklu $T$ na nateżenie nasycenia kolizyjnego skrętu w lewo .....	41
4.7.	Ilustracja powierzchni akumulacji dla pojazdów skręcających w prawo przy dopuszczonej kolizji z ruchem pieszym .....	42
4.8.	Wpływ nateżenia ruchu pieszego $QP$ , długości cyklu $T$ i udziału sygnału zielonego efektywnego w cyklu $\lambda$ na nateżenie nasycenia kolizyjnego skrętu w prawo ....	43
4.9.	Ilustracja wyróżnionych przypadków warunkowego skrętu w czasie nadawania sygnału dopuszczającego skręcanie w kierunku wskazanym strzałką; a) z wydzielonego pasa, b) ze wspólnego pasa .....	45
4.10.	Przykład skrzyżowania z wyspą centralną .....	47
4.11.	Przystanek autobusowy zlokalizowany na pasie ruchu na wlocie skrzyżowania (a) i na wlocie skrzyżowania (b) .....	49
4.12.	Przystanek tramwajowy na wlocie skrzyżowania bez peronu przystankowego .....	51
4.13.	Przykłady krótkich pasów ruchu na wlocie skrzyżowania z różną organizacją ruchu .....	52

4.14. Przykłady krótkich pasów na wylocie skrzyżowania. Przypadek a) może dotyczyć sytuacji, gdy występuje redukcja liczby pasów. Przypadek b) może obrazować ograniczenie długości pasa spowodowane parkowaniem pojazdów .....	55
4.15. Przykłady określania liczby pasów wydzielonych i wspólnych w grupie pasów .....	56
4.16. Natężenia relacji W korzystającej z wydzielonych pasów 1 i 2 ( $Q_{W1}$ i $Q_{W2}$ ) obliczone z wzoru (4.34) .....	57
4.17. Natężenie relacji W korzystającej ze wspólnego pasa 3 ( $Q_{W3}$ ), gdy w grupie jest jeden pas wspólny, obliczone z wzoru (4.35) .....	57
4.18. Natężenie relacji W korzystającej ze wspólnych pasów 1 i 2 ( $Q_{W1}$ i $Q_{W2}$ ), gdy w grupie występują dwa pasy wspólne, obliczone z wzoru (4.36) .....	57
6.1. Przykład ilustrujący przypadek z kolejką pozostającą .....	65
6.2. Wpływ rodzaju sterowania na wielkość losowych strat czasu .....	67
6.3. Ilustracja składowych strat czasu; stałych (powierzchnie kreskowane poziomo) oraz losowych i przeciążeń (powierzchnie kreskowane pionowo) .....	69
6.4. Wpływ parametrów: $X$ , $T$ , $\lambda$ oraz $t_a$ na średnie straty czasu pojazdów .....	71
6.5. Wpływ wartości stopnia obciążenia $X$ oraz parametrów sterowania $T$ i $\lambda$ na średnią kolejkę pozostającą $K_p$ .....	73
6.6. Wpływ stopnia obciążenia $X$ oraz parametrów sterowania $T$ i $\lambda$ na długość średniej kolejki maksymalnej $K_m$ .....	74
6.7. Wpływ wartości stopnia obciążenia $X$ oraz parametrów sterowania $T$ i $\lambda$ na średnią liczbę zatrzymań $z$ .....	76
7.1. Wykres do wyznaczania wartości natężenia nasycenia skrętu w lewo kolizyjnego z pojazdami z przeciwnego wlotu i z pieszymi .....	81
7.2. Wykres do wyznaczania wartości współczynnika ekwiwalentnego pojazdów relacji skrętu w lewo kolizyjnego z pojazdami z przeciwnego wlotu i z pieszymi .....	81
7.3. Schemat skrzyżowania i prognozowane natężenia ruchu do przykładu obliczeniowego .....	84
7.4. Schemat skrzyżowania po rozbudowie i prognozowane natężenia ruchu do przykładu obliczeniowego .....	86
9.1. Schemat skrzyżowania z danymi do przykładów obliczeniowych w p. 9.2 ÷ 9.4 .....	107
9.2. Schemat skrzyżowania z danymi do przykładu obliczeniowego w p. 9.5 .....	136
Z1.1. Przypadek III: Kolejka początkowa i powiązane z nią straty czasu zostają rozładowane w podokresie analizy $t_a$ .....	147
Z1.2. Przypadek IV: Kolejka początkowa i powiązane z nią straty czasu maleją i częściowo przechodzą do kolejnego podokresu analizy $t_a$ .....	147
Z1.3. Przypadek V: Kolejka początkowa i powiązane z nią straty czasu wzrastają w czasie i przechodzą do kolejnego podokresu analizy $t_a$ .....	148
Z1.4. Profil natężenia ruchu w podokresach $t_a = 15$ min analizy w godzinie .....	152
Z1.5. Ilustracja składowych strat czasu dla analizy wieloprzędziałowej .....	155
Z1.6. Porównanie wyników trzech metod analizy średnich strat czasu w godzinie .....	156
Z2.1. Ilustracja wyróżnionych przypadków skrętu w czasie nadawania sygnału dopuszczającego kolizyjne skręcanie w kierunku wskazanym strzałką; a) z wydzielonego pasa, b) ze wspólnego pasa .....	157
Z2.2. Natężenie nasycenia dla relacji w prawo na wydzielonym pasie z sygnałem dopuszczającym skręcanie w kierunku wskazanym strzałką .....	158

## 1. WPROWADZENIE

### 1.1. Zastosowania metody obliczeniowej

Przedmiotem instrukcji jest metoda obliczania przepustowości pasów ruchu oraz oceny warunków ruchu pojazdów na wlotach skrzyżowań z sygnalizacją świetlną.

Metoda dotyczy skrzyżowań sterowanych stałoczasową, jak również akomodacyjną i acykliczną sygnalizacją świetlną. W przypadku sygnalizacji akomodacyjnych lub acyklicznych może być wykorzystywana do sprawdzania przepustowości dla tzw. programu maksymalnego realizowanego w okresach występowania ruchu szczytowego oraz chwilowych przeciążeń skrzyżowania.

Procedury zawarte w metodzie umożliwiają analizę funkcjonowania wlotów skrzyżowań z sygnalizacją; zwykłych – w tym skrzyżowań o poszerzonych wlotach oraz skrzyżowań skanalizowanych [22]:

- a) ze skanalizowanymi wlotami jednej lub obydwu krzyżujących się dróg,
- b) z wyspą centralną,
- c) z szerokim pasem dzielącym,
- d) o przesuniętych wlotach.

Procedury projektowania skrzyżowań (b), (c) i (d) obejmują dodatkowo projektowanie i sprawdzenie przepustowości powierzchni akumulacyjnych wewnątrz skrzyżowania, które oprócz wlotów decydują o sprawności skrzyżowania. Metoda obliczania przepustowości może być pomocna do projektowania tych elementów skrzyżowań.

Procedury przedstawione w metodzie mogą być użyte do oceny sprawności skrzyżowania lub jego poszczególnych wlotów, przy podejmowaniu decyzji o potrzebie przebudowy istniejącego skrzyżowania bądź w procesie projektowania nowego skrzyżowania z sygnalizacją, przy projektowaniu programu sygnalizacji oraz przy analizie celowości zainstalowania sygnalizacji na skrzyżowaniu istniejącym.

Metoda umożliwia szacowanie miar sprawności skrzyżowania, które mogą być następnie wykorzystane w obliczeniach oddziaływań na środowisko, np. w odniesieniu do zużycia paliwa, emisji zanieczyszczeń powietrza i poziomu hałasu.

W analizie warunków ruchu mogą być uwzględniane zarówno wloty o losowym dopływie pojazdów, jak i wloty, do których dopływają pojazdy w grupach tworzonych na wlotach pobliskich skrzyżowań z sygnalizacją.

Metodologia analiz nie obejmuje przypadków szacowania wpływu zatłoczenia na wylocie skrzyżowania na jego funkcjonowanie, a także zatłoczenia powierzchni akumulacyjnych na skrzyżowaniach z wyspą centralną oraz z szerokim pasem dzielącym. Procedury obliczeniowe nie uwzględniają także możliwości bezpośredniej analizy warunków ruchu na wlotach skrzyżowań w szczególnych, nietypowych przypadkach (np. sąsiedztwa przejazdu kolejowego). W takich przypadkach można zastosować inne narzędzia, np. modele symulacyjne.

### 1.2. Podstawy metody obliczeniowej

Do obliczania przepustowości i oceny warunków ruchu pojazdów na pasach lub obliczeniowych grupach pasów ruchu i na wlotach skrzyżowań z sygnalizacją świetlną jest stosowanych kilka metod bazujących głównie na wynikach pomiarów natężeń nasycenia oraz na wynikach badań symulacyjnych. Metody te to: HCM – wydania z 1985, 1994 i 2000 roku [10,



11, 12], brytyjska metoda TRL OSCADY [5], australijska metoda SIDRA [1, 2, 3], metoda kanadyjska [19], metoda niemiecka HBS [9] i metoda szwedzka [4]. Metody te, dzięki szerokiej wymianie upowszechnianych wyników badań w ramach prac amerykańskiego Highway Capacity Committee TRB i przeglądowych konferencji [17, 18], mają wiele elementów wspólnych, a wykonywane nimi obliczenia wykazują dość dobrą zgodność wyników.

W Polsce projektanci korzystali z metody obliczania przepustowości opracowanej w 1992 roku [21] na podstawie polskich badań natężeń nasycenia i badań symulacyjnych z wykorzystaniem pewnych elementów metod zagranicznych. Nowe wyniki prac badawczych spowodowały konieczność aktualizacji tej metody.

W opracowaniu nowej wersji polskiej metody uwzględniono ograniczone krajowe badania empiryczne i symulacyjne oraz wyniki badań wraz ze zmianami wprowadzonymi w metodach zagranicznych [1, 9, 10, 17, 18, 19]. W obecnej metodzie uwzględniono w możliwie dużym stopniu krajową specyfikę projektowania i funkcjonowania skrzyżowań z sygnalizacją świetlną.

Przy opracowywaniu metody obliczeniowej uwzględnione zostały nowe uwarunkowania w projektowaniu skrzyżowań z sygnalizacją wynikające z opublikowanego 23 grudnia 2003 r. Rozporządzenia Ministra Infrastruktury w sprawie szczegółowych warunków technicznych dla znaków i sygnałów drogowych oraz urządzeń bezpieczeństwa ruchu drogowego i warunków ich umieszczania na drogach [15]. Metoda obejmuje również procedury obliczeniowe pozwalające na ocenę funkcjonowania istniejących skrzyżowań z sygnalizacją, na których stosowane są rozwiązania dopuszczone przez rozporządzenie [15] do dnia 31.12.2008 r. (kolizyjny przebieg relacji skrętu w lewo we wspólnej fazie z ruchem z przeciwległego wlotu prowadzonym na dwóch lub większej liczbie pasów – rozdz. 4.5, ruch przy sygnale dopuszczającym skręcanie w kierunku wskazanym strzałką – wcześniej sygnale jazdy warunkowej – o kolizyjnym przebiegu z ruchem pojazdów i/lub pieszych – zał. 2). Potrzeba takich ocen wynika głównie z konieczności obliczania miar efektywności do przeprowadzenia analiz sprawności skrzyżowań przy ich przebudowie lub zmianie organizacji ruchu.

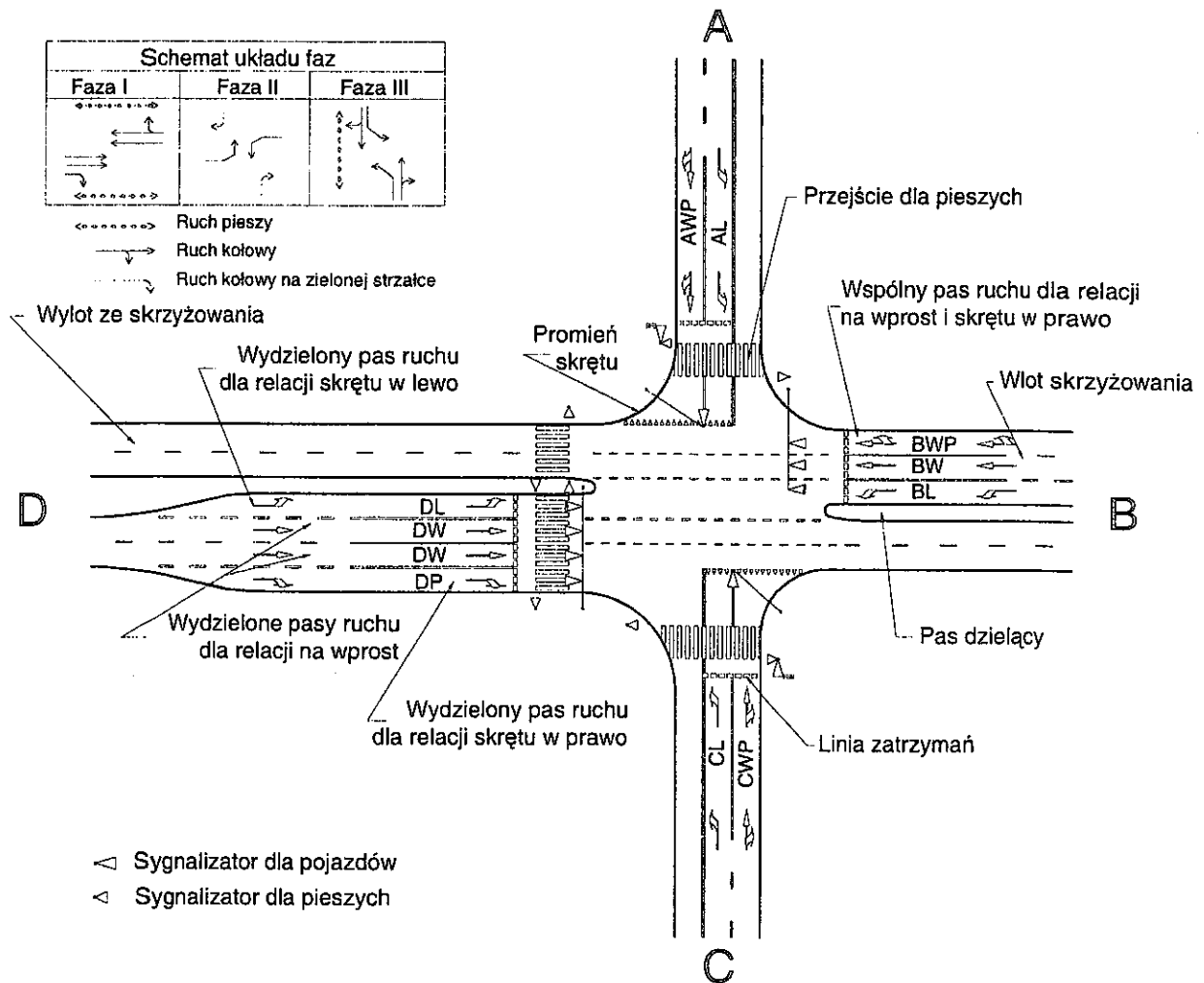
### 1.3. Określenia podstawowe

Elementy geometryczne i organizacji ruchu na skrzyżowaniu z sygnalizacją, do których odnoszą się poniższe określenia zilustrowano na rys. 1.1.

**Przepustowość pasa ruchu ( $C_j$ )** – jest to maksymalna liczba pojazdów, które mogą przejechać linię zatrzymań pasa ruchu przy określonych warunkach: geometrycznych, otoczenia, ruchu i przy określonym programie sygnalizacji w danym okresie z przeliczeniem na godzinę [P/h]. Analizowanym okresem jest zwykle 15 minut lub 1 godzina.

**Przepustowość obliczeniowej grupy pasów ( $C_{gr}$ )** – jest to maksymalna liczba pojazdów, które mogą przejechać linię zatrzymań obliczeniowej grupy pasów ruchu przy określonych warunkach: geometrycznych, otoczenia, strukturze kierunkowej ruchu i przy określonym programie sygnalizacji w danym okresie analizy z przeliczeniem na godzinę [P/h]. Analizowanym okresem jest zwykle 15 minut lub 1 godzina.

**Przepustowość wlotu skrzyżowania ( $C_{wl}$ )** – jest sumą natężeń ruchu w poszczególnych obliczeniowych grupach pasów na wlocie w stanie, gdy w jednej z grup natężenie osiągnęło wartość przepustowości. Jest to przepustowość obliczona wg tzw. krytycznej obliczeniowej grupy pasów na wlocie, nazywana też *przepustowością sprowadzoną wlotu*. Zmiana struktury kierunkowej ruchu na wlocie wpływa na zmianę przepustowości wlotu skrzyżowania.



Rys. 1.1. Elementy geometryczne i organizacji ruchu na skrzyżowaniu z sygnalizacją

Przepustowość skrzyżowania ( $C_{sk}$ ) – jest sumą natężeń ruchu w poszczególnych obliczeniowych grupach pasów na wszystkich wlotach skrzyżowania w stanie, gdy w jednej z grup natężenie osiągnęło wartość przepustowości. Jest to przepustowość wyznaczona na podstawie przepustowości krytycznej obliczeniowej grupy pasów wybranej spośród grup pasów na wszystkich wlotach, nazywana też *przepustowością sprowadzoną skrzyżowania*. Zmiana struktury kierunkowej ruchu na skrzyżowaniu wpływa na zmianę przepustowości skrzyżowania.

Przepustowość praktyczna obliczeniowej grupy pasów ( $C_{p,gr}$ ), wlotu ( $C_{p,wl}$ ) lub skrzyżowania ( $C_{p,sk}$ ) – jest to przepustowość jak zdefiniowano powyżej, lecz z uwzględnieniem warunków ruchu opisywanych przez przyjęty dopuszczalny stopień obciążenia, odpowiednio grupy pasów, wlotu lub skrzyżowania.

Relacja kolizyjna w lewo – relacja skrótu w lewo, której pojazdy, zjeżdżając ze skrzyżowania, muszą oddać pierwszeństwo pojazdom relacji priorytetowych z przeciwnego wlotu i/lub pieszym na przejściu na wylocie ze skrzyżowania.

Relacja kolizyjna w prawo – relacja skrótu w prawo, której pojazdy, zjeżdżając ze skrzyżowania, muszą oddać pierwszeństwo pieszym na przejściu na wylocie ze skrzyżowania.

Relacja bezkolizyjna – relacja, której pojazdy zjeżdżają w czasie sygnału zielonego przy

wstrzymanym ruchu kolidujących z nią pojazdów i pieszych.

**Strumień kolizyjny priorytetowy** – strumień ruchu, który jest kolizyjny w stosunku do analizowanej relacji i ma przed nią pierwszeństwo przejazdu.

**Obliczeniowa grupa pasów ruchu** – pasy ruchu, które są analizowane w obliczeniach przepustowości wspólnie (rys. 3.2) i na których pojazdy jednej, dwóch lub trzech relacji tworzą wspólne lub zależne od siebie kolejki pojazdów. Mogą to być pasy ruchu prowadzące relacje na wprost ( $\uparrow\uparrow$ ) lub relacje na wprost i skątne ( $\uparrow\uparrow\downarrow$ ), a także pasy przeznaczone tylko dla relacji w lewo ( $\uparrow\downarrow$ ) lub w prawo ( $\downarrow$ ) bądź pasy przeznaczone dla relacji w lewo i w prawo ( $\uparrow\downarrow$ ). Dwa lub więcej pasów ruchu należy do tej samej obliczeniowej grupy pasów, jeśli pojazdy co najmniej jednej z relacji mogą wykonać zamierzony manewr, z każdego z tych pasów.

**Program sygnalizacji** – określony w czasie sposób cyklicznego sterowania ruchem, opisany w poszczególnych chwilach sterowania zestawem nadawanych sygnałów, zapewniający obsługę wszystkich strumieni kolizyjnych przy zachowaniu warunków bezpieczeństwa.

**Rodzaj sterowania ruchem** – określa sposób realizacji programu sygnalizacji na pojedynczym skrzyżowaniu (stałoczasowa, akomodacyjna lub acykliczna) lub na przejściu dla pieszych (wzbudzana).

**Cykl sygnalizacji** – minimalny powtarzalny uporządkowany zbiór sygnałów w programie sygnalizacji o określonej strukturze, zapewniający każdemu z uczestników ruchu co najmniej jednokrotne otrzymanie sygnału zielonego.

**Długość cyklu ( $T$ )** – czas trwania jednego cyklu sygnalizacji.

**Faza sygnalizacyjna** – czas obejmujący sąsiadujące ze sobą przedziały sygnalizacyjne, w których dla określonego zbioru strumieni ruchu nadawany jest sygnał zielony.

**Struktura programu sygnalizacji** – uporządkowany zbiór faz sygnalizacyjnych.

**Sygnał zielony ( $G$ )** – czas trwania sygnału zielonego nadawanego przez sygnalizatory ogólne, kierunkowe lub sygnalizatory z sygnałem dopuszczającym skręcanie w kierunku wskazanym strzałką.

**Czas międzzielony ( $t_m$ )** – czas między chwilami zakończenia i rozpoczęcia sygnałów zielonych dla dwóch wzajemnie kolizyjnych strumieni ruchu, z których pierwszy jest strumieniem ewakuującym się, a drugi wjeżdżającym lub wkraczającym.

**Efektywny sygnał zielony ( $G_e$ )** – długość ekwiwalentnego czasu, w którym pas ruchu jest w pełni wykorzystany przez strumień mający zezwolenie na wjazd i w którym natężenie potoku zjeżdżającego z tego pasa może być reprezentowane przez stałe natężenie nasycenia (rys. 3.4).

**Efektywny sygnał czerwony ( $R_e$ )** – jest umownym czasem braku zezwolenia na wjazd z określonego pasa ruchu będącym różnicą pomiędzy długością cyklu a długością efektywnego czasu sygnału zielonego dla rozważanego pasa ruchu.

**Czas tracony ( $t_s$ )** – czas, w którym pas lub obliczeniowa grupa pasów nie są efektywnie wykorzystywane przez żaden ze strumieni ruchu; czas ten związany jest z czasem międzzielonym, kiedy pojazdy opuszczają skrzyżowanie, i stratami przy ruszaniu pierwszych pojazdów z kolejki w rozpoczynającej się fazie. Czas tracony określa się dla poszczególnych faz sygnalizacyjnych i dla całego cyklu.

**Strata czasu ( $d$ )** – dodatkowy czas potrzebny na przejechanie skrzyżowania z sygnalizacją

światlną – w stosunku do czasu przejazdu przez skrzyżowanie bez zakłóceń (bez zatrzymania na wlocie) – związany z opóźnieniem przy dojeździe do kolejki oraz oczekiwaniem pojazdu w kolejce.

**Długość kolejki ( $K$ )** – jest stanem kolejki wyrażonym przez liczbę pojazdów, które zatrzymują się na pasie ruchu z powodu wyświetlania sygnału czerwonego lub w celu przepuszczenia pojazdów strumienia priorytetowego. Jej długość jest określana dla stanu ruchu na początku sygnału zielonego (kolejka maksymalna –  $K_m$ ) i stanu ruchu na końcu sygnału zielonego (kolejka pozostająca –  $K_p$ ).

**Zasięg kolejki maksymalnej ( $L_K$ )** – jest to odległość końca kolejki maksymalnej od linii zatrzymania. Odległość ta często odnosi się do stanu ruchu, w którym ostatni pojazd dołącza do kolejki w chwili, kiedy pojazdy z początku kolejki już ruszają, a pojazdy na jej końcu jeszcze nie ruszyły.

**Natężenie nasycenia ( $S$ )** – maksymalne natężenie strumienia pojazdów, które mogą przejechać linię zatrzymań danego pasa lub obliczeniowej grupy pasów ruchu, przy danych warunkach ruchowych i drogowych w okresie godziny efektywnego sygnału zielonego. Wartość natężenia nasycenia jest podawana w pojazdach rzeczywistych lub w pojazdach umownych na godzinę sygnału zielonego.

**Stopień nasycenia ( $Y$ )** pasa lub obliczeniowej grupy pasów – stosunek natężenia ruchu do natężenia nasycenia ( $Y = Q/S$ ).

**Stopień obciążenia ( $X$ )** pasa lub obliczeniowej grupy pasów – stosunek natężenia ruchu do przepustowości ( $X = Q/C$ ).

**Poziom swobody ruchu ( $PSR$  I, II, III i IV)** – jest to miara warunków ruchu, uwzględniająca odczucia kierowców i innych użytkowników dróg. Klasyfikacja warunków ruchu do poszczególnych poziomów swobody odbywa się według kryteriów opisowych bądź ilościowych (głównie na podstawie kryterium strat czasu). W niniejszej metodzie przyjęto podział warunków ruchu na 4 poziomy (I ÷ IV).

**Okres analizy ( $t_a$ )** – przedział czasu, w którym są analizowane warunki ruchu. Zazwyczaj przyjmowany o długości 15 minut, z wyjątkiem sytuacji, kiedy obliczeniowa grupa pasów ruchu jest przeciążona ruchem. Wtedy okres  $t_a$  może przyjmować większą długość.

**Okres przeciążenia** – przedział czasu, w którym obliczeniowa grupa pasów ruchu (wlot, skrzyżowanie) jest przeciążona, co ma miejsce przy stopniu obciążenia  $X > 1$ .

**Krytyczna obliczeniowa grupa pasów ruchu** – obliczeniowa grupa pasów ruchu o najwyższym stopniu nasycenia  $Y$ .

#### 1.4. Podstawowe oznaczenia

A, B, C, D – symbole wlotów skrzyżowania w kolejności zgodnej z ruchem wskazówek zegara. Zaleca się oznaczać wloty, rozpoczynając od wlotu północnego,

L, W, P – symbole relacji na wlocie odpowiednio w lewo, na wprost i w prawo,

AL, BL, CL, DL – symbole relacji skrętu w lewo odpowiednio z wlotów A, B, C i D,

AW, BW, CW, DW – symbole relacji na wprost odpowiednio z wlotów A, B, C i D,

AP, BP, CP, DP – symbole relacji skrętu w prawo odpowiednio z wlotów A, B, C i D,

$PSR_i$  – poziom swobody ruchu,  $i = I, II, III, IV$ ,

- $P/h, E/h$  – wielkość natężenia ruchu wyrażona w pojazdach rzeczywistych na godzinę lub w jednostkach umownych (samochodach osobowych) na godzinę,
- $Q_r$  – natężenie ruchu relacji  $r$  [P/h], [E/h],
- $Q_{gr}$  – sumaryczne natężenie ruchu w obrębie obliczeniowej grupy pasów [P/h], [E/h],
- $Q_j$  – natężenie ruchu na pasie  $j$  ( $j = 1, 2, \dots$ ) [P/h], [E/h],
- $Q_{rj}$  – natężenie ruchu relacji  $r$  na pasie  $j$  ( $j = 1, 2, \dots$ ) [P/h], [E/h],
- $Q_{wl}$  – natężenie ruchu na wlocie  $wl$  skrzyżowania ( $wl = A, B, C, D$ ) [P/h], [E/h],
- $Q_o$  – pomierzone lub prognozowane natężenie ruchu w rozważanej godzinie [P/h],
- $Q$  – obliczeniowe natężenie ruchu z uwzględnieniem zmienności ruchu w godzinie, wyrażanej przez wskaźnik  $k_{15}$  [P/h],
- $Q_n$  – nadrzędne natężenie ruchu pojazdów mających pierwszeństwo przejazdu przed relacją skrętu w lewo lub w prawo [P/h],
- $k_{15}$  – wskaźnik zmienności ruchu w godzinie [-],
- $q_{15}^{\max}$  – natężenie w szczytowym kwadransie analizowanej godziny [P/15 min],
- $QP$  – natężenie ruchu pieszego [Ps/h],
- $E_c$  – współczynnik ekwiwalentny, przeliczający pojazdy ciężkie (samochody ciężarowe bez i z przyczepami, autobusy zwykłe i przegubowe itp.) na pojazdy umowne (samochody osobowe),
- $u_c$  – udziały pojazdów ciężkich w natężeniu ruchu [-],
- $u_r$  – udziały pojazdów poszczególnych relacji  $r$  (w lewo – L, na wprost – W, w prawo – P) w natężeniu ruchu na pasie, w obliczeniowej grupie pasów, na wlocie [-],
- $t_g$  – graniczny odstęp czasu pojazdów skręcających w lewo w fazie kolizyjnej z ruchem z przeciwległego wlotu [s],
- $t_f$  – odstęp czasu między skręcającymi w lewo pojazdami zjeżdżającymi jeden za drugim z powierzchni oczekiwania wewnątrz skrzyżowania w fazie kolizyjnej z ruchem z przeciwległego wlotu [s],
- $\Delta t_n$  – odstęp czasu między – mającymi pierwszeństwo w stosunku do relacji skrętu w lewo – pojazdami zjeżdżającymi z kolejki z przeciwległego wlotu [s],
- $\Delta t$  – przeciętny odstęp czasu pomiędzy kolejnymi pojazdami relacji bezkolizyjnych opuszczającymi kolejkę, mierzony na linii zatrzymań [s],
- $S$  – natężenie nasycenia [P/hz],
- $S_n$  – natężenie nasycenia na pasie ruchu, z którego zjeżdżająca kolejka pojazdów blokuje relację w lewo z przeciwległego wlotu [P/hz],
- $S_r$  – natężenie nasycenia na pasie prowadzącym jedną relację  $r$  (w lewo – L, na wprost – W, w prawo – P) [P/hz],

- $S_{Lg}$  – natężenie nasycenia relacji kolizyjnego skrętu w lewo w lukach strumienia priorytetowego [E/hz],
- $S_{Lm}$  – natężenie nasycenia relacji kolizyjnego skrętu w lewo wynikające ze zjazdu pojazdów w czasie międzyzielonym z wewnętrznej powierzchni oczekiwania [E/hz],
- $S_j$  – natężenie nasycenia na pasie  $j$  prowadzącym jedną lub więcej relacji [P/hz],
- $S_j^w$  – natężenie nasycenia na pasie  $j$  prowadzącym jedną lub więcej relacji bez uwzględnienia wpływu przystanków autobusowych i/lub tramwajowych [P/hz],
- $S_{zs}$  – natężenie nasycenia pasa ruchu podczas sygnału dopuszczającego skręcanie w kierunku wskazanym strzałką [P/hz],
- $\Delta S_w$  – poprawka, o jaką zwiększa się natężenie nasycenia relacji na wprost z uwagi na szerokość pasa ruchu większą niż 4,2 m [P/hz],
- $\Delta S_{Lp}$  – poprawka natężenia nasycenia relacji kolizyjnego skrętu w lewo uwzględniająca wpływ pieszych [E/hz],
- $\Delta S$  – poprawka, o jaką zwiększa się natężenie nasycenia relacji skrętu w prawo ze wspólnego pasa na wlocie z uwagi na pojazdy opuszczające wlot podczas sygnału dopuszczającego skręcanie w kierunku wskazanym strzałką [P/hz],
- $C_j$  – przepustowość pasa ruchu  $j$  [P/h],
- $C_{gr}$  – przepustowość obliczeniowej grupy pasów [P/h],
- $C_{wl}$  – przepustowość wlotu [P/h],
- $C_{sk}$  – przepustowość skrzyżowania [P/h],
- $C_{p,gr}$  – praktyczna przepustowość obliczeniowej grupy pasów [P/h],
- $C_{p,wl}$  – praktyczna przepustowość wlotu [P/h],
- $C_{p,sk}$  – praktyczna przepustowość skrzyżowania [P/h],
- $\Delta C_{p,gr}$  – rezerwa przepustowości praktycznej obliczeniowej grupy pasów [P/h],
- $\Delta C_{p,wl}$  – rezerwa przepustowości praktycznej wlotu [P/h],
- $\Delta C_{p,sk}$  – rezerwa przepustowości praktycznej skrzyżowania [P/h],
- $f_p$  – współczynnik uwzględniający wpływ pieszych na przejściu na wlocie na natężenie nasycenia relacji skrętnej,
- $f_a$  – współczynnik korygujący natężenie nasycenia ze względu na przystanek autobusowy zlokalizowany na pasie ruchu wlotu lub wylotu,
- $f_t$  – współczynnik korygujący natężenie nasycenia ze względu na przystanek tramwajowy bez wyspy przystankowej zlokalizowany na wlocie skrzyżowania,
- $w$  – szerokość pasa ruchu [m],
- $R$  – promień skrętu [m],

- $n_{gr}$  – liczba pasów ruchu w obliczeniowej grupie [-],
- $n_f$  – liczba faz sygnalizacyjnych w cyklu [-],
- $a$  – pojemność powierzchni oczekiwania wewnątrz skrzyżowania [E], wykorzystywana przez skręcające w lewo pojazdy w fazie kolizyjnej z ruchem z przeciwnego wlotu,
- $G$  – rzeczywista długość sygnału zielonego [s],
- $G_e$  – długość efektywnego sygnału zielonego [s],
- $G_{zs}$  – długość sygnału dopuszczającego skręcanie w kierunku wskazanym strzałką [s],
- $Z$  – długość sygnału żółtego [s],
- $R_e$  – długość efektywnego sygnału czerwonego [s],
- $T$  – długość cyklu sygnalizacji [s],
- $\lambda$  – udział w cyklu efektywnego sygnału zielonego [-],
- $t_m$  – czas międzyczelony [s],
- $t_r$  – czas tracony na początku sygnału zielonego [s],
- $t_z$  – czas tracony w okresie sygnału żółtego [s],
- $t_{s,f}$  – czas tracony z powodu zmiany fazy [s],
- $t_a$  – długość okresu, w którym są analizowane warunki ruchu oraz przepustowość [h, min],
- $X_{gr}$  – stopień obciążenia obliczeniowej grupy pasów [-],
- $X_{wl}$  – stopień obciążenia wlotu [-],
- $X_{sk}$  – stopień obciążenia skrzyżowania [-],
- $X_d$  – dopuszczalny stopień obciążenia obliczeniowej grupy pasów, wlotu lub skrzyżowania [-],
- $X_n$  – stopień obciążenia wlotu przeciwnego do analizowanego [-],
- $Y$  – stopień nasycenia [-],
- $Y_n$  – stopień nasycenia reprezentatywny dla wlotu przeciwnego do analizowanego [-],
- $n$  – liczba pasów na wlocie przeciwnym do analizowanego, z których korzystają pojazdy strumieni mających pierwszeństwo przed analizowaną relacją skrętu w lewo,
- $d_{gr}$  – średnia strata czasu pojazdów w obliczeniowej grupie pasów [s/P],
- $d_1$  – część składowa straty czasu wynikająca z zatrzymywania pojazdów na sygnale czerwonym [s/P],
- $d_2$  – część składowa straty czasu spowodowana losowymi wahaniami natężenia ruchu i chwilowymi przeciążeniami obliczeniowej grupy pasów [s],

- $d_{wl}$  – średnia strata czasu pojazdów na wlocie [s/P],
- $d_{sk}$  – średnia strata czasu pojazdów na skrzyżowaniu [s/P],
- $D$  – całkowite straty czasu pojazdów w analizowanym okresie [s/ $t_a$ ], [h/ $t_a$ ],
- $D^*$  – ekwiwalentne całkowite straty czasu pojazdów przeliczone na okres godziny [s/h], [h/h],
- $K_p$  – średnia kolejka pozostająca w cyklu (na końcu sygnału zielonego) [P],
- $K_m$  – średnia długość maksymalnych kolejek pojazdów w cyklach analizowanego okresu [P],
- $K_{m95}$  – kwantyl 95 % z rozkładu kolejek maksymalnych [P],
- $L_K$  – zasięg kolejki maksymalnej [m],
- $z$  – średnia liczba zatrzymań przypadająca na pojazd (wskaźnik zatrzymań) [z/P],
- $Z$  – sumaryczna liczba zatrzymań pojazdów w okresie analizy warunków ruchu [z/ $t_a$ ],
- $uz$  – udział pojazdów zatrzymanych [-],
- $Pz$  – liczba pojazdów zatrzymanych [P].



## 2. METODOLOGIA ANALIZ

Analizy przepustowości i warunków mogą mieć na celu:

- 1) obliczenie/sprawdzenie przepustowości i ocenę warunków ruchu pojazdów korzystających z pasów ruchu i z obliczeniowych grup pasów na wlotach skrzyżowania przy znanym rozwiązaniu geometrycznym, znanych natężeniach ruchu oraz typie i programie sygnalizacji,
- 2) określenie natężeń ruchu (tzw. natężeń krytycznych), przy których będą jeszcze zapewnione określone warunki ruchu (określony poziom swobody ruchu *PSR*), gdy znane jest rozwiązanie geometryczne i program sygnalizacji,
- 3) projektowanie programu sygnalizacji (z ustalonym lub wariantowym układem faz), przy zadanych dopuszczalnych warunkach ruchu (*PSR*), znanych natężeniach i rozwiązaniu geometrycznym,
- 4) ustalanie typu skrzyżowania i/lub jego elementów geometrycznych, zwłaszcza jego wlotów (wraz z pasami ruchu i organizacją ruchu na pasach) przy zadanych dopuszczalnych warunkach ruchu (*PSR*) oraz znanych natężeniach ruchu i wariantowych programach sygnalizacji dostosowywanych do rozwiązania geometrii i organizacji ruchu (i odwrotnie).

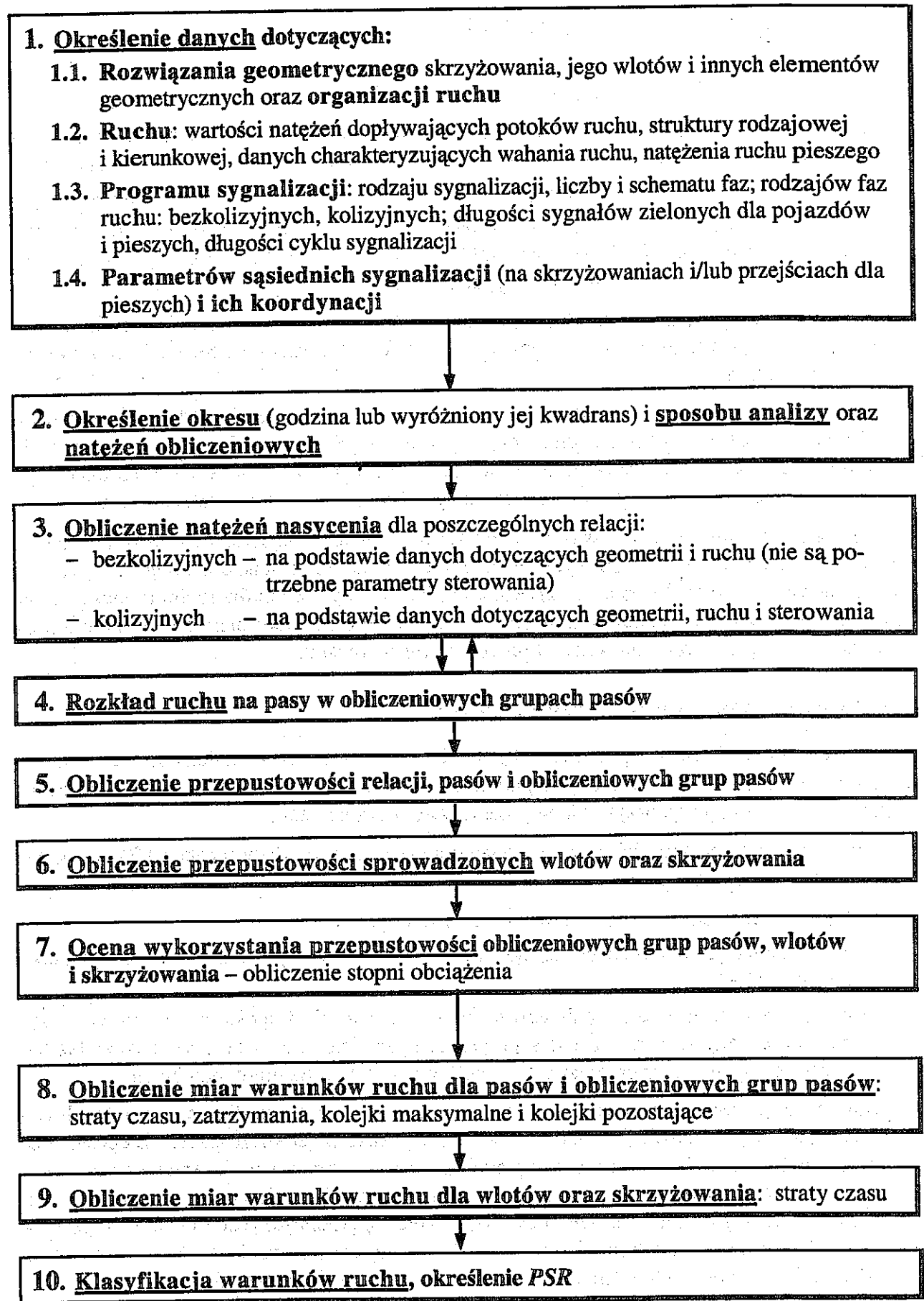
Metoda obliczania przepustowości skrzyżowań z sygnalizacją świetlną może mieć zastosowanie w realizacji wszystkich wyżej wymienionych celów. Jednakże z uwagi na przeznaczenie metody głównie do obliczeń przepustowości i oceny warunków ruchu przedstawiona w niniejszym rozdziale metodologia analiz odnosi się do przypadku pierwszego (1), dla którego na rys. 2.1 przedstawiono schemat procedury postępowania.

### 2.1. Metodologia analiz przepustowości

Niniejsza metoda nie obejmuje zasad projektowania programu sygnalizacji, a jedynie obliczanie przepustowości przy znanych parametrach programu sygnalizacji. Nie wyklucza to jednak możliwości jej wykorzystania w projektowaniu sygnalizacji.

Obliczenia przepustowości, według podanej na rys. 2.1 procedury (kroki 1 ÷ 7), uwzględniają następujące założenia:

1. Obliczenia przepustowości prowadzi się dla ustalonych wcześniej:
  - a) rozwiązania geometrycznego skrzyżowania oraz organizacji ruchu na pasach poszczególnych wlotów,
  - b) parametrów programu sygnalizacji świetlnej, takich jak długość cyklu i długości sygnałów zielonych, oraz struktury programu sygnalizacji, a zwłaszcza rodzaju faz sygnalizacyjnych (ze strumieniami o bezkolizyjnym lub kolizyjnym przebiegu).
2. Obliczenia przepustowości są zasadniczo prowadzone oddzielnie dla poszczególnych obliczeniowych grup pasów, do których wlicza się także pojedyncze pasy. Przepustowość wlotu może być obliczona przy uwzględnieniu przepustowości obliczeniowych grup pasów oraz struktury ruchu na wlocie, wg tzw. krytycznej obliczeniowej grupy pasów, czyli grupy, dla której w pierwszej kolejności wyczerpie się przepustowość (jest to tzw. przepustowość sprowadzona wlotu). Przepustowość całego skrzyżowania może być obliczona wg tzw. krytycznego wlotu (przepustowość sprowadzona skrzyżowania).
3. W obliczeniach przepustowości obliczeniowych grup pasów uwzględnia się większość czynników geometryczno-ruchowych istotnie wpływających na przepustowość.



Rys. 2.1. Schemat metodologii analiz przepustowości i oceny warunków ruchu

4. W obliczeniach przepustowości obliczeniowych grup pasów na poszczególnych wlotach nie uwzględnia się:
- wpływu sąsiednich sygnalizacji, z których ruch dopływa do wlotów, tj. grupowania pojazdów (m.in. wpływ koordynacji), który w niewielkim stopniu może tylko dotyczyć kolizyjnych relacji skrętnych,  
*Wpływ sąsiednich sygnalizacji jest uwzględniany w ocenie warunków ruchu.*
  - wpływu na jego funkcjonowanie potencjalnego zatłoczenia na wylocie skrzyżowania – powodowanego np. zatłoczeniem kolejnego skrzyżowania,  
*W tym przypadku konieczna jest indywidualna analiza dodatkowo obejmująca funkcjonowanie sąsiedniego skrzyżowania.*
  - wpływu zatłoczenia powierzchni akumulacyjnych na skrzyżowaniach z wyspą centralną i z szerokim pasem dzielącym oraz powierzchni akumulacyjnych bądź odcinka pomiędzy wlotami na skrzyżowaniu o przesuniętych wlotach.  
*Ocena możliwości przepiętlenia wewnętrznych powierzchni akumulacyjnych na ww. skrzyżowaniach wymaga indywidualnych analiz.*
5. W obliczeniach przepustowości podstawową rolę odgrywa natężenie nasycenia, które na początku niezależnie od organizacji ruchu na pasach ustala się dla poszczególnych relacji, a następnie dla pasów ruchu z uwzględnieniem udziału poszczególnych relacji w ruchu na pasie i na końcu dla obliczeniowych grup pasów.

Przepustowość  $C$  w ogólnym ujęciu zależy od wartości natężenia nasycenia  $S$  i parametrów programu sygnalizacji  $G_e$  i  $T$ . Pomiedzy przepustowością a natężeniem nasycenia zachodzi następujący związek:

$$C = S \cdot \frac{G_e}{T} \quad [\text{P/h}] \quad (2.1)$$

gdzie:

- $C$  – przepustowość [P/h],
- $S$  – natężenie nasycenia [P/hz],
- $G_e$  – efektywny sygnał zielony [s],
- $T$  – cykl sygnalizacji [s].

Według powyższego wzoru wyznacza się przepustowości obliczeniowych grup pasów. Przepustowość wlotu oraz skrzyżowania oblicza się z uwzględnieniem przepustowości obliczeniowych grup pasów oraz udziałów ruchu przypadającego na te grupy.

W ocenie sprawności obliczeniowej grupy pasów, wlotu lub skrzyżowania wykorzystuje się oprócz przepustowości także stopień wykorzystania przepustowości  $X$ , zdefiniowany w następujący sposób:

$$X = \frac{Q}{C} \quad [-] \quad (2.2)$$

gdzie:

- $Q$  – natężenie ruchu, odpowiednio w obliczeniowej grupie pasów, na wlocie lub na skrzyżowaniu [P/h],
- $C$  – przepustowość, odpowiednio obliczeniowej grupy pasów, wlotu lub skrzyżowania [P/h],

oraz rezerwę przepustowości obliczaną wg poniższego wzoru:

$$\Delta C = C - Q \quad [P/h] \quad (2.3)$$

## 2.2. Metodologia oceny warunków ruchu

W ocenie warunków ruchu na skrzyżowaniu wykorzystywane są takie miary, jak straty czasu i zatrzymania pojazdów oraz długości kolejek pojazdów zatrzymujących się na pasach ruchu. Znajomość ich umożliwia wyznaczanie innych (pochodnych) miar ekonomiki ruchu, takich jak zużycie paliwa i koszty ruchu oraz miar oddziaływania ruchu na środowisko, takich jak emisja spalin i poziom hałasu. Ocena warunków ruchu na skrzyżowaniu jest podstawą oceny poprawności programu sygnalizacji, organizacji ruchu oraz rozwiązania geometrycznego skrzyżowania.

Warunki ruchu pojazdów na skrzyżowaniu wyrażane są przez poziomy swobody ruchu (*PSR*) i ustalane zgodnie z procedurą podaną na rys. 2.1 (kroki 8 ÷ 10). Podstawowymi parametrami we wzorach do obliczania strat czasu, liczby zatrzymań i długości kolejek są przepustowość  $C$  i stopień obciążenia  $X$ , wyznaczane w krokach 1 ÷ 7 procedury na rys. 2.1.

Analiza warunków ruchu dotyczy okresu czasu, w którym dopływ pojazdów można uznać za stały (tj., gdy natężenie ruchu nie zmienia się w czasie), np. okresu 15 minut lub okresu 1 godziny. W przypadku istotnych zmian natężenia ruchu w kolejnych 15-minutowych przedziałach godziny oraz możliwości występowania przeciążeń (okresów, w których natężenie przewyższa przepustowość) celowa może być analiza warunków ruchu w kolejnych kwadransach godziny. Dotyczy to istniejących skrzyżowań, dla których możliwe jest określenie rzeczywistej zmienności ruchu w czasie.

### 3. DANE WYJŚCIOWE I USTALENIA DO OBLICZEŃ

#### 3.1. Zakres danych do analiz przepustowości i warunków ruchu

Przed przystąpieniem do obliczeń przepustowości i analiz warunków ruchu niezbędne jest określenie zestawu i formy danych, które są potrzebne dla wykonania określonej analizy. Zgodnie ze strukturą metody obliczeniowej (rys. 2.1, p. 2.1 i 2.2), zestaw danych wyjściowych do obliczeń stanowią dane dotyczące:

- geometrii skrzyżowania, tj. jego ukształtowania sytuacyjnego i wysokościowego, takie jak:
  - liczba wlotów skrzyżowania,
  - liczba pasów ruchu na poszczególnych wlotach, ich szerokości i położenie względem chodnika,
  - występowanie i długość dodatkowych pasów dla relacji skrętu w prawo i/lub w lewo,
  - pochylenia wlotów (wzniesienie, spadek),
  - lokalizacja przejść dla pieszych,
  - promień wyokrąglenia wewnętrznych (tj. o mniejszym promieniu) krawędzi pasów lub korytarzy ruchu dla pojazdów skręcających w prawo lub w lewo,
  - wielkość powierzchni oczekiwania wewnątrz skrzyżowania dla pojazdów skręcających w lewo przy kolizyjnym przebiegu z ruchem z przeciwległego wlotu w danej fazie oraz wielkość powierzchni akumulacji na skrzyżowaniach z wyspą centralną i z szerokim pasem dzielącym,
  - lokalizacja (wlot czy wylot, odległość przystanku od linii zatrzymań na wlocie i od przejścia dla pieszych na wylocie) i rozwiązanie przystanków autobusowych (na pasie czy w zatoce),
- organizacji ruchu, takie jak:
  - rodzaj sterowania (stałoczasowe, akomodacyjne lub acykliczne),
  - przeznaczenie poszczególnych pasów ruchu (dopuszczalne relacje z danego pasa ruchu) i możliwość łączenia pasów w obliczeniowe grupy,
  - bezkolizyjny lub kolizyjny (z pojazdami i/lub pieszymi) przebieg relacji w poszczególnych fazach ruchu,
  - przebieg relacji podczas sygnału dopuszczającego skręcanie w kierunku wskazanym strzałką,
  - długość cyklu sygnalizacji i długości sygnałów zielonych w poszczególnych fazach sygnalizacyjnych (w przypadku sterowania akomodacyjnego lub acyklicznego ich maksymalne długości), czasy międzzielone i jednostkowe wydłużenie sygnału zielonego w przypadku sterowania akomodacyjnego lub acyklicznego,
  - lokalizacja sygnalizatorów,
- natężeń ruchu, takie jak:
  - natężenia ruchu pojazdów poszczególnych relacji w godzinie charakterystycznej dla analizowanego okresu sterowania (np. szczyt poranny, szczyt popołudniowy, okres między szczytami itp.),
  - udziały pojazdów ciężarowych i autobusów w ruchu,

- udział pojazdów poszczególnych relacji w natężeniu ruchu na wlocie i w obliczeniowych grupach pasów,
- zmienność natężenia ruchu w godzinie reprezentowana przez współczynnik wahań natężenia ruchu  $k_{15}$ , a najlepiej wartości natężeń we wszystkich przedziałach 15-minutowych danej godziny,
- natężenia ruchu autobusów korzystających z przystanków bez zatok na wlocie i na wlocie skrzyżowania,
- natężenia ruchu pieszego na poszczególnych przejściach,
- **sąsiednich skrzyżowań z sygnalizacją świetlną, takie jak:**
  - lokalizacja skrzyżowania lub przejść dla pieszych z sygnalizacją, jeśli znajdują się w odległości od analizowanego wlotu mniejszej niż określona w p. 6.2.1,
  - parametry programów sterowania sąsiednich skrzyżowań (przejść) z sygnalizacją; długość cyklu sygnalizacji, układ faz sygnalizacyjnych, długości sygnałów zielonych, offset pomiędzy sygnałami zielonymi dla rozważanego strumienia pojazdów na skrzyżowaniu sąsiednim (z którego ruch dopływa) i analizowanym,
  - typ dopływu do wlotu (wyrażający jakość koordynacji) determinowany przez sąsiednie skrzyżowanie z sygnalizacją.

Dane wyjściowe i ich jakość wpływają w sposób bezpośredni na sposób prowadzenia obliczeń oraz na jakość wyników. Od staranności przygotowania danych do obliczeń oraz ich reprezentatywności zależy wiarygodność końcowych wyników obliczeń. W przypadku, kiedy obliczenia dotyczą nieistniejącego jeszcze skrzyżowania, dane ruchowe należy uzyskać z prognoz ruchu.

### 3.2. Natężenia miarodajne i okres analiz

Podstawę obliczeń przepustowości i analiz warunków ruchu powinny stanowić natężenia miarodajne, tj. natężenia charakterystyczne dla oceny sprawności funkcjonowania skrzyżowania w przyjętym okresie analizy. Ważną cechą natężenia miarodajnego jest także jego struktura rodzajowa i kierunkowa. Oprócz natężeń ruchu pojazdów należy także uwzględnić natężenia ruchu pieszego. Natężenia ruchu mają, obok przepustowości, decydujący wpływ na warunki ruchu panujące na skrzyżowaniu i dlatego ich właściwe określenie ma podstawowe znaczenie dla poprawności wyników analiz. Biorąc pod uwagę dużą zmienność natężeń w czasie, zaleca się, w przypadku analizy istniejących skrzyżowań, określać miarodajne natężenie ruchu i jego charakterystyki przez ich pomiar na skrzyżowaniu.

Przy ustalaniu natężeń miarodajnych zaleca się stosować następujące zasady:

- a) w projektowaniu nowego lub przy przebudowie istniejącego skrzyżowania jego przepustowość należy sprawdzać w odniesieniu do natężeń prognozowanych (zaleca się opracowanie prognozy ruchu dla obszaru, w którym zlokalizowane jest przedmiotowe skrzyżowanie) w zalecanym roku prognozy, a parametry programu sygnalizacji należy ustalać dla roku oddania skrzyżowania do eksploatacji. Przyjęte do celów projektowania natężenia miarodajne powinny gwarantować takie rozwiązania skrzyżowania, że gorsze niż obliczone warunki ruchu mogą wystąpić tylko sporadycznie. W zależności od klasy krzyżujących się dróg powinno się ustalić, jak często takie warunki mogą wystąpić,
- b) jeśli celem analiz jest sprawdzenie przepustowości istniejącego skrzyżowania lub zaprojektowanie programu sygnalizacji przy ustalonej geometrii skrzyżowania, należy uwzględnić aktualnie panujące natężenia ruchu w czasie przyjętym jako okres analizy (szczyt poranny lub popołudniowy, okres między szczytami itp.).

W przypadku nowego skrzyżowania z sygnalizacją lub wykonania przebudowy skrzyżowania istniejącego program sygnalizacji w kolejnych latach eksploatacji skrzyżowania powinien być weryfikowany w oparciu o pomiary natężeń ruchu i obliczenia przepustowości wlotów skrzyżowania.

Za miarodajne natężenie ruchu należy przyjmować godzinowe natężenie charakterystyczne dla danego okresu analizy. Tym okresem, zależnie od celu analiz, będzie:

- a) przy projektowaniu nowego lub przebudowy istniejącego skrzyżowania, zgodnie z Wytocznymi projektowania skrzyżowań drogowych [22] – szczytowa godzina dnia z dominującym rodzajem ruchu (roboczego, weekendowego lub turystycznego) w 15 roku od oddania skrzyżowania do eksploatacji lub w 10 roku od daty wykonania przebudowy.

Przy przewidywanej wyraźnej zmienności struktury kierunkowej ruchu na skrzyżowaniu w różnych porach dnia lub w odniesieniu do poszczególnych rodzajów ruchu (roboczego, weekendowego lub turystycznego), przy utrzymujących się w tych okresach wysokich wartościach natężeń ruchu, należy przyjąć kilka wartości natężeń miarodajnych i dla każdej z nich przeprowadzić analizy przepustowości i warunków ruchu na skrzyżowaniu,

- b) przy sprawdzaniu przepustowości istniejącego skrzyżowania lub projektowaniu programu sygnalizacji – aktualne szczytowe natężenie ruchu reprezentujące analizowany, charakterystyczny okres ruchu (najczęściej związany z dojazdami i powrotami z pracy lub dojazdami do centrów handlowych i usługowych).

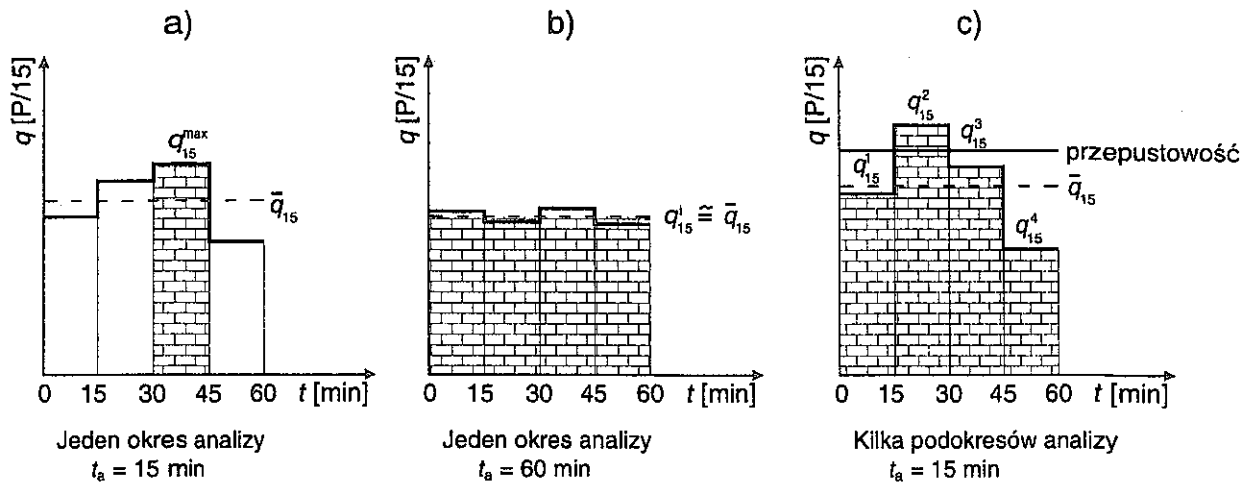
Przy wyborze godziny szczytu należy zwrócić uwagę na zmienność natężeń 15-minutowych oraz zmienność struktury kierunkowej i rodzajowej ruchu w sąsiednich godzinach, zwłaszcza przy zbliżonych sumarycznych natężeniach ruchu na skrzyżowaniu w kolejnych godzinach obejmujących okres szczytowy oraz wybrać najniekorzystniejszy przypadek obciążenia skrzyżowania ruchem lub analizą objąć okres dłuższy niż 1 godzina.

W przypadku skrzyżowań, przez które przebiega duży ruch weekendowy, tym okresem, dla którego należy również przeprowadzić obliczenia, będą szczytowe godziny wyjazdów i powrotów weekendowych lub rekreacyjnych.

W przypadku projektowania sygnalizacji cyklicznej, wieloprogramowej natężenia miarodajne powinny reprezentować wszystkie charakterystyczne przedziały zmienności ruchu (dobowego profilu natężeń ruchu) w dniach roboczych i weekendowych.

Natężenia ruchu na skrzyżowaniu powinny być podawane dla każdej relacji na każdym z wlotów. Wartości natężeń są podawane w [P/h], niezależnie od długości okresu analizy. Jako typowy okres analizy przepustowości i warunków ruchu zaleca się okres 15-minutowy ( $t_a = 0,25$  h – rys. 3.1.a), zwłaszcza w przypadku wyraźnej zmienności 15-minutowych wartości natężeń w godzinie natężenia miarodajnego ( $k_{15} < 0,90$ ). Okres analizy  $t_a = 1,0$  h może być zastosowany w przypadku stwierdzonej (skrzyżowanie istniejące) lub spodziewanej (skrzyżowanie projektowane) niewielkiej zmienności w godzinie natężeń 15-minutowych (rys. 3.1.b). W przypadku analizy istniejącego skrzyżowania, dostępnych dokładnych danych o zmienności natężeń 15-minutowych na wszystkich wlotach skrzyżowania oraz obserwowanych przeciążeniach (długo utrzymujące się kolejki pojazdów oczekujących przez kilka cykli sygnalizacji na możliwość opuszczenia wlotu), w co najmniej jednym lub dwóch kolejnych przedziałach 15-minutowych, wskazany jest wybór trzeciego rodzaju analizy (rys. 3.1.c) w okresie 1 godziny, ale z uwzględnieniem 4 podokresów 15-minutowych.

Przy prowadzeniu analizy funkcjonowania skrzyżowania w pojedynczym okresie 15-minutowym (rys. 3.1.a) i wystąpieniu przeciążenia ( $X > 1,0$ ), na końcu tego okresu może pozostać kolejka pojazdów, a straty czasu mogą obciążyć następny, nie objęty już analizą okres. Przy projektowaniu nowego skrzyżowania lub przebudowie istniejącego należy przyjąć, iż wystąpienie przeciążenia w 15-minutowym okresie analizy wskazuje na konieczność poszukiwania rozwiązania skrzyżowania o większej przepustowości.



Rys. 3.1. Okresy analizy przepustowości i warunków ruchu

Przy prowadzeniu analizy w okresie 1 godziny (rys. 3.1.b) występuje ryzyko pominięcia w obliczeniach mogącego wystąpić w rzeczywistości większego obciążenia chwilowego, a nawet przeciążenia w krótszym, 15-minutowym podokresie. Stąd też analizę taką można stosować tylko w przypadku niewielkiej zmienności natężeń 15-minutowych w danej godzinie. Przy spełnieniu tego warunku wydłużenie okresu analizy do 1 godziny jest szczególnie istotne, gdy stosunek natężenia do przepustowości osiąga wartość  $X > 0,9$ , gdyż wtedy straty czasu pojazdów na skrzyżowaniu związane ze sterowaniem ruchu przez sygnalizację w znacznym stopniu zależą od przyjętej długości okresu analizy  $t_a$ .

Bardziej czasochłonna, lecz dokładniejsza, jest procedura w ostatnim przypadku, kiedy analiza obejmuje okres 1-godzinny, ale z uwzględnieniem 4 podokresów (rys. 3.1.c). W tym przypadku, związane z przeciążeniem ( $X > 1,0$ ), kolejki występujące na końcu pierwszego, drugiego lub trzeciego podokresu 15-minutowego są przenoszone do następnego podokresu (kolejki początkowe). Jeśli przeciążenie wystąpi w ostatnich 15 minutach całego okresu 1-godzinnego, to powinno się analizą objąć następny okres 1-godzinny. Ten rodzaj analizy (zał. 1) może być celowy przy szczegółowej diagnozie stanu istniejącego skrzyżowania.

Wartości natężeń do analiz w szczytowym okresie  $t_a = 0,25$  h (rys. 3.1.a), zwanych także natężeniami obliczeniowymi (po przetransponowaniu na okres godziny), muszą być pomierzone bądź obliczone na podstawie wartości natężeń godzinowych pomierzonych lub uzyskanych z prognoz, z uwzględnieniem wskaźnika wahań natężenia w godzinie  $k_{15}$ . Dla dostosowania natężeń godzinowych do analizy prowadzonej w szczytowym okresie  $t_a = 0,25$  h należy wykorzystać znane wartości wskaźnika wahań w godzinie  $k_{15}$ , wyznaczone na podstawie pomiarów natężeń ruchu na analizowanym skrzyżowaniu lub w przypadku prognozowania natężeń ruchu dla nowego skrzyżowania przyjąć  $k_{15}$  charakterystyczne dla skrzyżowań ze zbliżonym rodzajem ruchu oraz zagospodarowania otoczenia. Natężenie obliczeniowe  $Q$  wyznacza się w tym przypadku ze wzoru:

$$Q = \frac{Q_o}{k_{15}} \quad [\text{P/h}] \quad (3.1)$$

gdzie:

$Q_o$  – natężenie ruchu w rozważanej godzinie [P/h],



$k_{15}$  – wskaźnik zmienności ruchu w godzinie na skrzyżowaniu;  $k_{15} = \frac{Q_o}{4 \cdot q_{15}^{\max}}$ ,

$q_{15}^{\max}$  – natężenie z kwadransa rozważanej godziny o największej wartości [P/15 min].

