

METODY OCENY WARUNKÓW RUCHU I OBLICZANIA PRZEPUSTOWOŚCI

TOM II

**Drogi dwujezdniowe: autostrady, drogi
ekspresowe oraz drogi klasy GP i G**

Projekt **INSTRUKCJI OBLICZANIA**



Warszawa 2019

„Metody oceny warunków ruchu i obliczania przepustowości dróg
poza aglomeracjami miejskimi wraz z drogami szybkiego ruchu”

opracowało

konsorcjum Politechniki Krakowskiej, Politechniki Warszawskiej i Politechniki Gdańskiej



na zlecenie

Narodowego Centrum Badań i Rozwoju, ul. Nowogrodzka 47a, 00-695 Warszawa i
Generalnej Dyrekcji Dróg Krajowych i Autostrad, ul. Wronia 53, 00-874 Warszawa



w ramach programu RID-I/50 (**R**ozwój **I**nnowacji **D**rogowych)

Zespół autorski:

Politechnika Krakowska (Lider):

Dr inż. Krzysztof Ostrowski – kierownik projektu
Dr hab. inż. Janusz Chodur, prof. PK
Dr inż. Stanisław Gondek
Dr inż. Mariusz Kieć
Dr inż. Malwina Spławińska
Dr inż. Radosław Bąk
Inż. Piotr Grzywacz

Politechnika Warszawska:

Dr inż. Tomasz Dybicz – kierownik zespołu współwykonawcy
Dr hab. inż. Piotr Olszewski, prof. PW
Mgr inż. Piotr Mazurek
Mgr inż. Magdalena Rezwow-Mosakowska
Mgr inż. Paweł Włodarek

Politechnika Gdańska:

Dr inż. Wojciech Kustra – kierownik zespołu współwykonawcy
Dr hab. inż. Kazimierz Jamroz, prof. PG
Dr inż. Joanna Wachnicka
Mgr inż. Aleksandra Romanowska
Mgr inż. Tomasz Mackun
Mgr inż. Julia Słowy
Mgr inż. Aleksandra Czajkowska
Inż. Daniel Bytner

SPIS TREŚCI

	str.
1. WPROWADZENIE.....	11
1.1. Podstawy formalne opracowania	11
1.2. Podstawowe określenia i oznaczenia	11
1.3. Przeznaczenie metod i zakres zastosowań	16
1.3.1. Typy dróg dwujezdniowych wielopasowych	16
1.3.2. Podział drogi na elementy składowe	16
1.4. Ograniczenia metody	17
1.4.1. Związane z cechami geometrycznymi i otoczeniem drogi	17
1.4.2. Związane z warunkami atmosferycznymi	18
1.4.3. Związane z zakłóceniami w ruchu drogowym	18
2. PODSTAWY METODOLOGICZNE	19
2.1. Określenie warunków ruchu drogowego	19
2.1.1. Stan ruchu w pełni swobodnego	19
2.1.2. Ruch płynny i stabilny	19
2.1.3. Stan ruchu wymuszonego	20
2.2. Miary warunków ruchu drogowego	21
2.2.1. Prędkość ruchu.....	21
2.2.2. Gęstość ruchu.....	21
2.2.3. Stopień wykorzystania przepustowości	21
2.3. Poziomy swobody ruchu i ich charakterystyka.....	21
2.3.1. Klasyfikacja warunków ruchu	21
2.3.2. Opis ilościowy PSR	22
2.3.3. Opis jakościowy PSR	22
2.4. Przepustowość drogi	23
2.4.1. Pojęcie przepustowości międzywęzłowego odcinka drogi.....	23
2.4.2. Charakterystyka przepustowości	23
2.4.3. Lokalne ograniczenia przepustowości	23
2.5. Natężenia krytyczne	24
2.5.1. Określenie natężenia krytycznego dla danego PSR.....	24
2.5.2. Interpretacja i możliwości wykorzystania natężeń krytycznych	25
3. RODZAJE ANALIZ I PRZYGOTOWANIE DANYCH	26
3.1. Rodzaje analiz warunków ruchu	26
3.1.1. Metoda uproszczona dla celów planistyczno–projektowych	27
3.1.2. Metoda szczegółowa.....	27
3.1.3. Analiza niezawodności czasów podróży	27
3.2. Ustalenie odcinka drogi do analizy	28
3.2.1. Wybór odcinka lub elementu drogi	28

3.2.2. Wymagania dotyczące analizowanego odcinka	28
3.3. Dane do obliczeń.....	28
3.3.1. Klasa drogi i liczba pasów	28
3.3.2. Lokalizacja drogi w obszarze aglomeracji lub poza.....	29
3.3.3. Parametry geometryczne drogi	29
3.3.4. Dostępność do drogi (gęstość wjazdów i wyjazdów).....	30
3.3.5. Ograniczenia prędkości dopuszczalnej.....	30
3.3.6. Parametry ruchu.....	30
4. WYZNACZANIE NATĘŻENIA MIARODAJNEGO I OBLICZENIOWEGO DO ANALIZY WARUNKÓW RUCHU.....	31
4.1. Wprowadzenie	31
4.2. Analiza planistyczna (uproszczona) i projektowa (szczegółowa)	31
4.3. Analiza eksploatacyjna (szczegółowa)	32
4.4. Wyznaczanie natężenia obliczeniowego.....	33
4.4.1. Określenie natężenia obliczeniowego.....	33
4.4.2. Współczynnik nierównomierności godzinowej k15	34
4.4.3. Współczynniki przeliczeniowe na pojazdy umowne.....	34
5. METODA UPROSZCZONA ANALIZY DLA ODCINKÓW MIĘDZYWĘZŁOWYCH	36
5.1. Schemat analizy	36
5.2. Kroki (etapy) analizy warunków ruchu	36
5.2.1. Obliczenie prędkości w ruchu swobodnym.....	37
5.2.2. Wybór natężeń krytycznych i wyznaczenie Poziomu Swobody Ruchu.....	37
5.3. Oszacowanie przepustowości i stopnia jej wykorzystania	39
6. METODA SZCZEGÓŁOWA ANALIZY DLA ODCINKÓW MIĘDZYWĘZŁOWYCH	41
6.1. Schemat analizy	41
6.2. Kroki (etapy) analizy warunków ruchu	41
6.2.1. Obliczenie prędkości w ruchu swobodnym.....	42
6.2.2. Wybór zależności natężenie-prędkość i wyznaczenie prędkości ruchu	42
6.2.3. Obliczenie gęstości ruchu i poziomu swobody ruchu	42
6.3. Oszacowanie przepustowości i stopnia jej wykorzystania	44
7. METODA SZCZEGÓŁOWA ANALIZY DLA OBSZARÓW PRZEPLATANIA ...	45
7.1. Aktualny stan prawny	47
7.2. Ograniczenia metody	48
7.3. Schemat analizy	48
7.4. Kroki (etapy) analizy warunków ruchu	48
7.5. Przyjęcie schematu obszaru przeplatania i podział na odcinki charakterystyczne	50
7.6. Charakterystyka obszaru przeplatania	51
7.6.1. Parametry geometryczna drogi i związane z organizacją ruchu.....	51

7.6.2. Parametry związane z natężeniem ruchu	52
7.6.3. Graniczne wartości PSR	52
7.6.4. Przepustowość bazowa	52
7.7. Natężenie ruchu.....	54
7.7.1. Obliczeniowe natężenie ruchu	54
7.7.2. Miarodajne natężenie ruchu na jezdni głównej	54
7.7.3. Obliczeniowe natężenie ruchu Qj na obszarze przeplatania	55
7.8. Określanie Poziomu Swobody Ruchu na odcinku poprzedzającym (p1) i występującym za (p3) odcinkiem przeplatania	56
7.8.1. Szacowania prędkości w ruchu swobodnym na jezdni głównej.....	56
7.8.2. Szacowanie przepustowości obliczeniowej	57
7.8.3. Obliczenie Poziomu Swobody Ruchu	57
7.9. Obliczenie Poziomu Swobody Ruchu na odcinku przeplatania	58
7.9.1. Wstępne określenie PSR na początkowym i końcowym segmencie.....	58
7.9.2. Korekta PSR wynikająca z długości i natężenia ruchu.....	61
7.9.3. Obliczenie gęstości ruchu i Poziomu Swobody Ruchu	61
7.10. Ocena warunków ruchu w obszarze przeplatania	61
7.11. Ocena przyjętego rozwiązania	62
8. METODA SZCZEGÓŁOWA ANALIZY NA OBSZARACH WJAZDÓW I WYJAZDÓW NA WĘZŁACH DROGOWYCH.....	62
8.1. Aktualny stan prawny	63
8.2. Ograniczenia metody	64
8.3. Kroki (etapy) analizy warunków ruchu	64
8.4. Podział obszaru wjazdu i wyjazdu na odcinki charakterystyczne	68
8.5. Charakterystyka obszaru wjazdu i wyjazdu	69
8.5.1. Parametry geometryczna drogi i związane z organizacją ruchu.....	69
8.5.2. Parametry związane z natężeniem ruchu	69
8.5.3. Graniczne wartości PSR	70
8.5.4. Przepustowość bazowa	70
8.6. Natężenie ruchu.....	72
8.6.1. Obliczeniowe natężenie ruchu	72
8.6.2. Miarodajne natężenie ruchu na jezdni głównej	73
8.6.3. Obliczeniowe natężenie ruchu Qj na obszarze wjazdu i wyjazdu	74
8.7. Określanie Poziomu Swobody Ruchu na odcinku poprzedzającym (p1) i występującym za (p3) odcinkiem wjazdu, wyjazdu	75
8.7.1. Szacowanie prędkości w ruchu swobodnym na jezdni głównej.....	75
8.7.2. Szacowanie przepustowości obliczeniowej	75
8.7.3. Obliczenie Poziomu Swobody Ruchu	76
8.8. Obliczenie Poziomu Swobody Ruchu na odcinku wjazdu	77
8.8.1. Wstępne określenie PSR na odcinku wjazdu.....	77
8.8.2. Korekta PSR wynikająca z długości i natężenia ruchu.....	78

8.8.3. Obliczenie gęstości ruchu i Poziomu Swobody Ruchu	79
8.9. Obliczenie Poziomu Swobody Ruchu na odcinku wyjazdu	79
8.9.1. Wstępne określenie PSR na odcinku wyjazdu.....	79
8.9.2. Korekta PSR wynikająca z długości i natężenia ruchu.....	81
8.9.3. Obliczenie gęstości ruchu i Poziomu Swobody Ruchu	81
8.10. Ocena warunków ruchu w obszarze wjazdu, wyjazdu.....	81
8.11. Ocena przyjętego rozwiązania	81
LITERATURA	82
ZAŁĄCZNIKI – PRZYKŁADY OBLICZENIOWE	84
Z1 Przykład oceny warunków ruchu na odcinku międzywęzłowym – metoda uproszczona.....	84
Z2 Przykład oceny warunków ruchu na odcinku międzywęzłowym – metoda szczegółowa	86
Z3 Przykład oceny warunków ruchu na obszarze przeplatania.....	88
Z3a Odcinek przeplatania zlokalizowany na jezdni głównej.....	88
Z3b Odcinek przeplatania zlokalizowany na jezdni zbierająco-rozprowadzającej ...	94
Z4 Przykład oceny warunków ruchu na wjazdów i wyjazdów	100
Z4a Obszar wjazdu dwupasowego.....	100
Z4b Obszar wyjazdu	105

Spis tablic:

Tab. 2.1. Kryteria PSR dla dróg dwujezdniowych.....	22
Tab. 4.1. Współczynniki przeliczeniowe na pojazdy umowne E_s i E_c	35
Tab. 5.1. Wartości obliczeniowych natężeń krytycznych dla autostrad	38
Tab. 5.2. Wartości obliczeniowych natężeń krytycznych dla dróg ekspresowych	38
Tab. 5.3. Wartości obliczeniowych natężeń krytycznych dla dróg dwujezdniowych GP i G .	39
Tab. 5.4. Wartości przepustowości bazowej dla autostrad, dróg ekspresowych oraz dróg GP i G	39
Tab. 7.1. Poziom swobody ruchu $XPSR$ w zależności od wartości wskaźnika Q/C dla obszarów przeplatania dróg klasy A, S i GP	52
Tab. 7.2. Zestawienie wartości przepustowości bazowej jezdni głównej, łącznicy oraz współczynnika a dla obszarów przeplatania dróg klasy A, S i G	53
Tab. 8.1. Poziom swobody ruchu $XPSR$ w zależności od wartości wskaźnika Q/C dla obszarów wjazdów i wyjazdów dróg klasy A, S i GP	70
Tab. 8.2. Zestawienie wartości przepustowości bazowej jezdni głównej, łącznicy oraz współczynnika a dla obszarów wjazdów dróg klasy A, S i G	70
Tab. 8.3. Zestawienie wartości przepustowości bazowej jezdni głównej, łącznicy oraz współczynnika a dla obszarów wjazdów dróg klasy A, S i G	71

Spis rysunków:

Rys. 1.1. Schemat podziału drogi na elementy składowe w celu analizy warunków ruchu	17
Rys. 1.2. Obszar oddziaływania elementów węzłów.	17
Rys. 2.1. Ilustracja ruchu w warunkach w pełni swobodnych	19
Rys. 2.2. Warunki ruchu określane jako płynne i stabilne	20
Rys. 2.3. Ruch określany jako wymuszony i niestabilny	20
Rys. 2.4. Wartości PQF, QDF i QDFcapacity oraz prędkości pojazdów pomierzone na autostradzie A2 w kierunku Łodzi na odcinku 2 km przed nieczynnym PPO Pruszków	24
Rys. 3.1. Zestawienie metod analizy warunków ruchu	26
Rys. 3.2. Obszary aglomeracji największych miast Polski. Źródło: [4]	29
Rys. 5.1. Schemat analizy uproszczonej dla odcinków międzywęzłowych	36
Rys. 6.1. Schemat analizy szczegółowej dla odcinków międzywęzłowych	41
Rys. 6.2. Modelowe zależności między natężeniem a prędkością ruchu dla autostrad	43
Rys. 6.3. Modelowe zależności między natężeniem a prędkością ruchu dla dróg ekspresowych	43
Rys. 6.4. Modelowe zależności między natężeniem a prędkością ruchu dla dróg dwujezdniowych klasy G i GP	44
Rys. 7.1. Schemat obszaru przeplatania: na jezdni głównej (a), na jezdni zbierająco-rozprowadzającej (b)	45
Rys. 7.2. Typy ukształtowania obszarów przeplatania	46
Rys. 7.3. Obszar przeplatania na jezdni drogi, jezdni zbierająco-rozprowadzającej lub na łącznicach P1 (a) i P2 (b) [14]	47
Rys. 7.4. Schemat analizy szczegółowej dla obszarów przeplatania	49
Rys. 7.5. Schemat podziału na odcinki charakterystyczne na obszarze przeplatania na jezdni głównej (a), na jezdni zbierająco-rozprowadzającej (b)	50
Rys. 7.6. Schemat ruchu pojazdów na obszarze przeplatania na jezdni głównej (a), na jezdni zbierająco-rozprowadzającej (b)	51
Rys. 7.7. Schematy obszarów przeplatania dróg klasy A, S i GP wykorzystywane w obliczeniach przepustowości	53
Rys. 7.8. Obszar wpływu odcinka przeplatania oraz podstawowe parametry ruchu i geometrii tego obszaru	54
Rys. 7.9. Schemat obszaru włączania, wyłączania oraz przeplatania przyjęty do obliczeń PSR	58
Rys. 8.1. Schemat obszaru wjazdów (a) i wyjazdów (b)	63
Rys. 8.2. Schemat analizy szczegółowej na obszarach wjazdów	66
Rys. 8.3. Schemat analizy szczegółowej na obszarach wyjazdów	67
Rys. 8.4. Schemat podziału na odcinki charakterystyczne na obszarze wjazdu (a) i wyjazdu (b)	68
Rys. 8.5. Schemat ruchu pojazdów na obszarze wjazdów (a) i wyjazdów (b)	69

Metody oceny warunków ruchu i obliczania przepustowości dróg poza aglomeracjami miejskimi – drogi dwujezdniowe klasy A, S, GP, G

Rys. 8.6. Schematy obszarów wyjazdów dróg klasy A, S i GP wykorzystywane w obliczeniach przepustowości.....	71
Rys. 8.7. Schematy obszarów wjazdów dróg klasy A, S i GP wykorzystywane w obliczeniach przepustowości.....	72
Rys. 8.8. Obszar wpływu odcinka wjazdu lub wyjazdu oraz podstawowe parametry ruchu i geometrii tego obszaru	73
Rys. 8.9. Schemat obszaru wjazdu przyjęty do obliczeń PSR	77
Rys. 8.10. Schemat obszaru wyjazdu przyjęty do obliczeń PSR	79

Metody oceny warunków ruchu i obliczania przepustowości dróg poza aglomeracjami miejskimi – drogi dwujezdniowe klasy A, S, GP, G

1. WPROWADZENIE

1.1. Podstawy formalne opracowania

Niniejsze opracowanie jest rezultatem projektu badawczego „Nowoczesne metody obliczania przepustowości i oceny warunków ruchu dla dróg poza aglomeracjami miejskimi, w tym dla dróg szybkiego ruchu”, który był realizowany w ramach programu RID „Rozwój Innowacji Drogowych”. Projekt oznaczony numerem RID-I/50 OT2-2B/PK-PW-PG jest współfinansowany przez Narodowe Centrum Badań i Rozwoju oraz Generalną Dyрекcję Dróg Krajowych i Autostrad.

