

METODA OBLICZANIA PRZEPUSTOWOŚCI ROND

INSTRUKCJA OBLICZANIA



Warszawa 2004

GENERALNA DYREKCJA DRÓG KRAJOWYCH I AUTOSTRAD
w Warszawie

MOP-R-04

**METODA OBLICZANIA
PRZEPUSTOWOŚCI ROND**

INSTRUKCJA OBLICZANIA

Warszawa 2004

„Metodę obliczania przepustowości rond”
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

Współpraca:

dr hab. inż. Stanisław Gaca
dr inż. Stanisław Gondek
mgr inż. Mariusz Kieć
mgr inż. Remigiusz Wojtal
mgr inż. Krystian Woźniak

Instrukcję zaopiniował:

dr hab. inż. Tadeusz Sandecki, prof. Politechniki Warszawskiej

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: mgr inż. Andrzej Zygmunt

© 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 83-86219-99-8

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.

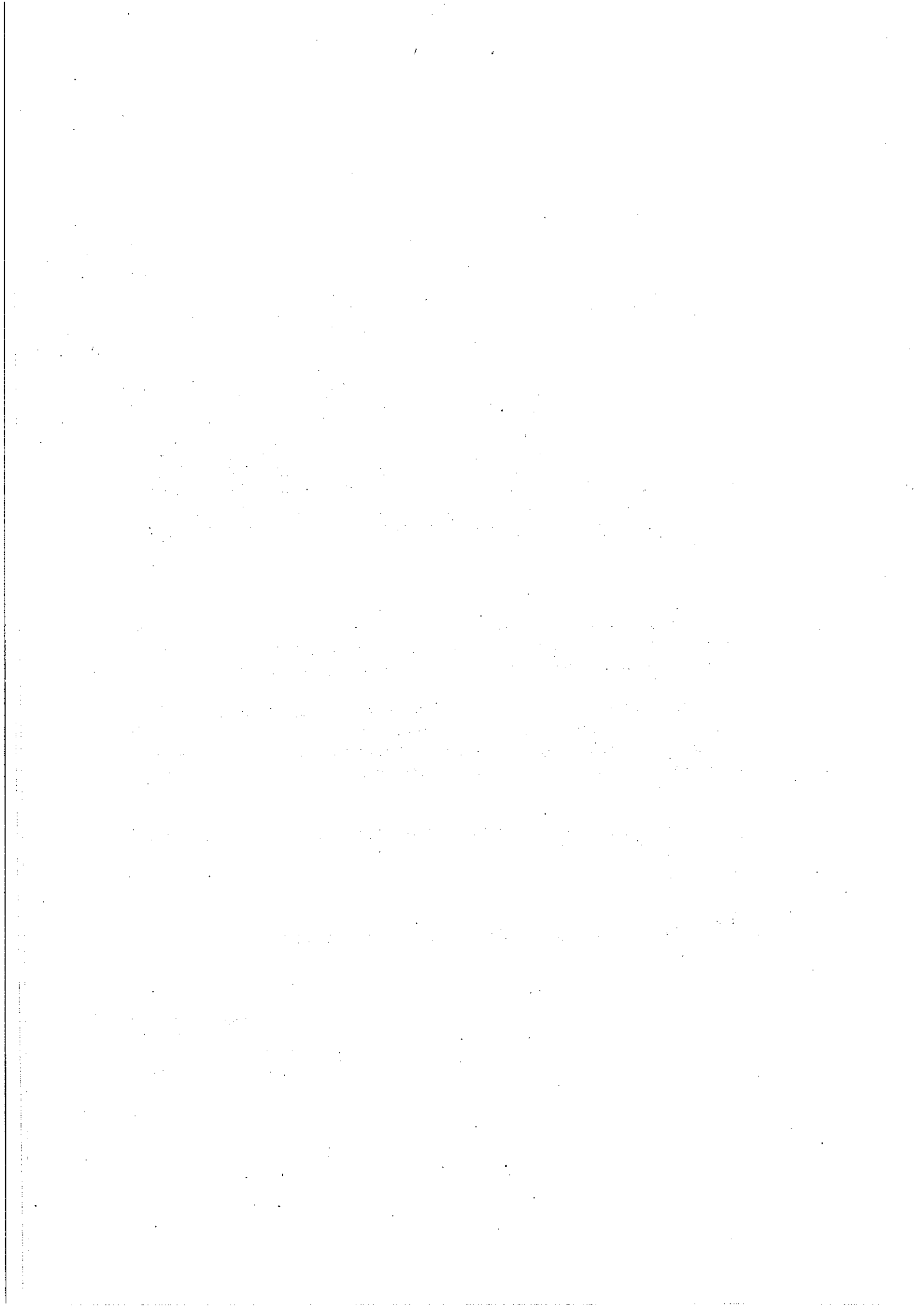
§ 3

Zarządzenie wchodzi w życie z dniem podpisania

GENERALNY DYREKTOR
Dróg Krajowych i Autostrad

mgr Dariusz Skowroński

SPIS TREŚCI

	str.
1. WPROWADZENIE	8
1.1. Zastosowania metody obliczeniowej	8
1.2. Podstawy metody obliczeniowej	8
1.3. Określenia podstawowe	11
1.4. Podstawowe oznaczenia	13
2. METODOLOGIA ANALIZ	15
2.1. Metodologia analiz przepustowości	15
2.2. Metodologia oceny warunków ruchu	17
3. DANE WYJŚCIOWE I USTALENIA DO OBLICZEŃ	19
3.1. Zakres danych do analiz przepustowości i warunków ruchu	19
3.2. Natężenie miarodajne i okres analiz	20
4. PROCEDURA OBLICZANIA PRZEPUSTOWOŚCI	23
4.1. Ustalanie natężenia potoku na jezdni ronda nadrzędnego dla pojazdów z danego wlotu	23
4.2. Dobór granicznych odstępów czasu i odstępów czasu między pojazdami wjeżdżającymi z kolejki na wlocie ronda	24
4.3. Określanie przepustowości wyjściowych wlotów ronda	25
4.3.1. Małe ronda jednopasowe	27
4.3.2. Ronda semi-dwupasowe	28
4.3.3. Ronda dwupasowe	29
4.4. Wpływ pieszych na przepustowość wlotów ronda	30
4.5. Wpływ struktury rodzajowej ruchu na przepustowość wlotów ronda	31
4.6. Określenie przepustowości możliwych wlotów ronda	32
4.7. Przepustowość rzeczywista ronda	33
4.8. Przepustowości rzeczywiste wlotów ronda	34
4.9. Wskaźnik dopuszczalnego wzrostu ruchu na rondzie	34
4.10. Stopień wykorzystania przepustowości wlotu oraz rezerwa przepustowości rzeczywistej wlotu	35
4.11. Przepustowość włączenia pasa ruchu dla skrętu w prawo prowadzonego poza jezdnią ronda	35
5. OCENA WARUNKÓW RUCHU NA WLOTACH RONDA	38
5.1. Klasyfikacja warunków ruchu	38
5.2. Rezerwa przepustowości możliwej i straty czasu pojazdów na wlocie ronda	39
5.3. Określanie poziomu swobody ruchu	41
5.4. Krytyczne natężenia ruchu na wlotach ronda	43
5.5. Miarodajna długość kolejki na wlocie ronda	43



6. ORIENTACYJNE PRZEPUSTOWOŚCI RONDA DO CELÓW PLANISTYCZNYCH	45
7. FORMULARZE OBLICZENIOWE	46
8. PRZYKŁADY OBLICZENIOWE	51
8.1. Przykład nr 1 – Rondo jednopasowe	51
8.2. Przykład nr 2 – Rondo semi-dwupasowe	63
8.3. Przykład nr 3 – Rondo jednopasowe, z pasami dla skrętu w prawo prowa- dzonymi poza jezdnią ronda	69
LITERATURA	76

SPIS TABEL I FORMULARZY

4.1. Graniczne odstępy czasu t_g i odstępy czasu między pojazdami wjeżdżającymi z kolejki t_f dla wlotów rond jednopasowych o różnych średnicach	24
4.2. Schematy obliczeniowe rond z uwzględnieniem ich typów i rozwiązań orga- nizacji ruchu	26
4.3. Współczynniki przeliczeniowe na pojazdy umowne dla wyróżnionych rodza- jów pojazdów	32
5.1. Graniczne wartości średnich strat czasu dla poszczególnych poziomów swo- body ruchu	38
6.1. Przybliżone przepustowości rzeczywiste oraz dopuszczalne natężenia na rondach	45
Formularz 1 – DANE OGÓLNE	47
Formularz 2 – DANE RUCHOWE	48
Formularz 3 – OBLICZENIE PRZEPUSTOWOŚCI I OCENA WARUN- KÓW RUCHU WLOTÓW RONDA	49
Formularz 3a – OBLICZENIE PRZEPUSTOWOŚCI RZECZYWISTEJ RONDA	50

SPIS RYSUNKÓW

1.1. Schematy geometryczne rond: a), b) małe jednopasowe, c) semi-dwupasowe, d) średnie dwupasowe, e) średnie spiralne, f) małe z pasem dla relacji w prawo poza rondem (mogą być także dwupasowe)	9
1.2. Ilustracja geometrycznych i ruchowych parametrów ronda	10
2.1. Schemat obliczania przepustowości ronda	16
2.2. Schemat określania warunków ruchu na wlotach ronda	18

3.1. Oznaczenia wlotów oraz poszczególnych relacji ruchu kołowego i pieszego na przykładzie ronda o czterech wlotach	20
4.1. Zasada obliczania natężenia potoku nadrzędnego na jezdni ronda Q_{nwl} dla potoku pojazdów z danego wlotu wl na przykładzie wlotu A	23
4.2. Przepustowości wyjściowe wlotu małego ronda jednopasowego	27
4.3. Przepustowości wyjściowe wlotu ronda semi-dwupasowego	28
4.4. Przepustowości wyjściowe wlotu ronda dwupasowego	29
4.5. Współczynnik korygujący, uwzględniający wpływ blokowania ruchu pojazdów przez pieszych na rondach jednopasowych i jednopasowych wlotach rond semi-dwupasowych	30
4.6. Współczynnik korygujący, uwzględniający wpływ blokowania ruchu pojazdów przez pieszych na rondach dwupasowych i dwupasowych wlotach rond semi-dwupasowych	31
4.7. Natężenie potoku nadrzędnego dla skrętu w prawo prowadzonego poza jezdnią ronda	36
4.8. Przepustowość możliwa pasa skrętu w prawo prowadzonego poza jezdnią ronda	37
5.1. Wykres do wyznaczania średnich strat czasu na wlocie ronda przy okresie analizy $t_a = 1,00$ h	40
5.2. Wykres do wyznaczania średnich strat czasu na wlocie ronda przy okresie analizy $t_a = 0,25$ h	40
5.3. Wykres do wyznaczania PSR oraz krytycznej wartości rezerwy przepustowości możliwej ΔC_{kmwl}^i na wlocie ronda przy okresie analizy $t_a = 1,00$ h	42
5.4. Wykres do wyznaczania PSR oraz krytycznej wartości rezerwy przepustowości możliwej ΔC_{kmwl}^i na wlocie ronda przy okresie analizy $t_a = 0,25$ h	42
8.1. Szkic skrzyżowania do przykładu nr 1	51
8.2. Szkic skrzyżowania do przykładu nr 2	63
8.3. Szkic skrzyżowania do przykładu nr 3	69

1. WPROWADZENIE

1.1. Zastosowania metody obliczeniowej

Przedmiotem instrukcji jest metoda obliczania przepustowości i oceny warunków ruchu na wlotach trzy-, cztero- i pięciowłotowych rond zlokalizowanych na terenach zabudowy i poza nimi.

Instrukcja umożliwia obliczenie przepustowości i ocenę warunków ruchu na rondzie małym albo średnim [14], zlokalizowanym na terenie zabudowy lub poza nim, z wlotami podporządkowanymi znakami: A-7 „ustęp pierwszeństwa” i C-12 „ruch okrężny”. W odniesieniu do rond dużych, dwupasowych metoda dotyczy wyłącznie obliczania przepustowości wlotów.

Możliwe jest obliczanie przepustowości i analizy warunków ruchu na rondzie:

- jednopasowym (rys. 1.1.a, b, f), o jednym pasie ruchu na każdym z wlotów i jednym pasie ruchu na jezdni ronda,
- dwupasowym, o co najmniej jednym wlocie z dwoma pasami ruchu, oraz o takiej szerokości jezdni ronda, która umożliwi równoległe poruszanie się po niej dwóch pojazdów, bez wyznaczonych pasów ruchu na jezdni ronda – zwanym dalej „rondem semi-dwupasowym” (rys. 1.1.c) lub z wyznaczonymi znakami poziomymi pasami ruchu na jezdni ronda – zwanym dalej „rondem dwupasowym” (rys. 1.1.d).

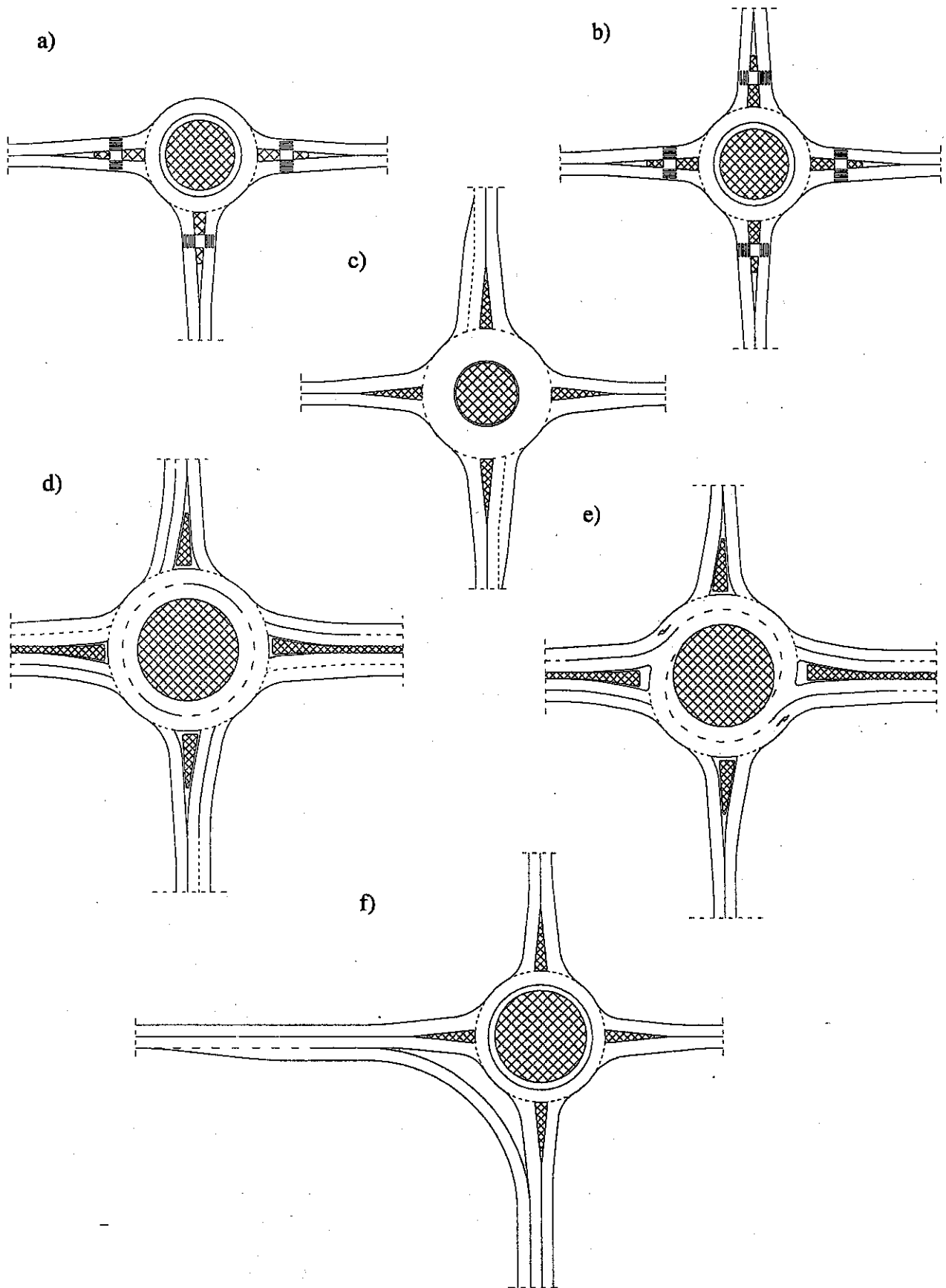
Metoda zawarta w instrukcji pozwala na obliczenie przepustowości i ocenę warunków ruchu dla istniejącego ronda, a także na etapie planowania lub projektowania nowego, jak i przebudowywanego ronda.

Instrukcja nie jest przystosowana do analizy sprawności ruchowej mini ronda [14] oraz tzw. ronda spiralnego (rys. 1.1.d) o wlotach jedno- i dwupasowych oraz o zmiennej liczbie pasów ruchu na rondzie – jednym lub dwóch.

Stosowanie instrukcji do analizy ronda położonego w sąsiedztwie skrzyżowania z sygnalizacją świetlną, sterowanego przejazdu kolejowego, a także w przypadku bardzo dużych natężeń ruchu pieszych (powyżej 400 Ps/h) na wlotach może dać wyniki odbiegające od rzeczywistych wartości przepustowości oraz miar warunków ruchu. W takich przypadkach można stosować szczególne procedury postępowania, np. metody symulacyjne.

1.2. Podstawy metody obliczeniowej

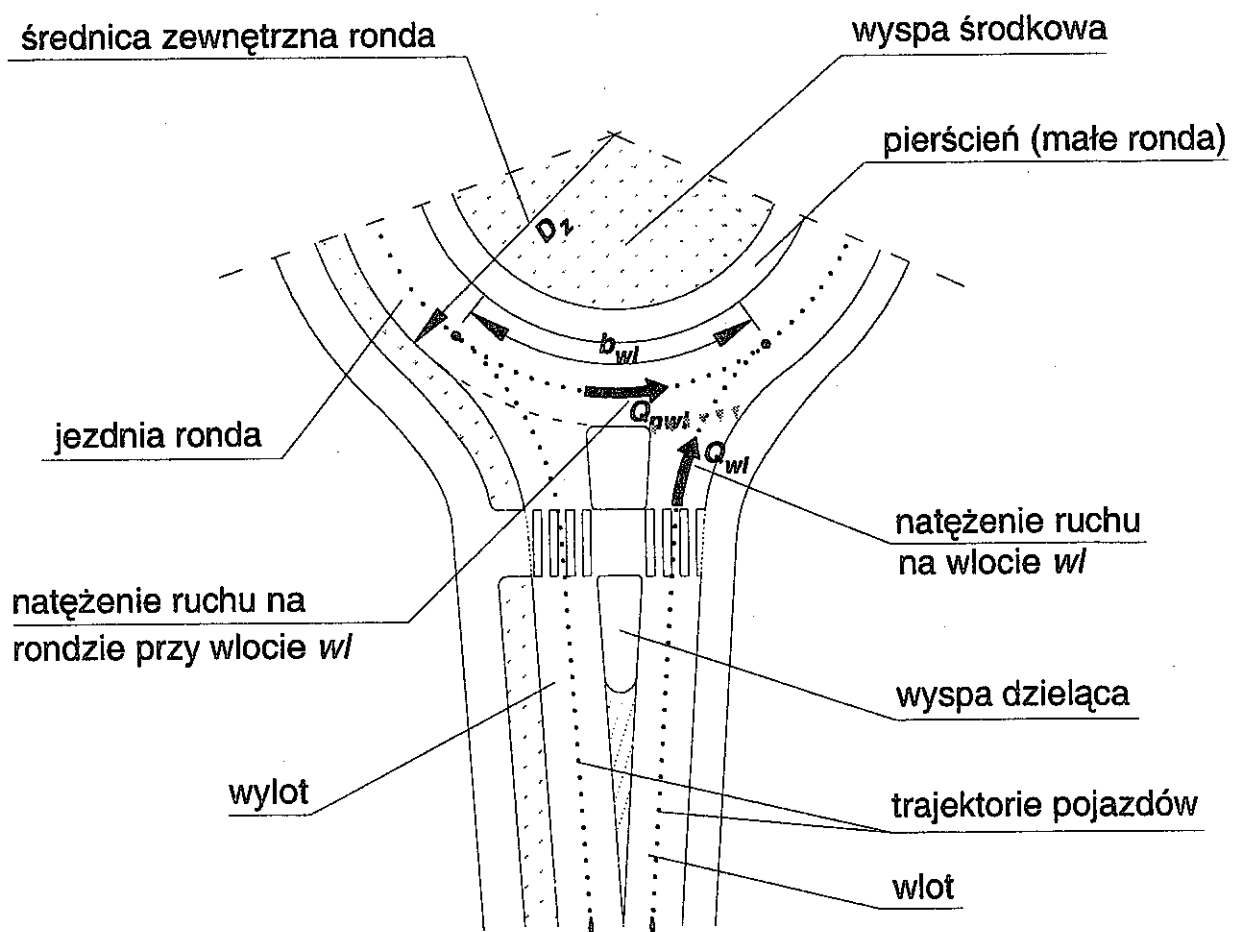
Na rondach mini, małych i średnich projektowanych według wytycznych [14], a także na występujących w kraju rondach dużych, których wytyczne [14] nie zalecają projektować, pojazdy z wlotów podporządkowanych ronda włączają się do nadrzędnego potoku pojazdów na jezdni ronda o jednym lub dwóch pasach ruchu. Decydujący wpływ na przepustowość podporządkowanego wlotu jednopasowego lub dwupasowego mają wielkości natężenia Q_{nwl} potoku ruchu na rondzie – nadrzędnego dla pojazdów z danego wlotu lub pasa wlotu ronda, granicznego odstępu czasu t_g i odstępu czasu t_f między pojazdami podporządkowanymi wjeżdżającymi z kolejki na wlocie ronda. Do potoku nadrzędnego na rondzie, w odróżnieniu od skrzyżowań zwykłych i skanalizowanych, nie wlicza się natężeń ruchu relacji mogących oddziaływać na reakcje kierujących pojazdami z danego wlotu ronda, a nie wchodzących z nimi w kolizję, czyli pojazdów zjeżdżających wylotem przyległym do danego wlotu. Wpływ tych relacji jest zależny od odległości b_{wl} pomiędzy punktem wyłączenia z potoku na rondzie strumienia kierującego się do wylotu oraz punktem włączania się strumienia wjeżdżającego z danego wlotu (rys. 1.2). Wpływ ten uwzględniany jest przez wartości granicznego odstępu czasu t_g i odstępu czasu t_f .



Rys. 1.1. Schematy geometryczne rond: a, b) małe jednopasowe, c) semi-dwupasowe, d) średnie dwupasowe, e) średnie spiralne, f) małe z pasem dla relacji w prawo poza rondem (mogą być także dwupasowe)

Metoda analizy rond zlokalizowanych na terenach zabudowy oraz poza tymi terenami jest generalnie taka sama, pomimo iż ruch w warunkach miejskich ma nieco inną charakterystykę niż na rondach poza terenami zabudowy. Dotyczy to wahań natężeń ruchu i nieco innej struktury rodzajowej ruchu, niższych prędkości przy dojeździe do ronda, przejazdów i przystanków pojazdów miejskiej komunikacji zbiorowej oraz obecności pieszych. Niektóre z tych czynników są uwzględniane w obliczeniach przez zastosowanie odpowiednich współczynników korygujących.

W obliczeniach przepustowości przedmiotowych rond już dość dawno zarzucono opis funkcjonowania odcinków pomiędzy wlotem a następującym po nim wylotem w formie przeplatania, które w rzeczywistości może mieć miejsce tylko na rondach o bardzo dużych średnicach rzadko występujących i niezalecanych do projektowania w Polsce. Ronda małe i średnie, które występują w Polsce, funkcjonują jako zespół kilku skrzyżowań z pierwszeństwem przejazdu, gdzie relacją nadrzędną jest potok na rondzie przed danym wlotem, a podporządkowaną potok z wlotu ronda.



Rys. 1.2. Ilustracja geometrycznych i ruchowych parametrów ronda

W obecnej metodyce obliczeń przepustowości [3, 4, 9] jako podstawową wielkość, wyjściową do dalszych obliczeń, wyznacza się przepustowość każdego z wlotów na rondzie. Z tymi wartościami należy porównywać obliczeniowe natężenia ruchu dla określenia warunków ruchu pojazdów na danym wlocie. Przepustowość wlotu warunkowana jest m.in. strukturą kierunkową ruchu. Dla danej struktury ruchu na wlocie oraz proporcji natężeń ruchu z poszczególnych wlotów można, przy ustalonym poziomie natężeń ruchu na innych wlotach, wyznaczyć *przepustowość możliwą analizowanego wlotu*. Jest to wartość informująca, jak duży potok pojazdów mógłby wjechać z danego wlotu przy założonych wartościach natężeń ruchu z innych

włotów – tworzących potok nadrzędny dla danego wlotu. Wartość przepustowości możliwej wlotu jest wykorzystywana następnie do dwóch celów: do obliczania mierników warunków ruchu na wlocie przy istniejącym natężeniu ruchu oraz do obliczania przepustowości rzeczywistej ronda w drodze iteracji.

Przepustowość rzeczywista danego wlotu – jest to natężenie ruchu na wlocie występujące w sytuacji, kiedy przy równomiernym wzroście natężeń na wszystkich wlotach (stała struktura kierunkowa i proporcje pomiędzy wlotami) wyczerpie się przepustowość jednego z wlotów ronda. Suma natężeń ruchu na wlotach obliczona w tej sytuacji jest określana jako **przepustowość rzeczywista ronda**. Te dwie wartości przepustowości mają znaczenie praktyczne przy ocenie możliwości wzrostu natężenia ruchu na wlotach ronda.

Przy wzroście natężeń ruchu w okresie obliczeniowym powyżej wartości przepustowości rzeczywistej następuje wymuszona zmiana proporcji natężeń pomiędzy wlotami i w stanie nasycenia ronda (obecność kolejek na wszystkich wlotach ronda) suma natężeń na wlotach jest utożsamiana z **przepustowością maksymalną ronda**. W praktyce nie musi to oznaczać zmiany struktury kierunkowej ruchu i proporcji natężeń pomiędzy wlotami pojazdów w dłuższym okresie czasu (czyli zmian tras przejazdu pojazdów), lecz dłuższe czasy oczekiwania na zjazd kierowców niektórych relacji (z wlotów przeciążonych). Wartość przepustowości maksymalnej nie powinna być wykorzystywana w procesie projektowania geometrii i dlatego nie jest objęta metodą obliczeniową.

W obliczeniach przepustowości wlotów ronda oprócz uwzględniania wartości natężenia nadrzędnego Q_{nwl} , granicznego odstępu czasu t_g i odstępu czasu t_f między pojazdami podporządkowanymi wjeżdżającymi z kolejki na wlocie, uwzględnia się także strukturę rodzajową oraz wpływ natężenia ruchu pieszego utrudniającego wykorzystywanie większych odstępów czasu w nadrzędnym potoku pojazdów na rondzie przez pojazdy z kolejki.

Warunki ruchu na poszczególnych pasach oraz wlotach podporządkowanych ronda, opisywane za pomocą poziomów swobody ruchu, ustala się na podstawie średnich strat czasu, jakie ponoszą pojazdy przy przejeździe ronda.

Zawarte w instrukcji procedury obliczeniowe, w zakresie zastosowanych oznaczeń, dostosowane zostały głównie do rozwiązań rond o trzech i o czterech wlotach. Dla rond o pięciu wlotach potrzebne jest w tym względzie indywidualne podejście.

Metodyka obliczania przepustowości i oceny warunków ruchu na wlotach rond opracowana została na podstawie wyników empirycznych i analitycznych badań zagranicznych, badań wyrynkowych prowadzonych w kraju i badań przeprowadzonych przez Autorów głównie do celów tej instrukcji na rondach jednopasowych i kilku dwupasowych. Niewielka liczba rond semi-dwupasowych i dwupasowych funkcjonujących w naszym kraju w różnych lokalizacjach i warunkach spowodowała, że zakres danych leżących u podstaw opracowywania procedur obliczeniowych jest mały i stąd mogą w praktyce wystąpić pewne różnice pomiędzy pomierzonymi i obliczonymi wartościami.

1.3. Określenia podstawowe

Przepustowość wyjściowa wlotu (C_{owl}) – natężenie potoku pojazdów wjeżdżających na rondo przy pełnym nasyceniu wlotu ruchem i wykorzystaniu wszystkich możliwych do zaakceptowania odstępów czasu w potoku nadrzędnym o natężeniu Q_{nwl} przez pojazdy z danego wlotu, w umownych, wyjściowych warunkach ruchowo-geometrycznych ronda (bez wpływu pieszych i struktury rodzajowej ruchu).

Przepustowość możliwa wlotu (C_{mwl}) – natężenie potoku pojazdów wjeżdżających na

rondo przy pełnym nasyceniu wlotu ruchem i wykorzystaniu wszystkich możliwych do zaakceptowania odstępów czasu w potoku nadrzędnym o natężeniu Q_{nwl} przez pojazdy z danego wlotu, w rzeczywistych warunkach ruchu na wlocie.

Przepustowość rzeczywista ronda (C_{rr}) – suma natężeń ruchu na wlotach ronda występujących w sytuacji, kiedy przy równomiernym wzroście natężeń na wszystkich wlotach (stała struktura kierunkowa i proporcje pomiędzy wlotami) wyczerpie się przepustowość jednego z wlotów.

Przepustowość rzeczywista wlotu (C_{rwl}) – natężenie potoku pojazdów wjeżdżających z danego wlotu wl na rondo określone w sytuacji, kiedy przy równomiernym wzroście natężeń na wszystkich wlotach ronda (stała struktura kierunkowa i proporcje pomiędzy wlotami) wyczerpie się przepustowość jednego z wlotów.

Stopień wykorzystania przepustowości (ρ_{wl}) – stosunek natężenia ruchu Q_{wl} do przepustowości rzeczywistej C_{rwl} , określany dla danego wlotu.

Poziomy swobody ruchu (PSR_i) – stany określające w sposób umowny warunki ruchu pomiędzy ruchem swobodnym a ruchem na granicy nasycenia (gdy natężenie równe jest przepustowości), wyznaczane z wykorzystaniem średnich strat czasu pojazdów. PSR_i (dla $i = I \div IV$) określa się dla wlotów na rondo.

Natężenie krytyczne (Q_{kwl}^i) – natężenie ruchu, którego przekroczenie powoduje zmianę poziomu swobody ruchu (na poziom $i+1$, dla $i = I \div III$) na wlocie ronda.

Rezerwa przepustowości możliwej wlotu (ΔC_{mwl}) – różnica między przepustowością możliwą wlotu ronda C_{mwl} i panującym na nim natężeniem ruchu Q_{wl} .