Jeśli znane są dane z pomiarów, to wówczas zaleca się uwzględnianie natężeń ze szczytowego kwadransa dla poszczególnych relacji, ponieważ nie wszystkie wloty i relacje mają szczytowe natężenia w tym samym okresie, jak wynikałoby z przeliczenia wg wzoru (3.1).

W przypadku przyjęcia okresu analizy  $t_a = 1,0$  h (rys. 3.1.b) natężenie obliczeniowe  $Q$  jest równe pomierzonemu lub prognozowanemu natężeniu w rozważanej godzinie ( $Q = Q_o$ ).

W przypadku prowadzenia analizy w kolejnych kwadransach okresu godziny (rys. 3.1.c), natężenia w każdym kwadransie powinny być przeliczone na okres godziny ( $Q = 4 \cdot q_{15}$ ).

Do ustalenia natężeń na poszczególnych pasach tworzących obliczeniowe grupy pasów prowadzą następujące kroki:

- 1) z pomiarów i/lub z prognozy wyznacza się natężenia obliczeniowe poszczególnych relacji  $Q_r$  dla przyjętego, zgodnie z przedstawionymi wyżej przesłankami, okresu analizy,
- 2) ustalane są obliczeniowe grupy pasów ruchu do analiz (p. 3.3),
- 3) ustalane są natężenia ruchu na poszczególnych pasach, z uwzględnieniem nierównomiernego rozkładu ruchu na pasy w grupach (zgodnie z procedurą opisaną w p. 4.12).

Natężenie ruchu pieszego jest zazwyczaj wyrażane łączną liczbą pieszych w obu kierunkach na poszczególnych przejściach w okresie godziny, z której pochodzą natężenia ruchu pojazdów. Do analiz prowadzonych w okresie 15 minut należy wziąć natężenie ruchu pieszego z okresu 15 minut i przeliczyć je na okres godziny.

### 3.3. Obliczeniowe grupy pasów

Do obliczeniowej grupy pasów, zgodnie z określeniem w p. 1.3, zalicza się te pasy, z których korzystają pojazdy jednej z relacji, samodzielnie lub wraz z innymi relacjami. Przykłady grup pasów ilustruje rys. 3.2. Jak pokazano na rys. 3.2, w przypadku jednej grupy pasów na wlocie (schemat trzeci) do wspólnej grupy pasów zaliczono wyjątkowo trzy pasy, przy czym relacja na wprost korzysta z dwóch z nich i relacja skrętu w prawo też z dwóch. Środkowy pas ruchu nie może bowiem być przyporządkowany do dwóch różnych grup, z których jedna wyznaczona jest na podstawie relacji na wprost, a druga na podstawie relacji skrętu w prawo. Jeżeli grupę tworzy więcej niż jeden pas ruchu, to w przypadku gdy takie dane nie są dostępne z pomiaru, należy dokonać rozkładu natężenia ruchu relacji korzystającej z więcej niż jednego pasa na poszczególne pasy (zgodnie z procedurą opisaną w p. 4.14).

Organizacja ruchu na pasach jest elementem trwałym, lecz w różnych porach dnia wykorzystanie pasów może być nieco inne niż zamierzone w projekcie – np. z pasa przeznaczonego dla dwóch relacji korzysta w praktyce, np. z uwagi na natężenia ruchu, tylko jedna relacja (rys. 3.3 – przypadek 2.b i 3.c). Na wspólnym pasie dla skrętu w lewo i relacji na wprost natężenie pojazdów skręcających w lewo może być tak duże, że praktycznie z pasa tego korzystają wyłącznie pojazdy tej relacji (pojazdy jadące na wprost omijają taki pas, zwłaszcza gdy przebieg relacji skrętnej jest kolizyjny z ruchem z wlotu przeciwległego). W takim przypadku w obliczeniach powinien być przyjęty schemat grupy pasów, odpowiadający ich rzeczywistemu wykorzystaniu.

<b>Jedna grupa</b>	
<b>Dwie grupy</b>	
<b>Trzy grupy</b>	

*Uwaga: w obliczeniach przepustowości pas z relacją zawracania jest traktowany jak pas z relacją skrętu w lewo*

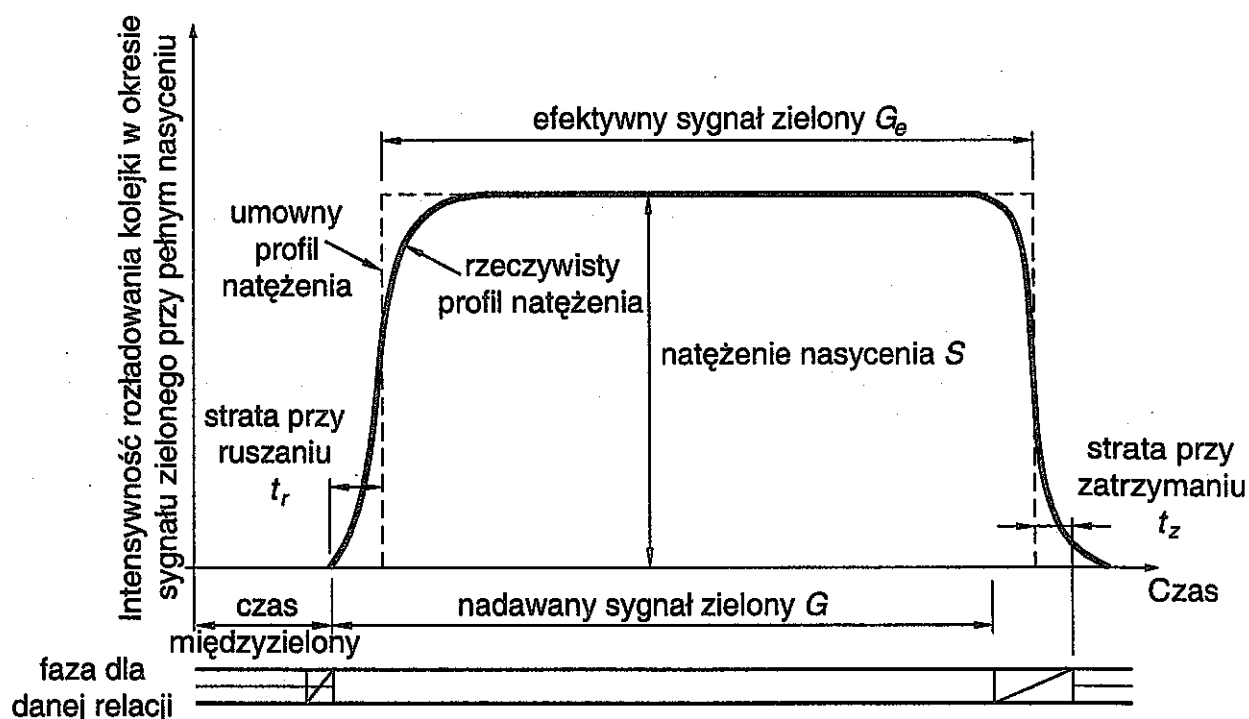
**Rys. 3.2. Przykłady grup pasów na wlocie skrzyżowania**

Liczba pasów	Relacje na pasach	Liczba możliwych grup pasów	Przypadek
1	L + W + P	1	1
2	Wydzielony L W + P	2	2a
	L + W W + P	1 lub 2	2b
3	L + W W + P Wydzielony P	1	3a
	Wydzielony W Wydzielony W Wydzielony P	2	3b
	Wydzielony L Wydzielony W W + P	2 lub 3	3c
	Wydzielony L Wydzielony W Wydzielony P	3	3d

**Rys. 3.3. Wyznaczone grupy pasów i ich praktycznie możliwe wykorzystanie na wlotach o określonej organizacji ruchu, np. w różnych porach dnia**

### 3.4. Efektywny sygnał zielony i czas tracony w fazie

Na rys. 3.4 przedstawiono typowy, przeciętny profil intensywności rozładowania kolejki pojazdów, tzn. zjazdu pojazdów w okresie sygnału zielonego przy utrzymującej się kolejce. Ilustruje on definicje podanych w p. 1.3 podstawowych terminów: natężenia nasycenia, efektywnego sygnału zielonego i czasu traconego. Przebieg strumienia ruchu sterowanego sygnalizacją może być modelowany z wyróżnieniem dwóch przedziałów czasu zwanych efektywnym sygnałem czerwonym  $R_e$  i efektywnym sygnałem zielonym  $G_e$ . Podczas efektywnego sygnału zielonego pojazdy przejeżdżają linię zatrzymań ze stałym natężeniem nasycenia tak długo, jak długo na pasie ruchu lub w obrębie obliczeniowej grupy pasów utrzymuje się kolejka pojazdów, a następnie przy braku kolejki w obrębie obliczeniowej grupy pasów z natężeniem równym natężeniu dopływających pojazdów.



Rys. 3.4. Ilustracja natężenia nasycenia i efektywnego sygnału zielonego

Rzeczywisty profil natężenia (cyklu w pełni nasyconego) zamienia się w modelu na prostokąt o takiej samej powierzchni i wysokości mierzonej w środkowej części rzeczywistego profilu. Ta wysokość jest przyjmowana jako wartość natężenia nasycenia  $S$ , a odpowiadająca jej podstawa prostokąta jest długością efektywnego sygnału zielonego  $G_e$ . Sygnał  $G_e$  jest powiązany z rzeczywistym sygnałem zielonym  $G$ , ale nie jest to ten sam okres czasu, pomimo iż niekiedy przyjmuje się jego długość  $G_e = G$ . W modelu obliczeniowym zakłada się, że ruch odbywa się w czasie sygnału zielonego i wykorzystywany jest również sygnał żółty przez część pojazdów, które ze względu na małą odległość od sygnalizatora nie mogą być zatrzymane bez gwałtownego hamowania. Czasy tracone na początku sygnału zielonego  $t_r$  i na końcu sygnału żółtego  $t_z$  zależą od przebiegu ruchu strumienia i dlatego mogą być różne dla różnych strumieni. W uproszczeniu można przyjąć:

$$G_e = G + Z - (t_r + t_z) \quad [s] \quad (3.2)$$

Czasy  $t_r$  i  $t_z$  oraz wielkość czasu międzzielonego  $t_m$  i długość sygnału żółtego  $\dot{Z}$  wpływają bezpośrednio na wartość czasu traconego przy zmianie faz:

$$t_{s,f} = t_m - \dot{Z} + (t_r + t_z) \quad [\text{s}] \quad (3.3)$$

Na podstawie badań w kilku miastach w Polsce proponuje się przyjmować w obliczeniach sumaryczny czas tracony w okresie sygnału zielonego i żółtego  $(t_r + t_z) = 2$  s. W obliczeniach czasu traconego w fazie wartość tę należy zwiększać o okres, w którym wszystkie wloty mają sygnał czerwony. Efektywny sygnał zielony  $G_e$  można zatem obliczyć ze wzoru:

$$G_e = G + \dot{Z} - 2 \quad [\text{s}] \quad (3.4)$$

a czas tracony w fazie  $t_{s,f}$ :

$$t_{s,f} = t_m - \dot{Z} + 2 \quad [\text{s}] \quad \text{przy } t_m \geq \dot{Z} \quad (3.5)$$

Przy wyżej określonym czasie traconym w okresie sygnału zielonego i żółtego  $(t_r + t_z) = 2$  s oraz  $\dot{Z} = 3$  s efektywny sygnał zielony wyniesie:  $G_e = G + 1$ , a czas tracony w fazie:  $t_{s,f} = t_m - 1$ .

W przypadku skrzyżowań rozległych (długa droga przejazdu przez skrzyżowanie), kiedy to częściej występuje niepełne wykorzystanie sygnału żółtego, można przyjąć  $(t_r + t_z) = 3$  s i wtedy  $G_e = G$  oraz  $t_{s,f} = t_m$ .

## 4. OBLICZENIA NATĘŻEŃ NASYCENIA

Natężenie nasycenia (por. p. 1.3 oraz p. 3.4) określa maksymalny możliwy odpływ pojazdów z kolejki na pasie ruchu w czasie sygnału zielonego. Jeżeli przeciętny odstęp czasu pomiędzy kolejnymi pojazdami opuszczającymi kolejkę, mierzony na linii zatrzymań, oznaczy się przez  $\Delta t$  [s], to natężenie nasycenia pasa ruchu, z którego korzystają relacje o bezkolizyjnym przebiegu, w okresie godziny sygnału zielonego można wyznaczyć z zależności:

$$S = \frac{3600}{\Delta t} \quad [\text{P/hz}] \quad (4.1)$$

Najdokładniej można wyznaczyć natężenie nasycenia dla pasa ruchu na podstawie określonej empirycznie wartości  $\Delta t$  na analizowanym skrzyżowaniu. Dotyczy to pasa ruchu z relacjami o bezkolizyjnym przebiegu. Sposób ten zaleca się stosować dla istniejących skrzyżowań o wyraźnej specyfice ich funkcjonowania. Dla relacji o kolizyjnym przebiegu tego, relatywnie prostego, sposobu nie można zastosować z uwagi na silną zależność natężenia nasycenia od obciążenia przeciwnego wlotu i/lub przejścia dla pieszych. Dla relacji na wprost, w przyjętych za wyjściowe warunkach (pas szerokości 3,50 m, brak wpływu pochylenia podłużnego (pochylenie wlotu  $\pm 1\%$ ), w ruchu wyłącznie samochody osobowe, skrzyżowanie zlokalizowane w dużym mieście), wartość  $\Delta t$  wynosi przeciętnie 1,9 s.

W przypadkach gdy wykonanie pomiarów na skrzyżowaniu, dla ustalenia natężeń nasycenia pasów ruchu z relacjami bezkolizyjnymi, nie jest możliwe, zwłaszcza dla skrzyżowań projektowanych lub przebudowywanych, oraz dla pasów ruchu z relacjami kolizyjnymi, natężenia nasycenia należy wyznaczyć zgodnie z opisaną w niniejszym rozdziale procedurą.

### 4.1. Czynniki wpływające na natężenie nasycenia

W wyniku badań empirycznych przeprowadzonych w kilku miastach polskich ustalono, że wartość przeciętnego natężenia nasycenia pasa na wprost o szerokości 3,5 m, bez wpływu pochylenia podłużnego, bez udziału pojazdów ciężkich w ruchu i braku innych czynników ograniczających przepustowość (przystanki komunikacji zbiorowej, parkowanie itp.) wynosi 1900 E/hz (samochodów osobowych na godzinę sygnału zielonego). Wpływ lokalnych czynników geometrycznych i ruchowych na konkretnym skrzyżowaniu może powodować zmniejszenie tej wartości. W przypadku relacji kolizyjnych (skręt w lewo i w prawo) natężenie nasycenia przyjmuje wartości znacznie niższe niż dla relacji bezkolizyjnych.

Generalnie czynniki wpływające na natężenie nasycenia można podzielić na:

- a) czynniki o stałym oddziaływaniu, które wpływają na średni odstęp czasu pomiędzy pojazdami w warunkach ruchu płynnego (szerokość pasa ruchu, promień skrętu, udział pojazdów ciężkich itp.),
- b) czynniki, które zakłócając proces ruchu przez czasowe blokowanie wlotu, obniżają przepustowość (strumienie priorytetowe dla kolizyjnych relacji skrętnych, autobus na przystanku bez zatoki).

Do najsilniej oddziałujących na natężenie nasycenia czynników należą: natężenia strumieni priorytetowych, udział na pasie kolizyjnych relacji skrętnych, udział pojazdów ciężkich, szerokość pasa ruchu i promień skrętu, przystanki komunikacji zbiorowej.

W obliczeniach natężenia nasycenia korekty wyrażające wpływ różnych czynników na wyjściowe wartości natężeń nasycenia muszą być stosowane z ostrożnością. W niektórych przypadkach wpływy poszczególnych czynników nakładają się na siebie, osłabiając łączne ich oddziaływanie. Na przykład, gdy strumień skręcający w prawo jest często blokowany przez pieszych, wówczas oddziaływanie promienia skrętu jest nieistotne. Promień skrętu wpływa na natężenia nasycenia w warunkach płynnego ruchu, podczas gdy w sytuacji opisanej wyżej prawie każdy pojazd jest zatrzymany przed przejściem przez kolidujący strumień pieszych.

Biorąc pod uwagę powyższe przesłanki, przyjęto zasadę, że dla kolizyjnych relacji skrętu w lewo i w prawo pomija się oddziaływanie czynników geometrycznych. W przypadku bardzo małego ruchu priorytetowego można uwzględnić czynniki geometryczne, zależnie od decyzji osoby prowadzącej obliczenia podjętej na podstawie analiz zachowania się pojazdów strumieni kolizyjnych.

Czynniki, które należy lub można uwzględnić przy obliczaniu natężenia nasycenia, zostały ujęte w tab. 4.1.

Tab. 4.1. Czynniki uwzględniane w obliczeniach natężenia nasycenia pasów ruchu

Czynniki	Pasy z relacjami bezkolizyjnymi			Pasy z kolizyjnymi relacjami skrętnymi				
	W	L P	LW WP LWP	L	P	LW	WP	LWP
Szerokość pasa ruchu	●	●	●	○	○	●	●	●
Promień skrętu		●	●	○	○	○	○	○
Spadek na wlocie	●	●	●	○	○	●	●	●
Położenie pasa na wlocie		●	●	○	○	○	○	○
Powierzchnia oczekiwania dla skrętu w lewo lub w prawo				●	●	●	●	●
Udział pojazdów ciężkich	●	●	●	●	●	●	●	●
Natężenia strumienia priorytetowego pojazdów i/lub pieszych				●	●	●	●	●
Przystanki komunikacji zbiorowej	●		●			●	●	●
Krótki, dodatkowy pas ruchu	●	●	● WP	●	●		●	
Struktura kierunkowa ruchu			●			●	●	●
Długość sygnału zielonego	●	●	●	●	●	●	●	●
Ruch na sygnale dopuszczającym skręcanie w kierunku wskazanym strzałką		●	●		(○) <sup>1)</sup>		(○) <sup>1)</sup>	(○) <sup>1)</sup>

<sup>1)</sup> w analizie istniejących rozwiązań

Oznaczenia: ● – czynnik zalecany do uwzględnienia,  
○ – czynnik możliwy do uwzględnienia.

## 4.2. Procedura obliczania natężenia nasycenia pasa ruchu

Zakres czynników i siła ich oddziaływania na natężenie nasycenia pasa ruchu zależą od rodzaju i kolizyjności relacji korzystających z niego. Z tego powodu dla każdego rodzaju relacji występujących na pasie ruchu należy stosować odpowiedni dla niej wzór. Ogólna postać wzoru na natężenie nasycenia pasa ruchu jest następująca:

$$S_j = S_j^w \cdot f_a \cdot f_t \quad [\text{P/hz}] \quad (4.2)$$

gdzie:

$S_j^w$  – natężenie nasycenia pasa ruchu  $j$  uwzględniające czynniki geometryczne, kolizyjność relacji i strukturę rodzajową ruchu obliczane według wzoru (4.14),

$f_a$  – współczynnik korygujący uwzględniający przystanek autobusowy (p. 4.11),

$f_t$  – współczynnik korygujący uwzględniający przystanek tramwajowy (p. 4.12).

W przypadku, gdy natężenie nasycenia dla danego pasa ruchu przyjmuje w różnych częściach cyklu różne wartości (np. pas z ruchem pojazdów podczas sygnału zielonego ogólnego i podczas sygnału dopuszczającego skręcanie w kierunku wskazanym strzałką), oblicza się średnie ważone natężenie nasycenia wg wzoru:

$$S_j = \frac{\sum S_{ji} \cdot G_i}{\sum G_i} \quad [\text{P/hz}] \quad (4.3)$$

gdzie:  $S_{ji}$  – natężenia nasycenia pasa ruchu [P/hz] występujące w okresach  $G_i$  [s] cyklu sygnalizacji.

Obliczenie natężenia nasycenia poszczególnych pasów ruchu na wlocie określają następujące kroki:

- 1° Obliczenie natężenia nasycenia poszczególnych relacji na pasach traktowanych jak wydzielone dla tych relacji.
- 2° Dokonanie rozkładu ruchu pomiędzy pasami obliczeniowej grupy zgodnie z p. 4.14.
- 3° Obliczenie natężenia nasycenia pasa ruchu wg p. 4.7 oraz z uwzględnieniem wpływu przystanków komunikacji zbiorowej wg wzoru (4.2).

Do obliczania  $f_a$  (wpływ przystanku autobusowego na wlocie) potrzebna jest znajomość natężenia ruchu  $Q$  na pasie skrajnym i udziału relacji na wprost  $u_w$  na tym pasie. Jeśli w przybliżonych, wstępnych obliczeniach (np. przy przebudowie skrzyżowania, gdy jeszcze nie jest znany program sygnalizacji) wielkości tych nie da się uzyskać przez obliczenie rozkładu ruchu na pasach (p. 4.14), wówczas można je oszacować w sposób przybliżony następująco:

$$Q = \frac{Q_{gr}}{n_{gr}} \quad [\text{P/h}] \quad (4.4)$$

$$u_w = 1 - \frac{n_{gr} \cdot Q_p}{Q_{gr}} \quad (4.5)$$

gdzie:

- $Q_{gr}$  – suma natężeń ruchu w obliczeniowej grupie pasów [P/h],
- $n_{gr}$  – liczba pasów ruchu w obliczeniowej grupie,
- $Q_p$  – natężenie relacji w prawo [P/h].

W wielu sytuacjach dojście do natężenia nasycenia pasów ruchu nie musi obejmować wszystkich kroków (1 ÷ 3) lub niektórych obliczeń. Przykładowo, na projektowanym skrzyżowaniu przystanki komunikacji zbiorowej są tak rozwiązane, że  $f_a = 1$  (zatoki przystankowe) – w tej sytuacji zbędne staje się szacowanie natężenia ruchu na pasie skrajnym wg procedury z kroku 3°. Ponadto, jeśli poszczególne relacje na wlocie korzystają z jednego pasa ruchu (wdzielonego lub wspólnego), to krok 2° jest zbędny.

Obliczenie natężenia nasycenia wymaga procedury iteracyjnej, gdy zachodzą równocześnie następujące warunki:

- obydwie przeciwległe wloty mają sygnał zielony we wspólnej fazie,
- na obydwu wlotach relacja skrętu w lewo występuje na pasie wspólnie z relacją na wprost.

Trudność w obliczeniu natężenia nasycenia w tym przypadku polega na tym, że aby obliczyć natężenia nasycenia relacji w lewo, muszą być znane stopnie obciążenia przeciwległych wlotów, a te zależą od nieznanymi natężeń nasycenia relacji skrętu w lewo. W tej sytuacji obliczenie natężeń nasycenia kolizyjnych relacji w lewo wykonuje się iteracyjnie w następujących krokach (dla jasności opisu przyjęto, że są to np. przeciwległe wloty A i C):

- a) obliczenie natężenia nasycenia kolizyjnej relacji skrętu w lewo na pierwszym z rozważanych wlotów (np. A) przy założonych dla wlotu przeciwległego (C) wartościach:  $X_n = 0,6$  i  $Y_n = 0,6 \cdot \lambda_n$  (por. p. 4.5), a następnie stopnia nasycenia i obciążenia pierwszego wlotu (A),
- b) obliczenie natężenia nasycenia kolizyjnej relacji w lewo na drugim wlocie (C), korzystając z wyników uzyskanych w kroku (a) oraz stopnia nasycenia i obciążenia drugiego wlotu (C),
- c) powtórzenie obliczeń dla wlotu pierwszego (A), lecz dla uzyskanych w kroku (b) wartości stopnia nasycenia i obciążenia wlotu przeciwległego (C).

Na ogół po tych trzech krokach wynik obliczeń jest wystarczająco dokładny, choć w razie potrzeby obliczenia można kontynuować na przemian dla pierwszego i drugiego wlotu.

### 4.3. Natężenie nasycenia relacji na wprost

Natężenie nasycenia pasa ruchu dla relacji na wprost oblicza się z następującego wzoru:

$$S_w = [S_o + 200 \cdot (w - 3,5) - 30 \cdot \delta_i \cdot i] \cdot \frac{1}{1 + u_c} \quad [\text{P/hz}] \quad (4.6)$$

gdzie :

- $S_o$  – wyjściowe natężenie nasycenia [E/hz]; gdy relacja na wprost korzysta sama z pasa lub wspólnie z inną relacją bezkolizyjną  $S_o = 1900$  E/hz, gdy zaś relacja na wprost korzysta ze wspólnego pasa z relacją skrętną o kolizyjnym przebiegu w danej fazie sygnalizacji  $S_o = 1700$  E/hz,



- $w$  – szerokość pasa ruchu,  $2,5 < w < 4,2$  [m],
- $i$  – średnie pochylenie wlotu na odcinku ustawiania się kolejki pojazdów [%],
- $\delta_i$  – wskaźnik kierunku pochylenia;  $\delta_i = 1$  dla wlotu położonego na wzniesieniu (pod górę),  $\delta_i = 0$  dla wlotu położonego na spadku (w dół),
- $u_c$  – udział pojazdów ciężkich w ruchu.

Pas ruchu o szerokości większej niż 4,2 m umożliwia ustawianie się mniejszych pojazdów obok siebie. Im pas jest szerszy, tym więcej pojazdów ustawia się obok siebie, tworząc dwie kolejki. Przyjmuje się w obliczeniach, że na pasie o szerokości 5,0 m wszystkie pojazdy ustawiają się w podwójnej kolejce. W przypadku pasa ruchu o szerokości z przedziału  $4,2 \text{ m} < w < 5,0 \text{ m}$  zwiększa się obliczoną ze wzoru (4.6) wartość natężenia nasycenia o składnik  $\Delta S_w$  zależny od szerokości pasa. Wartość  $\Delta S_w$  można obliczyć przez interpolację w przedziale pomiędzy 1400 a 1500, czemu odpowiada  $\Delta S_w = (1,7 \cdot w - 7) \cdot 1000$  [E/hz]. Dla szerokiego pasa ruchu na wlocie istniejącego skrzyżowania rzeczywiste ustawianie się pojazdów w jednej lub w dwóch równoległych kolejkach powinno być potwierdzone przez bezpośrednią obserwację.

#### 4.4. Natężenie nasycenia bezkolizyjnej relacji skrętnej

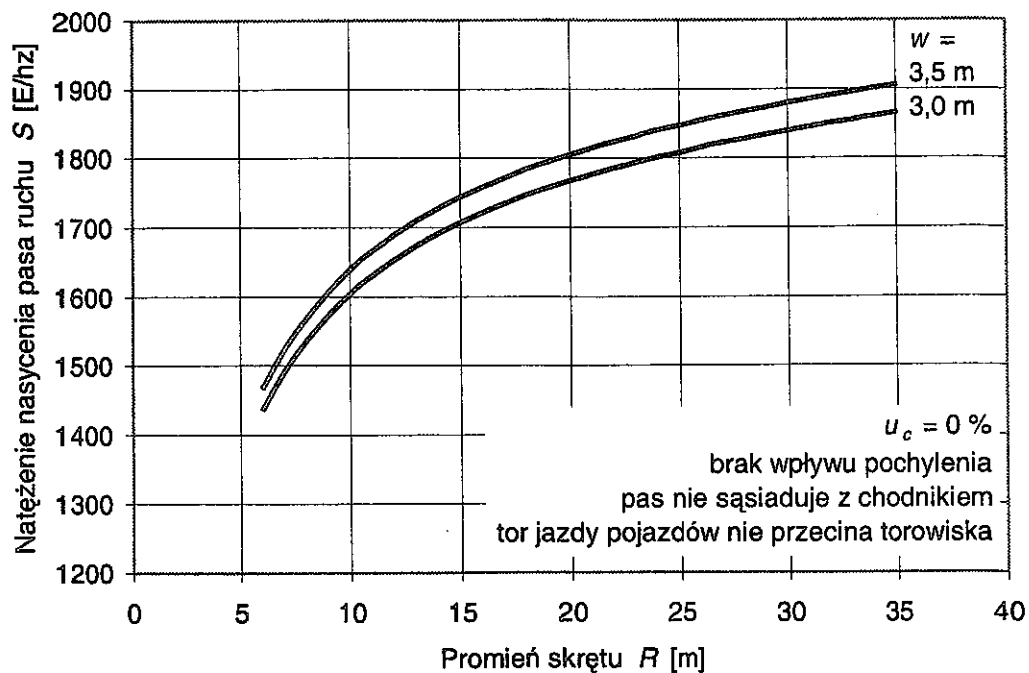
Natężenie nasycenia pasa ruchu dla bezkolizyjnej relacji skrętu w lewo lub w prawo oblicza się z następującego wzoru:

$$S_r = [S_o + 80 \cdot (w - 3,5) - 30 \cdot \delta_i \cdot i - 160 \cdot \delta_k - 75 \cdot \delta_t] \cdot \frac{10^{-3} \cdot R + 1,025}{\left(1 + \frac{2}{R}\right)} \cdot \frac{1}{1 + u_c} \quad [\text{P/hz}] \quad (4.7)$$

gdzie :

- $S_o$  – wyjściowe natężenie nasycenia [E/hz]; gdy bezkolizyjna relacja skrętna korzysta sama z pasa lub wspólnie z inną relacją bezkolizyjną  $S_o = 1900$  E/hz, gdy zaś bezkolizyjna relacja skrętna korzysta ze wspólnego pasa z inną relacją skrętą o kolizyjnym przebiegu w danej fazie sygnalizacji  $S_o = 1700$  E/hz,
- $w$  – szerokość pasa ruchu [m],
- $i$  – średnie pochylenie wlotu na odcinku 30 m przed linią zatrzymań [%],
- $\delta_i$  – wskaźnik kierunku pochylenia;  $\delta_i = 1$  dla wlotu na wzniesieniu,  $\delta_i = 0$  dla wlotu położonego na spadku,
- $\delta_k$  – wskaźnik położenia pasa;  $\delta_k = 1$  dla pasa ruchu położonego przy chodniku,  $\delta_k = 0$  dla pasa ruchu niesąsiadującego z chodnikiem,
- $\delta_t$  – wskaźnik przejazdu przez torowisko tramwajowe;  $\delta_t = 1$ , gdy tor jazdy pojazdów przecina torowisko tramwajowe,  $\delta_t = 0$ , gdy tor jazdy pojazdów nie przecina torowiska lub jego stan techniczny nie zmniejsza znacząco prędkości pojazdów,
- $R$  – promień skrętu z przedziału  $6 \div 35$  m. Dla promieni  $R > 35$  m w powyższym wzorze mnożnik  $\frac{10^{-3} \cdot R + 1,025}{\left(1 + \frac{2}{R}\right)}$  należy przyjąć równy 1,0,
- $u_c$  – udział pojazdów ciężkich w ruchu [-].

Zmniejszenie wartości natężenia nasycenia z uwagi na sąsiedztwo chodnika dotyczy pasa dla skrętu w prawo i wynika z obecności pieszych bezpośrednio przy krawędzi jezdni. Wpływ wielkości promienia  $R$  na natężenie nasycenia  $S$  wydzielonego pasa ruchu dla bezkolizyjnej relacji skrętnej ilustruje rys. 4.1



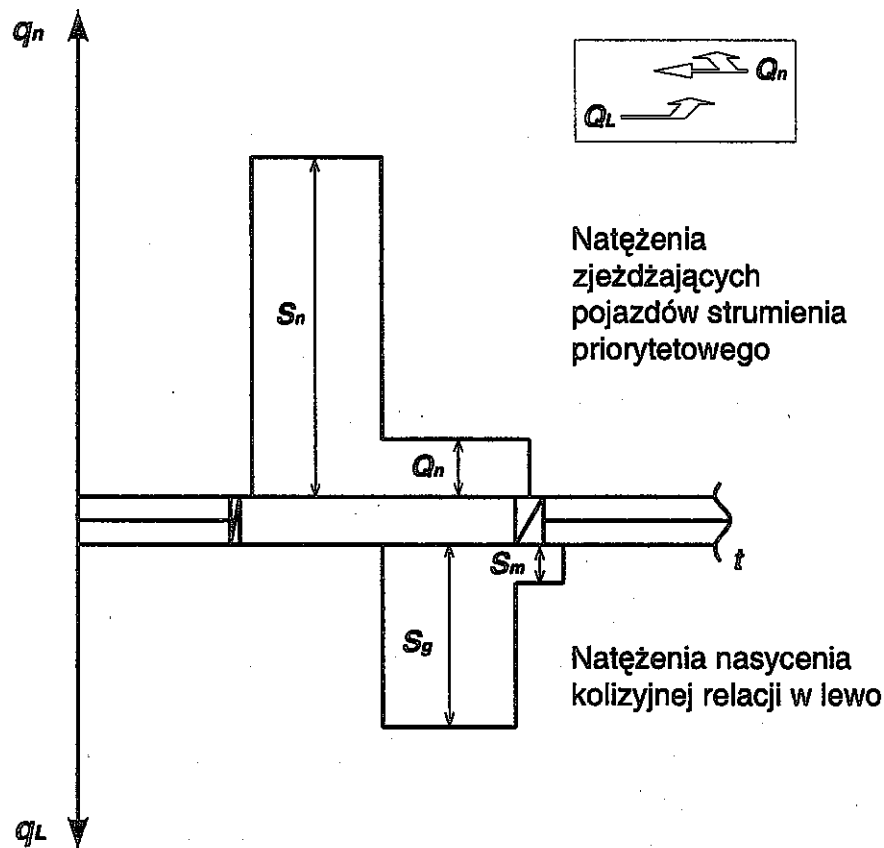
Rys. 4.1. Wpływ promienia skrętu na natężenie nasycenia wydzielonego pasa ruchu dla bezkolizyjnej relacji skrętnej

#### 4.5. Natężenie nasycenia kolizyjnej relacji w lewo

Kolizyjna relacja skrętu w lewo występuje w fazie, podczas której, w tym samym czasie, dla ruchu otwarte są: wlot z relacją skrętu w lewo i wlot przeciwny, a zazwyczaj także przejście dla pieszych na wylocie, w który skręt w lewo się kieruje. Pojazdy analizowanej relacji skrętu w lewo zobowiązane są ustąpić pierwszeństwa pojazdom z wlotu przeciwnego (strumienie priorytetowe) oraz pieszym na przejściu. Zjazd pojazdów relacji w lewo może odbywać się podczas sygnału zielonego w lukach czasu strumienia priorytetowego (po zjeździe pojazdów z kolejki strumienia pojazdów mających pierwszeństwo przejazdu) oraz na końcu fazy w czasie międzyzielonym (pojazdy z wewnętrznej powierzchni oczekiwania), z natężeniami nasycenia przedstawionymi na rys. 4.2.

W okresie nadawania sygnału zielonego, do czasu zjazdu z kolejki pojazdów z przeciwnego wlotu, mających pierwszeństwo przejazdu przed analizowaną relacją skrętu w lewo, żaden z pojazdów skręcających w lewo nie może wykonać zamierzonego manewru z uwagi na zbyt małe odstępy czasu  $\Delta t_n$  między pojazdami z przeciwnego wlotu. Po rozładowaniu kolejki pojazdy mające pierwszeństwo przejeżdżają w większych od  $\Delta t_n$  odstępach, z jakimi dojeżdżają do skrzyżowania. Część z tych odstępów, większych od tzw. granicznego odstępu czasu  $t_g$  dla skrętu w lewo, może być wykorzystana do zjazdu ze skrzyżowania pojazdów skręcających w lewo. Jeżeli odstępy w potoku priorytetowym są na tyle duże, że więcej niż jeden z pojazdów skręcających w lewo z kolejki może zjechać jeden za drugim, to przejeżdżają one w odstępach  $t_f$ . Przy dużych natężeniach relacji z przeciwnego wlotu, mających pierwszeństwo przejazdu, pojazdy skręcające w lewo, które przejechały linię zatrzymań

i zgromadziły się wewnątrz skrzyżowania na tzw. powierzchni oczekiwania o pojemności  $a$  [s.o.], oczekują aż do końca fazy i opuszczają tę powierzchnię w czasie międzycielonym.



Rys. 4.2. Fazy ruchu pojazdów kolizyjnego skrętu w lewo

Natężenie nasycenia pasa ruchu dla kolizyjnej relacji skrętu w lewo we wspólnej fazie ze strumieniem priorytetowym oblicza się z ogólnego wzoru:

$$S_L = [S_{Lg} + S_{Lm} - \Delta S_{Lp}] \cdot \frac{1}{1 + u_c} \quad [\text{P/hz}] \quad (4.8)$$

gdzie:

- $S_{Lg}$  – natężenie nasycenia w lukach strumienia priorytetowego [E/hz],
- $S_{Lm}$  – natężenie nasycenia wynikające ze zjazdu pojazdów w czasie międzycielonym z wewnętrznej powierzchni oczekiwania [E/hz],
- $\Delta S_{Lp}$  – poprawka uwzględniająca wpływ pieszych [E/hz],
- $u_c$  – udział pojazdów ciężkich w ruchu [-].

Wartości  $S_{Lg}$ ,  $S_{Lm}$  i  $\Delta S_{Lg}$  oblicza się z następujących wzorów:

$$S_{Lg} = \begin{cases} \frac{3600}{t_f} \cdot \frac{1 - X_n}{1 - Y_n} \cdot e^{-\frac{Q_n}{3600} \cdot \frac{t_g - 0,5 \cdot t_f - \Delta t_n}{1 - \frac{Q_n}{3600} \cdot \Delta t_n} \cdot \alpha} & \text{dla } X_n \leq 1,0 \\ 0 & \text{dla } X_n > 1,0 \end{cases} \quad [\text{E/hz}] \quad (4.9)$$

$$S_{Lm} = \begin{cases} \frac{3600}{G_e} \cdot [1 + (a-1) \cdot u_L] \cdot X_n^{0,2} & \text{dla } X_n \leq 1,0 \\ \frac{3600}{G_e} \cdot [1 + (a-1) \cdot u_L] & \text{dla } X_n > 1,0 \end{cases} \quad [\text{E/hz}] \quad (4.10)$$

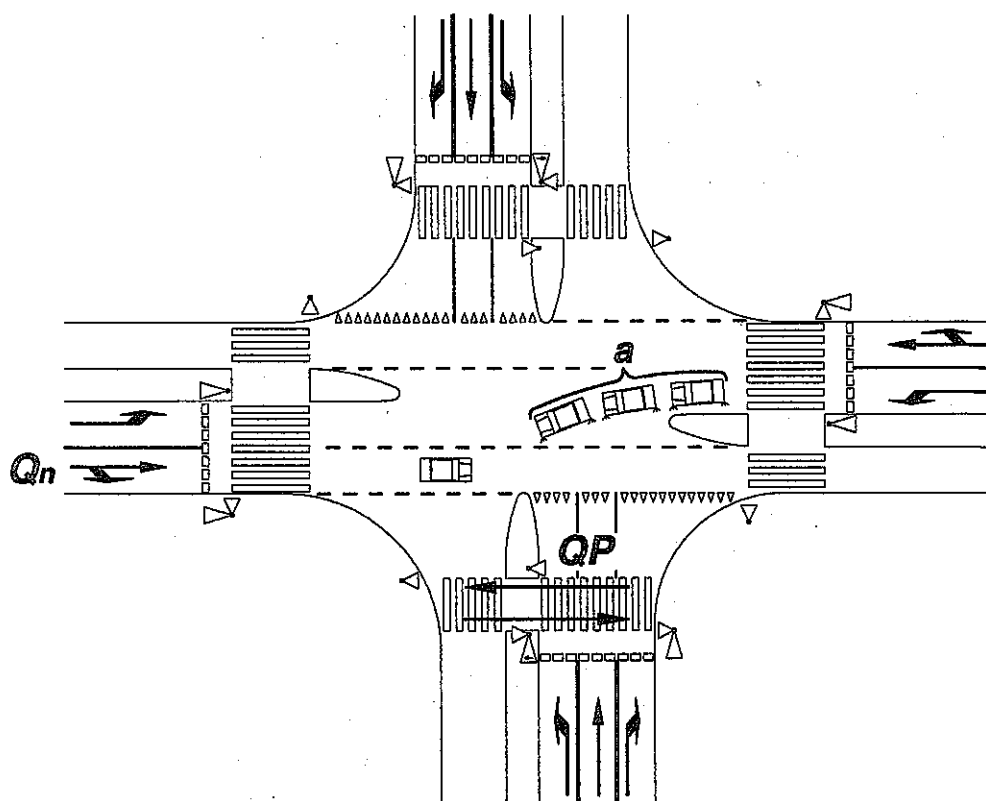
$$\Delta S_{Lp} = \begin{cases} (0,18 \cdot X_n^2 - 0,41 \cdot X_n + 0,23) \cdot (QP - 200) & \text{dla } QP > 200 \text{ Ps/h} \\ 0 & \text{dla } QP \leq 200 \text{ Ps/h} \end{cases} \quad [\text{E/hz}] \quad (4.11)$$

gdzie:

- $X_n$  – stopień obciążenia obliczeniowej grupy pasów na wlocie przeciwnym do analizowanego,
- $Y_n$  – stopień nasycenia obliczeniowej grupy pasów na wlocie przeciwnym do analizowanego,
- $t_g$  – graniczny odstęp czasu pojazdów skręcających w lewo [s]; w obliczeniach można przyjmować  $t_g = 5,5$  s,
- $t_f$  – odstęp czasu między skręcającymi w lewo pojazdami zjeżdżającymi jeden za drugim z powierzchni oczekiwania wewnątrz skrzyżowania [s]; w obliczeniach można przyjmować  $t_f = 2,6$  s,
- $\Delta t_n$  – odstęp czasu między mającymi pierwszeństwo pojazdami zjeżdżającymi z kolejki z przeciwnego wlotu [s]:
  - gdy na przeciwnym wlocie potok nadrzędny występuje na jednym pasie ( $n = 1$ ), należy przyjąć wartość  $\Delta t_n = 1,8$  s,
  - gdy potok nadrzędny korzysta z więcej niż jednego pasa ( $n > 1$ ), należy przyjąć wartość  $\Delta t_n = 0,0$  s (w świetle aktualnych przepisów [15] odpowiada to sytuacji, gdy potok nadrzędny korzysta z pasa na wprost i z pasa do skręcania w prawo),
- $\alpha$  – parametr zależny od natężenia strumieni nadrzędnych  $Q_n$  i liczby pasów, z których korzystają  $n$  oraz od udziału sygnału zielonego efektywnego w cyklu  $G_e/T$ :
  - gdy na przeciwnym wlocie potok nadrzędny występuje na jednym pasie ( $n = 1$ ), należy przyjąć wartość  $\alpha = 1$ ,
  - gdy potok nadrzędny korzysta z więcej niż jednego pasa ( $n > 1$ ), należy przyjąć wartość  $\alpha = e^{-\frac{100 \cdot G_e}{Q_n \cdot T}}$  (w świetle aktualnych przepisów [15] odpowiada to sytuacji, gdy potok nadrzędny korzysta z pasa na wprost i z pasa do skręcania w prawo),
- $a$  – pojemność powierzchni oczekiwania wewnątrz skrzyżowania, na której oczekują pojazdy skręcające w lewo (rys. 4.3) [s.o.],
- $u_L$  – udział pojazdów skręcających w lewo na pasie wspólnym z inną relacją [-]. Dla pasa przeznaczonego wyłącznie dla relacji w lewo  $u_L = 1,0$ ,
- $Q_n$  – natężenie pojazdów z wlotu przeciwnego, którym pojazdy skręcające w lewo zobowiązane są ustąpić pierwszeństwa [P/h],
- $QP$  – natężenie pieszych na przejściu dla pieszych na wylocie, w który kieruje się analizowany skręt w lewo [Ps/h].

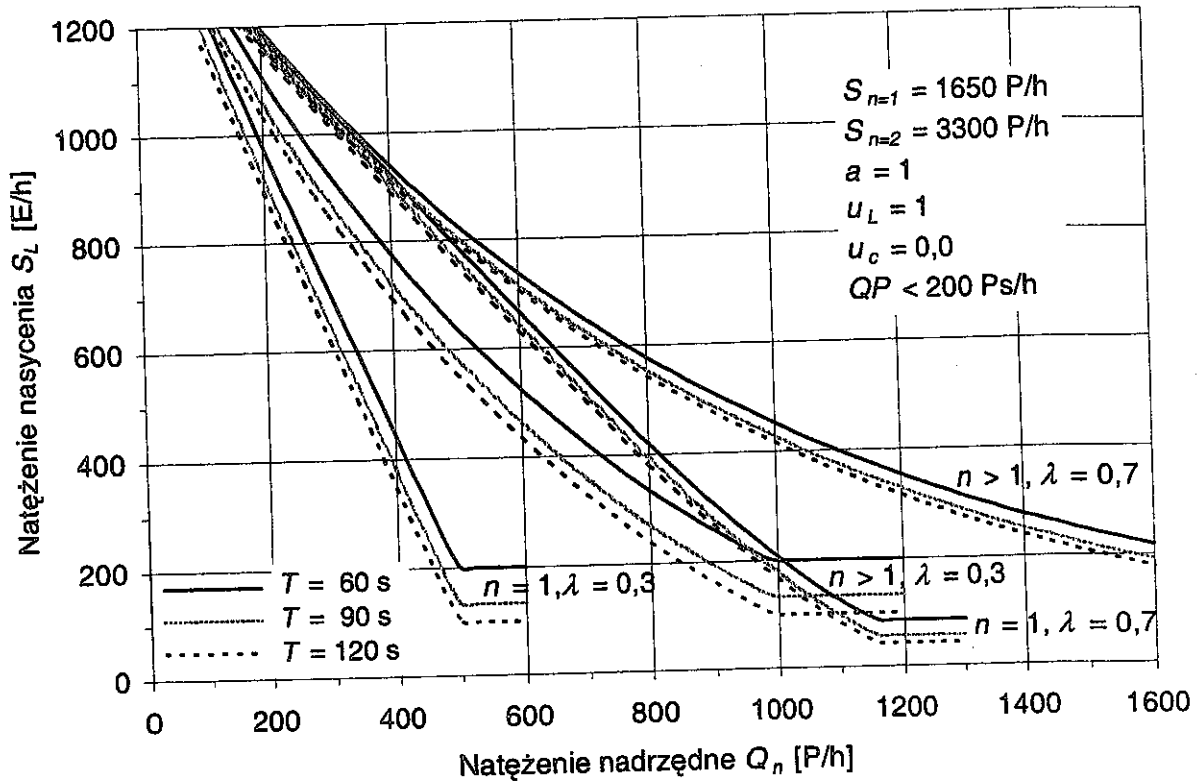
W przypadku gdy na przeciwnym wlocie występują dwie obliczeniowe grupy pasów, z których ruch ma pierwszeństwo w stosunku do analizowanej relacji skrzyżowania w lewo (np. obliczeniowa grupa pasów z relacją na wprost i obliczeniowa grupa pasów z relacją skrzyżowania w prawo), jako wartości  $X_n$  i  $Y_n$  należy przyjąć większe z wartości stopnia obciążenia ( $X_n$ ) i stopnia nasycenia ( $Y_n$ ) z obu grup pasów, natomiast jako natężenie nadrzędne  $Q_n$  sumę natężeń ruchu w obu grupach pasów. W przypadku gdy na wylocie, w który kieruje się analizowany skręt w lewo występują dwa pasy ruchu – natężenie nadrzędne skrzyżowania w prawo można zredukować o 50%, a gdy na wylocie występują trzy pasy ruchu – natężenie nadrzędne skrzyżowania w prawo można pominąć. W obliczeniach pomija się ewentualny wpływ pojazdów skręcających w lewo z wlotu przeciwnego, które nie stanowią potoku nadrzędnego, ale w pewnych warunkach mogą ograniczać widoczność pojazdów potoku nadrzędnego dla analizowanego skrzyżowania w lewo.

Przy ustalaniu pojemności powierzchni oczekiwania  $a$  należy ustalić, jaka liczba pojazdów o długości stanowiska 6,0 m (s.o.) może przejechać linię zatrzymań i oczekiwać na możliwość zjazdu wewnątrz skrzyżowania w taki sposób, aby nie zachodziło blokowanie ruchu pojazdów z przeciwnego wlotu (rys. 4.3). Czas międzyzielony powinien umożliwić opuszczenie skrzyżowania tym pojazdom relacji skrzyżowania w lewo, które zgromadziły się na powierzchni oczekiwania wewnątrz skrzyżowania. Przyjmuje się, że w czasie międzyzielonym pojazd potrzebuje średnio 2,6 s na opuszczenie skrzyżowania.

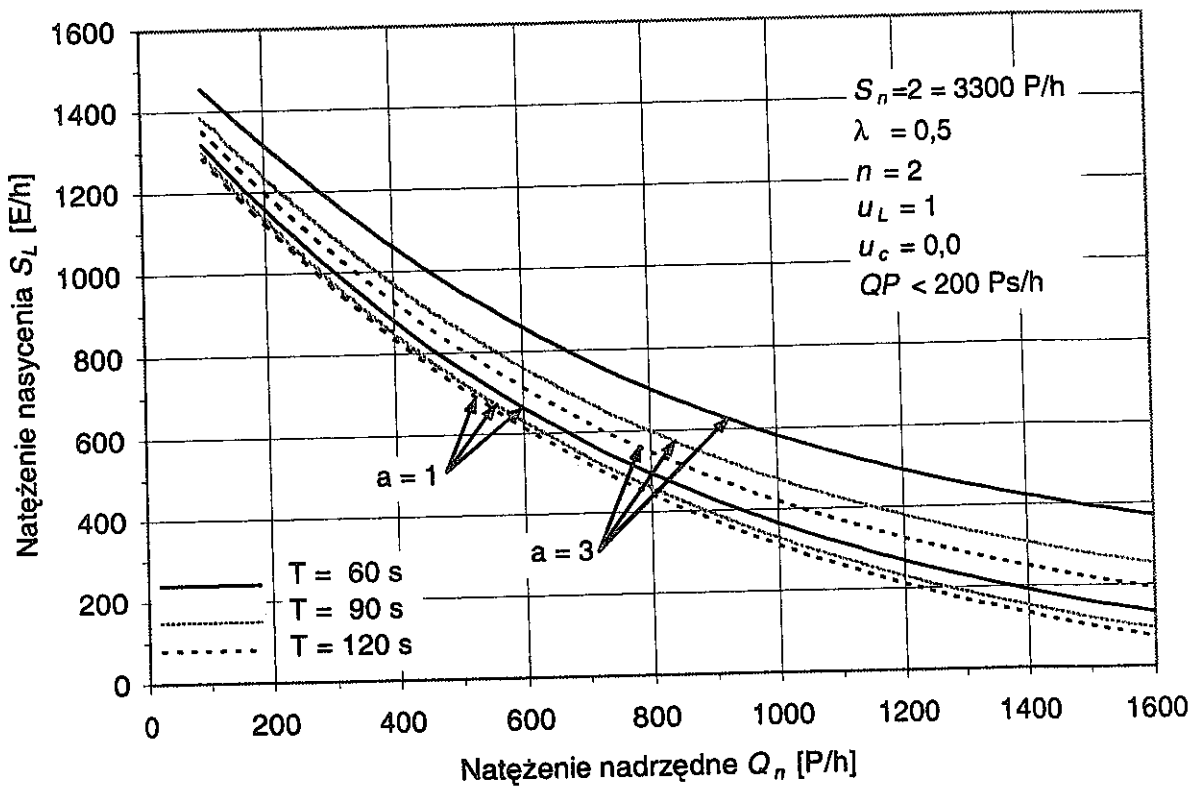


Rys. 4.3. Ilustracja wewnętrznej powierzchni oczekiwania dla pojazdów skręcających w lewo w fazie kolizyjnej z ruchem z przeciwnego wlotu

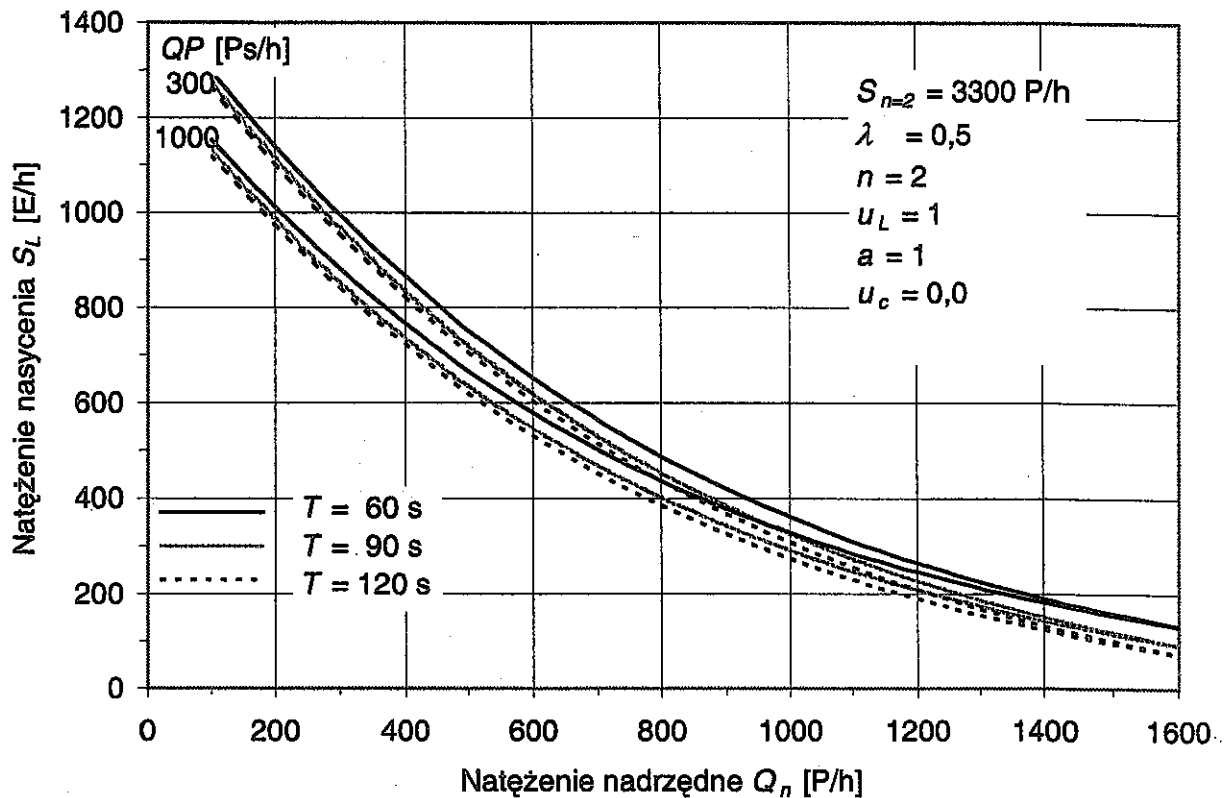
Wpływ na natężenie nasycenia kolizyjnego skrzyżowania w lewo parametrów takich, jak: natężenie nadrzędne  $Q_n$ , liczba pasów, po których porusza się potok nadrzędny  $n$ , długość cyklu sygnalizacji  $T$  i udział w nim sygnału zielonego efektywnego  $\lambda = G_e / T$ , pojemność wewnętrznej powierzchni oczekiwania, na której zatrzymują się pojazdy skręcające w lewo  $a$  oraz natężenie ruchu pieszego  $QP$  przedstawiają rys. 4.4 ÷ 4.6.



Rys. 4.4. Wpływ natężenia nadrzędnego pojazdów  $Q_n$ , liczby pasów nadrzędnych  $n$ , długości cyklu  $T$  i udziału sygnału zielonego efektywnego w cyklu  $\lambda$  na natężenie nasycenia kolizyjnego skrętu w lewo



Rys. 4.5. Wpływ natężenia nadrzędnego pojazdów  $Q_n$ , pojemności wewnętrznej powierzchni oczekiwania  $a$  i długości cyklu  $T$  na natężenie nasycenia kolizyjnego skrętu w lewo



Rys. 4.6. Wpływ natężenia nadrzędnego pojazdów  $Q_n$ , natężenia ruchu pieszego  $QP$  i długości cyklu  $T$  na natężenie nasycenia kolizyjnego skrótu w lewo

#### 4.6. Natężenie nasycenia relacji skrętnej kolizyjnej z ruchem pieszym

Natężenie nasycenia pasa ruchu dla relacji skrętnej kolizyjnej z ruchem pieszym oblicza się ze wzoru:

$$S_r = S_o \cdot f_p \cdot \frac{1}{1 + u_c} \quad [\text{P/hz}] \quad (4.12)$$

gdzie:

$S_o$  – wyjściowe natężenie nasycenia [E/hz];  $S_o = 1450$  E/hz,

$f_p$  – współczynnik uwzględniający wpływ ruchu pieszego, przy czym  $f_p \leq 1$ ,

$u_c$  – udział w ruchu pojazdów ciężkich.

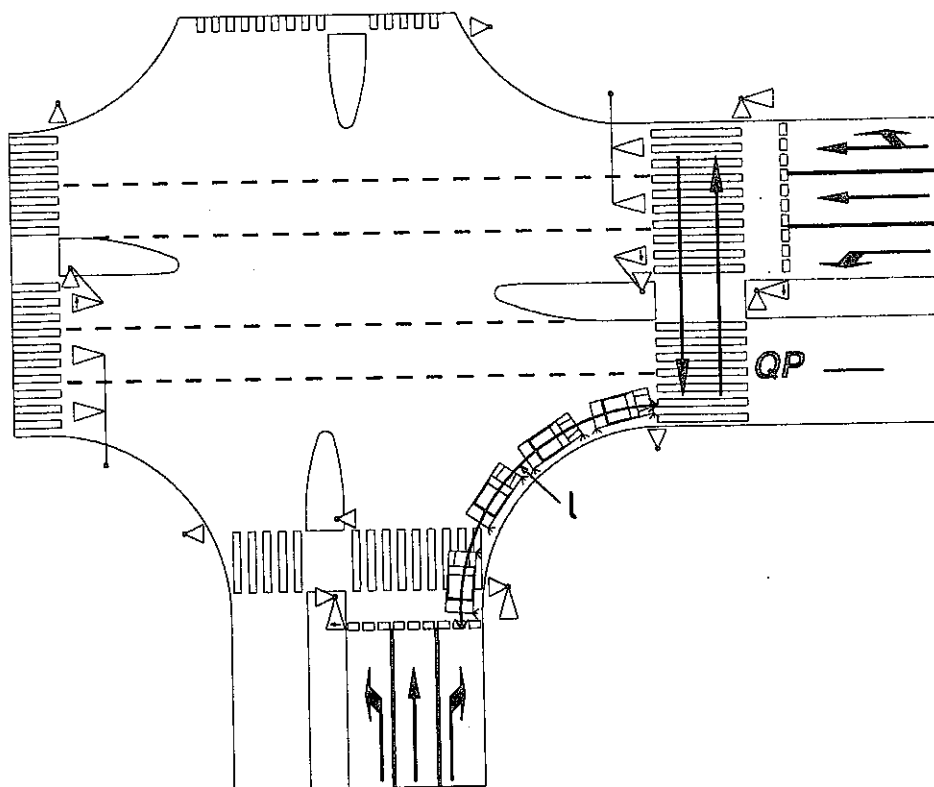
Współczynnik uwzględniający wpływ pieszych na przejściu na wylocie na natężenie nasycenia relacji skrętnej oblicza się ze wzoru:

$$f_p = 1 - \frac{1}{G_e} \cdot \left( \frac{1}{\frac{1450}{(QP \cdot T) + 0,024} - 1,3 \cdot \sqrt{l} + 1} \right) \quad [-] \quad (4.13)$$

gdzie:

$QP$  – natężenie ruchu pieszych [Ps/h], przy czym  $QP > 0$  Ps/h,

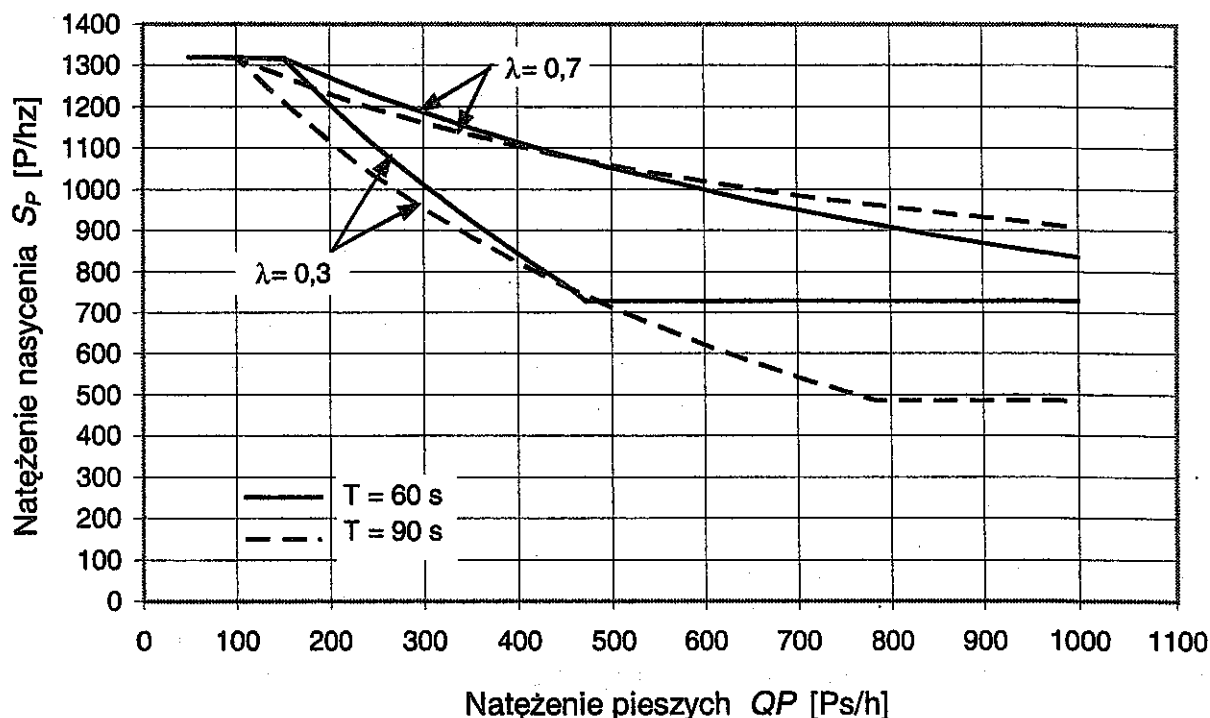
- $l$  – długość drogi dojazdu pojazdów skręcających w prawo, mierzona od linii zatrzymań do przejścia dla pieszych (rys. 4.7) [m]. W przypadku wielopasowego wylotu można zwiększyć wartość  $l$  o długość odcinka zajmowanego przez pojazdy oczekujące przed przejściem na sąsiednim pasie ruchu (zwykle 6 lub 12 m),
- $G_e$  – długość sygnału zielonego efektywnego [s],
- $T$  – długość cyklu sygnalizacji [s].