1.2. Podstawowe określenia i oznaczenia

Gęstość ruchu k [P/km/pas] jest liczbą rzeczywistych pojazdów znajdujących się na odcinku pasa ruchu o długości 1 km.

Gęstość ruchu obliczeniowa k_o [E/km/pas] to średnia liczba pojazdów znajdujących się na odcinku pasa ruchu o długości 1 km, przeliczona na pojazdy umowne.

Gęstość wjazdów i wyjazdów g_{wz} to przypadająca na kilometr łączna liczba wjazdów i wyjazdów na odcinku drogi w danym kierunku ruchu.

Krytyczne obliczeniowe natężenie ruchu Q_{oki} [E/h/pas] jest to największe godzinowe natężenie ruchu, wyrażone w pojazdach umownych na pas, przy którym może utrzymać się poziom swobody ruchu i. Po przekroczeniu natężenia krytycznego, warunki ruchu pogarszają się do PSR (i+1).

Lokalne Ograniczenie Przepustowości LOP (ang. bottleneck) definiuje się jako miejsce zatłoczenia na drodze, w którym dopływający potok pojazdów jest większy niż przepustowość przekroju drogi w jednostce czasu, przez co tworzy się kolejka (nazwa stosowana potocznie „korek drogowy”).

Miarodajne godzinowe natężenie ruchu Q_m [P/h] jest to pomierzone lub prognozowane, najmniejsze z największych 50 natężeń godzinowych w roku. Dla dróg dwujezdniowych natężenia podaje się osobno dla każdego kierunku.

Natężenie ruchu przed wystąpieniem kolejki PQF (ang. Pre Queue Flow) jest to maksymalne natężenie ruchu w przekroju drogi tuż przed wystąpieniem LOP (zatłoczenia na drodze). Natężenie PQF jest zbliżone do przepustowości przekroju, w krótkim interwale czasu może być też od niego większe.

Natężenie ruchu uwolnionego z kolejki QDF (ang. Queue Discharge Flow) jest to maksymalne natężenie ruchu w przekroju drogi za miejscem wystąpienia zatłoczenia (LOP). Cechą charakterystyczną QDF jest występowanie w miarę równego poziomu natężenia przepływającego potoku ruchu, które jest niższe od maksymalnych wartości występujących przed załamaniem płynności ruchu (PQF).

Natężenie ruchu w szczytowym kwadransie Q_{15max} [P/15min] jest to natężenie ruchu obserwowane w najbardziej obciążonych 15-tu minutach godziny,

Natężenie ruchu Q [P/h] jest liczbą pojazdów rzeczywistych, które przejeżdżają przez dany przekrój poprzeczny w ustalonej jednostce czasu, najczęściej godzinie.

Natężenie ruchu obliczeniowe Q_o [E/h/pas] lub [E/h] jest to natężenie ruchu w szczytowych 15-tu minutach w godzinie, wyrażone w pojazdach umownych na godzinę. Natężenie to reprezentuje obciążenie drogi w standardowy sposób z uwzględnieniem struktury rodzajowej ruchu, zmienności godzinowej oraz wpływu pochyłości podłużnych.

Niezawodność to zdolność odcinka lub elementu drogi do spełnienia stawianych mu wymagań w określonym czasie i w określonych warunkach użytkowania. Z punktu widzenia użytkownika drogi, istotne jest czy i jak często dochodzi do zatłoczenia na drodze, które powoduje nadmierne wydłużenie czasu podróży. Miarami niezawodności mogą być: wydłużenie czasu podróży, częstość lub prawdopodobieństwo wystąpienia zatłoczenia.

Odcinek międzywęzłowy dróg klasy A, S, GP to odcinek będący poza obszarem oddziaływania węzłów, na którym ruch nie jest zakłócony manewrami włączania, wyłączania, przeplatania.

Odcinek przeplatania dróg klasy A, S i GP jest obszarem na węźle, na którym przecinają się potoki pojazdów: wjeżdżających i wyjeżdżających oraz poruszających się na wprost jezdnią główną.

Odcinek wjazdu, wyjazdu są to miejsca włączenia lub wyłączenia drogi łącznikowej do jezdni głównej, na którym krzyżują się dwa potoki ruchu

Pojazd lekki jest to pojazd o dopuszczalnej masie całkowitej do 3,5 t. Do pojazdów lekkich zalicza się samochody osobowe i pojazdy dostawcze o masie do 3,5 t.

Pojazd ciężki jest to pojazd o dopuszczalnej masie całkowitej powyżej 3,5 t. Do pojazdów ciężkich zalicza się pojazdy ciężarowe bez przyczep i z przyczepami/naczepami, autobusy oraz ciągniki rolnicze.

Poziom swobody ruchu (PSR) to klasa warunków ruchu związana ze sprawnością i płynnością ruchu, uwzględniająca odczucia kierowców. Zakres zmienności warunków ruchu podzielono na 6 poziomów oznaczonych literami od A do F, przy czym PSR A odpowiada najlepszym, a PSR F najgorszym warunkom ruchu.

Prędkość optymalna potoku pojazdów V_{op} (km/h) jest to prędkość przejazdu pojazdów przez odcinek drogi przy natężeniu ruchu równym przepustowości drogi.

Prędkość w ruchu swobodnym V_{sw} (km/h) jest uśrednioną w określonym przedziale czasu prędkością przejazdu samochodów osobowych przez analizowany odcinek drogi w warunkach ruchu swobodnego, czyli przy braku utrudnień wynikających z obecności innych użytkowników drogi.

Prędkość potoku ruchu V (km/h) jest to prędkość przejazdu pojazdów przez analizowany odcinek drogi, uśredniona w określonym przedziale czasowym.

Przepustowość obliczeniowa (bazowa) drogi C_o [E/h/pas] lub [E/h] to największa liczba pojazdów w przeliczeniu na pojazdy umowne, które mogą przejechać przez przekrój pasa drogi w jednym kierunku w ciągu godziny, w dobrych (bazowych) warunkach drogowo-ruchowych.

Przepustowość drogi C [P/h] - największa liczba pojazdów rzeczywistych, które mogą przejechać przez dany przekrój drogi w jednym kierunku w ciągu godziny w określonych warunkach drogowo-ruchowych oraz przy dobrych warunkach atmosferycznych.

Stopień obciążenia drogi X jest stosunkiem natężenia ruchu do przepustowości drogi.

Średni dobowy ruch roczny SDRR [P/dobę] jest to średni dobowy ruch pojazdów w roku, wyrażony liczbą pojazdów przejeżdżających przez dany przekrój drogi przez kolejne 24 godziny.

Udział pojazdów ciężkich u_c jest stosunkiem natężenia pojazdów ciężkich do całkowitego natężenia ruchu w danym przekroju w ustalonej jednostce czasu, najczęściej godzinie.

Warunki drogowo-ruchowe to zespół czynników mogących wpływać na przepustowość lub płynność ruchu pojazdów, obejmujący między innymi: liczbę i szerokości pasów ruchu, pochylenia podłużne i konfigurację pasów ruchu oraz strukturę rodzajową pojazdów uczestniczących w ruchu.

Lista najważniejszych oznaczeń i skrótów:

δ_z	–	wskaźnik typu obszaru ($\delta_z = 0$ dla obszaru aglomeracji, $\delta_z = 1$ poza aglomeracją)
Δi	–	różnica pochyłeń na kolejnych odcinkach drogi [%]
ΔV	–	redukcja prędkości [km/h]
A	–	autostrada
C	–	przepustowość [P/h]
C_b	–	przepustowość bazowa (obszary przeplatania, wjazdu, wyjazdu) [E/h/pas]
C_o	–	przepustowość obliczeniowa [E/h/pas] lub [E/h]
$C_{o,W}$	–	przepustowość obliczeniowa łącznicy wjazdowej [E/h]
$C_{o,Z}$	–	przepustowość obliczeniowa łącznicy wyjazdowej [E/h]
$C_{o,G}$	–	przepustowość obliczeniowa jezdni głównej [E/h]
D	–	udział natężenia w kierunku o większym natężeniu w przekroju drogi w 50 godzinie w roku [%]
$DASG$	–	ruch gospodarczy
$DASGT$	–	ruch gospodarczo-turystyczny
$DAST$	–	ruch turystyczny
DDG	–	drogi o gospodarczym charakterze ruchu
$DDGT$	–	drogi o gospodarczo-turystycznym charakterze ruchu
DSS	–	Departament Strategii i Studiów GDDKiA
E	–	pojazd umowny
E_c	–	współczynnik przeliczeniowy samochodów ciężkich na pojazdy umowne [E/P]
E_s	–	współczynnik przeliczeniowy samochodów osobowych na pojazdy umowne przy pochyleniach >2% [E/P]

Metody oceny warunków ruchu i obliczania przepustowości dróg poza aglomeracjami miejskimi – drogi dwujezdniowe klasy A, S, GP, G

E_w	–	ważony współczynnik przeliczeniowy pojazdów rzeczywistych na umowne [E/P]
G	–	droga główna
GP	–	droga główna ruchu przyspieszonego
g_{wz}	–	gęstość wjazdów i wyjazdów z drogi [liczba/km]
i	–	pochylenie podłużne [%]
$i_{ef,j}$	–	efektywne pochylenie na j -tym odcinku [%]
i_j	–	rzeczywiste pochylenie na j -tym odcinku [%]
i_{max}	–	maksymalne pochylenie podłużne [%]
k	–	gęstość ruchu [P/km]
k_{15}	–	współczynnik wahań ruchu w godzinie
k_o	–	obliczeniowa gęstość ruchu [E/km/pas]
L	–	długość odcinka drogi [m]
L_j	–	długość j -tego odcinka o jednorodnym pochyleniu [km]
L_P	–	długość zmiany pasa ruchu (wyznaczona linią P-1c) na odcinku przeplatania
L_w	–	długość odcinka wjazdu (obszar wjazdu) [m]
L_z	–	długość odcinka wyjazdu (obszar wyjazdu) [m].
n	–	liczba pasów ruchu [-]
n_G	–	liczba pasów ruchu na jezdni głównej przed i za odcinkiem przeplatania
n_w	–	liczba pasów ruchu na łącznicy wjazdowej
n_z	–	liczba pasów ruchu na łącznicy wyjazdowej
n_w, n_z	–	liczba pasów ruchu na łącznicy wjazdowej i wyjazdowej
n_{p2}	–	liczba pasów w obszarze przeplatania
$p_{i,k}$	–	poprawka pochylenia dla j -tego odcinka [%]
P	–	pojazd rzeczywisty
PSR	–	poziom swobody ruchu
Q	–	natężenie ruchu [P/h]
Q_{50}	–	natężenie 50 godziny w roku wg pomiaru na odcinku drogi w danym kierunku [P/h]
Q_{50p}	–	natężenie miarodajne odpowiadające natężeniu 50 godziny w roku prognozy [P/h]
Q_c	–	natężenie ruchu pojazdów ciężkich (ciężarowe bez przyczepy, ciężarowe z przyczepą, autobusy) w przekroju drogi [P/h],
Q_s	–	natężenie ruchu pojazdów lekkich (osobowe, dostawcze, motocykle)

	w przekroju drogi [P/h],
Q_{oki}	– krytyczne obliczeniowe natężenie ruchu dla PSR_i [E/h/pas]
Q_m	– miarodajne godzinowe natężenie ruchu, równe Q_{50} lub Q_{50p} [P/h]
Q_{max}	– maksymalne godzinowe natężenie z okresu pomiarowego [P/h]
Q_o	– obliczeniowe natężenie ruchu [E/h/pas]
$Q_{o,W}$	– natężenie obliczeniowe ruchu na łącznicy wjazdowej [E/h],
$Q_{o,Z}$	– natężenie obliczeniowe ruchu na łącznicy wyjazdowej [E/h],
$Q_{o,G}$	– obliczeniowe natężenie ruchu na 1 i 2 pasie jezdni głównej, przed lub za odcinkiem przeplatania [E/h],
$Q_{o,PR}$	– natężenie obliczeniowe pojazdów przeplatających się [E/h],
$Q_{o,NR}$	– natężenie obliczeniowe pojazdów nieprzeplatających się [E/h],
Q_{GG}	– strumień ruchu pojazdów jadących jezdnią główną, lub zbierająco-rozprowadzającą na wprost (obszar przeplatania)
Q_{GZ}	– strumień ruchu pojazdów zjeżdżających z jezdni głównej na łącznicę wyjazdową (obszar przeplatania)
Q_{WG}	– strumień ruchu pojazdów wjeżdżających na jezdnię główną z łącznicy wjazdowej (obszar przeplatania)
Q_{WZ}	– strumień ruchu pojazdów wjeżdżających z łącznicy wjazdowej na jezdnię główną (na odcinek przeplatania) i zjeżdżających z jezdni głównej na łącznicę wyjazdową
S	– droga ekspresowa
s	– Szerokość pasa ruchu [m]
$SDRR$	– średni dobowy ruch pojazdów w roku
$SDRR_p$	– średni dobowy ruch w roku prognozy
s_{up}	– szerokość pobocza utwardzonego [m]
u_{50}	– udział natężenia 50 godziny w roku w SDRR [-]
u_c	– udział pojazdów ciężkich w ruchu [-]
u_{PR}	– udział pojazdów przeplatających się (obszar przeplatania) [E/h]
u_{GZ}	– udział pojazdów wyjeżdżających z jezdni głównej (obszar wyjazdu) [E/h]
u_{WG}	– udział pojazdów wjeżdżających na jezdnię główną (obszar wjazdu) [E/h]
V	– prędkość potoku pojazdów [km/h]
V_d	– prędkość dopuszczalna [km/h]
V_{op}	– prędkość optymalna przy natężeniu równym przepustowości [km/h]
V_p	– prędkość projektowa [km/h]
W_S	– współczynnik sezonowych wahań ruchu

- W_D – współczynnik tygodniowych wahań ruchu
 X – stopień obciążenia $X = Q_o/C_o$ lub $X = Q/C$

1.3. Przeznaczenie metod i zakres zastosowań

Metody oceny warunków ruchu zawarte w niniejszej instrukcji stosuje się w celu sprawdzenia, czy istniejące bądź projektowane elementy infrastruktury drogowej zapewniają wymagany poziom jakości obsługi użytkowników dróg. Na etapie planowania i projektowania nowej drogi pozwala to na dobór takich parametrów geometrycznych jak na przykład liczba pasów w przekroju, aby utrzymać pożądaną standard swobody ruchu i unikać tworzenia „wąskich gardeł” gdzie przepustowość może być niedostateczna. W przypadku dróg istniejących analiza warunków ruchu pozwala na identyfikację odcinków i elementów, które powodują problemy w postaci zatłoczenia i zatorów.