Wskaźnik dopuszczalnego wzrostu ruchu na rondzie (w_{rr}) – możliwy, procentowy przyrost natężenia ruchu na rondzie do osiągnięcia przepustowości rzeczywistej ronda C_{rr} .

Graniczny odstęp czasu dla pojazdów z wlotu ronda (t_g) – jest to taka wielkość odstęp czasu między pojazdami w potoku nadrzędnym pojazdów na rondzie, że każdy odstęp o wielkości równej lub większej zostanie wykorzystany do wykonania manewru wjazdu na jezdnię ronda przez przeciętnego kierowcę, zaś każdy odstęp o wielkości mniejszej (uniemożliwiającej wykonanie zamierzonego manewru) nie będzie mógł być wykorzystany.

Odstęp czasu między pojazdami wjeżdżającymi z kolejki (t_f) – odstęp czasu między pojazdami wjeżdżającymi na rondo z kolejki na wlocie, w sytuacji gdy w potoku nadrzędnym na jezdni ronda wystąpił odstęp czasu umożliwiający wjazd więcej niż jednego pojazdu.

Natężenie potoku na jezdni ronda nadrzędnego dla pojazdów z danego wlotu ronda (Q_{nwl}) – suma natężeń ruchu wszystkich relacji, wchodzących w skład potoku na rondzie przy danym wlocie, mających pierwszeństwo i równocześnie kolidujących z potokiem pojazdów wjeżdżających z tego wlotu.

Strata czasu – dodatkowy czas – w stosunku do czasu swobodnego przejazdu (bez zatrzymania na wlocie) – potrzebny na przejechanie ronda, związany z opóźnieniem przy dojeździe do kolejki oraz oczekiwaniem pojazdu w kolejce.

Średnie straty czasu przypadające na pojazd (d_{wl}) – straty czasu, jakie przeciętnie ponosi każdy z pojazdów wjeżdżających na rondo z danego wlotu w okresie analizy (z uwzględnieniem pojazdów, które przejeżdżają bez zatrzymania).

1.4. Podstawowe oznaczenia

Oznaczenia parametrów stosowanych w procedurze wyznaczania przepustowości:

- A, B, C, D – symbole wlotów ronda w kolejności zgodnej z ruchem wskazówek zegara.
Zaleca się oznaczać wloty rozpoczynając od wlotu północnego,
- AB, AC, AD, ... – oznaczenia relacji ruchowych między wlotami, np. AB – relacja z wlotu A do wlotu B, AA – relacja zawracania z wlotu A do wlotu A (por. rys. 3.1),
- APs, BPs, CPs, DPs – symbole przejść dla pieszych, odpowiednio na wlotach A, B, C i D,
- P/h, E/h – wielkość natężenia ruchu wyrażona w pojazdach rzeczywistych na godzinę lub w jednostkach umownych (samochodach osobowych) na godzinę,
- N – liczba wlotów na rondzie [-],
- D_z – średnica zewnętrzna ronda [m],
- t_a – okres analizy [h],
- Q_{owl} – natężenie ruchu na jezdni ronda przy wlocie wl , nadrzędnego dla pojazdów z wlotu ronda wl [P/h], [E/h],
- Q_r – natężenie ruchu relacji r [P/h], [E/h],
- Q_{wl} – natężenie ruchu na wlocie wl ronda ($wl = A, B, C, D$) [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],
- k_{15} – wskaźnik zmienności natężenia ruchu w godzinie [-],
- q_{15}^{\max} – natężenie ruchu w szczytowym kwadransie analizowanej godziny [P/15 min],
- Q_{wlPs} – natężenie ruchu pieszego na przejściu dla pieszych na wlocie wl [Ps/h],
- C_{owl} – przepustowość wyjściowa wlotu wl ronda [E/h],
- C_{mwl} – przepustowość możliwa wlotu wl ronda [P/h], [E/h],
- C_{rwl} – przepustowość rzeczywista wlotu wl ronda [P/h], [E/h],
- C_{rr} – przepustowość rzeczywista ronda [P/h],
- ΔC_{rwl} – rezerwa przepustowości rzeczywistej wlotu wl ronda [P/h],
- ΔC_{mwl} – rezerwa przepustowości możliwej na wlocie wl ronda [E/h],
- w_{rr} – wskaźnik dopuszczalnego wzrostu ruchu na rondzie [%],
- ρ_{wl} – stopień wykorzystania przepustowości wlotu wl ronda [-],
- t_g – graniczny odstęp czasu [s],

- t_f – odstęp czasu między pojazdami wjeżdżającymi z kolejki z wlotu podporządkowanego [s],
- f_p – współczynnik korygujący, uwzględniający wpływ blokowania ruchu pojazdów przez pieszych [-],
- E_c, E_{cp}, E_{mr} – współczynniki przeliczeniowe; odpowiednio samochodu ciężarowego i autobusu – c , samochodu ciężarowego z przyczepą (naczepą) i autobusu przegubowego – cp oraz motocykla i roweru – mr na pojazd umowny (samochód osobowy),
- u_c, u_{cp}, u_{mr} – udziały pojazdów poszczególnych rodzajów jw. w natężeniu ruchu [-],
- f_c – współczynnik korygujący, uwzględniający wpływ struktury rodzajowej ruchu [-],
- m_{wl} – procentowy udział potoku z wlotu wl w sumarycznym potoku pojazdów wjeżdżających na rondo ze wszystkich wlotów [%],
- m_l – udział pojazdów wjeżdżających na rondo z lewego pasa dwupasowego wlotu ronda semi-dwupasowego [-],

Oznaczenia parametrów stosowanych w analizie warunków ruchu:

- PSR_i – poziom swobody ruchu, $i = I, II, III, IV$,
- d_{wl} – średnia strata czasu pojazdów wjeżdżających na skrzyżowanie z wlotu wl [s/P],
- ΔC_{kmwl}^i – krytyczna rezerwa przepustowości możliwej wlotu wl dla poziomu swobody ruchu i [P/h],
- Q_{kwl}^i – natężenie krytyczne na wlocie wl dla poziomu swobody ruchu i (dla $i = I \div III$) [P/h], [E/h],
- K_{wl}^m – miarodajna długość kolejki dla wlotu wl ronda [P],
- L_K – zasięg kolejki [m],
- l_p – przeciętna długość stanowiska pojazdu w kolejce [m],
- l_l, l_c – średnie długości w kolejce pojazdów lekkiego i ciężkiego [m].

2. METODOLOGIA ANALIZ

2.1. Metodologia analiz przepustowości

Sposób prowadzenia obliczeń przepustowości opiera się na następujących założeniach:

- a) metodyka analiz przepustowości wlotów i ocena warunków ruchu odnosi się do rond klasyfikowanych według [14] jako małe i średnie, działających jako zespół skrzyżowań z pierwszeństwem przejazdu określonym za pomocą znaków drogowych: A-7 „ustęp pierwszeństwa” i C-12 „ruch okrężny”. Nie dotyczy ona rond o bardzo dużych średnicach, które mogą funkcjonować z przeplataniem strumieni ruchu na odcinkach pomiędzy kolejnym wlotem a wylotem, mini rond ani skrzyżowań z wyspą centralną eksploatowanych bez sygnalizacji świetlnej;
- b) przepustowość wlotu ronda zależy przede wszystkim od:
 - natężenia potoku na jezdni ronda Q_{nwl} nadrzędnego dla pojazdów z danego wlotu wl ronda (określającego możliwości wjazdu na jezdnię ronda pojazdów z wlotu ronda),
 - granicznego odstępu czasu t_g dla pojazdów z wlotu ronda (określającego podejmowane decyzje oraz uwzględniającego wpływ potoku pojazdów zjeżdżających wylotem poprzedzającym wlot na proces akceptacji luk na wlocie ronda),
 - odstępu czasu t_f między pojazdami wjeżdżającymi z kolejki z wlotu ronda w sytuacji, gdy w potoku nadrzędnym na jezdni ronda wystąpił odstęp czasu umożliwiający wjazd więcej niż jednego pojazdu;
- c) w przyjętych umownie tzw. warunkach wyjściowych określana jest przepustowość wyjściowa C_{owl} każdego wlotu ronda jednopasowego lub dwupasowego, z pominięciem relacji w prawo prowadzonej poza jezdnię ronda (rys. 1.1.f);
- d) piesi przechodzący przez jezdnię na wlocie ronda ograniczają możliwość wykorzystania przez pojazdy z wlotu ronda części luk czasu, a zwłaszcza dużych luk pomiędzy pojazdami w potoku nadrzędnym na jezdni ronda;
- e) przepustowość wlotu obniżają duże i długie pojazdy, tj. samochody ciężarowe i autobusy z uwagi na swoją długość i szerokość oraz „ciasną” geometrię ronda (szerokości jezdni ronda, wlotów i wylotów oraz promienie wyokrągłeń narożników);
- f) przepustowość poszczególnych wlotów ronda i całego ronda zależy od proporcji natężeń ruchu pojazdów wjeżdżających na rondo z poszczególnych wlotów, wielkości natężeń ruchu kołowego i pieszego oraz struktury kierunkowej ruchu kołowego na wlotach. Na rondzie występuje zamknięty pierścień powiązań; wielkości natężeń strumieni, które mogą wjechać z poszczególnych wlotów na jezdnię ronda, zależą od natężeń potoku nadrzędnego na jezdni ronda, a ten powstaje z potoków ruchu wjeżdżających z poszczególnych wlotów. Fakt ten uwzględnia w obliczeniach przepustowości rzeczywistej ronda procedura iteracyjna;
- g) przepustowość wlotu ronda o dwóch pasach ruchu zależy od przepustowości poszczególnych pasów, których funkcjonowanie jest wzajemnie silnie powiązane. Wzajemne oddziaływanie pasów ruchu na wlocie ronda związane jest z ograniczaniem widoczności z pasa prawego na wlocie przez pojazdy na pasie lewym, z którego pojazdy wjeżdżają na pas bliższy wyspie środkowej ronda, oraz z możliwością wjeżdżania pojazdów z pasa prawego „w cieniu” pojazdów wjeżdżających z pasa lewego;
- h) na jezdni ronda dwupasowego z wyznaczonymi pasami ruchu pojazdy poruszają się równolegle dwoma pasami. Zjazd w prawo jest możliwy z pasa zewnętrznego, a także z pasa wewnętrznego, jeśli oznakowanie poziome, tj. linia ciągła na wysokości wylotu, nie wyklucza takiej możliwości. Przy zastosowaniu linii ciągłej pojazd z pasa wewnętrznego powinien wcześniej (przed wylotem) zjechać na prawy pas. Na jezdni ronda semi-dwupas-

wego pojazdy zależnie od ich gabarytu i od średnicy ronda mogą się poruszać równolegle dwoma strumieniami lub jednym strumieniem i zjeżdżają z ronda wylotem na ogół jednopasowym.

Przy uwzględnieniu powyższych założeń przyjęto następujący schemat obliczania przepustowości (rys. 2.1):

I. Określenie danych dotyczących:

- typu ronda: jednopasowe, semi-dwupasowe, dwupasowe,
- geometrii ronda i jego wlotów z uwzględnieniem możliwości prowadzenia relacji w prawo poza jezdnią ronda (ta możliwość dotyczy wszystkich rond),
- natężeń ruchu wraz ze strukturą rodzajową, proporcjami pomiędzy wlotami i strukturą kierunkową na wlotach, natężeń ruchu pieszego – dostosowanych do obliczeń.

II. Wybór schematu obliczeniowego adekwatnego do typu i rozwiązania ronda:

- II.A. Małe rondo jednopasowe
- II.B. Rondo semi-dwupasowe z wlotami: 1-pasowymi, 2-pasowymi,
- II.C. Rondo dwupasowe z możliwością zjazdu z ronda: z jednego pasa, z dwóch pasów,
- II.AP, II.BP, IICP. Ronda z pasem lub pasami dla skrętów w prawo poza jezdnią ronda.

III.a Ustalenie natężenia relacji nadrzędnych na rondzie dla każdego z wlotów

III.b^{*)} Ustalenie granicznego odstępu czasu t_g oraz odstępu czasu między pojazdami wjeżdżającymi z kolejki t_f

IV. Obliczenie przepustowości wyjściowych wlotów ronda według wybranej procedury obliczeniowej

V. Określenie wpływu pieszych oraz struktury rodzajowej ruchu

VI. Obliczenie przepustowości możliwych poszczególnych wlotów

VII. Obliczenie przepustowości rzeczywistej ronda

VIII. Obliczenie przepustowości rzeczywistych poszczególnych wlotów

IX. Ocena wykorzystania przepustowości ronda oraz dopuszczalnego wzrostu ruchu

^{*)} Jeżeli dla wyznaczenia przepustowości wyjściowych korzysta się z wykresów opracowanych dla typowych wartości parametrów t_g i t_f to wyznaczenie tych parametrów pomija się.

Rys. 2.1. Schemat obliczania przepustowości ronda

Jeżeli na rondzie występuje pas dla skrętów w prawo poprowadzony poza jezdnią ronda, to do sprawdzenia jego przepustowości, w przypadku jego bezpośredniego włączenia do wylotu z ronda (bez pasa włączeń), można wykorzystać model przepustowości wlotu ronda jednopasowego (model akceptacji luk). Opis sposobu obliczania przepustowości włączenia takiego pasa dla skrętu w prawo zakończonego pasem włączeń na wylocie z ronda przedstawiono w p. 4.11.

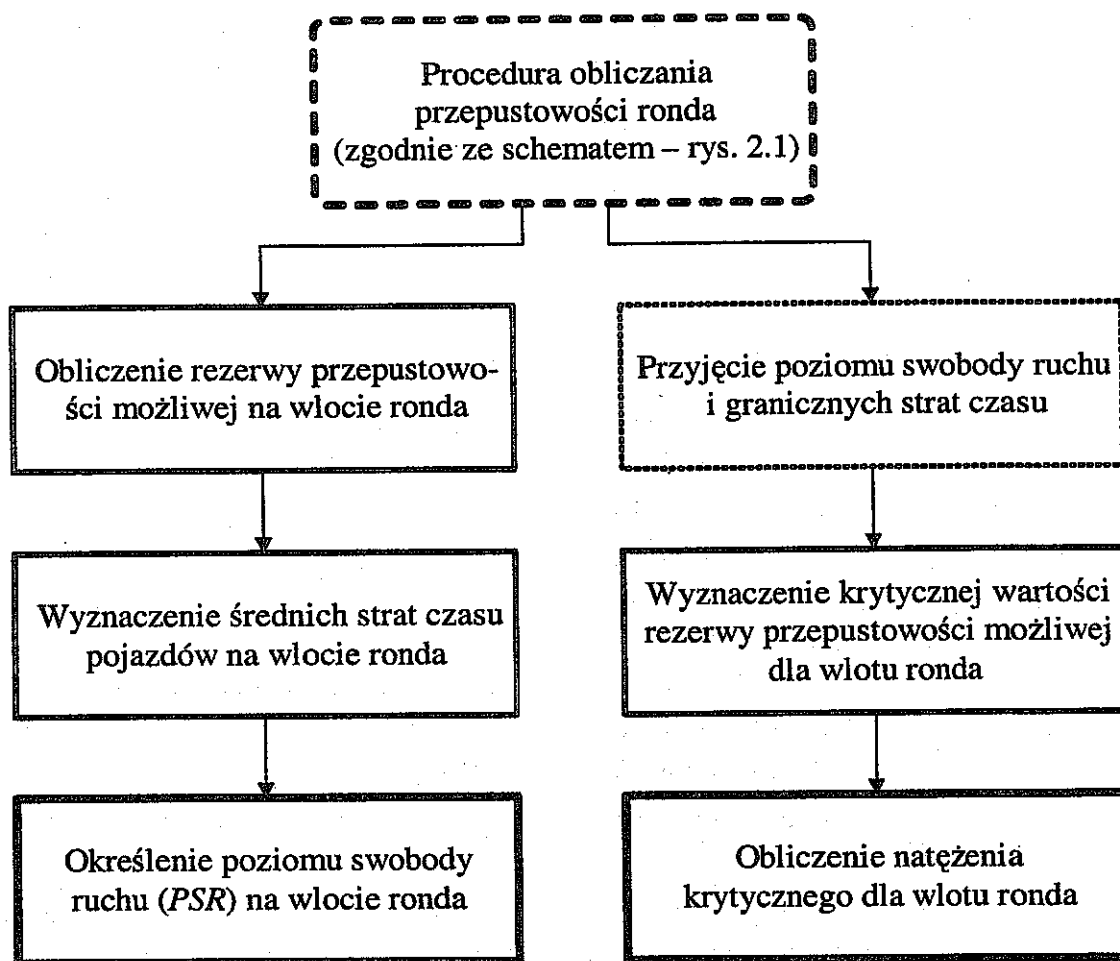
W ocenie sprawności ronda wykorzystywany jest stopień wykorzystania przepustowości będący, obok wskaźnika dopuszczalnego wzrostu ruchu, miarą możliwego wzrostu ruchu na rondzie do momentu wyczerpania się przepustowości jednego z wlotów (wlotu krytycznego).

2.2. Metodologia oceny warunków ruchu

Analiza warunków ruchu opiera się na następujących założeniach:

- a) ocena warunków ruchu dotyczy sytuacji na wlocie podporządkowanym ronda i odnosi się do konkretnych (przyjętych do analizy) natężeń ruchu na poszczególnych wlotach ronda;
- b) podstawową miarą warunków ruchu są średnie straty czasu przypadające na pojazd. Na ich podstawie klasyfikowane są warunki ruchu na wlotach ronda. Straty te odnoszą się do odcinka wlotu ronda i obejmują straty opóźnienia pojazdu przy dojeździe do kolejki oraz straty ponoszone w kolejce (od momentu dojazdu do kolejki do czasu przejazdu linii zatrzymań). Nie uwzględniają one części strat geometrycznych związanych z przejazdem pojazdu przez skrzyżowanie (po przejechaniu linii zatrzymań);
- c) średnie straty czasu dla wlotu ronda wyznaczane są na podstawie przepustowości możliwej wlotu i jej rezerwy;
- d) ocena opisowa warunków ruchu na wlotach ronda opiera się na koncepcji poziomów swobody ruchu, które wyznaczają kategorie warunków ruchu, oceniane przez reprezentację populacji kierowców;
- e) przyjęto 4 poziomy swobody ruchu (*PSR*) oznaczane od I (bardzo dobre warunki ruchu) do IV (niekorzystne warunki ruchu);
- f) poziomom swobody ruchu można przypisać natężenia krytyczne będące progowymi wartościami umożliwiającymi ocenę warunków ruchu na podstawie natężeń ruchu. Natężenia ruchu mniejsze od natężenia krytycznego dla danego poziomu swobody ruchu gwarantują występowanie na danym wlocie warunków odpowiadających temu poziomowi lub niższemu (przy ustalonych natężeniach na pozostałych wlotach);
- g) natężenia krytyczne oblicza się na podstawie przepustowości możliwej wlotu ronda i wyznaczonej krytycznej wartości rezerwy przepustowości możliwej dla każdego poziomu swobody ruchu. Krytyczne wartości rezerwy przepustowości odpowiadają granicznym wartościom średnich strat czasu dla poszczególnych poziomów swobody ruchu.

Uwzględniając powyższe założenia, procedurę oceny warunków ruchu przedstawiono w postaci schematu na rys. 2.2.



Rys. 2.2. Schemat określania warunków ruchu na wlotach ronda

Obliczenia przepustowości i analizę warunków ruchu można wykonać manualnie z zastosowaniem załączonych formularzy obliczeniowych lub z zastosowaniem arkusza kalkulacyjnego.

3. DANE WYJŚCIOWE I USTALENIA DO OBLICZEŃ

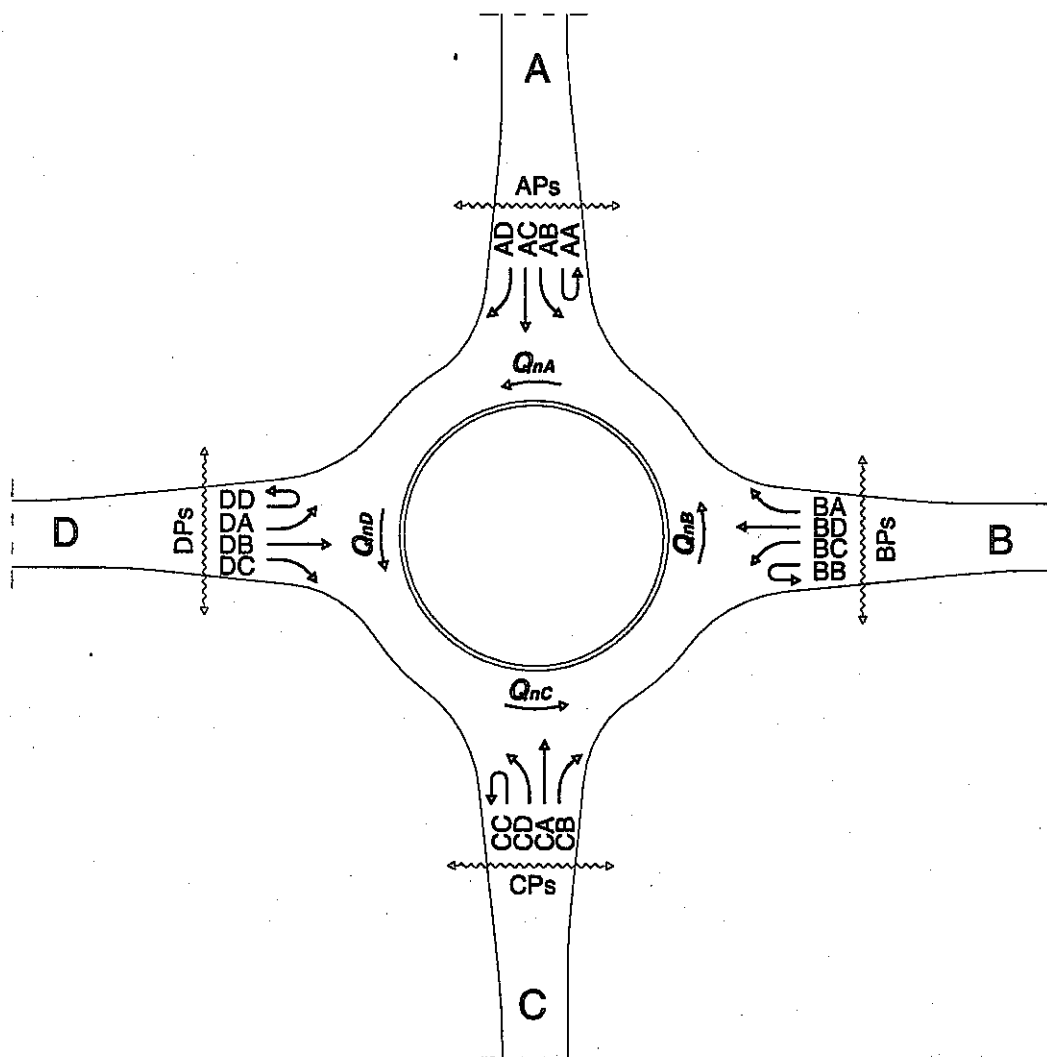
3.1. Zakres danych do analiz przepustowości i warunków ruchu

Przed przystąpieniem do obliczeń niezbędne jest określenie zestawu danych, które umożliwią wybór odpowiedniego toku postępowania, a także dobór wartości parametrów. Zgodnie z określoną w p. 2.1 strukturą metody obliczeniowej (rys. 2.1), zestaw danych wyjściowych do obliczeń stanowią dane dotyczące:

- geometrii ronda, takie jak:
 - liczba wlotów na rondo,
 - liczba pasów ruchu na poszczególnych wlotach i wylotach,
 - lokalizacja przejść dla pieszych,
 - średnica zewnętrzna ronda, szerokość jezdni ronda (czy ta szerokość umożliwia równoległy przejazd dwóm pojazdom – rondo semi-dwupasowe), liczba pasów ruchu na jezdni ronda (jeśli są one wyznaczone),
 - występowanie przejazdów dla pojazdów skręcających w prawo poza jezdnią ronda,
- organizacji ruchu, takie jak:
 - wyznaczenie pasów ruchu na rondzie dwupasowym,
 - ustalenie na jezdni ronda dwupasowego oznakowaniem poziomym możliwości zjazdu tylko z pasa zewnętrznego (prawego), np. przez linię ciągłą pomiędzy pasami jezdni ronda na wysokości wylotu,
- natężeń ruchu, takie jak:
 - natężenia ruchu poszczególnych relacji, w tym relacji zawracania na rondzie (rys. 3.1),
 - natężenia pojazdów skręcających w prawo poza jezdnią ronda, które przy określaniu przepustowości wlotów ronda i przy analizie warunków ruchu powinny być odliczone od natężenia pojazdów wjeżdżających danym wlotem na rondo,
 - udział pojazdów wjeżdżających na rondo z lewego pasa dwupasowego wlotu ronda semi-dwupasowego,
 - udział pojazdów poszczególnych rodzajów w ruchu relacji podporządkowanych (struktura rodzajowa),
 - zmienność natężenia ruchu w godzinie reprezentowana przez współczynnik wahań natężenia k_{15} , a najlepiej wartości natężeń we wszystkich przedziałach 15-minutowych danej godziny rejestrowanych w interwałach 15-minutowych. Ta informacja jest istotna w przypadku wyraźnej zmienności natężeń ruchu w przedziale godziny ($k_{15} < 0,90$),
 - natężenia ruchu pieszego na poszczególnych przejściach (rys. 3.1).

Rys. 3.1 przedstawia oznaczenia wlotów oraz poszczególnych relacji ruchu kołowego i pieszego.

Dane wyjściowe wpływają na sposób prowadzenia obliczeń, jak również wykorzystywane są jako czynniki determinujące przepustowość i warunki ruchu na wlotach ronda. Od staranności przygotowania danych do obliczeń oraz ich reprezentatywności zależy wiarygodność końcowych wyników obliczeń. W przypadku istniejących skrzyżowań szczególną uwagę należy zwrócić na rzeczywistą sytuację ruchową na rondzie, która czasem różni się od organizacji ruchu przewidzianej w projekcie.



Rys. 3.1. Oznaczenia wlotów oraz poszczególnych relacji ruchu kołowego i pieszego na przykładzie ronda o czterech wlotach

Przygotowany zestaw danych wyjściowych umożliwia prowadzenie różnego rodzaju analiz, tj.:

- oceny sprawności istniejącego ronda,
- podejmowania decyzji o rozbudowie ronda, np. dodanie drugiego pasa na wlocie, drugiego pasa na jezdni ronda, dodanie przejazdu poza jezdnią ronda dla skrętu w prawo,
- przebudowy innego typu skrzyżowania na rondo lub odwrotnie.

3.2. Natężenie miarodajne i okres analiz

Ważną grupę danych stanowią dane ruchowe. Natężenie ruchu, jego struktura rodzajowa i kierunkowa należą do najważniejszych czynników wpływających na przepustowość relacji podporządkowanych na rondzie. Należy pamiętać, że przepustowość ronda nie jest stałą jego cechą, lecz zależy ona właśnie od natężenia ruchu i wraz ze zmianami jego wielkości, struktury i charakteru ulega zmianom. Podstawę obliczeń powinny stanowić natężenia miarodajne. Za miarodajne natężenie ruchu należy przyjmować godzinowe natężenie charakterystyczne dla danego okresu. Tym okresem zależnie od celu analiz będzie:

- przy projektowaniu nowego lub przebudowy istniejącego skrzyżowania, zgodnie z Wytucz-

nymi projektowania skrzyżowań drogowych [14] – szczytowa godzina dnia z dominującym rodzajem ruchu (roboczego, handlowego, weekendowego lub turystycznego) w 15 roku od oddania skrzyżowania do eksploatacji lub w 10 roku od wykonania przebudowy.

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

- przy sprawdzaniu przepustowości istniejącego skrzyżowania – 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.

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.

Przy ustalaniu natężeń prognozowanych zaleca się opracowanie prognozy ruchu w zalecanym roku dla obszaru, w którym zlokalizowane jest przedmiotowe rondo. Przyjęte do celów projektowania natężenia miarodajne powinny gwarantować takie rozwiązania ronda, 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.

Przy ustalaniu aktualnych natężeń ruchu dla analiz istniejącego ronda należy przeprowadzić pomiary zgodnie z zaleceniami podanymi w Wytycznych projektowania skrzyżowań drogowych [14].

Analiza przepustowości jak również warunków ruchu może dotyczyć okresu godziny ($t_a = 1,0$ h) lub krótszego 15-minutowego interwału ($t_a = 0,25$ h). Przy mniejszych natężeniach, a zwłaszcza niewielkich, krótkotrwałych (15-minutowych) wahaniach natężeń ruchu w godzinie ($k_{15} > 0,90$) – typowym przedziałem czasu będzie godzina. Przy dużych natężeniach i znacznych krótkotrwałych ich waniach ($k_{15} < 0,90$), a zwłaszcza spodziewanych chwilowych przeciążeniach ronda – przedziałem analizy będzie szczytowe 15 minut danej godziny.

Niezależnie od okresu analizy w obliczeniach należy posługiwać się natężeniami odniesionymi do godziny. Natężenia strumieni tworzących potok nadrzędny są wyrażane w pojazdach rzeczywistych [P/h].