Rys. 4.7. Ilustracja powierzchni akumulacji dla pojazdów skręcających w prawo przy dopuszczonej kolizji z ruchem pieszym

Jeżeli współczynnik  $f_p$  obliczony ze wzoru (4.13) jest mniejszy niż  $f_{p,\min} = 0,4 \cdot l / G_e$ , należy przyjąć  $f_p = 0,4 \cdot l / G_e$ . Powyższy warunek uwzględnia sytuację, gdy o przepustowości strumienia pojazdów skręcających w prawo decyduje liczba pojazdów, które zgromadziły się na odcinku od linii zatrzymań do przejścia dla pieszych na wylocie (rys. 4.7) i kontynuują zjazd po zakończeniu sygnału zielonego dla pieszych. W niektórych przypadkach ze wzoru (4.13) można uzyskać wartość współczynnika  $f_p > 1$ . Oznacza to, że piesi nie obniżają wyjściowego natężenia nasycenia i należy przyjąć  $f_p = 1$ . Wpływ natężenia ruchu pieszego na natężenie nasycenia skrzyżowania z ruchem pieszym, przy różnych długościach cyklu i udziale sygnału zielonego efektywnego w cyklu, przedstawia rys. 4.8.





Rys. 4.8. Wpływ natężenia ruchu pieszego  $QP$ , długości cyklu  $T$  i udziału sygnału zielonego efektywnego w cyklu  $\lambda$  na natężenie nasycenia kolizyjnego skrętu w prawo

#### 4.7. Natężenie nasycenia pasa ruchu

Jeżeli z pasa ruchu korzysta tylko jedna relacja (wydzielony pas), natężenie nasycenia takiego pasa równe jest natężeniu nasycenia relacji ( $S_j^w = S_r$ ). Na wlotach skrzyżowań bardzo często stosuje się wspólne pasy ruchu dla dwóch lub trzech relacji. Natężenia nasycenia  $S_j^w$  wspólnego pasa ruchu  $j$  oblicza się ze wzoru:

$$S_j^w = \frac{1}{\frac{u_L}{S_L} + \frac{u_W}{S_W} + \frac{u_P}{S_P}} \quad [\text{P/hz}] \quad (4.14)$$

gdzie:

$S_L, S_W, S_P$  – natężenia nasycenia na analizowanym pasie odpowiednio relacji: w lewo, na wprost i w prawo,

$u_L, u_W, u_P$  – udział w ruchu na analizowanym pasie odpowiednio relacji: w lewo, na wprost i w prawo [-].

Zwrócenia uwagi wymaga wykorzystanie pasa wspólnego: – przez relacje o bezkolizyjnym przebiegu czy też – przez relację bezkolizyjną z kolizyjną. Natężenie nasycenia relacji o przebiegu bezkolizyjnym zależy od tego, czy występuje ona na pasie samodzielnie lub z inną relacją bezkolizyjną czy też dzieli pas z relacją kolizyjną. Jeżeli z pasa korzystają jedynie relacje bezkolizyjne, wtedy strumienie pojazdów opuszczają wlot bez zakłóceń, tzn. opóźnienie pojazdów przy ruszaniu występuje tylko na początku sygnału zielonego i dlatego ma ono wpływ jedynie na wartość czasu traconego. Jeśli ze wspólnego pasa ruchu korzystają również koli-

zyjne relacje skątne, wówczas ruch pojazdów relacji o przebiegu bezkolizyjnym jest co pewien czas zatrzymywany przez pojazdy kolizyjnych relacji skątnych oddających pierwszeństwo pojazdom z kierunku nadrędnego i/lub pieszym. W tych dwóch przypadkach stosuje się różne wartości wyjściowego natężenia nasycenia. W pierwszym wyjściowe natężenie nasycenia relacji o przebiegu bezkolizyjnym wynosi  $S_o = 1900$  E/hz, w drugim zaś – 1700 E/hz (wzory (4.6) i (4.7)).

W przypadku gdy każda z relacji korzysta z nie więcej niż jednego pasa (wydzielonego lub wspólnego), udział pojazdów rozważanej relacji w ruchu na analizowanym pasie jest łatwy do obliczenia na podstawie znajomości udziału poszczególnych relacji w ruchu na wlocie. Jeśli jednak, kierowcy danej relacji mogą wybierać pas ruchu, to udział takiej relacji na analizowanym pasie nie jest tak łatwy do obliczenia jak w poprzednim przypadku. Przy wyznaczaniu  $u_L$ ,  $u_W$  i  $u_P$  w takim przypadku należy uwzględnić opisany w p. 4.14 sposób rozkładu ruchu na pasy.

#### 4.8. Natężenie nasycenia obliczeniowej grupy pasów

Jeżeli obliczeniową grupę pasów tworzy jeden pas ruchu, to natężenie nasycenia takiej grupy  $S_{gr}$  równe jest natężeniu nasycenia pasa ruchu  $S_j$  obliczonemu wg wzoru (4.2). Jeżeli zaś obliczeniowa grupa obejmuje więcej niż jeden pas ruchu, natężenie nasycenia oblicza się ze wzoru:

$$S_{gr} = \left( \sum_{j=1}^{n_{gr}} S_j \right) \quad [\text{P/hz}] \quad (4.15)$$

#### 4.9. Natężenie nasycenia relacji podczas sygnału dopuszczającego skręcanie w kierunku wskazanym strzałką

Stosowanie sygnału dopuszczającego skręcanie w kierunku wskazanym strzałką, w postaci sygnału czerwonego ogólnego i zielonej strzałki, ma na celu podniesienie przepustowości relacji skątnych, zazwyczaj w prawo, oraz obniżenie strat czasu pojazdów tych relacji. W myśl rozporządzenia w sprawie szczegółowych warunków technicznych dla znaków i sygnałów drogowych oraz urządzeń bezpieczeństwa ruchu drogowego i warunków ich umieszczania na drogach [15] sygnał ten stosuje się, gdy istnieje możliwość bezkolizyjnego ruchu pojazdów skręcających w kierunku wskazanym strzałką.

Wyróżniono dwa przypadki obliczania natężeń nasycenia relacji skątnych w czasie nadawania sygnału dopuszczającego skręcanie w kierunku wskazanym strzałką, zachodzącej:

- z wydzielonego pasa ruchu (rys. 4.9.a),
- ze wspólnego pasa ruchu z innymi relacjami (rys. 4.9.b).

*Przypadki analizy na istniejących skrzyżowaniach natężeń nasycenia relacji skątnych w kolizyjnym ruchu podczas sygnału dopuszczającego skręcanie w kierunku wskazanym strzałką (w dopuszczonym w rozporządzeniu [15] okresie przejściowym do 2008 r.) zamieszczono w zał. 2.*

##### a) Relacja skątna z wydzielonego pasa

Bezkolizyjny ruch pojazdów skręcających w prawo z wydzielonego pasa występuje dość często na skrzyżowaniach o trzech wlotach oraz na skrzyżowaniach o czterech wlotach z sygnalizacją wielofazową. W takim przypadku natężenie nasycenia relacji skątnych podczas nada-

wania sygnału dopuszczającego skręcanie w kierunku wskazanym strzałką wyznacza się ze wzoru:

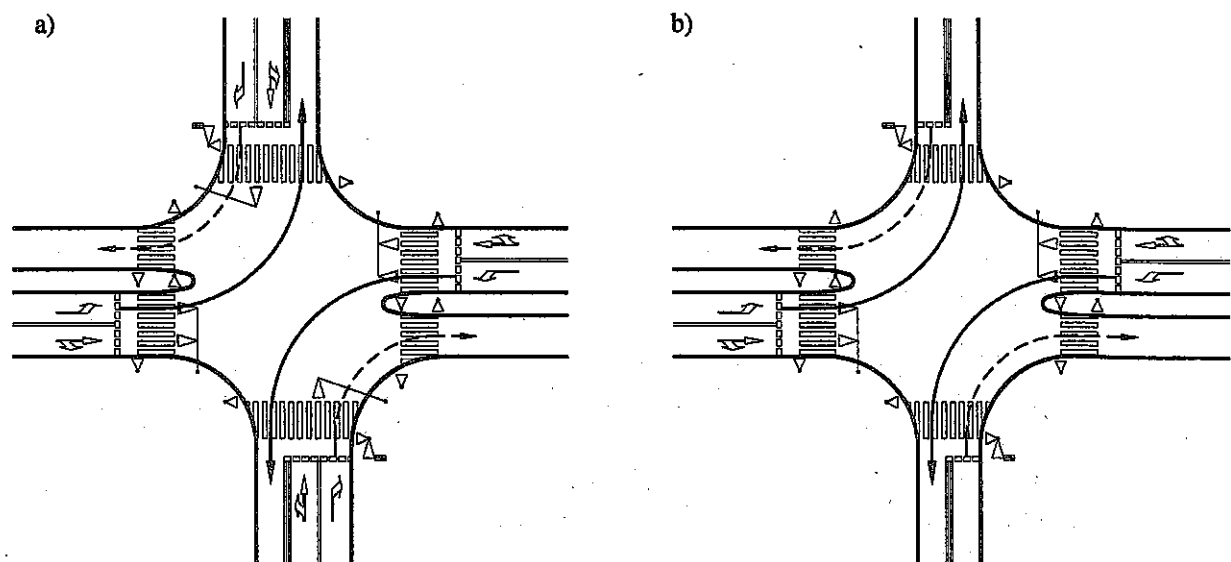
$$S_{zs} = 1070 \cdot \frac{1}{1 + u_c} \quad [\text{P/hz}] \quad (4.16)$$

gdzie:  $u_c$  – udział w ruchu pojazdów ciężkich.

Natężenie nasycenia skrętu w prawo  $S_{G,zs}$ , z uwzględnieniem ruchu pojazdów podczas sygnału zielonego  $G_e$  i podczas sygnału dopuszczającego skręcanie w kierunku wskazanym strzałką  $G_{zs}$ , zgodnie z zasadą opisaną w p. 4.2, wyniesie:

$$S_{G,zs} = \frac{S \cdot G_e + S_{zs} \cdot G_{zs}}{G_e + G_{zs}} \quad [\text{P/hz}] \quad (4.17)$$

*Uwaga:* W dalszym toku obliczeń do wyznaczenia przepustowości wydzielonego pasa dla relacji skrętu w prawo z sygnałem dopuszczającym skręcanie w kierunku wskazanym strzałką, jako sygnał zielony efektywny należy przyjąć sumę sygnałów ( $G_e + G_{zs}$ ).



Legenda:

- > ruch pojazdów na sygnale zielonym
- - -> ruch pojazdów podczas nadawania sygnału dopuszczającego skręcanie w kierunku wskazanym strzałką

Rys. 4.9. Ilustracja wyróżnionych przypadków skrętu w czasie nadawania sygnału dopuszczającego skręcanie w kierunku wskazanym strzałką;  
a) z wydzielonego pasa, b) ze wspólnego pasa

#### b) Relacja skrętna ze wspólnego pasa ruchu z innymi relacjami

Na pasie wspólnym wjazd na skrzyżowanie pojazdów skręcających w prawo w okresie nadawania sygnału dopuszczającego skręcanie w kierunku wskazanym strzałką jest blokowa-

ny przez inne relacje, co powoduje, że działanie tego sygnału jest stosunkowo mało efektywne. Poprawkę, o jaką należy w tym przypadku zwiększyć natężenie nasycenia relacji w prawo, z uwagi na pojazdy opuszczające wlot podczas sygnału dopuszczającego skręcanie w kierunku wskazanym strzałką, można obliczyć ze wzoru:

$$\Delta S = 1,06 \cdot \frac{3600}{G_e} \cdot \frac{u_p \cdot (1 - u_p^{Q \cdot G_{zs} / 3600})}{1 - u_p} \quad [\text{P/hz}] \quad (4.18)$$

gdzie:

- $u_p$  – udział relacji w prawo na pasie,
- $Q$  – natężenie ruchu na analizowanym pasie [P/h],
- $G_e$  – efektywny sygnał zielony dla relacji w prawo [s],
- $G_{zs}$  – czas trwania sygnału dopuszczającego skręcanie w kierunku wskazanym strzałką [s].

Natężenie nasycenia relacji skrętu w prawo  $S_{G,zs}$ , z uwzględnieniem ruchu pojazdów podczas sygnału zielonego  $G_e$  i podczas sygnału dopuszczającego skręcanie w kierunku wskazanym strzałką  $G_{zs}$ , w tym przypadku wyniesie łącznie:

$$S_{G,zs} = S + \Delta S \quad [\text{P/hz}] \quad (4.19)$$

Tak wyliczone natężenie nasycenia odnosi się do okresu sygnału zielonego ogólnego  $G_e$ .

#### 4.10. Natężenia nasycenia pasów ruchu na wlotach skrzyżowania z wyspą centralną

Na skrzyżowaniu z wyspą centralną (rys. 4.10) oprócz linii zatrzymań pojazdów na wlotach występują jeszcze linie zatrzymań na wewnętrznych powierzchniach akumulacyjnych [22]. Określone na wstępie (p. 1.1) zastosowania metody obliczeniowej nie obejmują przypadków zatłoczenia (przepełnienia) wewnętrznych powierzchni akumulacyjnych na skrzyżowaniach z wyspą centralną, skutkiem których są zakłócenia ruchu i ograniczenie przepustowości wlotów. Jeśli sytuacje takie nie występują (jest to podstawowy warunek poprawnego projektowania skrzyżowań z wyspą centralną), do obliczania natężeń nasycenia pasów ruchu zarówno na wlotach, jak i na wewnętrznych powierzchniach akumulacyjnych mogą być stosowane procedury opisane w p. 4.3 ÷ 4.7, z przedstawionymi poniżej ustaleniami.

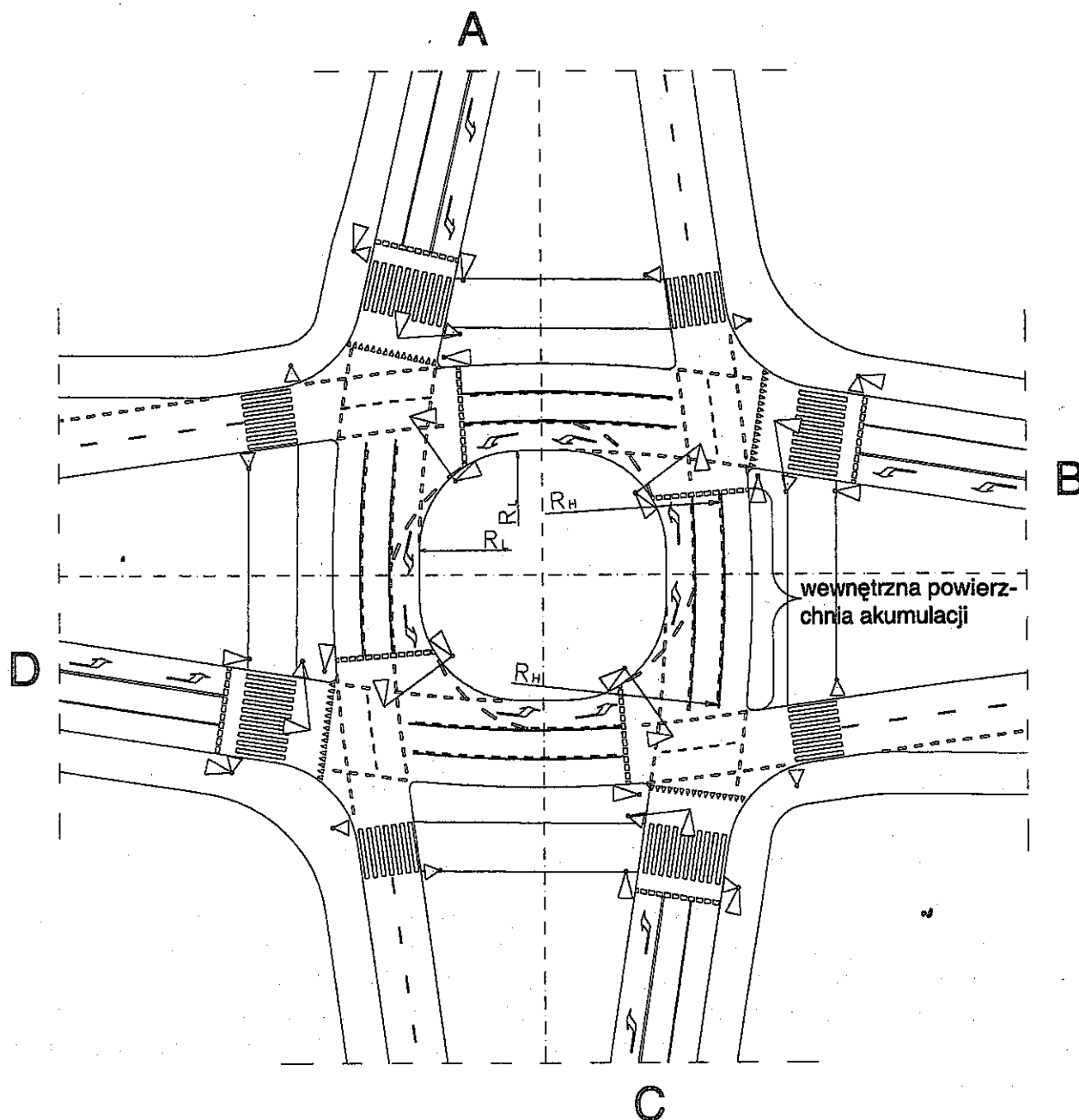
##### Wlot skrzyżowania z wyspą centralną

- a) Relację skrętu w lewo na wlocie należy traktować jako bezkolizyjną, niezależnie od tego, czy w danej fazie sygnalizacyjnej jej pojazdy zatrzymują się na wewnętrznej powierzchni akumulacyjnej czy też nie.

Natężenie nasycenia tej relacji można liczyć ze wzoru (4.6), jak natężenie nasycenia relacji na wprost, przyjmując  $S_o = 1800 \text{ E/hz}$ .

- b) Natężenie nasycenia relacji na wprost należy obliczać ze wzoru (4.6), a natężenie nasycenia relacji w prawo odpowiednio ze wzoru (4.7) – przy jej przebiegu bezkolizyjnym oraz ze wzoru (4.12) – przy jej przebiegu kolizyjnym z ruchem pieszym.

- c) Jeżeli relacja na wprost występuje na wspólnym pasie z kolizyjną relacją skrętu w prawo, wyjściowe natężenie nasycenia relacji na wprost należy przyjąć  $S_o = 1700 \text{ E/h}$ .



Rys. 4.10. Przykład skrzyżowania z wyspą centralną

#### Wewnętrzna powierzchnia akumulacyjna

- Natężenie nasycenia relacji skrętu w lewo należy obliczać ze wzoru (4.7), stosując wartość promienia skrętu  $R_L$  oraz szerokość pasa  $w$  jak na wlocie (bez poszerzeń).
- Natężenie nasycenia relacji na wprost należy obliczać ze wzoru (4.6), przyjmując szerokość pasa  $w$  jak na wlocie (bez poszerzeń).
- W przypadku, gdy pojazdy skręcające w lewo z wlotu skrzyżowania zatrzymują się na wewnętrznej powierzchni akumulacyjnej, przepustowość pasów na wprost w obrębie tej powierzchni (z których korzystają pojazdy skręcające w lewo) wyliczona jako iloczyn pojem-

ności tych pasów w obrębie wewnętrznej powierzchni akumulacyjnej ( $F_a$ ) wyrażonej liczbą samochodów osobowych i liczby cykli w godzinie  $\left( F_a \cdot \frac{3600}{T} \right)$  [E/h] powinna być większa od natężenia ruchu pojazdów relacji skreću w lewo wjeżdżających na powierzchnię akumulacyjną.

Maksymalną liczbę pojazdów  $N_{max}$  skręcających w lewo z wlotu skrzyżowania, które zatrzymują się na wewnętrznej powierzchni akumulacyjnej, można z prawdopodobieństwem 95 % określić z tab. 4.2, obliczając ich średnią liczbę ze wzoru:  $N_{sr} = \frac{Q_L \cdot T}{3600}$ .

Tabela 4.2. Prawdopodobne maksymalne liczby pojazdów  $N_{max}$  przy dojeżdżających średnio  $N_{sr}$  pojazdach

$N_{sr}$	$N_{max}$	$N_{sr}$	$N_{max}$	$N_{sr}$	$N_{max}$
0,1 ÷ 0,3	1	4,7 ÷ 5,4	9	10,9 ÷ 11,6	17
0,4 ÷ 0,8	2	5,5 ÷ 6,1	10	11,7 ÷ 12,4	18
0,9 ÷ 1,3	3	6,2 ÷ 6,9	11	12,5 ÷ 13,2	19
1,4 ÷ 1,9	4	7,0 ÷ 7,7	12	13,3 ÷ 14,1	20
2,0 ÷ 2,6	5	7,8 ÷ 8,4	13	14,2 ÷ 14,9	21
2,7 ÷ 3,2	6	8,5 ÷ 9,2	14	15,0 ÷ 15,8	22
3,3 ÷ 3,9	7	9,3 ÷ 10,0	15	15,9 ÷ 16,7	23
4,0 ÷ 4,6	8	10,1 ÷ 10,8	16	16,8 ÷ 17,6	24

#### 4.11. Wpływ przystanku autobusowego na natężenie nasycenia

Przystanki autobusowe z zatoką przystankową nie oddziałują w istotny sposób na przepustowość wlotu skrzyżowania, jeśli długość zatoki (peronu) jest wystarczająca. Tym samym ich wpływ może być pominięty w obliczeniach przepustowości. Stosunkowo duży wpływ na przepustowość mają natomiast przystanki autobusowe bez zatoki zlokalizowane blisko skrzyżowania, na pasach ruchu na wlocie (rys. 4.11.a) lub na wylocie (rys. 4.11.b), a także przystanki ze zbyt krótką zatoką.

##### a) Przystanek autobusowy na wlocie (rys. 4.11.a)

Współczynnik korygujący natężenie nasycenia pasa ruchu, na którym zatrzymuje się autobus dla wymiany pasażerów na przystanku oblicza się ze wzoru:

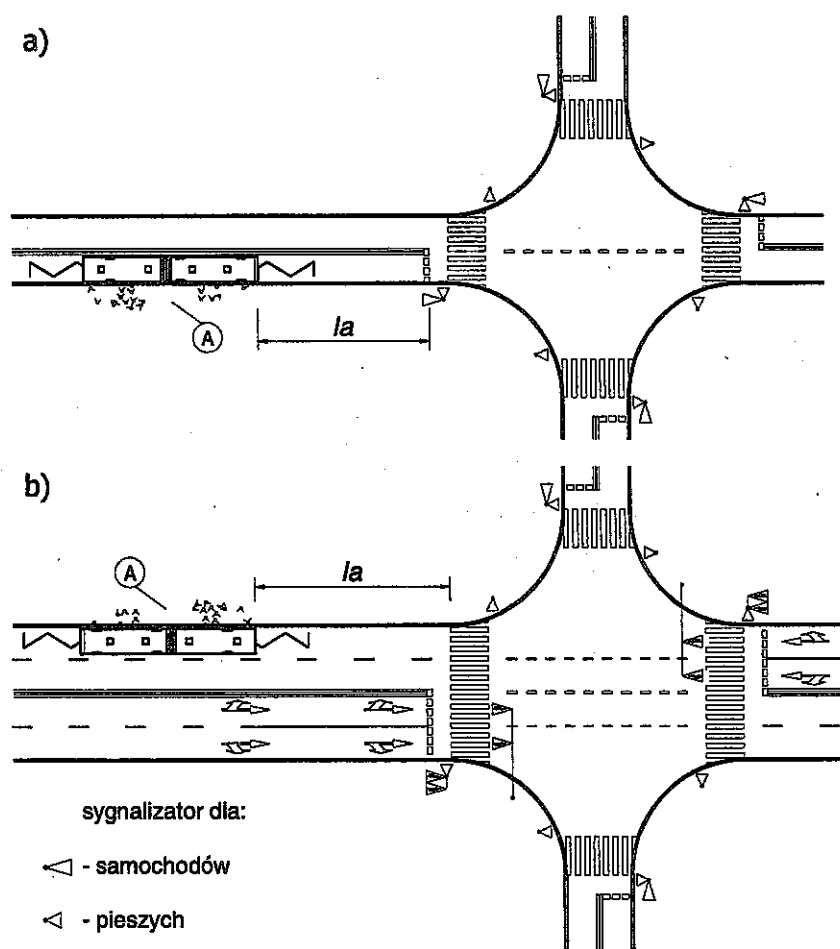
$$f_a = 1 - \frac{Q_a \cdot t_b}{3600} \quad [-] \quad (4.20)$$

gdzie:

- $f_a$  – współczynnik korygujący natężenie nasycenia z uwagi na przystanek autobusowy bez zatoki przystankowej zlokalizowany na wlocie skrzyżowania [-],
- $Q_a$  – natężenie autobusów zatrzymujących się na przystanku [P/h],
- $t_b$  – średni efektywny czas blokowania pasa ruchu przez autobus zawierający czas

postoiu na przystanku oraz dodatkowy czas blokowania spowodowany hamowaniem i przyspieszeniem autobusu [s]. Przy braku danych można przyjąć wartość  $t_b = 30$  s, odpowiadającą przeciętnym warunkom wymiany pasażerów.

Współczynnik  $f_a$  uwzględnia wpływ przystanku, na którym postój autobusu odbywa się podczas sygnału zielonego. Można przyjąć, że przystanek autobusowy nie wpływa na natężenie nasycenia, jeśli jest położony poza zasięgiem kolejki pojazdów na skrajnym pasie. Przy przeciętnej długości sygnału zielonego 30 s wpływ przystanku zlokalizowanego w odległości  $l_a = 75$  m można pominąć, jeśli na wlocie są więcej niż 2 pasy ruchu.



Rys. 4.11. Przystanek autobusowy zlokalizowany na pasie ruchu na wlocie skrzyżowania (a) i na wylocie skrzyżowania (b)

Natężenie nasycenia pasa ruchu z uwzględnieniem wpływu przystanku autobusowego zlokalizowanego na wlocie oblicza się zgodnie z wzorem (4.2).

#### b) Przystanek autobusowy na wylocie (rys. 4.11.b)

Sumaryczny czas blokowania  $T_b$  pasa ruchu przez autobus na wylocie w ciągu godziny wynosi:

$$T_b = t_b \cdot Q_a \quad [\text{s/h}] \quad (4.21)$$

gdzie:

$t_b$  – średni czas blokowania pasa ruchu przez jeden autobus [s],

$Q_a$  – natężenie autobusów zatrzymujących się na przystanku w ciągu godziny [P/h].

Czas blokowania pasa mierzony na linii zatrzymań wlotu jest w rzeczywistości mniejszy dzięki powierzchni akumulacyjnej o długości  $l_a$  pomiędzy autobusem a przejściem dla pieszych, na której mogą się zatrzymać pojazdy po opuszczeniu wlotu. Sumaryczne zmniejszenie blokowania o czas  $t_o$  (czas odzyskany w godzinie) z powodu oddalenia przystanku autobusowego od przejścia w poprzek wylotu można określić ze wzoru:

$$t_o = \frac{l_a}{u_w \cdot l_p} \cdot \frac{3600}{S_j^w} \cdot Q_a \quad [\text{s/h}] \quad (4.22)$$

gdzie:

- $S_j^w$  – natężenie nasycenia pasa ruchu, w którym nie uwzględniono wpływu przystanku komunikacji zbiorowej [P/hz],
- $l_a$  – odległość mierzona od tyłu autobusu do przejścia dla pieszych na wylocie skrzyżowania [m] (rys. 4.11.b),
- $u_w$  – udział pojazdów relacji na wprost w ruchu na pasie,
- $l_p$  – przeciętna długość stanowiska pojazdu w kolejce,  $l_p = u_l \cdot l_l + u_c \cdot l_c$ ,  
 $u_l, u_c$  – udział w ruchu na pasie pojazdów lekkich i ciężkich,  
 $l_l, l_c$  – przeciętna długość w kolejce pojazdu lekkiego i ciężkiego (w warunkach polskich można przyjmować:  $l_l = 6,2$  m,  $l_c = 13,0$  m. W przypadku braku lub bardzo małego udziału pojazdów z przyczepami oraz członowych ( $u_{cp} \leq 2\%$ ) można przyjąć  $l_c = 11,0$  m),
- $Q_a$  – natężenie autobusów zatrzymujących się na przystanku [P/h].

Współczynnik korygujący natężenie nasycenia pasa ruchu ze względu na przystanek autobusowy na wylocie można obliczyć ze wzoru:

$$f_a = 1 - \frac{T_b - t_o}{3600} \quad [-] \quad (4.23)$$

gdzie:

- $T_b$  – sumaryczny czas blokowania pasa ruchu przez autobusy w ciągu godziny, obliczony ze wzoru (4.21),
- $t_o$  – sumaryczne zmniejszenie czasu blokowania (czas odzyskany) na linii zatrzymań w ciągu godziny, dzięki oddaleniu przystanku od skrzyżowania, obliczony ze wzoru (4.22),

Jeśli  $(Q_a \cdot t_b - t_o) < 0$ , wówczas można przyjąć, że przystanek autobusowy jest dostatecznie oddalony od skrzyżowania i nie obniża przepustowości wlotu.

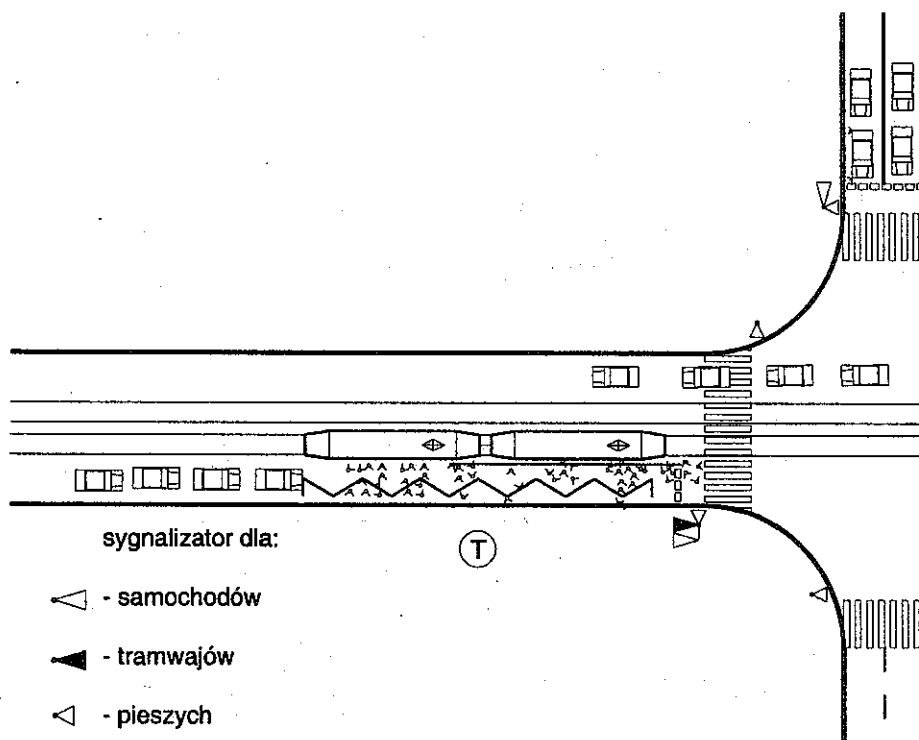
Natężenie nasycenia pasa ruchu z uwzględnieniem wpływu przystanku autobusowego zlokalizowanego na wylocie oblicza się zgodnie z wzorem (4.2).

Należy zauważyć, że w przypadku koordynacji sygnalizacji zgłoszenia autobusów w cyklu, na ogół nie są w pełni losowe. Zaleca się wtedy bardziej wnikliwą analizę wpływu przystanku na przepustowość, ponieważ omówiona powyżej korekta może dawać wyniki obarczone błędem.



#### 4.12. Wpływ przystanku tramwajowego z wymianą pasażerów na jezdni na natężenie nasycenia

W śródmieściach starych miast można spotkać torowiska tramwajowe wbudowane w jezdnię z przystankami bez wyspy przystankowej (peronu). Wsiadający i wysiadający z tramwaju pasażerowie blokują przejazd pojazdom na wszystkich pasach ruchu, na których dokonuje się wymiana pasażerów (rys. 4.12).



Rys. 4.12. Przystanek tramwajowy na wlocie skrzyżowania bez peronu przystankowego

Skrócenie dostępnego dla samochodów sygnału zielonego spowodowane wymianą pasażerów na przystanku zlokalizowanym na wlocie można uwzględnić w obliczeniach przepustowości za pomocą współczynnika  $f_t$  obliczonego z empirycznego wzoru:

$$f_t = 1 - \frac{1}{G_e} \cdot \left[ 2,2 \cdot q_t \cdot \left( 9,14 \cdot \frac{G_e}{T} + 1 \right) - B \right] \quad [-] \quad (4.24)$$

$$B = q_t \cdot (1,62 \cdot q_t^2 + 1,38 \cdot q_t - 0,21)$$

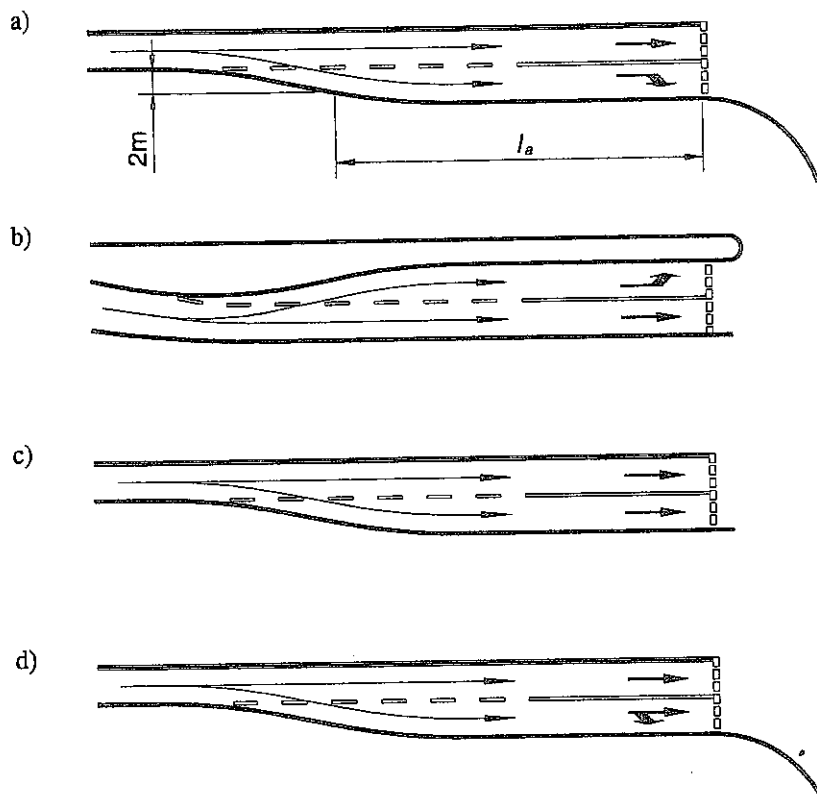
gdzie:  $q_t$  – natężenie ruchu tramwajowego [Tr/cykl],  $q_t = Q_t \cdot \frac{T}{3600}$ ,  $Q_t$  [Tr/h].

Człon B we wzorze (4.24), zmniejszający wielkość redukcji przepustowości, stosuje się tylko w przypadku podwójnych przystanków tramwajowych, na których wymiana pasażerów występuje równocześnie w dwóch, stojących jeden za drugim tramwajach.

Natężenie nasycenia pasa ruchu z uwzględnieniem wpływu przystanku tramwajowego z wymianą pasażerów na jezdni oblicza się zgodnie z wzorem (4.2).

#### 4.13. Natężenie nasycenia w przypadku krótkiego pasa

W przypadku zbyt małej dostępnej powierzchni na skrzyżowaniu mogą występować krótkie dodatkowe pasy ruchu, głównie dla relacji skrajnych, rzadziej dla relacji na wprost lub na wprost i skrajnej (rys. 4.13). Takie pasy nie mogą osiągać pełnej przepustowości, w przypadku gdy możliwy odpływ pojazdów z kolejki na sygnale zielonym byłby większy niż liczba pojazdów, które mogą się ustawić w kolejce na takim pasie. Przepustowość krótkiego pasa zależy od długości kolejki, jaka może się na nim ustawić oraz od możliwości ciągłego dopływu pojazdów na ten pas w czasie sygnału zielonego. Kolejka na krótkim pasie, przekraczająca jego długość, może blokować sąsiedni pas ruchu. Sposób wyznaczania granicznej długości, przy której pas ruchu należy traktować jako krótki podano w p. 4.13.1.



Rys. 4.13. Przykłady krótkich pasów ruchu na wlocie skrzyżowania z różną organizacją ruchu

Wpływ krótkiego pasa na warunki ruchu zależy od długości sygnału zielonego i stopnia obciążenia pasów ruchu, a dokładniej, od długości kolejek pojazdów na pasie krótkim i sąsiednim (zasadniczym). Podane poniżej sposoby umożliwiają przybliżone szacowanie efektu krótkiego pasa. Zakładają one pełne nasycenie sygnału zielonego ( $X \geq 1,0$ ), co pozwala dokładniej oszacować przepustowość wlotu kosztem niewielkiego błędu w ocenie warunków ruchu przy stopniu obciążenia  $X < 1,0$ .

W niniejszej metodzie obliczeniowej zostały uwzględnione schematy najczęściej występujących układów krótkich pasów. Inne, rzadziej spotykane, przypadki nie zostały ujęte z powodu konieczności złożonych obliczeń dających niepewne wyniki. Ponadto, w projektowaniu nowych skrzyżowań problem krótkiego pasa zasadniczo nie powinien występować. Efekt krótkiego pasa można wyeliminować przez zwiększenie długości pasa jak również skrócenie przypadającego dla niego sygnału zielonego.

Przykłady dodatkowych, krótkich pasów ruchu na wlocie i wylocie skrzyżowania przedstawione są na rys. 4.13 i 4.14.

#### 4.13.1. Krótki pas ruchu na wlocie

Ze względu na sposób funkcjonowania wyróżnia się dwa rodzaje dodatkowego pasa na wlocie:

- dodatkowy i sąsiedni (zasadniczy) pas ruchu otrzymują sygnał zielony w różnym czasie (rys. 4.13 możliwe dla przypadków a, b),
- dodatkowy i sąsiedni (zasadniczy) pas ruchu otrzymują sygnał zielony w tym samym czasie (rys. 4.13 możliwe dla przypadków a, b, c, d).

Dodatkowy pas ruchu należy traktować jako krótki, jeśli występująca na nim kolejka pojazdów opuszcza wlot przed końcem sygnału zielonego, a w kolejce na sąsiednim pasie znajdują się jeszcze pojazdy relacji obsługiwanej przez krótki pas. W pozostałej części sygnału zielonego przekrój wlotowy może być zasilany pojazdami z węższego przekroju (bez pasa dodatkowego), co obniża przepustowość wlotu. Spełnienie następującego warunku wskazuje na wystąpienie efektu krótkiego pasa:

$$\frac{G_e \cdot S_d}{3600} > a = \frac{l_a}{l_p} \quad (4.25)$$

gdzie:

- $S_d$  – natężenie nasycenia na dodatkowym pasie ruchu [P/h], nieuwzględniające ograniczenia jego długości (obliczane zgodnie z zasadami opisanymi w p. 4.3 ÷ 4.7),
- $a$  – pojemność krótkiego pasa [P],
- $l_a$  – długość dodatkowego pasa mierzona zgodnie z rys. 4.13.a,
- $l_p$  – przeciętna długość stanowiska pojazdu w kolejce [m], obliczana jak w objaśnieniach do wzoru (4.22).

#### a) Dodatkowy i sąsiedni pas ruchu otrzymują sygnał zielony w różnym czasie

Sytuacja, gdy dodatkowy i sąsiedni pas otrzymują sygnał zielony w różnym czasie może dotyczyć rozwiązań a i b na rys. 4.13. Zakłada się, iż dojeżdżające pojazdy wypełniają całkowicie powierzchnie obydwu pasów równe długości dodatkowego pasa  $l_a$ , a następnie ustawiają się we wspólnej kolejce. W takiej sytuacji natężenie nasycenia jest obliczane przy założeniu, że w okresach sygnałów zielonych, przypadających dla pasów: zasadniczego  $G_{ez}$  oraz dodatkowego  $G_{ed}$ , z każdego pasa będzie możliwy zjazd jedynie  $a = l_a / l_p$  pojazdów w cyklu. Natężenia nasycenia pasa zasadniczego  $S_z$  oraz krótkiego, dodatkowego  $S_{kd}$  oblicza się ze wzorów:

$$S_z = \frac{3600 \cdot a}{G_{ez}} \quad [\text{P/hz}] \quad (4.26)$$

$$S_{kd} = \frac{3600 \cdot a}{G_{ed}} \quad [\text{P/hz}] \quad (4.27)$$

#### b) Dodatkowy i sąsiedni pas ruchu otrzymują sygnał zielony w tym samym czasie

Jeżeli pas zasadniczy i krótki, dodatkowy należą do tej samej grupy oblicze-

niowej (rys. 4.13.c i d), natężenie nasycenia oblicza się, zakładając, iż pełne nasycenie w okresie całego sygnału zielonego  $G_e$  może mieć miejsce na pasie zasadniczym, a z pasa krótkiego zjedzie tylko  $a = l_a / l_p$  pojazdów w cyklu. W tej sytuacji natężenie nasycenia  $S_{kd}$  dla dodatkowego pasa oblicza się ze wzoru:

$$S_{kd} = \frac{3600 \cdot a}{G_e} \quad [\text{P/hz}] \quad (4.28)$$

Gdy z dodatkowego pasa korzysta także relacja skrętna (rys. 4.13.d) o natężeniu  $Q_r$ , należy sprawdzić, czy średnia liczba pojazdów relacji skrętnej w cyklu korzystającej z dodatkowego pasa  $\left(\frac{Q_r \cdot T}{3600}\right)$  nie będzie przekraczać pojemności dodatkowego pasa ( $a = l_a / l_p$ ). Jeżeli  $\frac{Q_r \cdot T}{3600} \geq a$ , pas powinien być traktowany jako wydzielony i obliczenia prowadzone zgodnie z procedurą uwzględniającą, iż analizowane pasy, zasadniczy i krótki, dodatkowy należą do różnych grup obliczeniowych.

W przypadku gdy pas zasadniczy i krótki dodatkowy należą do różnych grup obliczeniowych (rys. 4.13.a i b), można w uproszczeniu obliczyć ich łączne natężenie nasycenia z następującej zależności:

$$S_z + S_{kd} = S_z + \frac{3600 \cdot a}{G_e} \quad \text{dla } Q_z \geq Q_{kd}$$

$$S_z + S_{kd} = S_d + \frac{3600 \cdot a}{G_e} \quad \text{dla } Q_z < Q_{kd}$$

(4.29)

gdzie:

- $S_d$  – natężenie nasycenia na dodatkowym pasie ruchu [P/hz], nieuwzględniające ograniczenia jego długości,
- $a$  – pojemność krótkiego pasa [P],
- $Q_z$  – natężenie ruchu na pasie zasadniczym [P/h],
- $Q_{kd}$  – natężenie ruchu na dodatkowym, krótkim pasie [P/h].

Gdy z dodatkowego, krótkiego pasa korzysta relacja skrętna o kolizyjnym przebiegu, zwłaszcza podporządkowana strumieniowi o dużym natężeniu, należy sprawdzić, czy jej natężenie nasycenia bez uwzględnienia efektu krótkiego pasa (wzory (4.8) lub (4.12)) nie jest mniejsze niż  $\frac{3600 \cdot a}{G_e}$ .

#### 4.13.2. Krótki pas ruchu na wylocie

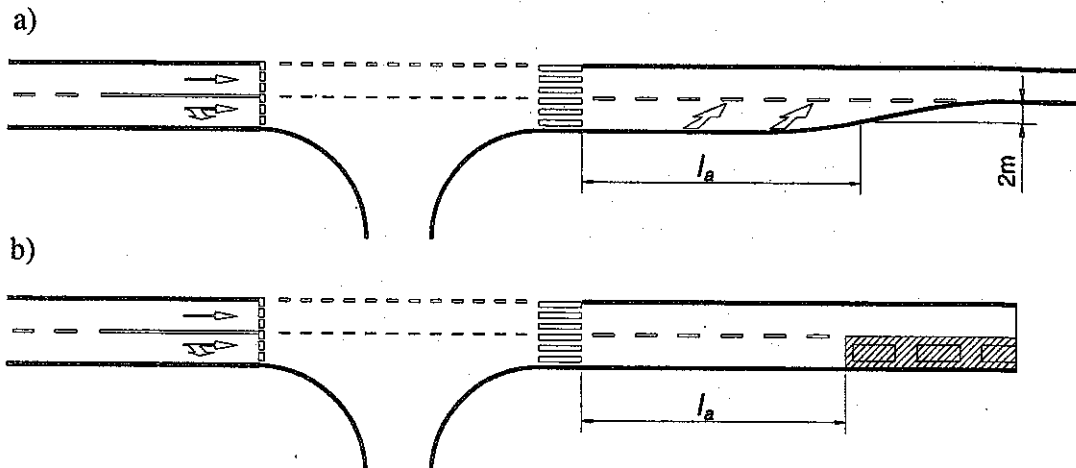
Podobnie jak na wlocie, tak i na wylocie skrzyżowania może wystąpić krótki pas obniżający przepustowość. Na rys. 4.14.a, b przedstawione są przykładowe sytuacje, w których należy sprawdzić, czy efekt krótkiego pasa występuje. Sprawdzenie długości pasa oraz obliczenie skorygowanej wartości natężenia nasycenia pasa na wlocie, którego kontynuacją jest krótki pas, jest podobne jak dla dodatkowego pasa na wlocie przy równoczesnym sygnale zielo-

nym dla pasów krótkiego i sąsiedniego. Różnica występuje w ustaleniu pojemności akumulacyjnej pasa  $a'$  stosowanej w obliczeniach, którą można obliczyć ze wzoru:

$$a' = \frac{a}{u_w} \quad [P] \quad (4.30)$$

gdzie:

- $a$  – pojemność pasa na wlocie obliczona jak we wzorze (4.25),
- $u_w$  – udział pojazdów jadących na wprost w ruchu na pasie, którego kontynuacją na wlocie jest krótki pas.



Rys. 4.14. Przykłady krótkich pasów na wlocie skrzyżowania.

Przypadek a) może dotyczyć sytuacji, gdy występuje redukcja liczby pasów. Przypadek b) może obrazować ograniczenie długości pasa spowodowane parkowaniem pojazdów

#### 4.13.3. Równoczesne występowanie krótkich pasów na wlocie i wlocie skrzyżowania

Jeśli krótkie pasy występują równocześnie na wlocie i wlocie, to w obliczeniach natężenia nasycenia należy uwzględnić wpływ tylko tego pasa, który silniej redukuje przepustowość. Jest to pas, którego pojemność, brana do obliczeń, jest mniejsza ( $a$  – dla pasa na wlocie,  $a'$  – dla pasa na wlocie). Sposób wyznaczania pojemności został podany w objaśnieniach do wzoru (4.25).

#### 4.14. Rozkład ruchu w obliczeniowej grupie pasów

Dwa lub więcej pasów ruchu należy do tej samej obliczeniowej grupy pasów, jeśli pojazdy jednej relacji z każdego z tych pasów mogą wykonać zamierzony manewr. Obliczeniowa grupa pasów może zawierać tylko jeden pas ruchu. Definicja obliczeniowej grupy pasów ruchu została podana w p. 1.3, zaś na rys. 3.2 i 3.3 przedstawiono kilka przykładowych obliczeniowych grup pasów.

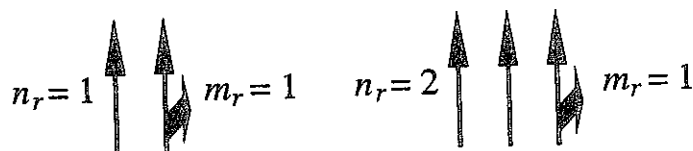
Przy wyborze pasa ruchu dla relacji występującej na więcej niż jednym pasie w grupie obliczeniowej kierujący pojazdami biorą pod uwagę obciążenie pasów, wybierając pasy mniej obciążone o krótszej kolejce, oraz przeznaczenie pasów, wybierając raczej pasy nieprowadzące kolizyjnej relacji. Taki wybór powoduje wyrównywanie warunków ruchu pomiędzy pasami tej samej grupy obliczeniowej. Można z pewnym uproszczeniem stwierdzić, że wybór pasa z uwagi na możliwość jak najszybszego zjazdu ze skrzyżowania, z możliwie najmniejszy-

mi stratami czasu, powoduje wyrównanie stopni nasycenia  $Y = Q/S$  pasów w obrębie obliczeniowej grupy pasów.

Podana poniżej procedura iteracyjna umożliwi znalezienie w szybki sposób takiego rozkładu natężeń na pasach obliczeniowej grupy dowolnej konfiguracji, który spełnia podane powyżej kryterium.

Przyjęto następujące oznaczenia:

- $Q_r$  – całkowite natężenie relacji  $r$  w obliczeniowej grupie pasów,
- $Q_{rj}$  – natężenie relacji  $r$  na pasie  $j$ ,
- $S_{rj}$  – natężenie nasycenia relacji  $r$  na pasie  $j$ ,
- $Y$  – stopień nasycenia obliczeniowej grupy pasów,
- $n_{gr}$  – liczba pasów w grupie obliczeniowej,
- $m_r$  – liczba pasów w grupie obliczeniowej wspólnych z relacją  $r$ ,
- $n_r$  – liczba wydzielonych pasów w obliczeniowej grupie z relacją  $r$ .



Rys. 4.15. Przykłady określania liczby pasów wydzielonych i wspólnych w grupie pasów

Do określenia rozkładu natężeń ruchu prowadzą następujące kroki:

1° Wstępny rozkład natężenia ruchu relacji korzystających z więcej niż jednego pasa jest dokonywany według poniższych zasad:

- przyjmuje się natężenie relacji  $r$  na pasie wydzielonym o wartości:

$$\frac{Q_r}{n_r + 0,5 \cdot m_r} \quad (4.31)$$

- oraz natężenie relacji  $r$  na pasie wspólnym o wartości:

$$\frac{0,5 \cdot Q_r}{n_r + 0,5 \cdot m_r} \quad (4.32)$$

2° Przybliżoną wartość stopnia nasycenia pasa ruchu w grupie oblicza się według wzoru:

$$Y = \frac{1}{n_{gr}} \cdot \left( \sum_j \frac{Q_{Lj}}{S_{Lj}} + \sum_j \frac{Q_{Wj}}{S_{Wj}} + \sum_j \frac{Q_{Pj}}{S_{Pj}} \right) \quad (4.33)$$

3° Znając przybliżoną wartość  $Y$ , można obliczyć natężenia relacji na poszczególnych pasach ruchu według poniższych zasad:

- natężenie relacji korzystającej z wydzielonego pasa:

$$Q_{rj} = Y \cdot S_{rj} \quad (4.34)$$



Rys. 4.16. Natężenia relacji W korzystającej z wydzielonych pasów 1 i 2 ( $Q_{W1}$  i  $Q_{W2}$ ) obliczone z wzoru (4.34)

- natężenie na wspólnym pasie ( $j = wsp$ ) relacji korzystającej z większej liczby pasów w grupie (gdy w grupie występuje jeden pas wspólny -  $m_r = 1$ )

$$Q_{r, wsp} = Q_r - \sum_{wy} Q_{r, wy} \quad (4.35)$$



$$\sum_{wy} Q_{r, wy} = Q_{W1} + Q_{W2}$$

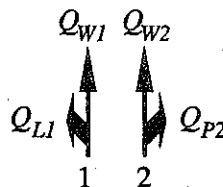
Rys. 4.17. Natężenie relacji W korzystającej ze wspólnego pasa 3 ( $Q_{W3}$ ), gdy w grupie jest jeden pas wspólny, obliczone z wzoru (4.35)

gdzie:  $\sum_{wy} Q_{r, wy}$  - suma natężeń rozważanej relacji na wydzielonych pasach ( $j = wy$ ) z relacją  $r$ ,

- natężenie relacji na wprost na wspólnym pasie, gdy w grupie występują dwa pasy wspólne oblicza się ze wzoru:

$$Q_{Wj} = S_{Wj} \cdot \left( Y - \frac{Q_{rj}}{S_{rj}} \right) \quad (4.36)$$

gdzie:  $Q_{rj}$ ,  $S_{rj}$  - natężenie ruchu i natężenie nasycenia relacji skrajnej na pasie  $j$  wspólnym z relacją na wprost.



Rys. 4.18. Natężenie relacji W korzystającej ze wspólnych pasów 1 i 2 ( $Q_{W1}$  i  $Q_{W2}$ ), gdy w grupie występują dwa pasy wspólne, obliczone z wzoru (4.36)

Należy sprawdzić, czy suma obliczonych natężeń relacji na wprost na poszczególnych pasach  $\sum_j Q_{wj}$  równa jest zadanemu natężeniu relacji na wlocie  $Q_w$ . Jeśli suma natężeń  $\sum_j Q_{wj}$  odbiega od zadanego natężenia  $Q_w$ , wówczas poprawione natężenie relacji na

wprost na poszczególnych pasach równe jest:  $Q_{wj} \cdot \frac{Q_w}{\sum_j Q_{wj}}$ .

4° Powtórne obliczenie stopnia nasycenia  $Y$  przy zastosowaniu natężenia  $Q_{wj}$  obliczonego w kroku 3°. Jeśli powtórnie obliczona wartość  $Y$  różni się zasadniczo (więcej niż o 0,005) od wartości  $Y$  z kroku 2°, to należy powtórzyć obliczenia wymienione w kroku 3°.

Podana procedura daje, na ogół, wystarczająco dobry wynik po jednokrotnym przejściu kroków 1° ÷ 4°.



## 5. OBLICZENIA PRZEPUSTOWOŚCI I POCHODNYCH MIAR SPRAWNOŚCI SKRZYŻOWANIA

### 5.1. Ogólne zasady obliczania przepustowości

Przepustowość obliczeniowej grupy pasów, którą może tworzyć jeden lub więcej pasów ruchu (por. p. 1.3 i p. 3.3), zależy w ogólnym ujęciu od wartości natężenia nasycenia  $S$  i parametrów programu sygnalizacji, takich jak sygnał zielony efektywny  $G_e$  i cykl sygnalizacji  $T$ . Pomiedzy przepustowością i natężeniem nasycenia obliczeniowej grupy pasów zachodzi następujący związek:

$$C_{gr} = S_{gr} \cdot \frac{G_e}{T} \quad [\text{P/h}] \quad (5.1)$$

Jeżeli na wlocie skrzyżowania jest jedna obliczeniowa grupa pasów, przepustowość takiego wlotu równa jest przepustowości grupy pasów. Gdy zaś na wlocie występuje więcej niż jedna grupa pasów, przepustowość wlotu zależy nie tylko od przepustowości poszczególnych obliczeniowych grup pasów, ale także od struktury kierunkowej ruchu na wlocie (rozkładu ruchu na wlocie na poszczególne grupy pasów). Przepustowość wlotu w tym przypadku będzie sumą natężeń ruchu w poszczególnych grupach pasów na wlocie w stanie, gdy w jednej z grup natężenie osiągnęło wartość przepustowości. Dalszy wzrost ruchu powodowałby przeciążenie tej grupy. Jest to przepustowość obliczona wg tzw. krytycznej grupy pasów na wlocie, nazywana też przepustowością sprowadzoną wlotu. Za krytyczną grupę pasów na wlocie przyjmuje się tę, która ma największą wartość stopnia obciążenia  $X$ .

Dla całego skrzyżowania określa się przepustowość sprowadzoną, wyznaczoną na podstawie przepustowości krytycznej grupy pasów wybranej spośród grup pasów na wszystkich wlotach oraz udziału ruchu pojazdów wjeżdżających na skrzyżowanie z pasów tej grupy w całkowitym ruchu na skrzyżowaniu.

### 5.2. Przepustowość pasa ruchu

Przepustowość  $j$ -tego pasa ruchu oblicza się ze wzoru:

$$C_j = S_j \cdot \frac{G_e}{T} \quad [\text{P/h}] \quad (5.2)$$

gdzie:

$S_j$  – natężenie nasycenia pasa ruchu  $j$  obliczone ze wzorów (4.2) lub (4.3) [P/hz],

$G_e$  – efektywny sygnał zielony [s],

$T$  – długość cyklu sygnalizacji [s].

### 5.3. Przepustowość obliczeniowej grupy pasów

Przepustowość obliczeniowej grupy pasów, wykorzystując zależności (4.15) i (5.1), oblicza się ze wzoru:

$$C_{gr} = \left( \sum_{j=1}^{n_{gr}} S_j \right) \cdot \frac{G_e}{T} = \sum_{j=1}^{n_{gr}} C_j \quad [\text{P/h}] \quad (5.3)$$

gdzie:

- $C_{gr}$  – przepustowość obliczeniowej grupy pasów [P/h],
- $S_j$  – natężenie nasycenia pasa ruchu  $j$  ( $j = 1, \dots, n_{gr}$ ) obliczone ze wzorów (4.2) lub (4.3) [P/hz],
- $n_{gr}$  – liczba pasów ruchu w grupie,
- $G_e$  – efektywny sygnał zielony [s],
- $T$  – długość cyklu sygnalizacji [s],
- $C_j$  – przepustowość pasa  $j$  obliczona wg wzoru (5.2).

Jeżeli obliczeniową grupę tworzy jeden pas ruchu, wtedy przepustowość grupy odpowiada przepustowości tego pasa obliczonej ze wzoru (5.2).

Jeżeli obliczeniową grupę tworzy wydzielony pas dla skrętu w prawo z sygnałem dopuszczającym skręcanie w kierunku wskazanym strzałką i natężenie nasycenia wyznaczono wg wzoru (4.17), jako sygnał zielony efektywny należy przyjąć sumę sygnałów ( $G_e + G_{zr}$ ).

#### 5.4. Przepustowość wlotu

Przepustowość sprowadzoną wlotu, wg tzw. krytycznej grupy pasów na wlocie, czyli grupy, na której w miarę wzrostu ruchu na wlocie w pierwszej kolejności wystąpi stan nasycenia ruchem, oblicza się ze wzoru:

$$C_{wl} = \min_{gr, wl} \left\{ 100 \cdot \frac{C_{gr}}{m_{gr}^{wl}} \right\} \quad [\text{P/h}] \quad (5.4)$$

gdzie:

- $C_{gr}$  – przepustowość grupy pasów na danym wlocie [P/h],
- $m_{gr}^{wl}$  – procentowy udział ruchu z danego wlotu przypadającego na pasy analizowanej grupy obliczeniowej [%].
- $\min_{gr, wl}$  – poszukiwanie minimalnej wartości wyrażen  $\left\{ 100 \cdot \frac{C_{gr}}{m_{gr}^{wl}} \right\}$  dla wszystkich obliczeniowych grup pasów  $gr$  na wlocie  $wl$  skrzyżowania [P/h],

Jeżeli na wlocie występuje jedna obliczeniowa grupa pasów ruchu, wtedy przepustowość wlotu odpowiada przepustowości tej grupy pasów obliczonej ze wzoru (5.3).

#### 5.5. Przepustowość skrzyżowania

Przepustowość sprowadzoną skrzyżowania, wg tzw. krytycznej grupy pasów na skrzyżowaniu, czyli grupy, na której w miarę wzrostu ruchu na skrzyżowaniu w pierwszej kolejności wystąpi stan nasycenia ruchem, oblicza się ze wzoru:

$$C_{sk} = \min_{gr,sk} \left\{ 100 \cdot \frac{C_{gr}}{m_{gr}^{sk}} \right\} \quad [P/h] \quad (5.5)$$

gdzie:

$C_{gr}$  – przepustowość grupy pasów na skrzyżowaniu [P/h],

$m_{gr}^{sk}$  – procentowy udział ruchu na całym skrzyżowaniu przypadającego na pasy danej grupy obliczeniowej [%].

$\min_{gr,sk}$  – poszukiwanie minimalnej wartości wyrażen  $\left\{ 100 \cdot \frac{C_{gr}}{m_{gr}^{sk}} \right\}$  dla wszystkich obliczeniowych grup pasów  $gr$  na wszystkich wlotach skrzyżowania [P/h],

### 5.6. Stopień obciążenia

Bardzo ważną miarą sprawności skrzyżowania jest stopień obciążenia  $X$  wyznaczany dla obliczeniowych grup pasów, wlotów oraz skrzyżowania.

Stopień obciążenia obliczeniowej grupy pasów  $X_{gr}$  oblicza się ze wzoru:

$$X_{gr} = \frac{Q_{gr}}{C_{gr}} \quad [-] \quad (5.6)$$

gdzie:

$Q_{gr}$  – natężenie ruchu w obliczeniowej grupie pasów [P/h],

$C_{gr}$  – przepustowość obliczeniowej grupy pasów [P/h] obliczona wg wzoru (5.3).

Analogicznie jak dla grupy pasów stopień obciążenia może być wyznaczony dla wlotu:

$$X_{wl} = \frac{Q_{wl}}{C_{wl}} \quad [-] \quad (5.7)$$

oraz dla skrzyżowania:

$$X_{sk} = \frac{Q_{sk}}{C_{sk}} \quad [-] \quad (5.8)$$

gdzie:

$Q_{wl}$  – natężenie ruchu na analizowanym wlocie [P/h],

$C_{wl}$  – przepustowość wlotu w przypadku gdy na wlocie jest jedna obliczeniowa grupa pasów lub przepustowość sprowadzona wlotu, gdy na wlocie jest więcej niż jedna obliczeniowa grupa pasów [P/h], obliczona wg wzoru (5.4),

$Q_{sk}$  – sumaryczne natężenie ruchu na skrzyżowaniu [P/h],

$C_{sk}$  – przepustowość sprowadzona skrzyżowania obliczona wg wzoru (5.5).

Przeciążenie grupy pasów, wlotu lub skrzyżowania występuje, gdy  $X > 1,0$ . Warunki ruchu stają się jednak już trudne do zaakceptowania, gdy  $X > 0,85$  i zbliża się do 1,0. Dlatego

też w analizie sprawności skrzyżowania przyjmuje się często dopuszczalny stopień obciążenia  $X_d = 0,85 + 0,95$ , zwłaszcza gdy analiza jest uproszczona i nie obejmuje oceny warunków ruchu.

Z definicji przepustowości sprowadzonej wynika, że jeżeli przeciążona jest grupa pasów, to za przeciążone uznaje się również wlot i skrzyżowanie.

### 5.7. Przepustowość praktyczna i rezerwa przepustowości

Konsekwencją przyjęcia wartości dopuszczalnego stopnia obciążenia jest praktyczna przepustowość grupy pasów, wlotu lub skrzyżowania  $C_p$ , gwarantująca warunki ruchu, które mogą być akceptowane przez większość uczestników ruchu. Przepustowość praktyczną grupy pasów, wlotu lub skrzyżowania oblicza się z ogólnego wzoru:

$$C_p = X_d \cdot C \quad [\text{P/h}] \quad (5.9)$$

a rezerwę przepustowości praktycznej  $\Delta C_p$ :

$$\Delta C_p = C_p - Q \quad [\text{P/h}] \quad (5.10)$$

gdzie:

- $C_p$  – przepustowość praktyczna, odpowiednio; obliczeniowej grupy pasów  $C_{p,gr}$ , wlotu  $C_{p,wl}$  lub skrzyżowania  $C_{p,sk}$  [P/h],
- $X_d$  – dopuszczalna wartość stopnia obciążenia [-],
- $C$  – przepustowość, odpowiednio; obliczeniowej grupy pasów  $C_{gr}$ , sprowadzona wlotu  $C_{wl}$  lub skrzyżowania  $C_{sk}$  [P/h],
- $Q$  – natężenie ruchu, odpowiednio; w obliczeniowej grupie pasów  $Q_{gr}$ , na wlocie  $Q_{wl}$  lub na skrzyżowaniu  $Q_{sk}$  [P/h].