1.3.1. Typy dróg dwujezdniowych wielopasowych

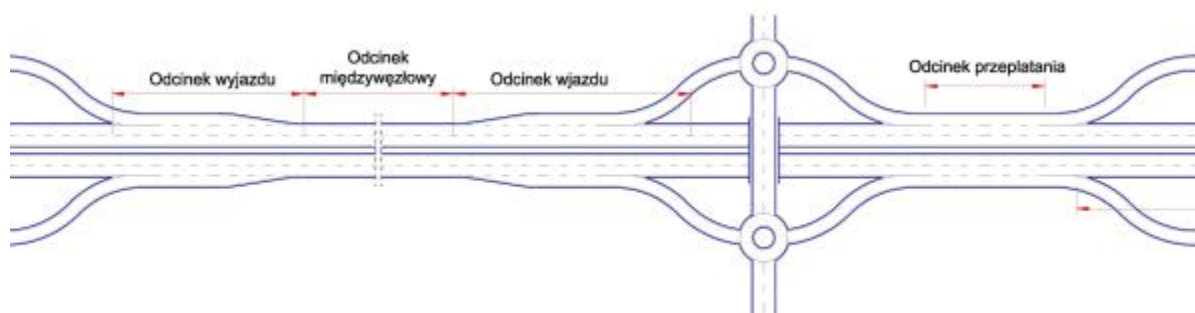
Metody oceny warunków ruchu i obliczania przepustowości zawarte w niniejszym tomie mają zastosowanie do dróg dwujezdniowych (czyli dróg o dwóch jezdniach jednokierunkowych rozdzielonych pasem dzielącym, na których ruch jest nieprzerwany przez sygnały i znaki drogowe, a dostęp jest ograniczony). Kryteriom tym odpowiadają: autostrady, drogi ekspresowe oraz odcinki dwujezdniowych dróg klasy G i GP, na których nie występują skrzyżowania z sygnalizacją świetlną.

Rozdziały 5 i 6 dotyczą analizy warunków ruchu na odcinkach międzywęzłowych, to znaczy na segmentach drogi gdzie ruch jest generalnie niezakłócony przez pojazdy wjeżdżające i zjeżdżające z drogi głównej na węzłach drogowych i skrzyżowaniach.

Rozdziały 7 i 8, poświęcone analizie obszarów przeplatania, wjazdów i wyjazdów, dotyczą elementów węzłów drogowych, a więc skrzyżowań wielopoziomowych, na których zapewniony jest ruch bezkolizyjny dla potoków na drodze głównej.

1.3.2. Podział drogi na elementy składowe

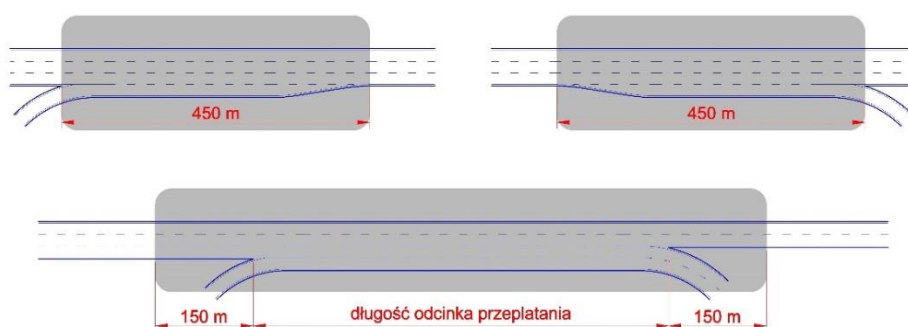
W celu wykonania oceny warunków ruchu drogę należy podzielić na elementy jednorodne ze względu na warunki drogowe (liczba pasów ruchu, pochylenia) oraz ruchowe (natężenie i struktura ruchu). W szczególności wyróżniamy odcinki międzywęzłowe oraz obszary węzłów z ich elementami takimi jak: obszary wjazdów, obszary wyjazdów, obszary przeplatania. Schemat podziału drogi na elementy składowe przedstawia rysunek 1.1.



Rys. 1.1. Schemat podziału drogi na elementy składowe w celu analizy warunków ruchu

Odcinki międzywęzłowe to odcinki będące poza obszarem oddziaływania węzłów, tj. niezakłócone manewrami włączania, wyłączania i przeplatania. Należy przyjąć jako obszar oddziaływania węzła (rys. 1.2):

- Obszar wjazdu: 450 m, mierzony od końca łuku kołowego na łącznicy, w kierunku ruchu,
- Obszar wyjazdu: 450 m, mierzony od końca łuku kołowego na łącznicy, w kierunku przeciwnym do kierunku ruchu,
- Obszar przeplatania: 150 m, mierzone od końca łuku kołowego na łącznicach, w obu kierunkach.



Rys. 1.2. Obszar oddziaływania elementów węzłów.

1.4. Ograniczenia metody

Metody opisane w niniejszej instrukcji opracowano na podstawie badań empirycznych przeprowadzonych na polskich drogach dwujezdniowych w latach 2016-17. W związku z tym mają one zastosowanie do typowych warunków drogowych i ruchowych spotykanych na takich drogach w Polsce. Szczegółowe ograniczenia omówiono w kolejnych punktach.

W przypadkach, gdy warunki drogowe lub ruchowe odbiegają od typowych, przy wykonywaniu oceny warunków ruchu należy kierować się wiedzą ekspercką i dostępną literaturą fachową.

1.4.1. Związane z cechami geometrycznymi i otoczeniem drogi

W instrukcji uwzględniono drogi klasy A, S, GP i G zaprojektowane zgodnie z obowiązującym rozporządzeniem o warunkach technicznych, jakim powinny odpowiadać

drogi publiczne i ich usytuowanie [1]. W związku z tym metody nie mają bezpośredniego zastosowania do odcinków dróg o parametrach geometrycznych nie odpowiadających standardom np. szerokości pasów ruchu i pasa awaryjnego, pochyłeń podłużnych, promieni łuków poziomych, itd. Ograniczenie to dotyczy również dostępności do drogi, to znaczy zapisanemu w rozporządzeniu [1] braku zjazdów z drogi klasy A i S poza węzłami drogowymi oraz minimalnych odległości między węzłami.

1.4.2. *Związane z warunkami atmosferycznymi*

Zależności warunków ruchu od natężenia ruchu przedstawione w instrukcji dotyczą dobrych warunków atmosferycznych. Należy się spodziewać, że w warunkach intensywnych opadów deszczu lub śniegu, silnego wiatru, ograniczonej widoczności rzeczywiste warunki ruchu będą gorsze niż przewidywane przez opisane metody.

1.4.3. *Związane z zakłóceniami w ruchu drogowym*

Podstawowym założeniem modelu ruchu przyjętego za podstawę opisanych w niniejszym tomie zależności jest to, że ruch jest nieprzerywany. Dlatego metody opisane w instrukcji nie mają zastosowania w sytuacjach gdy płynność ruchu jest zaburzana przez czynniki zewnętrzne. Do takich czynników można zaliczyć sterowanie ruchem przy pomocy sygnałów bądź znaków drogowych (sygnalizacja świetlna, znaki stop bądź ustąp pierwszeństwa, zapory na przejeździe kolejowym) a także sytuacje wyjątkowe, takie jak wypadki, blokada pasa ruchu przez unieruchomiony pojazd lub roboty drogowe.

2. PODSTAWY METODOLOGICZNE

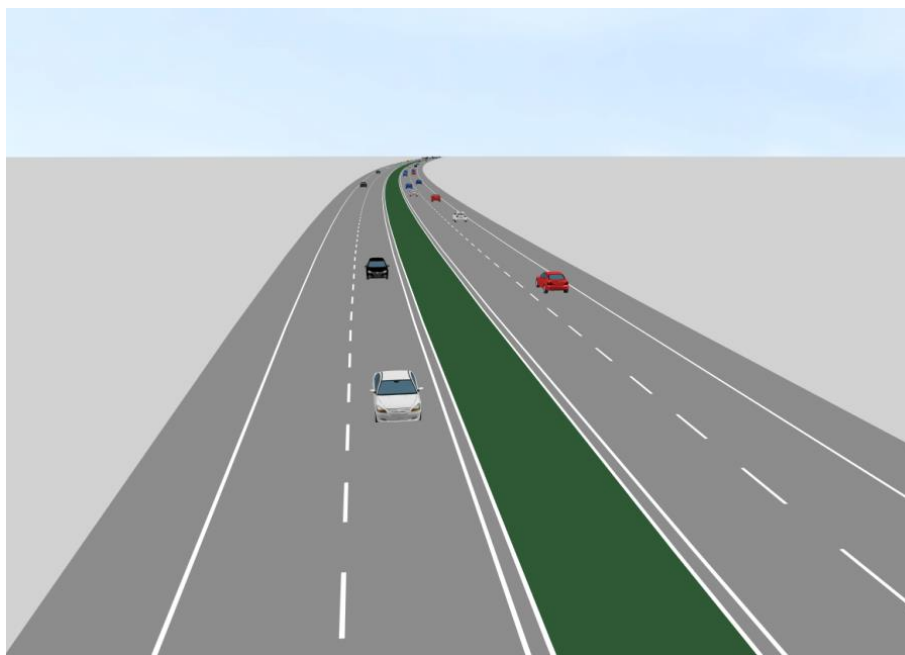
2.1. Określenie warunków ruchu drogowego

Warunki ruchu na danej drodze w określonym czasie można scharakteryzować ilościowo poprzez natężenie ruchu, prędkość i gęstość potoku pojazdów, a także jakościowo mówiąc o komforcie jazdy, swobodzie manewrowania i poziomie bezpieczeństwa. Najważniejszym czynnikiem wpływającym na warunki ruchu na drodze dwujezdniowej jest natężenie ruchu, wyrażone w pojazdach na godzinę na pas ruchu.

W pewnym uproszczeniu, warunki ruchu drogowego można podzielić na trzy stany o wyraźnie odmiennej charakterystyce: stan ruchu swobodnego, stan ruchu stabilnego i płynnego oraz stan ruchu wymuszonego.

2.1.1. *Stan ruchu w pełni swobodnego*

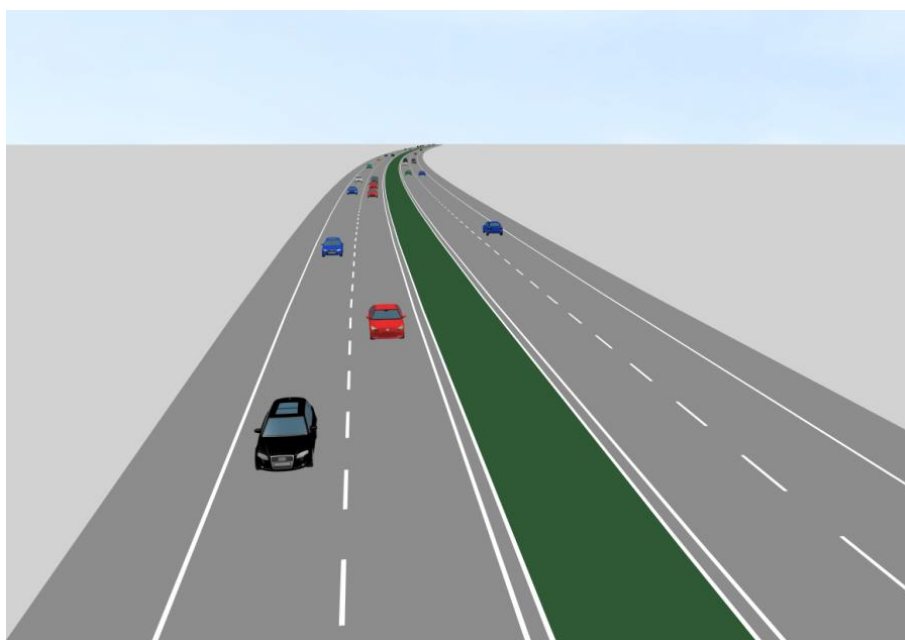
Stan ruchu w pełni swobodnego (rys. 2.1) ma miejsce przy bardzo małym natężeniu ruchu. Charakteryzują go wysokie prędkości oraz pełna swoboda w wyprzedzaniu wolniejszych pojazdów i utrzymywaniu pożądanej przez kierowcę prędkości. W takich warunkach komfort jazdy jest wysoki.



Rys. 2.1. Ilustracja ruchu w warunkach w pełni swobodnych

2.1.2. *Ruch płynny i stabilny*

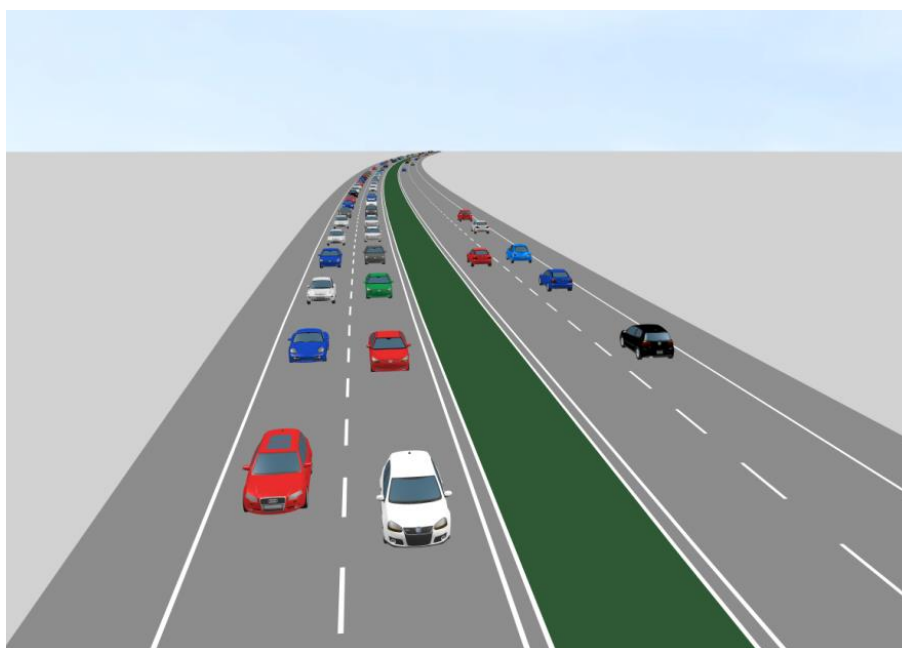
Stan ruchu określany jako płynny i stabilny (rys. 2.2) występuje w szerokim zakresie natężeń ruchu – od małych do średnio dużych. W tym stanie obrana prędkość i swoboda prowadzenia pojazdu są do pewnego stopnia ograniczane, jednakże ruch jest płynny i odbywa się ze stabilną prędkością, równą co najmniej połowie prędkości swobodnej.



Rys. 2.2. Warunki ruchu określane jako płynne i stabilne

2.1.3. Stan ruchu wymuszonego

Stan ruchu wymuszonego (rys. 2.3) występuje po załamaniu się płynności ruchu czyli po znacznym spadku prędkości ruchu spowodowanym lokalnym zagęszczeniem ruchu. Cechą charakterystyczną jest zatłoczenie na drodze oraz zmienna prędkość – pojazdy raz po raz zmuszone są do hamowania aż do zatrzymania oraz ponownego ruszania i przyspieszania. Natężenie ruchu wymuszonego może oscylować od małego do dużego. Stan taki występuje często z powodu wypadków lub innych zdarzeń drogowych, zawężenia przekroju lub innych przyczyn obniżających przepustowość (tzw. lokalne ograniczenie przepustowości).



Rys. 2.3. Ruch określany jako wymuszony i niestabilny

2.2. Miary warunków ruchu drogowego

2.2.1. Prędkość ruchu

Jako miarę warunków ruchu na konkretnym odcinku drogi można przyjąć prędkość potoku pojazdów czyli prędkość przejazdu tego odcinka, uśrednioną w określonym przedziale czasowym, np. 5 lub 15 minut. W praktyce taka prędkość średnia może być obliczona jako średnia harmoniczna prędkości indywidualnych pojazdów, zmierzonych na danym odcinku w danym przedziale czasowym.

Należy przy tym pamiętać, że średnia prędkość nie daje pełnej informacji o warunkach ruchu. Istotna jest również wariancja (dyspersja) rozkładu prędkości, jako że prędkości poszczególnych pojazdów w strumieniu ruchu na drodze mogą być bardzo różne i zmieniać się ciągle w czasie i przestrzeni. Na drodze wielopasowej występują zwykle duże różnice w prędkości na poszczególnych pasach ruchu.

2.2.2. Gęstość ruchu

Gęstość ruchu wyraża stopień koncentracji pojazdów na odcinku drogi i dlatego jest dobrą miarą warunków ruchu. Gęstość ruchu k [P/km/pas] jest zdefiniowana jako średnia liczba rzeczywistych pojazdów znajdujących się na pasie ruchu na długości 1 km.