Natężenie obliczeniowe, stosownie do przyjętego okresu analizy t_a , należy ustalać następująco:

- w przypadku okresu analizy $t_a = 1,0$ h natężenie obliczeniowe Q równe jest pomierzonemu lub prognozowanemu natężeniu w rozważanej godzinie Q_o ($Q = Q_o$),
- w przypadku okresu analizy $t_a = 0,25$ h natężenie obliczeniowe Q wyznacza się 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 natężenia ruchu w godzinie;

$$k_{15} = \frac{Q_w}{4 \cdot q_{15}^{\max}} \quad [-] \quad (3.2)$$

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

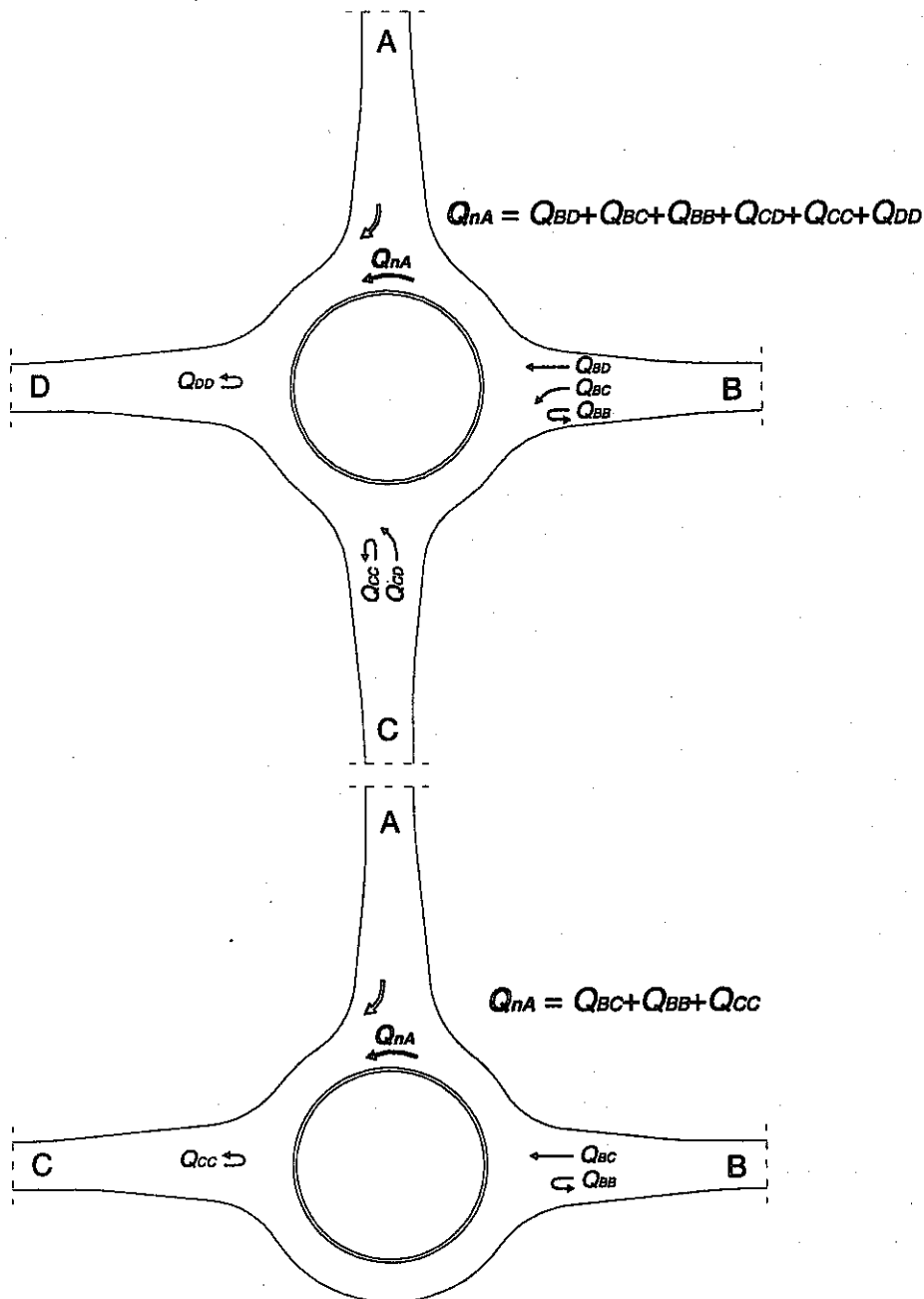
Wartość wskaźnika zmienności ruchu w godzinie k_{15} dla istniejącego ronda powinna być wyznaczona na podstawie pomiarów natężeń ruchu na analizowanym rondzie, a w przypadku prognozowania natężeń dla nowego ronda można przyjąć k_{15} charakterystyczne dla rond ze zbliżonym rodzajem ruchu oraz zagospodarowania otoczenia. Przy projektowaniu nowego ronda lub przebudowy istniejącego wartość k_{15} dla natężenia prognozowanego może być ustalona dla całego ronda, a w przypadku istniejącego ronda należy określić indywidualne wartości dla każdej relacji (ew. wlotu), ponieważ nie wszystkie relacje mają szczytowe natężenia w tych samych 15 minutach godziny. Przy dysponowaniu natężeniami z pomiarów z 15-minutowym interwałem rejestracji można wprost wykorzystać wartości natężeń ze szczytowego kwadransa i dokonać ich przeliczenia na natężenia godzinowe ($Q = 4 \cdot q_{15}$).

Natężenie ruchu pieszego jest wyrażane łączną liczbą pieszych w obu kierunkach na poszczególnych przejściach w okresie godziny. Natężeniem obliczeniowym ruchu pieszego jest pomierzone lub prognozowane natężenie ruchu pieszego na danym przejściu Q_{wIPs} [Ps/h].

4. PROCEDURA OBLICZANIA PRZEPUSTOWOŚCI

4.1. Ustalanie natężenia potoku na jezdni ronda nadrzędnego dla pojazdów z danego wlotu

Natężenie potoku na jezdni ronda Q_{nwl} nadrzędne dla pojazdów z danego wlotu wl jest to suma natężeń ruchu wszystkich relacji wchodzących w skład potoku na rondzie przed danym wlotem. Do tego natężenia nie jest wliczane natężenie potoku pojazdów opuszczających jezdnię ronda wylotem poprzedzającym analizowany wlot. Zasadę obliczania natężenia Q_{nwl} nadrzędnego dla potoku pojazdów z wlotu A ilustruje rys. 4.1.



Rys. 4.1. Zasada obliczania natężenia potoku nadrzędnego na jezdni ronda Q_{nwl} dla potoku pojazdów z danego wlotu wl na przykładzie wlotu A

4.2. Dobór granicznych odstępów czasu i odstępów czasu między pojazdami wjeżdżającymi z kolejki na wlocie ronda

Przepustowości wlotów ronda zależą od granicznych odstępów czasu t_g oraz od odstępów czasu między pojazdami wjeżdżającymi z kolejki t_f na wlocie ronda. Reprezentują one zachowania przeciętne w populacji kierowców. Parametry te są uwzględniane w teoretycznych modelach przepustowości wlotów, na podstawie których opracowano wykresy przepustowości wyjściowej C_{owl} wlotów rond jednopasowych, semi-dwupasowych i dwupasowych. Wartości przepustowości wyjściowej wlotów można także obliczać bezpośrednio ze wzorów, stosując w obliczeniach zalecane wartości parametrów t_g i t_f .

Graniczny odstęp czasu t_g jest definiowany jako minimalny interwał czasu między pojazdami w potoku nadrzędnym na jezdni ronda niezbędny przeciętnemu kierowcy pojazdu z podporządkowanego wlotu ronda na wykonanie manewru wjazdu na jezdnię ronda. Zakłada się, że każdy odstęp w nadrzędnym potoku pojazdów na jezdni ronda mniejszy od granicznego zostanie odrzucony przez oczekującego kierowcę pojazdu na wlocie ronda, zaś pierwszy napotkany odstęp równy lub większy od granicznego zostanie wykorzystany. Granicznych odstępów czasu nie można bezpośrednio pomierzyć na rondzie. Można je wyznaczyć pośrednio przy wykorzystaniu pomierzonych odstępów odrzuconych i wykorzystanych przez poszczególnych kierowców z wlotów ronda.

Odstęp czasu między pojazdami wjeżdżającymi z kolejki t_f na wlocie ronda wyraża odstęp czasu pomiędzy przejazdem pierwszego pojazdu podporządkowanego z wlotu ronda przez krawędź jezdni ronda a przejazdem kolejnego pojazdu wykorzystującego ten sam odstęp w potoku na rondzie, przy założeniu, że wjeżdżają one z kolejki na wlocie ronda. Jeżeli odstęp w potoku na rondzie umożliwia wjazd dalszych pojazdów z kolejki, to przejeżdżają one przez krawędź jezdni ronda w odstępach t_f jeden za drugim. Przy bardzo małym natężeniu potoku na rondzie odstęp t_f decyduje w głównej mierze o wielkości przepustowości danego wlotu.

Ustalając do obliczeń przepustowości wlotów ronda wartości granicznych odstępów czasu t_g oraz wartości odstępów czasu między pojazdami wjeżdżającymi z kolejki t_f , bierze się pod uwagę rodzaj ronda, jego średnicę zewnętrzną i liczbę pasów ruchu na wlocie.

W obliczeniach przepustowości wyjściowych wlotu ronda jednopasowego (wzór (4.1)) stosuje się wartości t_g i t_f zestawione w tab. 4.1.

Tab. 4.1. Graniczne odstępów czasu t_g i odstępów czasu między pojazdami wjeżdżającymi z kolejki t_f dla wlotów rond jednopasowych o różnych średnicach

Średnica D_z [m]	poniżej 24	od 24 do 30	pow. 30 do 36	pow. 36
Odstęp t_g [s]	3,0	2,9	2,8	2,7
Odstęp t_f [s]	5,0	4,8	4,6	4,5

Dla uwzględnienia lokalnych, niekorzystnych warunków geometryczno-ruchowych na rondach jednopasowych można w obliczeniach prowadzonych przy użyciu wzoru (4.1)

zastosować następujące korekty do podanych w tab. 4.1 wartości parametrów t_g i t_f :

- w przypadku pochylenia wlotu podporządkowanego (wzniesienie w kierunku ronda) przyjmującego wartości z przedziału $4,0 < i \leq 6,0\%$ wartość t_g odczytaną z tab. 4.1 zaleca się zwiększyć proporcjonalnie o 0,3 s na każdy 1,0% pochylenia (maksymalnie o 0,9 s), zaś wartość t_f odczytaną z tab. 4.1 – o 0,1 s na każdy 1,0% pochylenia (maksymalnie o 0,3 s),
- w przypadku znacznego ograniczenia na wlocie ronda widoczności pojazdów na jezdni ronda, wartość t_g odczytaną z tab. 4.1 zaleca się zwiększyć o 0,6 s, zaś wartość t_f odczytaną z tab. 4.1 – o 0,8 s,
- gdy równocześnie wystąpią warunki jak w p. a i b, należy uwzględnić większą z korekt ustalonych w p. a oraz w p. b.

Celowość dokonania korekty wartości t_g i t_f powinna być uzasadniona i udokumentowana w opisie technicznym do projektu.

Dla rond semi-dwupasowych do obliczeń przepustowości wlotu (wzór (4.2)) zaleca się przyjmować przeciętne wartości $t_g = 4,7$ s i $t_f = 2,8$ s.

Dla rond dwupasowych do obliczeń przepustowości wlotu (wzór (4.3)) zaleca się przyjmować przeciętne (dla obu pasów ruchu) wartości:

- ronda średnie – $t_g = 4,1$ s i $t_f = 3,3$ s,
- ronda duże – $t_g = 3,9$ s i $t_f = 2,9$ s.

Niewielka liczba rond semi-dwupasowych i dwupasowych funkcjonujących w naszym kraju w różnych lokalizacjach i warunkach sprawia, że nie można podać bardziej szczegółowych zasad ustalenia wartości parametrów t_g i t_f .

W przypadku specyficznych, lokalnych uwarunkowań rozwiązania i funkcjonowania rond semi-dwupasowych i dwupasowych (bardzo niekorzystne warunki) można zastosować korekty t_g i t_f , analogiczne do zalecanych powyżej dla rond jednopasowych, a wprowadzone zmiany uzasadnić i udokumentować w opisie technicznym.

4.3. Określanie przepustowości wyjściowych wlotów ronda

Przepustowość wyjściowa C_{owl} oznacza maksymalną liczbę samochodów osobowych (pojazdów umownych), jaka może wjechać z danego podporządkowanego wlotu ronda *wl* na jezdnię ronda w okresie jednej godziny [E/h], przy utrzymującej się kolejce na wlocie (pasach wlotu dwupasowego) w warunkach uznanych za wyjściowe.

Warunki wyjściowe są następujące:

- z wlotu ronda wjeżdżają tylko samochody osobowe,
- brak kolejek z sąsiednich, blisko położonych skrzyżowań z sygnalizacją bądź przejazdów kolejowych zakłócających ruch na analizowanym skrzyżowaniu,
- ruch z wlotów podporządkowanych nie jest zakłócany przez pieszych na przejściach lub rowerzystów na przejazdach.

Przepustowości wyjściowe C_{owl} obliczane są w zależności od schematu obliczeniowego ronda (tab. 4.2) z odpowiedniego modelu akceptacji odstępów czasu w potoku nadrzędnym na jezdni ronda bądź z odpowiedniego wykresu sporządzonego na podstawie modelu.

Tab. 4.2. Schematy obliczeniowe rond z uwzględnieniem ich typów i rozwiązań organizacji ruchu

Symbol	Opis	Schemat
R1	<p>Wlot ronda jednopasowego</p> <p>C_{owl} – wzór (4.1), wykres rys. 4.2</p> <p>dane: Q_{nwl}, D_z</p>	
RS1	<p>Wlot jednopasowy ronda semi-dwupasowego</p> <p>C_{owl} – wzór (4.2), wykres rys. 4.3 dla jednego pasa na wlocie</p> <p>Dane: Q_{nwl}, 1 pas na wlocie</p>	
RS2	<p>Wlot dwupasowy ronda semi-dwupasowego</p> <p>C_{owl} – wzór (4.2), wykres rys. 4.3 dla 2 pasów na wlocie i danego m_l</p> <p>Dane: Q_{nwl}, m_l</p>	
R21	<p>Wlot ronda dwupasowego, zjazd tylko z zewnętrznego pasa ronda</p> <p>C_{owl} – wzór (4.3), wykres rys. 4.4</p> <p>Dane: Q_{nwl}</p>	
R22	<p>Wlot ronda dwupasowego, zjazd z obu pasów ronda</p> <p>C_{owl} – wzór (4.3), wykres rys. 4.4</p> <p>Dane: Q_{nwl}</p>	

4.3.1. Małe ronda jednopasowe

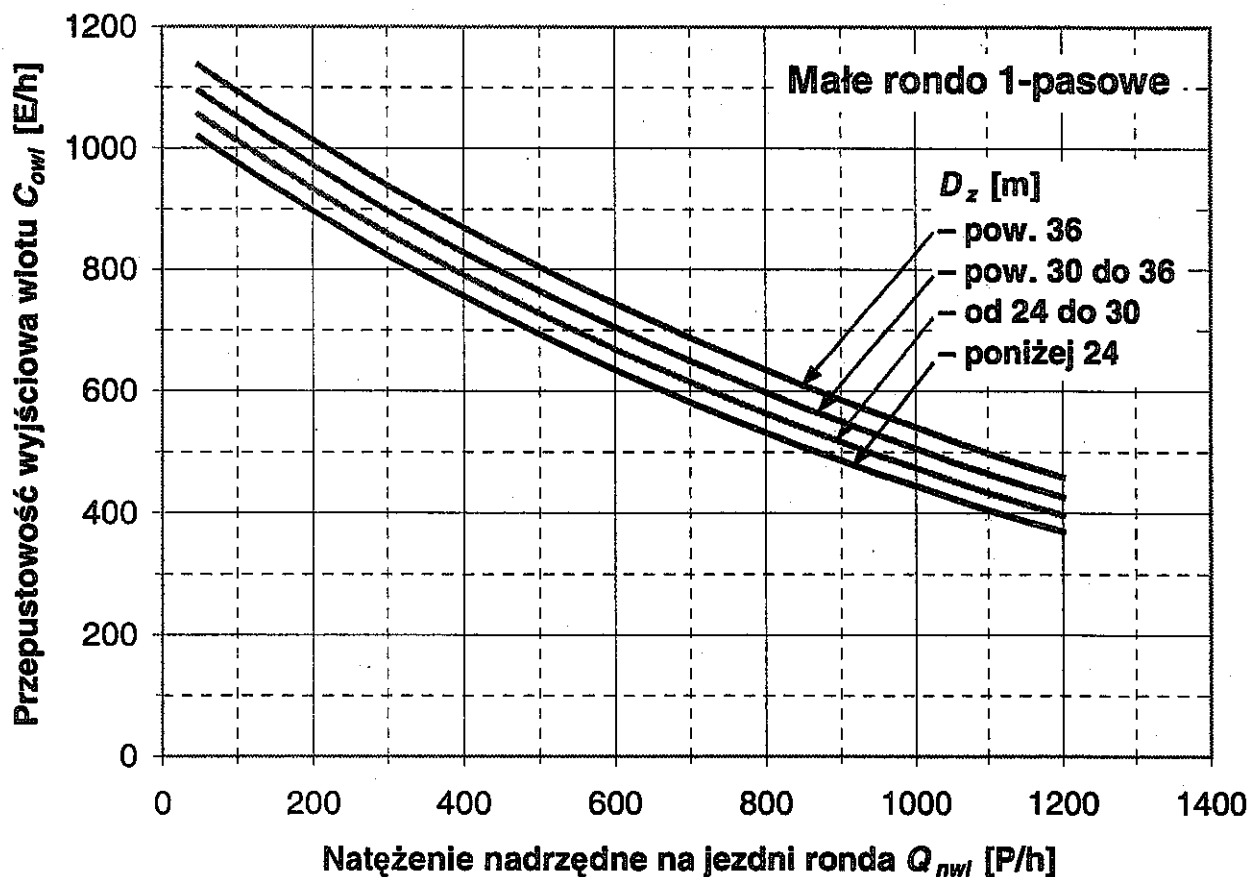
Przepustowość wyjściową wlotu C_{owl} małego ronda jednopasowego oblicza się z następującego wzoru:

$$C_{owl} = \frac{Q_{nwl} \cdot \exp\left(-0,95 \cdot \frac{Q_{nwl} \cdot t_g}{3600}\right)}{1 - \exp\left(-1,10 \cdot \frac{Q_{nwl} \cdot t_f}{3600}\right)} \quad [\text{E/h}] \quad \text{dla } Q_{nwl} > 0 \text{ P/h} \quad (4.1)$$

gdzie:

- Q_{nwl} – natężenie ruchu na jezdni ronda przy wlocie wl [P/h],
- t_g – graniczny odstęp czasu [s], wg tab. 4.1,
- t_f – odstęp czasu między pojazdami opuszczającymi kolejkę na wlocie w przypadku wystąpienia dużej luki czasu w potoku na jezdni ronda [s], wg tab. 4.1.

Przepustowości wyjściowe wlotu małego ronda jednopasowego, obliczone na podstawie wzoru (4.1) są przedstawione na rys. 4.2. Danymi wyjściowymi do wyznaczenia C_{owl} [E/h] z wykresu są: natężenie relacji nadrzędnych Q_{nwl} [P/h] ustalane wg zasad pokazanych na rys. 4.1 oraz średnica zewnętrzna ronda D_z .



Rys. 4.2. Przepustowości wyjściowe wlotu małego ronda jednopasowego

4.3.2. Ronda semi-dwupasowe

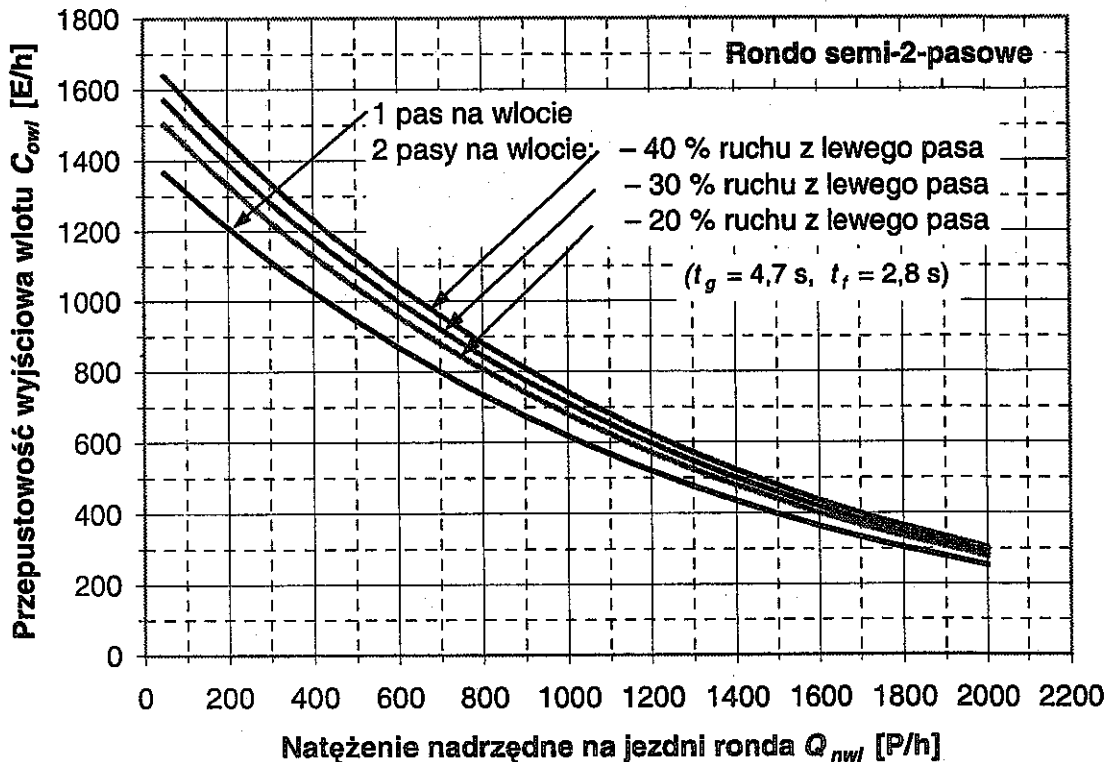
Przepustowość wyjściową wlotu C_{owl} ronda semi-dwupasowego oblicza się z następującego wzoru:

$$C_{owl} = 1,25 \cdot (1 + 0,5 \cdot m_l) \cdot \frac{Q_{nwl} \cdot \exp\left(-0,95 \cdot \frac{Q_{nwl} \cdot t_g}{3600}\right)}{1 - \exp\left(-1,13 \cdot \frac{Q_{nwl} \cdot t_f}{3600}\right)} \quad [\text{E/h}] \quad \text{dla } Q_{nwl} > 0 \text{ P/h} \quad (4.2)$$

gdzie:

- Q_{nwl} – natężenie ruchu na jezdni ronda przy wlocie wl [P/h],
- t_g – graniczny odstęp czasu [s], wg zapisu w p. 4.2,
- t_f – odstęp czasu między pojazdami opuszczającymi kolejkę na wlocie w przypadku wystąpienia dużej luki czasu w potoku na jezdni ronda [s], wg zapisu w p. 4.2,
- m_l – udział natężenia strumienia wjeżdżającego na jezdnię ronda z lewego pasa wlotu w całkowitym natężeniu ruchu na dwupasowym wlocie [-]. W przypadku wlotu o jednym pasie ronda semi-dwupasowego należy przyjąć $m_l = 0,0$.

Przepustowości wyjściowe wlotu ronda semi-dwupasowego, obliczone na podstawie wzoru (4.2) są przedstawione na rys. 4.3. Danymi wyjściowymi do wyznaczenia C_{owl} [E/h] z wykresu są: natężenie relacji nadrzędnych Q_{nwl} [P/h], ustalane wg zasad pokazanych na rys. 4.1 oraz udział m_l natężenia strumienia wjeżdżającego na jezdnię ronda z lewego pasa wlotu w całkowitym natężeniu ruchu na dwupasowym wlocie [-].



Rys. 4.3. Przepustowości wyjściowe wlotu ronda semi-dwupasowego

4.3.3. Ronda dwupasowe

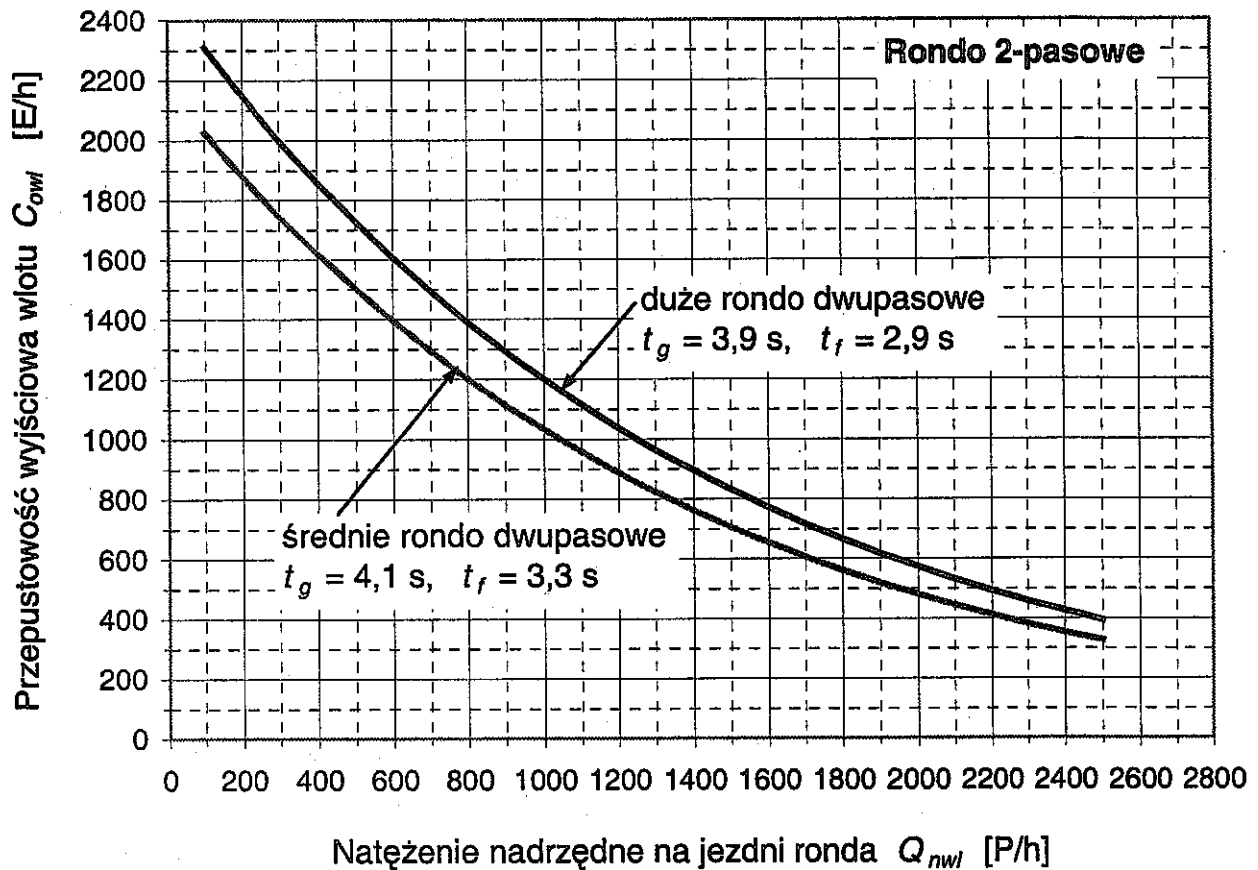
Przepustowość wyjściową wlotu C_{owl} ronda dwupasowego oblicza się z następującego wzoru:

$$C_{owl} = \frac{Q_{nwl} \cdot \exp\left(-0,85 \cdot \frac{Q_{nwl} \cdot t_g}{3600}\right)}{1 - \exp\left(-0,50 \cdot \frac{Q_{nwl} \cdot t_f}{3600}\right)} \quad [\text{E/h}] \quad \text{dla } Q_{nwl} > 0 \text{ E/h} \quad (4.3)$$

gdzie:

- Q_{nwl} – natężenie ruchu na jezdni ronda przy wlocie wl [E/h], łączne z obu pasów,
- t_g – graniczny odstęp czasu [s], odpowiednio dla ronda średniego lub dużego, wg zapisu w p. 4.2,
- t_f – odstęp czasu między pojazdami opuszczającymi kolejkę na wlocie w przypadku wystąpienia dużej luki w potoku na jezdni ronda [s], odpowiednio dla ronda średniego lub dużego, wg zapisu w p. 4.2.

Przepustowości wyjściowe wlotu ronda dwupasowego, obliczone na podstawie wzoru (4.3), są przedstawione na rys. 4.4. Danymi wyjściowymi do wyznaczenia C_{owl} [E/h] z wykresu są: natężenie relacji nadrzędnych Q_{nwl} [P/h], ustalane wg zasad pokazanych na rys. 4.1, oraz wielkość ronda (średnie lub duże).



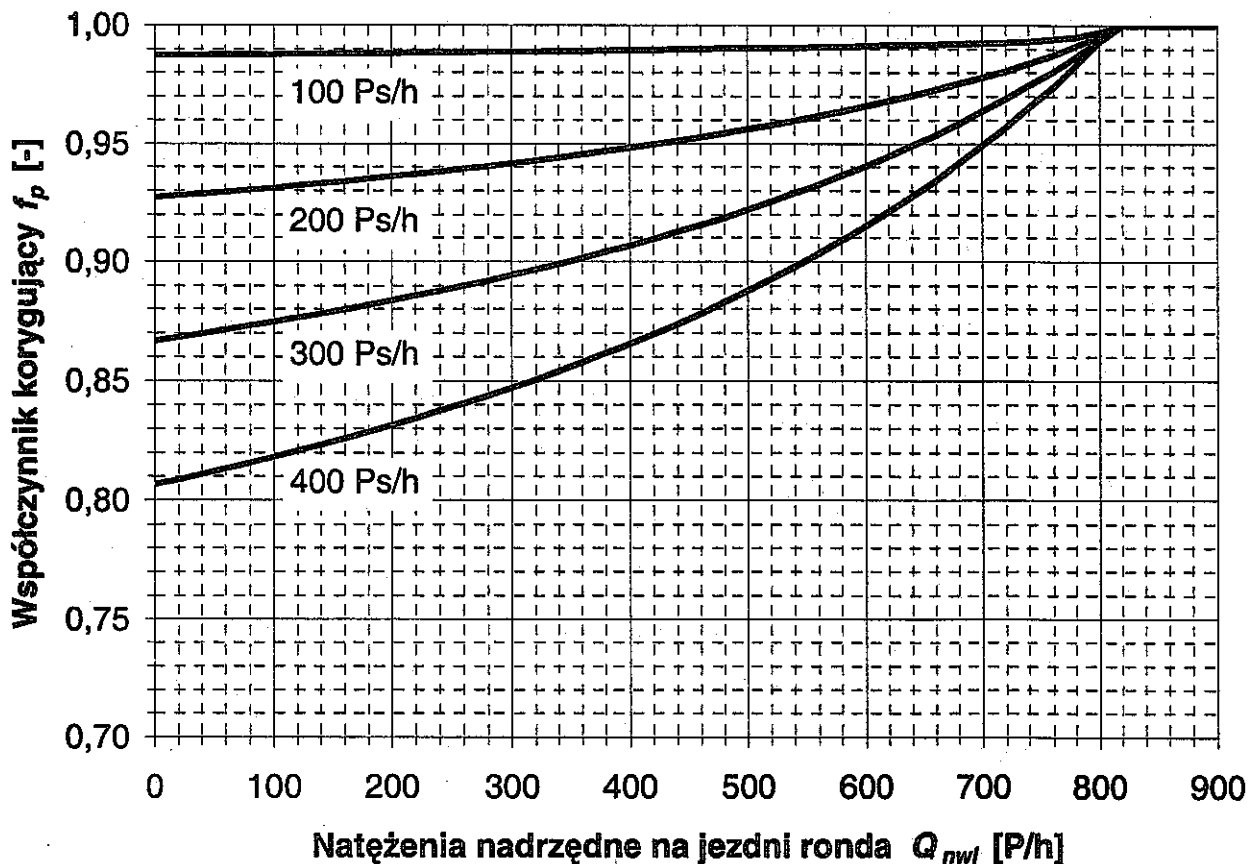
Rys. 4.4. Przepustowości wyjściowe wlotu ronda dwupasowego

W przypadku gdy na rondzie dwupasowym występuje wlot jednopasowy, wówczas jego przepustowość można obliczyć ze wzoru (4.2) dla ronda semi-dwupasowego, przyjmując $m_l = 0,0$ lub z wykresu rys. 4.3 (krzywa dla 1 pasa na wlocie).