## 6. PROCEDURA OCENY WARUNKÓW RUCHU

W ocenie sprawności ruchowej skrzyżowania dużą rolę odgrywają warunki ruchu panujące na skrzyżowaniu. Na warunki ruchu na skrzyżowaniu wpływa jego rozwiązanie geometryczne i organizacja ruchu, natężenia ruchu wraz ze strukturą kierunkową i rodzajową, a także rodzaj sterowania i oddziaływanie sąsiednich skrzyżowań z sygnalizacją świetlną. Warunki ruchu określane są z wykorzystaniem takich miar, jak straty czasu, zatrzymania i kolejki pojazdów. Wartości tych miar pozwalają projektantowi ocenić jakość przyjętego lub istniejącego rozwiązania pod względem poprawności działania programu sygnalizacji, organizacji ruchu oraz rozwiązania geometrycznego. Wymienione wyżej miary warunków ruchu na skrzyżowaniu mogą być wykorzystane w ocenie oddziaływania ruchu na środowisko, a także ekonomiki ruchu. Sposobom estymacji podstawowych miar warunków ruchu na skrzyżowaniu poświęcony jest niniejszy rozdział.

### 6.1. Charakterystyka ogólna miar warunków ruchu

Pojazdy dojeżdżające do skrzyżowania ponoszą straty czasu wskutek czasowego blokowania przejazdu spowodowanego obecnością sygnalizacji świetlnej. Wskutek nadawania sygnału czerwonego pojazdy zatrzymują się i oczekują na możliwość opuszczenia skrzyżowania w czasie sygnału zielonego. Z zatrzymaniami i stratami czasu związana jest nieodłącznie obecność kolejki pojazdów na wlocie. Straty czasu, liczba zatrzymań i długości kolejek pojazdów są miarami bezpośrednio odczuwalnymi przez kierowców. Wyznaczenie ich wartości umożliwia wyznaczenie innych, wtórnych miar oceny jakości rozwiązania skrzyżowania z sygnalizacją i jego funkcjonowania, takich jak zużycie paliwa, emisja spalin, poziom hałasu, koszty ruchu itp.

**Strata czasu** jest to dodatkowy czas potrzebny na przejechanie skrzyżowania z sygnalizacją świetlną w porównaniu z czasem przejazdu przez skrzyżowanie bez zakłóceń (bez zatrzymania na wlocie). W ocenie warunków ruchu na skrzyżowaniu z sygnalizacją są stosowane średnie ogólne straty czasu  $d$  uwzględniające straty opóźniania przy dojeździe do kolejki i straty zatrzymania pojazdu w kolejce.

*Oprócz opisanych strat czasu przy przejeździe skrzyżowania mogą powstawać również tzw. straty geometryczne związane z wydłużeniem drogi przejazdu przez skrzyżowanie (skrzyżowania z wyspą centralną, skrzyżowania z przejazdami do zawracania w pasie dzielącym dla relacji skrętnych zakazanych na skrzyżowaniu, skrzyżowania typu „cygario” [21]). Ten rodzaj strat czasu powinien być uwzględniany przy porównywaniu skrzyżowań o różnych rozwiązaniach geometrycznych.*

Każdy pojazd, który poniósł stratę zatrzymania (postoj), jest zaliczany do pojazdów zatrzymanych. W grupie pojazdów ponoszących niewielkie straty opóźniania i przyspieszania tylko niektóre się zatrzymują. W analizie warunków ruchu na skrzyżowaniu wykorzystywana jest **liczba zatrzymań** jako wartość średnia przypadająca na pojazd lub łączna wszystkich pojazdów, z uwzględnieniem wielokrotnych zatrzymań pojazdów. Wyznacza się także udział pojazdów zatrzymanych w ogólnej liczbie pojazdów przejeżdżających skrzyżowanie.

**Długość kolejki** wyrażana jest liczbą pojazdów i najczęściej jej wielkość rejestrowana jest na początku (kolejka maksymalna) i końcu (kolejka pozostająca) sygnału zielonego. Często, już po rozpoczęciu nadawania sygnału zielonego, kolejne pojazdy dojeżdżają do końca kolejki, zwiększając odległość końca kolejki od linii zatrzymań. Kolejka maksymalna obejmuje ten stan. Znajomość długości kolejek maksymalnych jest istotna przy wymiarowaniu stref akumulacji dodatkowych pasów ruchu oraz przy projektowaniu koordynacji sygnalizacji.

Kolejki pozostające (świadczące o przeciążeniu wlotu) są ważną miarą w ocenie jakości sterowania.

Należy zauważyć, że zdolność obsługi pojazdów, wyrażana m.in. przez stopień obciążenia  $X$ , determinuje warunki ruchu na skrzyżowaniu. Stąd też stopień obciążenia  $X$  należy do podstawowych parametrów w estymatorach strat czasu, liczby zatrzymań i długości kolejek. Sprawność skrzyżowania pogarsza się gwałtownie, gdy stopień obciążenia  $X$  przekracza wartości  $0,8 \div 0,9$  (rys. 6.4  $\div$  6.7), a w przypadku znacznych krótkookresowych zmian natężenia, już przy  $X \geq 0,7$ . W sytuacji, gdy  $X \geq 0,9$ , znaczący wpływ na średnie straty czasu ma długość okresu analizy (rys. 6.4.b).

W analizie warunków ruchu istotną rolę odgrywa okres analizy  $t_a$ , który powinien cechować się stałym dopływem pojazdów. Typowe okresy analizy i przesłanki ich doboru zostały omówione w p. 3.2. Podstawowe procedury obliczania miar warunków ruchu w pojedynczym okresie  $t_a = 0,25$  h lub  $t_a = 1,0$  h zostały omówione w niniejszym rozdziale. Specjalna analiza w kolejnych, 15-minutowych podokresach godziny została zamieszczona w zał. 1.

Podstawową miarą w ocenie warunków ruchu są straty czasu pojazdów, stąd też są one omawiane w pierwszej kolejności. Następnie analizowane są kolejki pozostające, które odgrywają istotną rolę w modelach estymatorów pozostałych miar warunków ruchu, tj. kolejek maksymalnych oraz liczby zatrzymań.

Analiza warunków ruchu opisana w tym rozdziale dotyczy okresów, w których dopływ pojazdów można uznać za stały (niezmieniające się w czasie natężenie ruchu).

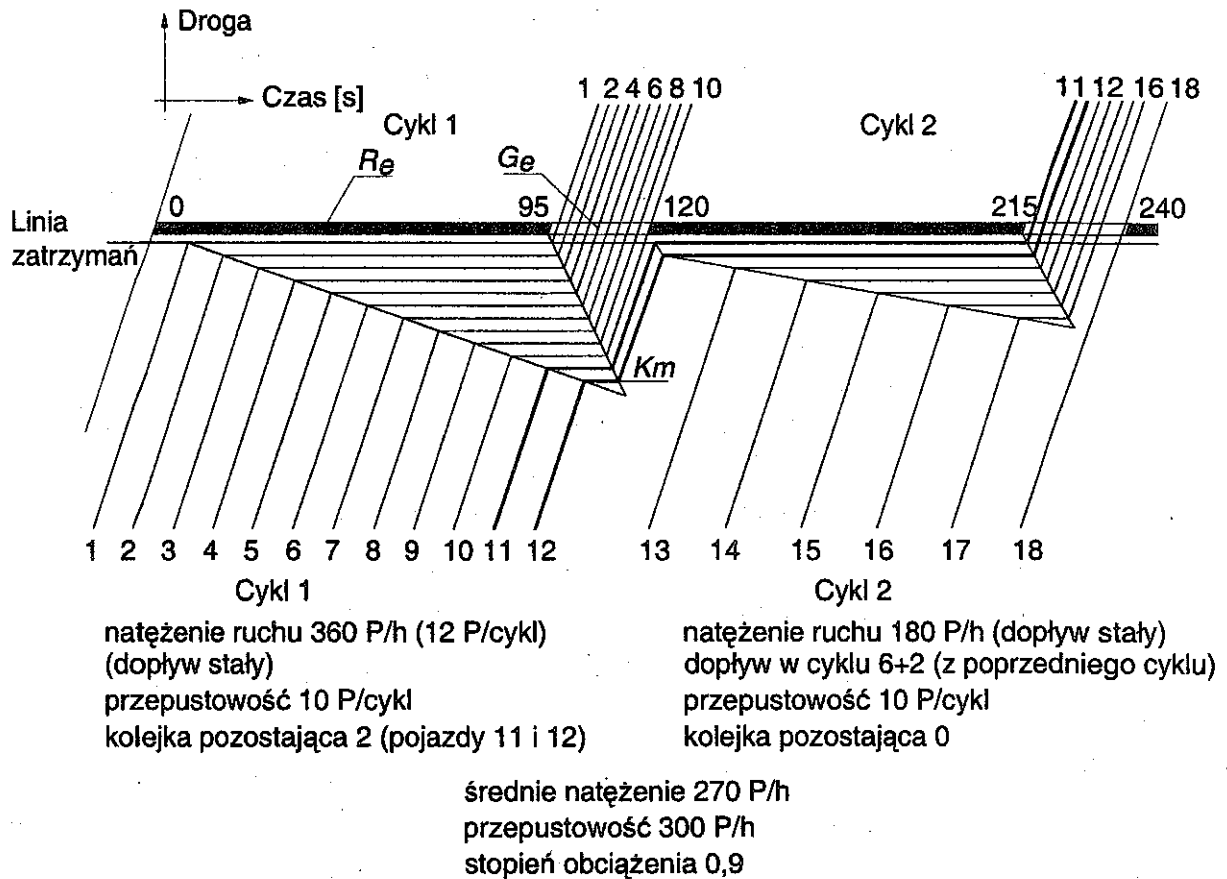
Do głównych przyczyn powstawania strat czasu i zatrzymań pojazdów strumienia priorytetowego na skrzyżowaniu z sygnalizacją należą:

- okresy nadawania sygnału czerwonego i czasy międzyzielone, które powodują przerwy w ruchu pojazdów niezależnie od jego charakteru,
- losowość dopływów pojazdów strumienia do wlotu,
- przeciążenie (pojawiające się zazwyczaj w okresie szczytowego ruchu), gdy natężenie dopływających pojazdów przekracza przepustowość przez kilka cykli sygnalizacyjnych lub dłużej.

Pierwsza przyczyna (o stałym charakterze) ujmowana jest w członie deterministycznym wzoru na obliczanie strat czasu, zaś dwie następne w członie losowym. Człon deterministyczny jest obliczany przy założeniu regularnych przybyć pojazdów (stałe odstępy czasowe) i jest proporcjonalny do długości sygnału czerwonego. Człon losowy determinowany jest losowością dojazdów pojazdów, a zwłaszcza przeciążeniem cyklu, reprezentowanym przez kolejkę pozostającą, tzn. średnią liczbą pojazdów pozostających na końcu sygnału zielonego. Losowość przybyć pojazdów na wlot skrzyżowania powoduje, iż nawet w przypadku gdy średnie natężenie strumienia dopływającego jest w okresie analizy mniejsze od przepustowości ( $X < 1,0$ ), występuje pewna liczba cykli przeciążonych. Przypadek ten ilustruje rys. 6.1, który pokazuje w układzie droga-czas hipotetyczne trajektorie pojazdów przybywających w regularnych odstępach w ciągu 2 cykli sygnalizacji. Dane dotyczące dopływającego strumienia pojazdów oraz przepustowości pasa ruchu podano pod rysunkiem. Jak łatwo zauważyć, dwa pojazdy (nr 11 i 12) pozostające z pierwszego cyklu zwiększają straty czasu pojazdów dojeżdżających podczas drugiego cyklu.

Efekt losowych zmian w strumieniu dopływającym jest nieistotny przy niskich stopniach obciążenia  $X < 0,7$  (rys. 6.5). Zwiększa się on jednak, gdy wartość stopnia obciążenia rośnie, powiększając w konsekwencji długość kolejek pozostających, straty czasu, liczbę zatrzymań i długość kolejek maksymalnych. Gdy natężenie ruchu dopływającego do skrzyżowania

przewyższa przepustowość ( $X \geq 1,0$ ) i stan ten utrzymuje się przez dłuższy czas, miary warunków ruchu stają się funkcją długości tego okresu. Kolejki pozostające rosną w kolejnych cyklach tego okresu, dopóki średnie natężenie strumienia pojazdów przybywających na wlot nie spadnie poniżej przepustowości. W takim przypadku celowe jest wydłużenie okresu analizy tak, aby objąć okres przeciążenia do momentu, gdy natężenie strumienia ruchu podczas tego okresu będzie stosunkowo stałe. Najwłaściwsza w tej sytuacji jest analiza okresu godziny w kolejnych jego podokresach (rys. 3.1.c) z uwzględnieniem przenoszenia się kolejek pojazdów z danego na kolejny podokres (zał. 1).



Rys. 6.1. Przykład ilustrujący przypadek z kolejką pozostającą

Miary warunków ruchu zależą również od rodzaju sterowania na skrzyżowaniu, czy jest to stałoczasowa sygnalizacja cykliczna czy też sygnalizacja akomodacyjna lub acykliczna. Istotnie oddziaływać może również sąsiednia sygnalizacja, zwiększająca udział pojazdów dojeżdżających do analizowanego skrzyżowania w kolumnach.

## 6.2. Straty czasu

### 6.2.1. Straty czasu w obliczeniowej grupie pasów

Średnie straty czasu przypadające na pojazd w obliczeniowej grupie pasów w przyjętym okresie analizy  $t_a$  (o stałym natężeniu dopływu) szacuje się według następujących wzorów:

$$d_{gr} = f_k \cdot d_1 + d_2 \quad [s/P] \quad (6.1)$$

$$d_1 = \frac{T}{2} \cdot \frac{(1-\lambda)^2}{1 - [\min\{1, X\} \cdot \lambda]} \quad [s/P] \quad (6.2)$$

$$d_2 = 900 \cdot t_a \cdot \left[ (X-1) + \sqrt{(X-1)^2 + \frac{7 \cdot r_s \cdot w_s \cdot X^2}{C \cdot t_a}} \right] \quad [s/P] \quad (6.3)$$

gdzie:

- $d$  – średnie straty czasu [s/P],
- $d_1$  – straty czasu wynikające z zatrzymań na sygnale czerwonym (tzw. regularne straty czasu zakładające stały dopływ, z jednakowymi odstępami między pojazdami) [s/P],
- $d_2$  – straty czasu wynikające z losowych wahań ruchu i okresowych przeciążeń obliczeniowych grup pasów [s/P],
- $f_k$  – współczynnik koordynacji sygnalizacji wyznaczany wg wzoru (6.4),
- $\lambda = G_e / T$  – udział efektywnego sygnału zielonego  $G_e$  w cyklu sygnalizacji  $T$ ,
- $C$  – przepustowość obliczeniowej grupy pasów [P/h],
- $t_a$  – okres analizy w [h], obejmujący okres czasu o stałej wartości natężenia strumienia dopływającego, przyjęty zgodnie z przesłankami podanymi w p. 3.2,
- $C \cdot t_a$  – maksymalna liczba pojazdów, jaka może być obsłużona w okresie  $t_a$ ,
- $X = Q / C$  – stopień obciążenia analizowanej obliczeniowej grupy pasów,
- $r_s$  – współczynnik uwzględniający rodzaj sterowania,
- $w_s$  – współczynnik uwzględniający obecność sąsiednich skrzyżowań z sygnalizacją świetlną.

Wartość współczynnika  $r_s$  należy przyjmować w zależności od rodzaju sterowania. W przypadku sygnalizacji cyklicznej stałoczasowej jego wartość jest stała i wynosi 0,5 niezależnie od  $X$  [-]. Dla sygnalizacji akomodacyjnej lub acyklicznej wielkość  $r_s$  uzależniona jest od jednostkowego wydłużenia sygnału zielonego  $\delta$  [s] i stopnia obciążenia  $X$  [-]. W tym przypadku współczynnik  $r_s$  należy przyjmować z tab. 6.1. Wpływ rodzaju sterowania na skrzyżowaniu ilustruje rys. 6.2.

Wartości współczynnika  $w_s$  zależą od usytuowania skrzyżowania w sieci ulic. Jeżeli skrzyżowanie jest odosobnione, tj. gdy odległość analizowanego wlotu od sąsiedniego skrzyżowania z sygnalizacją świetlną jest większa od 0,8 km przy obecności kilku wjazdów/zjazdów lub 1,6 km bez wjazdów, wartość współczynnika wynosi 1,0.

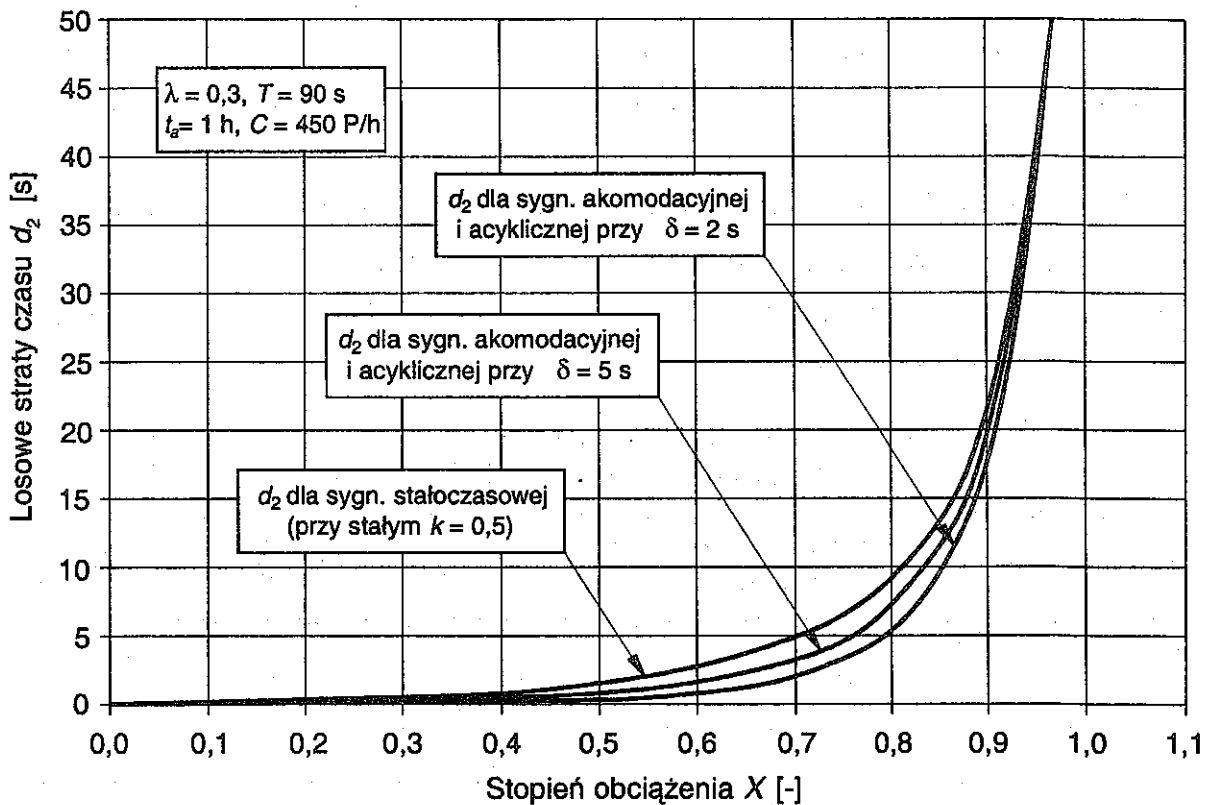
W przypadku skrzyżowań miejskich, zlokalizowanych w sieci skrzyżowań z sygnalizacją, zaznacza się wpływ sąsiednich sygnalizacji, zmniejszając losowość dopływów w cyklu na rozważane skrzyżowanie (do skrzyżowania dopływają kolumny pojazdów). W rezultacie uzyskane wielkości strat czasu z powodu losowych dopływów zostają zredukowane. Wpływ ten jest zazwyczaj zróżnicowany dla poszczególnych wlotów analizowanego skrzyżowania. Wartość  $w_s$  dla danego wlotu analizowanego skrzyżowania bazuje na stopniu obciążenia sąsiedniego skrzyżowania z sygnalizacją  $X_s$ . Współczynnik  $w_s$  można dobrać z tab. 6.2.



Tab. 6.1. Wartości współczynnika  $r_s$  dla danego typu sterowania

Jednostkowe wydłużenie sygnału $\delta$ [s]	Stopień obciążenia $X$ [-]					
	$\leq 0,5$	0,6	0,7	0,8	0,9	$\geq 1,0$
$\leq 2,0$	0,04	0,13	0,22	0,32	0,41	0,5
2,5	0,08	0,16	0,25	0,33	0,42	0,5
3,0	0,11	0,19	0,27	0,34	0,42	0,5
3,5	0,13	0,20	0,28	0,35	0,43	0,5
4,0	0,15	0,22	0,29	0,36	0,43	0,5
4,5	0,19	0,25	0,31	0,38	0,44	0,5
5,0*	0,23	0,28	0,34	0,39	0,45	0,5
Sterowanie stałoczasowe	0,5	0,5	0,5	0,5	0,50	0,5

\* Dla wartości  $\delta > 5,0$  s należy stosować ekstrapolację w celu znalezienia wartości  $r_s$  ( $r_s \leq 0,5$ )



Rys. 6.2. Wpływ rodzaju sterowania na wielkość losowych strat czasu

Tab. 6.2. Wartości współczynnika  $w_s$  uwzględniającego obecność sąsiednich skrzyżowań z sygnalizacją świetlną

	Stopień obciążenia sąsiedniego skrzyżowania z sygnalizacją świetlną $X_s$						
	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	$\geq 1,0$
$w_s$ <sup>1)</sup>	0,922	0,858	0,769	0,650	0,500	0,314	0,090

<sup>1)</sup>  $w_s = 1,0 \div 0,91 X_s^{2,68}$  i  $X_s \leq 1,0$ .

Wpływ koordynacji sygnalizacji świetlnych, powodującej regularne dojazdy pojazdów w kolumnach, uwzględnia się w obliczeniach strat czasu przez zastosowanie współczynnika koordynacji  $f_k$  korygującego pierwszy składnik strat czasu  $d_1$ . W sytuacji, kiedy analizowane skrzyżowanie jest zlokalizowane w ciągu ulicznym o sterowaniu skoordynowanym, należy określić jakość koordynacji zgodnie z podziałem podanym w tab. 6.3. Rozróżniono 6 stopni jakości koordynacji (typów dopływu). Dobra koordynacja ma miejsce, gdy występuje wysoki udział pojazdów dojeżdżających w kolumnie podczas sygnału zielonego na analizowanym skrzyżowaniu. Słaba koordynacja wystąpi przy małym udziale ruchu kolumnowego dopływającego do wlotu analizowanego skrzyżowania lub dopływie kolumn pojazdów w czasie sygnału czerwonego. W sytuacji, gdy koordynacja dotyczy określonego wlotu (-ów) na analizowanym skrzyżowaniu, współczynniki koordynacji  $f_k$  wyznacza się tylko dla obliczeniowych grup pasów ruchu na tym wlocie (-tach):

$$f_k = \frac{(1 - PG) \cdot f_{PG}}{1 - \frac{G_e}{T}} \quad (6.4)$$

gdzie:

- $f_k$  – współczynnik koordynacji (tab. 6.4),
- $PG$  – udział pojazdów dojeżdżających podczas sygnału zielonego ( $PG < 1,0$ );  
 $PG = R_p \cdot \lambda$ ,
- $R_p$  – wskaźnik rozproszenia kolumny pojazdów dojeżdżających do wlotu,
- $\lambda$  – udział efektywnego sygnału zielonego  $G_e$  w cyklu  $T$ ,
- $f_{PG}$  – dodatkowy współczynnik uwzględniający dojazd kolumny pojazdów w czasie sygnału zielonego.

Tab. 6.3. Zależność pomiędzy typem dopływu a wskaźnikiem rozproszenia kolumn pojazdów dojeżdżających do wlotu  $R_p$

Typ dopływu	Zakres wartości wskaźnika rozproszenia $R_p$	Zalecane wartości $R_p$	Jakość koordynacji
1	$\leq 0,50$	0,333	bardzo słaba
2	$> 0,50 + 0,85$	0,667	słaba
3	$> 0,85 + 1,15$	1,000	dopływy losowe
4	$> 1,15 + 1,50$	1,333	dobra
5	$> 1,50 + 2,00$	1,667	bardzo dobra
6	$> 2,00$	2,000	znakomita

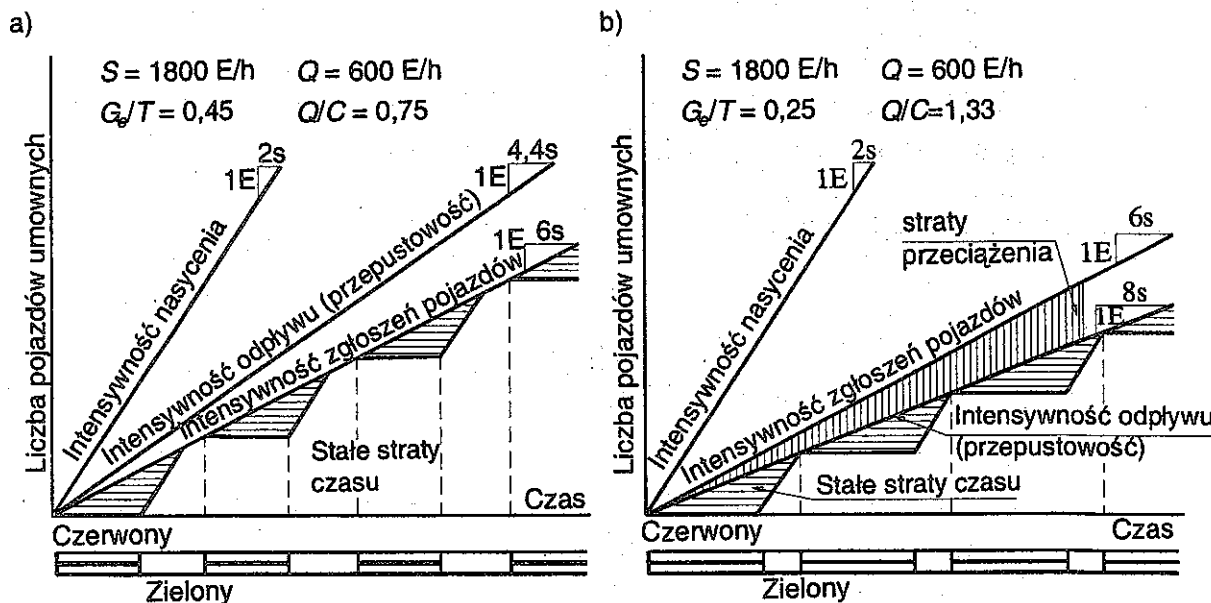
Wartość  $PG$  można pomierzyć na wlocie skrzyżowania lub oszacować w zależności od typu dopływu. Jeśli wykonuje się pomiary na skrzyżowaniach, wielkość  $PG$  powinna zostać określona jako udział pojazdów dojeżdżających do linii zatrzymania lub dołączających do kolejki (stałej lub przesuwej się) podczas sygnału zielonego w cyklu.

Tab. 6.4. Współczynnik koordynacji  $f_k$  dla regularnych strat czasu  $d_1$  (wartości bazują na zalecanych wartościach  $R_p$  i  $f_{PG}$ )

$\lambda = G_e/T$	Typ dopływu					
	1	2	3	4	5	6
0,2	1,167	1,007	1,000	1,000	0,833	0,750
0,3	1,286	1,063	1,000	0,986	0,714	0,571
0,4	1,445	1,136	1,000	0,895	0,555	0,333
0,5	1,667	1,240	1,000	0,767	0,333	0,000
0,6	2,001	1,395	1,000	0,576	0,000	0,000
0,7	2,556	1,653	1,000	0,256	0,000	0,000
$f_{PG}$	1,00	0,93	1,00	1,15	1,00	1,00

Przybliżone wartości  $R_p$  wiążą się ściśle z typem dopływu i można je przyjmować wprost z tab. 6.3. W sytuacji, gdy występuje 4 typ dopływu i obliczony współczynnik  $f_k > 1,0$ , to do obliczeń należy przyjąć wartość 1,0. W przypadku projektowania sygnalizacji świetlnej i celowości uwzględnienia wpływu koordynacji w obliczeniach należy przyjąć wstępnie 4 typ dopływu (oprócz relacji skrzyżowania w lewo). Trzeci typ dopływu zaleca się przyjmować dla wszystkich obliczeniowych grup pasów w fazach o nieskoordynowanych dopływach. W przypadku relacji skrzyżowania w lewo z wydzielonego pasa ruchu w osobnej fazie zakłada się zazwyczaj, że jakość koordynacji nie jest dobra i do analiz należy przyjmować 3 typ dopływu.

Straty czasu obliczone według wzorów (6.2) i (6.3) są średnimi ogólnymi stratami czasu obejmującymi straty postoju w kolejce (zatrzymania) oraz straty zwalniania i przyspieszania przy dojeździe i opuszczaniu kolejki. Rys. 6.3.a przedstawia warunki ruchu przy założeniu regularnych przybyć pojazdów na wlocie i stopnia obciążenia  $X = 0,75$ . Deterministyczne (stałe) straty czasu pokazują kreskowane poziomo trójkątne powierzchnie. Rys. 6.3.b przedstawia sytuację, w której stopień obciążenia sięga  $X = 1,33$  i oprócz stałych strat czasu pojawiają się straty będące wynikiem przeciążenia (powierzchnia kreskowana pionowo).



Rys 6.3 Ilustracja składowych strat czasu; stałych (powierzchnie kreskowane poziomo) oraz losowych i przeciążeń (powierzchnie kreskowane pionowo)

Łączne straty czasu wszystkich pojazdów w obliczeniowej grupie pasów w okresie analizy  $t_a$  [h] można wyliczyć, mnożąc jednostkowe straty  $d$  przez liczbę pojazdów w okresie  $t_a$ :

$$D_{gr} = d_{gr} \cdot q_{gr,a} \quad [s/t_a] \quad (6.5)$$

gdzie:  $q_{gr,a}$  – natężenie strumienia dopływającego w okresie  $t_a$  [P/ $t_a$ ].

Ekwiwalentne łączne straty czasu pojazdów w obliczeniowej grupie pasów, transponowane z okresu  $t_a$  [h] na okres godziny, wyniosą:

$$D_{gr}^* = d_{gr} \cdot q_{gr,a} \cdot \frac{1}{t_a} \quad [s/h] = d_{gr} \cdot q_{gr,a} \cdot \frac{1}{3600 \cdot t_a} \quad [h/h] \quad (6.6)$$

Wpływ wielkości stopnia obciążenia  $X$ , długości cyklu  $T$  i udziału w nim sygnału zielonego efektywnego  $\lambda$  oraz długości okresu  $t_a$  o stałym natężeniu dopływu na średnie straty czasu  $d$  przedstawia rys. 6.4.

### 6.2.2. *Straty czasu na wlocie i na skrzyżowaniu*

Straty liczone w sposób podany w p. 6.2.1 dotyczyły pojazdów w obliczeniowej grupie pasów. Można również szacować straty czasu pojazdów na wlotach oraz na całym skrzyżowaniu jako średnią ważoną. Straty czasu pojazdów w poszczególnych grupach pasów, odpowiednio na wlocie lub na całym skrzyżowaniu, są ważone przez natężenia ruchu w obliczeniowych grupach pasów lub na wlotach skrzyżowania.

Średnie straty czasu dla wlotu skrzyżowania są liczone wg wzoru:

$$d_{wl} = \frac{\sum_{gr} d_{gr} \cdot Q_{gr}}{\sum_{gr} Q_{gr}} \quad [s/P] \quad (6.7)$$

gdzie:

$d_{gr}$  – średnie straty czasu przypadające na pojazd w obliczeniowej grupie pasów [s/P],

$Q_{gr}$  – natężenie ruchu w obliczeniowej grupie pasów [P/h].

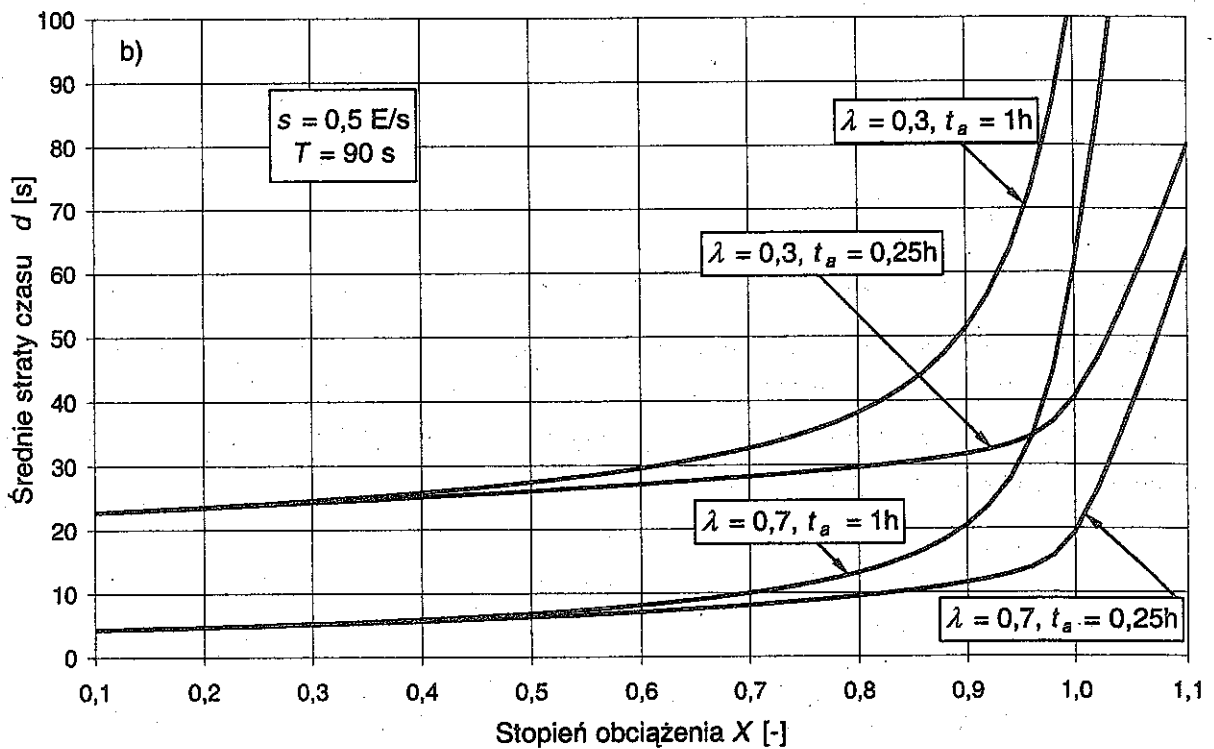
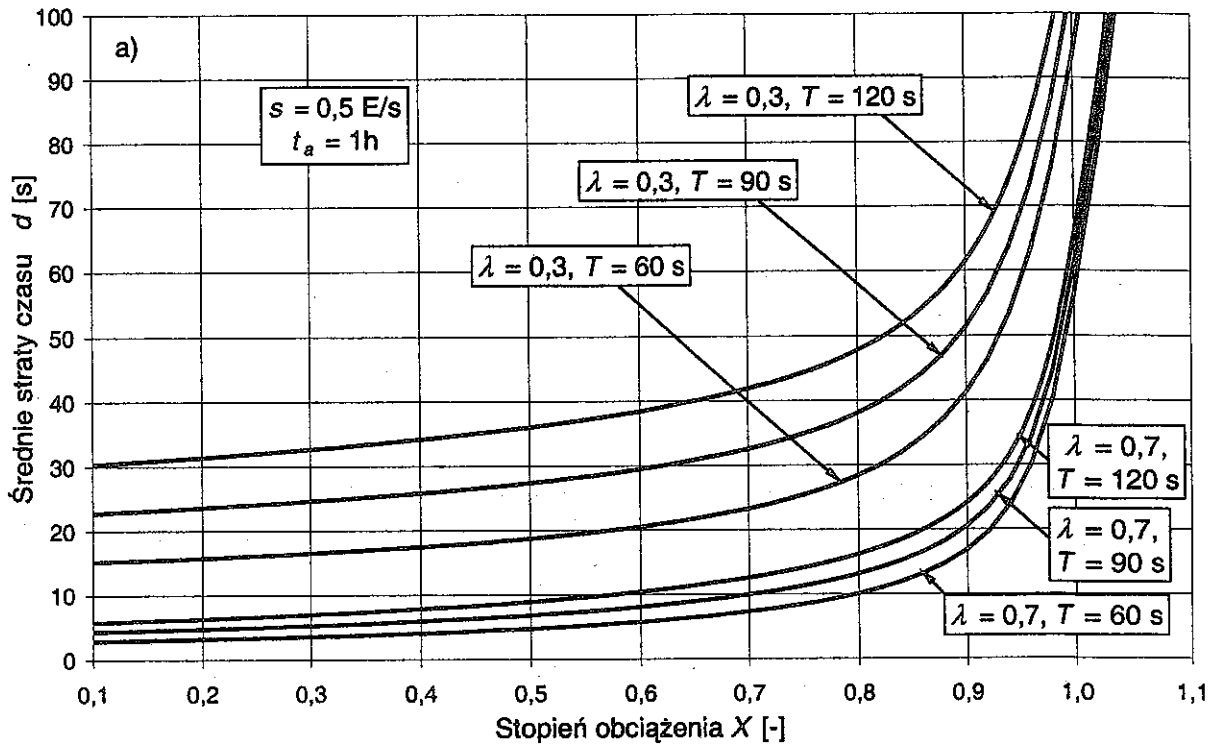
Średnie straty czasu dla skrzyżowania obliczane są wg wzoru:

$$d_{sk} = \frac{\sum_{wl} d_{wl} \cdot Q_{wl}}{\sum_{wl} Q_{wl}} \quad [s/P] \quad (6.8)$$

gdzie:

$d_{wl}$  – średnie straty czasu przypadające na pojazd na danym wlocie [s/P],

$Q_{wl}$  – natężenie ruchu na wlocie [P/h].



Rys. 6.4. Wpływ parametrów:  $X$ ,  $T$ ,  $\lambda$  oraz  $t_a$  na średnie straty czasu pojazdów

Całkowite straty czasu pojazdów na wlocie skrzyżowania w okresie analizy  $t_a$  można wyliczyć, biorąc pod uwagę wszystkie obliczeniowe grupy pasów na wlocie, z następującego wzoru:

$$D_{wl} = \sum_{gr} d_{gr} \cdot q_{gr} \quad [s/t_a] \quad \text{lub} \quad D_{wl} = \sum_{gr} d_{gr} \cdot q_{gr} \cdot \frac{1}{3600} \quad [h/t_a] \quad (6.9)$$

oraz transponowane z okresu  $t_a$  [h] na okres godziny, ze wzoru:

$$D_{wl}^* = D_{wl} \cdot \frac{1}{3600 \cdot t_a} \quad [h/h] \quad (6.10)$$

Całkowite straty czasu pojazdów na skrzyżowaniu w okresie analizy  $t_a$  można wyliczyć, biorąc pod uwagę wyznaczone wcześniej całkowite straty czasu na wlotach skrzyżowania, z następującego wzoru:

$$D_{sk} = \sum_{wl} D_{wl} \quad [s/t_a] \quad \text{lub} \quad D_{sk} = \sum_{wl} D_{wl} \cdot \frac{1}{3600} \quad [h/t_a] \quad (6.11)$$

oraz transponowane z okresu  $t_a$  [h] na okres godziny, ze wzoru:

$$D_{sk}^* = D_{sk} \cdot \frac{1}{3600 \cdot t_a} \quad [h/h] \quad (6.12)$$

### 6.3. Kolejki pojazdów

#### 6.3.1. Kolejka pozostająca

Dla szacowania średniej kolejki pozostającej na końcu sygnału zielonego w obliczeniowej grupie pasów (grupa może obejmować jeden lub więcej pasów) w cyklach okresu analizy  $t_a$ , o stałej wartości natężenia strumienia dopływającego, zarówno przy  $X < 1,0$ , jak i  $X > 1,0$ , można korzystać z następującego wzoru:

$$K_p = \frac{C \cdot t_a}{4} \cdot \left[ (X - 1) + \sqrt{(X - 1)^2 + \frac{7 \cdot r_s \cdot w_s \cdot X^2}{C \cdot t_a}} \right] \quad [P] \quad (6.13)$$

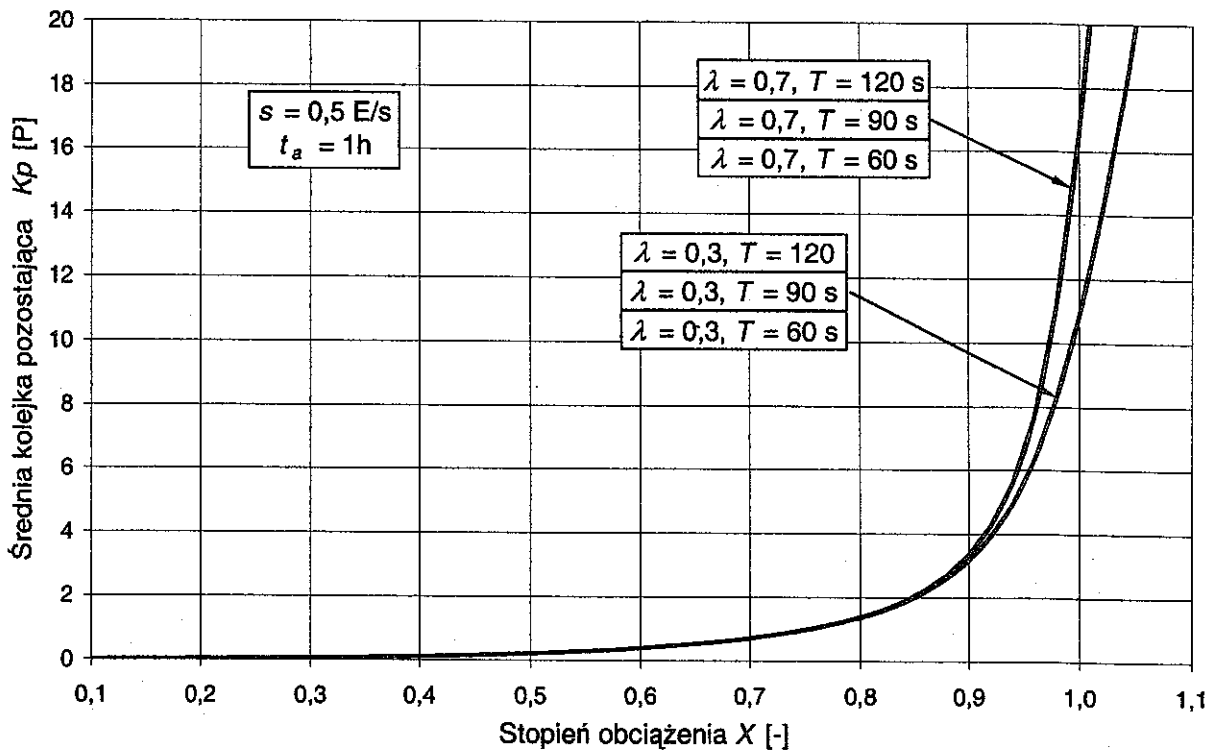
gdzie:

- $K_p$  – średnia kolejka pozostająca w [P] (jeśli jest kilka pasów w grupie obliczeniowej, jest to całkowita liczba pojazdów pozostających na wszystkich pasach),
- $C$  – przepustowość obliczeniowej grupy pasów [P/h],
- $t_a$  – okres analizy w [h], obejmujący okres czasu o stałej wartości natężenia strumienia dopływającego,
- $C \cdot t_a$  – maksymalna liczba pojazdów, jaka może być obsłużona w okresie  $t_a$ ,
- $X$  – stopień obciążenia analizowanej obliczeniowej grupy pasów [-],
- $r_s$  – współczynnik uwzględniający rodzaj sterowania (tab. 6.1),

$w_s$  – współczynnik uwzględniający obecność sąsiednich skrzyżowań z sygnalizacją świetlną (tab. 6.2).

Długość okresu analizy  $t_a$  nie ma decydującego wpływu na wielkość kolejki pozostającej  $K_p$ , jeżeli stopień obciążenia przyjmuje wartości  $X \leq 0,9$ . Gdy stopień obciążenia  $X > 0,9$ , długość okresu  $t_a$  staje się decydującym czynnikiem w estymacji kolejki pozostającej.

Przy stopniu obciążenia  $X$  przyjmującym wartości zbliżone do 1,0, zarówno losowość przybyć pojazdów na wlocie, jak i chwilowe przeciążenia decydują o wielkości  $K_p$ . Zależność średnich kolejek pozostających od stopnia obciążenia  $X$ , długości cyklu  $T$  oraz udziału sygnału zielonego efektywnego w cyklu  $\lambda$  pokazano na rys. 6.5.



Rys. 6.5. Wpływ wartości stopnia obciążenia  $X$  oraz parametrów sterowania  $T$  i  $\lambda$  na średnią kolejkę pozostającą  $K_p$

### 6.3.2. Kolejka maksymalna

Długość kolejki jest cechą eksploatacyjną skrzyżowania bezpośrednio odczuwaną przez uczestników ruchu. Uprzedza ich już przed dojazdem do wlotu skrzyżowania o panujących na nim warunkach, a w niektórych przypadkach decyduje o zmianie trasy przejazdu.

Maksymalna długość kolejki pojazdów  $K_m$  rozłożona na pasy ruchu w grupie obliczeniowej odpowiada jej zasięgowi wstecz, mierząc od linii zatrzymania do tyłu ostatniego pojazdu dołączającego do kolejki w chwili, kiedy pojazdy z początku kolejki już ruszają, a pojazdy na jej końcu jeszcze nie ruszyły. Ten zasięg kolejki jest ważny dla kierujących wybierających pas ruchu oraz istotny dla projektowania długości dodatkowych pasów, a także dla ewentualnych korekt programu sygnalizacji. Na przykład na rys. 6.1 maksymalna długość kolejki wynosi 12 pojazdów w pierwszym cyklu i 7 pojazdów w drugim cyklu.

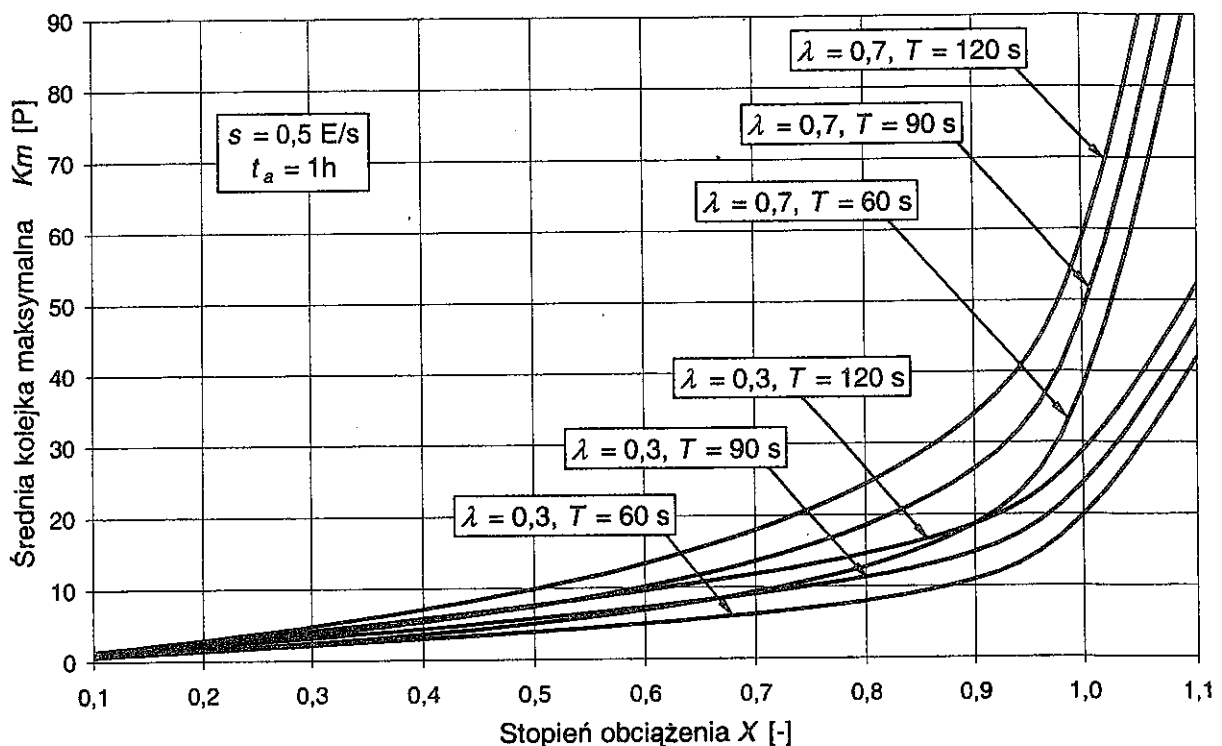
Średnia wartość maksymalnych długości kolejek  $K_m$  wyrażona liczbą pojazdów zgromadzonych na pasach danej grupy obliczeniowej w poszczególnych cyklach, rejestrowana jakiś czas po rozpoczęciu sygnału zielonego wynosi:

$$K_m = \frac{q \cdot T \cdot (1 - \lambda)}{1 - \lambda \cdot X} + K_p \quad [P] \quad (6.14)$$

gdzie:

- $q$  – natężenie potoku dopływającego na wszystkich  $n$  pasach danej grupy obliczeniowej w [P/s],
- $T \cdot (1 - \lambda)$  – efektywny sygnał czerwony w [s],
- $K_p$  – średnia kolejka pozostająca w [P] (odnosi się do wszystkich pasów danej grupy obliczeniowej) obliczana według wzoru (4.7),
- $\lambda$  – udział sygnału zielonego efektywnego w cyklu [-],
- $X$  – stopień obciążenia analizowanej obliczeniowej grupy pasów [-].

Na rys. 6.6 przedstawiono zależność średniej kolejki maksymalnej, obliczonej z wzoru (6.14), od stopnia obciążenia  $X$  oraz od parametrów sterowania  $T$  i  $\lambda$ .



Rys. 6.6. Wpływ stopnia obciążenia  $X$  oraz parametrów sterowania  $T$  i  $\lambda$  na długość średniej kolejki maksymalnej  $K_m$

W projektowaniu strefy akumulacji na wlocie skrzyżowania powinny być uwzględniane stany najdłuższych kolejek pojazdów ustawiających się przed linią zatrzymań. Takie stany może reprezentować kwantyl 95 % z rozkładu kolejek maksymalnych  $K_{m95}$ . Kwantyl ten można wyznaczyć na podstawie wartości średniej długości kolejki maksymalnej w grupie pasów  $K_m$ , wg wzoru:



$$K_{m95} = K_m \cdot f_{kw95} \quad [P] \quad (6.15)$$

gdzie:

$K_m$  – średnia kolejka maksymalna [P],

$f_{kw95}$  – współczynnik kwantyla 95 % kolejki maksymalnej.

Współczynnik  $f_{kw95}$  jest wyliczany wg następującego równania:

$$f_{kw95} = w_1 + w_2 \cdot e^{\frac{-K_m}{w_3}} \quad [-] \quad (6.16)$$

gdzie:  $w_1, w_2, w_3$  – parametry współczynnika kwantyla 95 % kolejki maksymalnej.

Wartości parametrów  $w_1, w_2, w_3$  przyjmują różne wartości w zależności od rodzaju sterowania. Dla sygnalizacji stałoczasowej parametry wynoszą:  $w_1 = 1,60, w_2 = 1,08, w_3 = 6,60$ , natomiast dla sygnalizacji akomodacyjnej lub acyklicznej:  $w_1 = 1,51, w_2 = 0,82, w_3 = 4,80$ .

### 6.3.3. Zasięg kolejki maksymalnej

Dla obliczenia fizycznego zasięgu kolejki  $L_K$  wartość  $K_{m95}/n_{gr}$ , wyrażającą kolejkę na jednym pasie ruchu danej grupy obliczeniowej, należy pomnożyć przez średnią długość stanowiska pojazdu w kolejce  $l_p$ :

$$L_K = \frac{K_{m95}}{n_{gr}} \cdot l_p \quad [m] \quad (6.17)$$

Przeciętna długość stanowiska pojazdu w kolejce wyliczana jest jak we wzorze (4.22).

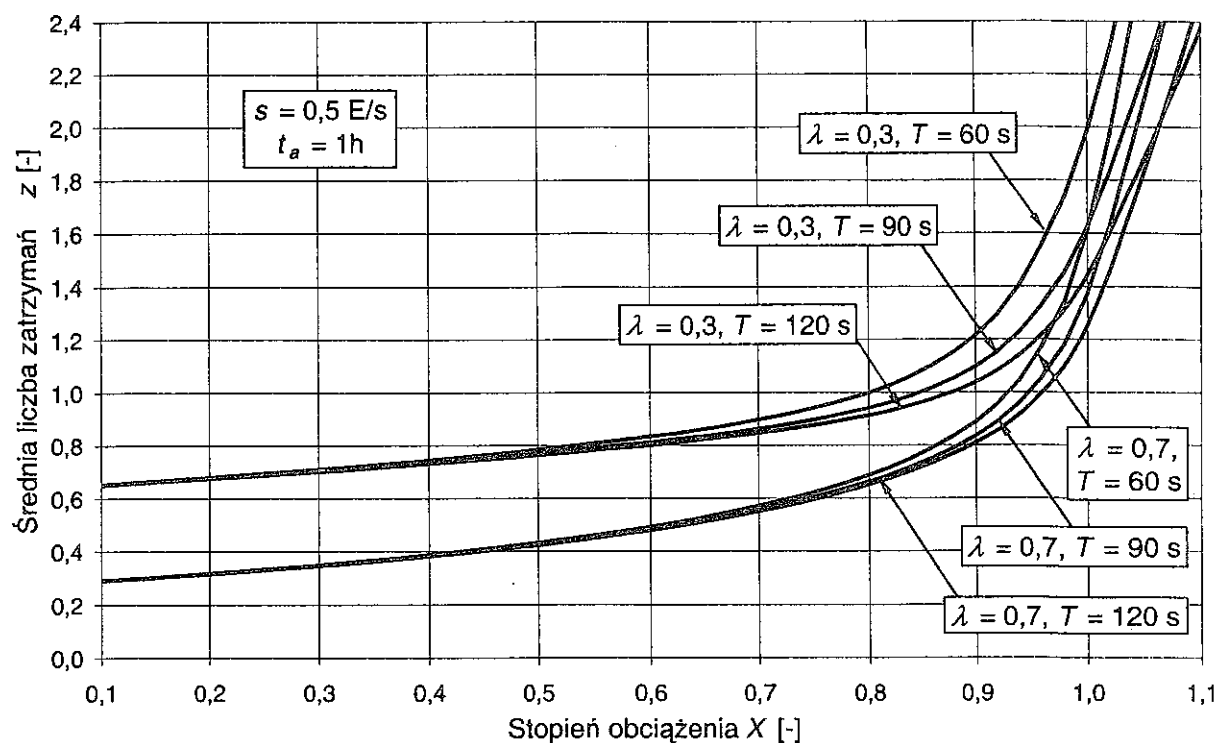
Przy blisko położonych skrzyżowaniach należy dążyć do tego, aby kolejka maksymalna nie sięgała do poprzedniego skrzyżowania i nie blokowała go.

## 6.4. Zatrzymania

Średnia liczba zatrzymań na pojazd, zwana wskaźnikiem zatrzymań  $z_{gr}$ , może być wyznaczona dla danej obliczeniowej grupy pasów z następującego wzoru:

$$z_{gr} = 0,9 \cdot \left( \frac{1 - \lambda}{1 - \lambda \cdot X_{gr}} + \frac{K_{p,gr}}{q_{gr} \cdot T} \right) \quad [Z/P] \quad (6.18)$$

w którym  $q \cdot T$  oznacza średnią liczbę pojazdów przybywających w cyklu sygnalizacji na pasy analizowanej grupy, a pozostałe oznaczenia zostały objaśnione we wzorze (6.14). Stała 0,9 jest współczynnikiem redukującym, uwzględniającym występowanie pojazdów ponoszących tylko straty zwalniania i przyspieszania (bez strat zatrzymania). Drugi składnik wzoru uwzględnia wielokrotne zatrzymania pojazdów przy podsuwaniu się pojazdów w kolejce (por. rys. 6.1 pojazdy 11 i 12) pojawiające się w okresach przeciążeń, determinowane wielkością  $K_p$ . Zależność wskaźnika zatrzymań  $z$  od stopnia obciążenia  $X$  oraz od parametrów sterowania  $T$  i  $\lambda$  przedstawia rys. 6.7.



Rys. 6.7. Wpływ wartości stopnia obciążenia  $X$  oraz parametrów sterowania  $T$  i  $\lambda$  na średnią liczbę zatrzymań  $z$

Liczbę zatrzymań pojazdów w obliczeniowej grupie pasów  $Z_{gr}$  w okresie analizy  $t_a$  można wyznaczyć, mnożąc wskaźnik zatrzymań  $z_{gr}$  przez natężenie strumienia  $q_{a,gr}$  w tym okresie:

$$Z_{gr} = z_{gr} \cdot q_{a,gr} \quad [z/t_a] \quad (6.19)$$

Liczba zatrzymań obejmuje zatrzymania wielokrotne części pojazdów, stąd też jest zazwyczaj większa niż liczba pojazdów zatrzymanych. Udział pojazdów zatrzymanych  $uz_{gr}$  w ogólnej liczbie pojazdów w danej obliczeniowej grupie pasów wyraża pierwszy składnik wzoru (6.18):

$$uz_{gr} = 0,9 \cdot \frac{1 - \lambda}{1 - \lambda \cdot X_{gr}} \quad [-] \quad (6.20)$$

Liczbę pojazdów zatrzymanych w obliczeniowej grupie pasów  $Pz_{gr}$  w okresie analizy  $t_a$  można wyliczyć, mnożąc udział pojazdów zatrzymanych  $uz_{gr}$  przez natężenie ruchu w okresie analizy w danej grupie pasów  $q_{a,gr}$ :

$$Pz_{gr} = uz_{gr} \cdot q_{a,gr} \quad [P] \quad (6.21)$$

Wskaźnik zatrzymań  $z$  oraz udział pojazdów zatrzymanych  $uz$  można również określić dla wlotu oraz dla skrzyżowania:

$$z_{wl} = \frac{\sum_{gr} z_{gr} \cdot Q_{gr}}{\sum_{gr} Q_{gr}} \quad [-] \quad (6.22)$$

$$uz_{wl} = \frac{\sum_{gr} uz_{gr} \cdot Q_{gr}}{\sum_{gr} Q_{gr}} \quad [-] \quad (6.23)$$

$$z_{sk} = \frac{\sum_{wl} z_{wl} \cdot Q_{wl}}{\sum_{wl} Q_{wl}} \quad [-] \quad (6.24)$$

$$uz_{sk} = \frac{\sum_{wl} uz_{wl} \cdot Q_{wl}}{\sum_{wl} Q_{wl}} \quad [-] \quad (6.25)$$

gdzie:

$Q_{gr}$  – natężenie ruchu w obliczeniowej grupie pasów [P/h],

$Q_{wl}$  – natężenie ruchu na wlocie [P/h].

### 6.5. Klasyfikacja warunków ruchu

Ocena opisowa warunków ruchu na wlotach skrzyżowań opiera się na koncepcji poziomów swobody ruchu. Poziomy swobody ruchu (*PSR*) wyznaczają kategorie warunków ruchu, oceniane przez reprezentację populacji kierowców (np. bardzo dobre, dobre, przeciętne).

**Poziom swobody ruchu** zdefiniuje się jako miarę warunków ruchu, uwzględniającą odczucia i oceny kierowców. Cały zakres zmienności warunków ruchu podzielony został na cztery kategorie; warunki **bardzo dobre** – *PSR I*, **dobre** – *PSR II*, **przeciętne** – *PSR III* i – **niekorzystne** – *PSR IV*. Niekorzystne warunki ruchu (*PSR IV*) należy odnosić zarówno do akceptowalności warunków ruchu przez kierowców, jak i możliwości ich dopuszczenia jako warunków eksploatacyjnych skrzyżowania.

Ilościowe kryterium klasyfikacyjne warunków ruchu określa związek poszczególnych poziomów swobody ruchu (*PSR*) ze średnimi, ogólnymi stratami czasu pojazdów  $d$  (tab. 6.5). Straty czasu, jak wynika z opisu w p. 6.2.1, są miarą warunków ruchu zależną od wielu zmiennych, m.in. od stopnia obciążenia obliczeniowej grupy pasów, parametrów programu sygnalizacji na analizowanym skrzyżowaniu oraz od wpływu sąsiednich sygnalizacji i jakości koordynacji.

Tab. 6.5. Graniczne straty czasu  $d$  dla poszczególnych poziomów swobody ruchu

PSR	Warunki ruchu	Średnia strata czasu $d$ [s/P]
I	bardzo dobre	$\leq 20,0$
II	dobre	$20,1 \div 45,0$
III	przeciętne	$45,1 \div 80,0$
IV	niekorzystne	$> 80,0$

Poziomy swobody ruchu w sposób opisowy można scharakteryzować w następujący sposób:

*Poziom swobody ruchu I* – charakteryzują bardzo małe straty czasu. Znaczna część pojazdów strumieni bezkolizyjnych przejeżdża przez skrzyżowanie bez zatrzymania, a pojazdy dojeżdżające w czasie sygnału czerwonego mogą opuścić wlot w czasie najbliższego sygnału zielonego. Odpowiada to dobrej płynności ruchu, będącej zazwyczaj efektem dobrej koordynacji sygnalizacji.

*Poziom swobody ruchu II* – charakteryzują większe straty czasu, które mogą być związane z dłuższymi cyklami sygnalizacyjnymi lub wynikać z niezbyt dobrej koordynacji. Prawie wszystkie pojazdy, które dojechały w czasie sygnału czerwonego, mogą opuścić wlot w czasie najbliższego sygnału zielonego. Mogą występować pojedyncze cykle z kolejką pozostającą na końcu sygnału zielonego.

*Poziom swobody ruchu III* – charakteryzują dosyć duże straty czasu, które mogą być efektem wysokich stopni obciążenia, długich cykli lub niekorzystnej koordynacji sygnalizacji. Mały jest udział pojazdów przejeżdżających bez zatrzymań. Częste są przypadki kolejek pozostających na końcu sygnału zielonego.

*Poziom swobody ruchu IV* – charakteryzują bardzo duże straty czasu. Kolejki pojazdów stopniowo narastają w czasie. Natężenie ruchu może osiągać przepustowość lub nawet ją okresowo przekraczać. Warunki ruchu są niestabilne i akceptowalne tylko przez część kierowców.

Straty czasu pojazdów  $d$  w obliczeniowej grupie pasów, na wlocie oraz na skrzyżowaniu oblicza się, korzystając ze wzorów zamieszczonych w p. 6.2.1 i 6.2.2, a na podstawie tab. 6.5 klasyfikuje się warunki ruchu, przyjmując  $PSR$ . Tak ustalony  $PSR$  określa warunki ruchu, stosownie do obliczonej wartości  $d$ , w obliczeniowej grupie pasów, na wlocie lub na skrzyżowaniu w przyjętym okresie analizy o stałym dopływie.