W celu umożliwienia porównywania potoków ruchu o różnej strukturze rodzajowej wprowadza się pojęcie gęstości obliczeniowej. Obliczeniowa gęstość ruchu k_o [E/km/pas] jest to średnia liczba pojazdów znajdujących się na pasie ruchu na długości 1 km, przeliczona na pojazdy umowne.

2.2.3. Stopień wykorzystania przepustowości

Stopień wykorzystania przepustowości zwany też stopniem obciążenia drogi stanowi pośrednią miarę warunków ruchu. W sytuacji gdy nie dysponujemy pomiarami prędkości ani gęstości ruchu a jedynie natężeniem ruchu i szacunkiem przepustowości, możemy łatwo obliczyć stosunek natężenia ruchu do przepustowości. Stopień wykorzystania przepustowości jest też wskazówką niezawodności drogi, gdyż przy dużym obciążeniu (np. $X > 0,9$) szybko rośnie prawdopodobieństwo załamania płynności ruchu.

2.3. Poziomy swobody ruchu i ich charakterystyka

2.3.1. Klasyfikacja warunków ruchu

Jest to analiza umożliwiająca określenie poziomu warunków ruchu, w której porównuje się przyjęte do oceny analizowanego obiektu drogowego miary warunków ruchu z wartościami granicznymi tych miar przyjętymi dla poszczególnych klas warunków ruchu. Warunki te mogą być oceniane jako: bardzo dobre – w przypadku jazdy swobodnej z prędkością pożądaną, w stanie niewymuszonym; a także bardzo uciążliwe – w przypadku jazdy zależnej od innych pojazdów, w stanie wymuszonym. Do oceny warunków ruchu stosuje się różne metody i różne kryteria w celu identyfikacji poziomu warunków występujących na drodze i wyboru optymalnego rozwiązania. Najczęściej stosowaną jest klasyfikacja zastosowana w metodzie HCM w której wyróżniono sześć klas warunków ruchu, zwanych poziomami swobody ruchu (ang. *level of service, LOS*), w niniejszej pracy oznaczone jako PSR.

2.3.2. Opis ilościowy PSR

Pojęcie poziomu swobody ruchu wprowadza się w celu klasyfikacji warunków ruchu na kilka przedziałów, od najlepszych do najgorszych. Kryteria klasyfikacji PSR powinny odpowiadać jak najlepiej subiektywnym odczuciom uczestników ruchu odnoszącym się do swobody poruszania się i komfortu jazdy. Dla dróg dwujezdniowych przyjmuje się, że najlepszym kryterium ilościowym odpowiadającym komfortowi jazdy jest gęstość ruchu, jako, że im gęstszy ruch, tym bardziej ograniczona jest zarówno możliwość wyboru prędkości jak i możliwość zmiany pasa ruchu.

Dla dróg dwujezdniowych przyjmuje się tradycyjny podział na 6 poziomów swobody ruchu, oznaczonych literami od A (najlepszy) do F (najgorszy). Tab. 2.1 podaje maksymalne gęstości ruchu dla każdego z PSR – przekroczenie każdej z tych wartości oznacza spadek PSR o jeden poziom.

Tab. 2.1. Kryteria PSR dla dróg dwujezdniowych

Poziom swobody ruchu	Maksymalna obliczeniowa gęstość ruchu k_o
PSR [i]	[E/km/pas]
A	6,5
B	11,0
C	16,0
D	21,0
E	26,5
F	>26,5

2.3.3. Opis jakościowy PSR

Poszczególne poziomy swobody ruchu można scharakteryzować następująco:

PSR A - ruch swobodny, małe natężenie ruchu, wysokie prędkości, swoboda w wyprzedzaniu i utrzymywaniu obranej przez kierowcę prędkości, przeciętne odległości między pojazdami wynoszą około 150 m.

PSR B - średnie natężenie ruchu; obrana prędkość i swoboda prowadzenia pojazdu ograniczane w niewielkim stopniu; przeciętne odległości między pojazdami wynoszą około 90 m, ruch równomierny.

PSR C - znaczne natężenie ruchu; zadowalająca prędkość podróży; swoboda prowadzenia pojazdu częściowo ograniczona; przeciętne odległości między pojazdami wynoszą około 65 m; ruch równomierny.

PSR D - duże natężenie ruchu; prędkość podróży ledwo zadowalająca; mała swoboda prowadzenia pojazdu; przeciętne odległości między pojazdami wynoszą około 50 m; ruch nierównomierny.

PSR E - bardzo duże natężenie ruchu; swoboda prowadzenia pojazdu znacznie ograniczona; ruch kolumnowy; przeciętne odległości między pojazdami wynoszą około 35 m; ruch nierównomierny; dolna granica warunków ruchu na PSR E odpowiada przepustowości.

PSR F - zatłoczenie na drodze; zmienne natężenie ruchu; spiętrzenia ruchu i zatory na drodze spowodowane ogólnie tym, że popyt przewyższa podaż. Może to być skutkiem wypadków lub innych zdarzeń drogowych, zawężeniem przekroju lub innymi przyczynami obniżającymi przepustowość i tworzącymi lokalne ograniczenia przepustowości.

2.4. Przepustowość drogi

2.4.1. Pojęcie przepustowości międzywęzłowego odcinka drogi

Przepustowość jest definiowana jako maksymalna liczba pojazdów rzeczywistych, którą w określonych warunkach drogowych i ruchowych oraz przy dobrych warunkach atmosferycznych może przepuścić przekrój drogi w ciągu godziny. Pojęcie przepustowości ma zastosowanie zarówno do samej drogi jak i elementów węzłów drogowych takich jak odcinki przeplatania, łącznice, obszary wjazdów i wyjazdów.

Warunki drogowe to zbiór cech geometrycznych charakteryzujących dany odcinek drogi. Najważniejsze cechy to: klasa drogi, liczba i szerokość pasów ruchu, szerokość pasa awaryjnego lub pobocza, pochylenie niwelety. Do warunków drogowych zalicza się także gęstość węzłów (wjazdów i wyjazdów), obszar, w którym zlokalizowana jest droga (wewnątrz aglomeracji lub poza nią) oraz prędkość dopuszczalną na odcinku drogi.

Warunki ruchowe to zbiór zmiennych czynników charakteryzujących ruch oraz takich, które mogą wpływać na zachowanie kierowców. Wymienić tu można strukturę ruchu (udział pojazdów ciężkich w ruchu) oraz warunki atmosferyczne (opady, mgła lub zanieczyszczenie powietrza ograniczające widoczność).

2.4.2. Charakterystyka przepustowości

Z podanej powyżej definicji wynika, że przepustowość danej drogi lub jej elementu nie jest wartością stałą, ale zmienną losową zależną od warunków ruchowych, czyli czynników takich jak warunki atmosferyczne czy też struktura ruchu, które zmieniają się w czasie. Z tego powodu można mówić o rozkładzie statystycznym wartości przepustowości i traktować jej wielkość oszacowaną na podstawie obserwacji jako wartość oczekiwaną. Chociaż z definicji wynika, że natężenie ruchu nie może przekroczyć przepustowości, w praktyce zdarza się, że w sprzyjających warunkach chwilowe natężenie ruchu przekracza wartość oczekiwaną przepustowości. Natomiast w warunkach niekorzystnych, maksymalne obserwowane natężenia ruchu mogą być znacznie poniżej wartości oczekiwanej przepustowości.

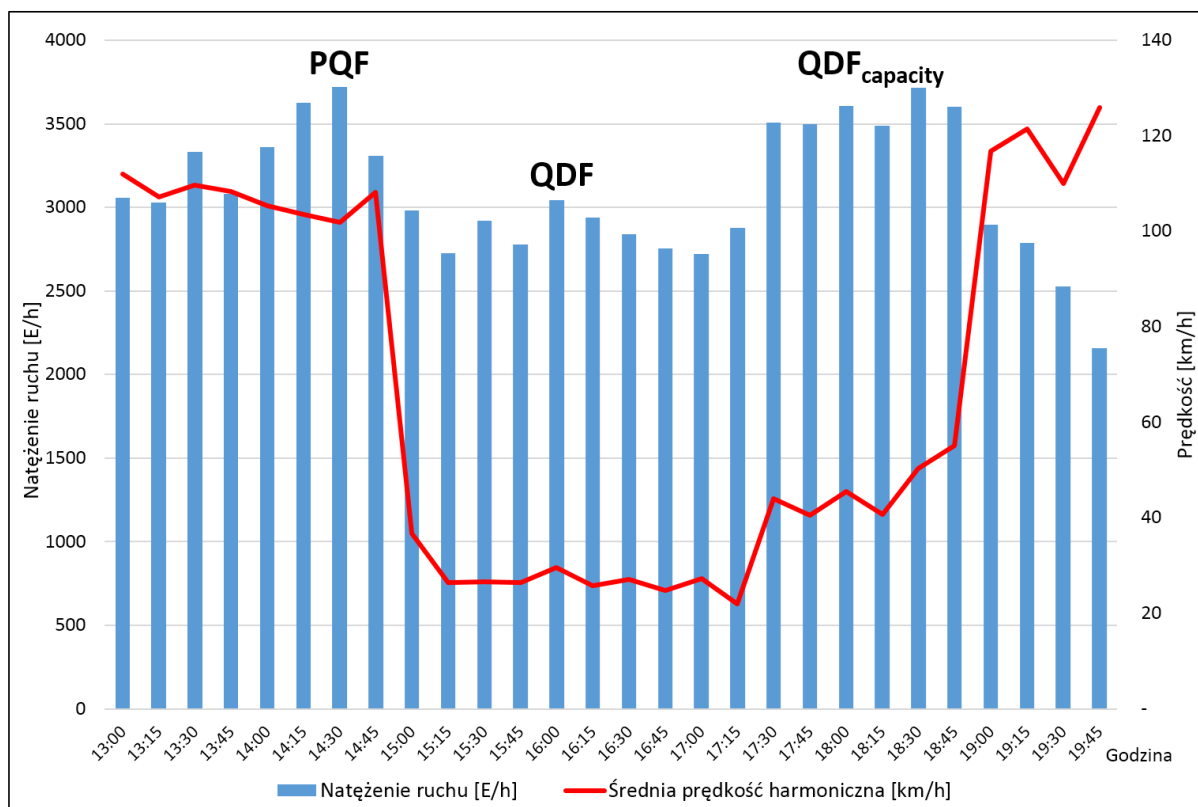
2.4.3. Lokalne ograniczenia przepustowości

Lokalne ograniczenie przepustowości LOP jest odpowiednikiem pojęcia „*bottleneck*”, które stosowane jest HCM-6 [2]. Wg tej definicji „*bottleneck*” jest dowolnym miejscem na drodze, na którym dopływające natężenie ruchu (popyt) jest większe niż jego przepustowość.

Główną cechą LOP według [2], [3] (w przypadku gdy jest ono aktywne) jest występowanie swobodnych warunków ruchu w dół strumienia ruchu oraz bardzo złych warunków ruchu na dojeździe do przekroju w którym występuje LOP.

Charakterystykę LOP można odwzorować w postaci wykresów, na których są zestawione ze sobą natężenia ruchu oraz prędkości pojazdów. W fazie drugiej tuż przed załamaniem wy-

stępują obserwowane w krótkich interwałach czasu duże natężenia ruchu, które zostały nazwane jako wartości *PQF* (ang. *pre-queue flow*), co można przetłumaczyć na natężenie przed wystąpieniem kolejki/zatłoczenia. Wielkości tych natężeń decydują o przepustowości przekroju. Po załamaniu warunków ruchu występuje faza zatłoczenia (faza występowania aktywnego LOP). W tej fazie prędkość strumienia ruchu jest stosunkowo niska, co przekłada się na występowanie dużej gęstości ruchu. Natężenia ruchu pojazdów przejeżdżające przez przekrój noszą nazwę *QDF* (ang. *queue discharge flow*), co można przetłumaczyć jako natężenie ruchu pojazdów uwolnionych z kolejki. Natężenia te są znacznie mniejsze niż natężenia ruchu *PQF*. W fazie poprawy, gdy zaczyna maleć gęstość oraz wzrastać prędkość pojazdów, natężenia ruchu zaczynają rosnąć i osiągają maksymalne wartości w fazie zatłoczenia. Natężenia te noszą nazwę *QDF_{capacity}*. Na poniższym rysunku zademonstrowano występowanie wartości *PQF*, *QDF* i *QDF_{capacity}*, które zostały pomierzone w czasie przeprowadzonych badań na autostradzie A2 w kierunku Łodzi przy nieczynnym PPO Pruszków w czasie wzmożonego ruchu wyjazdowego z Warszawy przed weekendem majowym w 2016 r.



Rys. 2.4. Wartości *PQF*, *QDF* i *QDF_{capacity}* oraz prędkości pojazdów pomierzone na autostradzie A2 w kierunku Łodzi na odcinku 2 km przed nieczynnym PPO Pruszków

2.5. Natężenia krytyczne

2.5.1. Określenie natężenia krytycznego dla danego PSR

Natężenie krytyczne jest to maksymalne natężenie ruchu, przy którym warunki ruchu odpowiadają danemu Poziomowi Swobody Ruchu. Krytyczne obliczeniowe natężenie ruchu

Q_{oki} [E/h/pas] jest to największa liczba pojazdów, wyrażona w pojazdach umownych, które mogą przejechać przez przekrój pasa drogi w jednym kierunku w ciągu godziny przy założonym PSR_i . Dla uściślenia dodawany jest warunek o panujących normalnych warunkach drogowo-ruchowych i o dogodnych warunkach atmosferycznych.

2.5.2. Interpretacja i możliwości wykorzystania natężeń krytycznych

Natężenia krytyczne można wykorzystać do oceny warunków ruchu przez porównanie pomierzonego lub prognozowanego natężenia ruchu ze zbiorem natężeń krytycznych ustalonych dla danej drogi dla różnych PSR. Warunki ruchu odpowiadają PSR_i , jeżeli obliczeniowe natężenie ruchu nie przekracza natężenia krytycznego dla poziomu i .

Natężenia krytyczne dla dróg dwujezdniowych podane są w pojazdach umownych na godzinę na pas i nie powinny być przeliczane na pojazdy rzeczywiste, gdyż wynik będzie zależeć m.in. od udziału pojazdów ciężkich w ruchu. Dlatego przed porównaniem natężenia ruchu na danej drodze z natężeniami krytycznymi należy to pierwsze wyrazić w pojazdach umownych (czyli zamienić na obliczeniowe natężenie ruchu).

Drugim sposobem wykorzystania natężeń krytycznych jest ustalenie poziomu akceptacji warunków ruchu na analizowanym odcinku drogi, a w konsekwencji granicznego natężenia ruchu, które nie powinno być przekroczone, aby zapewnić warunki ruchu nie gorsze niż założony PSR. Jeżeli na przykład zakładamy, że akceptowany PSR to poziom D, wtedy graniczne obliczeniowe natężenie ruchu będzie równe natężeniu krytycznemu dla PSR D.

3. RODZAJE ANALIZ I PRZYGOTOWANIE DANYCH

3.1. Rodzaje analiz warunków ruchu

W zależności od potrzeb oraz dostępnych danych proponuje się dwa rodzaje analizy warunków ruchu na drogach dwujezdniowych:

- Metoda uproszczona, pozwalająca oszacować Poziom Swobody Ruchu na drodze planowanej na podstawie prognozowanego ruchu. Metoda uproszczona ma zastosowanie tylko do odcinków międzywęzłowych dróg dwujezdniowych.
- Metoda szczegółowa, pozwalająca ocenić warunki ruchu poprzez wyznaczenie prędkości i gęstości ruchu na podstawie ruchu prognozowanego lub pomierzonego. Metoda szczegółowa ma zastosowanie zarówno do odcinków międzywęzłowych jak i do elementów węzłów drogowych.

Zestawienie obu metod przedstawia rysunek 3.1. Na schemacie pokazano etapy procesu inwestycyjnego, na których można stosować obie metody oraz których elementów drogi może dotyczyć ocena.



Rys. 3.1. Zestawienie metod analizy warunków ruchu

3.1.1. Metoda uproszczona dla celów planistyczno–projektowych

Metodę uproszczoną stosuje się dla nowych dróg na etapie planowania lub projektowania wstępnego. Przykłady opracowań, w których można zastosować metodę to studium sieciowe i studium korytarzowe. Na tym etapie dysponujemy zwykle prognozą ruchu na planowanej sieci drogowej oraz podstawowymi informacjami o drodze takimi jak: klasa funkcjonalna, liczba pasów, gęstość węzłów, itd. Dla brakujących parametrów trzeba będzie przyjąć założenia lub wartości domyślne.