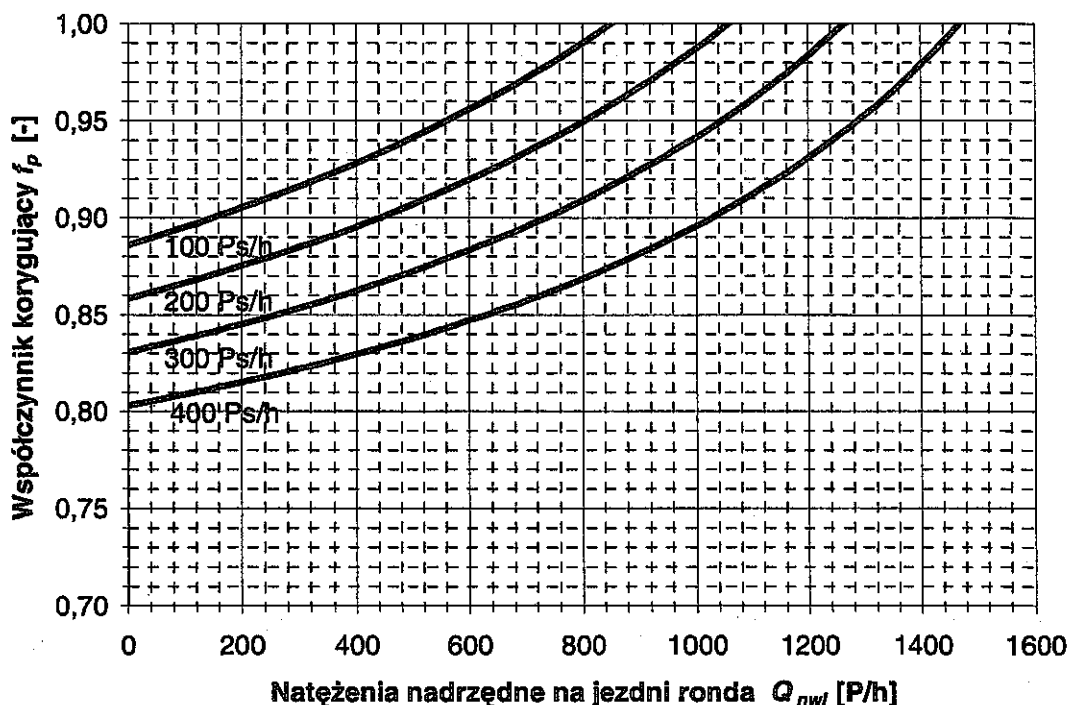
4.4. Wpływ pieszych na przepustowość wlotów ronda

W modelu obliczania przepustowości rond zakłada się respektowanie pierwszeństwa pieszych na przejściach przez kierujących pojazdami w momencie wejścia pieszych na przejście. Takie założenie jest uzasadnione na wyznaczonych przejściach dla pieszych, gdyż niskie prędkości pojazdów zjeżdżających z ronda oraz pojazdów wjeżdżających na jezdnię ronda zachęcają pieszych do wchodzenia na przejście bez długotrwałego oczekiwania na duże luki czasu w potoku pojazdów. Także jednokierunkowe jezdnie ułatwiają pieszym decyzje o wejściu na przejście.

Piesi obecni na części przejścia przez wlot ronda mogą utrudniać lub nawet blokować wjazd pojazdów z wlotu ronda zarówno w sytuacji odstępów czasu w potoku nadrzędnym na jezdni ronda większych od granicznego odstępu czasu, jak i mniejszych. To blokowanie jest uwzględniane w obliczaniu przepustowości wlotu przez wprowadzenie współczynnika f_p redukującego przepustowość wyjściową C_{owl} . Wartość tego współczynnika należy odczytać z wykresu na rys. 4.5, w przypadku wlotu jednopasowego, lub z rys. 4.6, w przypadku wlotu dwupasowego.



Rys. 4.5. Współczynnik korygujący, uwzględniający wpływ blokowania ruchu pojazdów przez pieszych na rondach jednopasowych i jednopasowych wlotach rond semi-dwupasowych



Rys. 4.6. Współczynnik korygujący, uwzględniający wpływ blokowania ruchu pojazdów przez pieszych na rondach dwupasowych i dwupasowych wlotach rond semi-dwupasowych

Wpływ ruchu pieszego staje się znikomy i może być pominięty, gdy natężenie ruchu pojazdów potoku nadrzednego na jednopasowej jezdni ronda osiągnie wartość 820 P/h. Wynika to z faktu, że przy dużym natężeniu potoku nadrzednego ograniczenia możliwości wjazdu pojazdów podporządkowanych są tak duże, że piesi mogą swobodnie przechodzić pomiędzy oczekującymi na wlocie pojazdami bez dodatkowego powstrzymywania ich ruchu. Wpływ ruchu pieszego na przepustowość wlotu ronda można również pominąć, jeśli natężenie tego ruchu na przejściu jest mniejsze od 100 Ps/h. Przypadki występowania natężenia ruchu pieszych na przejściu małych rond istotnie większych od 400 Ps/h nie są uwzględniane w obliczeniach przepustowości, gdyż są to sytuacje, w których małe ronda są rozwiązaniami niekorzystnymi i nie powinny być stosowane.

Piesi obecni na przejściu w obrębie wylotu ronda również blokują lub spowalniają ruch pojazdów opuszczających jezdnię ronda. W skrajnym przypadku przechodzący piesi mogą powodować powstawanie kolejek pojazdów blokujących ruch na rondzie (przy natężeniu 800 Ps/h). Z tego powodu przypadki występowania dużych natężeń ruchu pieszego przemawiają przeciwko stosowaniu rond. Ponieważ nie oblicza się przepustowości wylotu ronda, pomija się także wpływ pieszych na ruch pojazdów opuszczających rondo.

4.5. Wpływ struktury rodzajowej ruchu na przepustowość wlotów ronda

Czas wjazdu pojazdów z wlotu na jezdnię ronda zależy między innymi od rodzaju pojazdu. Powodowane jest to różnymi możliwościami przyspieszania oraz długościami pojazdów. Szczególnie istotne jest uwzględnienie w analizach długich pojazdów ciężarowych i autobusów. Dla przeliczenia na pojazdy umowne (samochody osobowe) wyróżnionych rodzajów pojazdów stosuje się współczynniki przeliczeniowe zestawione w tab. 4.3.

Tab. 4.3. Współczynniki przeliczeniowe na pojazdy umowne dla wyróżnionych rodzajów pojazdów

Rodzaj pojazdu	Oznaczenie	Wartość współczynnika przeliczeniowego
Samochody osobowe i mikrobusy	E_o	1,0
Samochody ciężarowe i autobusy	E_c	1,7
Samochody ciężarowe z przyczepami lub naczepami, autobusy przegubowe	E_{cp}	2,5
Motocykle i rowery	E_{mr}	0,5

W przypadku uproszczonej struktury rodzajowej, wyróżniającej tylko samochody osobowe i pojazdy ciężkie (ciężarowe bez i z przyczepami/naczepami, autobusy zwykłe i przegubowe), można stosować wartości współczynników $E_o = 1,0$, $E_c = 2,0$.

Współczynnik uwzględniający wpływ struktury rodzajowej ruchu wylicza się z następującego wzoru:

$$f_c = \frac{1}{1 + u_c \cdot (E_c - 1) + u_{cp} \cdot (E_{cp} - 1) + u_{mr} \cdot (E_{mr} - 1)} \quad [-] \quad (4.4)$$

gdzie:

u_c, u_{cp}, u_{mr} – udziały w natężeniu na wlocie ronda wyróżnionych rodzajów pojazdów [-]; c – samochody ciężarowe i autobusy, cp – samochody ciężarowe z przyczepami lub naczepami i autobusy przegubowe, mr – motocykle i rowery,

E_c, E_{cp}, E_{mr} – współczynniki przeliczeniowe zgodnie z tab. 4.3.

Współczynnik obliczony wg wzoru (4.4) służy do przeliczania jednostek, w jakich wyrażane są natężenia i przepustowości; przy zamianie E/h na P/h jednostki umowne należy pomnożyć przez f_c , a przy zamianie P/h na E/h jednostki rzeczywiste należy pomnożyć przez $1/f_c$.

4.6. Określenie przepustowości możliwych wlotów ronda

Przepustowość możliwą wlotu ronda, w odniesieniu do realnych warunków geometryczno-ruchowych, oblicza się ze wzoru:

$$C_{mwl} = C_{owl} \cdot f_p \cdot f_c \quad [P/h] \quad (4.5)$$

gdzie:

C_{mwl} – przepustowość możliwa wlotu *wl* ronda [P/h]; w przypadku dwupasowego wlotu jest to łączna przepustowość obu pasów,

C_{owl} – przepustowość wyjściowa wlotu *wl* ronda [E/h] wyznaczona z wzorów (4.1) ÷ (4.3) w zależności od typu ronda, lub z wykresów (rys. 4.2 ÷ 4.4),

f_p – korygujący współczynnik uwzględniający wpływ pieszych, wyznaczany zgodnie z procedurą opisaną w p. 4.4 [-],

f_c – korygujący współczynnik uwzględniający wpływ struktury rodzajowej ruchu, wyznaczany zgodnie z procedurą opisaną w p. 4.5 [-].

Jeżeli wynikiem obliczeń miałyby być przepustowość C_{nwl} wyrażona w jednostkach umownych [E/h], to w tym celu we wzorze (4.5) współczynnik f_c należy pominąć.

4.7. Przepustowość rzeczywista ronda

Przy obliczaniu wartości przepustowości rzeczywistej ronda należy uwzględnić fakt, że potoki ruchu Q_{nwl} na jezdni wokół wyspy ronda powstają z potoków ruchu na wlotach ronda Q_{wl} , jak również to, że od wielkości Q_{nwl} zależą przepustowości wlotów ronda C_{wl} . Z uwagi na to sprzężenie zwrotne w obliczeniach wykorzystuje się *procedurę iteracyjną* – zakładając w obliczeniach wyjściową wartość natężenia ruchu na jezdni ronda. Obliczenia iteracyjne dla poszczególnych wlotów ronda wykonuje się w kierunku przeciwnym do ruchu wskazówek zegara, rozpoczynając od wlotu następującego po wlocie krytycznym.

1 krok iteracji

- Wyznacza się wlot krytyczny $wl = k$ (wlot o najgorszych warunkach ruchu, tzn. wlot, na którym są największe średnie straty czasu lub wlot o najmniejszej wartości rezerwy przepustowości ΔC_{wl}), dla którego w procesie iteracji ma zajść warunek: $Q_k = C_k$ oraz oblicza się wartości natężeń ruchu na wlotach – po przyjęciu natężenia Q_k^1 równego przepustowości C_k – przy zachowaniu zadanej proporcji natężeń ruchu na wlotach ronda (rzeczywistego rozkładu kierunkowego): $m_A : m_B : \dots : m_N = Q_A : Q_B : \dots : Q_N$.
- Na podstawie wartości tych natężeń oblicza się natężenia nadrzędne Q_{nwl} dla kolejnych wlotów, rozpoczynając od wlotu następującego po wlocie krytycznym k .
- Znając natężenia nadrzędne Q_{nwl} oraz wartości parametrów t_g i t_f właściwe dla analizowanego ronda, oblicza się przepustowości wyjściowe oraz możliwe kolejnych wlotów (z uwzględnieniem wpływu pieszych i struktury rodzajowej ruchu).
Po zakończeniu tego kroku iteracji otrzymuje się przepustowości wszystkich wlotów, w tym wlotu krytycznego C_k^1 .

2 krok iteracji

- Powtarza się procedurę wykonaną w pierwszym kroku iteracji przy przyjęciu natężenia ruchu Q_k^2 jako średniej arytmetycznej wartości Q_k^1 przyjętej dla kroku pierwszego iteracji i przepustowości C_k^1 otrzymanej w kroku pierwszym. Wartości natężeń na kolejnych wlotach oblicza się tak, aby utrzymać zadaną proporcję natężeń ruchu na wlotach ($m_A : m_B : \dots : m_N = Q_A : Q_B : \dots : Q_N$). Następnie oblicza się przepustowości rzeczywiste kolejnych wlotów ronda. Na zakończenie tego kroku otrzymuje się drugie przybliżenie wartości przepustowości wlotu krytycznego C_k^2 .

kolejne kroki iteracji

- Procedurę iteracyjną z kroku 2 powtarza się aż do uzyskania takiej wartości przepustowości wlotu krytycznego C_k^n , która nie różni się od wartości przyjętego natężenia ruchu dla wlotu krytycznego Q_k^n więcej niż o zadaną dokładność iteracji (np. 10 P/h).

Procedura iteracyjna jest szybkozbieżna i przy założeniu dokładności 10 P/h zazwyczaj wystarczają 3 ÷ 4 kroki iteracji.

Przepustowość rzeczywista ronda C_{rr} jest równa przepustowości obliczonej w procesie iteracji, przy rzeczywistej proporcji natężeń z poszczególnych wlotów $m_A : m_B : \dots : m_N = Q_A : Q_B : \dots : Q_N$, przy czym $m_A = \frac{Q_A}{\sum Q_{wl}}$, $m_B = \frac{Q_B}{\sum Q_{wl}}$, ... $m_N = \frac{Q_N}{\sum Q_{wl}}$.

W obliczeniach iteracyjnych uzyskuje się $Q_{wl} = C_{wl}$ dla wlotu krytycznego k (czyli $Q_k = C_k$) decydującego o przepustowości. Według tego wlotu liczy się następnie C_{rr} :

$$C_{rr} = 100 \cdot \frac{C_k}{m_k} \quad [\text{P/h}] \quad (4.6)$$

gdzie:

m_k – procentowy udział potoku na wlocie krytycznym k w sumarycznym potoku pojazdów wjeżdżających na rondo z wszystkich wlotów [%].

4.8. Przepustowości rzeczywiste wlotów ronda

Przepustowości rzeczywiste wlotów ronda są natężeniami ruchu na poszczególnych wlotach, o takich wartościach, przy których wyznaczona została przepustowość rzeczywista ronda C_{rr} , a więc wartościach natężeń na wlotach ronda z ostatniego kroku iteracji wg procedury opisanej w p. 4.7.

$$C_{rwl} = C_{rr} \cdot \frac{Q_{wl}}{\sum Q_{wl}} \quad [\text{P/h}] \quad (4.7)$$

$$C_{rwl} [\text{E/h}] = \frac{C_{rwl} [\text{P/h}]}{f_c} \quad (4.8)$$

gdzie:

C_{rr} – przepustowość rzeczywista ronda [P/h], obliczona wg wzoru (4.6),

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

f_c – korygujący współczynnik uwzględniający wpływ struktury rodzajowej ruchu, wyznaczany zgodnie z procedurą opisaną w p. 4.5 [-].

4.9. Wskaźnik dopuszczalnego wzrostu ruchu na rondzie

Na podstawie wartości przepustowości rzeczywistej ronda C_{rr} można oszacować możliwy wzrost natężenia ruchu na rondzie. Wyraża się go za pomocą wskaźnika dopuszczalnego wzrostu ruchu na rondzie w_{rr} , przy założeniu, iż ruch na rondzie będzie wzrastał równomiernie na wszystkich wlotach z zachowaniem ustalonej do obliczeń przepustowości struktury kierunkowej ruchu pojazdów wjeżdżających na rondo z poszczególnych wlotów. Wzrost ruchu będzie następował aż do momentu osiągnięcia wartości przepustowości na wlocie krytycznym.

Wskaźnik dopuszczalnego wzrostu ruchu w_{rr} oblicza się wg wzoru:

$$w_{rr} = \left(\frac{C_{rk}}{Q_k} - 1 \right) \cdot 100 \quad [\%] \quad (4.9)$$

gdzie:

C_{rk} – przepustowość rzeczywista wlotu krytycznego k [P/h], obliczona wg wzoru (4.7),

Q_k – obliczeniowe natężenie ruchu na wlocie krytycznym k [P/h].

4.10. Stopień wykorzystania przepustowości wlotu oraz rezerwa przepustowości rzeczywistej wlotu

Ze wskaźnikiem dopuszczalnego wzrostu ruchu w_{rr} związany jest inny używany w analizach wskaźnik, zwany stopniem wykorzystania przepustowości wlotu ρ_{wl} . Przyjmując jako poziom odniesienia przepustowość rzeczywistą wlotu C_{rwl} ronda (obliczoną na podstawie przepustowości rzeczywistej ronda C_{rr}), stopień wykorzystania przepustowości wlotu (jednakowy dla wszystkich wlotów ronda) wylicza się z równania:

$$\rho_{wl} = \frac{Q_{wl}}{C_{rwl}} \quad [-] \quad (4.10)$$

gdzie:

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

C_{rwl} – przepustowość rzeczywista wlotu wl [P/h], obliczona wg wzoru (4.7).

Znając przepustowość rzeczywistą wlotu C_{rwl} , można obliczyć także rezerwę przepustowości rzeczywistej wlotu ronda ΔC_{rwl} z następującego równania:

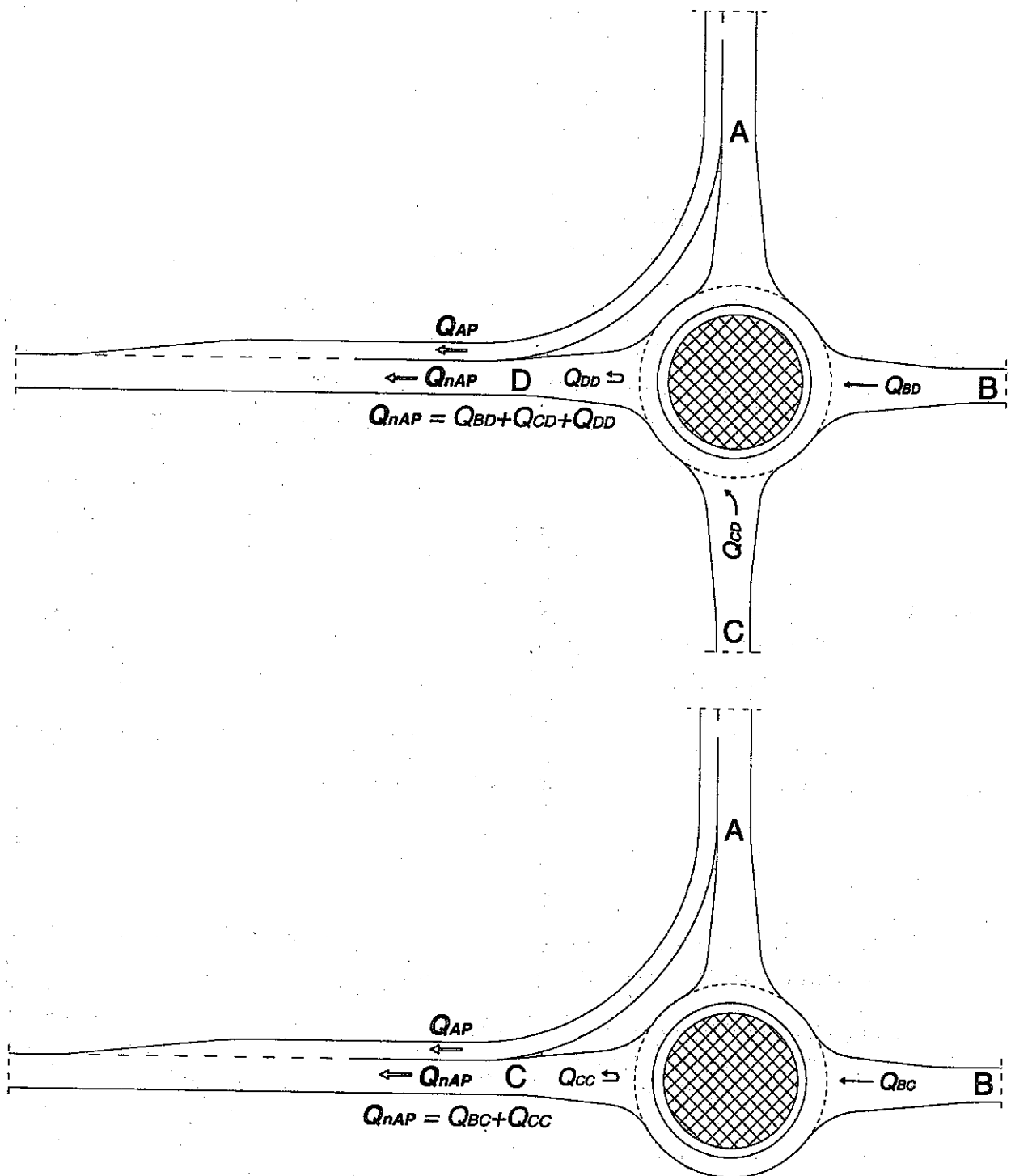
$$\Delta C_{rwl} = C_{rwl} - Q_{wl} \quad [\text{P/h}] \quad (4.11)$$

4.11. Przepustowość włączenia pasa ruchu dla skrętu w prawo prowadzonego poza jezdnią ronda

Szczególnym, dopuszczalnym w określonych warunkach [14], elementem rozwiązania ronda jest poprowadzenie skrętu w prawo poza jezdnią ronda. Przepustowość takiego pasa ruchu dla skrętu w prawo zależy przede wszystkim od natężenia nadrzędnego w miejscu włączenia tego pasa do wylotu z ronda, a ponadto od ukształtowania tego włączenia, jak również od rozwiązania wyłączenia skrętu w prawo na wlocie ronda. Poniżej opisana procedura szacowania przepustowości takiego pasa zakłada jego rozwiązanie zgodne z zaleceniami wytycznych projektowania skrzyżowań [14], tzn. z obecnością pasa wyłączania na wlocie ronda oraz z obecnością pasa włączania na wlocie z ronda (rys. 4.7). Przy takim rozwiązaniu pojazdy skręcające w prawo, włączają się na wlocie z ronda z równoległego pasa do potoku ruchu opuszczającego rondo, wykorzystując luki czasu między pojazdami w tym potoku.

Natężenie potoku na wlocie ronda Q_{nwlP} nadrzędne dla pojazdów skręcających w prawo poza jezdnią ronda z danego wlotu wp jest to suma natężeń ruchu wszystkich relacji wcho-

dzących w skład potoku wypływającego z ronda wylotem, w który kieruje się analizowana relacja skrętu w prawo. Zasadę obliczania natężenia nadrzędnego Q_{nwlP} dla skrętu w prawo prowadzonego poza jezdnią ronda ilustruje rys. 4.7.

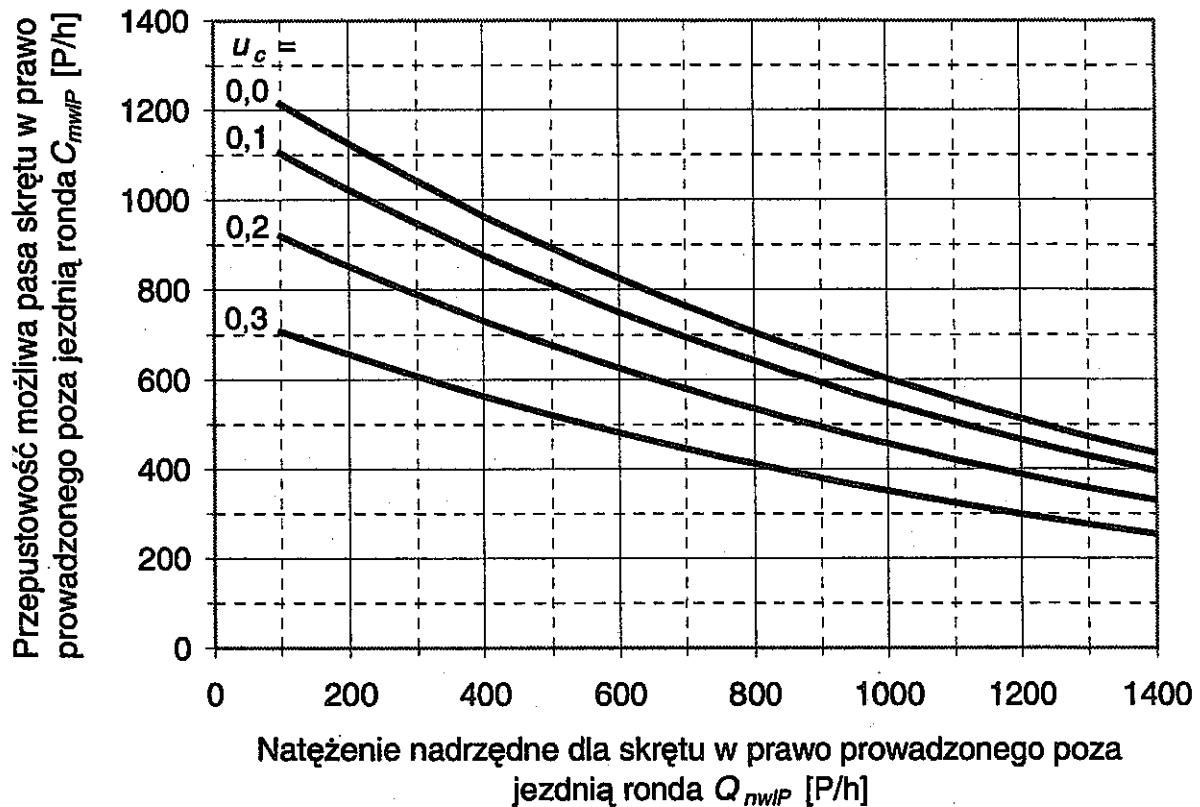


Rys. 4.7. Natężenie potoku nadrzędnego dla skrętu w prawo prowadzonego poza jezdnią ronda

Natężenia strumieni tworzących potok nadrzędny są wyrażane w pojazdach rzeczywistych [P/h], przy czym czasową jednostkę odniesienia dla obliczeniowego natężenia stanowi 1 godzina, niezależnie od tego, czy – stosownie do przyjętego okresu analizy t_a (p. 3.2) – na-

teżenie to faktycznie odnosi się do okresu godziny, czy też do krótszego okresu 15 minut.

Szacunkową przepustowość możliwą C_{mwIP} prowadzonego poza jezdnią ronda pasa dla skrętu w prawo, zakończonego pasem włączania można odczytać z wykresu na rys. 4.8, dla ustalonych wcześniej wartości natężenia nadrzędnego Q_{nwIP} oraz udziału pojazdów ciężkich w strumieniu pojazdów skręcających w prawo.



Rys. 4.8. Przepustowość możliwa pasa skrętu w prawo prowadzonego poza jezdnią ronda

Wartości przepustowości odczytane z powyższego wykresu nie uwzględniają wpływu pieszych przechodzących przez pas dla skrętu w prawo na wyznaczonych przejściach. Piesi mogą powodować zatrzymanie pojazdów poruszających się tym pasem, co wpływa na zmniejszenie jego przepustowości. Równocześnie piesi przechodzący przez przejście na wylocie ronda mogą zatrzymywać potok pojazdów opuszczających rondo, co ułatwia wyjazd z analizowanego pasa, a zatem prowadzi do wzrostu jego przepustowości. Z powodu złożoności tego oddziaływania pieszych oraz braku badań empirycznych niniejsza metoda nie uwzględnia tego wpływu.

5. OCENA WARUNKÓW RUCHU NA WLOTACH RONDA

5.1. Klasyfikacja warunków ruchu

Całkowite wykorzystanie przepustowości pasów ruchu możliwe jest tylko przy utrzymaniu się stałej kolejki pojazdów. Tylko w takiej sytuacji bowiem każdy odstęp czasu w potoku nadrzędnym na jezdni ronda większy od granicznego odstępu czasu t_g , odpowiedniego dla rozważanego wlotu, będzie wykorzystany. Związane jest to z występowaniem bardzo uciążliwych warunków ruchu (duże straty czasu, długie kolejki i zatrzymanie wszystkich pojazdów), które nie są do zaakceptowania przez kierowców. Dlatego przepustowość jako jedyna miara nie może być podstawą projektowania lub oceny dostosowania skrzyżowań do istniejących potrzeb ruchowych.

Do celów projektowania skrzyżowań nowych oraz oceny warunków ruchu na skrzyżowaniach istniejących stany warunków ruchu są określane przez tzw. poziomy swobody ruchu (*PSR*), będące jakościową miarą warunków ruchu, uwzględniającą odczucia i oceny reprezentacji populacji kierowców. Odpowiadają one pośrednim warunkom między ruchem o nieznacznych zakłóceniach przejazdu pojazdów przez skrzyżowanie a ruchem na granicy nasycenia, kiedy natężenie ruchu równe jest przepustowości. Cały zakres zmienności warunków ruchu podzielony został na cztery stany opisujące warunki jako: **bardzo dobre** (*PSR I*), **dobre** (*PSR II*), **przeciętne** (*PSR III*) i **niekorzystne** (*PSR IV*).

Podstawowym kryterium oceny jakości ruchu na rondach jest średnia strata czasu d przypadająca na pojazd [s/P] (głównie z powodu oczekiwania w kolejce) ponoszona przez pojazdy relacji podporządkowanych w okresie analizy (godzina lub 15 minut, stosownie do ustaleń w p. 3.2). W ocenie warunków ruchu uwzględnia się straty czasu występujące w danych warunkach drogowo-ruchowych na rondzie, przy dobrej widoczności z poszczególnych wlotów ronda oraz dobrych warunkach oświetlenia i pogody. Poszczególnym stanom warunków ruchu przypisane są średnie straty czasu pojazdów zestawione w tab. 5.1.

Tab. 5.1. Graniczne wartości średnich strat czasu dla poszczególnych poziomów swobody ruchu

<i>PSR</i>	Warunki ruchu	Średnia strata czasu d [s/P]
I	bardzo dobre	$\leq 15,0$
II	dobre	$15,1 \div 30,0$
III	przeciętne	$30,1 \div 50,0$
IV	niekorzystne	$> 50,0$

Poziom swobody ruchu *PSR III* może oznaczać niestabilne warunki ruchu, przy których niewielki wzrost natężenia ruchu może powodować szybki wzrost długości kolejek i strat czasu. Straty maksymalne pojedynczych pojazdów mogą sięgać wówczas nawet kilku minut. Tak niekorzystne warunki ruchu nie byłyby akceptowane przez większość kierowców, stąd też powinny być ograniczane jako warunki projektowe oraz eksploatacyjne skrzyżowań.