W projektowaniu warunki ruchu na skrzyżowaniu powinny odpowiadać  $PSR I \div III$ , zgodnie z zaleceniami Wytycznych projektowania skrzyżowań drogowych [21]. Poziom swobody ruchu IV może być dopuszczony wyjątkowo (np. przy braku możliwości korekt geometrii) w sytuacji, gdy dla istniejącego rozwiązania geometrycznego skrzyżowania projektuje się program sygnalizacji. Przy  $PSR IV$  straty czasu nie powinny przekraczać  $d = 100 s/P$ , a stopień obciążenia wartości  $X = 1,0$ . Warunki takie wyjątkowo mogą być dopuszczone dla pasów ruchu z relacją skrętu w lewo o kolizyjnym przebiegu w sytuacji, gdy nie jest możliwe osiągnięcie lepszych rezultatów przez rozbudowę skrzyżowania i/lub zmianę organizacji ruchu. W przypadku wlotu z większą niż jeden liczbą pasów skręt w lewo funkcjonujący przy  $PSR IV$  nie może blokować sąsiedniego pasa.

W ocenie rozwiązania skrzyżowania należy też sprawdzić, czy długość kolejki maksymalnej  $L_K$  nie przekracza długości odcinka między analizowanym i sąsiednim skrzyżowaniem.

## 7. UPROSZCZONA METODA OCENY PRZEPUSTOWOŚCI SKRZYŻOWANIA Z SYGNALIZACJĄ DO CELÓW PLANISTYCZNYCH

W planowaniu układów komunikacyjnych występuje potrzeba szybkiej oceny przepustowości elementów układu drogowego, w tym skrzyżowań z sygnalizacją. Na etapie planowania nie dysponuje się jeszcze częścią danych do dokładnych obliczeń przepustowości, dlatego mogą być one prowadzone w formie uproszczonej. Uproszczona metoda bazuje na metodzie obliczania przepustowości opisanej w części zasadniczej (rozdz. 1 + 4). Przyjęte uproszczenia i szacunkowe obliczenia powodują, że opisana tutaj wersja metody nie powinna być stosowana w żadnym ze stadiów prac projektowych skrzyżowań i programów sygnalizacji (co najwyżej może być użyta do oszacowań wstępnych w iteracyjnych procedurach obliczeniowych), a powinna być jedynie stosowana w fazie prac planistycznych.

### 7.1. Założenia i procedura metody planistycznej

Uproszczenie procedury obliczeniowej uzyskano, przyjmując typowe warunki geometryczno-ruchowe, a tym samym przeciętne wartości elementów geometrycznych i parametrów ruchowych oraz zgodność rozwiązań geometrycznych z Wytocznymi projektowania skrzyżowań drogowych [22] i z Rozporządzeniem w sprawie szczegółowych warunków technicznych dla znaków i sygnałów drogowych oraz urządzeń bezpieczeństwa ruchu drogowego i warunków ich umieszczania na drogach [15]. Przyjęto następujące założenia i wartości parametrów:

- współczynnik ekwiwalentny – do przeliczania pojazdów ciężkich na samochody osobowe (pojazdy umowne) –  $E_c = 2,0$ ,
- szerokość pasa ruchu –  $w = 3,5$  m,
- promień skrętu –  $R = 15$  m,
- wlot o pochyleniu –  $i = 0\%$ ,
- brak torowiska tramwajowego,
- pasy ruchu w prawo przylegające do chodnika,
- natężenie pieszych na przejściu:
  - poza centrum i rejonami handlowymi – mniejsze niż 400 Ps/h (przeciętne 250 Ps/h),
  - w centrum i rejonach handlowych – większe niż 400 Ps/h (przeciętne 800 Ps/h),
- przystanki autobusowe z zatokami,
- dodatkowe pasy ruchu wystarczająco długie do ustawiania się kolejek pojazdów skręcających,
- parkowanie nie wpływa na przepustowość,
- pojemność powierzchni oczekiwania wewnątrz skrzyżowania dla kolizyjnego skrętu w lewo –  $a = 3$  s.o.,
- odległość od linii zatrzymań do przejścia dla pieszych na wylocie – dla relacji skrętnej o kolizyjnym przebiegu z pieszymi –  $l = 22$  m,
- cykl sygnalizacji –  $T = 60$  s, udział sygnału zielonego efektywnego w cyklu –  $\lambda = 0,4$ ,
- natężenie nasycenia nadrzędnego potoku ruchu dla kolizyjnej relacji skrętnej z pojazdami

z przeciwnego wlotu –  $S_n = 1650$  P/hz,

- graniczny odstęp czasu pojazdów skręcających w lewo –  $t_g = 5,5$  s,
- odstęp czasu między skręcającymi w lewo pojazdami zjeżdżającymi jeden za drugim z powierzchni oczekiwania wewnątrz skrzyżowania –  $t_f = 2,6$  s.
- udział pojazdów skręcających w lewo na pasie wspólnym z inną relacją –  $u_L = 0,20$ .

W tab. 7.1 zestawione zostały wartości lub wzory do obliczenia natężenia nasycenia (w pojazdach umownych na godzinę sygnału zielonego – E/hz) oszacowane przy powyższych założeniach oraz współczynniki ekwiwalentne do przeliczania pojazdów poszczególnych relacji na pojazdy jadące na wprost.

Tab. 7.1. Wartości natężeń nasycenia i współczynniki ekwiwalentne do analiz planistycznych

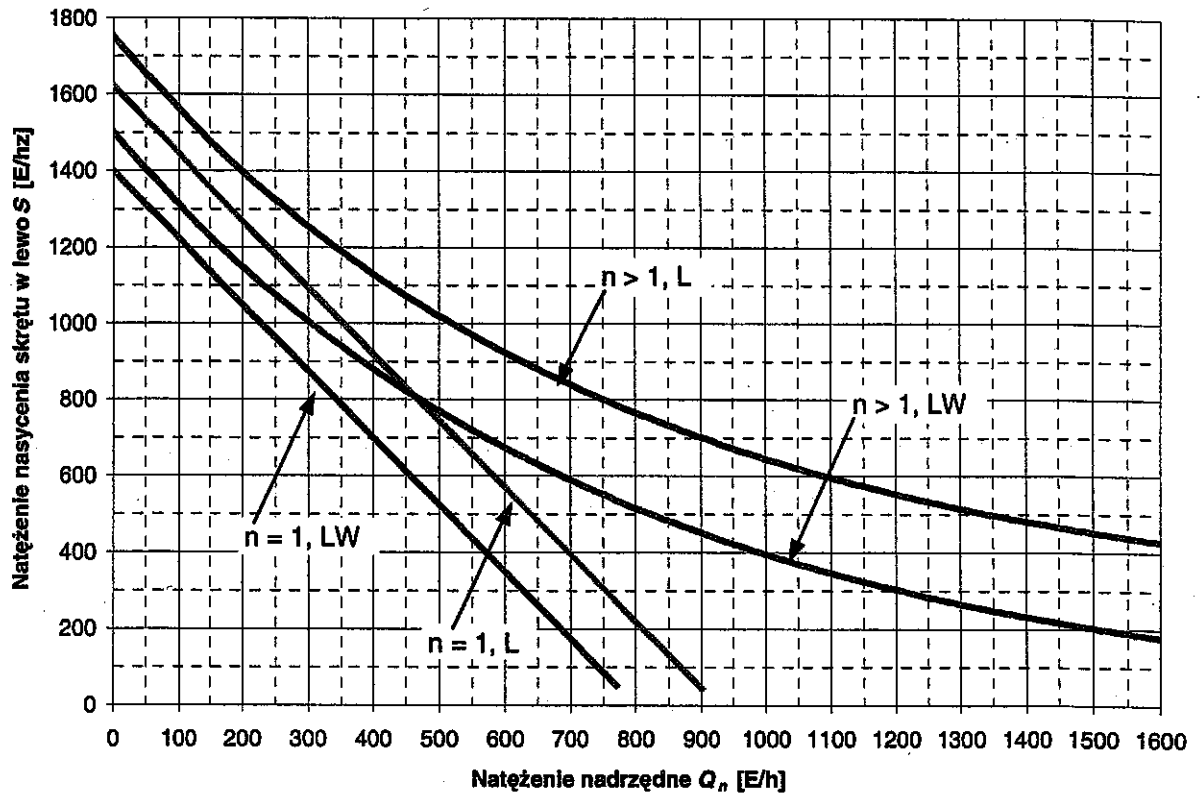
Rodzaj relacji	Natężenie nasycenia relacji $S$ [E/hz]		Współczynnik ekwiwalentny pojazdów relacji $r$ $e_r$ [-]	
	1	2	3	
na wprost		1900		1,0
bezkolizyjna w lewo		1750		1,1
bezkolizyjna w prawo		1600		1,2
kolizyjna z pojazdami z przeciwnego wlotu:				
	$n = 1$	$n > 1^{*)}$	$n = 1$	$n > 1^{*)}$
– skręt w lewo na pasie wspólnym (LW)	$1400 - 1,75 \cdot Q_n$	$1500 \cdot e^{-\frac{Q_n}{750}}$	$\frac{1900}{1400 - 1,75 \cdot Q_n}$	$1,25 \cdot e^{\frac{Q_n}{750}}$
– skręt w lewo na pasie wydzielonym (L)	$1620 - 1,75 \cdot Q_n$	$1500 \cdot e^{-\frac{Q_n}{750}} + 250$	$\frac{1900}{1620 - 1,75 \cdot Q_n}$	$1,15 \cdot e^{\frac{Q_n}{1050}}$
kolizyjna z pieszymi relacja skrętna na skrzyżowaniu położonym w:				
– centrum, ulice handlowe		800		2,4
– poza centrum i przy małym ruchu pieszym		1300		1,5

$Q_n$  – natężenie ruchu z przeciwnego wlotu pojazdów mających pierwszeństwo przejazdu,

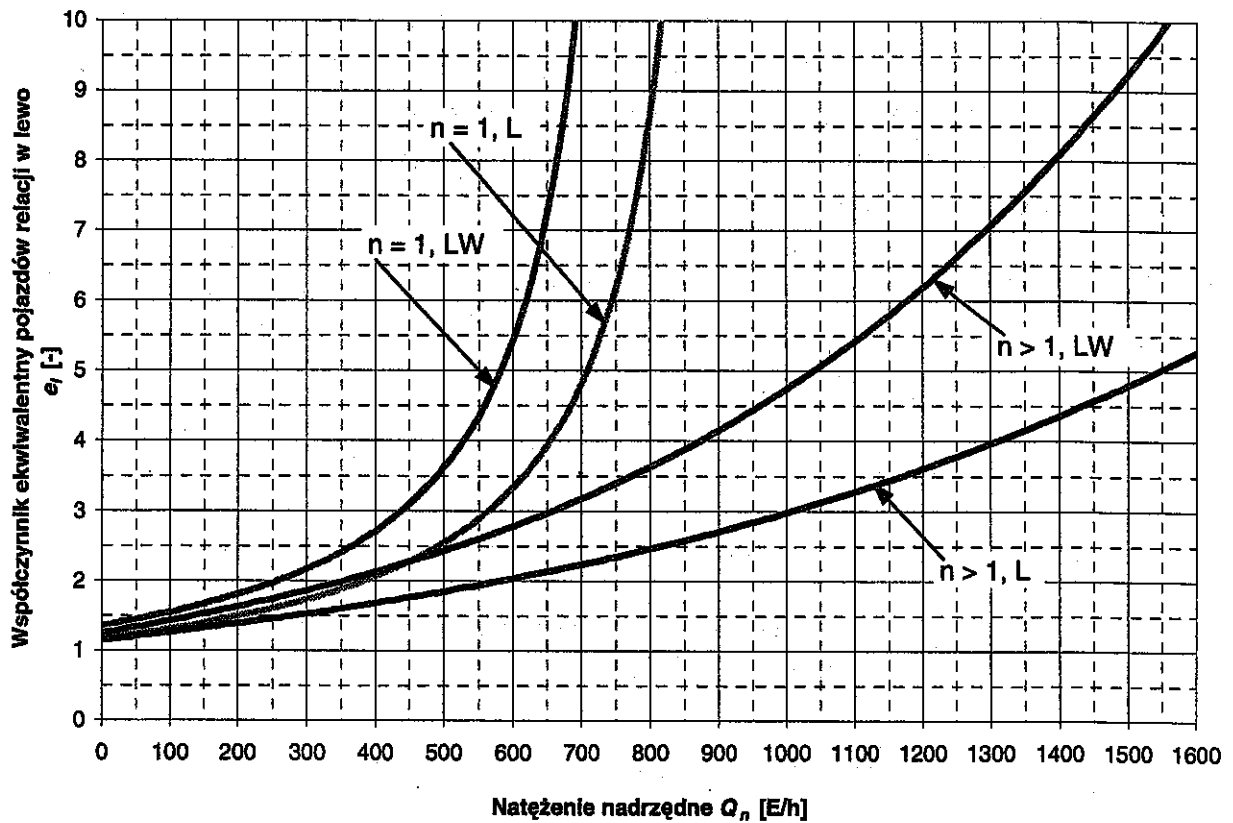
$n$  – liczba pasów z potokiem nadrzędnym na przeciwnym wlocie,

$^{*)}$  –  $n > 1$  dotyczy sytuacji, gdy potok nadrzędny korzysta z pasa na wprost i z wydzielonego pasa do skrętu w prawo.

Dla ułatwienia wyznaczania natężeń nasycenia oraz współczynników ekwiwalentnych relacji kolizyjnych z pojazdami z przeciwnego wlotu i z pieszymi sporządzone zostały wykresy zamieszczone na rys. 7.1 i 7.2.



Rys. 7.1. Wykres do wyznaczania wartości natężenia nasycenia skrętu w lewo kolizyjnego z pojazdami z przeciwnego wlotu i z pieszymi



Rys. 7.2. Wykres do wyznaczania wartości współczynnika ekwiwalentnego pojazdów relacji skrętu w lewo kolizyjnego z pojazdami z przeciwnego wlotu i z pieszymi

Warunek zapewnienia przepustowości skrzyżowania można sformułować następująco:

$$X_{ks} < X_d \quad [-] \quad (7.1)$$

gdzie:

$X_{ks}$  – stopień obciążenia skrzyżowania, wyznaczony przy uwzględnieniu stopni nasycenia  $Y$  krytycznych obliczeniowych grup pasów, przy założeniu optymalnego rozdziału sygnału zielonego, który maksymalizuje przepustowość,

$X_d$  – dopuszczalny stopień obciążenia skrzyżowania.

Krytyczną obliczeniową grupą pasów w danej fazie ruchu jest ta, która charakteryzuje się największym stopniem nasycenia  $Y = Q/S$  spośród wszystkich grup mających sygnał zielony w tej fazie (gdzie:  $Q$  – natężenie ruchu w grupie pasów,  $S$  – natężenie nasycenia grupy pasów).

Biorąc pod uwagę uproszczony charakter proponowanych obliczeń do celów planistycznych, nieobejmujący oceny warunków ruchu, zaleca się przyjmować wartość dopuszczalnego stopnia obciążenia  $X_d = 0,85$ .

Prognozowane natężenie ruchu należy przeliczyć na pojazdy umowne jadące na wprost, stosując wzór:

$$Q_e = Q_r \cdot e_r \cdot (1 + u_c) \quad [E/h] \quad (7.2)$$

gdzie:

$Q_e$  – ekwiwalentne natężenie na wprost [E/h],

$Q_r$  – natężenie relacji  $r$  [P/h]. Jeśli prognozowane natężenie wyrażone jest w pojazdach umownych [E/h], wówczas we wzorze (7.2) należy pominąć mnożnik  $(1 + u_c)$ ,

$e_r$  – współczynnik ekwiwalentny relacji  $r$  powodujący przeliczenie pojazdów relacji skrętnej  $r$  na pojazdy jadące na wprost (tab. 7.1, kol. 3),

$u_c$  – udział pojazdów ciężkich na danym wlocie [-].

Uwzględniając, że:

$$X_{ks} = \frac{\sum_{f=1}^{n_f} (Q_{e,k} / S_k)_f}{(T - t_s) / T} \quad [-] \quad \text{oraz} \quad S_k = n_k \cdot 1900 \quad [E/h]$$

oraz zakładając, że:  $t_s / T = n_f \cdot 0,08$  i  $X_d = 0,85$ ,

można po przekształceniach warunek zapewnienia przepustowości skrzyżowania (7.1) sformułować w wygodniejszej do stosowania formie:

$$\sum_{f=1}^{n_f} \left( \frac{Q_{e,k}}{n_k} \right)_f \leq 1620 - 130 \cdot n_f \quad [E/h] \quad (7.3)$$



gdzie:

$T$  – długość cyklu sygnalizacji [s],

$t_s$  – sumaryczny czas tracony w cyklu [s],  $t_s = \sum_{f=1}^{n_f} (t_{m,f} - 1)$  dla skrzyżowań zwar-

tych oraz  $t_s = \sum_{f=1}^{n_f} t_{m,f}$  dla skrzyżowań rozległych z długą drogą przejazdu

przez skrzyżowanie (por. p. 3.4),

$t_{m,f}$  – czas międzyzielony między sygnałami zielonymi w fazie  $f$  i  $(f+1)$ ,

$S_k$  – natężenie nasycenia krytycznej grupy pasów  $k$  w danej fazie ruchu [E/h],

$n_k$  – liczba pasów w krytycznej grupie  $k$ ,

$n_f$  – liczba faz sygnalizacyjnych w cyklu,

$X_d$  – dopuszczalny stopień obciążenia,

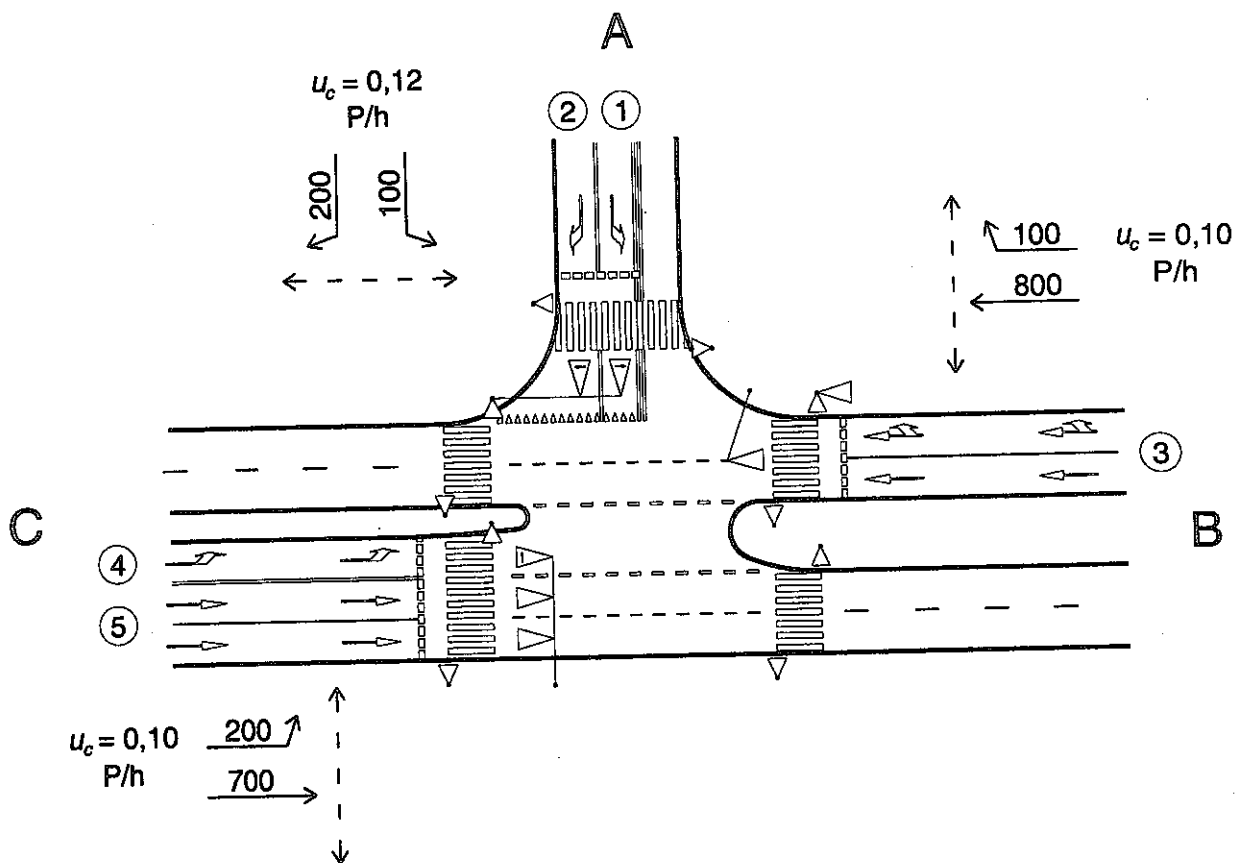
$Q_{e,k}$  – ekwiwalentne natężenie ruchu w krytycznej obliczeniowej grupie pasów  $k$ .

We wzorze (7.3) krytyczną obliczeniową grupą pasów w danej fazie  $f$  jest ta, dla której wartość ekwiwalentnego natężenia ruchu przypadającego na jeden pas ruchu  $Q_{e,k}/n_k$  jest największa.

Należy zwrócić uwagę, że liczba faz sygnalizacyjnych jest jedynym elementem sterowania ujętym we wzorze (7.3), co zdecydowanie ułatwia analizę w fazie prac planistycznych. W tak ujętej analizie decyzje są podejmowane w odniesieniu do obliczeniowej grupy pasów, liczby pasów w grupach i liczby faz.

## 7.2. Przykład

Należy sprawdzić, czy skrzyżowanie o założonym schemacie i prognozowanych natężeniach (w pojazdach umownych) jak na rys. 7.3 będzie w stanie zapewnić przepustowość po zainstalowaniu sygnalizacji trójfazowej. Czy potrzebna będzie rozbudowa skrzyżowania? Przewiduje się umiarkowane natężenie pieszych (skrzyżowanie położone poza centrum).



Rys. 7.3. Schemat skrzyżowania i prognozowane natężenia ruchu do przykładu obliczeniowego

**Wariant 1:** Sygnalizacja trójfazowa, geometria skrzyżowania i organizacja ruchu jak na rys. 7.3

Schemat układu faz		
Faza I	Faza II	Faza III

1. Obliczenie ekwiwalentnych natężeń relacji

Prognozowane natężenie ruchu podane w pojazdach rzeczywistych należy przeliczyć na pojazdy umowne jadące na wprost (wzór (7.2)).

grupa 1:

$$Q_{eAL} = Q_{AL} \cdot e_{AL} \cdot (1 + u_c) = 100 \cdot 1,1 \cdot (1 + 0,12) = 123 \text{ E/h,} \quad (\text{relacja bezkolizyjna})$$

grupa 2:

$$Q_{eAP} = Q_{AP} \cdot e_{AP} \cdot (1 + u_c) = 200 \cdot 1,2 \cdot (1 + 0,12) = 269 \text{ E/h,} \quad (\text{relacja bezkolizyjna})$$

grupa 3:

$$Q_{eBW} = Q_{BW} \cdot e_{BW} \cdot (1 + u_c) = 800 \cdot 1,0 \cdot (1 + 0,10) = 880 \text{ E/h,}$$

$$Q_{eBP} = Q_{BP} \cdot e_{BP} \cdot (1 + u_c) = 100 \cdot 1,5 \cdot (1 + 0,10) = 165 \text{ E/h,} \quad (\text{relacja kolizyjna z ruchem pieszych})$$

grupa 4:

$$Q_{eCL} = Q_{CL} \cdot e_{CL} \cdot (1 + u_c) = 200 \cdot 1,1 \cdot (1 + 0,10) = 242 \text{ E/h,} \quad (\text{relacja bezkolizyjna})$$

grupa 5:

$$Q_{eCW} = Q_{CW} \cdot e_{CW} \cdot (1 + u_c) = 700 \cdot 1,0 \cdot (1 + 0,10) = 770 \text{ E/h.} \quad (\text{relacja bezkolizyjna})$$

## 2. Ekwiwalentne natężenie ruchu na pasie i wybór pasów krytycznych (znak \*)

faza I

$$\text{grupa 3:} \quad \frac{Q_{eBW} + Q_{eBP}}{2} = \frac{880 + 165}{2} = 523 \text{ E/h,} \quad *$$

$$\text{grupa 5:} \quad \frac{Q_{eCW}}{2} = \frac{770}{2} = 385 \text{ E/h,}$$

faza II

$$\text{grupa 2:} \quad \frac{Q_{eAP}}{1} = \frac{269}{1} = 269 \text{ E/h,} \quad *$$

$$\text{grupa 4:} \quad \frac{Q_{eCL}}{1} = \frac{242}{1} = 242 \text{ E/h,}$$

faza III

$$\text{grupa 1:} \quad \frac{Q_{eAL}}{1} = \frac{123}{1} = 123 \text{ E/h.} \quad *$$

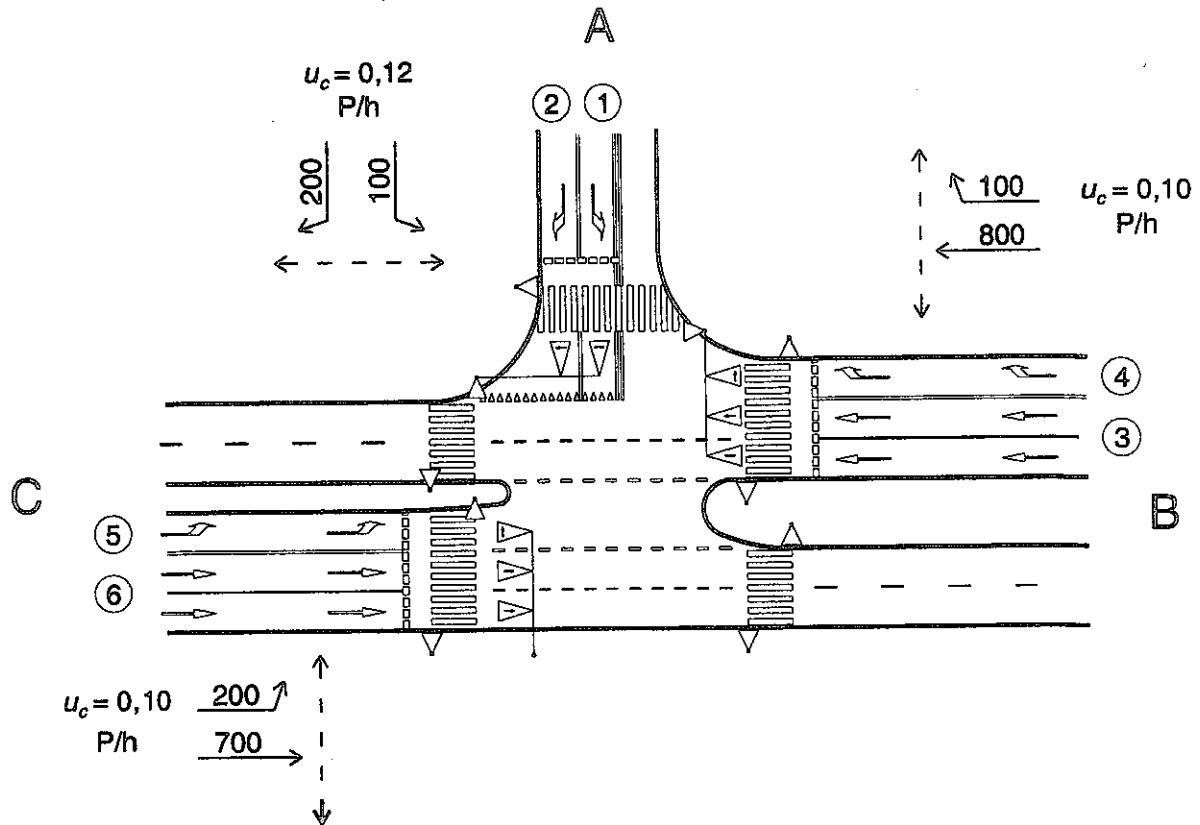
## 3. Sprawdzenie warunku zapewnienia przepustowości (wzór 7.3):

$$\sum_{f=1}^{n_f} \left( \frac{Q_{e,k}}{n_k} \right)_f \leq 1620 - 130 \cdot n_f$$

$$\frac{Q_{e1}}{n_1} + \frac{Q_{e2}}{n_2} + \frac{Q_{e3}}{n_3} = 523 + 269 + 123 = 915 < 1620 - 130 \cdot 3 = 1230 \text{ E/h.}$$

Wynik analizy wskazuje, że przepustowość skrzyżowania będzie zapewniona.

**Wariant 2:** Sygnalizacja trójfazowa całkowicie bezkolizyjna, rozwiązanie skrzyżowania z dodatkowym pasem wydzielonym w prawo na wlocie A (rys. 7.4):



Rys. 7.4. Schemat skrzyżowania po rozbudowie i prognozowane natężenia ruchu do przykładu obliczeniowego

Schemat układu faz		
Faza I	Faza II	Faza III

1. Obliczenie ekwiwalentnych natężeń relacji

Prognozowane natężenie ruchu podane w pojazdach rzeczywistych należy przeliczyć na pojazdy umowne jadące na wprost (wzór (7.2)).

grupa 1:

$$Q_{eAL} = Q_{AL} \cdot e_{AL} \cdot (1 + u_c) = 100 \cdot 1,1 \cdot (1 + 0,12) = 123 \text{ E/h,} \quad (\text{relacja bezkolizyjna})$$

grupa 2:

$$Q_{eAP} = Q_{AP} \cdot e_{AP} \cdot (1 + u_c) = 200 \cdot 1,2 \cdot (1 + 0,12) = 269 \text{ E/h,} \quad (\text{relacja bezkolizyjna})$$

grupa 3:

$$Q_{eBW} = Q_{BW} \cdot e_{BW} \cdot (1 + u_c) = 800 \cdot 1,0 \cdot (1 + 0,10) = 880 \text{ E/h,} \quad (\text{relacja bezkolizyjna})$$

grupa 4:

$$Q_{eBP} = Q_{BP} \cdot e_{BP} \cdot (1 + u_c) = 100 \cdot 1,2 \cdot (1 + 0,10) = 132 \text{ E/h,} \quad (\text{relacja bezkolizyjna})$$

grupa 5:

$$Q_{eCL} = Q_{CL} \cdot e_{CL} \cdot (1 + u_c) = 200 \cdot 1,1 \cdot (1 + 0,10) = 242 \text{ E/h,} \quad (\text{relacja bezkolizyjna})$$

grupa 6:

$$Q_{eCW} = Q_{CW} \cdot e_{CW} \cdot (1 + u_c) = 700 \cdot 1,0 \cdot (1 + 0,10) = 770 \text{ E/h.} \quad (\text{relacja bezkolizyjna})$$

**2. Ekwiwalentne natężenie ruchu na pasie i wybór pasów krytycznych (znak \*)**

faza I

$$\text{grupa 3:} \quad \frac{Q_{eBW}}{2} = \frac{880}{2} = 440 \text{ E/h,} \quad *$$

$$\text{grupa 6:} \quad \frac{Q_{eCW}}{2} = \frac{770}{2} = 385 \text{ E/h,}$$

faza II

$$\text{grupa 2:} \quad \frac{Q_{eAP}}{1} = \frac{269}{1} = 269 \text{ E/h,} \quad *$$

$$\text{grupa 5:} \quad \frac{Q_{eCL}}{1} = \frac{242}{1} = 242 \text{ E/h,}$$

faza III

$$\text{grupa 1:} \quad \frac{Q_{eAL}}{1} = \frac{123}{1} = 123 \text{ E/h,}$$

$$\text{grupa 4:} \quad \frac{Q_{eBP}}{1} = \frac{132}{1} = 132 \text{ E/h.} \quad *$$

**3. Sprawdzenie warunku zapewnienia przepustowości (wzór 7.3):**

$$\sum_{f=1}^{n_f} \left( \frac{Q_{e,k}}{n_k} \right)_f \leq 1620 - 130 \cdot n_f$$

$$\frac{Q_{e1}}{n_1} + \frac{Q_{e2}}{n_2} + \frac{Q_{e3}}{n_3} = 440 + 269 + 132 = 841 < 1620 - 130 \cdot 3 = 1230 \text{ E/h.}$$

**Wniosek:** Wynik analizy wskazuje, że przepustowość skrzyżowania będzie zapewniona. Obydwa rozwiązania spełniają warunek zapewnienia przepustowości. Koszty budowy rozwiązania drugiego są większe, ale jest ono zalecane ze względu na całkowicie bezkolizyjny przebieg ruchu.

## 8. FORMULARZE OBLICZENIOWE

Dla ułatwienia i ujednoczenia prowadzenia obliczeń opracowane zostały formularze obliczeniowe. Poniżej określono zestaw formularzy używanych w analizie przepustowości oraz warunków ruchu obliczeniowych grup pasów, wlotów i skrzyżowania.

Zestaw formularzy obowiązujących i możliwych do użycia (opcjonalnych), w zależności od rozwiązania skrzyżowania i występujących na nim urządzeń komunikacji zbiorowej oraz zakresu analiz, został podzielony na pięć grup (tab. 8.1). Formularze opcjonalne mają zastosowanie wyłącznie w obliczaniu natężenia nasycenia sygnału dopuszczającego skręcanie w kierunku wskazanym strzałką (oznaczenie **3s**) oraz wpływu przystanków autobusowych (**4a**) i tramwajowych (**4t**).

Ze względu na złożoność obliczeń, dużą liczbę rozwiązań geometrycznych oraz organizacji ruchu na skrzyżowaniach z sygnalizacją świetlną niniejsze formularze mogą nie obejmować wszystkich możliwych analiz zawartych w metodzie obliczeniowej. W niektórych przypadkach należy skorzystać z dodatkowych formularzy. W przypadku wystąpienia w obliczeniach procedury iteracyjnej dla kolizyjnego skrętu w lewo z pojazdami z przeciwnego wlotu oraz z pieszymi zachodzi konieczność użycia większej liczby formularzy nr **3**. W zależności od analizowanej liczby wlotów na skrzyżowaniu należy zastosować również większą liczbę formularzy nr **4** z odpowiednim, indywidualnym ich podziałem na grupy pasów (por. formularze w przykładzie obliczeniowym, rozdz. 9).

Zestawienie wszystkich formularzy zawiera tab. 8.1, a w dalszej kolejności zamieszczono wzory poszczególnych formularzy.

Ostatni formularz nr **7** (7.1 i 7.2) służy do zestawienia obliczonych miar sprawności skrzyżowania i powinien stanowić podsumowanie obliczeń, niezależnie od tego, jak są one prowadzone, z użyciem czy bez formularzy obliczeniowych.

Tab. 8.1. Formularze używane przy analizie skrzyżowania z sygnalizacją świetlną

Formularze podstawowe:	Tytuł formularza:
<b>OBLICZANIE NATĘŻEŃ NASYCENIA RELACJI</b>	
<b>1</b>	Natężenie nasycenia relacji bezkolizyjnej
<b>2</b>	Natężenie nasycenia relacji skrętnej kolizyjnej z ruchem pieszym
<b>3...</b>	Natężenie nasycenia relacji w lewo kolizyjnej z pojazdami z przeciwnego wlotu i z ruchem pieszym
<b>OBLICZANIE NATĘŻEŃ NASYCENIA PASÓW I GRUP PASÓW</b>	
<b>4...</b>	Rozkład ruchu w obliczeniowych grupach pasów na wlocie .... Natężenie nasycenia pasów i obliczeniowych grup pasów na wlocie ....
<b>OBLICZANIE PRZEPUSTOWOŚCI</b>	
<b>5</b>	Obliczanie przepustowości
<b>OBLICZANIE MIAR WARUNKÓW RUCHU</b>	
<b>6.1</b>	Dane do obliczania miar warunków ruchu
<b>6.2</b>	Straty czasu, <i>PSR</i>
<b>6.3</b>	Kolejka pozostająca, Kolejka maksymalna, Zatrzymania
<b>ZESTAWIENIE ZBIORCZE PARAMETRÓW</b>	
<b>7.1</b>	Zestawienie zbiorcze parametrów
<b>7.2</b>	Zestawienie zbiorcze parametrów cd.
Formularze opcjonalne:	Tytuł formularza:
<b>3s</b>	Natężenie nasycenia relacji podczas sygnału dopuszczającego skręcanie w kierunku wskazanym strzałką – relacja z wydzielonego pasa ruchu – relacja ze wspólnego pasa ruchu
<b>4a</b>	Wpływ przystanku autobusowego
<b>4t</b>	Wpływ przystanku tramwajowego z wymianą pasażerów na jezdni

OBLICZANIE PRZEPUSTOWOŚCI I OCENA WARUNKÓW RUCHU NA SKRZYŻOWANIU Z SYGNALIZACJĄ ŚWIETLNA																
OBLICZANIE NATĘŻEŃ NASYCENIA RELACJI												FORMULARZ		1		
Natężenie nasycenia relacji bezkolizyjnej																
Włot	A				B				C				D			
Relacja	AL	AW <sup>1)</sup>	AW <sup>2)</sup>	AP	BL	BW <sup>1)</sup>	BW <sup>2)</sup>	BP	CL	CW <sup>1)</sup>	CW <sup>2)</sup>	CP	DL	DW <sup>1)</sup>	DW <sup>2)</sup>	DP
Wyjściowe natężenie nasycenia $S_o$ [E/hz]		1900	1700			1900	1700			1900	1700			1900	1700	
Szerokość pasa ruchu $w$ [m]																
Pochylenie wlotu $i$ [%]																
Wskaźnik kierunku pochylenia $\delta$ [-]																
Wskaźnik położenia pasa ruchu $\delta_x$ [-]																
Wskaźnik przejazdu przez torowisko tramwajowe $\delta_t$ [-]																
Promień skreту $R$ [m]																
Korekta natężenia nasycenia, gdy $4,2 < w < 5,0$ m $\Delta S_w$ [E/hz]																
Natężenie nasycenia relacji $S_r$ [E/hz] (wzór (4.6), (4.7))																
Udział pojazdów ciężkich $u_c$ [-]																
Natężenie nasycenia relacji $S_r$ [P/hz] (wzór (4.6), (4.7))																

1) - pas wydzielony dla relacji na wprost  
 2) - pas wspólny relacji na wprost z relacją skrętną kolizyjną



OBLICZANIE PRZEPUSTOWOŚCI I OCENA WARUNKÓW RUCHU NA SKRZYŻOWANIU Z SYGNALIZACJĄ ŚWIETLNA								
OBLICZANIE NATEŻEŃ NASYCENIA RELACJI							FORMULARZ	2
Nateżenie nasycenia relacji skrętnej kolizyjnej z ruchem pieszym								
Włot	A		B		C		D	
Relacja	AL	AP	BL	BP	CL	CP	DL	DP
Wyjściowe nateżenie nasycenia $S_o$ [E/hz]								
Sygnał zielony $G$ [s]								
Efektywny sygnał zielony $G_e$ [s]								
Długość cyklu $T$ [s]								
Nateżenie ruchu pieszych $QP$ [Ps/h]								
Długość drogi dojazdu pojazdów skręcających do przejścia $l$ [m]								
Współczynnik uwzględniający wpływ ruchu pieszego $f_p$ [-] (wzór (4.13))								
$f_{p,min} = 0,4 \cdot \frac{l}{G_e}$ [-]								
Nateżenie nasycenia $S_r$ [E/hz] (wzór (4.12))								
Udział pojazdów ciężkich $u_c$ [-]								
Nateżenie nasycenia relacji $S_r$ [P/hz] (wzór (4.12))								

OBLICZANIE PRZEPUSTOWOŚCI I OCENA WARUNKÓW RUCHU NA SKRZYŻOWANIU Z SYGNALIZACJĄ ŚWIETLNA					
OBLICZANIE NATĘŻEŃ NASYCENIA RELACJI				FORMULARZ	3... <sup>1)</sup>
Natężenie nasycenia relacji w lewo kolizyjnej z pojazdami z przeciwległego wlotu i z ruchem pieszym					
Wlot	A	B	C	D	
Relacja	AL	BL	CL	DL	
Natężenie ruchu z przeciwległego wlotu $Q_n$ [P/h]					
Sygnał zielony $G$ [s]					
Efektywny sygnał zielony $G_e$ [s]					
Długość cyklu $T$ [s]					
Udział sygnału zielonego efektywnego w cyklu $\lambda$ [-]					
Stopień nasycenia grupy pasów na wlocie przeciwległym $Y_n$ [-]					
Stopień obciążenia grupy pasów na wlocie przeciwległym $X_n^{2)}$ [-]					
Odstęp czasu między skręcającymi w lewo pojazdami zjeżdżającymi z powierzchni oczekiwania $t_f$ [s]					
Graniczny odstęp czasu pojazdów skręcających w lewo $t_g$ [s]					
Liczba pasów z potokiem nadrzędnym $n$ [-]					
Odstęp czasu między pojazdami mającymi pierwszeństwo $\Delta t_n$ [s]					
Parametr zależny od $Q_n$ i liczby pasów $n$ $\alpha$ [-]					
Natężenie nasycenia w lukach strumienia priorytetowego $S_{Lg}$ [E/hz] (wzór (4.9))					
Pojemność powierzchni oczekiwania $a$ [E]					
Udział pojazdów skręcających w lewo na pasie $u_L$ [-]					
Natężenie nasycenia w czasie międzzielonym $S_{Lm}$ [E/hz] (wzór (4.10))					
Natężenie ruchu pieszego $QP$ [Ps/h]					
Poprawka uwzględniająca wpływ pieszych $\Delta S_{Lp}$ [E/hz] (wzór (4.11))					
Udział pojazdów ciężkich $u_c$ [-]					
Natężenie nasycenia relacji $S_L$ [P/hz] (wzór (4.8))					

1) - kolejne formularze w przypadku obliczeń iteracyjnych

2) -  $X_n$  założony lub obliczony w kroku wcześniejszym

**OBLICZANIE PRZEPUSTOWOŚCI I OCENA WARUNKÓW RUCHU NA SKRZYŻOWANIU Z SYGNALIZACJĄ ŚWIETLNA**

**NATEŻENIE NASYCENIA RELACJI PODCZAS SYGNAŁU  
DOPUSZCZAJĄCEGO SKRĘCANIE  
W KIERUNKU WSKAZANYM STRZAŁKĄ**

FORMULARZ

**3s**

**- relacja z wydzielonego pasa ruchu**

Wlot	A	B	C	D
Relacja				
Udział pojazdów ciężkich $u_c$ [-]				
Sygnal dopuszczający skręcanie w kierunku wskazanym strzałką $G_{zs}$ [s]				
Efektywny sygnał zielony $G_e$ [s]				
Nateżenie nasycenia relacji podczas sygnału dopuszczającego skręcanie w kierunku wskazanym strzałką $S_{zs}$ [P/hz] (wzór (4.16))				
Nateżenie nasycenia relacji z wydzielonego pasa podczas sygnału zielonego $G_e$ $S_r$ [P/hz] (F: 1 lub F: 2)				
Średnie nateżenie nasycenia w okresie ( $G_e+G_{zs}$ ) $S_{G,zs}$ [P/hz] (wzór (4.17))				

**- relacja ze wspólnego pasa ruchu**

Nateżenie ruchu na pasie $Q$ [P/h]				
Udział relacji w prawo na pasie $u_p$ [-]				
Sygnal dopuszczający skręcanie w kierunku wskazanym strzałką $G_{zs}$ [s]				
Efektywny sygnał zielony $G_e$ [s]				
Poprawka zwiększająca nateżenie nasycenia relacji w prawo $\Delta S$ [P/hz] (wzór (4.18))				
Nateżenie nasycenia relacji w prawo z uwzględnieniem poprawki $S_{G,zs}$ [P/hz] (wzór (4.19))				

<b>OBLICZANIE PRZEPUSTOWOŚCI I OCENA WARUNKÓW RUCHU NA SKRZYŻOWANIU Z SYGNALIZACJĄ ŚWIETLNA</b>	
<b>OBLICZANIE NATĘŻEŃ NASYCENIA PASÓW I GRUP PASÓW</b>	<b>FORMULARZ 4...<sup>1)</sup></b>
<b>Rozkład ruchu w obliczeniowych grupach pasów na wlocie ....</b>	
Obliczeniowa grupa pasów (oznaczenie)	
Numer pasa ruchu w grupie	
Relacje w obrębie pasa ruchu	
Całkowite natężenie relacji $Q_r$ [P/h]	
Natężenie nasycenia relacji $r$ na pasie $j$ $S_{rj}$ [P/hz] (F: 1 lub F: 2 lub F: 3)	
Liczba pasów w grupie $n_{gr}$ [-]	
Liczba pasów w grupie wspólnych z relacją $r$ $m_r$ [-]	
Liczba pasów wydzielonych w grupie z relacją $r$ $n_r$ [-]	
<b>I KROK ITERACJI</b>	
Wstępne natężenie relacji na pasie $Q_{rj}$ [P/h] (wzory (4.31) i (4.32))	
Stopień nasycenia grupy pasów $Y$ [-] (wzór (4.33))	
<b>II KROK ITERACJI</b>	
Natężenie relacji na pasie $Q_{rj}$ [P/h] (wzory (4.34) + (4.36))	
Stopień nasycenia grupy pasów $Y$ [-] (wzór (4.33))	
<b>III KROK ITERACJI</b>	
Natężenie relacji na pasie $Q_{rj}$ [P/h] (wzory (4.34) + (4.36))	
Stopień nasycenia grupy pasów $Y$ [-] (wzór (4.33))	
<b>Natężenie nasycenia pasów i obliczeniowych grup pasów na wlocie ....</b>	
Udział relacji $r$ w ruchu na pasie $u_r$ [-]	
Natężenie nasycenia pasa ruchu $S_j^w$ [P/hz] (wzór (4.14))	
Współczynnik korygujący ze względu na przystanek autobusowy $f_a$ [-] (F: 4a)	
Współczynnik korygujący ze względu na przystanek tramwajowy $f_t$ [-] (F: 4t)	
Natężenie nasycenia pasa ruchu $S_j^{2)}$ [P/hz] (wzór (4.2))	
Natężenie nasycenia grupy pasów $S_{gr}$ [P/hz] (wzór (4.15))	

<sup>1)</sup> - kolejne formularze dla poszczególnych wlotów skrzyżowania z obliczeniowymi grupami pasów

<sup>2)</sup> - z uwzględnieniem wpływu przystanku autobusowego i/lub przystanku tramwajowego z wymianą pasażerów na jezdni

**Uwaga:** w formularzu należy dokonać indywidualnego podziału na kolumny dla wyróżnienia obliczeniowych grup pasów

OBLICZANIE PRZEPUSTOWOŚCI I OCENA WARUNKÓW RUCHU NA SKRZYŻOWANIU Z SYGNALIZACJĄ ŚWIETLNA					
WPLYW PRZYSTANKU AUTOBUSOWEGO				FORMULARZ	4a
Wpływ przystanku autobusowego zlokalizowanego na wlocie					
Wlot	A	B	C	D	
Natężenie ruchu autobusowego $Q_a$ [P/h]					
Średni efektywny czas blokowania pasa ruchu przez autobus $t_b$ [s]					
Współczynnik korygujący $f_a$ [-] (wzór (4.20))					
Wpływ przystanku autobusowego zlokalizowanego na wylocie					
Natężenie ruchu autobusowego $Q_a$ [P/h]					
Średni efektywny czas blokowania pasa ruchu przez autobus $t_b$ [s]					
Sumaryczny czas blokowania pasa ruchu przez autobus $T_b$ [s] (wzór (4.21))					
Natężenie nasycenia pasa ruchu bez uwzględnienia wpływu przystanków $S_j^w$ [P/hz] (F: 4)					
Odległość od tyłu autobusu do przejścia dla pieszych $l_a$ [m]					
Udział relacji na wprost na pasie ruchu $u_w$ [-]					
Udział w ruchu na pasie pojazdów lekkich $u_l$ [-]					
Udział w ruchu na pasie pojazdów ciężkich $u_c$ [-]					
Przeciętna długość stanowiska pojazdu lekkiego $l_l$ [m]					
Przeciętna długość stanowiska pojazdu ciężkiego $l_c$ [m]					
Przeciętna długość stanowiska pojazdu w kolejce za autobusem $l_p$ [m]					
Sumaryczne zmniejszenie czasu blokowania $t_o$ [s] (wzór (4.22))					
Współczynnik korygujący $f_a$ [-] (wzór (4.23))					

OBLICZANIE PRZEPUSTOWOŚCI I OCENA WARUNKÓW RUCHU NA SKRZYŻOWANIU Z SYGNALIZACJĄ ŚWIETLNA					
WPLYW PRZYSTANKU TRAMWAJOWEGO Z WYMIANĄ PASAŻERÓW NA JEZDNI				FORMULARZ	4t
Wlot	A	B	C	D	
Efektywny sygnał zielony $G_e$ [s]					
Długość cyklu $T$ [s]					
Natężenie ruchu tramwajowego $Q_t$ [Tr/h]					
Natężenie ruchu tramwajowego w cyklu $q_t = Q_t \cdot \frac{T}{3600}$ [Tr/cykl]					
Człon $B$ wzoru (4.24) stosowany w przypadku podwójnego przystanku $B$ [-]					
Współczynnik korygujący $f_i$ [-] (wzór (4.24))					

OBLICZANIE PRZEPUSTOWOŚCI I OCENA WARUNKÓW RUCHU NA SKRZYŻOWANIU Z SYGNALIZACJĄ ŚWIETLNA												
OBLICZANIE PRZEPUSTOWOŚCI											FORMULARZ	5
Wlot	A			B			C			D		
Obliczeniowa grupa pasów												
Pas ruchu												
Relacja												
Natężenie ruchu w grupie pasów $Q_{gr}$ [P/h]												
Natężenie ruchu na wlocie $Q_{wl}$ [P/h]												
Natężenie ruchu na skrzyżowaniu $Q_{sk}$ [P/h]												
Natężenie nasycenia grupy pasów $S_{gr}$ [P/hz] (F: 4)												
Efektywny sygnał zielony $G_e$ [s]												
Długość cyklu $T$ [s]												
Przepustowość grupy pasów $C_{gr}$ [P/h] (wzór (5.3))												
Przepustowość wlotu $C_{wl}$ [P/h] (wzór (5.4))												
Przepustowość skrzyżowania $C_{sk}$ [P/h] (wzór (5.5))												
Stopień obciążenia grupy pasów $X_{gr}$ [-] (wzór (5.6))												
Stopień obciążenia wlotu $X_{wl}$ [-] (wzór (5.7))												
Stopień obciążenia skrzyżowania $X_{sk}$ [-] (wzór (5.8))												
Przepustowość praktyczna grupy pasów przy $X_d = \dots$ $C_{p,gr}^{1)}$ [P/h] (wzór (5.9))												
Rezerwa przepustowości grupy pasów $\Delta C_{p,gr}$ [P/h] (wzór (5.10))												
Przepustowość praktyczna wlotu przy $X_d = \dots$ $C_{p,wl}^{1)}$ [P/h] (wzór (5.9))												
Rezerwa przepustowości wlotu $\Delta C_{p,wl}$ [P/h] (wzór (5.10))												
Przepustowość praktyczna skrzyżowania przy $X_d = \dots$ $C_{p,sk}^{1)}$ [P/h] (wzór (5.9))												
Rezerwa przepustowości skrzyżowania $\Delta C_{p,sk}$ [P/h] (wzór (5.10))												

1) - przepustowość praktyczna liczona dla  $X_d = \langle 0,85 \div 0,95 \rangle$

OBLICZANIE PRZEPUSTOWOŚCI I OCENA WARUNKÓW RUCHU NA SKRZYŻOWANIU Z SYGNALIZACJĄ ŚWIETLNA												
OBLICZANIE MIAR WARUNKÓW RUCHU											FORMULARZ 6.1	
Dane do obliczania miar warunków ruchu												
Włot	A			B			C			D		
Obliczeniowa grupa pasów												
Natężenie ruchu w grupie pasów $Q_{gr}$ [P/h]												
Natężenie ruchu w grupie pasów $q_{gr}$ [P/s]												
Natężenie nasycenia grupy pasów $S_{gr}$ [P/hz] (F: 5)												
Stopień nasycenia grupy pasów $Y_{gr}$ [-] (F: 5)												
Przepustowość grupy pasów $C_{gr}$ [P/h] (F: 5)												
Stopień obciążenia grupy pasów $X_{gr}$ [-] (F: 5)												
Efektywny sygnał zielony $G_e^{(1)}$ [s]												
Długość cyklu $T$ [s]												
Okres analizy $t_a$ [h]												
Udział sygnału zielonego efektywnego w cyklu $\lambda$ [-]												
Współczynnik uwzględniający rodzaj sterowania $r_s$ [-] (tab. 6.1)												
Współczynnik uwzględniający sąsiednie skrzyżowania z sygnalizacją świetlną $w_s$ [-] (tab. 6.2)												
Wskaźnik rozproszenia kolumny pojazdów $R_p$ [-] (tab. 6.3)												
Udział pojazdów dojeżdżających podczas sygnału zielonego $PG=R_p \cdot \lambda$ [-]												
Współczynnik uwzględniający dojazd kolumny pojazdów w czasie sygnału zielonego $f_{PG}$ [-] (tab. 6.4)												
Współczynnik koordynacji sygnalizacji $f_k$ [-] (wzór (6.4))												

1) – z uwzględnieniem ruchu z wydzielonego pasa podczas sygnału dopuszczającego skręcanie w kierunku wskazanym strzałką, jeżeli występuje



OBLICZANIE PRZEPUSTOWOŚCI I OCENA WARUNKÓW RUCHU NA SKRZYŻOWANIU Z SYGNALIZACJĄ ŚWIETLNA												
OBLICZANIE MIAR WARUNKÓW RUCHU										FORMULARZ		6.2
Straty czasu, <i>PSR</i>												
Włot	A			B			C			D		
Obliczeniowa grupa pasów												
Straty czasu												
Straty czasu $d_1$ [s/P] (wzór (6.2))												
Straty czasu $d_2$ [s/P] (wzór (6.3))												
Średnie straty czasu w grupie pasów $d_{gr}$ [s/P] (wzór (6.1))												
<i>PSR</i> w grupie pasów (tab. 6.5)												
Łączne straty czasu w grupie pasów $D_{gr}$ [s/t <sub>a</sub> ] (wzór (6.5))												
Ekwiwalentne łączne straty czasu w grupie pasów $D^*_{gr}$ [h/h] (wzór (6.6))												
Średnie straty czasu na wlocie $d_{wl}$ [s/P] (wzór (6.7))												
<i>PSR</i> na wlocie (tab. 6.5)												
Łączne straty czasu na wlocie $D_{wl}$ [s/t <sub>a</sub> ] (wzór (6.9))												
Ekwiwalentne łączne straty czasu na wlocie $D^*_{wl}$ [h/h] (wzór (6.10))												
Średnie straty czasu na skrzyżowaniu $d_{sk}$ [s/P] (wzór (6.8))												
<i>PSR</i> na skrzyżowaniu (tab. 6.5)												
Łączne straty czasu na skrzyżowaniu $D_{sk}$ [s/t <sub>a</sub> ] (wzór (6.11))												
Ekwiwalentne łączne straty czasu na skrzyżowaniu $D^*_{sk}$ [h/h] (wzór (6.12))												

OBLICZANIE PRZEPUSTOWOŚCI I OCENA WARUNKÓW RUCHU NA SKRZYŻOWANIU Z SYGNALIZACJĄ ŚWIETLNA												
OBLICZANIE MIAR WARUNKÓW RUCHU										FORMULARZ		6.3
Kolejka pozostająca, Kolejka maksymalna, Zatrzymania												
Włot		A			B			C			D	
Grupa pasów												
Kolejki												
Średnia kolejka pozostająca $K_p$ [P] (wzór (6.13))												
Średnia kolejka maksymalna $K_m$ [P] (wzór (6.14))												
Współczynnik kwantyla 95% kolejki maksymalnej $f_{kw95}$ [-] (wzór (6.16))												
Kolejka maksymalna $K_{m95}$ [P] (wzór (6.15))												
Przeciętna długość stanowiska pojazdu w kolejce $l_p$ [m] (wzór (4.22))												
Zasięg kolejki maksymalnej $L_K$ [m] (wzór (6.17))												
Zatrzymania												
Średnia liczba zatrzymań w grupie pasów $z_{gr}$ [z/P] (wzór (6.18))												
Liczba zatrzymań w grupie pasów $Z_{gr}$ [z/t <sub>a</sub> ] (wzór (6.19))												
Udział pojazdów zatrzymanych w grupie pasów $uz_{gr}$ [-] (wzór (6.20))												
Liczba pojazdów zatrzymanych w grupie pasów $Pz_{gr}$ [P] (wzór (6.21))												
Średnia liczba zatrzymań na wlocie $z_{wl}$ [z/P] (wzór (6.22))												
Udział pojazdów zatrzymanych na wlocie $uz_{wl}$ [-] (wzór (6.23))												
Średnia liczba zatrzymań na skrzyżowaniu $z_{sk}$ [z/P] (wzór (6.24))												
Udział pojazdów zatrzymanych na skrzyżowaniu $uz_{sk}$ [-] (wzór (6.25))												

OBLICZANIE PRZEPUSTOWOŚCI I OCENA WARUNKÓW RUCHU NA SKRZYŻOWANIU Z SYGNALIZACJĄ ŚWIETLNA												
ZESTAWIENIE ZBIORCZE PARAMETRÓW										FORMULARZ	7.1	
Włot	A			B			C			D		
Obliczeniowa grupa pasów (oznaczenie)												
Numer pasa ruchu												
Relacja												
Natężenie ruchu w grupie pasów $Q_{gr}$ [P/h]												
Natężenie ruchu na wlocie $Q_{wl}$ [P/h]												
Natężenie ruchu na skrzyżowaniu $Q_{sk}$ [P/h]												
Natężenie nasycenia grupy pasów $S_{gr}$ [P/hz] (F: 4)												
Stopień nasycenia grupy pasów $Y_{gr}$ [-] (F: 4)												
Przepustowość grupy pasów $C_{gr}$ [P/h] (F: 5)												
Przepustowość wlotu $C_{wl}$ [P/h] (F: 5)												
Przepustowość skrzyżowania $C_{sk}$ [P/h] (F: 5)												
Stopień obciążenia grupy pasów $X_{gr}$ [-] (F: 5)												
Stopień obciążenia wlotu $X_{wl}$ [-] (F: 5)												
Stopień obciążenia skrzyżowania $X_{sk}$ [-] (F: 5)												
Przepustowość praktyczna skrzyżowania $C_{p,sk}$ [P/h] (F: 5)												
Rezerwa przepustowości skrzyżowania $\Delta C_{p,sk}$ [P/h] (F: 5)												

OBLICZANIE PRZEPUSTOWOŚCI I OCENA WARUNKÓW RUCHU NA SKRZYŻOWANIU Z SYGNALIZACJĄ ŚWIETLNA												
ZESTAWIENIE ZBIORCZE PARAMETRÓW cd.											FORMULARZ	7.2
Włot	A			B			C			D		
Obliczeniowa grupa pasów (oznaczenie)												
Średnie straty czasu w grupie pasów $d_{gr}$ [s/P] (F: 6.2)												
Średnie straty czasu na wlocie $d_{wl}$ [s/P] (F: 6.2)												
Średnie straty czasu na skrzyżowaniu $d_{sk}$ [s/P] (F: 6.2)												
PSR w grupie pasów (F: 6.2)												
PSR na wlocie (F: 6.2)												
PSR na skrzyżowaniu (F: 6.2)												
Ekwiwalentne łączne straty czasu w grupie pasów $D_{gr}^*$ [h/h] (F: 6.2)												
Ekwiwalentne łączne straty czasu na wlocie $D_{wl}^*$ [h/h] (F: 6.2)												
Ekwiwalentne łączne straty czasu na skrzyżowaniu $D_{sk}^*$ [h/h] (F: 6.2)												
Średnia kolejka pozostająca $K_p$ [P] (F: 6.3)												
Kolejka maksymalna $K_{m95}$ [P] (F: 6.3)												
Zasięg kolejki maksymalnej $L_K$ [m] (F: 6.3)												
Średnia liczba zatrzymań w grupie pasów $z_{gr}$ [z/P] (F: 6.3)												
Średnia liczba zatrzymań na wlocie $z_{wl}$ [z/P] (F: 6.3)												
Średnia liczba zatrzymań na skrzyżowaniu $z_{sk}$ [z/P] (F: 6.3)												
Udział pojazdów zatrzymanych w grupie pasów $u_{zgr}$ [-] (F: 6.3)												
Udział pojazdów zatrzymanych na wlocie $u_{zwl}$ [-] (F: 6.3)												
Udział pojazdów zatrzymanych na skrzyżowaniu $u_{zsk}$ [-] (F: 6.3)												

## 9. PRZYKŁADY OBLICZENIOWE

W niniejszym rozdziale przedstawione zostały przykłady obliczeniowe ilustrujące najważniejsze lub trudniejsze pod względem metodologicznym elementy metody obliczania przepustowości skrzyżowania z sygnalizacją. Przykłady ilustrują zasady rozkładu ruchu na pasy, obliczanie natężeń nasycenia oraz przepustowości różnych pasów i obliczeniowych grup pasów ruchu, a także obliczenia prowadzące do oceny warunków ruchu.

### 9.1. Przykład nr 1 – Rozkład ruchu w obliczeniowej grupie pasów

Przykłady 1.a i 1.b ilustrują zasady rozkładu ruchu w obliczeniowej grupie pasów przedstawione w p. 4.14. Rozważa się przykładowe grupy pasów o schematach podanych w p. 9.1.1.

#### 9.1.1. Przykład nr 1.a – Rozkład ruchu w obliczeniowej grupie trzech pasów

Obliczyć rozkład ruchu na poszczególne pasy w przedstawionej poniżej przykładowej obliczeniowej grupie trzech pasów dla następujących danych:

$$Q_L = 200 \text{ P/h,}$$

$$Q_W = 1000 \text{ P/h,}$$

$$Q_P = 230 \text{ P/h,}$$

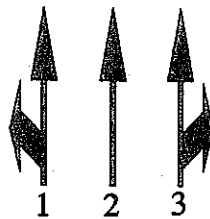
$$S_{L1} = 1500 \text{ P/hz,}$$

$$S_{W1} = 1650 \text{ P/hz,}$$

$$S_{W2} = 1650 \text{ P/hz,}$$

$$S_{W3} = 1500 \text{ P/hz,}$$

$$S_{P3} = 600 \text{ P/hz.}$$



1° Wstępny rozkład natężenia ruchu na pasach:

$$Q_{L1} = Q_L = 200 \text{ P/h,}$$

$$Q_{W1} = Q_{W3} = Q_W \cdot \frac{0,5}{n_w + 0,5 \cdot m_w} = 1000 \cdot \frac{0,5}{1 + 0,5 \cdot 2} = 250 \text{ P/h,} \quad (\text{wzór (4.32)})$$

$$Q_{W2} = Q_W \cdot \frac{1}{n_w + 0,5 \cdot m_w} = 1000 \cdot \frac{1}{1 + 0,5 \cdot 2} = 500 \text{ P/h,} \quad (\text{wzór (4.31)})$$

$$Q_{P3} = Q_P = 230 \text{ P/h.}$$

2° Przybliżona wartość stopnia nasycenia  $Y$  na pasie ruchu w grupie (wzór (4.33)):

$$Y = \frac{1}{n_{gr}} \cdot \left( \frac{Q_{L1}}{S_{L1}} + \frac{Q_{W1}}{S_{W1}} + \frac{Q_{W2}}{S_{W2}} + \frac{Q_{W3}}{S_{W3}} + \frac{Q_{P3}}{S_{P3}} \right) = \frac{1}{3} \cdot \left( \frac{200}{1500} + \frac{250}{1650} + \frac{500}{1650} + \frac{250}{1500} + \frac{230}{600} \right) = 0,379.$$

3° Natężenia ruchu na poszczególnych pasach ruchu:

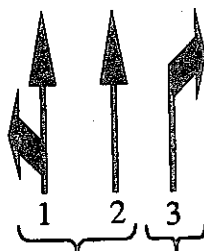
$$Q_{L1} = 200 \text{ P/h,}$$

$$Q_{W1} = S_{W1} \cdot \left( Y - \frac{Q_{L1}}{S_{L1}} \right) = 1650 \cdot \left( 0,379 - \frac{200}{1500} \right) = 405 \text{ P/h}, \quad (\text{wzór (4.36)})$$

$$Q_{W2} = Y \cdot S_{W1} = 0,379 \cdot 1650 = 625 \text{ P/h}, \quad (\text{wzór (4.34)})$$

$$Q_{W3} = S_{W3} \cdot \left( Y - \frac{Q_{P3}}{S_{P3}} \right) = 1500 \cdot \left( 0,379 - \frac{230}{600} \right) = -7 \text{ P/h}, \quad (\text{wzór (4.36)})$$

Ponieważ z obliczeń otrzymano  $Q_{W3} < 0$ , można uznać, że z pasa nr 3 nie korzystają pojazdy relacji na wprost, a zatem w praktyce obliczeniowa grupa pasów rozpada się na dwie grupy przedstawione poniżej:



W tej sytuacji należy znaleźć rozkład ruchu relacji na wprost na pasy 1 i 2.