Metoda uproszczona pozwala oszacować poziom swobody ruchu na drodze planowanej na podstawie prognozowanego ruchu. Metoda uproszczona ma zastosowanie tylko do odcinków międzywęzłowych dróg dwujezdniowych.

3.1.2. Metoda szczegółowa

Metodę szczegółową stosuje się do dróg istniejących lub będących na etapie projektowania szczegółowego. Metoda pozwala ocenić warunki ruchu poprzez wyznaczenie miar warunków ruchu takich jak prędkość i gęstość na podstawie natężenia ruchu prognozowanego lub pomierzonego. Metoda ma zastosowanie zarówno do odcinków międzywęzłowych jak i do elementów węzłów drogowych, takich jak: obszary przeplatania, obszary wjazdów i obszary wyjazdów.

W przypadku dróg istniejących metoda ma zastosowanie w fazie eksploatacji drogi. Możemy wtedy ocenić warunki ruchu panujące na drodze w dowolnie wybranej godzinie, w której wykonano pomiary. Można też określić rzeczywistą przepustowość odcinka tej drogi lub elementów węzła.

W przypadku drogi projektowanej, metodę szczegółową można zastosować w następujących opracowaniach: Studium Techniczno-Ekonomiczno-Środowiskowe (STeŚ), koncepcja programowa, projekt budowlany. W tym wypadku podstawą oceny jest prognoza ruchu dla projektowanej drogi i jej elementów. Na podstawie projektu znane będą parametry takie jak: klasa funkcjonalna, liczba pasów, gęstość wjazdów i wyjazdów, pochylenia niwelety, prędkość dopuszczalna, itd.

W przypadku analiz przepustowości wykonywanych dla nowobudowanych dróg zaleca się wykonywanie analiz dla horyzontu 30 lat od zakończenia inwestycji dla autostrad oraz dróg ekspresowych oraz 20 lat dla pozostałych dróg. W przypadku analiz przepustowości wykonywanych dla modernizowanych dróg zaleca się horyzont 15 lat dla autostrad i dróg ekspresowych oraz 10 lat dla dróg pozostałych. Ostateczne ustalenie horyzontu prognostycznego do przeprowadzenia analiz przepustowości dla poszczególnych dróg jest w gestii DSS lub Oddziału GDDKiA, który zleca ich wykonanie.

3.1.3. Analiza niezawodności czasów podróży

Klasyczne podejście do oceny warunków ruchu polega na zestawieniu wielkości prognozowanego lub zmierzonego godzinowego natężenia ruchu z przepustowością. Alternatywne podejście wprowadzono w najnowszym wydaniu amerykańskiej metodyki analizy przepustowości HCM 6 [2]. Z punktu widzenia użytkownika drogi, istotne jest czy i jak często dochodzi do zatłoczenia, które powoduje nadmierne wydłużenie czasu podróży. Zmienność czasów podróży jest ważną miarą jakości usług oferowanych przez daną drogę.

Ciągłe pomiary prędkości pozwalają na uzyskanie rozkładu statystycznego czasów podróży, z którego można wyliczyć szereg wskaźników niezawodności. Takim wskaźnikiem jest na przykład „wskaźnik wydłużenia czasu podróży” (TTI - *Travel Time Index*) czyli stosunek rzeczywistego czasu podróży do czasu w warunkach ruchu swobodnego. TTI mówi nam o ile dłuższa jest podróż w określonym czasie w stosunku do najbardziej sprzyjających warunków. Za akceptowalne przyjmuje się wydłużenie czasu podróży do 33%, czyli $TTI < 1,33$. Indeks niezawodności (ang. *reliability rating*) jest to procent podróży (lub godzin w roku) gdy wydłużenie czasu nie przekracza 33%.

3.2. Ustalenie odcinka drogi do analizy

3.2.1. Wybór odcinka lub elementu drogi

W pierwszym kroku, droga będąca przedmiotem oceny powinna być podzielona na elementy składowe (patrz rys. 1.1), czyli:

- odcinki międzywęzłowe, na których ruch pozostaje poza wpływem pojazdów wjeżdżających na drogę główną oraz zjeżdżających z tej drogi,
- odcinki przeplatania,
- odcinki wjazdów,
- odcinki wyjazdów.

Każdy z elementów powinien być oceniany indywidualnie, z wykorzystaniem metod przedstawionych w kolejnych rozdziałach.

3.2.2. Wymagania dotyczące analizowanego odcinka

Odcinek drogi wybrany do oceny warunków ruchu powinien być jak najbardziej jednorodny pod względem warunków zarówno drogowych jak i ruchowych. W szczególności, wymagana jest jednorodność geometryczna (liczba pasów ruchu, szerokość pasów ruchu oraz pasa awaryjnego, pochylenia podłużne), a także jednorodność metod zarządzania ruchem (prędkość dopuszczalna, zakaz wyprzedzania przez samochody ciężarowe, itd.).

3.3. Dane do obliczeń

Przed przystąpieniem do obliczeń należy przygotować niezbędne dane.

3.3.1. Klasa drogi i liczba pasów

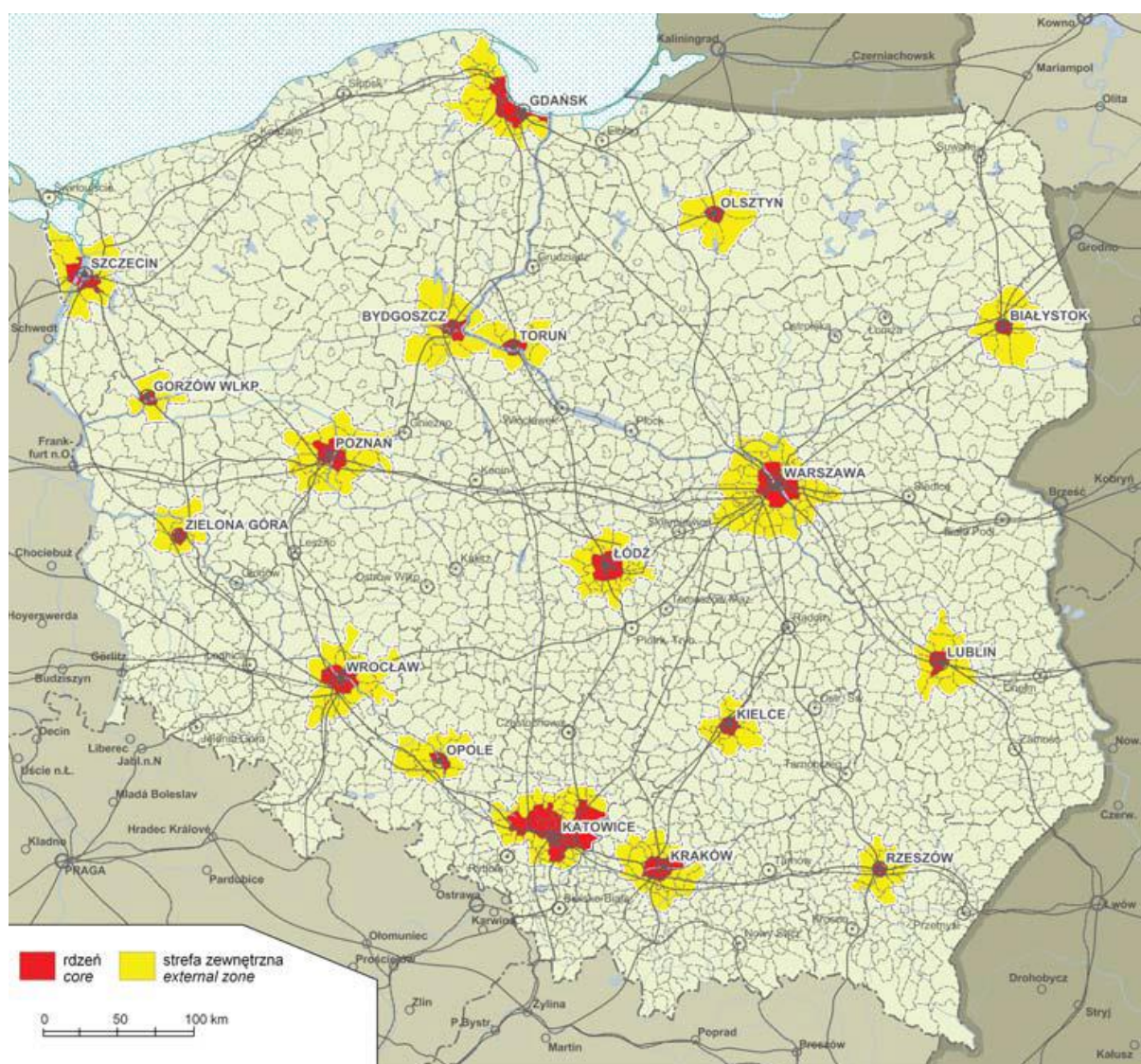
Do podstawowych danych o drodze należą: klasa drogi oraz liczba pasów w jednym kierunku. Ponieważ niniejsza instrukcja dotyczy tylko dróg dwujezdniowych, droga taka może być klasy: A (autostrada), S (droga ekspresowa), GP (droga główna ruchu przyspieszonego) lub G (droga główna).

Liczba pasów w jednym kierunku może być 2 lub 3, a w wyjątkowych wypadkach 4. Na odcinku międzywęzłowym liczymy tylko pasy na drodze głównej. W przypadku drogi planowanej, jeżeli liczba pasów nie jest ustalona, należy wykonać analizę iteracyjnie, to znaczy w pierwszym kroku założyć 2 pasy, a jeżeli warunki ruchu okażą się niezadawalające, w drugim kroku zwiększyć liczbę pasów do 3.

3.3.2. Lokalizacja drogi w obszarze aglomeracji lub poza

Lokalizacja drogi w obszarze aglomeracji lub w zasięgu oddziaływania dużego miasta wpływa istotnie na charakterystykę ruchu. Znaczną część ruchu stanowią dojeżdżający do pracy w mieście i w związku z tym obserwuje się wyraźne szczyty ruchowe.

Obszary aglomeracji dużych miast w Polsce przedstawia rys. 3.2. Obszary miast zaznaczono kolorem czerwonym natomiast obszary oddziaływania miast (aglomeracji) oznaczono kolorem żółtym. Na podstawie mapy, należy ustalić czy analizowana droga jest w obszarze aglomeracji czy poza tym obszarem.



Rys. 3.2. Obszary aglomeracji największych miast Polski. Źródło: [4]

3.3.3. Parametry geometryczne drogi

Istotnym parametrem jest pochylenie podłużne odcinka poddanego analizie. Odcinki o pochyleniu opadającym lub wznoszącym do 2% traktowane są jako odcinki płaskie. Pochylenie wznoszące na odcinku wybranym do analizy powinno być jednorodne, to znaczy

nie powinno zmieniać się o więcej niż ± 1 stopień od wartości średniej. Jeżeli pochylenie zmienia się bardziej, odcinek należy podzielić na segmenty jednorodne i dla każdego przeprowadzić ocenę warunków ruchu.

3.3.4. Dostępność do drogi (gęstość wjazdów i wyjazdów)

Drogi dwujezdniowe klasy A, S oraz GP mają ograniczoną dostępność, to jest wymiana ruchu z drogami poprzecznymi następuje tylko na węzłach. Gęstość węzłów ma istotny wpływ na warunki ruchu, gdyż pojazdy wjeżdżające i zjeżdżające z drogi głównej zmieniają pasy, a także prędkość jazdy, co zaburza płynność potoku ruchu.

Parametrem wyrażającym dostępność jest gęstość wjazdów i wyjazdów na odcinku poddanym analizie przeliczona na kilometr. Sposób definiowania gęstości elementów węzłów jest następujący:

- Jeżeli odcinek jest krótszy lub równy 10 km – zliczamy dla danego kierunku ruchu liczbę wjazdów i wyjazdów (z uwzględnieniem wjazdów i wyjazdów z MOP) znajdujących się na odcinku 5 km przed i 5 km za, licząc od środka odcinka. Dzielimy otrzymaną liczbę przez 10.
- Jeżeli odcinek jest dłuższy niż 10 km, zliczamy dla danego kierunku ruchu liczbę wjazdów i wyjazdów (z uwzględnieniem wjazdów i wyjazdów z MOP) na całej długości odcinka i dzielimy przez długość odcinka (w km).

W przypadku dróg klasy GP oblicza się gęstość punktów włączeń, którą wyznacza się jako sumę punktów włączeń (skrzyżowania, wyjazdy publiczne, włączenia) dla danego kierunku ruchu na całej długości odcinka i dzielimy przez długość odcinka (w km).

3.3.5. Ograniczenia prędkości dopuszczalnej

Prędkość dopuszczalna jest określona ustawowo jako: 140 km/h dla autostrad, 120 km/h dla dróg ekspresowych oraz 100 km/h dla dwujezdniowych dróg klasy GP i G. Ponadto mogą występować lokalne ograniczenia prędkości dopuszczalnej poniżej powyższych wartości.

Jeżeli na analizowanym odcinku występuje ograniczenie lokalne, przyjmujemy je jako V_d , jeżeli nie, przyjmujemy ogólne wartości prędkości dopuszczalnej, zależne od klasy drogi.

3.3.6. Parametry ruchu

Obciążenie drogi opisują parametry ruchu takie jak: natężenie miarodajne, udział pojazdów ciężkich, współczynnik wahań ruchu w godzinie. Na drodze istniejącej parametry te można uzyskać na podstawie wyników Generalnego Pomiaru Ruchu, Stacji Ciągłych Pomiarów Ruchu – lub też bezpośrednio – przeprowadzając odpowiednie pomiary ruchu dla wybranej godziny, dla której chcemy wykonać ocenę warunków ruchu. Dla dróg planowanych i projektowanych należy wykorzystać dane o ruchu prognozowanym. Sposoby obliczenia miarodajnego natężenia godzinowego oraz wykorzystania pozostałych danych do wyznaczenia obliczeniowego natężenia ruchu przedstawiono w rozdziale 4.

4. WYZNACZANIE NATĘŻENIA MIARODAJNEGO I OBLICZENIOWEGO DO ANALIZY WARUNKÓW RUCHU

4.1. Wprowadzenie

Natężenie miarodajne (Q_m) to natężenie stanowiące podstawę działań planistycznych, projektowych lub eksploatacyjnych na elementach sieci drogowej. Służy ono do oceny warunków ruchu i/lub do wymiarowania obiektów infrastruktury drogowej. Obiekt drogowy powinien sprawnie działać w całym zakresie zmienności natężenia ruchu, jakie występuje (ocena eksploatacyjna) lub będzie występować na nim w przyszłości (ocena planistyczna lub projektowa). Decydujące o jakości ruchu oraz o wymiarach obiektu są najwyższe wartości natężenia godzinowego z okresu roku (8760 godzin w typowym roku). Względy ekonomiczne skłaniają do przyjęcia jako natężenia miarodajnego natężenia n -tej wartości natężenia godzinowego. Według rekomendacji Generalnej Dyrekcji Dróg Krajowych i Autostrad [5] dla celów projektowania dróg oraz przeprowadzania analiz i prognoz ruchu za miarodajne przyjmuje się natężenie 50-tej szczytowej godziny w roku.

W analizach eksploatacyjnych natężenie miarodajne odnosi się do roku bieżącego, natomiast w analizach planistycznych i projektowych do stanu przyszłego (roku prognozy) po wybudowaniu nowego odcinka drogi, wykonaniu przebudowy lub rozbudowy drogi. Zgodnie z opracowaniem „Stadia i skład dokumentacji projektowej dla dróg i mostów w fazie przygotowania zadań” [6], w analizach i prognozach ruchu drogowego na sieci z uwzględnieniem wariantów należy przyjąć horyzonty czasowe prognozy ruchu zgodnie z wymaganiami zamawiającego. W większości projektów wymagane jest, aby prognozy ruchu obejmowały okres co najmniej 20-30 lat od przewidywanej daty oddania inwestycji do użytku w zależności od klasy i przekroju drogi.

4.2. Analiza planistyczna (uproszczona) i projektowa (szczegółowa)

Obliczenia natężenia miarodajnego dla prognozowanych natężeń ruchu wraz ze strukturą rodzajową pojazdów należy wykonać zgodnie z aktualnie obowiązującą instrukcją i wytycznymi dla danego typu dróg. W przypadku dróg krajowych, należy skorzystać z metody opracowanej przez GDDKiA, zgodnie z dokumentem [7].