Zaleca się tak projektować skrzyżowania, aby na wlotach warunki ruchu, przy prognozowanych natężeniach ruchu, nie były gorsze niż odpowiadające II i III *PSR*, a wyjątkowo IV *PSR*, lecz z dodatkowymi ograniczeniami, w zależności od klasy krzyżujących się dróg i lokalizacji skrzyżowania. Szczegółowe zalecenia w zakresie wymagań odnośnie konieczności zapewnienia odpowiedniego poziomu swobody ruchu podają Wytyczne projektowania skrzyżowań drogowych [14]. Przy dopuszczeniu IV *PSR* średnie straty czasu nie powinny przekraczać 75 s/P, a rezerwa przepustowości możliwej nie powinna być mniejsza niż 30 P/h. Przy projektowaniu rond zaleca się na wlotach o większym znaczeniu ruchowym (wyższej funkcji) zapewnienie co najmniej III *PSR*, a na pozostałych wlotach podporządkowanych IV *PSR* może być dopuszczony wyjątkowo.

Prezentowana metoda umożliwia ocenę poziomów swobody ruchu dla wlotów podporządkowanych ronda.

Metoda umożliwia ponadto obliczenie granicznych wartości rezerwy przepustowości możliwej wlotów ronda ΔC_{mwl} odpowiadających poszczególnym (*i*-tym) poziomom swobody ruchu, które są podstawą wyznaczenia natężeń krytycznych Q_{kwl}^i . Natężenie ruchu mniejsze od natężenia krytycznego, ustalonego dla wybranego *PSR*, będzie gwarantować występowanie warunków ruchu nie gorszych od przyjętego *PSR* na analizowanych wlotach podporządkowanych ronda, pod warunkiem niezmienności natężeń na pozostałych wlotach ronda (stałej wartości natężenia nadrzędnego na jezdni ronda przy rozważanym wlocie). Faktycznie dopuszczalny wzrost natężenia na całym rondzie określa wskaźnik dopuszczalnego wzrostu ruchu w_{rr} (wzór (4.9)), wyznaczany po obliczeniu rzeczywistej przepustowości ronda C_{rr} .

5.2. Rezerwa przepustowości możliwej i straty czasu pojazdów na wlocie ronda

Dla poszczególnych wlotów ronda *wl* można, przy znanym natężeniu nadrzędnym, wyznaczyć rezerwę przepustowości możliwej ΔC_{mwl} w [P/h] z następującego wzoru:

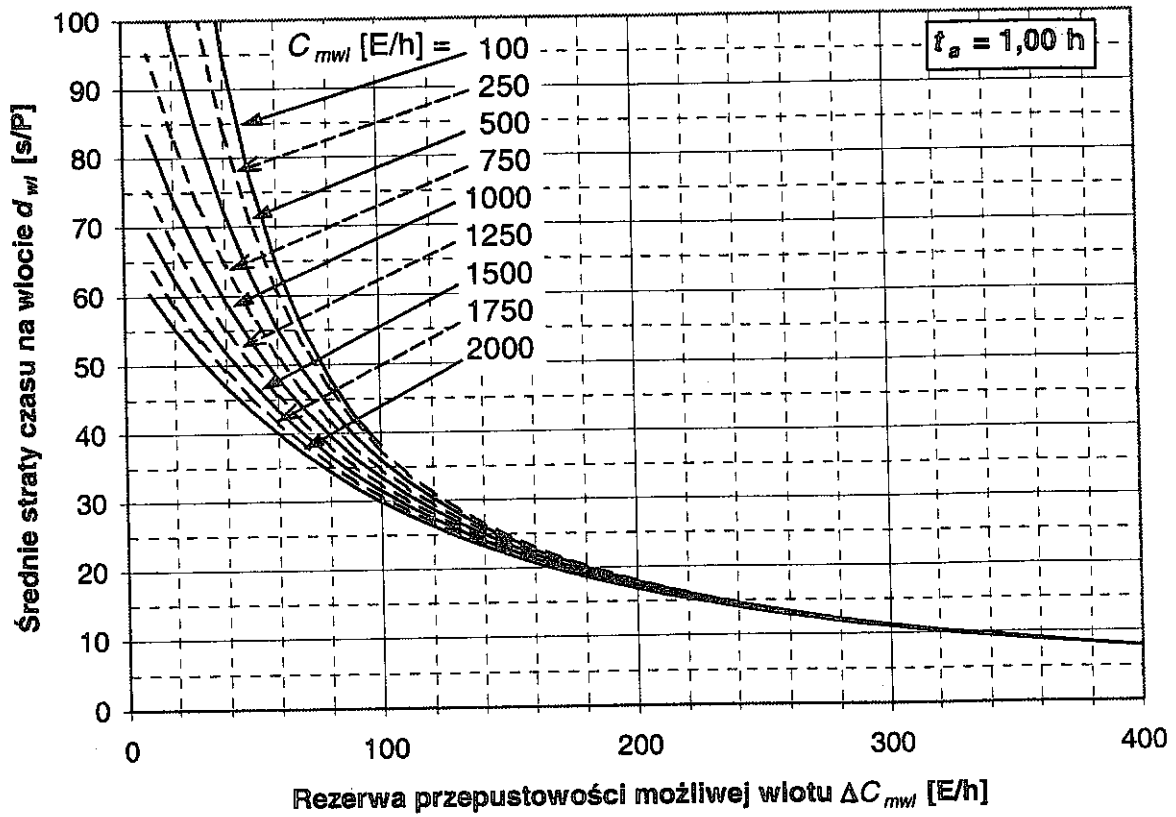
$$\Delta C_{mwl} = C_{mwl} - Q_{wl} \quad [\text{P/h}] \quad (5.1)$$

gdzie:

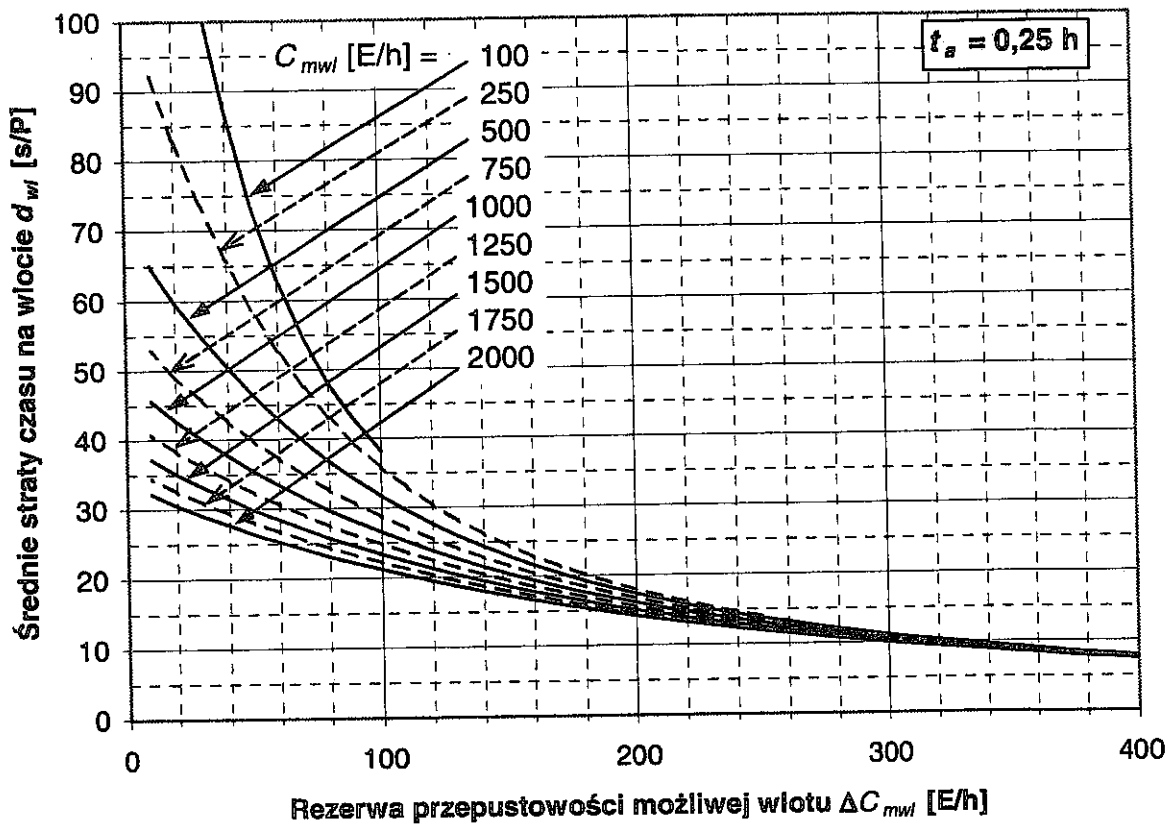
C_{mwl} – przepustowość możliwa wlotu wyznaczona z równania (4.5) [P/h],

Q_{wl} – obliczeniowe natężenie ruchu na wlocie, ustalone zgodnie z zapisami w p. 3.2 [P/h].

Im większa jest rezerwa przepustowości możliwej, tym lepsze warunki panują na wlocie przy danym natężeniu nadrzędnym. Związek między średnimi stratami czasu d_{wl} pojazdów wjeżdżających na jezdnię ronda z wlotu *wl* a rezerwą przepustowości możliwej ΔC_{mwl} i przepustowością możliwą wlotu C_{mwl} przedstawiają rys. 5.1 (dla okresu analizy $t_a = 1,00$ h) i rys. 5.2 (dla okresu analizy $t_a = 0,25$ h). Dla innych niż podane na wykresach wartości przepustowości możliwej C_{mwl} wlotu, przy odczycie średnich strat czasu d_{wl} , należy dokonywać interpolacji. Dla dokładnego obliczenia strat czasu d_{wl} [s/P] można skorzystać z wzoru (5.2):



Rys. 5.1. Wykres do wyznaczania średnich strat czasu na wlocie ronda przy okresie analizy $t_a = 1,00$ h



Rys. 5.2. Wykres do wyznaczania średnich strat czasu na wlocie ronda przy okresie analizy $t_a = 0,25$ h

$$d_{wl} = \begin{cases} 1,12 \cdot \left[\frac{3600}{C_{mwl}} + 900 \cdot t_a \cdot \left\{ \left(\frac{Q_{wl}}{C_{mwl}} - 1 \right) + \sqrt{\left(\frac{Q_{wl}}{C_{mwl}} - 1 \right)^2 + \frac{3600 \cdot Q_{wl}}{C_{mwl} \cdot 450 \cdot t_a}} \right\} \right] + \frac{0,027}{1 - 0,99 \cdot \frac{Q_{wl}}{C_{mwl}}} - 2,2 \\ \text{dla } 0,0 < \frac{Q_{wl}}{C_{mwl}} \leq 1,0 \\ \text{[s/P]} \quad (5.2) \\ \\ 1,12 \cdot \left[\frac{3600}{C_{mwl}} + 900 \cdot t_a \cdot \left\{ \left(\frac{Q_{wl}}{C_{mwl}} - 1 \right) + \sqrt{\left(\frac{Q_{wl}}{C_{mwl}} - 1 \right)^2 + \frac{3600 \cdot Q_{wl}}{C_{mwl} \cdot 450 \cdot t_a}} \right\} \right] + 0,5 \\ \text{dla } 1,0 < \frac{Q_{wl}}{C_{mwl}} \leq 1,2 \end{cases}$$

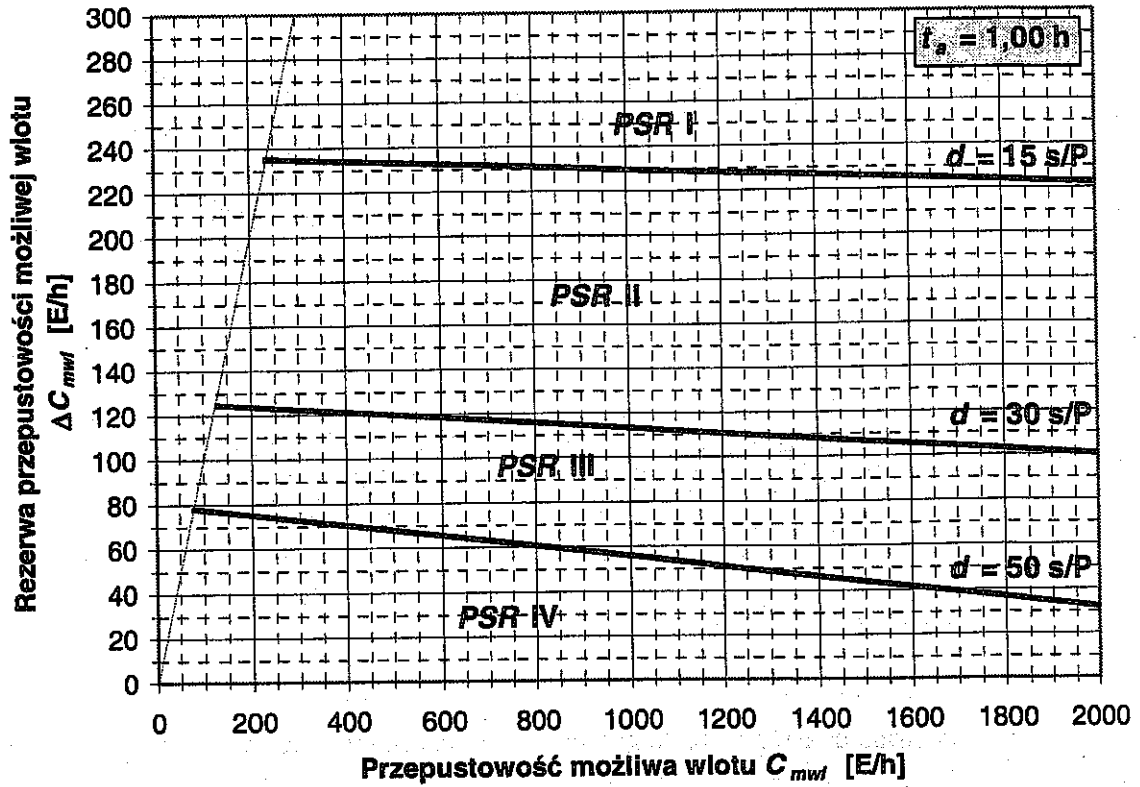
gdzie:

- d_{wl} – średnia strata czasu przypadająca na pojazd analizowanego wlotu ronda wl [s/P],
- C_{mwl} – przepustowość możliwa wlotu ronda wl , obliczona z wzoru (4.5) [P/h],
- Q_{wl} – obliczeniowe natężenie ruchu na wlocie, ustalone zgodnie z zapisami podanymi w p. 3.2 [P/h],
- t_a – okres analizy [h], przyjęty zgodnie z przesłankami podanymi w p. 3.2 (dla okresu analizy o długości 15 min – $t_a = 0,25$ h).

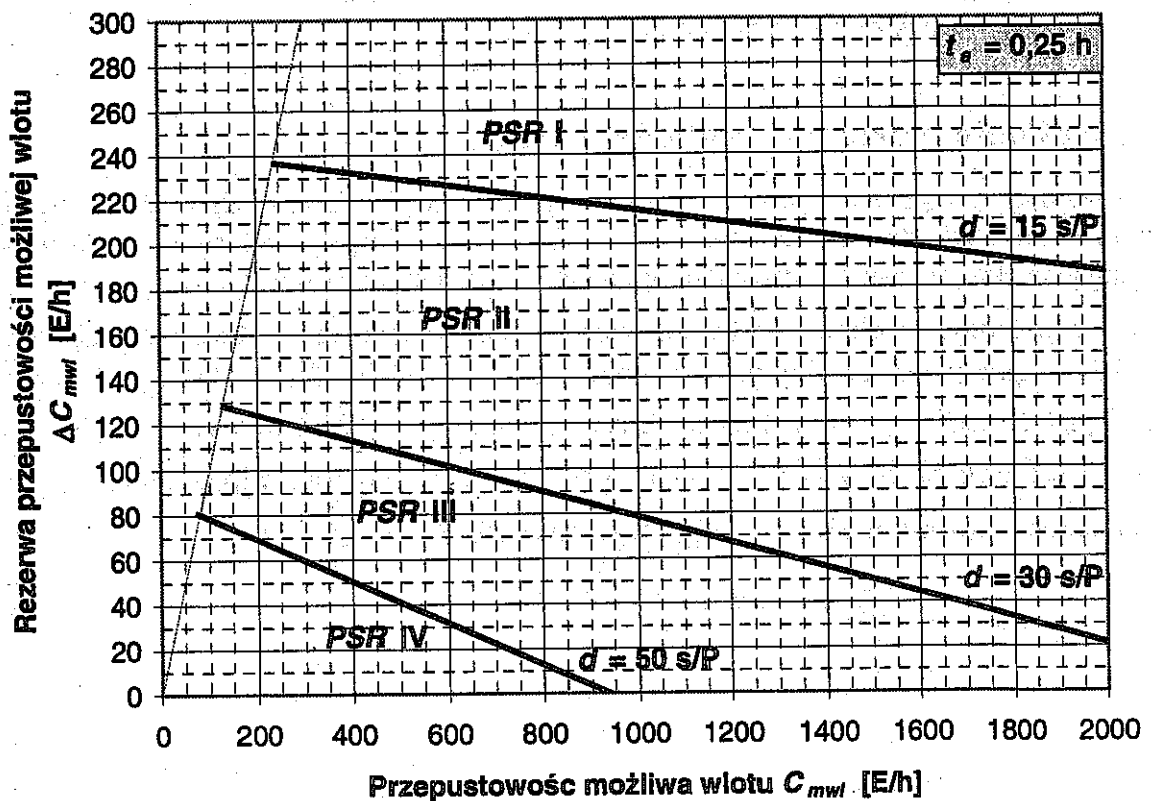
5.3. Określanie poziomu swobody ruchu

Korzystając z wyznaczonych z wykresów rys. 5.1 lub 5.2, ewentualnie obliczonych ze wzoru (5.2) średnich strat czasu, można określić poziom swobody ruchu na danym wlocie, porównując te straty czasu z wartościami granicznymi podanymi w tab. 5.1.

Określenia poziomu swobody ruchu na wlocie ronda można także dokonać, korzystając z rys. 5.3 – w przypadku analizy prowadzonej w okresie godziny ($t_a = 1,00$ h) lub z rys. 5.4 – w przypadku analizy prowadzonej w okresie 15 min ($t_a = 0,25$ h). Danymi wyjściowymi dla określenia PSR są, przy tym podejściu, przepustowość możliwa wlotu ronda C_{mwl} oraz rezerwa przepustowości możliwej ΔC_{mwl} wyrażone w [E/h].



Rys. 5.3. Wykres do wyznaczania PSR oraz krytycznej wartości rezerwy przepustowości możliwej ΔC^i_{kmwl} na wlocie ronda przy okresie analizy $t_a = 1,00$ h



Rys. 5.4. Wykres do wyznaczania PSR oraz krytycznej wartości rezerwy przepustowości możliwej ΔC^i_{kmwl} na wlocie ronda przy okresie analizy $t_a = 0,25$ h

5.4. Krytyczne natężenia ruchu na wlotach ronda

Procedura umożliwia wyznaczanie natężeń krytycznych Q_k^i dla poszczególnych PSR. W sytuacji, gdy natężenie ruchu na wlocie podporządkowanym ronda jest mniejsze od natężenia krytycznego Q_{kwl}^i dla i -tego PSR, to warunki na tym wlocie są nie gorsze od przyjętego PSR.

Natężenia krytyczne Q_{kwl}^i dla wlotu podporządkowanego ronda, odpowiadające poszczególnym poziomom swobody ruchu i , wyznacza się zgodnie ze wzorem (5.3), odczytując wcześniej z wykresu (rys. 5.3 lub 5.4) wartość wymaganej (krytycznej) dla każdego PSR rezerwy przepustowości możliwej wlotu ronda ΔC_{kowl}^i :

$$Q_{kwl}^i = C_{mwl} - \Delta C_{kowl}^i \quad [P/h] \quad (5.3)$$

$$Q_{kwl}^i [E/h] = Q_{kwl}^i [P/h] \cdot \frac{1}{f_c} \quad (5.4)$$

gdzie:

- Q_{kwl}^i – natężenie krytyczne na wlocie wl dla poziomu swobody ruchu i (dla $i = I \div III$) [P/h], [E/h],
- C_{mwl} – przepustowość możliwa wlotu wl [P/h], obliczona z wzoru (4.5),
- ΔC_{kowl}^i – krytyczna rezerwa przepustowości możliwej wlotu wl dla poziomu swobody ruchu i [P/h], wyznaczona z rys. 5.3 lub 5.4 w zależności od przyjętego okresu analizy t_a (w nawiązaniu do zapisu w p. 3.2),
- f_c – korygujący współczynnik uwzględniający wpływ struktury rodzajowej ruchu, wyznaczany zgodnie z procedurą opisaną w p. 4.5 [-].

Krytyczna rezerwa przepustowości możliwej wlotu ΔC_{kowl}^i odpowiada górnej granicy średnich strat czasu dla poziomu swobody i . Jej wartość można odczytać z wykresów na rys. 5.3 lub 5.4 dla obliczonej wcześniej przepustowości możliwej wlotu C_{mwl} . Natężenie krytyczne jest wyznaczane w jednostkach rzeczywistych dla okresu godziny [P/h] (niezależnie od długości okresu analizy t_a) i może być przeliczone na jednostki umowne [E/h] wg wzoru (5.4). Należy pamiętać, że natężenia krytyczne dla danego wlotu i poszczególnych PSR odpowiadają konkretnej wartości natężenia nadrzędnego na jezdni ronda przy danym wlocie. Natężenie krytyczne dla PSR IV odpowiada przepustowości możliwej wlotu $Q_{kwl}^{IV} = C_{mwl}$.

5.5. Miarodajna długość kolejki na wlocie ronda

Długość kolejki pojazdów, które oczekują na wlocie ronda na możliwość wjazdu na jezdnię ronda, jest ważnym parametrem projektowym. Korzystając z wcześniej wyliczonej przepustowości możliwej wlotu ronda, a także uwzględniając natężenie ruchu na danym wlocie ronda, miarodajną długość kolejki, wyrażoną w pojazdach, oblicza się ze wzoru:

$$K_{wl}^m = \frac{C_{mwl}}{4} \cdot t_a \cdot \left[\left(\frac{Q_{wl}}{C_{mwl}} - 1 \right) + \sqrt{\left(\frac{Q_{wl}}{C_{mwl}} - 1 \right)^2 + \frac{3600 \cdot Q_{wl}}{C_{mwl} \cdot C_{mwl} \cdot 150 \cdot t_a}} \right] \quad [P] \quad (5.5)$$

gdzie:

- K_{wl}^m – miarodajna długość kolejki dla analizowanego wlotu ronda wl [P],
- pozostałe oznaczenia jak we wzorze (5.2).

Wyliczona z wzoru (5.5) długość kolejki odpowiada kwantylowi 95% występowania maksymalnych kolejek na pasie. Jest to łączna liczba pojazdów oczekujących w kolejce na wlocie. Jeżeli na wlocie ronda występują dwa pasy ruchu, to kolejkę tę należy rozłożyć na pasy; w przypadku ronda dwupasowego dzieląc przez dwa, a w przypadku ronda semi-dwupasowego uwzględniając udział pojazdów korzystających z lewego pasa m_l (por. wzór (4.2)).

Długość kolejki wyrażoną w metrach L_K , tzw. zasięg kolejki, należy wyliczać, mnożąc wartość K_{wl}^m , przypadającą na jeden pas ruchu, przez przeciętną długość stanowiska pojazdu w kolejce l_p :

$$L_K = K_{wl}^m \cdot l_p \quad [m] \quad (5.6)$$

przy czym l_p obliczane jest w poniższy sposób:

$$l_p = l_l + u_c \cdot (l_c - l_l) \quad [m] \quad (5.7)$$

gdzie:

- u_c – udział pojazdów ciężkich w natężeniu analizowanej relacji podporządkowanej,
- l_l, l_c – średnia długość w kolejce pojazdu lekkiego i ciężkiego [m] (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).

6. ORIENTACYJNE PRZEPUSTOWOŚCI RONDA DO CELÓW PLANISTYCZNYCH

W planowaniu układów komunikacyjnych występuje potrzeba szybkiej oceny przepustowości dobieranych skrzyżowań. Zakres danych do analizy obejmuje w takim przypadku tylko dane dostępne w fazie planowania. Ze względów praktycznych istotna jest w tej fazie prostota i łatwość oceny. Przyjmując liczne założenia upraszczające oraz przeciętne wartości parametrów determinujących funkcjonowanie rond, w tab. 6.1 zestawiono zakresy przybliżonych wartości przepustowości rzeczywistych rond oraz natężeń dopuszczalnych.

Przyjęte założenia:

- rozważa się ronda o trzech oraz czterech wlotach:
 - jednopasowe,
 - semi-dwupasowe z jednym i dwoma pasami na wlotach,
 - dwupasowe z jednym i dwoma pasami na wlotach,
- reprezentatywna średnica zewnętrzna ronda:
 - jednopasowego - $D_z = 32$ m,
 - semi-dwupasowego - $D_z = 42$ m,
 - dwupasowego - $D_z = 50$ m,
- z poszczególnych wlotów wjeżdżają na rondo potoki pojazdów o zbliżonych natężeniach,
- struktura kierunkowa ruchu na wlotach ronda jest zmienna w zakresach podanych w tab. 6.1,
- na rondzie występuje 100 % samochodów osobowych,
- pominięto wpływ ruchu pieszych,
- przepustowość rzeczywista ronda C_{rr} wyznaczona została zgodnie z procedurą opisaną w p. 4.7,
- natężenie dopuszczalne Q_d wyznaczone zostało zgodnie z procedurą opisaną w p. 4.7, przy założeniu, że na wlocie krytycznym straty czasu pojazdów nie przekraczają 50 s/P, co odpowiada granicy pomiędzy PSR III i PSR IV.

W pracach planistycznych zaleca się przyjmowanie jako miarodajnych natężeń dopuszczalnych Q_d .

Tab. 6.1. Przybliżone przepustowości rzeczywiste oraz dopuszczalne natężenia na rondach

Rondo	3 wloty				4 wloty			
	Q_d [E/h]		C_{rr} [E/h]		Q_d [E/h]		C_{rr} [E/h]	
	a)	b)	a)	b)	a)	b)	a)	b)
jednopasowe	2250	2500	2390	2640	2340	2820	2490	2980
semi-dwupasowe (2 pasy na A i B)	2610	2930	2720	3060	2630	3230	3460	3800
semi-dwupasowe (2 pasy na każdym z wlotów)	3150	3380	3250	3500	3010	3500	3140	3640
dwupasowe średnie	3650	4190	3740	4280	3560	4460	3680	4590
struktura kierunkowa dla przypadków a) i b)	a) L=60 %, P=40 % b) L=40 %, P=60 %				a) L=50 %, W=25 %, P=25 % b) L=25 %, W=25 %, P=50 %			

7. FORMULARZE OBLICZENIOWE

Dla ułatwienia i ujednoczenia prowadzenia obliczeń opracowane zostały formularze obliczeniowe. Dotyczą one dwóch przypadków analiz:

- obliczenie przepustowości i ocena warunków ruchu dla poszczególnych wlotów ronda przy istniejących bądź założonych natężeniach ruchu – formularze: **1 ÷ 3**,
- obliczenie przepustowości rzeczywistej ronda przy znanych proporcjach natężeń oraz strukturze kierunkowej ruchu na poszczególnych wlotach – formularze **1 ÷ 3** oraz dodatkowy formularz **3a**.