1° Wstępny rozkład natężenia ruchu na pasach:

$$Q_{L1} = Q_L = 200 \text{ P/h},$$

$$Q_{W1} = Q_W \cdot \frac{0,5}{n_w + 0,5 \cdot m_w} = 1000 \cdot \frac{0,5}{1 + 0,5 \cdot 1} = 333 \text{ P/h}, \quad (\text{wzór (4.32)})$$

$$Q_{W2} = Q_W \cdot \frac{1}{n_w + 0,5 \cdot m_w} = 1000 \cdot \frac{1}{1 + 0,5 \cdot 1} = 667 \text{ P/h}. \quad (\text{wzór (4.31)})$$

2° Przybliżona wartość stopnia nasycenia  $Y$  na pasie ruchu w grupie (wzór (4.33)):

$$Y = \frac{1}{n_{gr}} \cdot \left( \frac{Q_{L1}}{S_{L1}} + \frac{Q_{W1}}{S_{W1}} + \frac{Q_{W2}}{S_{W2}} \right) = \frac{1}{2} \cdot \left( \frac{200}{1500} + \frac{333}{1650} + \frac{667}{1650} \right) = 0,370.$$

3° Natężenia ruchu na poszczególnych pasach ruchu:

$$Q_{L1} = 200 \text{ P/h},$$

$$Q_{W2} = Y \cdot S_{W1} = 0,370 \cdot 1650 = 611 \text{ P/h}, \quad (\text{wzór (4.34)})$$

$$Q_{W1} = Q_W - Q_{W2} = 1000 - 611 = 389 \text{ P/h}. \quad (\text{wzór (4.35)})$$

4° Powtórne obliczenie stopnia nasycenia  $Y$  przy zastosowaniu natężeń  $Q_{wi}$  obliczonych w 3-cim kroku:

$$Y = \frac{1}{n_{gr}} \cdot \left( \frac{Q_{L1}}{S_{L1}} + \frac{Q_{W1}}{S_{W1}} + \frac{Q_{W2}}{S_{W2}} \right) = \frac{1}{2} \cdot \left( \frac{200}{1500} + \frac{389}{1650} + \frac{611}{1650} \right) = 0,370.$$

Rozkład ruchu obliczony w 3-cim kroku został uznany za poprawny, ponieważ wartość  $Y = 0,370$  nie różni się od wartości otrzymanej w 2-gim kroku  $Y = 0,370$ .

**9.1.2. Przykład nr 1.b - Rozkład ruchu w obliczeniowej grupie czterech pasów**

Obliczyć rozkład ruchu na pasach w poniższej przykładowej grupie pasów przedstawionej na rysunku dla danych:

$$Q_L = 200 \text{ P/h,}$$

$$Q_W = 1100 \text{ P/h,}$$

$$Q_P = 500 \text{ P/h,}$$

$$S_{L1} = 1500 \text{ P/hz,}$$

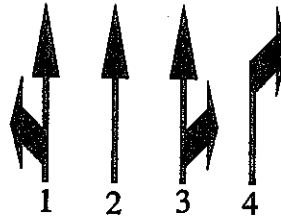
$$S_{W1} = 1650 \text{ P/hz,}$$

$$S_{W2} = 1650 \text{ P/hz,}$$

$$S_{W3} = 1500 \text{ P/hz,}$$

$$S_{P3} = 1400 \text{ P/hz,}$$

$$S_{P4} = 1300 \text{ P/hz.}$$



1° Wstępny rozkład natężenia ruchu na pasach:

$$Q_{L1} = Q_L = 200 \text{ P/h,}$$

$$Q_{W1} = Q_{W3} = Q_W \cdot \frac{0,5}{n_W + 0,5 \cdot m_W} = 1100 \cdot \frac{0,5}{1 + 0,5 \cdot 2} = 275 \text{ P/h,} \quad (\text{wzór (4.32)})$$

$$Q_{W2} = Q_W \cdot \frac{1}{n_W + 0,5 \cdot m_W} = 1100 \cdot \frac{1}{1 + 0,5 \cdot 2} = 550 \text{ P/h,} \quad (\text{wzór (4.31)})$$

$$Q_{P3} = Q_P \cdot \frac{0,5}{n_P + 0,5 \cdot m_P} = 500 \cdot \frac{0,5}{1 + 0,5 \cdot 1} = 167 \text{ P/h,} \quad (\text{wzór (4.32)})$$

$$Q_{P4} = Q_P \cdot \frac{1}{n_P + 0,5 \cdot m_P} = 500 \cdot \frac{1}{1 + 0,5 \cdot 1} = 333 \text{ P/h.} \quad (\text{wzór (4.31)})$$

2° Przybliżona wartość stopnia nasycenia  $Y$  na pasie ruchu w grupie (wzór (4.33)):

$$Y = \frac{1}{n_{gr}} \cdot \left( \frac{Q_{L1}}{S_{L1}} + \frac{Q_{W1}}{S_{W1}} + \frac{Q_{W2}}{S_{W2}} + \frac{Q_{W3}}{S_{W3}} + \frac{Q_{P3}}{S_{P3}} + \frac{Q_{P4}}{S_{P4}} \right) =$$

$$= \frac{1}{4} \cdot \left( \frac{200}{1500} + \frac{275}{1650} + \frac{550}{1650} + \frac{275}{1500} + \frac{167}{1400} + \frac{333}{1300} \right) = 0,298.$$

3° Natężenia ruchu na poszczególnych pasach ruchu:

$$Q_{L1} = 200 \text{ P/h,}$$

$$Q_{W1} = S_{W1} \cdot \left( Y - \frac{Q_{L1}}{S_{L1}} \right) = 1650 \cdot \left( 0,298 - \frac{200}{1500} \right) = 272 \text{ P/h,} \quad (\text{wzór (4.36)})$$

$$Q_{W2} = Y \cdot S_{W2} = 0,298 \cdot 1650 = 492 \text{ P/h,} \quad (\text{wzór (4.34)})$$

$$Q_{P4} = Y \cdot S_{P4} = 0,298 \cdot 1300 = 387 \text{ P/h,} \quad (\text{wzór (4.34)})$$

$$Q_{P3} = Q_P - Q_{P4} = 500 - 387 = 113 \text{ P/h,}$$

(wzór (4.35))

$$Q_{W3} = S_{W3} \cdot \left( Y - \frac{Q_{P3}}{S_{P3}} \right) = 1500 \cdot \left( 0,298 - \frac{113}{1400} \right) = 326 \text{ P/h.}$$

(wzór (4.36))

Sprawdzenie:

$$Q_{W1} + Q_{W2} + Q_{W3} = 272 + 492 + 326 = 1090 \text{ P/h} < Q_W = 1100 \text{ P/h,}$$

$$Q_{P3} + Q_{P4} = 113 + 387 = 500 = Q_P = 500 \text{ P/h.}$$

Ponieważ suma natężeń relacji na wprost na poszczególnych pasach jest różna od zadanego natężenia relacji na wlocie, należy skorygować natężenie relacji na wprost.

Poprawione natężenie relacji na wprost na poszczególnych pasach:

$$Q_{W1} = Q_{W1} \cdot \frac{Q_W}{\sum_j Q_{Wj}} = 272 \cdot \frac{1100}{1090} = 274 \text{ P/h,}$$

$$Q_{W2} = Q_{W2} \cdot \frac{Q_W}{\sum_j Q_{Wj}} = 492 \cdot \frac{1100}{1090} = 497 \text{ P/h,}$$

$$Q_{W3} = Q_{W3} \cdot \frac{Q_W}{\sum_j Q_{Wj}} = 326 \cdot \frac{1100}{1090} = 329 \text{ P/h.}$$

4° Powtórne obliczenie stopnia nasycenia  $Y$  przy zastosowaniu natężeń  $Q_{Wj}$  obliczonych w 3-cim kroku:

$$Y = \frac{1}{n_{gr}} \cdot \left( \frac{Q_{L1}}{S_{L1}} + \frac{Q_{W1}}{S_{W1}} + \frac{Q_{W2}}{S_{W2}} + \frac{Q_{W3}}{S_{W3}} + \frac{Q_{P3}}{S_{P3}} + \frac{Q_{P4}}{S_{P4}} \right) =$$

$$= \frac{1}{4} \cdot \left( \frac{200}{1500} + \frac{274}{1650} + \frac{497}{1650} + \frac{329}{1500} + \frac{113}{1400} + \frac{387}{1300} \right) = 0,300.$$

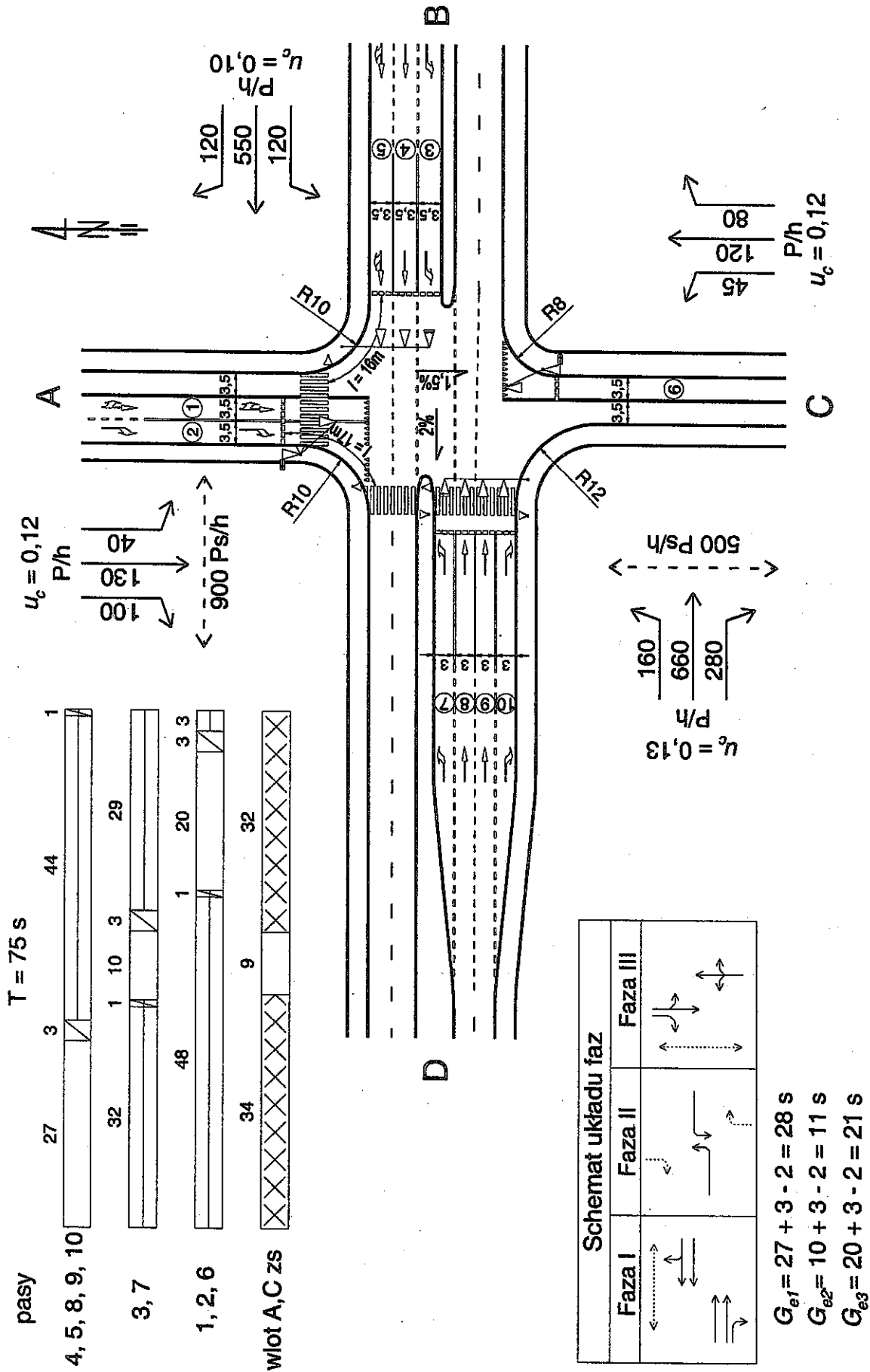
Rozkład ruchu obliczony w 3-cim kroku został uznany za poprawny, ponieważ wartość  $Y = 0,300$  różni się bardzo niewiele (mniej niż o 0,005) od wartości otrzymanej w 2-gim kroku  $Y = 0,298$ .

## 9.2. Przykład nr 2 – Obliczenie natężeń nasycenia

Poniższe obliczenia natężeń nasycenia ilustrują zasady analiz przedstawione w rozdz. 4 ÷ 6. Na rys. 9.1 pokazano przykładowe skrzyżowanie wraz z niezbędnymi danymi, do którego odnoszą się obliczenia zawarte w p. 9.2 ÷ 9.4.

Ponieważ na wlotach/wylotach skrzyżowania nie występują przystanki autobusowe ani tramwajowe, więc  $S_j$  (wzór (4.2)) równe jest  $S_j^w$  (wzór (4.14)).





Rys. 9.1. Schemat skrzyżowania z danymi do przykładów obliczeniowych w p. 9.2 ÷ 9.4.

### 9.2.1. Natężenie nasycenia relacji bezkolizyjnych

Poniższe obliczenie natężeń nasycenia dla relacji bezkolizyjnych ilustrują zasady przedstawione w p. 4.3 i p. 4.4.

#### Relacja na wprost

Natężenie nasycenia wydzielonego pasa relacji na wprost obliczane jest ze wzoru (4.6) z  $S_o = 1900$  E/hz.

$$S = [1900 + 200 \cdot (w - 3,5) - 30 \cdot \delta_i \cdot i] \cdot \frac{1}{1 + u_c} \quad [\text{P/hz}]$$

**pas ruchu B4**

$$S_{w4} = [1900 + 200 \cdot (3,5 - 3,5) - 30 \cdot 0 \cdot 2] \cdot \frac{1}{1 + 0,10} = 1727 \text{ P/hz,}$$

**pasy ruchu D8 i D9**

$$S_{w8} = S_{w9} = [1900 + 200 \cdot (3,0 - 3,5) - 30 \cdot 1 \cdot 2] \cdot \frac{1}{1 + 0,13} = 1540 \text{ P/hz.}$$

Natężenie nasycenia wspólnego pasa relacji na wprost (bezkolizyjnej) i kolizyjnej relacji skrajnej obliczane jest ze wzoru (4.6) z uwzględnieniem faktu, że ze wspólnego pasa korzystają relacja bezkolizyjna i kolizyjna. Dlatego we wzorze występuje wartość  $S_o = 1700$  E/hz (por. p. 4.7).

$$S = [1700 + 200 \cdot (w - 3,5) - 30 \cdot \delta_i \cdot i] \cdot \frac{1}{1 + u_c} \quad [\text{P/hz}]$$

**pas ruchu A1**

$$S_{w1} = [1700 + 200 \cdot (3,5 - 3,5) - 30 \cdot 0 \cdot 1,5] \cdot \frac{1}{1 + 0,12} = 1518 \text{ P/hz,}$$

**pas ruchu B5**

$$S_{w5} = [1700 + 200 \cdot (3,5 - 3,5) - 30 \cdot 0 \cdot 2] \cdot \frac{1}{1 + 0,10} = 1546 \text{ P/hz,}$$

**pas ruchu C6**

$$S_{w6} = [1700 + 200 \cdot (3,5 - 3,5) - 30 \cdot 1 \cdot 1,5] \cdot \frac{1}{1 + 0,12} = 1478 \text{ P/hz.}$$

#### Relacja skrajna bezkolizyjna

Natężenie nasycenia wydzielonego pasa ruchu dla bezkolizyjnej relacji skrajnej w lewo lub w prawo obliczane jest ze wzoru (4.7) z  $S_o = 1900$  E/hz.

$$S = [1900 + 80 \cdot (w - 3,5) - 30 \cdot \delta_i \cdot i - 160 \cdot \delta_k - 75 \cdot \delta_l] \cdot \frac{10^{-3} \cdot R + 1,025}{\left(1 + \frac{2}{R}\right)} \cdot \frac{1}{1 + u_c} \quad [\text{P/hz}]$$

pas ruchu B3 – skręt w lewo

$$S_{L3} = [1900 + 80 \cdot (3,5 - 3,5) - 30 \cdot 0 \cdot 2 - 160 \cdot 0 - 75 \cdot 0] \cdot \frac{10^{-3} \cdot 18 + 1,025}{\left(1 + \frac{2}{18}\right)} \cdot \frac{1}{1 + 0,10} =$$

$$= 1621 \text{ P/hz,}$$

pas ruchu D7 – skręt w lewo

$$S_{L7} = [1900 + 80 \cdot (3,0 - 3,5) - 30 \cdot 1 \cdot 2 - 160 \cdot 0 - 75 \cdot 0] \cdot \frac{10^{-3} \cdot 16 + 1,025}{\left(1 + \frac{2}{16}\right)} \cdot \frac{1}{1 + 0,13} =$$

$$= 1474 \text{ P/hz,}$$

pas ruchu D10 – skręt w prawo

$$S_{P10} = [1900 + 80 \cdot (3,0 - 3,5) - 30 \cdot 1 \cdot 2 - 160 \cdot 1 - 75 \cdot 0] \cdot \frac{10^{-3} \cdot 12 + 1,025}{\left(1 + \frac{2}{12}\right)} \cdot \frac{1}{1 + 0,13} =$$

$$= 1290 \text{ P/hz,}$$

Natężenie nasycenia wspólnego pasa ruchu dla bezkolizyjnej relacji skrętnej w prawo obliczane jest ze wzoru (4.7), z uwzględnieniem faktu, że ze wspólnego pasa korzystają: relacja bezkolizyjna i kolizyjna (skręt w lewo). Dlatego we wzorze podstawia się wartość z  $S_o = 1700 \text{ E/hz}$ .

$$S = [1700 + 80 \cdot (w - 3,5) - 30 \cdot \delta_i \cdot i - 160 \cdot \delta_k - 75 \cdot \delta_l] \cdot \frac{10^{-3} \cdot R + 1,025}{\left(1 + \frac{2}{R}\right)} \cdot \frac{1}{1 + u_c} \quad [\text{P/hz}]$$

pas ruchu C6 – skręt w prawo

$$S_{P6} = [1700 + 80 \cdot (3,5 - 3,5) - 30 \cdot 1 \cdot 1,5 - 160 \cdot 1 - 75 \cdot 0] \cdot \frac{10^{-3} \cdot 8 + 1,025}{\left(1 + \frac{2}{8}\right)} \cdot \frac{1}{1 + 0,12} =$$

$$= 1103 \text{ P/hz.}$$

### 9.2.2. Natężenie nasycenia relacji kolizyjnych

Poniższe obliczenie natężeń nasycenia dla relacji w prawo kolizyjnych z pieszymi i relacji w lewo kolizyjnych z pojazdami z przeciwnika i z ruchem pieszym ilustrują zasady przedstawione w p. 4.5 i p. 4.6.

#### Relacje skrętne w prawo kolizyjne z pieszymi

Na pasie A2 i B5 (rys. 9.1) występuje relacja w prawo kolizyjna z pieszymi. Natężenie nasycenia oblicza się ze wzorów (4.12) i (4.13).

pas ruchu A2

efektywny sygnał zielony dla analizowanej relacji:

$$G_e = G + Z - 2 = 20 + 3 - 2 = 21 \text{ s,}$$

$$f_p = 1 - \frac{1}{G_e} \cdot \left( \frac{1}{\frac{1450}{QP \cdot T} + 0,024} - 1,3 \cdot \sqrt{l} + 1 \right) = 1 - \frac{1}{21} \cdot \left( \frac{1}{\frac{1450}{500 \cdot 75} + 0,024} - 1,3 \cdot \sqrt{17} + 1 \right) =$$

$$= 0,448.$$

Pomimo dwupasowego wylotu, w który kieruje się analizowany skręt w prawo, przyjęto, że pojazdy wypełniające odcinek między linią zatrzymań a przejściem dla pieszych na wylocie ustawiają się w pojedynczej kolejce. Dlatego przyjęto  $l = 17$  m.

należy sprawdzić, czy:

$$f_p = 0,448 > f_{p,\min} = 0,4 \cdot \frac{l}{G_e} = 0,4 \cdot \frac{17}{21} = 0,324,$$

ponieważ warunek został spełniony, przyjmuje się:

$$f_p = 0,448,$$

$$S_{p2} = 1450 \cdot f_p \cdot \frac{1}{1 + u_c} = 1450 \cdot 0,448 \cdot \frac{1}{1 + 0,12} = 580 \text{ P/hz},$$

pas ruchu B5

efektywny sygnał zielony dla analizowanej relacji:

$$G_e = G + Z - 2 = 27 + 3 - 2 = 28 \text{ s},$$

$$f_p = 1 - \frac{1}{G_e} \cdot \left( \frac{1}{\frac{1450}{QP \cdot T} + 0,024} - 1,3 \cdot \sqrt{l} + 1 \right) = 1 - \frac{1}{28} \cdot \left( \frac{1}{\frac{1450}{900 \cdot 75} + 0,024} - 1,3 \cdot \sqrt{16} + 1 \right) =$$

$$= 0,365,$$

należy sprawdzić, czy:

$$f_p = 0,365 > f_{p,\min} = 0,4 \cdot \frac{l}{G_e} = 0,4 \cdot \frac{16}{28} = 0,229,$$

Ponieważ warunek został spełniony, przyjmuje się:

$$f_p = 0,365,$$

$$S_{p5} = 1450 \cdot f_p \cdot \frac{1}{1 + u_c} = 1450 \cdot 0,365 \cdot \frac{1}{1 + 0,10} = 481 \text{ P/hz}.$$

### Relacje skretne w lewo kolizyjne z ruchem pojazdów z przeciwnego wlotu i z ruchem pieszym

Obliczenia ilustrują zasady opisane w p. 4.5. Kolizyjne relacje w lewo na wlotach A i C (rys. 9.1) korzystające ze wspólnych pasów ruchu spełniają warunki podane w p. 4.2 stosowania iteracji w obliczaniu natężeń nasycenia tych relacji. Proces iteracji można rozpocząć od dowolnego wlotu. W niniejszym przykładzie iterację rozpoczęto od wlotu C.

pas ruchu C6 – krok 1

Na pasie C6 (rys 9.1) występuje relacja w lewo kolizyjna z pojazdami z wlotu A i z pieszymi na wylocie D. Natężenie nasycenia oblicza się ze wzorów: (4.8) ÷ (4.11)

z zastosowaniem procedury iteracyjnej podanej w p. 4.2.

W pierwszym kroku iteracji przyjmuje się dla pasa ruchu nr 1 na wlocie A:  $X_n = 0,6$ .

$$Y_n = X_n \cdot \lambda_3 = 0,600 \cdot 0,280 = 0,168 \quad \text{gdzie } \lambda_3 = \frac{G_{e3}}{T} = \frac{21}{75} = 0,280,$$

$$Q_n = 130 + 0,5 \cdot 100 = 180 \text{ P/h (mnożnik 0,5 z uwagi na dwupasowy wylot D),}$$

$$t_g = 5,5 \text{ s, } t_f = 2,6 \text{ s,}$$

$$\Delta t_n = 0 \text{ s, } \alpha = e^{-\frac{100 \cdot G_e}{Q_n \cdot T}} = e^{-\frac{100 \cdot 21}{180 \cdot 75}} = 0,856 \text{ (potok nadrzędny korzysta z dwóch pasów),}$$

$$S_{Lg6} = \frac{3600}{t_f} \cdot \frac{1 - X_n}{1 - Y_n} \cdot e^{-\frac{Q_n \cdot t_g - 0,5 \cdot t_f - \Delta t_n}{3600 \cdot 1 - Q_n \cdot \Delta t_n / 3600} \cdot \alpha} = \frac{3600}{2,6} \cdot \frac{1 - 0,600}{1 - 0,168} \cdot e^{-\frac{180 \cdot 5,5 - 0,5 \cdot 2,6 - 0,0}{3600 \cdot 1 - 180 \cdot 0,0 / 3600} \cdot 0,856} =$$

$$= 556 \text{ E/hz,}$$

$$u_{L6} = \frac{45}{45 + 120 + 80} = 0,184,$$

$$S_{Lm6} = \frac{3600}{G_e} \cdot (1 + (a-1) \cdot u_L) \cdot X_n^{0,2} = \frac{3600}{21} \cdot (1 + (3-1) \cdot 0,184) \cdot 0,600^{0,2} = 212 \text{ E/hz,}$$

$$\Delta S_{Lp6} = (0,18 \cdot X_n^2 - 0,41 \cdot X_n + 0,23) \cdot (QP - 200) = (0,18 \cdot 0,600^2 - 0,41 \cdot 0,600 + 0,23) \cdot (500 - 200) = 15 \text{ E/hz dla } QP = 500 \text{ Ps/h,}$$

$$S_{L6} = (S_{Lg6} + S_{Lm6} - \Delta S_{Lp6}) \cdot \frac{1}{1 + u_c} = (556 + 212 - 15) \cdot \frac{1}{1 + 0,12} = 672 \text{ P/hz.}$$

Obliczenie stopnia nasycenia obliczeniowej grupy pasów na wlocie C



dane uzyskane we wcześniejszych obliczeniach:

$$S_{L6} = 672 \text{ P/hz, } S_{W6} = 1478 \text{ P/hz, } S_{P6} = 1103 \text{ P/hz,}$$

pozostałe dane są podane na rys. 9.1,

nateżenia ruchu:

$$Q_{L6} = 45 \text{ P/h, } Q_{W6} = 120 \text{ P/h, } Q_{P6} = 80 \text{ P/h,}$$

stopień nasycenia:

$$Y_{C6} = \frac{1}{n_{C6}} \cdot \left( \frac{Q_{L6}}{S_{L6}} + \frac{Q_{W6}}{S_{W6}} + \frac{Q_{P6}}{S_{P6}} \right) = \frac{1}{1} \cdot \left( \frac{45}{672} + \frac{120}{1478} + \frac{80}{1103} \right) = 0,221,$$

stopień obciążenia:

$$X_{C6} = \frac{Y_{C6}}{\lambda_3} = \frac{0,221}{0,280} = 0,789 \quad \text{gdzie } \lambda_3 = \frac{G_{e3}}{T} = \frac{21}{75} = 0,280.$$

**pas ruchu A1 – krok 1**

Na pasie A1 (rys. 9.1) występuje relacja w lewo kolizyjna z pojazdami z wlotu C. Natężenie nasycenia oblicza się ze wzorów: (4.8) ÷ (4.11) z zastosowaniem procedury iteracyjnej podanej w p. 4.2. (z wykorzystaniem wartości wyliczonych dla pasa C6).

$$Y_n = 0,221,$$

$$X_n = 0,789,$$

$$Q_n = 120 + 0,5 \cdot 80 = 160 \text{ P/h}, \quad t_g = 5,5 \text{ s}, \quad t_f = 2,6 \text{ s},$$

$$\Delta t_n = 1,8 \text{ s}, \quad \alpha = 1,0 \text{ (potok nadrzędny korzysta z jednego pasa)}$$

$$S_{Lg1} = \frac{3600}{t_f} \cdot \frac{1 - X_n}{1 - Y_n} \cdot e^{-\frac{Q_n \cdot t_g - 0,5 \cdot t_f - \Delta t_n}{3600 \cdot 1 - Q_n \cdot \Delta t_n / 3600} \cdot \alpha} = \frac{3600}{2,6} \cdot \frac{1 - 0,789}{1 - 0,221} \cdot e^{-\frac{160 \cdot 5,5 - 0,5 \cdot 2,6 - 1,8}{3600 \cdot 1 - 160 \cdot 1,8 / 3600} \cdot 1,0} =$$

$$= 334 \text{ E/hz},$$

$$u_{L1} = \frac{40}{40 + 130} = 0,235,$$

$$S_{Lm1} = \frac{3600}{G_e} \cdot (1 + (a - 1) \cdot u_L) \cdot X_n^{0,2} = \frac{3600}{21} \cdot (1 + (3 - 1) \cdot 0,235) \cdot 0,789^{0,2} = 240 \text{ E/hz},$$

$$\Delta S_{Lp1} = 0 \text{ E/h} \quad \text{dla } QP = 0 \text{ Ps/h},$$

$$S_{L1} = (S_{Lg1} + S_{Lm1} - \Delta S_{Lp1}) \cdot \frac{1}{1 + u_c} = (334 + 240 - 0) \cdot \frac{1}{1 + 0,12} = 513 \text{ P/hz}.$$

**Obliczenie stopnia nasycenia grupy pasów na wlocie A**



dane uzyskane we wcześniejszych obliczeniach:

$$S_{L1} = 513 \text{ P/hz}, \quad S_{W1} = 1518 \text{ P/hz},$$

pozostałe dane są podane na rys. 9.1,

natężenia ruchu:

$$Q_{L1} = 40 \text{ P/h}, \quad Q_{W1} = 130 \text{ P/h},$$

stopień nasycenia:

$$Y_{A1} = \frac{1}{n_{A1}} \cdot \left( \frac{Q_{L1}}{S_{L1}} + \frac{Q_{W1}}{S_{W1}} \right) = \frac{1}{1} \cdot \left( \frac{40}{513} + \frac{130}{1518} \right) = 0,164,$$

stopień obciążenia:

$$X_{A1} = \frac{Y_{A1}}{\lambda_3} = \frac{0,164}{0,280} = 0,586 \quad \text{gdzie: } \lambda_3 = \frac{G_{e3}}{T} = \frac{21}{75} = 0,280 \quad (\text{wstępnie w 1 kroku}$$

założono  $X = 0,600$ ).

pas ruchu C6 – krok 2

Ponowne obliczenie natężenia nasycenia kolizyjnej relacji w lewo (p. 4.5) na wlocie C z uwzględnieniem kroku 1 dla pasa A1.

$$Y_n = 0,164,$$

$$X_n = 0,586,$$

$$Q_n = 130 + 0,5 \cdot 100 = 180 \text{ P/h (mnożnik 0,5 z uwagi na dwupasowy wylot A),}$$

$$t_g = 5,5 \text{ s, } t_f = 2,6 \text{ s,}$$

$$\Delta t_n = 0 \text{ s, } \alpha = e^{-\frac{100 \cdot G_e}{Q_n \cdot T}} = e^{-\frac{100 \cdot 21}{180 \cdot 75}} = 0,856 \text{ (potok nadrzędny korzysta z dwóch pasów),}$$

$$S_{Lg6} = \frac{3600}{t_f} \cdot \frac{1 - X_n}{1 - Y_n} \cdot e^{-\frac{Q_n \cdot t_g - 0,5 \cdot t_f - \Delta t_n}{3600 \cdot (1 - Q_n \cdot \Delta t_n / 3600)} \cdot \alpha} = \frac{3600}{2,6} \cdot \frac{1 - 0,586}{1 - 0,164} \cdot e^{-\frac{180 \cdot 5,5 - 0,5 \cdot 2,6 - 0,0}{3600 \cdot (1 - 180 \cdot 0,0 / 3600)} \cdot 0,856} =$$

$$= 573 \text{ E/hz,}$$

$$u_{L6} = \frac{45}{45 + 120 + 80} = 0,184,$$

$$S_{Lm6} = \frac{3600}{G_e} \cdot (1 + (a - 1) \cdot u_L) \cdot X_n^{0,2} = \frac{3600}{21} \cdot (1 + (3 - 1) \cdot 0,184) \cdot 0,586^{0,2} = 211 \text{ E/hz,}$$

$$\Delta S_{Lp6} = (0,18 \cdot X_n^2 - 0,41 \cdot X_n + 0,23) \cdot (QP - 200) = (0,18 \cdot 0,586^2 - 0,41 \cdot 0,586 + 0,23) \cdot (500 - 200) = 16 \text{ E/hz dla } QP = 500 \text{ Ps/h,}$$

$$S_{L6} = (S_{Lg6} + S_{Lm6} - \Delta S_{Lp6}) \cdot \frac{1}{1 + u_c} = (573 + 211 - 16) \cdot \frac{1}{1 + 0,12} = 686 \text{ P/hz.}$$

## Obliczenie stopnia nasycenia grupy pasów na wlocie C



Dane uzyskane we wcześniejszych obliczeniach:

$$S_{L6} = 686 \text{ P/hz, } S_{W6} = 1478 \text{ P/hz, } S_{P6} = 1103 \text{ P/hz,}$$

Pozostałe dane są podane na rys. 9.1,

Natężenia ruchu:

$$Q_{L6} = 45 \text{ P/h, } Q_{W6} = 120 \text{ P/h, } Q_{P6} = 80 \text{ P/h,}$$

stopień nasycenia:

$$Y_{C6} = \frac{1}{n_{C6}} \cdot \left( \frac{Q_{L6}}{S_{L6}} + \frac{Q_{W6}}{S_{W6}} + \frac{Q_{P6}}{S_{P6}} \right) = \frac{1}{1} \cdot \left( \frac{45}{686} + \frac{120}{1478} + \frac{80}{1103} \right) = 0,219,$$

stopień obciążenia:

$$X_{C6} = \frac{Y_{C6}}{\lambda_3} = \frac{0,219}{0,280} = 0,782 \quad \text{gdzie } \lambda_3 = \frac{G_{e3}}{T} = \frac{21}{75} = 0,280.$$

pas ruchu A1 – krok 2

Ponowne obliczenie natężenia nasycenia kolizyjnej relacji w lewo (p. 4.5) na wlocie D z uwzględnieniem wyników dla pasa C8 z kroku 2.

$$Y_n = 0,219,$$

$$X_n = 0,782,$$

$$Q_n = 120 + 0,5 \cdot 80 = 160 \text{ P/h}, \quad t_g = 5,5 \text{ s}, \quad t_f = 2,6 \text{ s},$$

$$\Delta t_n = 1,8 \text{ s}, \quad \alpha = 1,0 \quad (\text{potok nadrzędny korzysta z jednego pasa}),$$

$$S_{Lg1} = \frac{3600}{t_f} \cdot \frac{1 - X_n}{1 - Y_n} \cdot e^{\frac{Q_n \cdot t_g - 0,5 \cdot t_f - \Delta t_n}{3600} \cdot \alpha} = \frac{3600}{2,6} \cdot \frac{1 - 0,782}{1 - 0,219} \cdot e^{\frac{160 \cdot 5,5 - 0,5 \cdot 2,6 - 1,8}{3600} \cdot 1,0} = 344 \text{ E/hz},$$

$$u_{L1} = \frac{40}{40 + 130} = 0,235,$$

$$S_{Lm1} = \frac{3600}{G_e} \cdot (1 + (a-1) \cdot u_L) \cdot X_n^{0,2} = \frac{3600}{21} \cdot (1 + (3-1) \cdot 0,235) \cdot 0,782^{0,2} = 240 \text{ E/hz},$$

$$\Delta S_{Lp1} = 0 \text{ E/h} \quad \text{dla } QP = 0 \text{ Ps/h},$$

$$S_{L1} = (S_{Lg1} + S_{Lm1} - \Delta S_{Lp1}) \cdot \frac{1}{1 + u_c} = (344 + 240 - 0) \cdot \frac{1}{1 + 0,12} = 521 \text{ P/hz}.$$

Obliczenie stopnia nasycenia grupy pasów na wlocie A



dane uzyskane we wcześniejszych obliczeniach:

$$S_{L1} = 521 \text{ P/hz}, \quad S_{W1} = 1518 \text{ P/hz},$$

pozostałe dane są podane na rys. 9.1,

natężenia ruchu:

$$Q_{L1} = 40 \text{ P/h}, \quad Q_{W1} = 130 \text{ P/h},$$

stopień nasycenia:

$$Y_{A1} = \frac{1}{n_{A1}} \cdot \left( \frac{Q_{L1}}{S_{L1}} + \frac{Q_{W1}}{S_{W1}} \right) = \frac{1}{1} \cdot \left( \frac{40}{521} + \frac{130}{1518} \right) = 0,162.$$

Ponieważ uzyskane w kroku 2 stopnie nasycenia grup pasów na wlotach A i C praktycznie nie różnią się od uzyskanych w kroku 1 ( $Y_{A1} = 0,164$  i  $Y_{C6} = 0,221$ ), można uznać obliczenia za kompletne i przyjąć  $S_{L1} = 521 \text{ P/hz}$  i  $S_{L6} = 686 \text{ P/hz}$ .



9.2.3. *Natężenie nasycenia relacji podczas sygnału dopuszczającego skręcanie w kierunku wskazanym strzałką*

Poniższe obliczenia natężeń nasycenia relacji podczas sygnału dopuszczającego skręcanie w kierunku wskazanym strzałką na pasie wydzielonym w prawo i wspólnym, ilustrują zasady przedstawione w p. 4.8.

Relacja skretu w prawo ze wspólnego pasa

pas ruchu C6 (rys. 9.1)

Sygnał dopuszczający skręcanie w kierunku wskazanym strzałką zwiększa natężenie nasycenia pasa ruchu o wartość  $\Delta S$  obliczoną ze wzoru (4.18), w którym występuje natężenie ruchu na analizowanym pasie  $Q_j$ , udział relacji w prawo na pasie wspólnym  $u_p$ , efektywny sygnał zielony dla relacji w prawo  $G_e$  i czas trwania zielonej strzałki  $G_{zs}$ .

natężenie ruchu na analizowanym pasie C6 wynosi:

$$Q_6 = Q_{L6} + Q_{W6} + Q_{P6} = 45 + 120 + 80 = 245 \text{ P/h,}$$

$$u_{P6} = \frac{Q_{P6}}{Q_6} = \frac{80}{245} = 0,327,$$

$$G_{zs} = 9 \text{ s,}$$

$$\Delta S_{P6} = 1,06 \cdot \frac{3600}{G_e} \cdot \frac{u_p \cdot \left(1 - u_p^{\frac{Q_j \cdot G_{zs}}{3600}}\right)}{1 - u_p} = 1,06 \cdot \frac{3600}{21} \cdot \frac{0,327 \cdot \left(1 - 0,327^{\frac{245 \cdot 9}{3600}}\right)}{1 - 0,327} = 44 \text{ P/hz,}$$

Ostatecznie, uwzględniając wyliczoną w p. 9.2.1 wartość natężenia nasycenia relacji skretu w prawo podczas sygnału zielonego, natężenie nasycenia relacji w prawo z pasa C8 wynosi (wzór (4.19)):

$$S_{P6} = 1103 + 44 = 1147 \text{ P/hz.}$$

Relacja skretu w prawo z wydzielonego pasa

pas ruchu A2

Natężenie nasycenia skretu w prawo z wydzielonego pasa w czasie nadawania sygnału dopuszczającego skręcanie w kierunku wskazanym strzałką  $S_{zs}$  oblicza się ze wzoru (4.16). W celu wyznaczenia łącznego natężenia nasycenia z uwzględnieniem ruchu pojazdów podczas sygnału zielonego  $G_e$  i podczas sygnału dopuszczającego skręcanie w kierunku wskazanym strzałką  $G_{zs}$ , należy wyznaczyć:

- wartość natężenia nasycenia dla kolizyjnej relacji skrętnej w prawo (obliczone w p. 9.2.2):

$$S_{P2} = 580 \text{ P/hz,}$$

- natężenie nasycenia  $S_{P2}$  odnosi się do sygnału zielonego efektywnego:

$$G_{e3} = G_3 + Z - 2 = 20 + 3 - 2 = 21 \text{ s,}$$

- czas nadawania sygnału dopuszczającego skręcanie w kierunku wskazanym strzałką

(zgodnie z rys. 9.1)  $G_{zs} = 9$  s,

wartość natężenia nasycenia skrętu w prawo w okresie nadawania sygnału dopuszczającego skręcanie w kierunku wskazanym strzałką  $G_{zs}$  oblicza się ze wzoru (4.16):

$$S_{zs2} = 1070 \cdot \frac{1}{1 + u_c} = 1070 \cdot \frac{1}{1 + 0,12} = 955 \text{ P/hz},$$

średnie natężenie nasycenia wynosi (wzór (4.17)):

$$S = \frac{S_{P2} \cdot G_{e3} + S_{zs2} \cdot G_{zs2}}{G_{e3} + G_{zs2}} = \frac{580 \cdot 21 + 955 \cdot 9}{21 + 9} = 692 \text{ P/hz}.$$

Uwaga: W dalszym toku obliczeń, do wyznaczenia przepustowości wydzielonego pasa dla skrętu w prawo z sygnałem dopuszczającym skręcanie w kierunku wskazanym strzałką, jako sygnał zielony efektywny należy przyjąć sumę sygnałów  $G_e + G_{zs} = 30$  s.

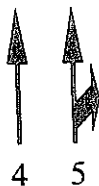
### 9.3. Przykład nr 3 – Obliczenie przepustowości obliczeniowych grup pasów

W obliczeniach przepustowości uwzględniono tylko wybrane, dwie grupy pasów na wlotach B i C.

grupa pasów na wlocie B (pas B4 i B5)

W celu obliczenia natężenia nasycenia obliczeniowej grupy pasów B4 i B5 należy dokonać rozkładu ruchu w tej grupie pasów.

rozkład natężenia ruchu na pasach B4 i B5 (p. 4.12).



dane do obliczeń uzyskane w dotychczasowych obliczeniach:

$$S_{W4} = 1727 \text{ P/hz}, \quad S_{W5} = 1546 \text{ P/hz}, \quad S_{P5} = 481 \text{ P/hz},$$

pozostałe dane na rys. 9.1,

wstępny rozkład natężenia relacji na wprost na pasy 6 i 7:

$$Q_{W4} = \frac{550}{1 + 0,5 \cdot 1} = 367 \text{ P/h},$$

$$Q_{W5} = \frac{0,5 \cdot 550}{1 + 0,5 \cdot 1} = 183 \text{ P/h},$$

$$Q_{P5} = 120 \text{ P/h},$$

przybliżony stopień nasycenia:

$$Y_{B4,5} = \frac{1}{n_{B4,5}} \cdot \left( \frac{Q_{W4}}{S_{W4}} + \frac{Q_{W5}}{S_{W5}} + \frac{Q_{P5}}{S_{P5}} \right) = \frac{1}{2} \cdot \left( \frac{367}{1727} + \frac{183}{1546} + \frac{120}{481} \right) = 0,290,$$

rozkład natężenia na pasy 4 i 5:

$$Q_{W4} = Y_{B4,5} \cdot S_{W4} = 0,290 \cdot 1727 = 501 \text{ P/h,}$$

$$Q_{W5} = Q_{BW} - Q_{W4} = 550 - 501 = 49 \text{ P/h,}$$

$$Q_{P5} = 120 \text{ P/h,}$$

powtórne obliczenie stopnia nasycenia  $Y$ :

$$Y_{B4,5} = \frac{1}{n_{B4,5}} \cdot \left( \frac{Q_{W4}}{S_{W4}} + \frac{Q_{W5}}{S_{W5}} + \frac{Q_{P5}}{S_{P5}} \right) = \frac{1}{2} \cdot \left( \frac{501}{1727} + \frac{49}{1546} + \frac{120}{481} \right) = 0,286.$$

Ponieważ różnica między obliczonymi wartościami  $Y$  nie przekracza 0,005, rozkład ruchu na wprost uznaje się za zakończony.

Natężenie nasycenia pasów B4 i B5, należących do analizowanej grupy obliczeniowej, jest sumą natężeń nasycenia poszczególnych pasów (wzór (4.15)):

$$S_{B4,5} = S_{B4} + S_{B5} \text{ [P/hz]}$$

pas ruchu B4

wartość natężenia nasycenia obliczono w p. 9.2.1. i wynosi dla pasa B4:

$$S_{B4} = 1727 \text{ P/hz,}$$

pas ruchu B5

$$Q_{P5} = 120 \text{ P/h,}$$

$$Q_{W5} = 49 \text{ P/h,}$$

$$u_{P5} = \frac{120}{120 + 49} = 0,710,$$

$$u_{W5} = \frac{49}{120 + 49} = 0,290,$$

natężenie nasycenia na pasie B5 wynosi:

$$S_{B5} = S_{B5}^w = \frac{1}{\frac{u_{W5}}{S_{W5}} + \frac{u_{P5}}{S_{P5}}} = \frac{1}{\frac{0,290}{1546} + \frac{0,710}{481}} = 601 \text{ P/hz,}$$

natężenie nasycenia grupy pasów:

$$S_{B4,5} = S_{B4} + S_{B5} = 1727 + 601 = 2328 \text{ P/hz,}$$

przepustowość grupy pasów wynosi zatem:

$$C_{B4,5} = S_{B4,5} \cdot \frac{G_e}{T} = 2328 \cdot \frac{28}{75} = 869 \text{ P/h,}$$

stopień obciążenia grupy pasów (p. 5.6, wzór (5.6)):

$$X_{B4,5} = \frac{Q_{B4,5}}{C_{B4,5}} = \frac{670}{869} = 0,771,$$

przepustowość praktyczna (p. 5.7, wzór (5.9)) dla przyjętego  $X_d = 0,85$ :

$$C_{p,B4,5} = X_d \cdot C_{B4,5} = 0,85 \cdot 869 = 739 \text{ P/h,}$$

rezerva przepustowości (p. 5.7, wzór (5.10)):

$$\Delta C_{p,B4,5} = C_{p,B4,5} - Q_{B4,5} = 739 - 670 = 69 \text{ P/h.}$$

grupa pasów na wlocie C (pas C6)

dane do obliczeń uzyskane w dotychczasowych obliczeniach z uwzględnieniem wpływu sygnału dopuszczającego skręcanie w kierunku wskazanym strzałką:

$$S_{L6} = 686 \text{ P/hz,} \quad S_{W6} = 1478 \text{ P/hz,} \quad S_{P6} = 1103 + 44 = 1147 \text{ P/hz,}$$

natężenie nasycenia grupy pasów jest równe natężeniu nasycenia pasa obliczonemu wg wzoru (4.14).

$$u_{L6} = \frac{45}{45 + 120 + 80} = 0,184,$$

$$u_{W6} = \frac{120}{45 + 120 + 80} = 0,490,$$

$$u_{P6} = \frac{80}{45 + 120 + 80} = 0,326,$$

natężenie nasycenia na pasie C6 wynosi:

$$S_{C6} = S_{C6}^w = \frac{1}{\frac{u_{L6}}{S_{L6}} + \frac{u_{W6}}{S_{W6}} + \frac{u_{P6}}{S_{P6}}} = \frac{1}{\frac{0,184}{686} + \frac{0,490}{1478} + \frac{0,326}{1147}} = 1131 \text{ P/hz,}$$

przepustowość grupy pasów wynosi zatem:

$$C_{C6} = S_{C6} \cdot \frac{G_e}{T} = 1131 \cdot \frac{21}{75} = 317 \text{ P/h,}$$

stopień obciążenia grupy pasów (p. 5.6, wzór (5.6)):

$$X_{C6} = \frac{Q_{C6}}{C_{C6}} = \frac{245}{317} = 0,773,$$

przepustowość praktyczna (p. 5.7, wzór (5.9)) dla przyjętego  $X_d = 0,85$ :

$$C_{p,C6} = X_d \cdot C_{C6} = 0,85 \cdot 317 = 269 \text{ P/h,}$$

rezerva przepustowości (p. 5.7, wzór (5.10)):

$$\Delta C_{p,C6} = C_{p,C6} - Q_{C6} = 269 - 245 = 24 \text{ P/h.}$$

#### 9.4. Przykład nr 4 – Obliczenie miar warunków ruchu

Poniżej przedstawiono przykład analizy warunków ruchu na wlocie skrzyżowania, dla którego dane geometryczne, organizacji ruchu i ruchowe przedstawiono na rys. 9.1. Wykorzystano wyniki obliczeń przepustowości z p. 9.3.

Analiza warunków ruchu dotyczy tylko obliczeniowych grup pasów na wlocie B (pas B4

i B5). Natężenia na wlocie traktowane są jako miarodajne i charakteryzują one ruch w szczytowej godzinie. Przepustowość obliczeniowej grupy pasów wynosi (p. 9.3.):

$$C_{B4,5} = 869 \text{ P/h,}$$

#### 9.4.1. Straty czasu i PSR

Dla określenia poziomu swobody ruchu należy obliczyć wg wzorów (6.1) ÷ (6.3) średnie straty czasu, jakie ponoszą pojazdy na wlocie B (pasy 4 i 5):

$$\lambda = \frac{G_{el}}{T} = \frac{28}{75} = 0,373, \quad X = 0,771,$$

$$d_1 = \frac{T}{2} \cdot \frac{(1-\lambda)^2}{1 - [\min\{1, X\} \cdot \lambda]} = \frac{75}{2} \cdot \frac{(1-0,373)^2}{1 - [0,771 \cdot 0,373]} = 20,7 \text{ s/P,}$$

Analizowane skrzyżowanie jest odosobnione, nieskoordynowane, ze sterowaniem stałoczasowym, dlatego przyjęto:

$$r_s = 0,5, \quad w_s = 1,0, \quad f_k = 1,0,$$

$$d_2 = 900 \cdot t_a \cdot \left[ (X-1) + \sqrt{(X-1)^2 + \frac{7 \cdot r_s \cdot w_s \cdot X^2}{C \cdot t_a}} \right] \text{ [s/P]}$$

$$d_2 = 900 \cdot 1 \cdot \left[ (0,771-1) + \sqrt{(0,771-1)^2 + \frac{7 \cdot 0,5 \cdot 1 \cdot 0,771^2}{869 \cdot 1}} \right] = 4,7 \text{ s/P,}$$

$$d = f_k \cdot d_1 + d_2 = 1,0 \cdot 20,7 + 4,7 = 25,4 \text{ s/P.}$$

Ponieważ  $d = 25,4 \text{ s/P}$  na podstawie tab. 6.5 – II PSR.

Łączne straty czasu należy obliczyć wg wzoru (6.5) i (6.6):

$$D = d \cdot Q = 25,4 \cdot 670 = 17018 \text{ s/h w okresie analizy równym 1 godzinie}$$

$$D^* = D \cdot \frac{1}{3600 \cdot t_a} = 17018 \cdot \frac{1}{3600 \cdot 1} = 4,73 \text{ h/h.}$$

Dla bardziej szczegółowej charakterystyki warunków ruchu można obliczyć dalsze parametry.

#### 9.4.2. Średnia kolejka pozostająca

Średnią kolejkę pozostającą należy obliczyć wg wzoru (6.13):

$$K_p = \frac{C \cdot t_a}{4} \cdot \left[ (X-1) + \sqrt{(X-1)^2 + \frac{7 \cdot r_s \cdot w_s \cdot X^2}{C \cdot t_a}} \right] \text{ [P]}$$

$$K_p = \frac{869 \cdot 1}{4} \cdot \left[ (0,771-1) + \sqrt{(0,771-1)^2 + \frac{7 \cdot 0,5 \cdot 1 \cdot 0,771^2}{869 \cdot 1}} \right] = 1,1 \text{ P.}$$

#### 9.4.3. Średnia kolejka maksymalna

Średnią wartość kolejek maksymalnych należy obliczyć wg wzoru (6.14):

$$K_m = \frac{Q}{3600} \cdot T \cdot (1-\lambda) + K_p = \frac{670}{3600} \cdot 75 \cdot (1-0,373) + 1,1 = 14 \text{ P. (łącznie na dwóch pasach 4 i 5).}$$

#### 9.4.4. Kwantyl 95 % z rozkładu kolejek maksymalnych

Kwantyl 95 % z rozkładu kolejek maksymalnych należy obliczyć wg wzoru (6.15):

$$K_{m95} = K_m \cdot f_{kw95} \quad [P]$$

Dla sygnalizacji stałoczasowej parametry do obliczenia współczynnika  $f_{kw95}$  wynoszą:

$w_1 = 1,60$ ,  $w_2 = 1,08$ ,  $w_3 = 6,60$ , więc:

$$f_{kw95} = w_1 + w_2 \cdot e^{\frac{-K_m}{w_3}} = 1,60 + 1,08 \cdot e^{\frac{-14}{6,60}} = 1,73 \quad \text{wg wzoru (6.16),}$$

$$K_{m95} = K_m \cdot f_{kw95} = 14 \cdot 1,73 = 25 \text{ P} \quad \text{(łącznie na dwóch pasach 4 i 5).}$$

#### 9.4.5. Zasięg kolejki maksymalnej

Fizyczny zasięg kolejki  $L_K$ , wyrażony w metrach, należy obliczyć wg wzoru (6.17), wyznaczając wcześniej przeciętną długość stanowiska pojazdu w kolejce  $l_p$  (jak w objaśnieniach do wzoru (4.22)).

$$L_K = \frac{K_{m95}}{n_{gr}} \cdot l_p \quad [m]$$

gdzie:  $l_p = u_l \cdot l_l + u_c \cdot l_c = 0,90 \cdot 6,2 + 0,10 \cdot 11,0 = 6,68 \text{ m}$ ,

$$L_K = \frac{25}{2} \cdot 6,68 = 84 \text{ m.}$$

#### 9.4.6. Zatrzymania

Średnią liczbę zatrzymań należy obliczyć wg wzoru (6.18):

$$z = 0,9 \cdot \left( \frac{1-\lambda}{1-\lambda \cdot X} + \frac{K_p}{\frac{Q}{3600} \cdot T} \right) = 0,9 \cdot \left( \frac{1-0,373}{1-0,373 \cdot 0,771} + \frac{1,1}{\frac{670}{3600} \cdot 75} \right) = 0,863,$$

liczbę zatrzymań należy obliczyć wg wzoru (6.19):

$$Z = z \cdot Q = 0,863 \cdot 670 = 579 \text{ P} \quad \text{w okresie analizy równym 1 godzinie,}$$

udział pojazdów zatrzymanych należy obliczyć wg wzoru (6.20):

$$uz = 0,9 \cdot \frac{1-\lambda}{1-\lambda \cdot X} = 0,9 \cdot \frac{1-0,373}{1-0,373 \cdot 0,771} = 0,792,$$

liczbę pojazdów zatrzymanych należy obliczyć wg wzoru (6.21):

$$P_z = uz \cdot Q = 0,792 \cdot 670 = 531 \text{ P} \quad \text{w okresie analizy równym 1 godzinie.}$$

Wyniki obliczeń przedstawionych powyżej zestawiono w formularzach obliczeniowych, uzupełniając je pozostałymi danymi dla całego skrzyżowania.