W obliczeniach udziału godziny miarodajnej w SDRR dla prognozowanych natężeń ruchu należy uwzględnić wyniki pomiarów z referencyjnej stacji ciągłych pomiarów ruchu (stacja odpowiadająca charakterystyce warunków ruchu dla danego odcinka drogi), których lista została udostępniona na stronie GDDKiA pod adresem: <https://www.gddkia.gov.pl/pl/2876/Stacje-Ciaglych-Pomiarow-Ruchu>

W przypadku braku możliwości zastosowania metody wyznaczania natężenia miarodajnego można zastosować metodę opisaną w tomie III.

Miarodajne natężenie ruchu należy przyjmować jako 50-tą wartość z największych godzinowych natężeń w roku. Natężenie to należy wyznaczyć, na podstawie średniego dobowego natężenia ruchu w roku (SDRR), zgodnie ze wzorem (4.1). Prognozę SDRR dla odpowiedniego horyzontu czasu należy przeprowadzić na podstawie metody zalecanej przez GDDKiA [7].

$$Q_{50p} = u_{50} * SDRR_p \quad [P/h] \quad (4.1)$$

gdzie:

- Q_{50p} – natężenie miarodajne w roku prognozy,
- u_{50} – udział natężenia miarodajnej szczytowej godziny w roku w SDRR, zgodnie z aktualnie obowiązującymi wytycznymi lub na podstawie obliczeń przedstawionych w tomie III,
- $SDRR_p$ – średni dobowy ruch w roku prognozy w analizowanym kierunku ruchu.

4.3. Analiza eksploatacyjna (szczegółowa)

Ocenę warunków ruchu na drogach dwujezdniowych klasy A, S, GP i G należy przeprowadzać oddzielnie dla każdego z kierunków ruchu, na podstawie następujących parametrów:

- miarodajnego godzinowego natężenia ruchu (Q_{50}) w analizowanym kierunku ruchu,
- udziału pojazdów ciężkich w potoku ruchu (u_c) w analizowanym kierunku ruchu, przypisanego do 50 godziny w roku.

Przewidywane wartości parametrów ruchu należy przyjmować na podstawie wyników pomiarów ruchu. Przeliczenie natężenia z pomiarów krótkotrwałych na SDRR należy wykonać zgodnie z obowiązującą instrukcją, wytycznymi dla danego typu dróg. W przypadku dróg krajowych aktualnie obowiązująca instrukcja została przedstawiona w dokumencie [8].

Miarodajne natężenie ruchu należy przyjmować jako pięćdziesiątą wartość z największych godzinowych natężeń w roku dla dróg o określonym charakterze ruchu. Natężenie to należy wyznaczyć, w zależności od rodzaju analizy, na podstawie największej wartości godzinowej uzyskanej z pomiarów ruchu (Q_{max}), zgodnie ze wzorem (4.2).

$$Q_{50} = \frac{Q_{max}}{W_S * W_D} \quad [P/h] \quad (4.2)$$

gdzie:

- Q_{50} – natężenie miarodajne w roku pomiaru [P/h],
- Q_{max} – maksymalne godzinowe natężenie z okresu pomiarowego [P/h],
- W_S – współczynnik sezonowych wahań ruchu, według: https://www.gddkia.gov.pl/userfiles/articles/s/stacje-ciaglych-pomiarow-ruchu-d_29525/R02_05_2017.pdf
- W_D – współczynnik tygodniowych wahań ruchu, według: https://www.gddkia.gov.pl/userfiles/articles/s/stacje-ciaglych-pomiarow-ruchu-d_29525/R02_04_2017.pdf

Pomiary ruchu drogowego dla ustalenia Q_{max} , należy prowadzić w typowym dniu tygodnia (wtorek-czwartek) w godzinach 7-18 w okresie od 15 kwietnia do 31 maja lub od 10 września do 25 października (zgodnie z przyjętymi założeniami DSS GDDKiA dla prowadzenia pomiarów krótkotrwałych). Pomiary ruchu nie powinny być wykonywane w tygodniach, w których występują dni świąteczne lub wolne od pracy. W uzasadnionych przypadkach np. dla dróg, na których występuje duży udział ruchu turystycznego i/lub rekreacyjnego wskazane jest wykonanie pomiarów ruchu również w okresie letnim w dni powszednie oraz w niedziele (w przypadku przedłużonych weekendów w ostatnim dniu wolnym od pracy). W uzasadnionych przypadkach wykonywanie pomiarów ruchu drogowego w innych terminach powinno być każdorazowo uzgadniane z DSS.

4.4. Wyznaczanie natężenia obliczeniowego

4.4.1. Określenie natężenia obliczeniowego

Obliczeniowe natężenie ruchu Q_0 jest to natężenie ruchu w szczytowych 15-tu minutach w godzinie, przeliczone na natężenie godzinowe i wyrażone w pojazdach umownych na pas. Natężenie to reprezentuje obciążenie drogi w standardowy sposób z uwzględnieniem struktury rodzajowej ruchu, zmienności godzinowej oraz wpływu pochyłości podłużnych.

Natężenie obliczeniowe wyznaczamy z natężenia miarodajnego na podstawie wzoru:

$$Q_o = \frac{Q_m}{n \cdot k_{15}} E_w \quad [E/h/pas] \quad (4.3)$$

gdzie:

- Q_o – obliczeniowe natężenie ruchu [E/h/pas],
- Q_m – miarodajne natężenie ruchu, równe Q_{50} lub Q_{50p} [P/h],
- n – liczba pasów ruchu [-],
- k_{15} – współczynnik wahań ruchu w godzinie [-],
- E_w – ważony współczynnik przeliczeniowy pojazdów rzeczywistych na umowne [E/P]

Ważony współczynnik przeliczeniowy pojazdów rzeczywistych na pojazdy umowne wyznaczamy ze wzoru:

$$E_w = E_s(1 - u_c) + E_c \cdot u_c \quad [E] \quad (4.4)$$

gdzie:

- E_s – współczynnik przeliczeniowy samochodów lekkich (osobowych i dostawczych) na pojazdy umowne [E/P],
- E_c – współczynnik przeliczeniowy pojazdów ciężkich na umowne [E/P],
- u_c – udział pojazdów ciężkich w ruchu.

Wartości współczynników E_c i E_s podane są w tab. 4.1.

4.4.2. Współczynnik nierównomierności godzinowej k_{15}

Podstawowym interwałem odniesienia natężenia ruchu drogowego jest jedna godzina. Jednak do oceny sprawności dróg konieczna jest wiedza na temat zmienności ruchu wewnątrz godziny. Zmienność tą wyrażamy we współczynniku nierównomierności godzinowej k_{15} w interwale 15-minutowym, która jest obliczana ze wzoru:

$$k_{15} = \frac{Q}{4 \cdot Q_{15max}} \quad [-] \quad (4.5)$$

W przypadku, natężenia prognozowanego lub braku możliwości wykonania pomiarów ruchu natężenia można wyliczyć z wykorzystaniem wzorów:

- dla obszarów aglomeracyjnych:

$$k_{15} = \begin{cases} 0,83, & Q_m < 1000 [P/h] \\ 0,482 + 0,063 * \ln(\frac{Q_m}{n}), & Q_m \geq 1000 [P/h] \end{cases} \quad [-] \quad (4.6)$$

- pozostałe odcinki dróg:

$$k_{15} = \begin{cases} 0,83, & Q_m < 1000 [P/h] \\ 0,725 + 0,029 * \ln(\frac{Q_m}{n}), & Q_m \geq 1000 [P/h] \end{cases} \quad [-] \quad (4.7)$$

gdzie:

- k_{15} – współczynnik nierównomierności godzinowej,
- Q_m – natężenia miarodajne [P/h],
- Q_{15}^{max} – maksymalne natężenie z interwału 15-minutowego [P/0,25h],
- n – liczba pasów ruchu

4.4.3. Współczynniki przeliczeniowe na pojazdy umowne

Wartości współczynników przeliczeniowych na pojazdy umowne dla dróg o różnym pochyleniu dodatnim niwelety (wzniesienie) podaje tab. 4.1. Wpływ pochyłeń podłużnych drogi na dynamikę jazdy samochodów lekkich (osobowe i dostawcze) wyrażają wartości E_s , natomiast dla samochodów ciężkich są to wartości E_c . W przypadku samochodów ciężkich (samochody ciężarowe o masie całkowitej >3,5 t oraz autobusy), wartość współczynnika przeliczeniowego zależy nie tylko od pochylenia podłużnego, ale także od klasy drogi, liczby pasów w przekroju oraz stopnia obciążenia drogi.

Na podstawie badań stwierdzono większy wpływ samochodów ciężkich na prędkość strumienia ruchu na drogach klasy A i S o przekroju 2x2 pasy niż 2x3 pasy, co znajduje odzwierciedlenie w wyższych wartościach E_c dla tych typów dróg. Samochody ciężkie mają też większy dynamiczny wpływ na ruch innych pojazdów przy mniejszym obciążeniu drogi, natomiast wpływ ten maleje w miarę zbliżania się do przepustowości. Dlatego też tablica 4.1 podaje wyższe wartości E_c dla przedziału niskich i średnich obciążeń ($X < 0,75$) a niższe dla dużych obciążeń ($X \geq 0,75$).

Tab. 4.1. Współczynniki przeliczeniowe na pojazdy umowne E_s i E_c

Typ pojazdu	Klasa drogi, typ przekroju	Stopień obciążenia X	Pochylenie niwelety (wzniesienie)			
			$\leq 2\%$	3%	4%	5%
samochody lekkie, E_s	wszystkie	wszystkie	1,00	1,07	1,20	1,33
samochody ciężkie, E_c (ciężarowe, autobusy)	A+S, 2x3 pasy	$< 0,75$	1,94	2,12	2,38	2,73
		0,75-1	1,60	1,75	1,96	2,25
	G+GP, wszystkie	$< 0,75$	2,40	2,54	2,77	3,02
		0,75-1	2,10	2,22	2,43	2,64

Współczynniki przeliczeniowe podane w tablicy 4.1 należy stosować dla pochyłeń $\geq 2\%$ na odcinkach wzniesień o długości co najmniej 3,0 km. Na krótszych odcinkach trzeba zastosować procedurę korekcyjną. W tym celu obliczamy efektywne pochylenie dla odcinka j ze wzoru:

$$i_{ef,j} = i_j + p_{i,j} \quad [\%] \quad (4.8)$$

gdzie:

- $i_{ef,j}$ – efektywne pochylenie na j -tym odcinku [%],
- i_j – rzeczywiste pochylenie na j -tym odcinku [%],
- $p_{i,j}$ – poprawka pochylenia dla j -tego odcinka [%], dana wzorem:

$$p_{i,j} = 0,4(L_j - \Delta i), \quad \text{gdy } \Delta i > 0 \quad [\%] \quad (4.9)$$

$$p_{i,j} = -0,4(L_j - \Delta i), \quad \text{gdy } \Delta i < 0 \quad [\%] \quad (4.10)$$

gdzie:

$$\Delta i = \max\{i_j, 2\} - \max\{i_{j-1}, 2\}$$

L_j – długość odcinka j [km].

Efektywne pochylenie obliczamy dla kolejnych odcinków, posuwając się zgodnie z kierunkiem ruchu. Przy stosowaniu wzorów (4.9), (4.10) obowiązują dwa ograniczenia:

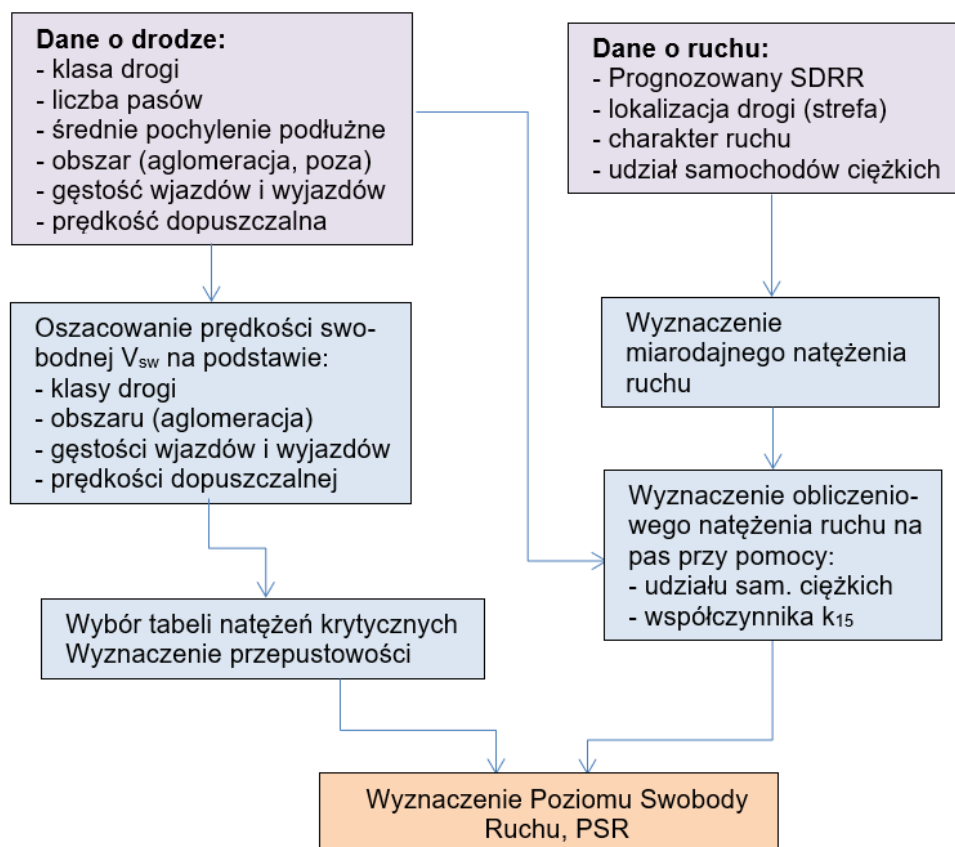
- Jeżeli $L_j < 0,5$ km, przyjmujemy $L_j = 0,5$ km,
- Jeżeli $L_j > |\Delta i|$, przyjmujemy $L_j = |\Delta i|$.

5. METODA UPROSZCZONA ANALIZY DLA ODCINKÓW MIĘDZYWĘZŁOWYCH

Metodę uproszczoną obliczania przepustowości i oceny warunków ruchu (zgodnie z punktem 3.1.1), stosuje się dla nowych dróg na etapie planowania lub projektowania wstępnego. Przykłady opracowań, w których można zastosować metodę to studium sieciowe i studium korytarzowe. Metodę stosuje się tylko do analizy odcinków międzywęzłowych dróg dwujezdniowych klasy A, S, GP oraz G.

5.1. Schemat analizy

Schemat analizy uproszczonej dla odcinków międzywęzłowych przedstawia rys. 5.1.



Rys. 5.1. Schemat analizy uproszczonej dla odcinków międzywęzłowych

5.2. Kroki (etapy) analizy warunków ruchu

Metoda uproszczona składa się z następujących kroków:

- 1) Zebranie danych o drodze oraz danych o ruchu (patrz rozdział 3).
- 2) Wyznaczenie natężenia miarodajnego i obliczeniowego (patrz rozdział 4).
- 3) Obliczenie prędkości swobodnej (patrz rozdział 5.2.1).
- 4) Wybór tabeli natężeń krytycznych i wyznaczenie Poziomu Swobody Ruchu.

5) Wyznaczenie przepustowości i stopnia jej wykorzystania.

Dwa pierwsze kroki opisano w rozdziale 3 i 4, jako że są one wspólne dla metody uproszczonej i szczegółowej. Pozostałe kroki przedstawiono poniżej.

5.2.1. Obliczenie prędkości w ruchu swobodnym

Prędkość w ruchu swobodnym można oszacować z następujących wzorów, których postać zależy od klasy drogi. Dla autostrad (drogi klasy A):

$$V_{sw} = 82,2 - 10,7g_{wz} + 7,7\delta_z + 0,334 V_d \quad [\text{km/h}] \quad (5.1)$$

Dla dróg ekspresowych (drogi klasy S):

$$V_{sw} = 83,5 - 10,7g_{wz} + 7,7\delta_z + 0,334 V_d \quad [\text{km/h}] \quad (5.2)$$

Dla dróg dwujezdniowych klasy GP i G:

$$V_{sw} = 80,5 - 10,7g_{wz} + 7,7\delta_z + 0,334 V_d \quad [\text{km/h}] \quad (5.3)$$

gdzie:

- g_{wz} – gęstość wjazdów i wyjazdów [1/km],
- δ_z – wskaźnik obszaru ($\delta_z = 0$ dla obszaru aglomeracji, $\delta_z = 1$ poza aglomeracją),
- V_d – prędkość dopuszczalna [km/h].