OBLICZANIE PRZEPUSTOWOŚCI I OCENA WARUNKÓW RUCHU NA SKRZYŻOWANIU TYPU RONDO

DANE OGÓLNE

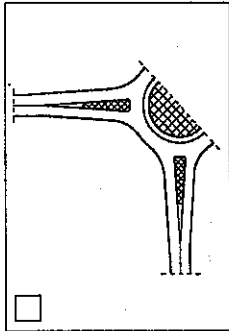
FORMULARZ

1

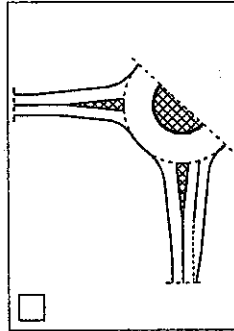
Skrzyżowanie:

Analizę wykonał:

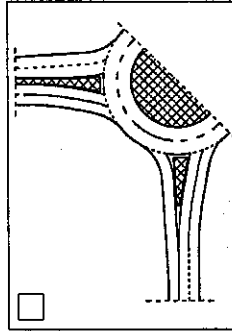
Pomiar natężenia ruchu: TAK NIE Data: Godzina:



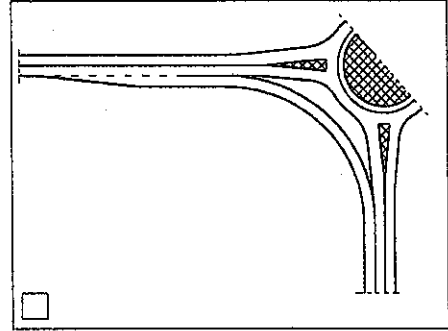
symbol **R1**
(rondo jednopasowe)



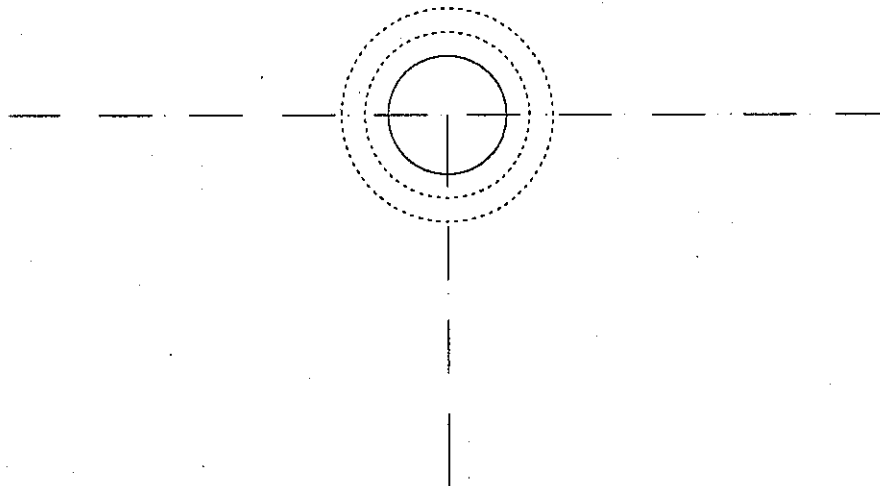
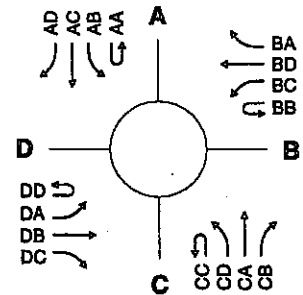
symbol **RS1** lub **RS2**
(rondo semi-dwupasowe)



symbol **R21** lub **R22**
(rondo dwupasowe)



symbol **R1P, R2P**
(skręt w prawo poza jezdnią ronda)



DANE GEOMETRYCZNE RONDA:

Liczba pasów na jezdni ronda:

Liczba wlotów na rondo:

Liczba pasów na wlocie: A B C D E

Skręt w prawo poza jezdnią ronda na wlocie: A B C D E

Średnica zewnętrzna ronda: [m]

INNE DANE / INFORMACJE:

OBLICZANIE PRZEPUSTOWOŚCI I OCENA WARUNKÓW RUCHU NA SKRZYŻOWANIU TYPU RONDO																
DANE RUCHOWE														FORMULARZ	2	
Dane dotyczące ruchu pojazdów i pieszych																
Włot	A				B				C				D			
Relacja ¹⁾	AB	AC	AD	AA	BC	BD	BA	BB	CD	CA	CB	CC	DA	DB	DC	DD
Natężenie Q_o [P/h]																
Wskaźnik zmienności ruchu k_{f5} [-]																
Natężenie obliczeniowe Q [P/h] (wzór (3.1))																
Udział procentowy relacji w ruchu na wlocie Q_r/Q_{wl} 100 [%]																
Udział procentowy potoków ruchu z wlotów w sumarycznym ruchu na rondzie $m_{wl} = Q_{wl}/\Sigma Q_{wl} \cdot 100$ [%]																
Udział procentowy natężenia na lewym pasie wlotu dwupasowego w całym natężeniu na wlocie m_l ²⁾ [%]																
Udział samochodów ciężkich i autobusów u_c [-]																
Udział samochodów ciężkich z przyczepą i autobusów przegubowych u_{cp} [-]																
Udział rowerów i motocykli u_{mr} [-]																
Współczynnik wpływu struktury rodzajowej f_c [-] (wzór (4.4))																
Natężenie ruchu pieszego Q_{wlPs} [Ps/h]																

¹⁾ w przypadku rond o 3 wlotach należy wykreślić relacje, które nie występują

²⁾ dotyczy tylko rond semi-dwupasowych

OBLICZANIE PRZEPUSTOWOŚCI I OCENA WARUNKÓW RUCHU NA SKRZYŻOWANIU TYPU RONDO					
OBLICZENIE PRZEPUSTOWOŚCI I OCENA WARUNKÓW RUCHU WLOTÓW RONDA				FORMULARZ	3
Obliczenie przepustowości możliwych wlotów ronda					
Wlot	A	B	C	D	
Natężenie nadrzędne na jezdni ronda Q_{nwl} [P/h] (rys. 4.1)					
Graniczny odstęp czasu t_g [s] (tab. 4.1)					
Odstęp czasu między pojazdami t_f [s] (tab. 4.1)					
Udział procentowy natężenia na lewym pasie wlotu dwupasowego w całym natężeniu na wlocie $m_l^{1)}$ [%] (F: 2)					
Przepustowość wyjściowa wlotu ronda C_{owl} [E/h] (wzory (4.1) + (4.3))					
Współczynnik wpływu struktury rodzajowej f_c [-] (F: 2)					
Współczynnik wpływu pieszych f_p [-] (rys. 4.5, 4.6)					
Przepustowość możliwa wlotu ronda C_{mwl} [P/h] (wzór (4.5))					
Ocena warunków ruchu na wlotach ronda					
Wlot	A	B	C	D	
Natężenie obliczeniowe Q_{wl} [P/h] (F: 2)					
Przepustowość możliwa wlotu ronda C_{mwl} [P/h] (wzór (4.5))					
Rezerwa przepustowości możliwej wlotu ΔC_{mwl} [P/h] (wzór (5.1))					
Strata czasu d_{wl} [s/P] (wzór (5.2))					
PSR (rys. 5.3, 5.4)					
Miarodajna długość kolejki K_{wl}^m [P] (wzór (5.5))					
Przeciętna długość stanowiska pojazdu w kolejce l_p [m] (wzór (5.7))					
Długość (zasięg) kolejki L_K [m] (wzór (5.6))					
Przepustowość rzeczywista wlotów ronda					
Wlot	A	B	C	D	
Przepustowość rzeczywista ronda C_{rr} [P/h] (F: 3a)					
Przepustowość rzeczywista wlotu C_{rw} [P/h] (wzór (4.7))					
Wskaźnik dopuszczalnego wzrostu ruchu w_{rr} [%] (wzór (4.9))					
ρ_{wl} [-] (wzór (4.10))					
Rezerwa przepustowości rzeczywistej wlotu ΔC_{rw} [P/h] (wzór (4.11))					

1) dotyczy tylko rond semi-dwupasowych

OBLICZANIE PRZEPUSTOWOŚCI I OCENA WARUNKÓW RUCHU NA SKRZYŻOWANIU TYPU RONDO																	
OBLICZENIE PRZEPUSTOWOŚCI RZECZYWISTEJ RONDA															FORMULARZ		3a
I krok iteracji																	
Wlot	A				B				C				D				
Relacja	AB	AC	AD	AA	BC	BD	BA	BB	CD	CA	CB	CC	DA	DB	DC	DD	
Udział procentowy potoków ruchu z wlotów w sumarycznym ruchu na rondzie m_r [%] (F: 2)																	
Nateżenie wyjściowe do iteracji Q_{wl}^1 [P/h]																	
Nateżenie nadrzędne na jezdni ronda Q_{nwl} [P/h] (rys. 4.1)																	
Graniczny odstęp czasu t_g [s] (tab. 4.1)																	
Odstęp czasu między pojazdami t_f [s] (tab. 4.1)																	
Udział procentowy nateżenia na lewym pasie wlotu dwupasowego w całym nateżeniu na wlocie $m_l^{1)}$ [%]																	
Współczynnik wpływu struktury rodzajowej f_c [-] (F: 2)																	
Współczynnik wpływu pieszych f_p [-] (rys. 4.5, 4.6)																	
Przepustowość możliwa wlotu ronda C_{mwl} [P/h] (wzór (4.5))																	
II krok iteracji																	
Wlot	A				B				C				D				
Nateżenie wyjściowe do iteracji Q_{wl}^2 [P/h]																	
Nateżenie nadrzędne na jezdni ronda Q_{nwl} [P/h] (rys. 4.1)																	
Współczynnik wpływu pieszych f_p [-] (rys. 4.5, 4.6)																	
Przepustowość możliwa wlotu ronda C_{mwl} [P/h] (wzór (4.5))																	
III krok iteracji																	
Wlot	A				B				C				D				
Nateżenie wyjściowe do iteracji Q_{wl}^3 [P/h]																	
Nateżenie nadrzędne na jezdni ronda Q_{nwl} [P/h] (rys. 4.1)																	
Współczynnik wpływu pieszych f_p [-] (rys. 4.5, 4.6)																	
Przepustowość możliwa wlotu ronda C_{mwl} [P/h] (wzór (4.5))																	
Przepustowość rzeczywista ronda C_{rr} [P/h] (wzór (4.6))																	

1) dotyczy tylko rond semi-dwupasowych

8. PRZYKŁADY OBLICZENIOWE

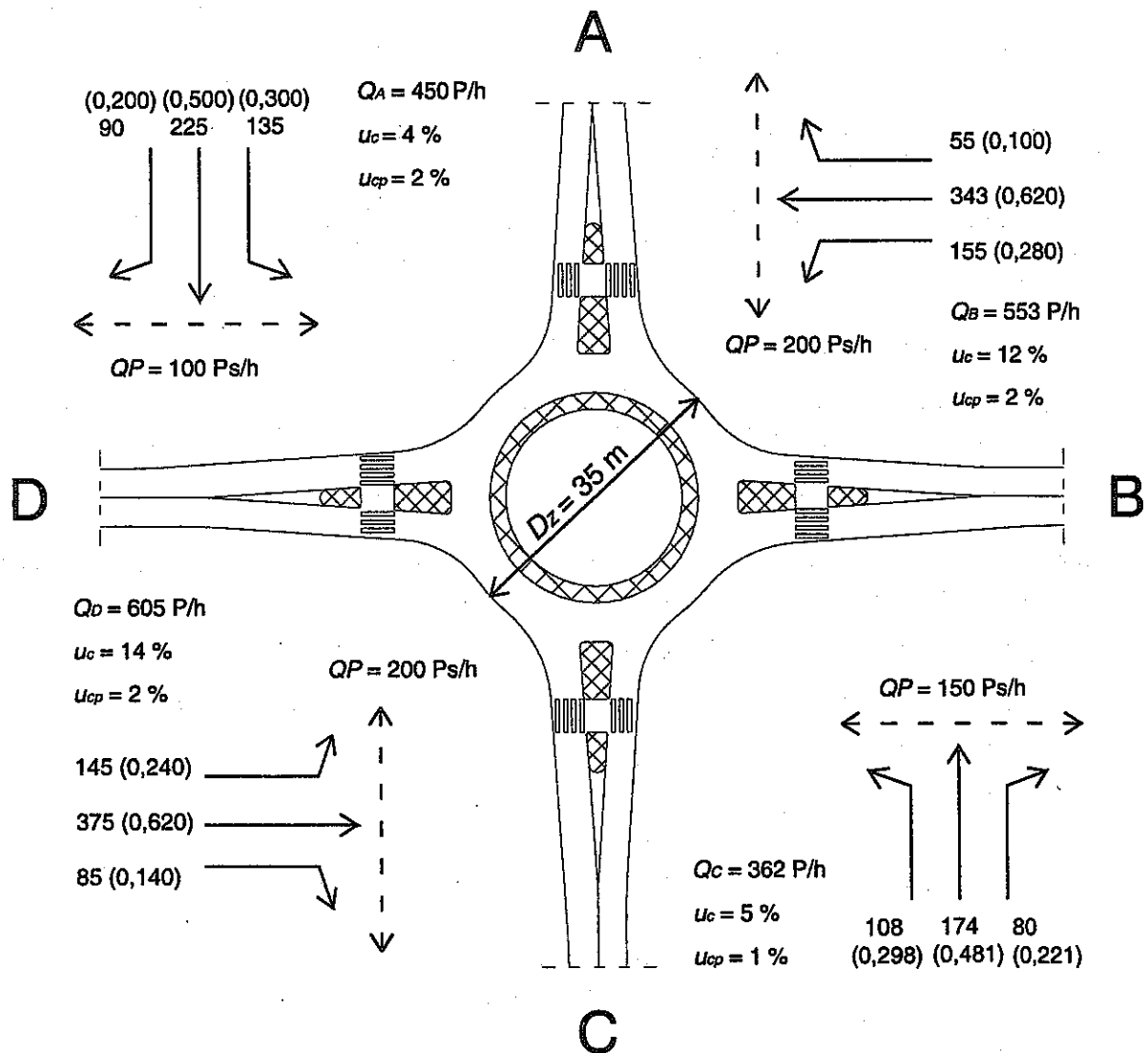
8.1. Przykład nr 1 – Rondo jednopasowe

Małe rondo jednopasowe zlokalizowane jest na terenie zabudowy. Jego średnica zewnętrzna wynosi $D_z = 35$ m, a wszystkie wloty są skanalizowane. Na wszystkich wlotach ronda występuje ruch pieszy. Pomierzone natężenia, strukturę kierunkową i rodzajową ruchu zestawiono na rys. 8.1. Wskaźnik zmienności ruchu w godzinie wynosi $k_{15} = 0,97$.

Celem analizy jest ocena warunków ruchu panujących na wlotach skrzyżowania przy danych natężeniach ruchu oraz obliczenie przepustowości tych wlotów, a także całego skrzyżowania.

Ponieważ na skrzyżowaniu występują niewielkie wahania natężeń ruchu w okresie godzinny – $k_{15} = 0,97 > 0,90$ – zgodnie z zapisem w p. 3.2 jako okres analizy przyjęto $t_a = 1,0$ h. Dlatego natężenia obliczeniowe Q równe są natężeniom pomierzonym Q_o (zgodnie z p. 3.2).

FORMULARZ: 1 – DANE OGÓLNE



Rys. 8.1. Szkic skrzyżowania do przykładu nr 1

FORMULARZ: 2 – DANE RUCHOWE

- Obliczenie procentowych udziałów potoków ruchu z poszczególnych wlotów w sumarycznym ruchu na rondzie oraz współczynników uwzględniających wpływ struktury rodzajowej na poszczególnych wlotach

$$m_{wl} = \frac{100 \cdot Q_{wl}}{\sum Q_{wl}} \quad [\%]$$

- wlot A: $Q_A = 450 \text{ P/h}$, $m_A = \frac{100 \cdot 450}{605 + 553 + 362 + 450} = 22,8 \%$,

$$f_{cA} = \frac{1}{1 + 0,04 \cdot (1,7 - 1) + 0,02 \cdot (2,5 - 1)} = 0,945, \quad (\text{wzór (4.4)})$$

- wlot B: $Q_B = 553 \text{ P/h}$, $m_B = \frac{100 \cdot 553}{605 + 553 + 362 + 450} = 28,1 \%$,

$$f_{cB} = \frac{1}{1 + 0,12 \cdot (1,7 - 1) + 0,02 \cdot (2,5 - 1)} = 0,898,$$

- wlot C: $Q_C = 362 \text{ P/h}$, $m_C = \frac{100 \cdot 362}{605 + 553 + 362 + 450} = 18,4 \%$,

$$f_{cC} = \frac{1}{1 + 0,05 \cdot (1,7 - 1) + 0,01 \cdot (2,5 - 1)} = 0,952,$$

- wlot D: $Q_D = 605 \text{ P/h}$, $m_D = \frac{100 \cdot 605}{605 + 553 + 362 + 450} = 30,7 \%$,

$$f_{cD} = \frac{1}{1 + 0,14 \cdot (1,7 - 1) + 0,02 \cdot (2,5 - 1)} = 0,886.$$

FORMULARZ: 3 – OBLICZENIE PRZEPUSTOWOŚCI I OCENA WARUNKÓW RUCHU WLOTÓW RONDA

- Obliczenie nadrzędnych natężeń ruchu na jezdni ronda Q_{nwl} w [P/h] przy poszczególnych wlotach (wg zasady podanej na rys. 4.1)

- wlot A: $Q_{nA} = Q_{CD} + Q_{BC} + Q_{BD} = 108 + 155 + 343 = 606 \text{ P/h}$,

- wlot B: $Q_{nB} = Q_{DA} + Q_{CD} + Q_{CA} = 145 + 108 + 174 = 427 \text{ P/h}$,

- wlot C: $Q_{nC} = Q_{AB} + Q_{DA} + Q_{DB} = 135 + 145 + 375 = 655 \text{ P/h}$,

- wlot D: $Q_{nD} = Q_{BC} + Q_{AB} + Q_{AC} = 155 + 135 + 225 = 515 \text{ P/h}$.

- Obliczenie przepustowości wyjściowych wlotów ronda

$$C_{owl} = \frac{Q_{nwl} \cdot \exp\left(-0,95 \cdot \frac{Q_{nwl} \cdot t_g}{3600}\right)}{1 - \exp\left(-1,10 \cdot \frac{Q_{nwl} \cdot t_f}{3600}\right)} \quad [\text{E/h}] \quad (\text{wzór (4.1)})$$

dla średnicy zewnętrznej ronda $D_z = 35$ m na podstawie tab. 4.1 przyjęto dla wszystkich wlotów: $t_g = 4,6$ s i $t_f = 2,8$ s,

wlot A: $Q_{nA} = 606$ P/h, $C_{oD} = \frac{606 \cdot \exp\left(-0,95 \cdot \frac{606 \cdot 4,6}{3600}\right)}{1 - \exp\left(-1,10 \cdot \frac{606 \cdot 2,8}{3600}\right)} = 718$ E/h,

wlot B: $Q_{nB} = 427$ P/h, $C_{oB} = \frac{427 \cdot \exp\left(-0,95 \cdot \frac{427 \cdot 4,6}{3600}\right)}{1 - \exp\left(-1,10 \cdot \frac{427 \cdot 2,8}{3600}\right)} = 831$ E/h,

wlot C: $Q_{nC} = 655$ P/h, $C_{oC} = \frac{655 \cdot \exp\left(-0,95 \cdot \frac{655 \cdot 4,6}{3600}\right)}{1 - \exp\left(-1,10 \cdot \frac{655 \cdot 2,8}{3600}\right)} = 689$ E/h,

wlot D: $Q_{nD} = 515$ P/h, $C_{oA} = \frac{515 \cdot \exp\left(-0,95 \cdot \frac{515 \cdot 4,6}{3600}\right)}{1 - \exp\left(-1,10 \cdot \frac{515 \cdot 2,8}{3600}\right)} = 773$ E/h.

Obliczenie przepustowości możliwych wlotów ronda

$$C_{mwl} = C_{owl} \cdot f_p \cdot f_c \quad [\text{P/h}] \quad (\text{wzór (4.5)})$$

wlot A: $f_{pA} = 0,99$ dla $QP_A = 100$ Ps/h i $Q_{nA} = 606$ P/h z rys. 4.5,

$$f_{cA} = 0,945,$$

$$C_{mA} = 718 \cdot 0,99 \cdot 0,945 = 672 \text{ P/h} > Q_A = 450 \text{ P/h},$$

wlot B: $f_{pB} = 0,95$ dla $QP_B = 200$ Ps/h i $Q_{nB} = 427$ P/h z rys. 4.5,

$$f_{cB} = 0,898,$$

$$C_{mB} = 831 \cdot 0,95 \cdot 0,898 = 709 \text{ P/h} > Q_B = 553 \text{ P/h},$$

wlot C: $f_{pC} = 0,98$ dla $QP_C = 150$ Ps/h i $Q_{nC} = 655$ P/h z rys. 4.5,

$$f_{cC} = 0,952,$$

$$C_{mC} = 689 \cdot 0,98 \cdot 0,952 = 643 \text{ P/h} > Q_C = 362 \text{ P/h},$$

wlot D: $f_{pD} = 0,96$ dla $QP_D = 200$ Ps/h i $Q_{nD} = 515$ P/h z rys. 4.5,

$$f_{cD} = 0,886,$$

$$C_{mD} = 773 \cdot 0,96 \cdot 0,886 = 657 \text{ P/h} > Q_D = 605 \text{ P/h}.$$

Z porównania przepustowości poszczególnych wlotów i natężeń ruchu wynika, iż przy istniejących natężeniach ruchu zapewniona jest przepustowość na wszystkich wlotach ronda.

• Ocena warunków ruchu na wlotach ronda

Rezerwa przepustowości możliwej wlotu:

$$\Delta C_{mwl} = C_{mwl} - Q_{wl} \quad [P/h] \quad (\text{wzór (5.1)})$$

- wlot A: $\Delta C_{mA} = C_{mA} - Q_A = 672 - 450 = 222 \text{ P/h}$,

z rys. 5.1 ($t_a = 1,0 \text{ h}$) odczytano dla $C_{mA} = 672 \text{ P/h}$ i $\Delta C_{mA} = 222 \text{ P/h}$ $d = 16 \text{ s/P}$

co odpowiada II PSR (rys. 5.3),

miarodajna długość kolejki na wlocie ronda:

$$K_A^m = \frac{672}{4} \cdot 1 \cdot \left[\left(\frac{450}{672} - 1 \right) + \sqrt{\left(\frac{450}{672} - 1 \right)^2 + \frac{3600 \cdot 450}{672 \cdot 672}} \right] = 5,8 \text{ P}, \quad (\text{wzór (5.5)})$$

przyjęto: $K_A^m = 6 \text{ P}$,

długość kolejki wyrażona w metrach:

$$L_K = K_A^m \cdot l_p = 6 \cdot 6,49 = 39 \text{ m}, \quad (\text{wzór (5.6)})$$

$$\text{gdzie: } l_p = l_i + u_c \cdot (l_c - l_i) = 6,2 + (0,04 + 0,02) \cdot (11,0 - 6,2) = 6,49 \text{ m},$$

(wzór (5.7))

- wlot B: $\Delta C_{mB} = C_{mB} - Q_B = 709 - 553 = 156 \text{ P/h}$,

z rys. 5.1 ($t_a = 1,0 \text{ h}$) odczytano dla $C_{mB} = 709 \text{ P/h}$ i $\Delta C_{mB} = 156 \text{ P/h}$ $d = 23 \text{ s/P}$

co odpowiada II PSR (rys. 5.3),

miarodajna długość kolejki na wlocie ronda:

$$K_B^m = \frac{709}{4} \cdot 1 \cdot \left[\left(\frac{553}{709} - 1 \right) + \sqrt{\left(\frac{553}{709} - 1 \right)^2 + \frac{3600 \cdot 553}{709 \cdot 709}} \right] = 9,5 \text{ P},$$

przyjęto: $K_B^m = 10 \text{ P}$,

długość kolejki wyrażona w metrach:

$$L_K = K_B^m \cdot l_p = 10 \cdot 6,87 = 69 \text{ m},$$

$$\text{gdzie: } l_p = l_i + u_c \cdot (l_c - l_i) = 6,2 + (0,12 + 0,02) \cdot (11,0 - 6,2) = 6,87 \text{ m},$$

- wlot C: $\Delta C_{mC} = C_{mC} - Q_C = 643 - 362 = 281 \text{ P/h}$,

z rys. 5.1 ($t_a = 1,0 \text{ h}$) odczytano dla $C_{mC} = 643 \text{ P/h}$ i $\Delta C_{mC} = 281 \text{ P/h}$ $d = 12 \text{ s/P}$

co odpowiada I PSR (rys. 5.3),

miarodajna długość kolejki na wlocie ronda:

$$K_C^m = \frac{643}{4} \cdot 1 \cdot \left[\left(\frac{362}{643} - 1 \right) + \sqrt{\left(\frac{362}{643} - 1 \right)^2 + \frac{3600 \cdot 362}{643 \cdot 643}} \right] = 3,8 \text{ P},$$

przyjęto: $K_C^m = 4 \text{ P}$,

długość kolejki wyrażona w metrach:

$$L_K = K_C^m \cdot l_p = 4 \cdot 6,49 = 26 \text{ m,}$$

$$\text{gdzie: } l_p = l_l + u_c \cdot (l_c - l_l) = 6,2 + (0,05 + 0,01) \cdot (11,0 - 6,2) = 6,49 \text{ m,}$$

- wlot D: $\Delta C_{mD} = C_{mD} - Q_D = 657 - 605 = 52 \text{ P/h,}$

z rys. 5.1 ($t_a = 1,0 \text{ h}$) odczytano dla $C_{mD} = 657 \text{ P/h}$ i $\Delta C_{mD} = 52 \text{ P/h}$ $d = 58 \text{ s/P}$ co odpowiada IV PSR (rys. 5.3),

miarodajna długość kolejki na wlocie ronda:

$$K_D^m = \frac{657}{4} \cdot 1 \cdot \left[\left(\frac{605}{657} - 1 \right) + \sqrt{\left(\frac{605}{657} - 1 \right)^2 + \frac{3600 \cdot 605}{657 \cdot 150 \cdot 1}} \right] = 19,8 \text{ P,}$$

przyjęto: $K_D^m = 20 \text{ P,}$

długość kolejki wyrażona w metrach:

$$L_K = K_D^m \cdot l_p = 20 \cdot 6,97 = 139 \text{ m,}$$

$$\text{gdzie: } l_p = l_l + u_c \cdot (l_c - l_l) = 6,2 + (0,14 + 0,02) \cdot (11,0 - 6,2) = 6,97 \text{ m.}$$

Zestawienie wyników obliczeń przy istniejących natężeniach:

Włot	A	B	C	D
C_{mwl} [P/h]	672	709	643	657
ΔC_{mwl} [P/h]	222	156	281	52
d_{wl} [s/P]	16	23	12	58
PSR	II	II	I	IV
K_{wl}^m [P]	6	10	4	20
L_K [m]	39	69	26	139

Wnioski: Na wlotach ronda panują zróżnicowane warunki ruchu: – bardzo dobre na wlocie C (PSR I), – dobre na wlotach A i B (PSR II), – złe na wlocie D (PSR IV). Biorąc pod uwagę, iż na wlocie A straty czasu $d = 58 \text{ s/P}$ są mniejsze od 75 s/P i rezerwa przepustowości możliwej $\Delta C_{mD} = 52 \text{ P/h}$ jest większa od 30 P/h , warunki takie można uznać jeszcze za dopuszczalne (p. 5.1).

FORMULARZ: 3a – OBLICZENIE PRZEPUSTOWOŚCI RZECZYWISTEJ RONDA

• **Obliczenie przepustowości rzeczywistej ronda**

Dla obliczenia przepustowości rzeczywistej przy istniejących proporcjach natężeń ruchu należy przeprowadzić obliczenia iteracyjne, które powinny doprowadzić do uzyskania dla wlotu krytycznego (decydującego o przepustowości ronda) stanu, w którym $Q_k = C_k$

przy zachowaniu istniejących proporcji ruchu. Wlotem krytycznym, o najgorszych warunkach ruchu, jest wlot A.

1 krok iteracji:

Jako wyjściowy do kroku 1-szego bierze się zestaw natężeń, w którym przyjęto dla wlotu krytycznego D wartość $Q_D^1 = 657$ P/h uzyskaną w obliczeniach przepustowości możliwych wlotów ronda C_{mwl} , zaś wartości Q_A^1 , Q_B^1 , Q_C^1 oblicza się z zachowaniem zadanych proporcji natężeń ruchu między wlotami, a mianowicie:

$$Q_A^1 : Q_B^1 : Q_C^1 : Q_D^1 = m_A : m_B : m_C : m_D = 22,8 \% : 28,1 \% : 18,4 \% : 30,7 \%,$$

$$Q_D^1 = 657 \text{ P/h}, \quad Q_A^1 = 657 \cdot \frac{22,8}{30,7} = 488 \text{ P/h}, \quad Q_B^1 = 657 \cdot \frac{28,1}{30,7} = 601 \text{ P/h},$$

$$Q_C^1 = 657 \cdot \frac{18,4}{30,7} = 394 \text{ P/h},$$

$$t_g = 4,6 \text{ s}, \quad t_f = 2,8 \text{ s},$$

- wlot C:

$$Q_{nC}^1 = 488 \cdot 0,300 + 657 \cdot (0,620 + 0,240) = 712 \text{ P/h}, \quad f_{cC} = 0,952,$$

$$f_{pC} = 0,99 \quad \text{dla } QP_C = 150 \text{ Ps/h i } Q_{nC}^1 = 712 \text{ P/h z rys. 4.5},$$

$$C_C^1 = \frac{712 \cdot \exp\left(-0,95 \cdot \frac{712 \cdot 4,6}{3600}\right)}{1 - \exp\left(-1,10 \cdot \frac{712 \cdot 2,8}{3600}\right)} \cdot 0,99 \cdot 0,952 = 658 \cdot 0,99 \cdot 0,952 = 620 \text{ P/h},$$

- wlot B:

$$Q_{nB}^1 = 657 \cdot 0,240 + 394 \cdot (0,481 + 0,298) = 465 \text{ P/h}, \quad f_{cB} = 0,898,$$

$$f_{pB} = 0,95 \quad \text{dla } QP_B = 200 \text{ Ps/h i } Q_{nB}^1 = 465 \text{ P/h z rys. 4.5},$$

$$C_B^1 = \frac{465 \cdot \exp\left(-0,95 \cdot \frac{465 \cdot 4,6}{3600}\right)}{1 - \exp\left(-1,10 \cdot \frac{465 \cdot 2,8}{3600}\right)} \cdot 0,95 \cdot 0,898 = 805 \cdot 0,95 \cdot 0,898 = 687 \text{ P/h},$$

- wlot A:

$$Q_{nA}^1 = 394 \cdot 0,298 + 601 \cdot (0,620 + 0,280) = 659 \text{ P/h}, \quad f_{cA} = 0,945,$$

$$f_{pA} = 0,99 \quad \text{dla } QP_A = 100 \text{ Ps/h i } Q_{nA}^1 = 659 \text{ P/h z rys. 3.6},$$

$$C_A^1 = \frac{659 \cdot \exp\left(-0,95 \cdot \frac{659 \cdot 4,6}{3600}\right)}{1 - \exp\left(-1,10 \cdot \frac{659 \cdot 2,8}{3600}\right)} \cdot 0,99 \cdot 0,945 = 686 \cdot 0,99 \cdot 0,945 = 642 \text{ P/h},$$

- wlot D:

$$Q_{nD}^1 = 601 \cdot 0,280 + 488 \cdot (0,500 + 0,300) = 559 \text{ P/h}, \quad f_{cD} = 0,886,$$

$$f_{pD} = 0,96 \quad \text{dla } QP_D = 200 \text{ Ps/h i } Q_{nD}^1 = 559 \text{ P/h z rys. 4.5},$$

$$C_D^1 = \frac{559 \cdot \exp\left(-0,95 \cdot \frac{559 \cdot 4,6}{3600}\right)}{1 - \exp\left(-1,10 \cdot \frac{559 \cdot 2,8}{3600}\right)} \cdot 0,96 \cdot 0,886 = 747 \cdot 0,96 \cdot 0,886 = 635 \text{ P/h.}$$

2 krok iteracji:

Do drugiego kroku iteracji przyjmuje się jako wyjściową wartość natężenia na wlocie krytycznym D, wartość średnią z natężenia i przepustowości dla tego wlotu, uzyskanych w pierwszym kroku iteracji:

$$Q_D^2 = \frac{(Q_D^1 + C_D^1)}{2} = \frac{(657 + 635)}{2} = 646 \text{ P/h,}$$

Q_A^2, Q_B^2, Q_C^2 oblicza się z zachowaniem zadanych proporcji natężeń ruchu między wlotami, a mianowicie:

$$Q_A^2 : Q_B^2 : Q_C^2 : Q_D^2 = m_A : m_B : m_C : m_D = 22,8 \% : 28,1 \% : 18,4 \% : 30,7 \% = 480 : 591 : 387 : 646,$$

$$t_g = 4,6 \text{ s} \qquad t_f = 2,8 \text{ s,}$$

- wlot C:

$$Q_{nC}^2 = 480 \cdot 0,300 + 646 \cdot (0,620 + 0,240) = 700 \text{ P/h,} \quad f_{cC} = 0,952,$$

$$f_{pC} = 0,99 \quad \text{dla } Q_{PC} = 150 \text{ Ps/h i } Q_{nC}^2 = 700 \text{ P/h z rys. 4.5,}$$

$$C_C^2 = \frac{700 \cdot \exp\left(-0,95 \cdot \frac{700 \cdot 4,6}{3600}\right)}{1 - \exp\left(-1,10 \cdot \frac{700 \cdot 2,8}{3600}\right)} \cdot 0,99 \cdot 0,952 = 664 \cdot 0,99 \cdot 0,952 = 626 \text{ P/h,}$$

- wlot B:

$$Q_{nB}^2 = 646 \cdot 0,240 + 387 \cdot (0,481 + 0,298) = 457 \text{ P/h,} \quad f_{cB} = 0,898$$

$$f_{pB} = 0,95 \quad \text{dla } Q_{PB} = 200 \text{ Ps/h i } Q_{nB}^2 = 457 \text{ P/h z rys. 4.5,}$$

$$C_B^2 = \frac{457 \cdot \exp\left(-0,95 \cdot \frac{457 \cdot 4,6}{3600}\right)}{1 - \exp\left(-1,10 \cdot \frac{457 \cdot 2,8}{3600}\right)} \cdot 0,95 \cdot 0,898 = 811 \cdot 0,95 \cdot 0,898 = 692 \text{ P/h,}$$

- wlot A:

$$Q_{nA}^2 = 388 \cdot 0,298 + 592 \cdot (0,620 + 0,280) = 648 \text{ P/h,} \quad f_{cA} = 0,945,$$

$$f_{pA} = 0,99 \quad \text{dla } Q_{PA} = 100 \text{ Ps/h i } Q_{nA}^2 = 648 \text{ P/h z rys. 4.5,}$$

$$C_A^2 = \frac{648 \cdot \exp\left(-0,95 \cdot \frac{648 \cdot 4,6}{3600}\right)}{1 - \exp\left(-1,10 \cdot \frac{648 \cdot 2,8}{3600}\right)} \cdot 0,99 \cdot 0,945 = 694 \cdot 0,99 \cdot 0,945 = 649 \text{ P/h,}$$

- wlot D:

$$Q_{nD}^2 = 591 \cdot 0,280 + 480 \cdot (0,500 + 0,300) = 550 \text{ P/h,} \quad f_{cD} = 0,886,$$

$$f_{pD} = 0,96 \quad \text{dla } QP_D = 200 \text{ Ps/h i } Q_{nD}^2 = 550 \text{ P/h z rys. 4.5,}$$

$$C_D^2 = \frac{550 \cdot \exp\left(-0,95 \cdot \frac{550 \cdot 4,6}{3600}\right)}{1 - \exp\left(-1,10 \cdot \frac{550 \cdot 2,8}{3600}\right)} \cdot 0,96 \cdot 0,886 = 751 \cdot 0,96 \cdot 0,886 = 639 \text{ P/h.}$$

W wyniku obliczeń dla drugiego kroku iteracji uzyskano dla wlotu krytycznego D:

$C_D^2 = 639 \text{ P/h}$ przy założonej wartości natężenia $Q_D^2 = 646 \text{ P/h}$, co przy założonym progu dokładności (10 P/h) pozwala uznać proces iteracji za zakończony.