**OBLICZANIE PRZEPUSTOWOŚCI I OCENA WARUNKÓW RUCHU NA SKRZYŻOWANIU Z SYGNALIZACJĄ ŚWIETLNA**

**OBLICZANIE NATĘŻEŃ NASYCENIA RELACJI**

FORMULARZ

**1**

**Natężenie nasycenia relacji bezkolizyjnej**

Wlot	A				B				C				D			
Relacja	AL	AW <sup>1)</sup>	AW <sup>2)</sup>	AP	BL	BW <sup>1)</sup>	BW <sup>2)</sup>	BP	CL	CW <sup>1)</sup>	CW <sup>2)</sup>	CP	DL	DW <sup>1)</sup>	DW <sup>2)</sup>	DP
Wyjściowe natężenie nasycenia $S_o$ [E/hz]		1900	1700		1900	1900	1700			1900	1700	1700	1900	1900	1700	1900
Szerokość pasa ruchu $w$ [m]			3,5		3,5	3,5	3,5				3,5	3,5	3,0	3,0		3,0
Pochylenie wlotu $i$ [%]	-1,5				-2,0				1,5				2,0			
Wskaźnik kierunku pochylenia $\delta_i$ [-]	0				0				1				1			
Wskaźnik położenia pasa ruchu $\delta_k$ [-]			-		0	-	-				-	1	0	-		1
Wskaźnik przejazdu przez torowisko tramwajowe $\delta_t$ [-]			-		0	-	-				-	0	0	-		0
Promień skrętu $R$ [m]			-		18	-	-				-	8	16	-		12
Korekta natężenia nasycenia, gdy $4,2 < w < 5,0$ m $\Delta S_w$ [E/hz]			0		0	0	0				0	0	0	0		0
Natężenie nasycenia relacji $S_r$ [E/hz] (wzór (4.6), (4.7))			1700		1783	1900	1700				1655	1235	1666	1740		1458
Udział pojazdów ciężkich $u_c$ [-]			0,12		0,10	0,10	0,10				0,12	0,12	0,13	0,13		0,13
Natężenie nasycenia relacji $S_r$ [P/hz] (wzór (4.6), (4.7))			1518		1621	1727	1546				1478	1103	1474	1540		1290

1) - pas wydzielony dla relacji na wprost

2) - pas wspólny relacji na wprost z relacją skrętną kolizyjną

OBLICZANIE PRZEPUSTOWOŚCI I OCENA WARUNKÓW RUCHU NA SKRZYŻOWANIU Z SYGNALIZACJĄ ŚWIETLNA								
OBLICZANIE NATEŻEŃ NASYCENIA RELACJI							FORMULARZ	2
Nateżenie nasycenia relacji skrętnej kolizyjnej z ruchem pieszym								
Włot	A		B		C		D	
Relacja	AL	AP	BL	BP	CL	CP	DL	DP
Wyjściowe nateżenie nasycenia $S_o$ [E/hz]	1450							
Sygnal zielony $G$ [s]		20		27				
Efektywny sygnal zielony $G_e$ [s]		21		28				
Długość cyklu $T$ [s]	75							
Nateżenie ruchu pieszych $QP$ [Ps/h]		500		900				
Długość drogi dojazdu pojazdów skręcających do przejścia $l$ [m]		17		16				
Współczynnik uwzględniający wpływ ruchu pieszego $f_p$ [-] (wzór (4.13))		0,448		0,365				
$f_{p,\min} = 0,4 \cdot \frac{l}{G_e}$ [-]		0,324		0,229				
Nateżenie nasycenia $S_r$ [E/hz] (wzór (4.12))		650		529				
Udział pojazdów ciężkich $u_c$ [-]		0,12		0,10				
Nateżenie nasycenia relacji $S_r$ [P/hz] (wzór (4.12))		580		481				



<b>OBLICZANIE PRZEPUSTOWOŚCI I OCENA WARUNKÓW RUCHU NA SKRZYŻOWANIU Z SYGNALIZACJĄ ŚWIETLNA</b>				
<b>OBLICZANIE NATĘŻEŃ NASYCENIA RELACJI</b>			FORMULARZ	<b>3.1..<sup>1)</sup></b>
<b>Natężenie nasycenia relacji w lewo kolizyjnej z pojazdami z przeciwnego wlotu i z ruchem pieszym</b>				<b>Iteracja 1..</b>
Wlot	A	B	C	D
Relacja	AL	BL	CL	DL
Natężenie ruchu z przeciwnego wlotu $Q_n$ [P/h]	160		180	
Sygnal zielony $G$ [s]	20		20	
Efektywny sygnal zielony $G_e$ [s]	21		21	
Długość cyklu $T$ [s]	75			
Udział sygnalu zielonego efektywnego w cyklu $\lambda$ [-]	0,280		0,280	
Stopień nasycenia grupy pasów na wlocie przeciwnym $Y_n$ [-]	0,221		0,168	
Stopień obciążenia grupy pasów na wlocie przeciwnym $X_n^{2)}$ [-]	0,789		0,600 (założone)	
Odstęp czasu między skręcającymi w lewo pojazdami zjeżdżającymi z powierzchni oczekiwania $t_f$ [s]	2,6		2,6	
Graniczny odstęp czasu pojazdów skręcających w lewo $t_g$ [s]	5,5		5,5	
Liczba pasów z potokiem nadrzędnym $n$ [-]	1		2	
Odstęp czasu między pojazdami mającymi pierwszeństwo $\Delta t_n$ [s]	1,8		0	
Parametr zależny od $Q_n$ i liczby pasów $n$ $\alpha$ [-]	1		0,856	
Natężenie nasycenia w lukach strumienia priorytetowego $S_{Lg}$ [E/hz] (wzór (4.9))	334		556	
Pojemność powierzchni oczekiwania $a$ [E]	3		3	
Udział pojazdów skręcających w lewo na pasie $u_L$ [-]	0,235		0,184	
Natężenie nasycenia w czasie międzyzielonym $S_{Ln}$ [E/hz] (wzór (4.10))	240		212	
Natężenie ruchu pieszego $Q_P$ [Ps/h]	0		500	
Poprawka uwzględniająca wpływ pieszych $\Delta S_{Lp}$ [E/hz] (wzór (4.11))	0		15	
Udział pojazdów ciężkich $u_c$ [-]	0,12		0,12	
Natężenie nasycenia relacji $S_L$ [P/hz] (wzór (4.8))	513		672	

<sup>1)</sup> – kolejne formularze w przypadku obliczeń iteracyjnych

<sup>2)</sup> –  $X_n$  założony lub obliczony w kroku wcześniejszym

OBLICZANIE PRZEPUSTOWOŚCI I OCENA WARUNKÓW RUCHU NA SKRZYŻOWANIU Z SYGNALIZACJĄ ŚWIETLNA				
OBLICZANIE NATĘŻEŃ NASYCENIA RELACJI				FORMULARZ 3.2. <sup>1)</sup>
Nateżenie nasycenia relacji w lewo kolizyjnej z pojazdami z przeciwległego wlotu i z ruchem pieszym <span style="float: right;">Iteracja 2...</span>				
Wlot	A	B	C	D
Relacja	AL	BL	CL	DL
Nateżenie ruchu z przeciwległego wlotu $Q_n$ [P/h]	160		180	
Sygnal zielony $G$ [s]	20		20	
Efektywny sygnal zielony $G_e$ [s]	21		21	
Długość cyklu $T$ [s]	75			
Udział sygnalu zielonego efektywnego w cyklu $\lambda$ [-]	0,280		0,280	
Stopień nasycenia grupy pasów na wlocie przeciwległym $Y_n$ [-]	0,219		0,164	
Stopień obciążenia grupy pasów na wlocie przeciwległym $X_n^{2)}$ [-]	0,782		0,586	
Odstęp czasu między skręcającymi w lewo pojazdami zjeżdżającymi z powierzchni oczekiwania $t_f$ [s]	2,6		2,6	
Graniczny odstęp czasu pojazdów skręcających w lewo $t_g$ [s]	5,5		5,5	
Liczba pasów z potokiem nadrzędnym $n$ [-]	1		2	
Odstęp czasu między pojazdami mającymi pierwszeństwo $\Delta t_n$ [s]	1,8		0	
Parametr zależny od $Q_n$ i liczby pasów $n$ $\alpha$ [-]	1		0,856	
Nateżenie nasycenia w lukach strumienia priorytetowego $S_{Lg}$ [E/hz] (wzór (4.9))	344		573	
Pojemność powierzchni oczekiwania $a$ [E]	3		3	
Udział pojazdów skręcających w lewo na pasie $u_L$ [-]	0,235		0,184	
Nateżenie nasycenia w czasie międzyzielonym $S_{Lm}$ [E/hz] (wzór (4.10))	240		211	
Nateżenie ruchu pieszego $QP$ [Ps/h]	0		500	
Poprawka uwzględniająca wpływ pieszych $\Delta S_{Lp}$ [E/hz] (wzór (4.11))	0		16	
Udział pojazdów ciężkich $u_c$ [-]	0,12		0,12	
Nateżenie nasycenia relacji $S_L$ [P/hz] (wzór (4.8))	521		686	

1) - kolejne formularze w przypadku obliczeń iteracyjnych  
 2) -  $X_n$  założony lub obliczony w kroku wcześniejszym

## OBLICZANIE PRZEPUSTOWOŚCI I OCENA WARUNKÓW RUCHU NA SKRZYŻOWANIU Z SYGNALIZACJĄ ŚWIETLNA

NATEŻENIE NASYCENIA RELACJI PODCZAS SYGNAŁU  
DOPUSZCZAJĄCEGO SKRĘCANIE  
W KIERUNKU WSKAZANYM STRZAŁKĄ

FORMULARZ

3s

## - relacja z wydzielonego pasa ruchu

Wlot	A	B	C	D
Relacja	AP		CP	
Udział pojazdów ciężkich $u_c$ [-]	0,12			
Sygnal dopuszczający skręcanie w kierunku wskazanym strzałką $G_{zs}$ [s]	9			
Efektywny sygnał zielony $G_e$ [s]	21			
Nateżenie nasycenia relacji podczas sygnału dopuszczającego skręcanie w kierunku wskazanym strzałką $S_{zs}$ [P/hz] (wzór (4.16))	955			
Nateżenie nasycenia relacji z wydzielonego pasa podczas sygnału zielonego $G_e$ $S_r$ [P/hz] (F: 1 lub F: 2)	580			
Średnie nateżenie nasycenia w okresie ( $G_e + G_{zs}$ ) $S_{G,zs}$ [P/hz] (wzór (4.17))	692			

## - relacja ze wspólnego pasa ruchu

Nateżenie ruchu na pasie $Q$ [P/h]			245	
Udział relacji w prawo na pasie $u_p$ [-]			0,327	"
Sygnal dopuszczający skręcanie w kierunku wskazanym strzałką $G_{zs}$ [s]			9	
Efektywny sygnał zielony $G_e$ [s]			21	
Poprawka zwiększająca nateżenie nasycenia relacji w prawo $\Delta S$ [P/hz] (wzór (4.18))			44	
Nateżenie nasycenia relacji w prawo z uwzględnieniem poprawki $S_{G,zs}$ [P/hz] (wzór (4.19))			1147	

OBLICZANIE PRZEPUSTOWOŚCI I OCENA WARUNKÓW RUCHU NA SKRZYŻOWANIU Z SYGNALIZACJĄ ŚWIETLNA			
OBLICZANIE NATĘŻEŃ NASYCENIA PASÓW I GRUP PASÓW			FORMULARZ <b>4.1..<sup>1)</sup></b>
Rozkład ruchu w obliczeniowych grupach pasów na wlocie A			
Obliczeniowa grupa pasów (oznaczenie)	A1		A2
	1		2
Numer pasa ruchu w grupie			P
Relacje w obrębie pasa ruchu	L	W	
Całkowite natężenie relacji $Q_r$ [P/h]	40	130	100
Natężenie nasycenia relacji $r$ na pasie $j$ $S_{rj}$ [P/hz] (F: 1 lub F: 2 lub F: 3)	521	1518	692
Liczba pasów w grupie $n_{gr}$ [-]	1		1
Liczba pasów w grupie wspólnych z relacją $r$ $m_r$ [-]	1		0
Liczba pasów wydzielonych w grupie z relacją $r$ $n_r$ [-]	0		1
I KROK ITERACJI			
Wstępne natężenie relacji na pasie $Q_{rj}$ [P/h] (wzory (4.31) i (4.32))	40	130	100
Stożek nasycenia grupy pasów $Y$ [-] (wzór (4.33))	0,162		0,145
II KROK ITERACJI			
Natężenie relacji na pasie $Q_{rj}$ [P/h] (wzory (4.34) + (4.36))			
Stożek nasycenia grupy pasów $Y$ [-] (wzór (4.33))			
III KROK ITERACJI			
Natężenie relacji na pasie $Q_{rj}$ [P/h] (wzory (4.34) + (4.36))			
Stożek nasycenia grupy pasów $Y$ [-] (wzór (4.33))			
Natężenie nasycenia pasów i obliczeniowych grup pasów na wlocie A			
Udział relacji $r$ w ruchu na pasie $u_r$ [-]	0,235	0,765	1
Natężenie nasycenia pasa ruchu $S_j^w$ [P/hz] (wzór (4.14))	1047		692
Współczynnik korygujący ze względu na przystanek autobusowy $f_a$ [-] (F: 4a)			
Współczynnik korygujący ze względu na przystanek tramwajowy $f_t$ [-] (F: 4t)			
Natężenie nasycenia pasa ruchu $S_j^{2)}$ [P/hz] (wzór (4.2))	1047		692
Natężenie nasycenia grupy pasów $S_{gr}$ [P/hz] (wzór (4.15))	1047		692

1) - kolejne formularze dla poszczególnych wlotów skrzyżowania z obliczeniowymi grupami pasów

2) - z uwzględnieniem wpływu przystanku autobusowego i/lub przystanku tramwajowego z wymianą pasażerów na jezdni

Uwaga: w formularzu należy dokonać indywidualnego podziału na kolumny dla wyróżnienia obliczeniowych grup pasów

OBLICZANIE PRZEPUSTOWOŚCI I OCENA WARUNKÓW RUCHU NA SKRZYŻOWANIU Z SYGNALIZACJĄ ŚWIETLNA					
OBLICZANIE NATEŻEŃ NASYCENIA PASÓW I GRUP PASÓW				FORMULARZ	4.2.. <sup>1)</sup>
Rozkład ruchu w obliczeniowych grupach pasów na wlocie B					
Obliczeniowa grupa pasów (oznaczenie)	B3	B4,5			
Numer pasa ruchu w grupie	3	4	5		
Relacje w obrębie pasa ruchu	L	W	W	P	
Całkowite natężenie relacji $Q_r$ [P/h]	120	550		120	
Natężenie nasycenia relacji $r$ na pasie $j$ $S_{rj}$ [P/hz] (F: 1 lub F: 2 lub F: 3)	1621	1727	1546	481	
Liczba pasów w grupie $n_{gr}$ [-]	1	2			
Liczba pasów w grupie wspólnych z relacją $r$ $m_r$ [-]	0	1			
Liczba pasów wydzielonych w grupie z relacją $r$ $n_r$ [-]	1	1			
I KROK ITERACJI					
Natężenie relacji na pasie $Q_{rj}$ [P/h] (wzory (4.34) + (4.36))	120	367	183	120	
Stopień nasycenia grupy pasów $Y$ [-] (wzór (4.33))	0,074	0,290			
II KROK ITERACJI					
Natężenie relacji na pasie $Q_{rj}$ [P/h] (wzory (4.34) + (4.36))		501	49	120	
Stopień nasycenia grupy pasów $Y$ [-] (wzór (4.33))		0,286			
III KROK ITERACJI					
Natężenie relacji na pasie $Q_{rj}$ [P/h] (wzory (4.34) + (4.36))					
Stopień nasycenia grupy pasów $Y$ [-] (wzór (4.33))					
Natężenie nasycenia pasów i obliczeniowych grup pasów na wlocie B					
Udział relacji $r$ w ruchu na pasie $u_r$ [-]	1	1	0,290	0,710	
Natężenie nasycenia pasa ruchu $S_j''$ [P/hz] (wzór (4.14))	1621	1727	601		
Współczynnik korygujący ze względu na przystanek autobusowy $f_a$ [-] (F: 4a)					
Współczynnik korygujący ze względu na przystanek tramwajowy $f_t$ [-] (F: 4t)					
Natężenie nasycenia pasa ruchu $S_j^{2)}$ [P/hz] (wzór (4.2))	1621	1727	601		
Natężenie nasycenia grupy pasów $S_{gr}$ [P/hz] (wzór (4.15))	1621	2328			

1) - kolejne formularze dla poszczególnych wlotów skrzyżowania z obliczeniowymi grupami pasów

2) - z uwzględnieniem wpływu przystanku autobusowego i/lub przystanku tramwajowego z wymianą pasażerów na jezdni

Uwaga: w formularzu należy dokonać indywidualnego podziału na kolumny dla wyróżnienia obliczeniowych grup pasów

<b>OBLICZANIE PRZEPUSTOWOŚCI I OCENA WARUNKÓW RUCHU NA SKRZYŻOWANIU Z SYGNALIZACJĄ ŚWIETLNA</b>			
<b>OBLICZANIE NATEŻEŃ NASYCENIA PASÓW I GRUP PASÓW</b>			<b>FORMULARZ 4.3..<sup>1)</sup></b>
<b>Rozkład ruchu w obliczeniowych grupach pasów na wlocie C</b>			
Obliczeniowa grupa pasów (oznaczenie)	C6		
Numer pasa ruchu w grupie	6		
Relacje w obrębie pasa ruchu	L	W	P
Całkowite natężenie relacji $Q_r$ [P/h]	45	120	80
Natężenie nasycenia relacji $r$ na pasie $j$ $S_{jr}$ [P/hz] (F: 1 lub F: 2 lub F: 3)	686	1478	1147
Liczba pasów w grupie $n_{gr}$ [-]	1		
Liczba pasów w grupie wspólnych z relacją $r$ $m_r$ [-]	1		
Liczba pasów wydzielonych w grupie z relacją $r$ $n_r$ [-]	0		
<b>I KROK ITERACJI</b>			
Natężenie relacji na pasie $Q_{rj}$ [P/h] (wzory (4.34) + (4.36))	45	120	80
Stopień nasycenia grupy pasów $Y$ [-] (wzór (4.33))	0,217		
<b>II KROK ITERACJI</b>			
Natężenie relacji na pasie $Q_{rj}$ [P/h] (wzory (4.34) + (4.36))			
Stopień nasycenia grupy pasów $Y$ [-] (wzór (4.33))			
<b>III KROK ITERACJI</b>			
Natężenie relacji na pasie $Q_{rj}$ [P/h] (wzory (4.34) + (4.36))			
Stopień nasycenia grupy pasów $Y$ [-] (wzór (4.33))			
<b>Natężenie nasycenia pasów i obliczeniowych grup pasów na wlocie C</b>			
Udział relacji $r$ w ruchu na pasie $u_r$ [-]	0,184	0,490	0,326
Natężenie nasycenia pasa ruchu $S_j^{**}$ [P/hz] (wzór (4.14))	1131		
Współczynnik korygujący ze względu na przystanek autobusowy $f_a$ [-] (F: 4a)			
Współczynnik korygujący ze względu na przystanek tramwajowy $f_i$ [-] (F: 4t)			
Natężenie nasycenia pasa ruchu $S_j^{(2)}$ [P/hz] (wzór (4.2))	1131		
Natężenie nasycenia grupy pasów $S_{gr}$ [P/hz] (wzór (4.15))	1131		

<sup>1)</sup> - kolejne formularze dla poszczególnych wlotów skrzyżowania z obliczeniowymi grupami pasów

<sup>2)</sup> - z uwzględnieniem wpływu przystanku autobusowego i/lub przystanku tramwajowego z wymianą pasażerów na jezdni

**Uwaga:** w formularzu należy dokonać indywidualnego podziału na kolumny dla wyróżnienia obliczeniowych grup pasów

OBLICZANIE PRZEPUSTOWOŚCI I OCENA WARUNKÓW RUCHU NA SKRZYŻOWANIU Z SYGNALIZACJĄ ŚWIETLNA				
OBLICZANIE NATEŻEŃ NASYCENIA PASÓW I GRUP PASÓW				FORMULARZ 4.4.. <sup>1)</sup>
Rozkład ruchu w obliczeniowych grupach pasów na wlocie D				
Obliczeniowa grupa pasów (oznaczenie)	D7	D8,9		D10
Numer pasa ruchu w grupie	7	8, 9		10
Relacje w obrębie pasa ruchu	L	W	W	P
Całkowite natężenie relacji $Q_r$ [P/h]	160	660		280
Natężenie nasycenia relacji $r$ na pasie $j$ $S_{rj}$ [P/hz] (F: 1 lub F: 2 lub F: 3)	1474	1540	1540	1290
Liczba pasów w grupie $n_{gr}$ [-]	1	2		1
Liczba pasów w grupie wspólnych z relacją $r$ $m_r$ [-]	0	0		0
Liczba pasów wydzielonych w grupie z relacją $r$ $n_r$ [-]	1	2		1
I KROK ITERACJI				
Natężenie relacji na pasie $Q_{rj}$ [P/h] (wzory (4.34) + (4.36))	160	330	330	280
Stożenie nasycenia grupy pasów $Y$ [-] (wzór (4.33))	0,109	0,214		0,217
II KROK ITERACJI				
Natężenie relacji na pasie $Q_{rj}$ [P/h] (wzory (4.34) + (4.36))				
Stożenie nasycenia grupy pasów $Y$ [-] (wzór (4.33))				
III KROK ITERACJI				
Natężenie relacji na pasie $Q_{rj}$ [P/h] (wzory (4.34) + (4.36))				
Stożenie nasycenia grupy pasów $Y$ [-] (wzór (4.33))				
Natężenie nasycenia pasów i obliczeniowych grup pasów na wlocie D				
Udział relacji $r$ w ruchu na pasie $u_r$ [-]	1	1	1	1
Natężenie nasycenia pasa ruchu $S_j^{w}$ [P/hz] (wzór (4.14))	1474	1540	1540	1290
Współczynnik korygujący ze względu na przystanek autobusowy $f_a$ [-] (F: 4a)				
Współczynnik korygujący ze względu na przystanek tramwajowy $f_t$ [-] (F: 4t)				
Natężenie nasycenia pasa ruchu $S_j^{2j}$ [P/hz] (wzór (4.2))	1474	1540	1540	1290
Natężenie nasycenia grupy pasów $S_{gr}$ [P/hz] (wzór (4.15))	1474	3080		1290

<sup>1)</sup> – kolejne formularze dla poszczególnych wlotów skrzyżowania z obliczeniowymi grupami pasów

<sup>2)</sup> – z uwzględnieniem wpływu przystanku autobusowego i/lub przystanku tramwajowego z wymianą pasażerów na jezdni

Uwaga: w formularzu należy dokonać indywidualnego podziału na kolumny dla wyróżnienia obliczeniowych grup pasów

OBLICZANIE PRZEPUSTOWOŚCI I OCENA WARUNKÓW RUCHU NA SKRZYŻOWANIU Z SYGNALIZACJĄ ŚWIETLNA										
OBLICZANIE PRZEPUSTOWOŚCI									FORMULARZ	5
Włot	A		B		C			D		
	A1	A2	B3	B4,5	C6		D7	D8,9	D10	
Obliczeniowa grupa pasów										
Pas ruchu	1	2	3	4, 5	6		7	8, 9	10	
Relacja	L+W	P	L	W+P	L+W+P		L	W	P	
Natężenie ruchu w grupie pasów $Q_{gr}$ [P/h]	170	100	120	670	245		160	660	280	
Natężenie ruchu na wlocie $Q_{wl}$ [P/h]	270		790		245			1100		
Natężenie ruchu na skrzyżowaniu $Q_{sk}$ [P/h]	2405									
Natężenie nasycenia grupy pasów $S_{gr}$ [P/hz] ( $F=4$ )	1047	692	1621	2328	1131		1474	3080	1290	
Efektywny sygnał zielony $G_e$ [s]	21	21+9=30	11	28	21		11	28	28	
Długość cyklu $T$ [s]	75									
Przepustowość grupy pasów $C_{gr}$ [P/h] (wzór (5.3))	293	277	238	869	317		216	1150	482	
Przepustowość wlotu $C_{wl}$ [P/h] (wzór (5.4))	465		1025		317			1490		
Przepustowość skrzyżowania $C_{sk}$ [P/h] (wzór (5.5))	3111									
Stopień obciążenia grupy pasów $X_{gr}$ [-] (wzór (5.6))	0,580	0,361	0,504	0,771	0,773		0,741	0,574	0,581	
Stopień obciążenia wlotu $X_{wl}$ [-] (wzór (5.7))	0,581		0,771		0,773			0,738		
Stopień obciążenia skrzyżowania $X_{sk}$ [-] (wzór (5.8))	0,773									
Przepustowość praktyczna grupy pasów przy $X_d = 0,85$ $C_{p,gr}^{1)}$ [P/h] (wzór (5.9))	249	235	202	739	269		184	978	410	
Rezerwa przepustowości grupy pasów $\Delta C_{p,gr}$ [P/h] (wzór (5.10))	79	135	82	69	24		24	318	130	
Przepustowość praktyczna wlotu przy $X_d = 0,85$ $C_{p,wl}^{1)}$ [P/h] (wzór (5.9))	395		871		269			1267		
Rezerwa przepustowości wlotu $\Delta C_{p,wl}$ [P/h] (wzór (5.10))	125		81		24			167		
Przepustowość praktyczna skrzyżowania przy $X_d = 0,85$ $C_{p,sk}^{1)}$ [P/h] (wzór (5.9))	2644									
Rezerwa przepustowości skrzyżowania $\Delta C_{p,sk}$ [P/h] (wzór (5.10))	239									

<sup>1)</sup> - przepustowość praktyczna liczona dla  $X_d = <0,85 \div 0,95>$



OBLICZANIE PRZEPUSTOWOŚCI I OCENA WARUNKÓW RUCHU NA SKRZYŻOWANIU Z SYGNALIZACJĄ ŚWIETLNA										
OBLICZANIE MIAR WARUNKÓW RUCHU									FORMULARZ	6.1
Dane do obliczania miar warunków ruchu										
Włot	A		B		C		D			
Obliczeniowa grupa pasów	A1	A2	B3	B4,5		C6		D7	D8,9	D10
Natężenie ruchu w grupie pasów $Q_{gr}$ [P/h]	170	100	120	670		245		160	660	280
Natężenie ruchu w grupie pasów $q_{gr}$ [P/s]	0,047	0,028	0,033	0,186		0,068		0,044	0,183	0,078
Natężenie nasycenia grupy pasów $S_{gr}$ [P/hz] (F: 4)	1047	692	1621	2328		1131		1474	3080	1290
Stopień nasycenia grupy pasów $Y_{gr}$ [-] (F: 4)	0,162	0,145	0,074	0,286		0,217		0,109	0,214	0,217
Przepustowość grupy pasów $C_{gr}$ [P/h] (F: 5)	293	277	238	869		317		216	1150	482
Stopień obciążenia grupy pasów $X_{gr}$ [-] (F: 5)	0,580	0,361	0,504	0,771		0,773		0,741	0,574	0,581
Efektywny sygnał zielony $G_e^{II}$ [s]	21	21+9= 30	11	28		21		11	28	28
Długość cyklu $T$ [s]	75									
Okres analizy $t_a$ [h]	1									
Udział sygnału zielonego efektywnego w cyklu $\lambda$ [-]	0,280	0,400	0,147	0,373		0,280		0,147	0,373	0,373
Współczynnik uwzględniający rodzaj sterowania $r_s$ [-] (tab. 6.1)	0,5	0,5	0,5	0,5		0,5		0,5	0,5	0,5
Współczynnik uwzględniający sąsiednie skrzyżowania z sygnalizacją świetlną $w_s$ [-] (tab. 6.2)	1,0	1,0	1,0	1,0		1,0		1,0	1,0	1,0
Wskaźnik rozproszenia kolumny pojazdów $R_p$ [-] (tab. 6.3)										
Udział pojazdów dojeżdżających podczas sygnału zielonego $PG=R_p \cdot \lambda$ [-]										
Współczynnik uwzględniający dojazd kolumny pojazdów w czasie sygnału zielonego $f_{PG}$ [-] (tab. 6.4)										
Współczynnik koordynacji sygnalizacji $f_k$ [-] (wzór (6.4))	1,0	1,0	1,0	1,0		1,0		1,0	1,0	1,0

1) - z uwzględnieniem ruchu z wydzielonego pasa podczas sygnału dopuszczającego skręcanie w kierunku wskazanym strzałką, jeżeli występuje

OBLICZANIE PRZEPUSTOWOŚCI I OCENA WARUNKÓW RUCHU NA SKRZYŻOWANIU Z SYGNALIZACJĄ ŚWIETLNA											
OBLICZANIE MIAR WARUNKÓW RUCHU										FORMULARZ	6.2
Straty czasu, PSR											
Włot	A		B			C		D			
Obliczeniowa grupa pasów	A1	A2	B3	B4,5		C6		D7	D8,9	D10	
Straty czasu											
Straty czasu $d_1$ [s/P] (wzór (6.2))	23,2	15,8	29,5	20,7		24,8		30,6	18,8	18,8	
Straty czasu $d_2$ [s/P] (wzór (6.3))	4,3	1,2	3,4	4,7		12,7		15,0	1,1	2,6	
Średnie straty czasu w grupie pasów $d_{gr}$ [s/P] (wzór (6.1))	27,5	17,0	32,9	25,4		37,5		45,6	19,9	21,4	
PSR w grupie pasów (tab. 6.5)	II	II	II	II		II		III	I	II	
Łączne straty czasu w grupie pasów $D_{gr}$ [s/t <sub>a</sub> ] (wzór (6.5))	4675	1700	3948	17018		9188		7296	13134	5992	
Ekwiwalentne łączne straty czasu w grupie pasów $D_{gr}^*$ [h/h] (wzór (6.6))	1,30	0,47	1,10	4,73		2,55		2,03	3,65	1,66	
Średnie straty czasu na wlocie $d_{wl}$ [s/P] (wzór (6.7))	23,6		26,5			37,5		24,0			
PSR na wlocie (tab. 6.5)	II		II			II		II			
Łączne straty czasu na wlocie $D_{wl}$ [s/t <sub>a</sub> ] (wzór (6.9))	6375		20966			9188		26422			
Ekwiwalentne łączne straty czasu na wlocie $D_{wl}^*$ [h/h] (wzór (6.10))	1,77		5,82			2,55		7,34			
Średnie straty czasu na skrzyżowaniu $d_{sk}$ [s/P] (wzór (6.8))	26,2										
PSR na skrzyżowaniu (tab. 6.5)	II										
Łączne straty czasu na skrzyżowaniu $D_{sk}$ [s/t <sub>a</sub> ] (wzór (6.11))	62951										
Ekwiwalentne łączne straty czasu na skrzyżowaniu $D_{sk}^*$ [h/h] (wzór (6.12))	17,49										

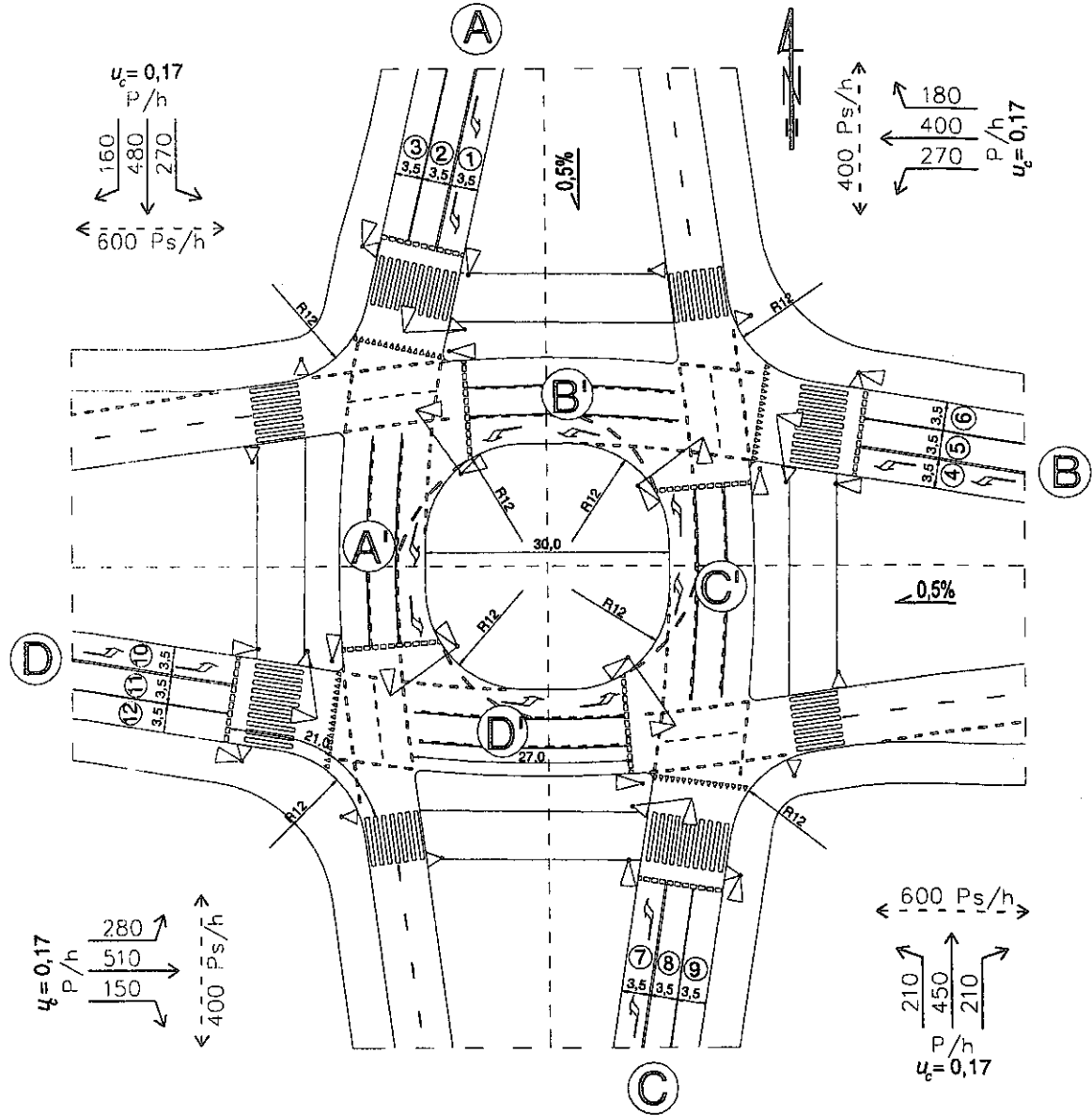
OBLICZANIE PRZEPUSTOWOŚCI I OCENA WARUNKÓW RUCHU NA SKRZYŻOWANIU Z SYGNALIZACJĄ ŚWIETLNA											
OBLICZANIE MIAR WARUNKÓW RUCHU										FORMULARZ	6.3
Kolejka pozostająca, Kolejka maksymalna, Zatrzymania											
Włot	A		B			C		D			
Grupa pasów	A1	A2	B3	B4,5		C6		D7	D8,9	D10	
Kolejki											
Średnia kolejka pozostająca $K_p$ [P] (wzór (6.13))	0,3	0,1	0,2	1,1		1,1		0,9	0,3	0,4	
Średnia kolejka maksymalna $K_m$ [P] (wzór (6.14))	4	2	3	14		6		5	12	6	
Współczynnik kwantyla 95% kolejki maksymalnej $f_{kw95}$ [-] (wzór (6.16))	2,19	2,40	2,29	1,73		2,04		2,11	1,78	2,04	
Kolejka maksymalna $K_{m95}$ [P] (wzór (6.15))	9	5	7	25		13		11	22	13	
Przeciętna długość stanowiska pojazdu w kolejce $l_p$ [m]	6,78	6,78	6,68	6,68		6,78		6,82	6,82	6,82	
Zasięg kolejki maksymalnej $L_K$ [m] (wzór (6.17))	61	34	47	84		88		75	75	89	
Zatrzymania											
Śr. liczba zatrzymań w grupie pasów $z_{gr}$ [z/P] (wzór (6.18))	0,850	0,674	0,901	0,863		1,021		1,105	0,738	0,782	
Liczba zatrzymań w grupie pasów $Z_{gr}$ [z/t <sub>a</sub> ] (wzór (6.19))	145	85	109	579		251		177	488	219	
Udział pojazdów zatrzymanych w grupie pasów $uz_{gr}$ [-] (wzór (6.20))	0,774	0,631	0,829	0,792		0,827		0,862	0,718	0,720	
Liczba pojazdów zatrzymanych w grupie pasów $Pz_{gr}$ [P] (wzór (6.21))	132	64	100	531		203		138	474	202	
Średnia liczba zatrzymań na wlocie $z_{wl}$ [z/P] (wzór (6.22))	0,785		0,869			1,021		0,803			
Udział pojazdów zatrzymanych na wlocie $uz_{wl}$ [-] (wzór (6.23))	0,721		0,798			0,827		0,739			
Średnia liczba zatrzymań na skrzyżowaniu $z_{sk}$ [z/P] (wzór (6.24))	0,845										
Udział pojazdów zatrzymanych na skrzyżowaniu $uz_{sk}$ [-] (wzór (6.25))	0,765										

<b>OBLICZANIE PRZEPUSTOWOŚCI I OCENA WARUNKÓW RUCHU NA SKRZYŻOWANIU Z SYGNALIZACJĄ ŚWIETLNA</b>												
<b>ZESTAWIENIE ZBIORCZE PARAMETRÓW</b>										<b>FORMULARZ 7.1</b>		
<b>Włot</b>	<b>A</b>			<b>B</b>			<b>C</b>			<b>D</b>		
<b>Obliczeniowa grupa pasów (oznaczenie)</b>	<b>A1</b>	<b>A2</b>	<b>B3</b>	<b>B4,5</b>			<b>C6</b>		<b>D7</b>	<b>D8,9</b>	<b>D10</b>	
<b>Numer pasa ruchu</b>	1	2	3	4,5			6		7	8,9	10	
<b>Relacja</b>	L+W	P	L	W+P			L+W+P		L	W	P	
<b>Natężenie ruchu w grupie pasów <math>Q_{gr}</math> [P/h]</b>	170	100	120	670			245		160	660	280	
<b>Natężenie ruchu na wlocie <math>Q_{wl}</math> [P/h]</b>	270			790			245			1100		
<b>Natężenie ruchu na skrzyżowaniu <math>Q_{sk}</math> [P/h]</b>	2405											
<b>Natężenie nasycenia grupy pasów <math>S_{gr}</math> [P/hz] (F:4)</b>	1047	692	1621	2328			1131		1474	3080	1290	
<b>Stopień nasycenia grupy pasów <math>Y_{gr}</math> [-] (F:4)</b>	0,162	0,145	0,074	0,286			0,217		0,109	0,214	0,217	
<b>Przepustowość grupy pasów <math>C_{gr}</math> [P/h] (F:5)</b>	293	277	238	869			317		216	1150	482	
<b>Przepustowość wlotu <math>C_{wl}</math> [P/h] (F:5)</b>	465			1025			317			1490		
<b>Przepustowość skrzyżowania <math>C_{sk}</math> [P/h] (F:5)</b>	3111											
<b>Stopień obciążenia grupy pasów <math>X_{gr}</math> [-] (F:5)</b>	0,580	0,361	0,504	0,771			0,773		0,741	0,574	0,581	
<b>Stopień obciążenia wlotu <math>X_{wl}</math> [-] (F:5)</b>	0,581			0,771			0,773			0,738		
<b>Stopień obciążenia skrzyżowania <math>X_{sk}</math> [-] (F:5)</b>	0,773											
<b>Przepustowość praktyczna skrzyżowania <math>C_{p,sk}</math> [P/h] (F:5)</b>	2644											
<b>Rezerwa przepustowości skrzyżowania <math>\Delta C_{p,sk}</math> [P/h] (F:5)</b>	239											

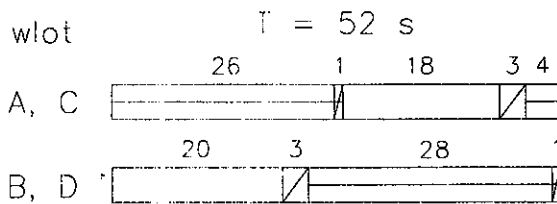
OBLICZANIE PRZEPUSTOWOŚCI I OCENA WARUNKÓW RUCHU NA SKRZYŻOWANIU Z SYGNALIZACJĄ ŚWIETLNA											
ZESTAWIENIE ZBIORCZE PARAMETRÓW cd.									FORMULARZ	7.2	
Włot	A		B			C		D			
Obliczeniowa grupa pasów (oznaczenie)	A1	A2	B3	B4,5			C6		D7	D8,9	D10
Średnie straty czasu w grupie pasów $d_{gr}$ [s/P] (F: 6.2)	27,5	17,0	32,9	25,4			37,5		45,6	19,9	21,4
Średnie straty czasu na wlocie $d_{wl}$ [s/P] (F: 6.2)	23,6		26,5			37,5		24,0			
Średnie straty czasu na skrzyżowaniu $d_{sk}$ [s/P] (F: 6.2)	26,2										
PSR w grupie pasów (F: 6.2)	II	II	II	II			II		III	I	II
PSR na wlocie (F: 6.2)	II		II			II		II			
PSR na skrzyżowaniu (F: 6.2)	II										
Ekwiwalentne łączne straty czasu w grupie pasów $D_{gr}^*$ [h/h] (F: 6.2)	1,30	0,47	1,10	4,73			2,55		2,03	3,65	1,66
Ekwiwalentne łączne straty czasu na wlocie $D_{wl}^*$ [h/h] (F: 6.2)	1,77		5,82			2,55		7,34			
Ekwiwalentne łączne straty czasu na skrzyżowaniu $D_{sk}^*$ [h/h] (F: 6.2)	17,49										
Średnia kolejka pozostająca $K_p$ [P] (F: 6.3)	0,3	0,1	0,2	1,1			1,1		0,9	0,3	0,4
Kolejka maksymalna $K_{m95}$ [P] (F: 6.3)	9	5	7	25			13		11	22	13
Zasięg kolejki maksymalnej $L_K$ [m] (F: 6.3)	61	34	47	84			88		75	75	89
Średnia liczba zatrzymań w grupie pasów $z_{gr}$ [z/P] (F: 6.3)	0,850	0,674	0,901	0,863			1,021		1,105	0,738	0,782
Śr liczba zatrzymań na wlocie $z_{wl}$ [z/P] (F: 6.3)	0,785		0,869			1,021		0,803			
Średnia liczba zatrzymań na skrzyżowaniu $z_{sk}$ [z/P] (F: 6.3)	0,845										
Udział pojazdów zatrzymanych w grupie pasów $u_{z_{gr}}$ [-] (F: 6.3)	0,774	0,631	0,829	0,792			0,827		0,862	0,718	0,720
Udział pojazdów zatrzymanych na wlocie $u_{z_{wl}}$ [-] (F: 6.3)	0,721		0,798			0,827		0,739			
Udział pojazdów zatrzymanych na skrzyżowaniu $u_{z_{sk}}$ [-] (F: 6.3)	0,765										

9.5. Przykład nr 5 – Sprawdzenie przepustowości wlotu D skrzyżowania z wyspą centralną

Dla danych przedstawionych na rys. 9.2 należy sprawdzić przepustowość wlotu D na skrzyżowaniu z wyspą centralną. Analiza obejmuje sprawdzenie przepustowości pasów ruchu na wewnętrznej powierzchni akumulacyjnej D'.

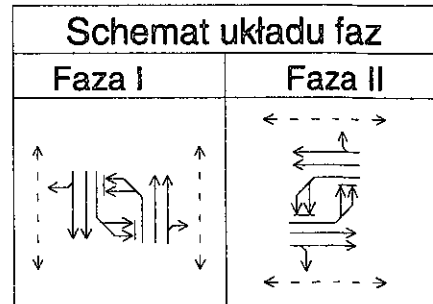


Pogram sygnalizacji



$G_{e1} = 20 + 3 - 2 = 21$  s

$G_{e2} = 18 + 3 - 2 = 19$  s



← - - - - - → Ruch pieszy  
 → Ruch kołowy

Rys. 9.2. Schemat skrzyżowania z danymi do przykładu obliczeniowego w p. 9.5

Na analizowanych wlotach dla wydzielonych pasów ruchu natężenia nasycenia pasów ruchu  $S_j$  równe są natężeniom nasycenia relacji  $S_r$ . Dla wspólnego pasa z relacjami na wprost i w prawo  $S_j = S_j^w$  ponieważ nie ma wpływu przystanków autobusowych.

### 9.5.1. Natężenie nasycenia relacji bezkolizyjnych

Poniższe obliczenie natężeń nasycenia dla relacji bezkolizyjnych ilustrują zasady przedstawione w p. 4.10 oraz w p. 4.3 i 4.4.

#### Relacja na wprost

Natężenie nasycenia wydzielonego pasa relacji na wprost obliczane jest ze wzoru (4.6) z  $S_o = 1900$  E/hz.

$$S = [1900 + 200 \cdot (w - 3,5) - 30 \cdot \delta_i \cdot i] \cdot \frac{1}{1 + u_c} \quad [\text{P/hz}]$$

#### pas ruchu D11, D'11, D'12

$$S_{w11} = S_{w'11} = S_{w'12} = [1900 + 200 \cdot (3,5 - 3,5) - 30 \cdot 1 \cdot 0,5] \cdot \frac{1}{1 + 0,17} = 1611 \text{ P/hz,}$$

Natężenie nasycenia relacji na wprost zachodzącej ze wspólnego pasa z kolizyjną relacją skrętu w prawo obliczane jest ze wzoru (4.6) z uwzględnieniem faktu, że ze wspólnego pasa korzystają relacja bezkolizyjna i kolizyjna. Dlatego we wzorze (4.6) należy uwzględnić wartość  $S_o = 1700$  E/hz (por. p. 4.7).

$$S = [1700 + 200 \cdot (w - 3,5) - 30 \cdot \delta_i \cdot i] \cdot \frac{1}{1 + u_c} \quad [\text{P/hz}]$$

#### pas ruchu D12

$$S_{w12} = [1700 + 200 \cdot (3,5 - 3,5) - 30 \cdot 1 \cdot 1,5] \cdot \frac{1}{1 + 0,17} = 1440 \text{ P/hz,}$$

#### Relacja skrętna bezkolizyjna

Natężenie nasycenia wydzielonego pasa ruchu dla bezkolizyjnej relacji skrętnej w lewo lub w prawo obliczane jest ze wzoru (4.7) z  $S_o = 1900$  E/hz.

$$S = [1900 + 80 \cdot (w - 3,5) - 30 \cdot \delta_i \cdot i - 160 \cdot \delta_k - 75 \cdot \delta_i] \cdot \frac{10^{-3} \cdot R + 1,025}{\left(1 + \frac{2}{R}\right)} \cdot \frac{1}{1 + u_c} \quad [\text{P/hz}]$$

#### pas ruchu D10

Natężenie nasycenia relacji w lewo bezkolizyjnej można liczyć ze wzoru (4.6) jak natężenie nasycenia relacji na wprost, przyjmując jak dla wlotu skrzyżowania z wyspą centralną (p. 4.10)  $S_o = 1800$  E/hz.

$$S_{L10} = [1800 + 200 \cdot (3,5 - 3,5) - 30 \cdot 1 \cdot 0,5] \cdot \frac{1}{1 + 0,17} = 1526 \text{ P/h,}$$

pas ruchu D'10

$$S_{L10} = [1900 + 80 \cdot (3,5 - 3,5) - 30 \cdot 1 \cdot 0,5 - 160 \cdot 0 - 75 \cdot 0] \cdot \frac{10^{-3} \cdot 12 + 1,025}{\left(1 + \frac{2}{12}\right)} \cdot \frac{1}{1 + 0,17} =$$

$$= 1432 \text{ P/hz,}$$

**9.5.2. Natężenie nasycenia relacji kolizyjnych**

Poniższe obliczenie natężeń nasycenia dla relacji w prawo kolizyjnych z pieszymi ilustrują zasady przedstawione w p. 4.10 oraz w p. 4.6.

Relacje skrętne w prawo kolizyjne z pieszymi

Na pasie D12 (rys. 9.2) występuje relacja skrętu w prawo kolizyjna z pieszymi. Natężenie nasycenia oblicza się ze wzorów (4.12) i (4.13).

pas ruchu D12

efektywny sygnał zielony dla analizowanej relacji:

$$G_e = G + Z - 2 = 20 + 3 - 2 = 21 \text{ s,}$$

$$f_p = 1 - \frac{1}{G_e} \cdot \left( \frac{1}{\frac{1450}{QP \cdot T} + 0,024} - 1,3 \cdot \sqrt{l} + 1 \right) = 1 - \frac{1}{21} \cdot \left( \frac{1}{\frac{1450}{600 \cdot 52} + 0,024} - 1,3 \cdot \sqrt{21} + 1 \right) =$$

$$= 0,560.$$

Pomimo dwupasowego wylotu, w który kieruje się analizowany skręt w prawo, przyjęto, że pojazdy wypełniające odcinek między linią zatrzymań a przejściem dla pieszych na wylocie ustawiają się w pojedynczej kolejce. Dlatego przyjęto  $l = 21 \text{ m}$ .

należy sprawdzić, czy:

$$f_p = 0,560 > f_{p,\min} = 0,4 \cdot \frac{l}{G_e} = 0,4 \cdot \frac{23}{21} = 0,438,$$

ponieważ warunek został spełniony, przyjmuje się:

$$f_p = 0,560,$$

$$S_{P12} = 1450 \cdot f_p \cdot \frac{1}{1 + u_c} = 1450 \cdot 0,560 \cdot \frac{1}{1 + 0,17} = 694 \text{ P/hz.}$$

**9.5.3. Stopień nasycenia grup pasów na wlotach D i D'**

grupy pasów na wlocie D (pasy D10, D11 i D12)





dane uzyskane we wcześniejszych obliczeniach:

$$S_{L10} = 1526 \text{ P/hz,}$$

pozostałe dane są podane na rys. 9.2,

natężenie ruchu:

$$Q_{L10} = 300 \text{ P/h,}$$

stopień nasycenia:

$$Y_{D10} = \frac{1}{n_{D10}} \cdot \left( \frac{Q_{L10}}{S_{L10}} \right) = \frac{1}{1} \cdot \left( \frac{300}{1526} \right) = 0,197,$$



11 12

dane uzyskane we wcześniejszych obliczeniach:

$$S_{W11} = 1611 \text{ P/hz,} \quad S_{W12} = 1440 \text{ P/hz,} \quad S_{P12} = 694 \text{ P/hz,}$$

pozostałe dane są podane na rys. 9.2,

wstępny rozkład natężenia relacji na wprost na pasy 11 i 12:

$$Q_{W11} = \frac{585}{1+0,5 \cdot 1} = 390 \text{ P/h,}$$

$$Q_{W12} = \frac{0,5 \cdot 585}{1+0,5 \cdot 1} = 195 \text{ P/h,}$$

$$Q_{P12} = 175 \text{ P/h,}$$

przybliżony stopień nasycenia:

$$Y_{D11,12} = \frac{1}{n_{D11,12}} \cdot \left( \frac{Q_{W11}}{S_{W11}} + \frac{Q_{W12}}{S_{W12}} + \frac{Q_{P12}}{S_{P12}} \right) = \frac{1}{2} \cdot \left( \frac{390}{1611} + \frac{195}{1440} + \frac{175}{694} \right) = 0,315,$$

rozkład natężenia na pasy 11 i 12:

$$Q_{W11} = Y_{D11,12} \cdot S_{W11} = 0,315 \cdot 1611 = 507 \text{ P/h,}$$

$$Q_{W12} = Q_{DW} - Q_{W11} = 585 - 507 = 78 \text{ P/h,}$$

$$Q_{P12} = 175 \text{ P/h,}$$

powtórne obliczenie stopnia nasycenia  $Y$ :

$$Y_{D11,12} = \frac{1}{n_{D11,12}} \cdot \left( \frac{Q_{W11}}{S_{W11}} + \frac{Q_{W12}}{S_{W12}} + \frac{Q_{P12}}{S_{P12}} \right) = \frac{1}{2} \cdot \left( \frac{507}{1611} + \frac{78}{1440} + \frac{175}{694} \right) = 0,311,$$

Rozkład ruchu został uznany za poprawny, ponieważ wartość  $Y = 0,311$  różni się o mniej niż o 0,005 od wartości otrzymanej w poprzednim rozkładzie  $Y = 0,315$ .

## grupy pasów na wlocie D' (pasy D'10, D'11 i D'12)



D'10

dane uzyskane we wcześniejszych obliczeniach:

$$S_{L'10} = 1432 \text{ P/hz,}$$

pozostałe dane są podane na rys. 9.2,

natężenie ruchu:

$$Q_{L'10} = 300 \text{ P/h,}$$

stopień nasycenia:

$$Y_{D'10} = \frac{1}{n_{D'10}} \cdot \left( \frac{Q_{L'10}}{S_{L'10}} \right) = \frac{1}{1} \cdot \left( \frac{300}{1432} \right) = 0,209,$$



D'11 D'12

dane uzyskane we wcześniejszych obliczeniach:

$$S_{W'11} = S_{W'12} = 1611 \text{ P/hz,}$$

pozostałe dane są podane na rys. 9.2,

natężenie ruchu:

$$Q_{D'W} = Q_{D'W} + Q_{AL} = 585 + 320 = 905 \text{ P/h,}$$

stopień nasycenia:

$$Y_{D'11,12} = \frac{1}{n_{D'11,12}} \cdot \left( \frac{Q_{D'W}}{S_{W'11} + S_{W'12}} \right) = \frac{1}{2} \cdot \left( \frac{905}{2 \cdot 1611} \right) = 0,140.$$

## 9.5.4. Przepustowość grup pasów na wlotach D i D'

grupy pasów na wlocie D (pasy D10, D11 i D12)

pas ruchu D10

Wartość natężenia nasycenia obliczono w p. 9.5.1. i wynosi dla pasa D10:

$$S_{D10} = 1522 \text{ P/hz,}$$

Przepustowość grup pasów wynosi zatem:

$$C_{D10} = S_{D10} \cdot \frac{G_e}{T} = 1522 \cdot \frac{21}{52} = 615 \text{ P/h,}$$

Stożenie obciążenia grupy pasów (p. 5.6, wzór (5.6)):

$$X_{D10} = \frac{Q_{D10}}{C_{D10}} = \frac{300}{615} = 0,488,$$

Przepustowość praktyczna (p. 5.7, wzór (5.9)) dla przyjętego  $X_d = 0,85$ :

$$C_{p,D10} = X_d \cdot C_{D10} = 0,85 \cdot 615 = 523 \text{ P/h},$$

Rezerwa przepustowości praktycznej (p. 5.7, wzór (5.10)):

$$\Delta C_{p,D10} = C_{p,D10} - Q_{D10} = 523 - 300 = 223 \text{ P/h}.$$

**pas ruchu D11 i D12**

Natężenie nasycenia pasów D11 i D12, należących do analizowanej grupy obliczeniowej, jest sumą natężeń nasycenia poszczególnych pasów (wzór (4.15)):

$$S_{D11,12} = S_{D11} + S_{D12} \quad [\text{P/hz}]$$

**Pas ruchu D11**

Wartość natężenia nasycenia obliczono w p. 9.5.1. i wynosi dla pasa D11:

$$S_{D11} = 1611 \text{ P/hz},$$

**Pas ruchu D12**

$$Q_{P12} = 175 \text{ P/h},$$

$$Q_{W12} = 78 \text{ P/h},$$

$$u_{P12} = \frac{175}{175 + 78} = 0,692,$$

$$u_{W12} = \frac{78}{175 + 78} = 0,308,$$

Natężenie nasycenia na pasie D12 wynosi:

$$S_{D12} = S_{D12}^w = \frac{1}{\frac{u_{W12}}{S_{W12}} + \frac{u_{P12}}{S_{P12}}} = \frac{1}{\frac{0,308}{1440} + \frac{0,692}{694}} = 826 \text{ P/hz},$$

Natężenie nasycenia grupy pasów:

$$S_{D11,12} = S_{D11} + S_{D12} = 1611 + 826 = 2437 \text{ P/hz},$$

Przepustowość grupy pasów wynosi zatem:

$$C_{D11,12} = S_{D11,12} \cdot \frac{G_e}{T} = 2437 \cdot \frac{21}{52} = 984 \text{ P/h},$$

Stożenie obciążenia grupy pasów (p. 5.6, wzór (5.6)):

$$X_{D11,12} = \frac{Q_{D11,12}}{C_{D11,12}} = \frac{585 + 175}{984} = 0,772,$$

Przepustowość praktyczna (p. 5.7, wzór (5.9)) dla przyjętego  $X_d = 0,85$ :

$$C_{p,D11,12} = X_d \cdot C_{D11,12} = 0,85 \cdot 984 = 836 \text{ P/h,}$$

Rezerwa przepustowości praktycznej (p. (5.7, wzór (5.10)):

$$\Delta C_{p,D11,12} = C_{p,D11,12} - Q_{D11,12} = 836 - (585 + 175) = 76 \text{ P/h.}$$

**Grupy pasów na wlocie D' (pasy D'10, D'11 i D'12)**

**Pas ruchu D'10**

Wartość natężenia nasycenia obliczono w p. 9.5.1. i wynosi dla pasa D'10:

$$S_{D'10} = 1432 \text{ P/hz,}$$

Przepustowość grupy pasów wynosi zatem:

$$C_{D'10} = S_{D'10} \cdot \frac{G_e}{T} = 1432 \cdot \frac{21}{52} = 578 \text{ P/h,}$$

Stopień obciążenia grupy pasów (p. 5.6, wzór (5.6)):

$$X_{D'10} = \frac{Q_{D'10}}{C_{D'10}} = \frac{300}{578} = 0,519,$$

Przepustowość praktyczna (p. 5.7, wzór (5.9)) dla przyjętego  $X_d = 0,85$ :

$$C_{p,D'10} = X_d \cdot C_{D'10} = 0,85 \cdot 578 = 491 \text{ P/h,}$$

Rezerwa przepustowości praktycznej (p. (5.7, wzór (5.10)):

$$\Delta C_{p,D'10} = C_{p,D'10} - Q_{D'10} = 491 - 300 = 191 \text{ P/h.}$$

**Pasy ruchu D'11 i D'12**

Natężenie nasycenia pasów D'11 i D'12, należących do analizowanej grupy obliczeniowej, jest sumą natężeń nasycenia poszczególnych pasów (wzór (4.15)):

$$S_{D'11,12} = S_{D'11} + S_{D'12} \quad [\text{P/hz}]$$

Natężenie nasycenia grupy pasów:

$$S_{D'11,12} = S_{D'11} + S_{D'12} = 1611 + 1611 = 3222 \text{ P/hz,}$$

Przepustowość grupy pasów wynosi zatem:

$$C_{D'11,12} = S_{D'11,12} \cdot \frac{G_e}{T} = 3222 \cdot \frac{21}{52} = 1301 \text{ P/h,}$$

Natężenie ruchu:

$$Q_{D'W} = Q_{D'W} + Q_{AL} = 585 + 320 = 905 \text{ P/h,}$$

Stopień obciążenia grupy pasów (p. 5.6, wzór (5.6)):

$$X_{D'11,12} = \frac{Q_{D'11,12}}{C_{D'11,12}} = \frac{905}{1301} = 0,696,$$

Przepustowość praktyczna (p. 5.7, wzór (5.9)) dla przyjętego  $X_d = 0.85$ :

$$C_{p,D^{11,12}} = X_d \cdot C_{D^{11,12}} = 0,85 \cdot 1301 = 1106 \text{ P/h,}$$

Rezerwa przepustowości praktycznej (p. (5.7, wzór (5.10)):

$$\Delta C_{p,D^{11,12}} = C_{p,D^{11,12}} - Q_{D^{11,12}} = 1106 - 905 = 201 \text{ P/h.}$$

### 9.5.5. Wewnętrzna powierzchnia akumulacyjna $D'$ dla relacji AL

Dostępna powierzchnia akumulacyjna:

$$F_a = \frac{l_a}{l_{s.o.}} \quad [\text{s.o.}]$$

$$l_a = 27 \text{ m} \quad (\text{dla jednego pasa, na podstawie rys. 9.2.}), \quad l_{s.o.} = 6,2 \text{ m,}$$

$$F_a = \frac{27}{6,2} \approx 4 \text{ s.o.} \quad (\text{dla jednego pasa})$$

Przyjęto do obliczeń dla dwóch pasów:  $F_a = 8 \text{ s.o.,}$

$$\left( F_a \cdot \frac{3600}{T} \right) = \left( 8 \cdot \frac{3600}{52} \right) = 554 \text{ E/h} > \frac{Q_{AL}}{1+u_c} = \frac{320}{1+0,11} = 355 \text{ E/h.}$$

Warunek przepustowości pasów ruchu na wprost w obrębie wewnętrznej powierzchni akumulacyjnej – z uwagi na potrzeby skrętu w lewo z wlotu A – jest spełniony.

Maksymalna liczba pojazdów skręcających w lewo z wlotu A, które zatrzymują się na wewnętrznej powierzchni akumulacyjnej  $D'$ :

$$N_{sr} = \frac{Q_{AL} \cdot T}{3600} = \frac{320 \cdot 52}{3600} = 4,6 \text{ P,}$$

Prawdopodobna maksymalna liczba pojazdów przy dojeżdżających średnio  $N_{sr} = 4,6$  pojazdach (tab. 4.2.):

$$N_{\max} = 8 \text{ P} = F_a = 8.$$

Dostępna wewnętrzna powierzchnia akumulacyjna  $D'$  wynosi  $F_a = 8 \text{ s.o.}$  i jest wystarczająca dla gromadzenia się pojazdów skręcających w lewo z wlotu A w poszczególnych cyklach sygnalizacji. Niewystępowanie przepełnienia wewnętrznych powierzchni akumulacyjnych jest warunkiem prowadzenia obliczeń według przedstawionego powyżej toku postępowania.

## LITERATURA

1. Akcelik & Associates Pty Ltd: aaSIDRA Traffic Model Reference Guide, February 2002.
2. Akcelik R.: Calibrating SIDRA, AARB Research Report, ARR 180, 1990.
3. Akcelik R.: Traffic signals: capacity and timing analysis, Australian Road Research Board, ARRB Research Report 123, 1981.
4. Brude U., Hedman K-O. et al.: Design of Major Urban Junctions – Comprehensive Report. Swedish National Road and Transport Research Institute, VTI EC Research 2/1998.
5. Burrow I.J.: OSCADY; a computer program to model capacities, queues and delays at isolated traffic signal junctions. TRRL Report RR 105, 1987.
6. Chodur J., Gaca St., Gondek St. i inni: Metoda obliczania przepustowości skrzyżowań bez sygnalizacji świetlnej, GDDKiA, Warszawa 2004.
7. Chodur J., Tracz M. i inni: Metoda obliczania przepustowości rond, GDDKiA, Warszawa 2004.
8. Datka St., Suchorzewski W., Tracz M.: Inżynieria ruchu, WKiŁ, III wyd., Warszawa 1999.
9. HBS 2001. Handbuch für die Bemessung von Straßenverkehrsanlagen. Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen e.V., Köln 2001.
10. Highway Capacity Manual 2000, Transportation Research Board, National Research Council, Washington D.C. 2000.
11. Highway Capacity Manual, Transportation Research Board, Washington DC, Update. Special Report Nr 209, 1994.
12. Highway Capacity Manual, Transportation Research Board, Washington DC, Special Report Nr 209, 1985.
13. Instrukcja o drogowej sygnalizacji świetlnej. Zasady stosowania, konstrukcja i wzory barwne sygnałów. Załącznik nr 3 do Rozporządzenia Ministra Transportu i Gospodarki Morskiej z dnia 3 marca 1994. M.P. Załącznik do nru 16, poz. 120 z dnia 9 marca 1994 r.
14. Komentarz do warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać drogi publiczne i ich usytuowanie, cz. II: zagadnienia techniczne, Generalna Dyrekcja Dróg Krajowych i Autostrad, Biuro Projektowo-Badawcze Dróg i Mostów Transprojekt – Warszawa, Warszawa 2002,
15. Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 3 lipca 2003 r. w sprawie szczegółowych warunków technicznych dla znaków i i sygnałów drogowych oraz urządzeń bezpieczeństwa ruchu drogowego i warunków ich umieszczania na drogach. Dz. U. Nr 220 z dnia 23 grudnia 2003 r., poz. 2181.
16. Rozporządzenie Ministra Transportu i Gospodarki Morskiej z dnia 2 marca 1999 w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać drogi publiczne i ich usytuowanie, Dz. U. Nr 43, poz. 430.
17. Proceedings of the Second International Symposium on Highway Capacity (Ed. R. Akcelik), ARRB, Sydney, Australia 1994.

18. Proceedings of the Third International Symposium on Highway Capacity (ed. R. Rysgaard), TRB, Danish Road Directorate, Copenhagen 1998.
19. Teply S. i inni: Canadian Capacity Guide for Signalized Intersections, Institute of Transportation Engineers, District 7, Committee on Canadian Capacity Guide for Signalized Intersections Canada, 2<sup>nd</sup> edition, June 1995.
20. Teply S.: Canadian Capacity Guide for Signalized Intersections, Institute of Transportation Engineers, District 7 – Canada and The University of Alberta, 1<sup>st</sup> edition, 1984.
21. Tracz M., Tarko A., Chodur J.: Przepustowość skrzyżowań z sygnalizacją świetlną, Instytut Gospodarki Przestrzennej i Komunalnej, Warszawa 1992.
22. Wytyczne projektowania skrzyżowań cz. I i II, Generalna Dyrekcja Dróg Publicznych, Warszawa 2001.

## Załącznik 1

Procedura obliczeniowa średnich strat czasu w kolejnych podokresach godziny z uwzględnieniem przenoszenia się kolejki na następny podokres

### Wprowadzenie

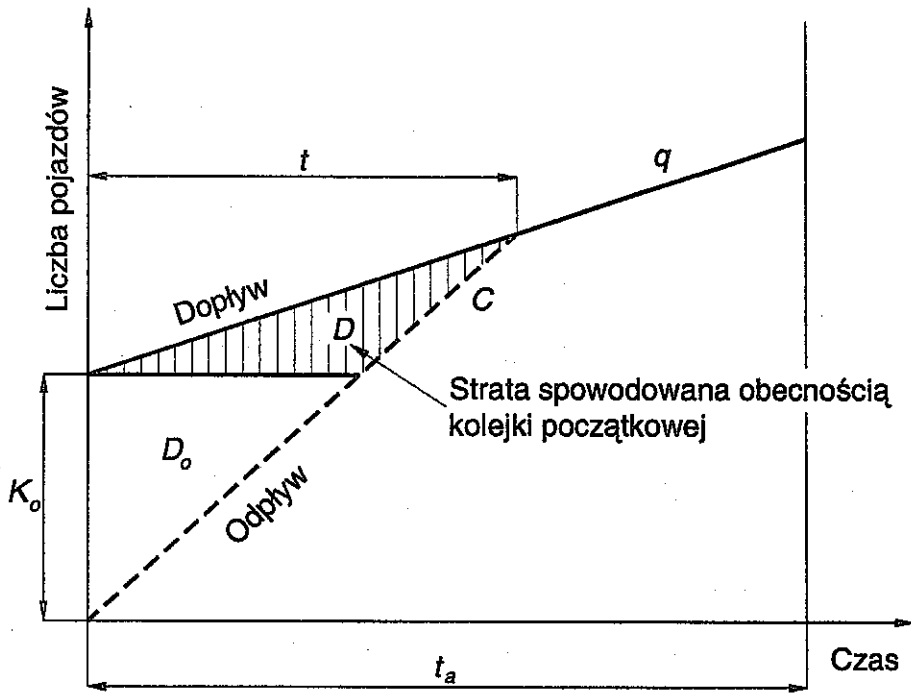
Procedura obliczania strat czasu opisana w p. 6.2 opiera się na założeniu, że w okresie analizy brak jest kolejki początkowej, pozostającej z poprzedniego okresu analizy. Rzeczywista sytuacja kreuje czasem inne warunki, jeżeli występuje przeciążenie w 15-minutowym okresie analizy ( $X > 1,0$ ) to jego skutki w postaci kolejki na końcu tego okresu odczuwają kierowcy w następnym okresie analizy, doznając dodatkowych strat czasu. Im dłuższa jest taka kolejka pojazdów z poprzedniego okresu analizy, tym dłuższy będzie jej czas rozładowania i tym większe dodatkowe straty czasu ponoszą kierowcy dojeżdżający w następnym okresie analizy, szczególnie na jego początku. Jeżeli natężenie ruchu w analizowanym okresie jest niewiele mniejsze niż w poprzednim, to dodana kolejka z poprzedniego okresu może powodować przeciążenie bieżącego okresu analizy i kolejkę na jego końcu, która przenosi się z kolei na następny okres. Jeżeli przeciążony jest ostatni 15-minutowy podokres okresu 1 godziny, analiza strat czasu pojazdów może ograniczyć się do tego okresu, ze stwierdzeniem wystąpienia na końcu ostatniego 15-minutowego podokresu pozostającej kolejki pojazdów, lub też analiza może być prowadzona dalej, w dłuższym niż jedna godzina okresie. Umożliwia to identyfikację długości okresu przeciążenia na skrzyżowaniu. Kolejka pojazdów na końcu  $K_k$  danego podokresu staje się kolejką początkową  $K_o$  przy przejściu do analizy kolejnego podokresu. Opisana w niniejszym załączniku procedura obliczeniowa bazuje na ustaleniach metody HCM-2000 [9].

Gdy kolejka początkowa  $K_o \neq 0$ , pojazdy dojeżdżające do wlotów doświadczają dodatkowych strat czasu związanych z obecnością pojazdów nieobsłużonych w poprzednim podokresie. Wielkość tych strat czasu zależy od kilku czynników, między innymi od rozmiaru kolejki początkowej, długości okresu analizy i stopnia obciążenia. Straty czasu pojazdów dojeżdżających w analizowanym podokresie  $t_a$ , związane z obecnością kolejki początkowej, oznaczane są symbolem  $d_3$ . W celu ich w miarę dokładnego oszacowania wprowadzono do obliczeń pięć różnych scenariuszy sytuacji ruchowych opisanych w metodzie jako przypadki od I do V.

Przypadek I i II występuje przy braku kolejki początkowej ( $K_o = 0$ ). Zasadnicza różnica między tymi przypadkami polega na stanie ruchu w analizowanym podokresie  $t_a$ . I przypadek dotyczy stanu nienasyconego, a przypadek II dotyczy stanu przesyconego w podokresie analizy. W obu przypadkach  $d_3 = 0$ , a straty czasu obliczane są ze wzoru (6.2).