W powyższych wzorach jako prędkość dopuszczalną V_d należy wstawić faktyczną prędkość dozwoloną na danym odcinku. Jeśli nie ma lokalnego ograniczenia prędkości, wstawiamy wartości ogólne: 140 km/h dla autostrad, 120 km/h dla dróg ekspresowych oraz 100 km/h dla dróg klasy GP i G.

5.2.2. Wybór natężeń krytycznych i wyznaczenie Poziomu Swobody Ruchu

Natężenia krytyczne, czyli maksymalne natężenia dla poszczególnych poziomów swobody ruchu (w pojazdach umownych na godzinę na pas) podano w tab. 5.1 dla autostrad, w tab. 5.2 dla dróg ekspresowych, a w tab. 5.3 dla dwujezdniowych dróg klasy GP i G. Natężenia te zależą od klasy drogi i prędkości w ruchu swobodnym. Wartości prędkości podane są w przedziałach co 5 km/h. Z odpowiedniej tabeli należy wybrać wiersz dla prędkości najbliższej do tej wyliczonej w poprzednim kroku. Przy różnicy większej niż 1 km/h zaleca się stosować interpolację.

Wartości natężeń krytycznych podane w tab. 5.1-5.3 obliczono przy pomocy modeli matematycznych natężenie-prędkość typu van Aerde [10], skalibrowanych przy pomocy danych uzyskanych w ramach pomiarów na krajowych drogach dwujezdniowych.

Metody oceny warunków ruchu i obliczania przepustowości dróg poza aglomeracjami miejskimi – drogi dwujezdniowe klasy A, S, GP, G

Poziom swobody ruchu wyznacza się znajdując taki przedział obliczeniowych natężeń krytycznych, w którym zawiera się natężenie obliczeniowe wyznaczone w poprzednim kroku. Przyjmuje się, że na analizowanym odcinku drogi panuje PSR_i gdy spełniony jest warunek:

$$Q_{ok,i-1} < Q_o < Q_{ok,i} \quad [E/h/pas] \quad (5.4)$$

gdzie:

- Q_o – obliczeniowe natężenie ruchu [E/h/pas],
- $Q_{ok,i}$ – krytyczne obliczeniowe natężenie ruchu dla PSR_i [E/h/pas],
- $Q_{ok,i-1}$ – krytyczne obliczeniowe natężenie ruchu dla PSR_{i-1} (lepszego) [E/h/pas].

Tab. 5.1. Wartości obliczeniowych natężeń krytycznych dla autostrad

Maksymalna gęstość ruchu [E/km/pas]	Poziom swobody ruchu PSR [i]				
	A	B	C	D	E
	6,5	11,0	16,0	21,0	26,5
Prędkość w ruchu swobodnym [km/h]	Natężenie krytyczne dla PSR i [E/h/pas]				
130	826	1361	1861	2163	2250
125	797	1318	1815	2132	2225
120	768	1271	1767	2098	2200
115	737	1226	1716	2062	2175
110	707	1179	1662	2023	2150
105	676	1131	1607	1982	2125
100	645	1082	1548	1936	2100
95	614	1033	1487	1883	2075
90	583	982	1421	1822	2050

Tab. 5.2. Wartości obliczeniowych natężeń krytycznych dla dróg ekspresowych

Maksymalna gęstość ruchu [E/km/pas]	Poziom swobody ruchu PSR [i]				
	A	B	C	D	E
	6,5	11,0	16,0	21,0	26,5
Prędkość w ruchu swobodnym [km/h]	Natężenie krytyczne dla PSR i [E/h/pas]				
120	765	1263	1742	2051	2150
115	736	1218	1694	2018	2125
110	706	1174	1642	1980	2100
105	675	1128	1590	1941	2075
100	645	1079	1532	1897	2050
95	614	1030	1472	1849	2025
90	583	981	1410	1794	2000

Tab. 5.3. Wartości obliczeniowych natężeń krytycznych dla dróg dwujezdniowych GP i G

Maksymalna gęstość ruchu [E/km/pas]	Poziom swobody ruchu PSR [i]				
	A	B	C	D	E
	6,5	11,0	16,0	21,0	26,5
Prędkość w ruchu swobodnym [km/h]	Natężenie krytyczne dla PSR i [E/h/pas]				
110	693	1133	1552	1847	2000
105	664	1093	1508	1813	1975
100	635	1051	1462	1774	1950
95	606	1008	1412	1734	1925
90	577	963	1361	1690	1900
85	547	917	1305	1641	1875
80	516	868	1245	1585	1850

5.3. Oszacowanie przepustowości i stopnia jej wykorzystania

W tab. 5.4 podano wartości przepustowości bazowych (obliczeniowych) dla autostrad, dróg ekspresowych oraz dwujezdniowych dróg klasy GP i G, w zależności od prędkości w ruchu swobodnym. Wszystkie wartości podane są w pojazdach umownych na godzinę na pas [E/h/pas]. Obok przepustowości bazowej podana jest prędkość ruchu (prędkość optymalna) przy natężeniu odpowiadającemu przepustowości.

Wartość przepustowości bazowej C_o dla analizowanej drogi wyznaczamy z tab. 5.4 na podstawie prędkości w ruchu swobodnym i klasy drogi. Dla większej dokładności można zastosować interpolację. Do wyznaczenia przepustowości całkowitej przekroju drogi mnożymy przepustowość z tab. 5.4 przez liczbę pasów ruchu w jednym kierunku.

Tab. 5.4. Wartości przepustowości bazowej dla autostrad, dróg ekspresowych oraz dróg GP i G

Prędkość w ruchu swobodnym V_{sw}	Autostrady		Drogi ekspresowe		Drogi GP i G	
	Przepustowość C_o	Prędkość optymalna V_{op}	Przepustowość C_o	Prędkość optymalna V_{op}	Przepustowość C_o	Prędkość optymalna V_{op}
	km/h	E/h/pas	km/h	E/h/pas	km/h	E/h/pas
130	2250	85	-	-	-	-
125	2225	84	-	-	-	-
120	2200	83	2150	80	-	-
115	2175	82	2125	79	-	-
110	2150	81	2100	78	2000	70
105	2125	80	2075	77	1975	69
100	2100	79	2050	76	1950	68
95	2075	78	2025	75	1925	67
90	2050	77	2000	74	1900	66
85	-	-	-	-	1875	65
80	-	-	-	-	1850	64

Metody oceny warunków ruchu i obliczania przepustowości dróg poza aglomeracjami miejskimi – drogi dwujezdniowe klasy A, S, GP, G

Stopień obciążenia drogi (zwany również stopniem wykorzystania przepustowości) jest to stosunek natężenia obliczeniowego do przepustowości bazowej. Stopień obciążenia drogi X dany jest wzorem:

$$X = \frac{Q_o}{C_o} \quad [-] \quad (5.5)$$

gdzie:

- Q_o – obliczeniowe natężenie ruchu [E/h/pas],
- C_o – przepustowość bazowa drogi [E/h/pas].

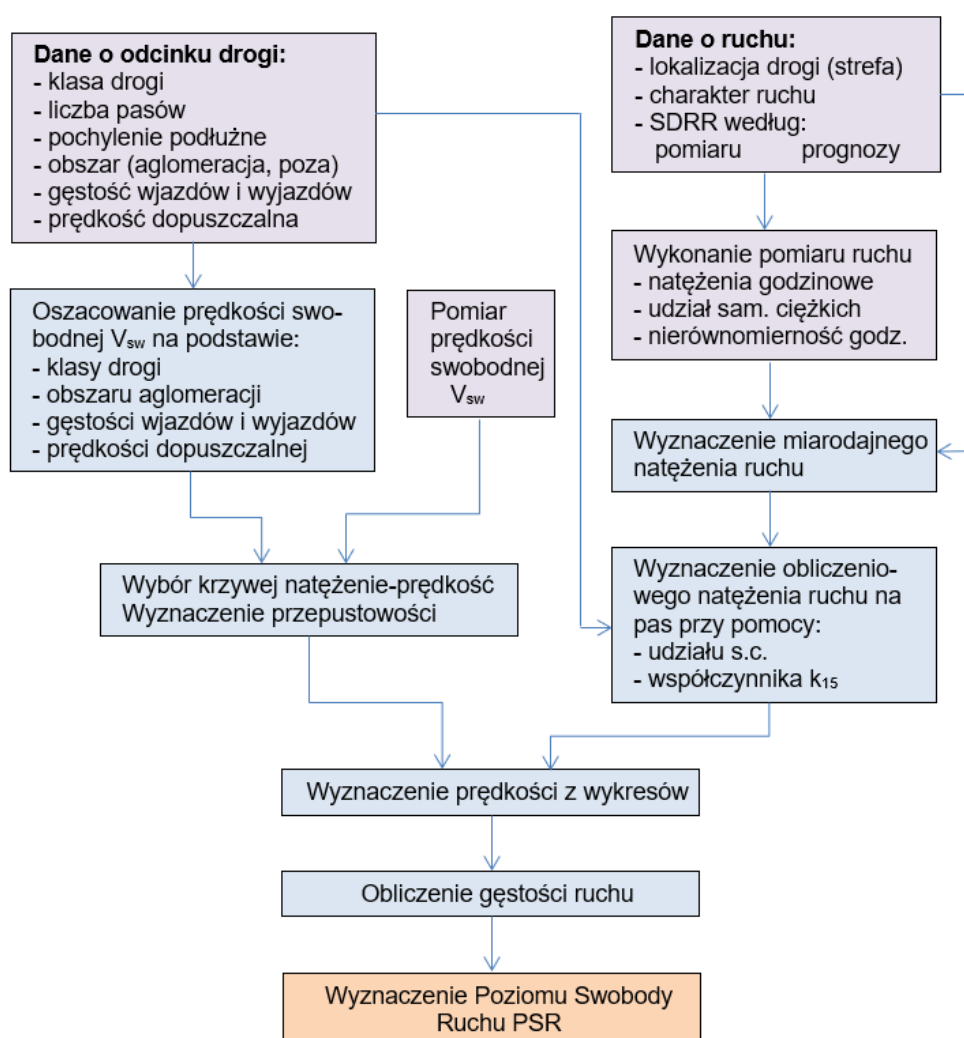
Stopień obciążenia drogi istniejącej stanowi pośrednią miarę warunków ruchu i niezawodności drogi. Przykład obliczeniowy oceny warunków ruchu metodą uproszczoną zamieszczono w Załączniku Z1 na końcu Instrukcji.

6. METODA SZCZEGÓŁOWA ANALIZY DLA ODCINKÓW MIĘDZYWĘZŁOWYCH

Jak podano w punkcie 3.1.2, metodę szczegółową stosuje się do dróg istniejących w fazie eksploatacji lub też do dróg będących na etapie projektowania szczegółowego (STEŚ, koncepcja programowa, projekt budowlany). Metoda ma zastosowanie zarówno do odcinków międzywęzłowych jak i do elementów węzłów drogowych, takich jak: obszary przeplatania, obszary wjazdów i obszary wyjazdów.

6.1. Schemat analizy

Schemat analizy szczegółowej dla odcinków międzywęzłowych przedstawia rys. 6.1.



Rys. 6.1. Schemat analizy szczegółowej dla odcinków międzywęzłowych

6.2. Kroki (etapy) analizy warunków ruchu

Metoda szczegółowa składa się z następujących kroków:

- 1) Zebranie danych o drodze oraz danych o ruchu (patrz rozdział 3).
- 2) Wyznaczenie natężenia miarodajnego i obliczeniowego (patrz rozdział 4).
- 3) Obliczenie prędkości swobodnej (patrz rozdział 5.2.1).
- 4) Wybór zależności prędkość-natężenie ruchu, wyznaczenie prędkości ruchu z wykresu.
- 5) Obliczenie gęstości ruchu i wyznaczenie poziomu swobody ruchu PSR.
- 6) Wyznaczenie przepustowości i stopnia jej wykorzystania.

Dwa pierwsze kroki opisano w rozdziałach 3 i 4. Pozostałe kroki przedstawiono poniżej.

6.2.1. Obliczenie prędkości w ruchu swobodnym

Obliczenie prędkości w ruchu swobodnym opisano w rozdziale 5.2.1 jako że jest ono wspólne dla metody uproszczonej i szczegółowej. W zależności od klasy drogi, należy zastosować wzór (5.1) dla autostrad, wzór (5.2) dla dróg ekspresowych lub wzór (5.3) dla dróg klasy GP i G.

W przypadku dróg istniejących zamiast szacowania prędkości w ruchu swobodnym można dokonać jej pomiaru, biorąc próbę prędkości tylko samochodów osobowych. Pomiar prędkości w ruchu swobodnym należy przeprowadzić w warunkach niewielkiego natężenia ruchu, nieprzekraczającego 1000 P/h/pas, przy którym występują ograniczone interakcje pomiędzy pojazdami, kierowcy mają możliwość swobodnego doboru prędkości i w dobrych warunkach atmosferycznych. Podobnie jak pomiary ruchu, pomiary prędkości zaleca się przeprowadzać w okresie od 15 kwietnia do 31 maja lub od 10 września do 25 października.

6.2.2. Wybór zależności natężenie-prędkość i wyznaczenie prędkości ruchu

Modelowe zależności między natężeniem ruchu a prędkością potoku ruchu przedstawiono na rys. 6.2 dla autostrad, na rys. 6.3 dla dróg ekspresowych a na rys. 6.4 dla dróg dwujezdniowych klasy GP i G. Należy dokonać wyboru krzywej odpowiedniej dla analizowanego odcinka na podstawie klasy drogi oraz prędkości swobodnej wyznaczonej w poprzednim kroku. Krzywe narysowano dla wartości prędkości swobodnej co 5 km/h.

Na podstawie wybranego wykresu oraz poprzednio wyznaczonego natężenia obliczeniowego Q_o (punkt 0) można wyznaczyć prędkość ruchu V . Jeżeli prędkość w ruchu swobodnym dla analizowanej drogi różni się od najbliższej krzywej o więcej niż 1 km/h, możemy wykorzystać dwie najbliższe krzywe i posłużyć się interpolacją.