Przepustowość rzeczywista ronda wynosi:

$$C_{rr} = \frac{100 \cdot C_D}{m_D} = \frac{100 \cdot 639}{30,7} = 2081 \text{ P/h.} \quad (\text{wzór (4.6)})$$

Przepustowości rzeczywiste wlotów ronda wynoszą:

$$C_{rwl} = C_{rr} \cdot \frac{Q_{wl}}{\Sigma Q_{wl}} \quad [\text{P/h}] \quad (\text{wzór (4.7)})$$

$$C_{rD} = 639 \text{ P/h,}$$

$$C_{rA} = 2081 \cdot \frac{450}{1970} = 476 \text{ P/h,}$$

$$C_{rB} = 2081 \cdot \frac{605}{1970} = 584 \text{ P/h,}$$

$$C_{rC} = 2081 \cdot \frac{362}{1970} = 382 \text{ P/h.}$$

- Wskaźnik dopuszczalnego wzrostu ruchu w_{rr}

$$w_{rr} = \left(\frac{C_{rD}}{Q_D} - 1\right) \cdot 100 = \left(\frac{639}{605} - 1\right) \cdot 100 = 5,6 \%. \quad (\text{wzór (4.9)})$$

Wniosek: Przy założeniu równomiernego wzrostu natężeń ruchu na wlotach ronda ich zwiększenie o około 5,6% spowoduje wyczerpanie się przepustowości na wlocie D, który jest wlotem krytycznym.

- Stopień wykorzystania przepustowości wlotów

$$\rho_D = \frac{605}{639} = 0,947. \quad (\text{wzór (4.10)})$$

- Rezerwa przepustowości rzeczywistej wlotów

$$\Delta C_{rwl} = C_{rwl} - Q_{wl} \quad [\text{P/h}] \quad (\text{wzór (4.11)})$$

$$\Delta C_{rA} = 476 - 450 = 26 \text{ P/h,}$$

$$\Delta C_{rB} = 584 - 553 = 31 \text{ P/h,}$$

$$\Delta C_{rC} = 382 - 362 = 20 \text{ P/h,}$$

$$\Delta C_{rD} = 639 - 605 = 34 \text{ P/h.}$$

OBLICZANIE PRZEPUSTOWOŚCI I OCENA WARUNKÓW RUCHU NA SKRZYŻOWANIU TYPU RONDO

DANE OGÓLNE

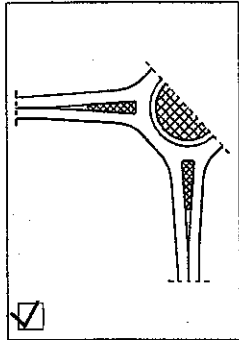
FORMULARZ

1

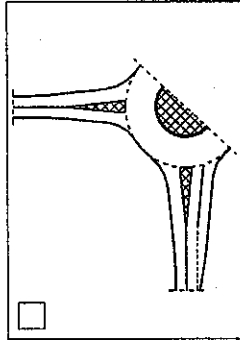
Skrzyżowanie: ul. Potockiego z ul. Łukasiewicza

Analizę wykonał: Jan Nowak

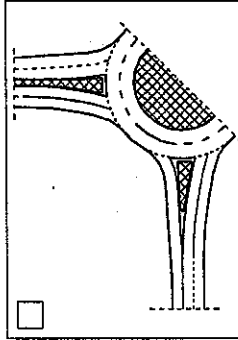
Pomiar natężenia ruchu: TAK NIE Data: 2003-07-10 Godzina: 14.00÷15.00



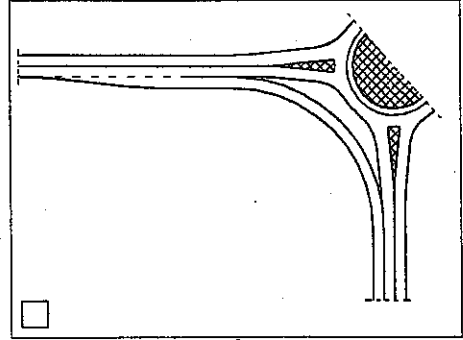
symbol **R1**
(rondo jednopasowe)



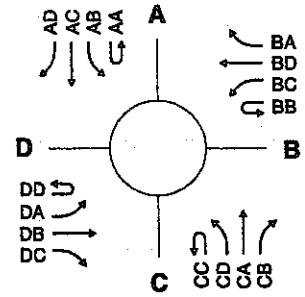
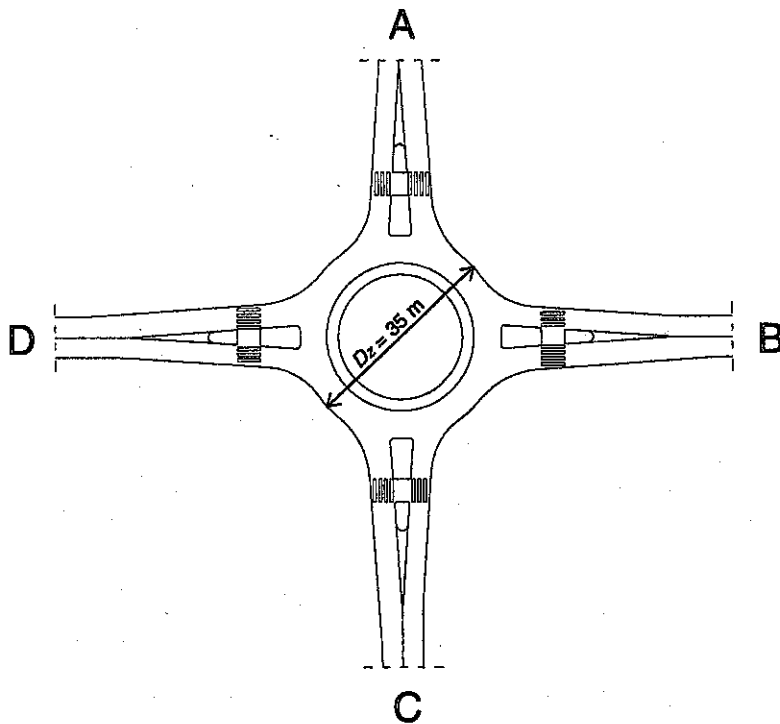
symbol **RS1** lub **RS2**
(rondo semi-dwupasowe)



symbol **R21** lub **R22**
(rondo dwupasowe)



symbol **R1P, R2P**
(skręt w prawo poza jezdnią ronda)



DANE GEOMETRYCZNE RONDA:

Liczba pasów na jezdni ronda: ...1....

Liczba wlotów na rondo: ...4....

Liczba pasów na wlocie: A 1.... B 1.... C 1.... D 1.... E

Skręt w prawo poza jezdnią ronda na wlocie: A B C D E

Średnica zewnętrzna ronda: 35..... [m]

INNE DANE / INFORMACJE:

OBLICZANIE PRZEPUSTOWOŚCI I OCENA WARUNKÓW RUCHU NA SKRZYŻOWANIU TYPU ROND																
DANE RUCHOWE														FORMULARZ	2	
Dane dotyczące ruchu pojazdów i pieszych																
Włot	A				B				C				D			
Relacja ¹⁾	AB	AC	AD	AA	BC	BD	BA	BB	CD	CA	CB	CC	DA	DB	DC	DD
Nateżenie Q_o [P/h]	450				553				362				605			
	135	225	90	-	155	343	55	-	108	174	80	-	145	375	85	-
Wskaźnik zmienności ruchu k_{15} [-]	0,97				0,97				0,97				0,97			
	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Nateżenie obliczeniowe Q [P/h] (wzór (3.1))	450				553				362				605			
	135	225	90	-	155	343	55	-	108	174	80	-	145	375	85	-
Udział procentowy relacji w ruchu na wlocie Q_r/Q_{wl} 100 [%]	30,0	50,0	20,0	-	28,0	62,0	10,0	-	29,8	48,1	22,1	-	24,0	62,0	14,0	-
Udział procentowy potoków ruchu z wlotów w sumarycznym ruchu na rondzie $m_{wl} = Q_{wl}/\Sigma Q_{wl} \cdot 100$ [%]	22,8				28,1				18,4				30,7			
Udział procentowy nateżenia na lewym pasie wlotu dwupasowego w całym nateżeniu na wlocie m_l ²⁾ [%]	-				-				-				-			
Udział samochodów ciężkich i autobusów u_c [-]	0,04	0,04	0,04	-	0,12	0,12	0,12	-	0,05	0,05	0,05	-	0,14	0,14	0,14	-
Udział samochodów ciężkich z przyczepą i autobusów przegubowych u_{cp} [-]	0,02	0,02	0,02	-	0,02	0,02	0,02	-	0,01	0,01	0,01	-	0,02	0,02	0,02	-
Udział rowerów i motocykli u_{mr} [-]	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Współczynnik wpływu struktury rodzajowej f_c [-] (wzór (4.4))	0,945				0,898				0,952				0,886			
Nateżenie ruchu pieszego Q_{wlPs} [Ps/h]	100				200				150				200			

¹⁾ w przypadku rond o 3 wlotach należy wykreślić relacje, które nie występują

²⁾ dotyczy tylko rond semi-dwupasowych

OBLICZANIE PRZEPUSTOWOŚCI I OCENA WARUNKÓW RUCHU NA SKRZYŻOWANIU TYPU RONDO					
OBLICZENIE PRZEPUSTOWOŚCI I OCENA WARUNKÓW RUCHU WLOTÓW RONDA				FORMULARZ	3
Obliczenie przepustowości możliwych wlotów ronda					
Wlot	A	B	C	D	
Natężenie nadrzędne na jezdni ronda Q_{mwl} [P/h] (rys. 4.1)	606	427	655	515	
Graniczny odstęp czasu t_g [s] (tab. 4.1)	4,6	4,6	4,6	4,6	
Odstęp czasu między pojazdami t_f [s] (tab. 4.1)	2,8	2,8	2,8	2,8	
Udział procentowy natężenia na lewym pasie wlotu dwupasowego w całym natężeniu na wlocie $m_l^{1)}$ [%] (F: 2)	-	-	-	-	
Przepustowość wyjściowa wlotu ronda C_{owl} [E/h] (wzory (4.1) + (4.3))	718	831	689	773	
Współczynnik wpływu struktury rodzajowej f_c [-] (F: 2)	0,945	0,898	0,952	0,886	
Współczynnik wpływu pieszych f_p [-] (rys. 4.5, 4.6)	0,99	0,95	0,98	0,96	
Przepustowość możliwa wlotu ronda C_{mwl} [P/h] (wzór (4.5))	672	709	643	657	
Ocena warunków ruchu na wlotach ronda					
Wlot	A	B	C	D	
Natężenie obliczeniowe Q_{wl} [P/h] (F: 2)	450	553	362	605	
Przepustowość możliwa wlotu ronda C_{mwl} [P/h] (wzór (4.5))	672	709	643	657	
Rezerwa przepustowości możliwej wlotu ΔC_{mwl} [P/h] (wzór (5.1))	222	156	281	52	
Strata czasu d_{wl} [s/P] (wzór (5.2))	16	23	12	58	
PSR (rys. 5.3, 5.4)	II	II	I	IV	
Miarodajna długość kolejki K_{wl}^m [P] (wzór (5.5))	6	10	4	20	
Przeciętna długość stanowiska pojazdu w kolejce l_p [m] (wzór (5.7))	6,49	6,87	6,49	6,97	
Długość (zasieg) kolejki L_K [m] (wzór (5.6))	39	69	26	139	
Przepustowość rzeczywista wlotów ronda					
Wlot	A	B	C	D	
Przepustowość rzeczywista ronda C_{rr} [P/h] (F: 3a)	2081				
Przepustowość rzeczywista wlotu C_{rwl} [P/h] (wzór (4.7))	476	584	382	639	
Wskaźnik dopuszczalnego wzrostu ruchu w_{rr} [%] (wzór (4.9))	5,6				
ρ_{wl} [-] (wzór (4.10))	0,947				
Rezerwa przepustowości rzeczywistej wlotu ΔC_{rwl} [P/h] (wzór (4.11))	26	31	20	34	

1) dotyczy tylko rond semi-dwupasowych

OBLICZANIE PRZEPUSTOWOŚCI I OCENA WARUNKÓW RUCHU NA SKRZYŻOWANIU TYPU RONDO																
OBLICZENIE PRZEPUSTOWOŚCI RZECZYWISTEJ RONDA															FORMULARZ	3a
I krok iteracji																
Włot	A				B				C				D			
Relacja	AB	AC	AD	AA	BC	BD	BA	BB	CD	CA	CB	CC	DA	DB	DC	DD
Udział procentowy potoków ruchu z wlotów w sumarycznym ruchu na rondzie m_r [%] (F: 2)	30,0	50,0	20,0	-	28,0	62,0	10,0	-	29,8	48,1	22,1	-	24,0	62,0	14,0	-
Natężenie wyjściowe do iteracji Q_{wl}^1 [P/h]	488				601				394				657 (włot krytyczny)			
Natężenie nadrzędne na jezdni ronda Q_{nwl} [P/h] (rys. 4.1)	660				465				712				559			
Graniczny odstęp czasu t_g [s] (tab. 4.1)	4,6				4,6				4,6				4,6			
Odstęp czasu między pojazdami t_f [s] (tab. 4.1)	2,8				2,8				2,8				2,8			
Udział procentowy natężenia na lewym pasie wlotu dwupasowego w całym natężeniu na wlocie $m_l^{1)}$ [%]	-				-				-				-			
Współczynnik wpływu struktury rodzajowej f_c [-] (F: 2)	0,945				0,898				0,952				0,886			
Współczynnik wpływu pieszych f_p [-] (rys. 4.5, 4.6)	0,99				0,95				0,99				0,96			
Przepustowość możliwa wlotu ronda C_{mwl} [P/h] (wzór (4.5))	642				687				620				635			
II krok iteracji																
Włot	A				B				C				D			
Natężenie wyjściowe do iteracji Q_{wl}^2 [P/h]	480				591				387				(657+635)/2=646			
Natężenie nadrzędne na jezdni ronda Q_{nwl} [P/h] (rys. 4.1)	648				457				700				550			
Współczynnik wpływu pieszych f_p [-] (rys. 4.5, 4.6)	0,99				0,95				0,99				0,96			
Przepustowość możliwa wlotu ronda C_{mwl} [P/h] (wzór (4.5))	649				692				626				639			
III krok iteracji																
Włot	A				B				C				D			
Natężenie wyjściowe do iteracji Q_{wl}^3 [P/h]	-				-				-				-			
Natężenie nadrzędne na jezdni ronda Q_{nwl} [P/h] (rys. 4.1)	-				-				-				-			
Współczynnik wpływu pieszych f_p [-] (rys. 4.5, 4.6)	-				-				-				-			
Przepustowość możliwa wlotu ronda C_{mwl} [P/h] (wzór (4.5))	-				-				-				-			
Przepustowość rzeczywista ronda C_{rr} [P/h] (wzór (4.6))	2081															

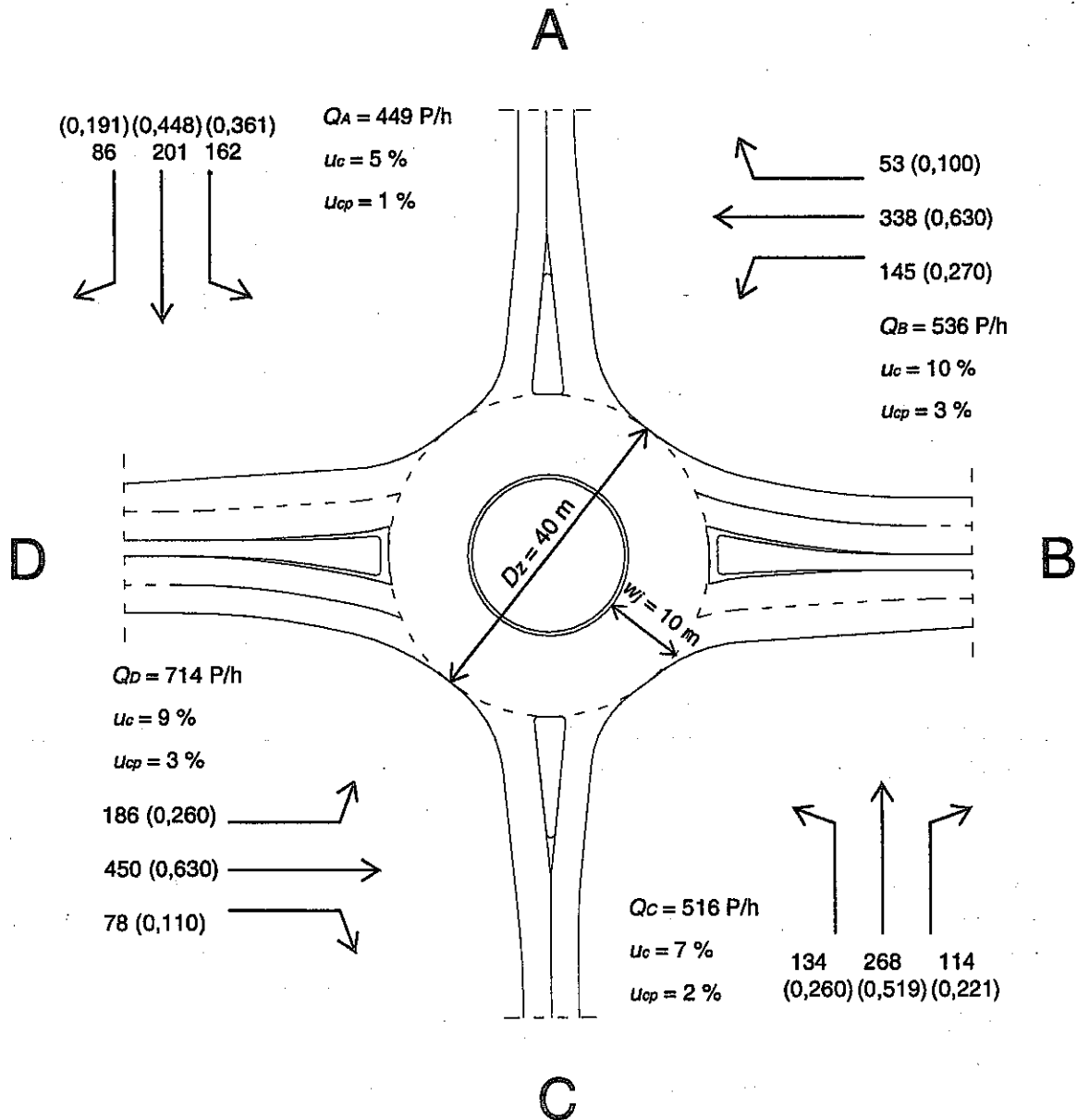
1) dotyczy tylko rond semi-dwupasowych

8.2. Przykład nr 2 – Rondo semi-dwupasowe

Rondo semi-dwupasowe zlokalizowane jest poza terenem zabudowy. Jego średnica zewnętrzna wynosi $D_z = 40$ m, a wszystkie wloty są skanalizowane. Wloty B i D są dwupasowe, natomiast A i C jednopasowe. Na skrzyżowaniu brak ruchu pieszego. Pomierzone natężenia, strukturę kierunkową i rodzajową ruchu zestawiono na rys. 8.2.

Celem analizy jest ocena warunków ruchu panujących na wlotach skrzyżowania przy danych natężeniach ruchu oraz obliczenie przepustowości tych wlotów oraz całego skrzyżowania. Dodatkowo należy wyznaczyć natężenia krytyczne dla poszczególnych wlotów przy założeniu PSR III.

Ponieważ na skrzyżowaniu występuje relatywnie duże natężenie ruchu i znaczna zmienność tego natężenia w godzinie $k_{15} = 0,89 < 0,90$, zgodnie z zapisem w p. 3.2 jako okres analizy przyjęto $t_a = 0,25$ h.



Rys. 8.2. Szkic skrzyżowania do przykładu nr 2

OBLICZANIE PRZEPUSTOWOŚCI I OCENA WARUNKÓW RUCHU NA SKRZYŻOWANIU TYPU RONDO

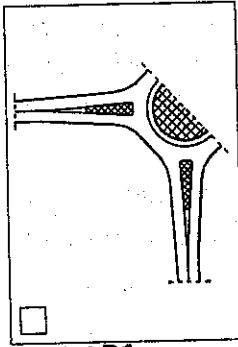
DANE OGÓLNE

FORMULARZ **1**

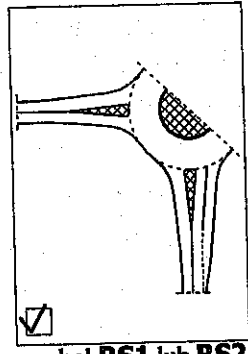
Skrzyżowanie: ul. Nowej z ul. Szeroką

Analizę wykonał: Adam Dąb

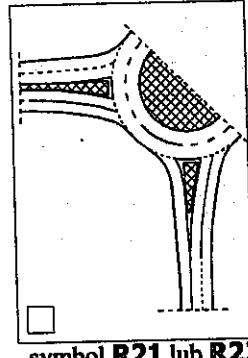
Pomiar natężenia ruchu: TAK NIE Data: 2003-07-01 Godzina: 15.30÷16.30



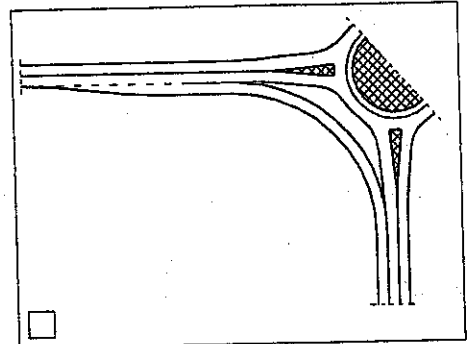
symbol **R1**
(rondo jednopasowe)



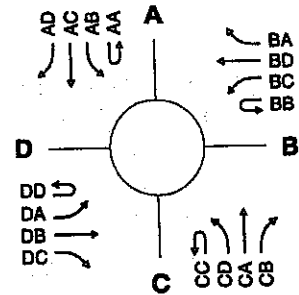
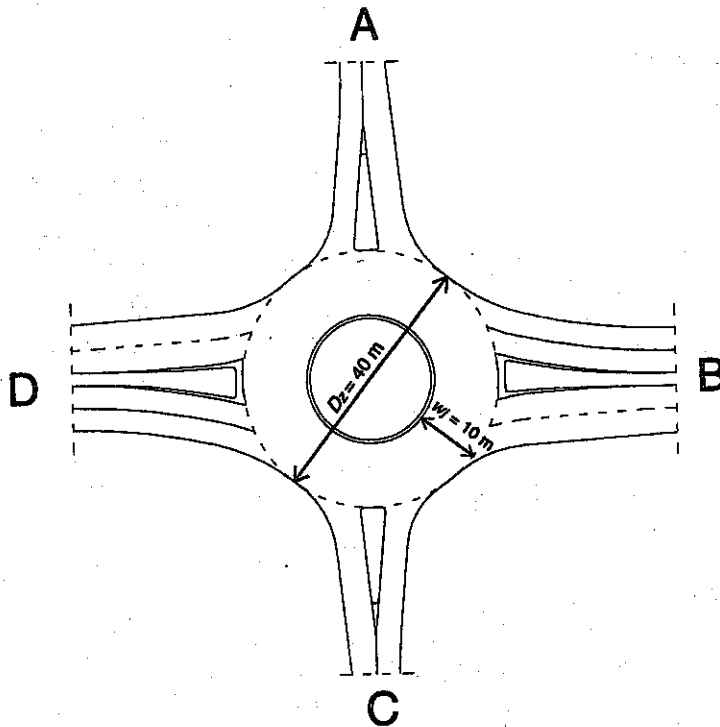
symbol **RS1** lub **RS2**
(rondo semi-dwupasowe)



symbol **R21** lub **R22**
(rondo dwupasowe)



symbol **R1P, R2P**
(skręt w prawo poza jezdnią ronda)



DANE GEOMETRYCZNE RONDA:

Liczba pasów na jezdni ronda: ...1....

Liczba wlotów na rondo: ...4....