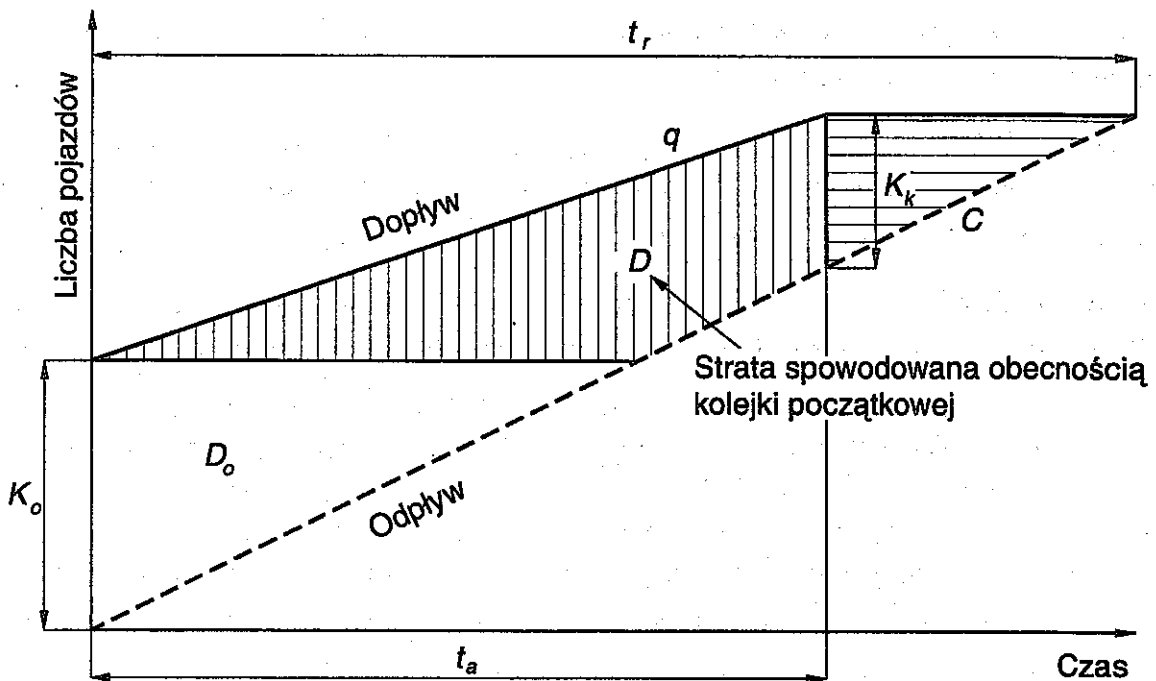
Przypadki III, IV i V zilustrowane zostały na rys. Z1.1, Z1.2 i Z1.3.





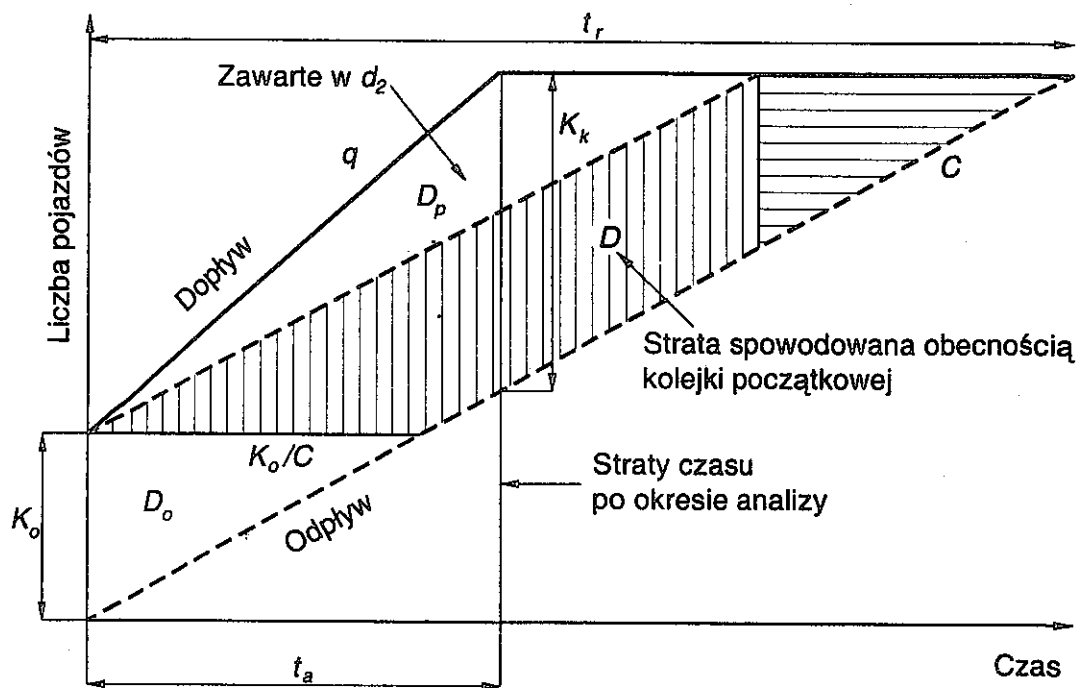
Strata czasu przypadająca na pojazd spowodowana obecnością kolejki początkowej  
 $d_3 = 1800 \cdot K_0 \cdot t / C \cdot t_a$  [s/P]

Rys. Z1.1. Przypadek III: Kolejka początkowa i powiązane z nią straty czasu zostają rozłożone w podokresie analizy  $t_a$



Strata czasu przypadająca na pojazd spowodowana obecnością kolejki początkowej  
 $d_3 = 3600 \cdot K_0 / C - 1800 \cdot t_a [1 - \min(1, X)]$  [s/P]

Rys. Z1.2. Przypadek IV: Kolejka początkowa i powiązane z nią straty czasu maleją i częściowo przechodzą do kolejnego podokresu analizy  $t_a$



Strata czasu przypadająca na pojazd spowodowana obecnością kolejki początkowej  
 $d_3 = 3600 \cdot K_o / C$  [s/P]

Rys. Z1.3. Przypadek V: Kolejka początkowa i powiązane z nią straty czasu wzrastają w czasie i przechodzą do kolejnego podokresu analizy  $t_a$

Przypadek III (rys. Z1.1) dotyczy sytuacji, gdy kolejka początkowa  $K_o$  będzie w pełni rozładowana w podokresie analizy  $t_a$ . Aby to rozładowanie mogło nastąpić, kolejka początkowa ( $K_o$ ) i dopływające natężenie pojazdów w podokresie analizy  $t_a$ , ( $Q \cdot t_a$ ) muszą być mniejsze niż dostępna przepustowość ( $C \cdot t_a$ ).

Przypadek IV (rys. Z1.2.) dotyczy sytuacji, gdy dopływy nie zostaną całkowicie rozładowane w podokresie analizy  $t_a$ ; a kolejka początkowa ulegnie jedynie zmniejszeniu przy końcu podokresu analizy  $t_a$  ( $K_k < K_o$ ). Jest to możliwe, gdy  $Q \cdot t_a < C \cdot t_a$ .

W przypadku V (rys. Z1.3) zapotrzebowanie na zjazd ze skrzyżowania przekracza przepustowość i nieobsłużona część pojazdów wzrasta przy końcu podokresu analizy  $t_a$  ( $K_k > K_o$ ).

Całkowite straty czasu spowodowane obecnością kolejki początkowej w przeciętnym cyklu zostały na rysunkach zakreskowane i opisane jako  $D$ . Przedstawiają one straty czasu ponoszone przez wszystkie pojazdy dojeżdżające w analizowanym podokresie  $t_a$ , włącznie ze stratami czasu ponoszonymi w następnym przedziale analizy. Przedstawione straty czasu nie zawierają strat poniesionych przez pojazdy z kolejki początkowej ( $D_o$ ) oraz strat przesylenia przy zerowej kolejce początkowej w podokresie analizy ( $D_p$  na rys. Z1.3). Straty przesylenia uwzględniane są w członie  $d_2$  wyznaczanym ze wzoru (6.3).

### Szacowanie początkowych strat czasu $d_3$

Uogólnioną formułę na wielkość strat czasu  $d_3$  przedstawia wzór (Z1.1). Oszacowanie dodatkowej straty  $d_3$ , jaką ponoszą pojazdy dojeżdżające w podokresie analizy  $t_a$ , jest moż-

liwe tylko w sytuacji, gdy kolejka na początku tego podokresu  $Q_o \neq 0$ .

$$d_3 = \frac{1800 \cdot K_o \cdot (1+u) \cdot t}{C \cdot t_a} \quad [\text{s/P}] \quad (\text{Z1.1})$$

gdzie:

- $K_o$  – kolejka początkowa na początku podokresu analizy [P],
- $C$  – przepustowość obliczeniowej grupy pasów [P/h],
- $t_a$  – podokres analizy [h]; zazwyczaj  $t_a = 0,25$  h,
- $t$  – czas, po którym nastąpi całkowite rozładowanie kolejki początkowej w podokresie analizy  $t_a$ , odpowiadający czasowi trwania stanu przeciążenia w podokresie analizy [h],
- $u$  – parametr strat czasu [-],

Parametry  $t$  i  $u$  są określane w każdym z ogólnych przypadków przy  $K_o \neq 0$ . Równania (Z1.2) i (Z1.3) przedstawiają sposób szacowania wartości tych parametrów dla przypadków III, IV i V:

$$t = \min \left\{ t_a, \frac{K_o}{C \cdot [1 - \min\{1, X\}]} \right\} \quad (\text{Z1.2})$$

gdy  $[1 - \min(1, X)] = 0$  należy przyjąć  $t = t_a$

$$\begin{aligned} u &= 0 && \text{gdy } t < t_a \\ u &= 1 - \frac{C \cdot t_a}{K_o} \cdot [1 - \min\{1, X\}] && \text{gdy } t > t_a \end{aligned} \quad (\text{Z1.3})$$

gdzie:

- $C$  – przepustowość grupy pasów [P/h],
- $X$  – stopień obciążenia grupy pasów [-],

W dodatkowych obliczeniach można określić czas, w którym nastąpi całkowite rozładowanie grupy pasów (czas, w którym ostatni z pojazdów, które przybyły na wlot w analizowanym podokresie, opuści wlot) mierzony od początku okresu analizy, w którym występowała kolejka początkowa. W I, II, III przypadku wszystkie pojazdy opuszczają grupę pasów przed końcem podokresu analizy  $t_a$ , przy czym w przypadku I i II, gdy  $X \leq 1,0$ , ponoszą jedynie straty czasu o składowych  $d_1$  i  $d_2$ , a w przypadku III, gdy  $X > 1,0$ , straty powiększone o dodatkową składową  $d_3$ . Dla przypadku IV i V oczyszczenie wlotu lub skrzyżowania następuje w czasie dłuższym niż podokres analizy, tzn.  $t_r > t_a$ , co pociąga za sobą większe straty czasu o składowych  $d_1$ ,  $d_2$ ,  $d_3$ , liczonych na podstawie wzorów zestawionych w tab. Z1.1. Ostatecznie, obliczenie czasu oczyszczenia wlotu  $t_r$ , mierzonego od początku okresu analizy  $t_a$  dla wszystkich możliwych przypadków, następuje zgodnie z wzorem (Z1.4):

$$t_r = \max \left\{ t_a, \frac{K_o}{C} + t_a \cdot X \right\} \quad (\text{Z1.4})$$

Podsumowując procedurę obliczeniową, w tab. Z1.1 zestawiono wszystkie obliczane parametry dla przypadków od I do V. Należy zauważyć, że w decyzji o zakwalifikowaniu do przypadku III ( $t < t_a$ ) lub IV ( $t = t_a$ ) potrzebna jest wcześniej wyliczona wartość  $t$  (wzór (Z1.2)).

Tab. Z1.1. Zestawienie zmiennych modelu strat czasu dla poszczególnych przypadków

Przypadek	X [-]	$K_o$ [P]	$d_1$ [s/P]	$d_2$ [s/P]	$t$ [s]	$u$ [-]	$d_3$ [s/P]	$t_r$ [s]
I	$\leq 1,0$	0	wzór (6.2)	wzór (6.3)	0	0	0	$t_a$
II	$> 1,0$	0	wzór (6.2)	wzór (6.3)	0	0	0	$t_a \cdot X$
III	$\leq 1,0$	$> 0$	wzór (Z1.5)	wzór (6.3)	wzór (Z1.2)	0	wzór (Z1.1)	$t_a$
IV	$\leq 1,0$	$> 0$	wzór (Z1.5)	wzór (6.3)	$t_a$	wzór (Z1.3)	wzór (Z1.1)	wzór (Z1.4)
V	$> 1,0$	$> 0$	wzór (Z1.5)	wzór (6.3)	$t_a$	1	wzór (Z1.1)	wzór (Z1.4)

Dla przypadków III, IV i V, w których występuje kolejka początkowa, w analizowanym podokresie analizy regularne straty czasu  $d_1^*$  obliczane są ze wzoru (Z1.5). Straty te wynikają z zatrzymań na sygnale czerwonym i powinny zostać wyznaczone przy założeniu  $X = 1,0$  dla okresu  $t$ , w którym występuje kolejka przesylenia (pierwszy składnik wzoru) oraz z zastosowaniem aktualnej wartości  $X$  dla pozostałego okresu czasu ( $t_a - t$ ) (drugi składnik wzoru). W rezultacie ważoną stratę czasu  $d_1$  oblicza się ze wzoru:

$$d_1^* = d_p \cdot \frac{t}{t_a} + d_n \cdot f_k \cdot \frac{(t_a - t)}{t_a} \quad [\text{s/P}] \quad (\text{Z1.5})$$

gdzie:

$d_p$  – straty  $d_1$  w stanie przesylenia ( $d_1$  ze wzoru (6.2) przy  $X = 1,0$ ) [s/P],

$d_n$  – straty  $d_1$  w stanie nienasycenia ( $d_1$  ze wzoru (6.2) przy aktualnym  $X$  w podokresie  $t_a$ ) [s/P],

$f_k$  – współczynnik koordynacji sygnalizacji (jak we wzorze (6.1)).

Dla IV i V przypadku druga część wzoru (Z1.5) równa jest zero, ponieważ  $t = t_a$  (tab. Z1.1).

W przypadku III, gdy obowiązują oba człony wzoru (Z1.5) ( $t < t_a$ , rys. Z1.1), w drugim jego członie pojawia się współczynnik koordynacji  $f_k$ , który może mieć wpływ na straty czasu od momentu rozładowania się kolejki początkowej (po upływie czasu  $t$ ). Należy również zauważyć, że w przypadku II tylko pierwszy cykl nie będzie blokowany przez kolejkę początkową. W tej sytuacji, z powodu  $X > 1,0$ , współczynnik koordynacji nie może mieć wpływu na obliczenia w całym podokresie analizy  $t_a$  ( $f_k = 1,0$ ).

### Analiza w podokresach godziny – wieloprzedziałowa

Powyższa procedura obliczeniowa szacująca wielkość strat  $d_3$  znajduje zastosowanie w analizie wieloprzedziałowej (w kolejnych podokresach godziny), gdzie rozważa się każdy podokres  $t_a$  (zazwyczaj 15-minutowy) godziny z osobna. Procedura powinna być stosowana, gdy

znane są dokładne dane o zmienności natężeń ruchu na skrzyżowaniu i stwierdzono, w co najmniej jednym podokresie przeciążenie, a ponadto istnieje możliwość przeciążenia kolejnego podokresu. Przedstawiona poniżej wieloprzedziałowa analiza pokazuje zjawisko przenoszenia się strat czasu spowodowanych obecnością kolejki początkowej do kolejnego podokresu analizy. Wielkość kolejki początkowej powstałej w okresie analizy  $i$  dla następnego okresu analizy  $i+1$  możemy oszacować ze wzoru:

$$K_{o,i+1} = \max\{0, K_{o,i} + C \cdot t_a \cdot (X_i - 1)\}, \quad \text{dla } i = 1, 2, \dots, n \quad (\text{Z1.6})$$

gdzie:

$K_{o,i}$  – kolejka początkowa dla  $i$ -tego okresu analizy [P],

$X_i$  – stopień obciążenia dla  $i$ -tego okresu analizy [-],

Typowy okres wieloprzedziałowej analizy charakteryzuje się nienasyconym pierwszym 15-minutowym podokresem analizy, w którym  $K_o = 0$ . Dla kolejnych przeciążonych podokresów analizy wartość kolejki początkowej obliczana jest ze wzoru (Z1.6), a następnie wielkość strat czasu. Obliczenia wygodnie jest prowadzić, transponując natężenia 15-minutowe [P/15minut] na natężenia w [P/h] dla każdego przedziału analizy. Procedurę obliczeniową przedstawiono w poniższym przykładzie.

Wykorzystywana w obliczeniach przepustowość  $C$  grup pasów powinna mieć wartość właściwą dla każdego z analizowanych podokresów. Jeżeli z grup pasów korzystają relacje o bezkolizyjnym przebiegu ruchu w fazach sygnalizacyjnych, których przepustowość nie zależy od natężeń ruchu, wartość przepustowości takich grup pasów będzie identyczna we wszystkich podokresach okresu godziny. W przypadku grup pasów, z których korzystają relacje o przebiegu kolizyjnym z ruchem innych strumieni pojazdów (może to dotyczyć skrętu w lewo), przepustowość powinna być wyznaczona dla każdego podokresu.

### Przykład obliczeniowy dla analizy wieloprzedziałowej

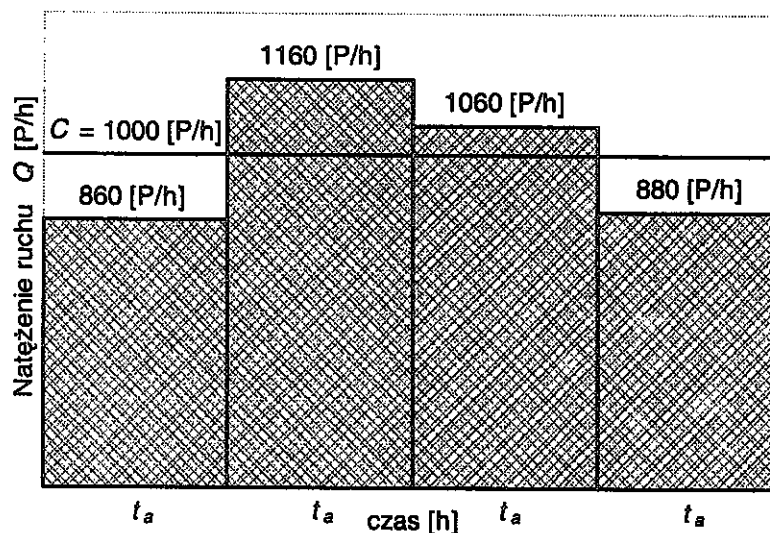
W przykładzie obliczeniowym rozważa się grupę pasów ruchu o stałej przepustowości w kolejnych 15-minutowych podokresach 1000 [P/h] (np. grupa z relacjami bezkolizyjnymi). Profil natężenia ruchu bazuje na danych pomiarowych wykonanych w 15-minutowych interwałach (rys. Z1.4). Natężenia kwadransowe przeliczono na natężenia w godzinie. Analizowana grupa pasów otrzymuje 44 s efektywnego sygnału zielonego w cyklu o długości 110 s ( $\lambda = G_e/T = 0,4$ ). Typ dopływu określono jako „3” – losowy (tab. 6.3), dla którego  $f_k = 1,0$ . W obliczeniach założono brak kolejki początkowej w pierwszym okresie analizy  $K_{o,1} = 0$ . Celem obliczeń jest wyznaczenie średnich strat czasu pojazdów w każdym 15-minutowym interwale i strat czasu w godzinie.

Natężenia ruchu z pomiarów w [P/15'] i po przeliczeniu w [P/h]:

$$Q_1 = 215 \text{ [P/15']} = 860 \text{ [P/h]}, \quad Q_2 = 290 \text{ [P/15']} = 1160 \text{ [P/h]},$$

$$Q_3 = 265 \text{ [P/15']} = 1060 \text{ [P/h]}, \quad Q_4 = 220 \text{ [P/15']} = 880 \text{ [P/h]}.$$

Profil natężenia ruchu w godzinie przedstawia rys. Z1.4



Rys. Z1.4. Profil natężenia ruchu w podokresach  $t_a = 15$  min analizy w godzinie

### I podokres analizy

Pierwszy podokres analizy charakteryzuje się nienasyconymi warunkami ruchu ze stopniem obciążenia  $X = 860/1000 = 0,86$ . Zatem zgodnie ze wstępnym założeniem o braku kolejki początkowej w pierwszym przedziale analizy  $K_{o,I} = 0$  oraz z równaniem (Z1.6) brak jest kolejki początkowej na początku kolejnego okresu analizy  $K_{o,II} = 0$ . Średnie straty czasu w pierwszym okresie oznaczono jako  $d_1$  i oszacowano jak dla przypadku 1 wg tab. Z1.1:

Regularne straty czasu  $d_1$  (wzór (6.2)):

$$d_1 = \frac{T}{2} \cdot \frac{(1-\lambda)^2}{1 - [\min\{1, X\} \cdot \lambda]} = \frac{110}{2} \cdot \frac{(1-0,4)^2}{1 - [0,86 \cdot 0,4]} = 30,2 \text{ s/P}$$

Losowe straty czasu  $d_2$  (wzór (6.3)):

sygnalizacja cykliczna, stałoczasowa –  $r_s = 0,5$ , skrzyżowanie odosobnione –  $w_s = 1,0$

$$d_2 = 900 \cdot t_a \cdot \left[ (X-1) + \sqrt{(X-1)^2 + \frac{7 \cdot r_s \cdot w_s \cdot X^2}{C \cdot t_a}} \right] =$$

$$= 900 \cdot 0,25 \cdot \left[ (0,86-1) + \sqrt{(0,86-1)^2 + \frac{7 \cdot 0,5 \cdot 1,0 \cdot 0,86^2}{1000 \cdot 0,25}} \right] = 7,4 \text{ s/P}$$

Średnie straty czasu w pierwszym podokresie  $d_i$ :

$$d_1 = f_k \cdot d_1 + d_2 + d_3 = 1,0 \cdot 30,2 + 7,4 + 0 = \underline{37,6 \text{ s/P}}$$

### II podokres analizy

Drugi przedział analizy jest przesycony, ze stopniem obciążenia  $X = 1160/1000 = 1,16$ . Brak jest kolejki początkowej (pozostającej z 1 podokresu)  $K_{o,II} = 0$ , więc obliczenia przeprowadza się jak dla przypadku 2 wg tab. Z1.1:

Regularne straty czasu  $d_1$  (wzór (6.2)):

$$d_1 = \frac{T}{2} \cdot \frac{(1-\lambda)^2}{1 - [\min\{1, X\} \cdot \lambda]} = \frac{110}{2} \cdot \frac{(1-0,4)^2}{1 - [1 \cdot 0,4]} = 33,0 \text{ s/P}$$

Losowe straty czasu  $d_2$  (wzór (6.3)):

$$d_2 = 900 \cdot t_a \cdot \left[ (X-1) + \sqrt{(X-1)^2 + \frac{7 \cdot r_s \cdot w_s \cdot X^2}{C \cdot t_a}} \right] =$$

$$= 900 \cdot 0,25 \cdot \left[ (1,16-1) + \sqrt{(1,16-1)^2 + \frac{7 \cdot 0,5 \cdot 1,0 \cdot 1,16^2}{1000 \cdot 0,25}} \right] = 83,4 \text{ s/P}$$

Średnie straty czasu w drugim podokresie  $d_{II}$ :

$$d_{II} = f_k \cdot d_1 + d_2 + d_3 = 1,0 \cdot 33,0 + 83,4 + 0 = \underline{116,4 \text{ s/P}}$$

### III podokres analizy

Trzeci podokres analizy charakteryzuje się również przesyconymi warunkami ruchu ze stopniem obciążenia  $X = 1060/1000 = 1,06$ . Z uwagi na przeciążenie 2-go podokresu kolejka pojazdów z tego podokresu analizy nie została rozładowana i zostaje przeniesiona do badanego, 3-go podokresu analizy jako kolejka początkowa. Procedurę obliczeniową przeprowadza się jak dla przypadku V wg tab. Z1.1. Wartość  $K_{o,III}$  wyznacza się ze wzoru (Z1.6).

Kolejka początkowa w 3 podokresie analizy:

$$K_{o,III} = \max\{0, K_{o,II} + C \cdot t_a \cdot (X_{II} - 1)\} = \max\{0, 0 + 1000 \cdot 0,25 \cdot (1,16 - 1)\} = 40 \text{ P,}$$

$$K_{o,III} = 40 \text{ P}$$

$K_o > 0$ , więc we wzorze na średnie straty czasu musi zostać uwzględniony składnik  $d_3$ . W tym celu w pierw wyznacza się wartości  $t$  i  $u$  ze wzorów (Z1.2) i (Z1.3):

Okres  $t$ , po którym nastąpi całkowite rozładowanie kolejki początkowej w okresie analizy  $t_a$  [h]:

$$t = \min\left\{t_a, \frac{Q_p}{C \cdot [1 - \min\{1, X\}]}\right\} = \min\left\{0,25, \frac{40}{1000 \cdot [1 - \min\{1, 1,06\}]}\right\} = 0,25 \text{ h}$$

Parametr strat czasu  $u$  [-]:

$$u = 1 - \frac{C \cdot t_a}{Q_p} \cdot [1 - \min\{1, X\}] = 1 - \frac{1000 \cdot 0,25}{50} \cdot [1 - \min\{1, 1,06\}] = 1,0$$

Wyznaczone wielkości  $t$  i  $u$  potwierdzają zapis w tab. Z1.1 dotyczący przypadku V.

Podstawiając powyższe wartości do wzoru (Z1.1), otrzymuje się:

$$d_3 = \frac{1800 \cdot K_o \cdot (1+u) \cdot t}{C \cdot t_a} = \frac{1800 \cdot 40 \cdot (1+1) \cdot 0,25}{1000 \cdot 0,25} = 144,0 \text{ s/P}$$

Regularne straty czasu  $d_1^*$  wyznacza się zgodnie z tab. Z1.1 dla przypadku V według wzoru (Z1.5). Drugi składnik w tym wzorze (dla przypadku IV i V) można pominąć ( $t = t_a$ ).

W rezultacie otrzymuje się:

$$d_1^* = d_p \cdot \frac{t}{t_a} + d_n \cdot f_k \cdot \frac{(t_a - t)}{t_a} = d_p \cdot \frac{t}{t_a} + 0$$

$d_p$  oblicza się jak  $d_1$  ze wzoru (6.2) przy  $X = 1,0$

$$d_p = \frac{T}{2} \cdot \frac{(1 - \lambda)^2}{1 - [\min\{1, X\} \cdot \lambda]} = \frac{110}{2} \cdot \frac{(1 - 0,4)^2}{1 - [1,0 \cdot 0,4]} = 33,0 \text{ s/P}$$

Uwzględniając  $t = t_a$ , ostatecznie:

$$d_1^* = d_p \cdot \frac{t}{t_a} + d_n \cdot f_k \cdot \frac{(t_a - t)}{t_a} = 33,0 \cdot \frac{0,25}{0,25} + 0 = 33,0 = 33,0 \text{ s/P}$$

Losowe straty czasu  $d_2$  (wzór (6.3)):

$$d_2 = 900 \cdot t_a \cdot \left[ (X - 1) + \sqrt{(X - 1)^2 + \frac{7 \cdot r_s \cdot w_s \cdot X^2}{C \cdot t_a}} \right] =$$

$$= 900 \cdot 0,25 \cdot \left[ (1,06 - 1) + \sqrt{(1,06 - 1)^2 + \frac{7 \cdot 0,5 \cdot 1,0 \cdot 1,06^2}{1000 \cdot 0,25}} \right] = 44,8 \text{ s/P}$$

Średnie straty czasu w trzecim podokresie  $d_{III}$ :

$$d_{III} = d_1 + d_2 + d_3 = 33,0 + 44,8 + 144,0 = \underline{221,8 \text{ s}}$$

#### IV podokres analizy

Ostatni podokres analizy cechuje się nienasyconymi warunkami ruchu przy stopniu obciążenia  $X = 880/1000 = 0,88$ . Podobnie jak i w trzecim okresie analizy na początku występuje kolejka początkowa, w związku z przeciążeniem 3 podokresu. Procedurę obliczeniową przeprowadzamy jak dla przypadku III lub IV w zależności od wielkości  $t$  (tab. Z1.1).

Kolejka początkowa w 4 podokresie analizy:

$$K_{o,IV} = \max\{0, K_{o,III} + C \cdot t_a \cdot (X_{III} - 1)\} = \max\{0, 40 + 1000 \cdot 0,25 \cdot (1,06 - 1)\} = 55 \text{ P,}$$

$$K_{o,IV} = 55 \text{ P}$$

$K_o > 0$ , więc we wzorze na średnie straty czasu musi zostać uwzględniony czynnik  $d_3$ . W tym celu wyznacza się w pierw wartości  $t$  i  $u$  ze wzorów (Z1.2) i (Z1.3):

Okres czasu  $t$ , po którym nastąpi całkowite rozładowanie kolejki początkowej w okresie analizy  $t_a$  [h]:

$$t = \min\left\{t_a, \frac{Q_p}{C \cdot [1 - \min\{1, X\}]}\right\} = \min\left\{0,25, \frac{55}{1000 \cdot [1 - \min\{1, 0,88\}]}\right\} = 0,25 \text{ h}$$

Wartość  $t = t_a$ , co pozwala zastosować procedurę obliczeniową przewidzianą dla przypadku IV.

Parametr strat czasu  $u$  [-]:

$$u = 1 - \frac{C \cdot t_a}{Q_p} \cdot [1 - \min\{1, X\}] = 1 - \frac{1000 \cdot 0,25}{55} \cdot [1 - \min\{1, 0,88\}] = 0,45$$



Podstawiając powyższe wartości do wzoru (Z1.1) otrzymuje się:

$$d_3 = \frac{1800 \cdot K_p \cdot (1+u) \cdot t}{C \cdot t_a} = \frac{1800 \cdot 55 \cdot (1+0,45) \cdot 0,25}{1000 \cdot 0,25} = 144,0 \text{ s/P}$$

Regularne straty czasu wyznaczamy zgodnie z tablicą Z-1 dla przypadku IV ze wzoru (Z1.5).

$$d_1^* = d_p \cdot \frac{t}{t_a} + d_n \cdot f_k \cdot \frac{(t_a - t)}{t_a}$$

$d_p$  oblicza się jak  $d_1$  ze wzoru (6.2) przy  $X = 1,0$

$$d_p = \frac{T}{2} \cdot \frac{(1-\lambda)^2}{1 - [\min\{1, X\} \cdot \lambda]} = \frac{110}{2} \cdot \frac{(1-0,4)^2}{1 - [1,0 \cdot 0,4]} = 33,0 \text{ s/P}$$

Uwzględniając  $t = t_a$ , ostatecznie:

$$d_1^* = d_p \cdot \frac{t}{t_a} + d_n \cdot f_k \cdot \frac{(t_a - t)}{t_a} = 33,0 \cdot \frac{0,25}{0,25} + 0 = 33,0 = 33,0 \text{ s/P}$$

Losowe straty czasu  $d_2$  (wzór (6.3)):

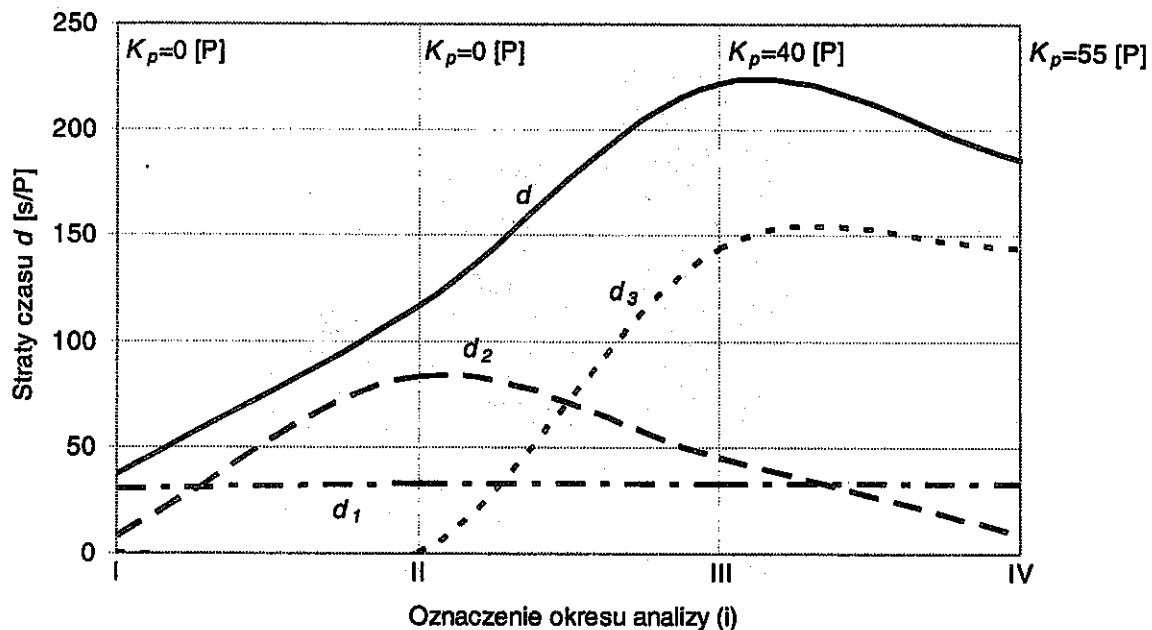
$$d_2 = 900 \cdot t_a \cdot \left[ (X-1) + \sqrt{(X-1)^2 + \frac{7 \cdot r_s \cdot w_s \cdot X^2}{C \cdot t_a}} \right] =$$

$$= 900 \cdot 0,25 \cdot \left[ (0,88-1) + \sqrt{(0,88-1)^2 + \frac{7 \cdot 0,5 \cdot 1,0 \cdot 0,88^2}{1000 \cdot 0,25}} \right] = 8,7 \text{ s/P}$$

Średnie straty czasu w czwartym podokresie  $d_{IV}$ :

$$d_{IV} = d_1 + d_2 + d_3 = 33,0 + 8,7 + 144,0 = \underline{185,7 \text{ s/P}}$$

Na rys. Z1.5 zilustrowano wpływ składowych strat czasu w poszczególnych 15-minutowych podokresach analizy  $t_a$  na ostateczną wartość średnich strat czasu dla danych z przykładu obliczeniowego.



Rys. Z1.5. Ilustracja składowych strat czasu dla analizy wielopredziałowej

Z obliczeń oraz z powyższego wykresu można wnioskować, że szczególnie znacząco w III i IV okresie analizy uwidacznia się wpływ czynnika  $d_3$  uwzględniającego kolejkę początkową w analizie średnich strat czasu.

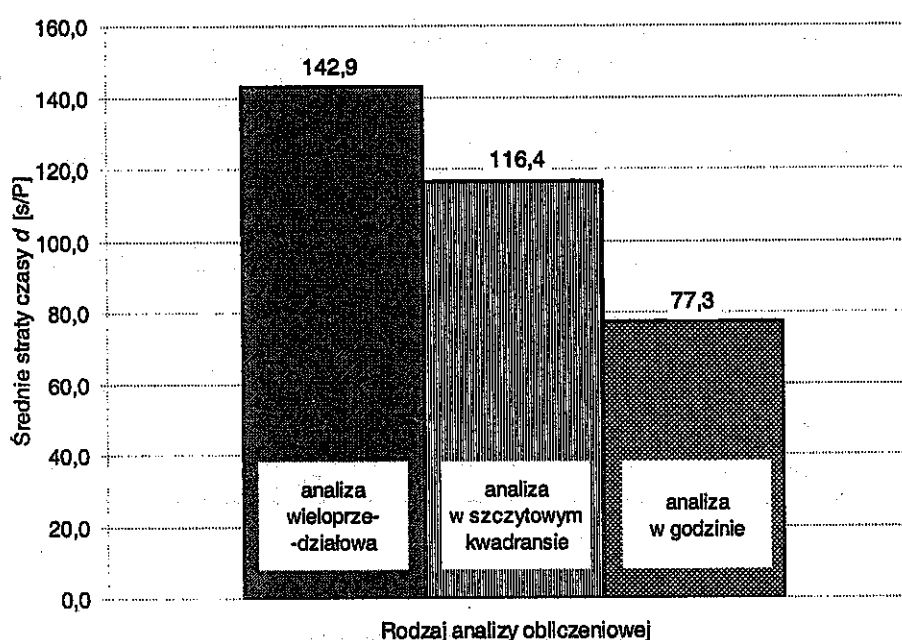
Ostatecznie średnie całkowite straty czasu  $d$  pojazdów dojeżdżających w godzinie można obliczyć jako średnią ważoną ze średnich strat czasu w pojedynczych okresach analizy według wzoru:

$$d = \frac{[860 \cdot 37,6 + 1160 \cdot 116,4 + 1060 \cdot 221,8 + 880 \cdot 185,7]}{[860 + 1160 + 1060 + 880]} = 142,9 \text{ s/P}$$

Podsumowując przykład obliczeniowy, można stwierdzić, że prowadząc analizę opartą na maksymalnym natężeniu w 15-minutowym interwale (podokres II), średnie straty czasu wyniosłyby  $d_{II} = 116,4 \text{ s/P}$ . Z analizy wielopredziałowej w całej godzinie uzyskano znacznie większe średnie straty czasu  $d = 142,9 \text{ s/P}$ , powodowane przeciążeniami w podokresach II i III. Zatem w rozważanym przypadku analiza w szczytowym kwadransie (jednopredziałowa) nie oddaje w wystarczający sposób złych warunków ruchu w dłuższym okresie godziny (podokresy II, III i IV).

Uogólniając, można stwierdzić, że kiedy na końcu szczytowego, przeciążonego kwadransa wystąpi kolejka pojazdów przenosząca się na dalsze okresy analizy jako dodatkowe obciążenie ruchem i w kolejnym podokresie (ew. w następnych) może wystąpić przeciążenie, zaleca się użycie analizy wielopredziałowej dla wyznaczenia faktycznych warunków ruchu, które, jak pokazuje przykład, mogą być znacznie gorsze niż w szczytowym kwadransie. Oczywiście, gdyby w analizowanym przykładzie obliczenia prowadzono dla przedziału  $t_a = 1 \text{ h}$  (rys. 3.1.a), bez uwzględnienia zmienności ruchu wewnątrz godziny, straty czasu wypadłyby wielokrotnie zaniżone (rys. Z1.6).

Na rys. Z1.6 przedstawiono porównanie strat czasu uzyskanych dla opisanego wyżej przykładu, przy założeniu trzech okresów analiz; – okresu godziny (przypadek (a) z rys. 3.1), – okresu szczytowego kwadransa (przypadek (b) z rys. 3.1) oraz – kolejnych czterech 15-minutowych podokresów godziny (analiza wielopredziałowa) (przypadek (c) z rys. 3.1).

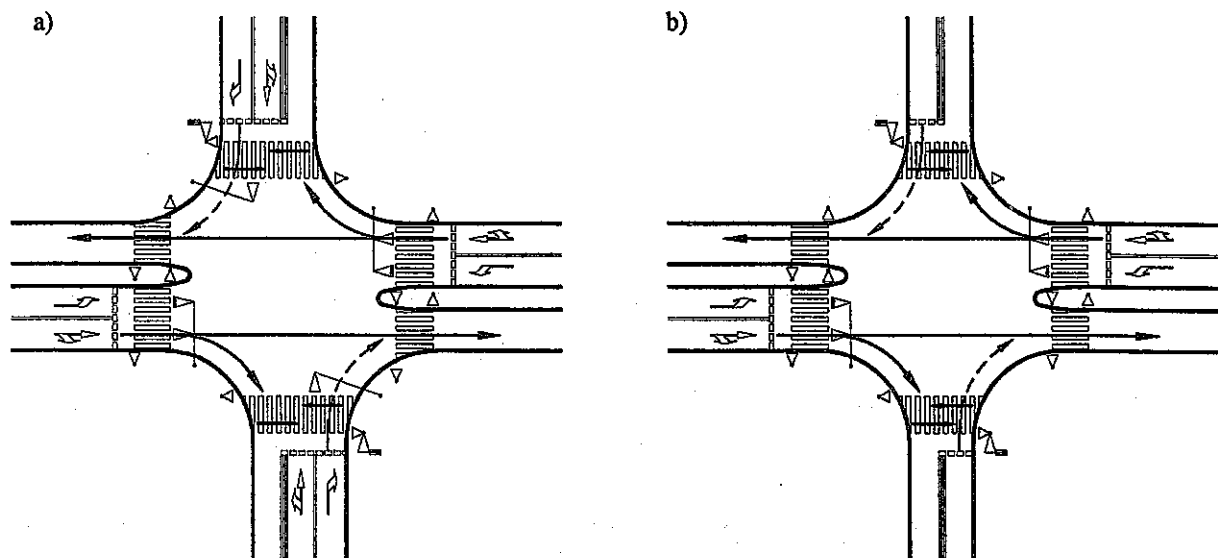


Rys. Z1.6. Porównanie wyników trzech metod analizy średnich strat czasu w godzinie

## Załącznik 2

## Nateżenie nasycenia relacji skrętnej z kolizyjnym ruchem podczas sygnału dopuszczającego skręcanie w kierunku wskazanym strzałką

Opublikowane 23 grudnia 2003 r. Rozporządzenie Ministra Infrastruktury w sprawie szczególnych warunków technicznych dla znaków i sygnałów drogowych oraz urządzeń bezpieczeństwa ruchu drogowego i warunków ich umieszczania na drogach [15] umożliwia stosowanie sygnału dopuszczającego skręcanie w kierunku wskazanym strzałką w czasie, gdy nie występuje kolizja z innymi uczestnikami ruchu. Sygnały drogowe nadawane przez sygnalizatory niespełniające warunków określonych rozporządzeniem [15], umieszczone na drogach przed dniem jego wejścia w życie, w tym sygnał jazdy warunkowej o kolizyjnym przebiegu, powinny być zastąpione sygnalizatorami spełniającymi warunki rozporządzenia [15] w terminie do 31 grudnia 2008 r. Dla umożliwienia prowadzenia analiz takich istniejących rozwiązań (rys. Z2.1) przedstawiono poniżej procedurę obliczeniową.



Legenda:

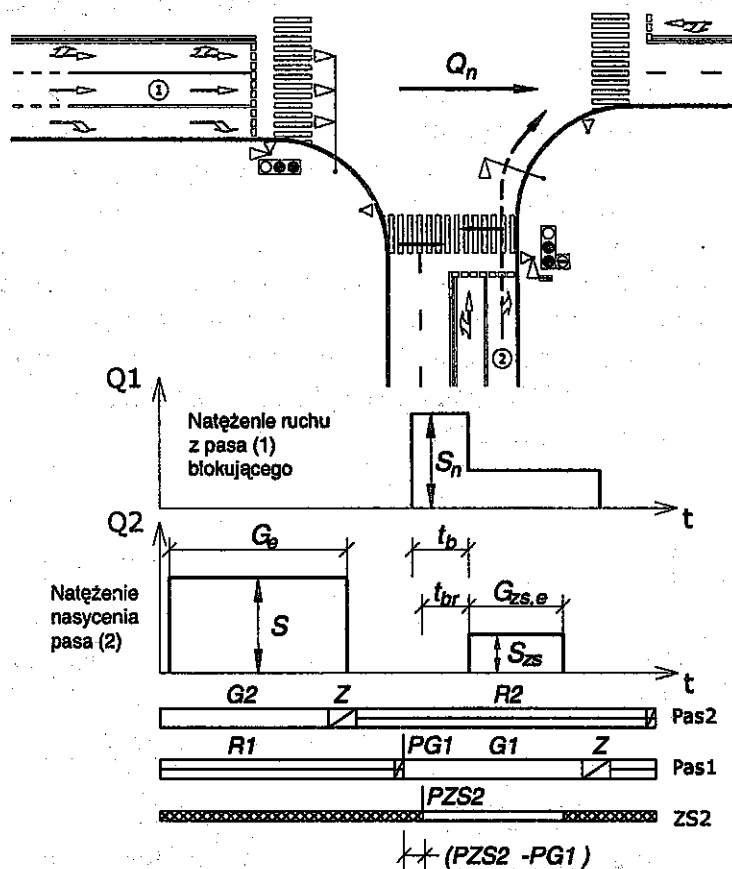
- ▶ ruch pojazdów na sygnale zielonym
- - -▶ ruch pojazdów podczas nadawania sygnału dopuszczającego skręcanie w kierunku wskazanym strzałką
- ↔ ruch pieszych na sygnale zielonym

Rys. Z2.1. Ilustracja wyróżnionych przypadków skrętu w czasie nadawania sygnału dopuszczającego kolizyjne skręcanie w kierunku wskazanym strzałką;  
a) z wydzielonego pasa, b) ze wspólnego pasa

a) Wydzielony pas ruchu ze skrętem w prawo o kolizyjnym przebiegu w czasie nadawania sygnału dopuszczającego skręcanie w kierunku wskazanym strzałką (rys. Z2.1.a)

Na rys. Z2.2 przedstawiony został przypadek działania pasa ruchu w prawo (nr 2) umożliwiający pojazdom skręcającym w prawo warunkowe opuszczanie wlotu podczas sygnału czerwonego w okresie, kiedy jest nadawany sygnał dopuszczający skręcanie w kierunku

wskazany strzałką. W okresie tym pojazdy skręcające w prawo muszą ustępować pierwszeństwa pieszym przechodzącym w poprzek wlotu z rozważanym skretem w prawo oraz pojazdom jadącym na wprost z pasa nr 1.



Rys. Z2.2. Natężenie nasycenia dla relacji w prawo na wydzielonym pasie z sygnałem dopuszczającym skręcanie w kierunku wskazanym strzałką

Zjazd pojazdów skręcających w prawo jest blokowany w okresie  $t_{br}$ , tj. w okresie, kiedy ma miejsce zjazd kolejki pojazdów z pasa nr 1, o natężeniu nasycenia  $S_n$ . Czas  $t_{br}$  jest nieco krótszy od czasu  $t_b$ , w którym ma miejsce zjazd strumienia priorytetowego z natężeniem  $S_n$ , z uwagi na przyjmowane w projektowaniu opóźnienie początku wyświetlania zielonej strzałki (PZS2) w stosunku do początku sygnału zielonego dla pasa nr 1 (PG1).

Czas blokowania  $t_b$  oblicza się ze wzoru:

$$t_b = \frac{Q_n \cdot (T - G_e)}{S_n - Q_n} \quad [s] \quad (Z2.1)$$

gdzie:

- $Q_n, S_n$  – natężenie ruchu [P/h] i natężenie nasycenia [P/hz] na pasie, z którego kolejka blokuje zjazd relacji w prawo w okresie nadawania sygnału dopuszczającego skręcanie w kierunku wskazanym strzałką (na rys. Z2.2 pas nr 1),
- $T$  – cykl sygnalizacji [s],
- $G_e$  – efektywny sygnał zielony dla pasa, z którego strumień blokuje relację w prawo [s] (na rys. Z2.2 pas nr 1).

Czas blokowania  $t_{br}$ , przypadający na okres nadawania sygnału dopuszczającego skręcanie w kierunku wskazanym strzałką, ustala się, biorąc pod uwagę początek sygnału zielonego dla pojazdów strumienia nadrzędnego (z pasa nr 1) –  $PG1$  (rys. Z2.2), moment włączenia zielonej strzałki dla pojazdów skręcających w prawo (z pasa nr 2) –  $PZS2$  oraz obliczony ze wzoru (Z2.1) czas  $t_b$ . Przy powyższych oznaczeniach rzeczywisty czas blokowania  $t_{br}$  ruchu pojazdów skręcających w prawo podczas nadawania sygnału dopuszczającego skręcanie w kierunku wskazanym strzałką można wyliczyć ze wzoru:

$$t_{br} = t_b - (PZS2 - PG1) \quad [s] \quad (Z2.2)$$

pod warunkiem, że  $(PZS2 - PG1) < t_b$ . W przeciwnym razie  $t_{br} = 0$ .

Efektywny sygnał dopuszczający skręcanie w kierunku wskazanym strzałką będzie wynosił:

$$G_{zs,e} = G_{zs} - t_{br} \quad [s] \quad (Z2.3)$$

W niektórych przypadkach, na przykład na skrzyżowaniu trójwlotowym z sygnalizacją dwufazową, zjazdy w prawo z drogi nadrzędnej w okresie wyświetlania zielonej strzałki nie są blokowane przez żaden ze strumieni pojazdów. Wówczas należy przyjąć czas  $t_b = 0$ .

Wartość natężenia nasycenia w okresie efektywnego sygnału dopuszczającego skręcanie w kierunku wskazanym strzałką  $G_{zs,e}$  można wyliczyć z następującego wzoru:

$$S_{zs} = \left( 1500 \cdot e^{-Q'_n/850} - 100 \right) \cdot \left( 1 - \frac{1}{G_e} \cdot \frac{1}{\frac{1500}{QP \cdot T} + 0,024} \right) \cdot \frac{1}{1 + u_c} \quad [P/hz] \quad (Z2.4)$$

gdzie:

- $Q'_n$  – natężenie ruchu pojazdów (z pasa 1 na rys. Z2.2), którym pojazdy relacji w prawo (z pasa 2 na rys. Z2.2) powinny oddać pierwszeństwo, przeliczone na godzinę sygnału zielonego;  $Q'_n = Q_n \cdot T / G_e$  [P/hz],  $G_e$  – sygnał zielony efektywny w fazie ruchu, z której korzysta strumień pojazdów z pasa nr 1,
- $u_c$  – udział pojazdów ciężkich w natężeniu relacji w prawo,
- $QP$  – natężenie pieszych na przejściu zlokalizowanym na wlocie z pasem dla skrętu w prawo nr 2 [Ps/h],
- $T$  – długość cyklu sygnalizacji [s],
- $G_e$  – efektywny sygnał zielony w fazie, w której przechodzą piesi mający pierwszeństwo przed pojazdami skręcającymi w prawo w okresie zielonej strzałki oraz odbywa się ruch pojazdów z pasa nr 1.

Pojazdy z kolejki na pasie nr 1 (rys. Z2.2), zjeżdżając blokują pojazdy skręcające w prawo w okresie nadawania sygnału dopuszczającego skręcanie w kierunku wskazanym strzałką, ponieważ luki czasu pomiędzy pojazdami strumienia blokującego są bardzo krótkie (średnio  $3600/S_w$  – gdzie  $S_w$  jest natężeniem nasycenia pasa na wprost).

Jeżeli pas nr 1 jest pasem wspólnym dla relacji na wprost i skrętnych, to w strumieniu opuszczającym pas nr 1 (w okresie rozładowania kolejki), który blokuje wjazdy z pasa nr 2,

pojawiają się dodatkowe luki wskutek zjazdu pojazdów, które skręcają w prawo lub lewo. Powstające większe luki mogą być wykorzystane przez pojazdy z pasa nr 2. Im większy jest udział na pasie nr 1 pojazdów relacji skrętnych, zwłaszcza kolizyjnych, tym więcej pojazdów może opuścić pas nr 2 podczas zjazdu kolejki z pasa nr 1. W przypadku kiedy na pasie nr 1 jest znaczący udział relacji skrętnych (większy niż 0,20), przyjmuje się, że nie występuje blokowanie skrętów w prawo przez kolejkę pojazdów z pasa nr 1, czyli czas  $t_b = 0$ . Jeśli z pasa nr 1 korzystają pojazdy kolizyjnej relacji w lewo, które mogą blokować ruch na wprost z tego pasa (przy ich udziale  $\leq 0,20$ ), wówczas natężenie nasycenia skrętu w prawo w okresie zielonej strzałki (pas nr 2), obliczone ze wzoru (Z2.4) będzie zaniżone.

Natężenie nasycenia  $S$  analizowanego skrętu w prawo podczas sygnału zielonego należy obliczyć zgodnie z p. 4.4 lub 4.6, w zależności od tego, czy jego przebieg jest bezkolizyjny czy kolizyjny z pieszymi. Natężenie nasycenia skrętu w prawo  $S_{G,zs}$ , z uwzględnieniem ruchu pojazdów podczas sygnału zielonego  $G_e$  i podczas sygnału dopuszczającego skręcanie w kierunku wskazanym strzałką  $G_{zs,e}$ , wyniesie:

$$S_{G,zs} = \frac{S \cdot G_e + S_{zs} \cdot G_{zs,e}}{G_e + G_{zs,e}} \quad [\text{P/hz}] \quad (\text{Z2.5})$$

*Uwaga:* W dalszym toku obliczeń, do wyznaczenia przepustowości wydzielonego pasa dla skrętu w prawo z sygnałem dopuszczającym skręcanie w kierunku wskazanym strzałką, jako sygnał zielony efektywny należy przyjąć sumę sygnałów  $G_e + G_{zs,e}$ .

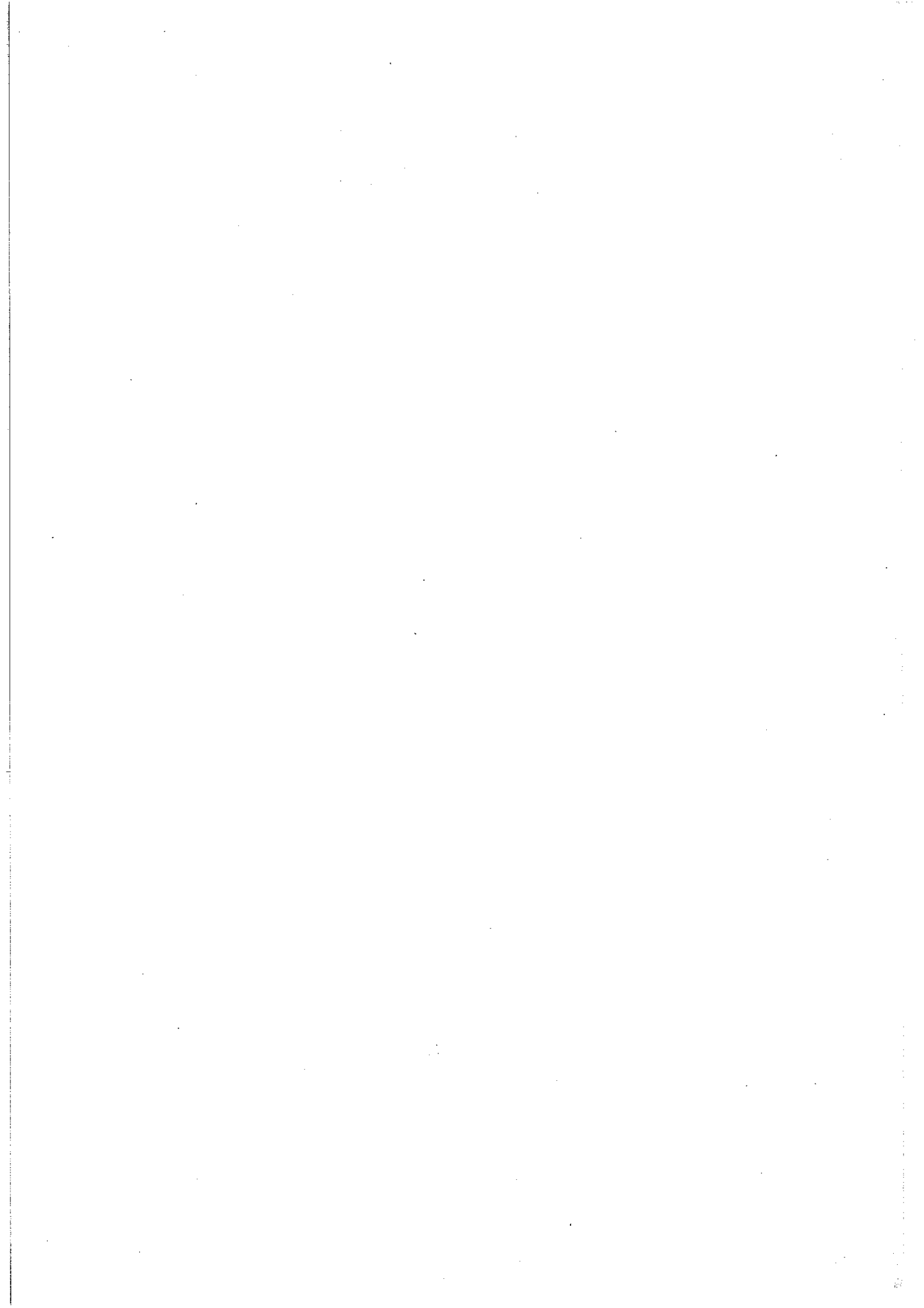
**b) Wspólny pas ruchu ze skrętem w prawo o kolizyjnym przebiegu w czasie nadawania sygnału dopuszczającego skręcanie w kierunku wskazanym strzałką (rys. Z2.1.b)**

Na pasie wspólnym wjazd na skrzyżowanie pojazdów skręcających w prawo w okresie nadawania sygnału dopuszczającego skręcanie w kierunku wskazanym strzałką jest blokowany przez inne relacje, co powoduje, że działanie tego sygnału jest stosunkowo mało efektywne. Jak wykazały badania empiryczne, wpływ strumieni mających pierwszeństwo przejazdu (przejścia) przed pojazdami skręcającymi w czasie nadawania sygnału dopuszczającego skręcanie w kierunku wskazanym strzałką, w przypadku wspólnego pasa można pominąć. W związku z tym liczba pojazdów, które będą mogły zjechać z pasa podczas nadawania sygnału dopuszczającego skręcanie w kierunku wskazanym strzałką, zależy wyłącznie od udziału w ruchu na tym pasie pojazdów skręcających w prawo  $u_p$  oraz od czasu nadawania sygnału dopuszczającego skręcanie w kierunku wskazanym strzałką  $G_{zs}$ .

Poprawkę, o jaką należy w tym przypadku zwiększyć natężenie nasycenia relacji w prawo, z uwagi na pojazdy opuszczające wlot podczas sygnału dopuszczającego skręcanie w kierunku wskazanym strzałką, można obliczyć ze wzoru (4.18), identycznie jak dla relacji skrętnej ze wspólnego pasa o bezkolizyjnym przebiegu. Natężenie nasycenia relacji skrętu w prawo  $S_{G,zs}$ , z uwzględnieniem ruchu pojazdów podczas sygnału zielonego  $G_e$  i podczas sygnału dopuszczającego skręcanie w kierunku wskazanym strzałką  $G_{zs}$ , należy obliczyć wg wzoru (4.19). Tak wyliczone natężenie nasycenia odnosi się do okresu sygnału zielonego ogólnego  $G_e$ .

W obliczeniach można wykorzystać zamieszczony poniżej formularz (F:3ks) – dla przypadku (a) kolizyjnego skrętu w prawo z wydzielonego pasa, lub wykorzystać zamieszczony w rozdz. 8 formularz (F:3s) – dla przypadku (b) kolizyjnego skrętu w prawo ze wspólnego pasa.

OBLICZANIE PRZEPUSTOWOŚCI I OCENA WARUNKÓW RUCHU NA SKRZYŻOWANIU Z SYGNALIZACJĄ ŚWIETLNA				
<b>NATEŻENIE NASYCENIA RELACJI PODCZAS SYGNAŁU DOPUSZCZAJĄCEGO SKRĘCANIE W KIERUNKU WSKAZANYM STRZAŁKĄ</b>			FORMULARZ	<b>3ks</b>
- relacja kolizyjna z wydzielonego pasa ruchu				
Wlot	A	B	C	D
Relacja				
Nateżenie ruchu na pasie, z którego kolejka blokuje zjazd relacji w prawo $Q_n$ [P/h]				
Nateżenie nasycenia na pasie, z którego kolejka blokuje zjazd relacji w prawo $S_n$ [P/h]				
Efektywny sygnał zielony dla potoku nadrzędnego $G_e$ [s]				
Długość cyklu $T$ [s]				
Czas blokowania $t_b$ [s] (wzór (Z2.1))				
Początek sygnału zielonego dla pojazdów strumienia nadrzędnego $PGI$ [s]				
Początek sygnału dopuszczającego skręcanie w kierunku wskazanym strzałką $PZS2$ [s]				
Rzeczywisty czas blokowania $t_{br}$ [s] (wzór (Z2.2))				
Sygnał dopuszczający skręcanie w kierunku wskazanym strzałką $G_{zs}$ [s]				
Efektywny sygnał dopuszczający skręcanie w kierunku wskazanym strzałką $G_{zs,e}$ [s] (wzór (Z2.3))				
Nateżenie ruchu na pasie, z którego kolejka blokuje zjazd relacji w prawo na godzinę sygnału zielonego $Q'_n$ [P/hz]				
Udział pojazdów ciężkich w nateżeniu relacji w prawo $u_c$ [-]				
Nateżenie pieszych na przejściu zlokalizowanym na wlocie z pasem dla skrętu w prawo $QP$ [Ps/h]				
Nateżenia nasycenia w okresie efektywnego sygnału $G_{zs,e}$ $S_{zs}$ [P/hz] (wzór (Z2.4))				
Efektywny sygnał zielony dla skrętu w prawo $G_e$ [s]				
Nateżenie nasycenia pasa ruchu podczas sygnału zielonego $G_e$ dla skrętu w prawo $S_j$ [P/hz] (F: 1 lub F: 2)				
Średnie nateżenie nasycenia w okresie $(G_e + G_{zs,e})$ $G_{G,zs}$ [P/hz] (wzór (Z2.5))				





OBLICZANIE PRZEPUSTOWOŚCI I OCENA WARUNKÓW RUCHU NA SKRZYŻOWANIU Z SYGNALIZACJĄ ŚWIETLNA				
NATEŻENIE NASYCENIA RELACJI PODCZAS SYGNAŁU DOPUSZCZAJĄCEGO SKRĘCANIE W KIERUNKU WSKAZANYM STRZAŁKĄ			FORMULARZ	3ks
- relacja kolizyjna z wydzielonego pasa ruchu				
Włot	A	B	C	D
Relacja				
Nateżenie ruchu na pasie, z którego kolejka blokuje zjazd relacji w prawo $Q_n$ [P/h]				
Nateżenie nasycenia na pasie, z którego kolejka blokuje zjazd relacji w prawo $S_n$ [P/h]				
Efektywny sygnał zielony dla potoku nadrzędnego $G_e$ [s]				
Długość cyklu $T$ [s]				
Czas blokowania $t_b$ [s] (wzór (Z2.1))				
Początek sygnału zielonego dla pojazdów strumienia nadrzędnego $PGI$ [s]				
Początek sygnału dopuszczającego skręcanie w kierunku wskazanym strzałką $PZS2$ [s]				
Rzeczywisty czas blokowania $t_{br}$ [s] (wzór (Z2.2))				
Sygnał dopuszczający skręcanie w kierunku wskazanym strzałką $G_{zs}$ [s]				
Efektywny sygnał dopuszczający skręcanie w kierunku wskazanym strzałką $G_{zs,e}$ [s] (wzór (Z2.3))				
Nateżenie ruchu na pasie, z którego kolejka blokuje zjazd relacji w prawo na godzinę sygnału zielonego $Q'_n$ [P/hz]				
Udział pojazdów ciężkich w nateżeniu relacji w prawo $u_c$ [-]				
Nateżenie pieszych na przejściu zlokalizowanym na włocie z pasem dla skrętu w prawo $QP$ [Ps/h]				
Nateżenia nasycenia w okresie efektywnego sygnału $G_{zs,e}$ $S_{zs}$ [P/hz] (wzór (Z2.4))				
Efektywny sygnał zielony dla skrętu w prawo $G_e$ [s]				
Nateżenie nasycenia pasa ruchu podczas sygnału zielonego $G_e$ dla skrętu w prawo $S_j$ [P/hz] (F: 1 lub F: 2)				
Średnie nateżenie nasycenia w okresie $(G_e + G_{zs,e})$ $S_{G,zs}$ [P/hz] (wzór (Z2.5))				

ISBN 83-86219-44-0