Liczba pasów na wlocie: A 1.... B 2.... C 1.... D 2.... E

Skręt w prawo poza jezdnią ronda na wlocie: A B C D E

Średnica zewnętrzna ronda: 40..... [m]

INNE DANE / INFORMACJE:

OBLICZANIE PRZEPUSTOWOŚCI I OCENA WARUNKÓW RUCHU NA SKRZYŻOWANIU TYPU RONDO																
DANE RUCHOWE															FORMULARZ	2
Dane dotyczące ruchu pojazdów i pieszych																
Włot	A				B				C				D			
Relacja ¹⁾	AB	AC	AD	AA	BC	BD	BA	BB	CD	CA	CB	CC	DA	DB	DC	DD
Natężenie Q_o [P/h]	449				536				516				714			
	162	201	86	-	145	338	53	-	134	268	114	-	186	450	78	-
Wskaźnik zmienności ruchu k_{15} [-]	0,89				0,89				0,89				0,89			
	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Natężenie obliczeniowe Q [P/h] (wzór (3.1))	504				603				580				803			
	182	226	96	-	163	380	60	-	151	301	128	-	209	506	88	-
Udział procentowy relacji w ruchu na wlocie Q_r/Q_{wl} 100 [%]	36,1	44,8	19,1	-	27,0	63,0	10,0	-	26,0	51,9	22,1	-	26,0	63,0	11,0	-
Udział procentowy potoków ruchu z wlotów w sumarycznym ruchu na rondzie $m_{wl} = Q_{wl}/\Sigma Q_{wl} \cdot 100$ [%]	20,2				24,2				23,3				32,3			
Udział procentowy natężenia na lewym pasie wlotu dwupasowego w całym natężeniu na wlocie m_l ²⁾ [%]	-				27,0				-				26,0			
Udział samochodów ciężkich i autobusów u_c [-]	0,05	0,05	0,05	-	0,10	0,10	0,10	-	0,07	0,07	0,07	-	0,09	0,09	0,09	-
Udział samochodów ciężkich z przyczepą i autobusów przegubowych u_{cp} [-]	0,01	0,01	0,01	-	0,03	0,03	0,03	-	0,02	0,02	0,02	-	0,03	0,03	0,03	-
Udział rowerów i motocykli u_{mr} [-]	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Współczynnik wpływu struktury rodzajowej f_c [-] (wzór (4.4))	0,952				0,897				0,927				0,902			
Natężenie ruchu pieszego Q_{wlPs} [Ps/h]	-				-				-				-			

¹⁾ w przypadku rond o 3 wlotach należy wykreślić relacje, które nie występują

²⁾ dotyczy tylko rond semi-dwupasowych

OBLICZANIE PRZEPUSTOWOŚCI I OCENA WARUNKÓW RUCHU NA SKRZYŻOWANIU TYPU RONDO					
OBLICZENIE PRZEPUSTOWOŚCI I OCENA WARUNKÓW RUCHU WLOTÓW RONDA				FORMULARZ	3
Obliczenie przepustowości możliwych wlotów ronda					
Wlot	A	B	C	D	
Nateżenie nadrzędne na jezdni ronda Q_{nwl} [P/h] (rys. 4.1)	694	661	897	571	
Graniczny odstęp czasu t_g [s] (tab. 4.1)	4,7	4,7	4,7	4,7	
Odstęp czasu między pojazdami t_f [s] (tab. 4.1)	2,8	2,8	2,8	2,8	
Udział procentowy nateżenia na lewym pasie wlotu dwupasowego w całym nateżeniu na wlocie $m_l^{1)}$ [%] (F: 2)	-	27,0	-	26,0	
Przepustowość wyjściowa wlotu ronda C_{owl} [E/h] (wzory (4.1) + (4.3))	803	938	676	1007	
Współczynnik wpływu struktury rodzajowej f_c [-] (F: 2)	0,952	0,897	0,927	0,902	
Współczynnik wpływu pieszych f_p [-] (rys. 4.5, 4.6)	1	1	1	1	
Przepustowość możliwa wlotu ronda C_{mwl} [P/h] (wzór (4.5))	764	841	627	908	
Ocena warunków ruchu na wlotach ronda					
Wlot	A	B	C	D	
Nateżenie obliczeniowe Q_{wl} [P/h] (F: 2)	504	603	580	803	
Przepustowość możliwa wlotu ronda C_{mwl} [P/h] (wzór (4.5))	764	841	627	908	
Rezerwa przepustowości możliwej wlotu ΔC_{mwl} [P/h] (wzór (5.1))	260	238	47	105	
Strata czasu d_{wl} [s/P] (wzór (5.2))	5,7	5,7	18,9	10,0	
PSR (rys. 5.3, 5.4)	I	I	III	II	
Miarodajna długość kolejki K_{wl}^m [P] (wzór (5.5))	6	8	20	18	
Przeciętna długość stanowiska pojazdu w kolejce L_p [m] (wzór (5.7))	6,49	7,08	6,63	7,02	
Długość (zasięg) kolejki L_k [m] (wzór (5.6))	39	57	133	126	
Przepustowość rzeczywista wlotów ronda					
Wlot	A	B	C	D	
Przepustowość rzeczywista ronda C_{rr} [P/h] (F: 3a)	2588				
Przepustowość rzeczywista wlotu C_{rwl} [P/h] (wzór (4.7))	523	626	603	836	
Wskaźnik dopuszczalnego wzrostu ruchu w_{rr} [%] (wzór (4.9))	4,0				
ρ_{wl} [-] (wzór (4.10))	0,962				
Rezerwa przepustowości rzeczywistej wlotu ΔC_{rwl} [P/h] (wzór (4.11))	19	23	23	33	

1) dotyczy tylko rond semi-dwupasowych

OBLICZANIE PRZEPUSTOWOŚCI I OCENA WARUNKÓW RUCHU NA SKRZYŻOWANIU TYPU RONDO																
OBLICZENIE PRZEPUSTOWOŚCI RZECZYWISTEJ RONDA															FORMULARZ	3a
I krok iteracji																
Włot	A				B				C				D			
Relacja	AB	AC	AD	AA	BC	BD	BA	BB	CD	CA	CB	CC	DA	DB	DC	DD
Udział procentowy potoków ruchu z wlotów w sumarycznym ruchu na rondzie m_r [%] (F: 2)	36,1	44,8	19,1	-	27,0	63,0	10,0	-	26,0	51,9	22,1	-	26,0	63,0	11,0	-
Natężenie wyjściowe do iteracji Q_{wl}^1 [P/h]	544				652				627 (włot krytyczny)				870			
Natężenie nadrzędne na jezdni ronda Q_{nwl} [P/h] (rys. 4.1)	750				715				971				617			
Graniczny odstęp czasu t_g [s] (tab. 4.1)	4,7				4,7				4,7				4,7			
Odstęp czasu między pojazdami t_f [s] (tab. 4.1)	2,8				2,8				2,8				2,8			
Udział procentowy natężenia na lewym pasie wlotu dwupasowego w całym natężeniu na wlocie $m_r^{1)}$ [%]	-				27,0				-				26,0			
Współczynnik wpływu struktury rozdajowej f_c [-] (F: 2)	0,952				0,897				0,927				0,902			
Współczynnik wpływu pieszych f_p [-] (rys. 4.5, 4.6)	1				1				1				1			
Przepustowość możliwa wlotu ronda C_{mwl} [P/h] (wzór (4.5))	729				803				588				874			
II krok iteracji																
Włot	A				B				C				D			
Natężenie wyjściowe do iteracji Q_{wl}^2 [P/h]	528				632				(627+588)/2=608				843			
Natężenie nadrzędne na jezdni ronda Q_{nwl} [P/h] (rys. 4.1)	727				693				941				598			
Współczynnik wpływu pieszych f_p [-] (rys. 4.5, 4.6)	1				1				1				1			
Przepustowość możliwa wlotu ronda C_{mwl} [P/h] (wzór (4.5))	744				819				603				888			
III krok iteracji																
Włot	A				B				C				D			
Natężenie wyjściowe do iteracji Q_{wl}^3 [P/h]	-				-				-				-			
Natężenie nadrzędne na jezdni ronda Q_{nwl} [P/h] (rys. 4.1)	-				-				-				-			
Współczynnik wpływu pieszych f_p [-] (rys. 4.5, 4.6)	-				-				-				-			
Przepustowość możliwa wlotu ronda C_{mwl} [P/h] (wzór (4.5))	-				-				-				-			
Przepustowość rzeczywista ronda C_{rr} [P/h] (wzór (4.6))	2588															

1) dotyczy tylko rond semi-dwupasowych

- Obliczenie natężeń krytycznych Q_{kwl}^i dla wlotów ronda, odpowiadających PSR III

Natężenia krytyczne wyznacza się ze wzoru (5.3), odczytując wcześniej z wykresu (rys. 5.4 dla $t_a = 0,25$ h) wartość krytycznej rezerwy przepustowości możliwej wlotu ronda ΔC_{kmwl}^i dla PSR III ($d_{wl} = 50$ s/P):

- wlot A

$$C_{mA} = 764 \text{ P/h,}$$

$$\Delta C_{kmA}^{III} = 15 \text{ P/h odczytane z rys. 5.4,}$$

$$Q_{kA}^{III} = C_{mA} - \Delta C_{kmA}^{III} = 764 - 15 = 749 \text{ P/h,}$$

$$Q_A = 504 \text{ P/h.}$$

Przy założeniu, że na pozostałych wlotach natężenia nie ulegają zmianie, natężenie na wlocie A mogłoby wzrosnąć o $749 - 504 = 245$ P/h, do osiągnięcia krytycznego natężenia dla PSR III;

- wlot B

$$C_{mB} = 841 \text{ P/h,}$$

$$\Delta C_{kmB}^{III} = 10 \text{ P/h odczytane z rys. 5.4,}$$

$$Q_{kB}^{III} = C_{mB} - \Delta C_{kmB}^{III} = 841 - 10 = 831 \text{ P/h,}$$

$$Q_B = 603 \text{ P/h.}$$

Przy założeniu, że na pozostałych wlotach natężenia nie ulegają zmianie, natężenie na wlocie B mogłoby wzrosnąć o $831 - 603 = 228$ P/h, do osiągnięcia krytycznego natężenia dla PSR III;

- wlot C

$$C_{mC} = 627 \text{ P/h,}$$

$$\Delta C_{kmC}^{III} = 30 \text{ P/h odczytane z rys. 5.4,}$$

$$Q_{kC}^{III} = C_{mC} - \Delta C_{kmC}^{III} = 627 - 30 = 597 \text{ P/h,}$$

$$Q_C = 580 \text{ P/h.}$$

Przy założeniu, że na pozostałych wlotach natężenia nie ulegają zmianie, natężenie na wlocie C mogłoby wzrosnąć o $597 - 580 = 17$ P/h, do osiągnięcia krytycznego natężenia dla PSR III;

- wlot D

$$C_{mD} = 908 \text{ P/h,}$$

$$\Delta C_{kmD}^{III} = 2 \text{ P/h odczytane z rys. 5.4,}$$

$$Q_{kD}^{III} = C_{mD} - \Delta C_{kmD}^{III} = 908 - 2 = 906 \text{ P/h,}$$

$$Q_D = 803 \text{ P/h.}$$

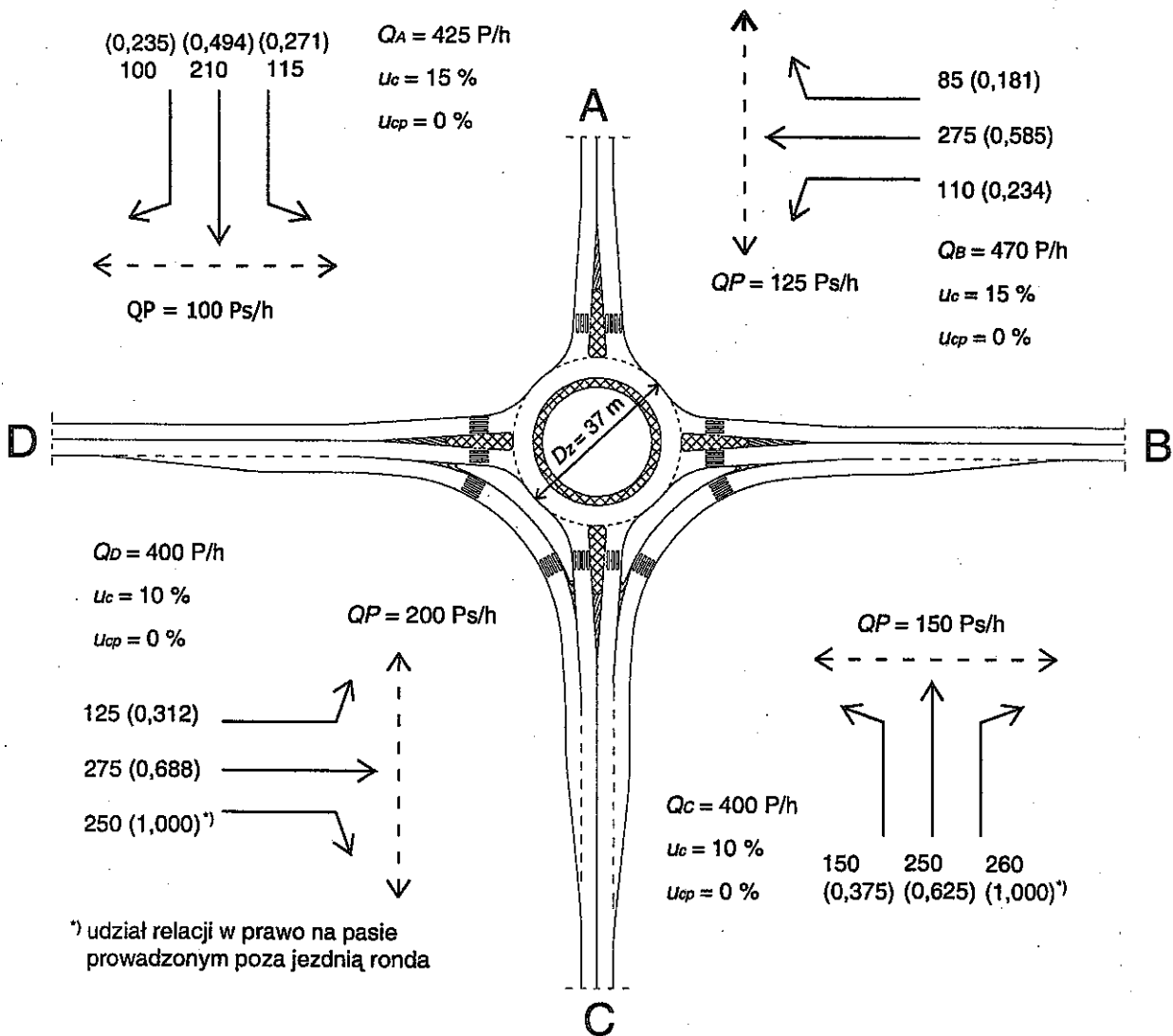
Przy założeniu, że na pozostałych wlotach natężenia nie ulegają zmianie, natężenie na wlocie D mogłoby wzrosnąć o $906 - 803 = 103$ P/h, do osiągnięcia krytycznego natężenia dla PSR III.

8.3. Przykład nr 3 – Rondo jednopasowe, z pasami dla skrętu w prawo prowadzonymi poza jezdnią ronda

Małe rondo jednopasowe zlokalizowane jest na terenie zabudowy. Jego średnica zewnętrzna wynosi $D_z = 37$ m, a wszystkie wloty są skanalizowane. Dodatkowo na wlotach C i D występują pasy ruchu dla skrętów w prawo prowadzone poza jezdnią ronda. Na wszystkich wlotach ronda występuje ruch pieszy. Pomierzone natężenia, strukturę kierunkową i rodzajową ruchu zestawiono na rys. 8.3. Wskaźnik zmienności ruchu w godzinie wynosi $k_{15} = 0,98$.

Celem analizy jest ocena warunków ruchu panujących na wlotach skrzyżowania przy danych natężeniach ruchu oraz obliczenie przepustowości tych wlotów oraz całego skrzyżowania.

Ponieważ na skrzyżowaniu występują niewielkie wahania natężeń ruchu w okresie godziny – $k_{15} = 0,98 > 0,90$ – zgodnie z zapisem w p. 3.2 jako okres analizy przyjęto $t_a = 1,0$ h. Dlatego natężenia obliczeniowe Q równe są natężeniom pomierzonym Q_o (zgodnie z p. 3.2).



Rys. 8.3. Szkic skrzyżowania do przykładu nr 3

OBLICZANIE PRZEPUSTOWOŚCI I OCENA WARUNKÓW RUCHU NA SKRZYŻOWANIU TYPU RONDO

DANE OGÓLNE

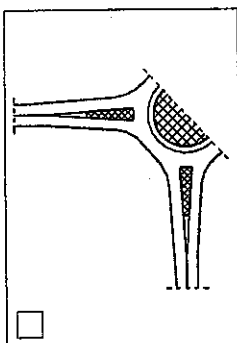
FORMULARZ

1

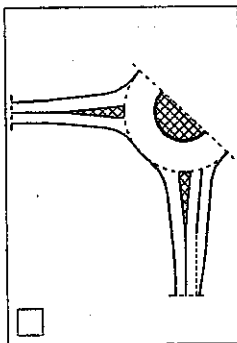
Skrzyżowanie: ul. Siewnej z ul. Politechniczną

Analizę wykonał: Stefan Maślany

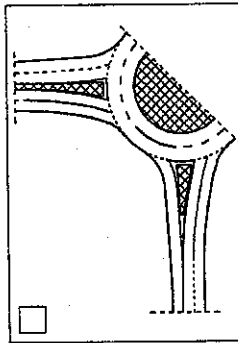
Pomiar natężenia ruchu: TAK NIE Data: 2003-11-01 Godzina: 15.30÷16.30



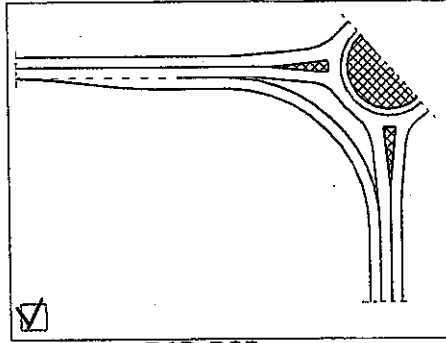
symbol **R1**
(rondo jednopasowe)



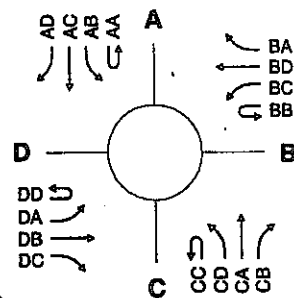
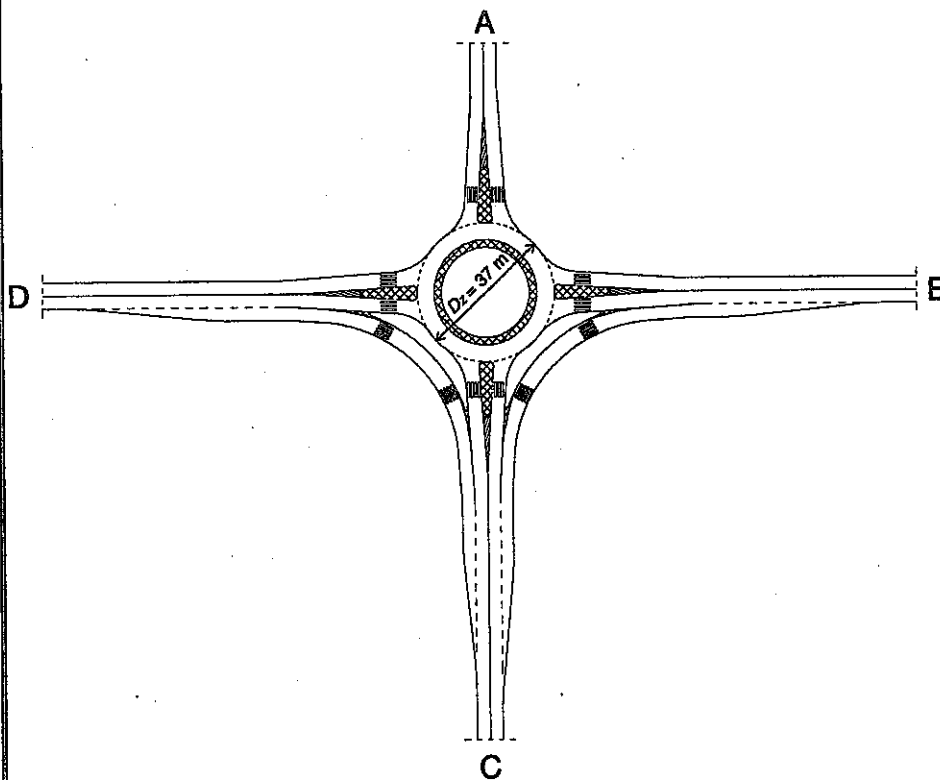
symbol **RS1** lub **RS2**
(rondo semi-dwupasowe)



symbol **R21** lub **R22**
(rondo dwupasowe)



symbol **R1P, R2P**
(skręt w prawo poza jezdnią ronda)



DANE GEOMETRYCZNE RONDA:

Liczba pasów na jezdni ronda: ...1....

Liczba wlotów na rondo: ..4....

Liczba pasów na wlocie: A 1.... B 1.... C 1.... D 1.... E

Skręt w prawo poza jezdnią ronda na wlocie: A B C D E

Średnica zewnętrzna ronda: 37..... [m]

INNE DANE / INFORMACJE:

OBLICZANIE PRZEPUSTOWOŚCI I OCENA WARUNKÓW RUCHU NA SKRZYŻOWANIU TYPU RONDO																	
DANE RUCHOWE															FORMULARZ	2	
Dane dotyczące ruchu pojazdów i pieszych																	
Włot	A				B				C				D				
Relacja ¹⁾	AB	AC	AD	AA	BC	BD	BA	BB	CD	CA	CB	CC	DA	DB	DC	DD	
Natężenie Q_o [P/h]	425				470				400		260	-	400		250	-	
	115	210	100	-	110	275	85	-	150	250	260	-	125	275	250	-	
Wskaźnik zmienności ruchu k_{15} [-]	0,98				0,98				0,98				0,98				
	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Natężenie obliczeniowe Q [P/h] (wzór (3.1))	425				470				400		260	-	400		250	-	
	115	210	100	-	110	275	85	-	150	250	260	-	125	275	250	-	
Udział procentowy relacji w ruchu na wlocie Q_r/Q_{wl} 100 [%]	27,1	49,4	23,5	-	23,4	58,5	18,1	-	37,5	62,5	100 ^{*)}	-	31,2	68,8	100 ^{*)}	-	
Udział procentowy potoków ruchu z wlotów w sumarycznym ruchu na rondzie $m_{wl} = Q_{wl}/\Sigma Q_{wl} \cdot 100$ [%]	25,1				27,7				23,6				23,6				
	(z pominięciem natężeń relacji skrętu w prawo prowadzonych poza jezdnią ronda)																
Udział procentowy natężenia na lewym pasie wlotu dwupasowego w całym natężeniu na wlocie m_l ²⁾ [%]	-				-				-				-				
Udział samochodów ciężkich i autobusów u_c [-]	0,15	0,15	0,15	-	0,15	0,15	0,15	-	0,10	0,10	0,10	-	0,10	0,10	0,10	-	
Udział samochodów ciężkich z przyczepą i autobusów przegubowych u_{cp} [-]	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Udział rowerów i motorowerów u_{mr} [-]	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Współczynnik wpływu struktury rodzajowej f_c [-] (wzór (4.4))	0,905				0,905				0,935				0,935				
Natężenie ruchu pieszego Q_{wlPs} [Ps/h]	100				125				150				200				

¹⁾ w przypadku rond o 3 wlotach należy wykreślić relacje, które nie występują

²⁾ dotyczy tylko rond semi-dwupasowych

^{*)} udział natężenia relacji w prawo na pasie poza jezdnią ronda

OBLICZANIE PRZEPUSTOWOŚCI I OCENA WARUNKÓW RUCHU NA SKRZYŻOWANIU TYPU RONDO					
OBLICZENIE PRZEPUSTOWOŚCI I OCENA WARUNKÓW RUCHU WLOTÓW RONDA				FORMULARZ	3
Obliczenie przepustowości możliwych wlotów ronda					
Wlot	A	B	C	D	
Natężenie nadrzędne na jezdni ronda Q_{nwl} [P/h] (rys. 4.1)	535	525	515	435	
Graniczny odstęp czasu t_g [s] (tab. 4.1)	4,5	4,5	4,5	4,5	
Odstęp czasu między pojazdami t_f [s] (tab. 4.1)	2,7	2,7	2,7	2,7	
Udział procentowy natężenia na lewym pasie wlotu dwupasowego w całym natężeniu na wlocie $m_l^{1)}$ [%] (F: 2)	-	-	-	-	
Przepustowość wyjściowa wlotu ronda C_{owl} [E/h] (wzory (4.1) + (4.3))	794	801	807	861	
Współczynnik wpływu struktury rodzajowej f_c [-] (F: 2)	0,905	0,905	0,935	0,935	
Współczynnik wpływu pieszych f_p [-] (rys. 4.5, 4.6)	0,99	0,98	0,97	0,95	
Przepustowość możliwa wlotu ronda C_{mwl} [P/h] (wzór (4.5))	711	710	732	765	
Ocena warunków ruchu na wlotach ronda					
Wlot	A	B	C	D	
Natężenie obliczeniowe Q_{wl} [P/h] (F: 2)	425	470	400	400	
Przepustowość możliwa wlotu ronda C_{mwl} [P/h] (wzór (4.5))	711	710	732	765	
Rezerwa przepustowości możliwej wlotu ΔC_{mwl} [P/h] (wzór (5.1))	286	240	332	365	
Strata czasu d_{wl} [s/P] (wzór (5.2))	11,9	14,5	10,0	8,9	
PSR (rys. 5.3, 5.4)	I	I	I	I	
Miarodajna długość kolejki K_{wl}^m [P] (wzór (5.5))	5	6	4	4	
Przeciętna długość stanowiska pojazdu w kolejce l_p [m] (wzór (5.7))	6,92	6,92	6,68	6,68	
Długość (zasięg) kolejki L_K [m] (wzór (5.6))	35	42	27	27	
Przepustowość rzeczywista wlotów ronda					
Wlot	A	B	C	D	
Przepustowość rzeczywista ronda C_{rr} [P/h] (F: 3a)	$2241 + (330 + 343)^2 = 2914$				
Przepustowość rzeczywista wlotu C_{rwl} [P/h] (wzór (4.7))	562	621	529	529	
Wskaźnik dopuszczalnego wzrostu ruchu w_{rr} [%] (wzór (4.9))	32,1				
ρ_{wl} [-] (wzór (4.10))	0,757				
Rezerwa przepustowości rzeczywistej wlotu ΔC_{rwl} [P/h] (wzór (4.11))	137	151	$129 + (83)^3 = 212$	$129 + (80)^3 = 209$	

- 1) dotyczy tylko rond semi-dwupasowych
 2) (...) przepustowość dodatkowych pasów w prawo poza jezdnią ronda
 3) wzrost natężenia na dodatkowych pasach

OBLICZANIE PRZEPUSTOWOŚCI I OCENA WARUNKÓW RUCHU NA SKRZYŻOWANIU TYPU RONDO																
OBLICZENIE PRZEPUSTOWOŚCI RZECZYWISTEJ RONDA															FORMULARZ	3a
I krok iteracji																
Włot	A				B				C				D			
Relacja	AB	AC	AD	AA	BC	BD	BA	BB	CD	CA	CB	CC	DA	DB	DC	DD
Udział procentowy potoków ruchu z wlotów w sumarycznym ruchu na rondzie m_r [%] (F: 2)	27,1	49,4	23,5	-	23,4	58,5	18,1	-	37,5	62,5	-	-	31,2	68,8	-	-
Natężenie wyjściowe do iteracji Q_{wl}^1 [P/h]	643				710 (włot krytyczny)				605				605			
Natężenie nadrzędne na jezdni ronda Q_{nwl} [P/h] (rys. 4.1)	808				794				779				658			
Graniczny odstęp czasu t_g [s] (tab. 4.1)	4,5				4,5				4,5				4,5			
Odstęp czasu między pojazdami t_f [s] (tab. 4.1)	2,7				2,7				2,7				2,7			
Udział procentowy natężenia na lewym pasie wlotu dwupasowego w całym natężeniu na wlocie $m_l^{(1)}$ [%]	-				-				-				-			
Współczynnik wpływu struktury rozdajowej f_c [-] (F: 2)	0,905				0,905				0,935				0,935			
Współczynnik wpływu pieszych f_p [-] (rys. 4.5, 4.6)	0,99				0,99				0,99				0,97			
Przepustowość możliwa wlotu ronda C_{mwl} [P/h] (wzór (4.5))	570				576				603				651			
II krok iteracji																
Włot	A				B				C				D			
Natężenie wyjściowe do iteracji Q_{wl}^2 [P/h]	583				$(710+576)/2=643$				548				548			
Natężenie nadrzędne na jezdni ronda Q_{nwl} [P/h] (rys. 4.1)	733				720				706				597			
Współczynnik wpływu pieszych f_p [-] (rys. 4.5, 4.6)	0,99				0,99				0,99				0,97			
Przepustowość możliwa wlotu ronda C_{mwl} [P/h] (wzór (4.5))	606				613				640				685			
III krok iteracji																
Włot	A				B				C				D			
Natężenie wyjściowe do iteracji Q_{wl}^3 [P/h]	569				$(643+613)/2=628$				535				535			
Natężenie nadrzędne na jezdni ronda Q_{nwl} [P/h] (rys. 4.1)	715				702				690				583			
Współczynnik wpływu pieszych f_p [-] (rys. 4.5, 4.6)	0,99				0,99				0,99				0,97			
Przepustowość możliwa wlotu ronda C_{mwl} [P/h] (wzór (4.5))	615				621				648				693			
Przepustowość rzeczywista ronda C_{rr} [P/h] (wzór (4.6))	2241 (bez pasów dla skrętów w prawo prowadzonych poza jezdnią ronda)															

1) dotyczy tylko rond semi-dwupasowych

Dla relacji w prawo z wlotów C i D prowadzonych pasami poza jezdnią ronda należy sprawdzić warunek przepustowości włączenia na wylocie, według p. 4.11.

Procedura obliczania przepustowości pasów włączeń:

- Wyznaczenie natężeń nadrzędnych na wylocie

- skręt w prawo z wlotu C

$$Q_{nCP} = Q_{AB} + Q_{DB} = 115 + 275 = 390 \text{ P/h,}$$

- skręt w prawo z wlotu D

$$Q_{nDP} = Q_{BC} + Q_{AC} = 110 + 210 = 320 \text{ P/h,}$$

- Ustalenie wartości przepustowości możliwej pasa skrętu w prawo wg rys. 4.8

- skręt w prawo z wlotu C

$$\text{dla } u_c = 0,10 \text{ i } Q_{nCP} = 390 \text{ P/h, odczytano } C_{mCP} = 880 \text{ P/h} > Q_{CP} = 260 \text{ P/h}$$

- skręt w prawo z wlotu D

$$\text{dla } u_c = 0,10 \text{ i } Q_{nDP} = 320 \text{ P/h, odczytano } C_{mDP} = 930 \text{ P/h} > Q_{DP} = 250 \text{ P/h}$$

Przepustowość pasów włączeń jest zapewniona.

W przypadku obliczania przepustowości skrzyżowania z wydzielonymi pasami skrętu w prawo poza jezdnią ronda należy do wyliczonej przepustowości rzeczywistej C_{rr} ronda dodać wartości natężeń relacji korzystających z wydzielonych pasów, powiększone o wyliczony wskaźnik dopuszczalnego wzrostu ruchu w_{rr} :

- skręt w prawo z wlotu C

$$Q_{CP} \cdot \left(1 + \frac{w_{rr}}{100}\right) = 260 \cdot \left(1 + \frac{32,1}{100}\right) = 260 \cdot 1,321 = 343 \text{ P/h,}$$

- skręt w prawo z wlotu D

$$Q_{DP} \cdot \left(1 + \frac{w_{rr}}{100}\right) = 250 \cdot \left(1 + \frac{32,1}{100}\right) = 250 \cdot 1,321 = 330 \text{ P/h,}$$

Przepustowość rzeczywista skrzyżowania wyniesie:

$$C_r = C_{rr} + 330 + 343 = 2241 + 330 + 343 = 2914 \text{ P/h.}$$

Porównanie przepustowości analizowanego ronda z pasami dla skrętu w prawo z wlotów C i D prowadzonymi poza jezdnią ronda z przepustowością identycznego ronda bez tych pasów zestawiono w poniższej tabeli:

	Rondo bez pasów poza jezdnią ronda	Rondo z 2 pasami poza jezdnią ronda
C_{rr} [P/h]	2403	2241 + 330 + 343 = 2914
w_{rr} [%]	9,1	32,1
d_A [s/P] - PSR	11,9 - I	11,9 - I
d_B [s/P] - PSR	14,5 - I	14,5 - I
d_C [s/P] - PSR	41,0 - III	10,0 - I
d_D [s/P] - PSR	33,2 - III	8,9 - I
K_{Am} [P]	5	5
K_{Bm} [P]	6	6
K_{Cm} [P]	17	4
K_{Dm} [P]	15	4

LITERATURA

1. Datka S., Suchorzewski W., Tracz M.: Inżynieria ruchu. III wyd. WKiŁ, Warszawa 1999.
2. 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.
3. HBS 2001. Handbuch für die Bemessung von Straßenverkehrsanlagen. Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen e.V., Köln 2001.
4. Highway Capacity Manual 2000, Transportation Research Board, Highway Capacity Committee, Washington D.C. 2000.
5. Instrukcja projektowania małych rond. Generalna Dyrekcja Dróg Publicznych, Warszawa 1996.
6. Proceedings of the Second International Symposium on Highway Capacity (Ed. R. Akcelik), ARRB, Sydney 1994.
7. Proceedings of the Third International Symposium on Intersections without Traffic Signals (ed. M. Kyte), University of Idaho, Portland 1997.
8. Proceedings of the Third International Symposium on Highway Capacity (ed. R. Rysgaard), TRB, Danish Road Directorate, Copenhagen 1998.
9. Roundabouts: an informational guide. US Department of Transportation, Federal Highway Administration, Publication No FHWA-RD-00-067.
10. Rozporządzenie Ministra Transportu i Gospodarki Morskiej z dnia 2 marca 1999 r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać drogi publiczne i ich usytuowanie, Dz. U. nr 43, poz. 430.
11. The Design of Interurban Intersections on Major Roads – At-grade Intersections. Dec. 1998, SETRA Dec., 2002.
12. Transport in the Urban Environment. The Institution of Highways and Transportation, London 1977.
13. Weinert A.: Grenz- und Folgezeitlücken an Knotenpunkten ohne Lichtsignalanlagen. Schriftenreihe Lehrstuhl für Verkehrswesen, Ruhr-Universität Bochum, Heft 23, 2001.
14. Wytyczne projektowania skrzyżowań cz. I i II. Generalna Dyrekcja Dróg Publicznych, Warszawa 2001.

ISBN 83-86219-99-8