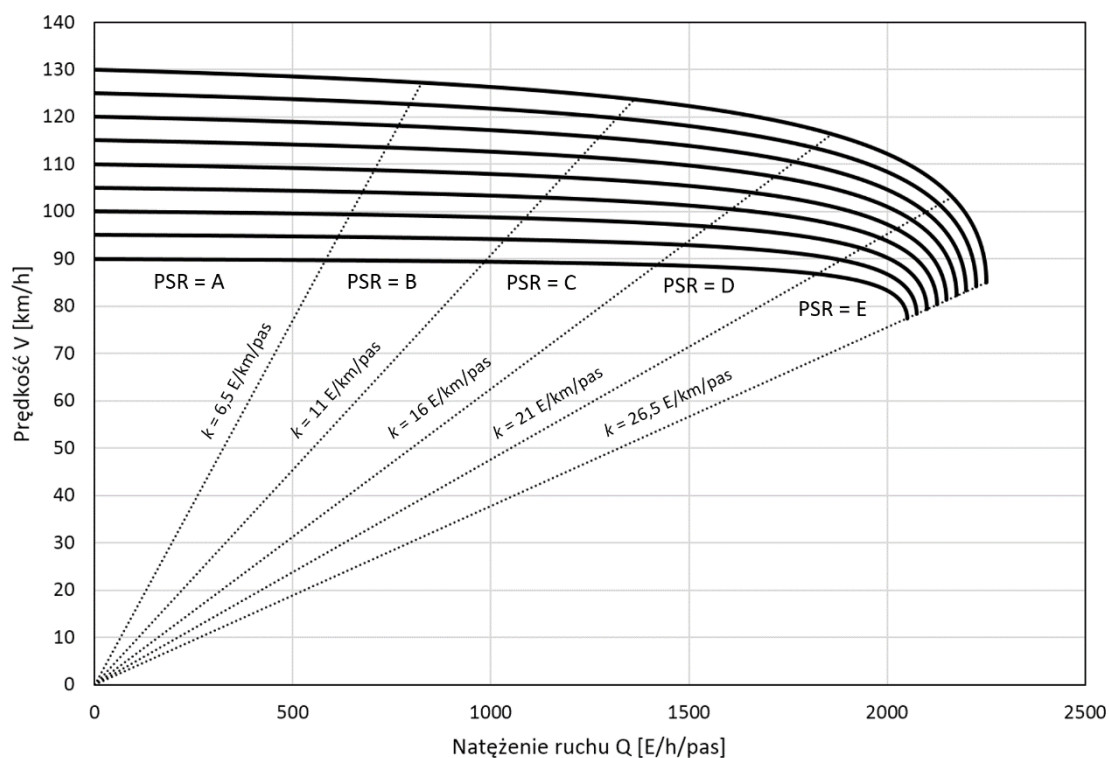
6.2.3. Obliczenie gęstości ruchu i poziomu swobody ruchu

Obliczeniowa gęstość ruchu dana jest wzorem znanym jako „fundamentalna zależność parametrów ruchu”. Gęstość to natężenie ruchu podzielone przez prędkość:

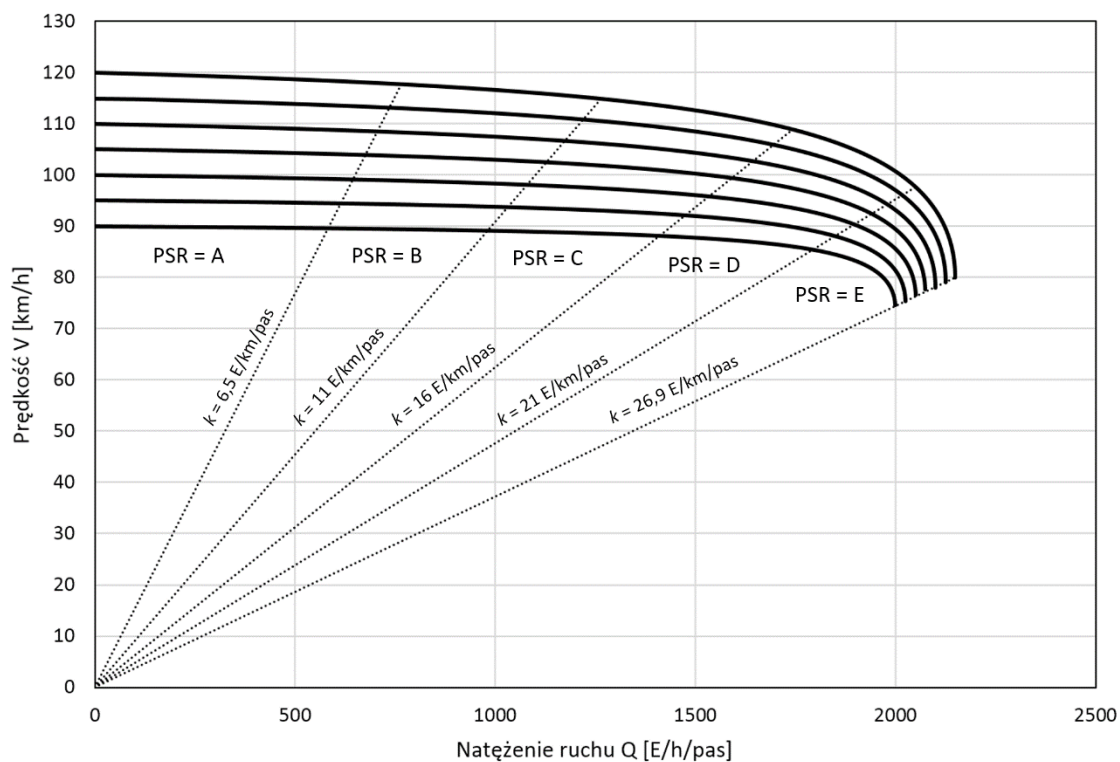
$$k_o = \frac{Q_o}{V} \quad [\text{E/km/pas}] \quad (6.1)$$

Poziom swobody ruchu ustalany jest przez porównanie gęstości obliczeniowej k_o do gęstości maksymalnych dla poszczególnych PSR (tab. 2.1 oraz tab. 5.1 – tab. 5.1). Gęstości maksymalne (kryteria PSR) są uniwersalne i nie zależą od klasy drogi czy też prędkości w ruchu swobodnym.

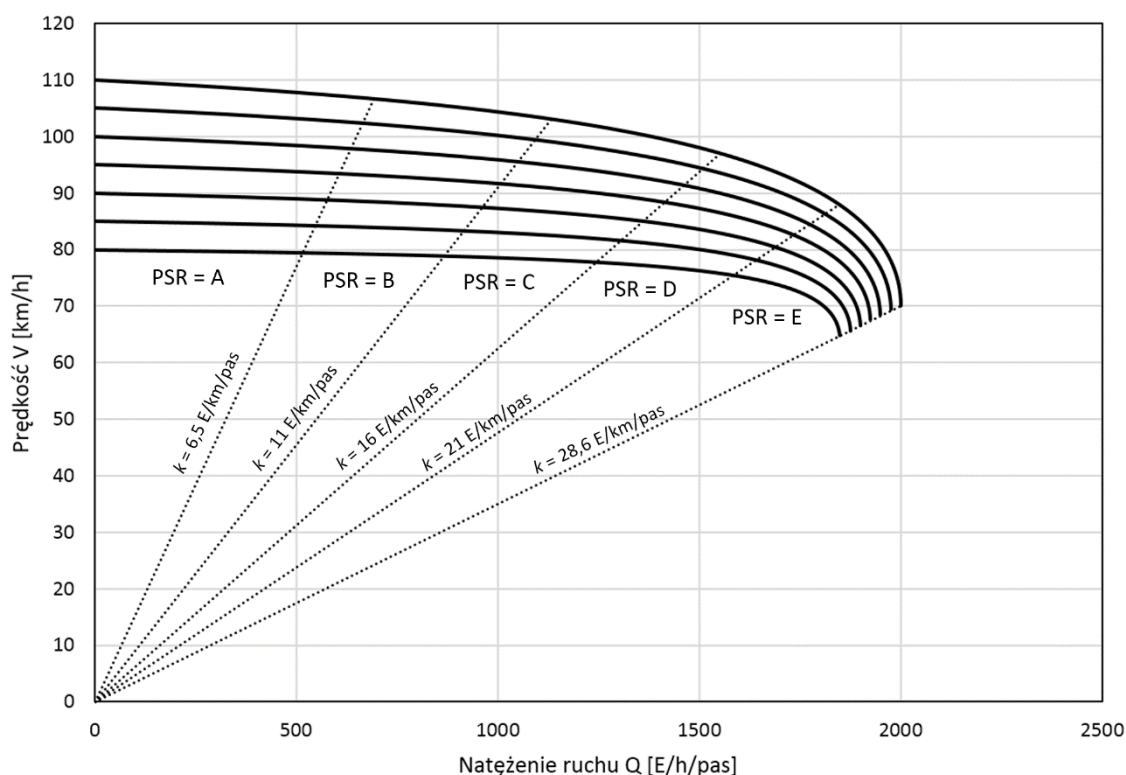
Metody oceny warunków ruchu i obliczania przepustowości dróg poza aglomeracjami miejskimi – drogi dwujezdniowe klasy A, S, GP, G



Rys. 6.2. Modelowe zależności między natężeniem a prędkością ruchu dla autostrad



Rys. 6.3. Modelowe zależności między natężeniem a prędkością ruchu dla dróg ekspresowych



Rys. 6.4. Modelowe zależności między natężeniem a prędkością ruchu dla dróg dwujezdniowych klasy G i GP

6.3. Oszacowanie przepustowości i stopnia jej wykorzystania

Szacowanie przepustowości i stopnia jej wykorzystania w metodzie szczegółowej jest identyczne jak w metodzie uproszczonej. Wartości przepustowości obliczeniowej podano w tab. 5.4 dla autostrad, dróg ekspresowych oraz dróg dwujezdniowych klasy GP i G, w zależności od prędkości w ruchu swobodnym. Wszystkie wartości podane są w pojazdach umownych na godzinę na pas [E/h/pas]. Obok przepustowości podana jest prędkość ruchu (prędkość optymalna) przy natężeniu odpowiadającemu przepustowości.

Stopień wykorzystania przepustowości obliczamy jako stosunek natężenia obliczeniowego do przepustowości bazowej.

Stopień obciążenia drogi istniejącej stanowi pośrednią miarę warunków ruchu i niezawodności drogi. Według badań niemieckich [9], prawdopodobieństwo załamania płynności ruchu wzrasta gwałtownie po przekroczeniu wartości $X = 0,90$. Dlatego należy dążyć aby stopień obciążenia drogi w praktyce nie przekraczał tej wartości.

Przykład obliczeniowy oceny warunków ruchu metodą szczegółową zamieszczono w Załączniku Z2 na końcu Instrukcji.

7. METODA SZCZEGÓŁOWA ANALIZY DLA OBSZARÓW PRZEPLATANIA

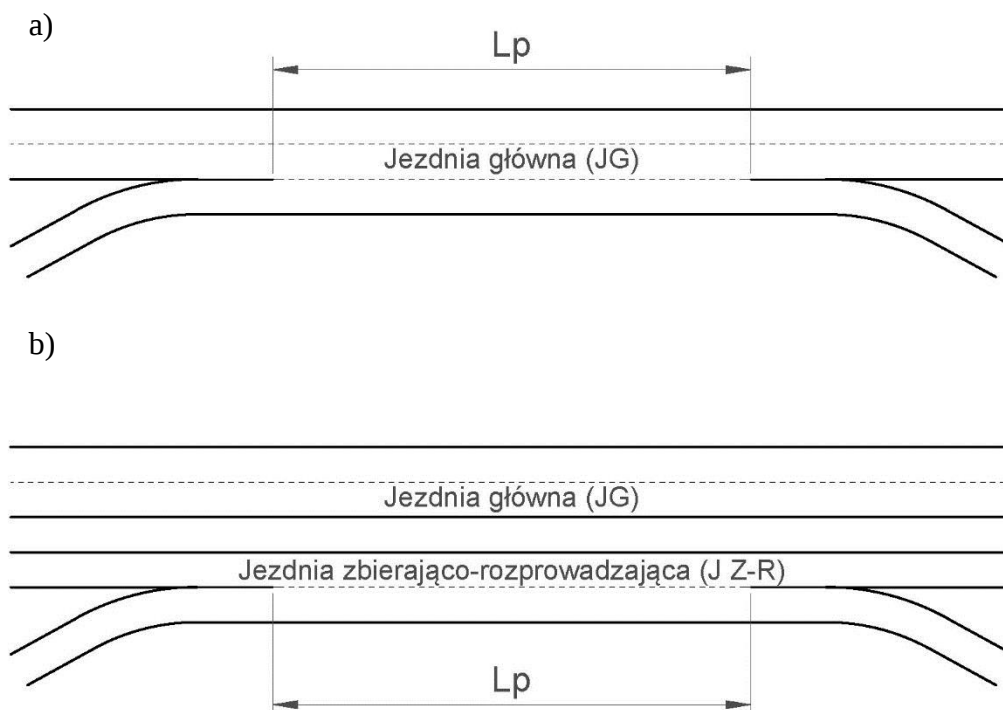
Jak podano w punkcie 3.1.2, metodę szczegółową na obszarach przeplatania stosuje się do dróg istniejących w fazie eksploatacji lub też do dróg będących na etapie projektowania szczegółowego (STEŚ, koncepcja programowa, projekt budowlany).

Obszar przeplatania dróg klasy A, S i GP jest obszarem na węźle, na którym przecinają się potoki pojazdów: wjeżdżających i wyjeżdżających oraz poruszających się na wprost jezdnią główną. Odcinek ten może zostać zlokalizowany bezpośrednio na jezdni głównej, a drugim przypadkiem jest jego lokalizacja na jezdni zbierająco-rozprowadzającej (rys. 7.1).

Metodę szacowania poziomów warunków ruchu na odcinkach przeplatania opisaną w niniejszej instrukcji opracowano na podstawie badań empirycznych przeprowadzonych na węzłach dróg klasy A, S i GP w Polsce w latach 2016-17. Badania te posłużyły do opracowania polskiej metody z wykorzystaniem metod: niemieckiej metody HBS-2015 [3] oraz amerykańskiej HCM6 [11] dla odcinków przeplatania.

Ze względu na brak poligonów badawczych z typem przeplatania B i C metoda została ograniczona do szacowania PSR na odcinkach przeplatania typ A (każdy z przeplatających się pojazdów zmienia jeden pas ruchu). Szczegółowe ograniczenia omówiono w punkcie 7.2.

W przypadkach, gdy warunki drogowe lub ruchowe odbiegają od typowych, przy wykonywaniu oceny warunków ruchu należy kierować się wiedzą ekspercką lub analizę oprzeć na wykonaniu analizy z wykorzystaniem narzędzi symulacyjnych (np. PTV Vissim).

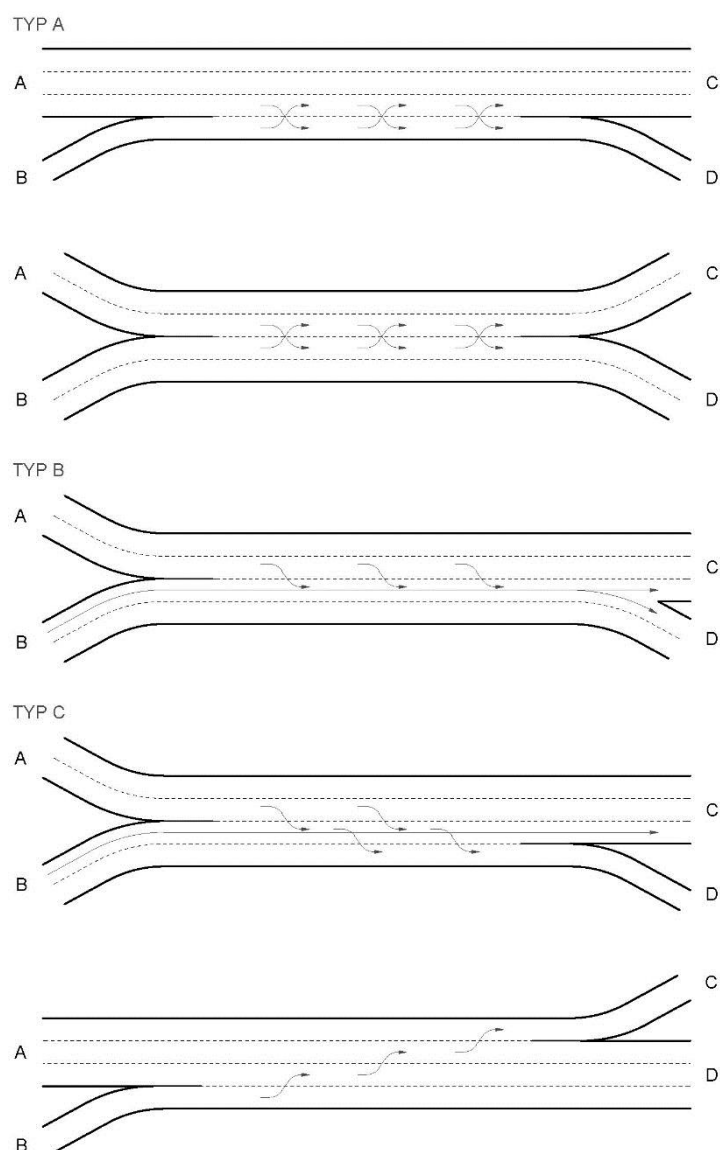


Rys. 7.1. Schemat obszaru przeplatania: na jezdni głównej (a), na jezdni zbierająco-rozprowadzającej (b)

Odcinki przeplatania mogą charakteryzować się różną konfiguracją, liczbą pasów ruchu oraz ich ułożeniem. Wyróżniamy trzy konfiguracje odcinków przeplatania (rys. 7.2) [12]:

- Typ A – każdy z przeplatających się pojazdów zmienia jeden pas ruchu,
- Typ B – jeden strumień pojazdów uczestniczących w przeplataniu nie zmienia pasa ruchu, podczas gdy pozostałe pojazdy zmieniają co najmniej raz pas ruchu,
- Typ C – jak typ B z tym, że pojazdy drugiej grupy zmieniają co najmniej dwukrotnie pas ruchu.

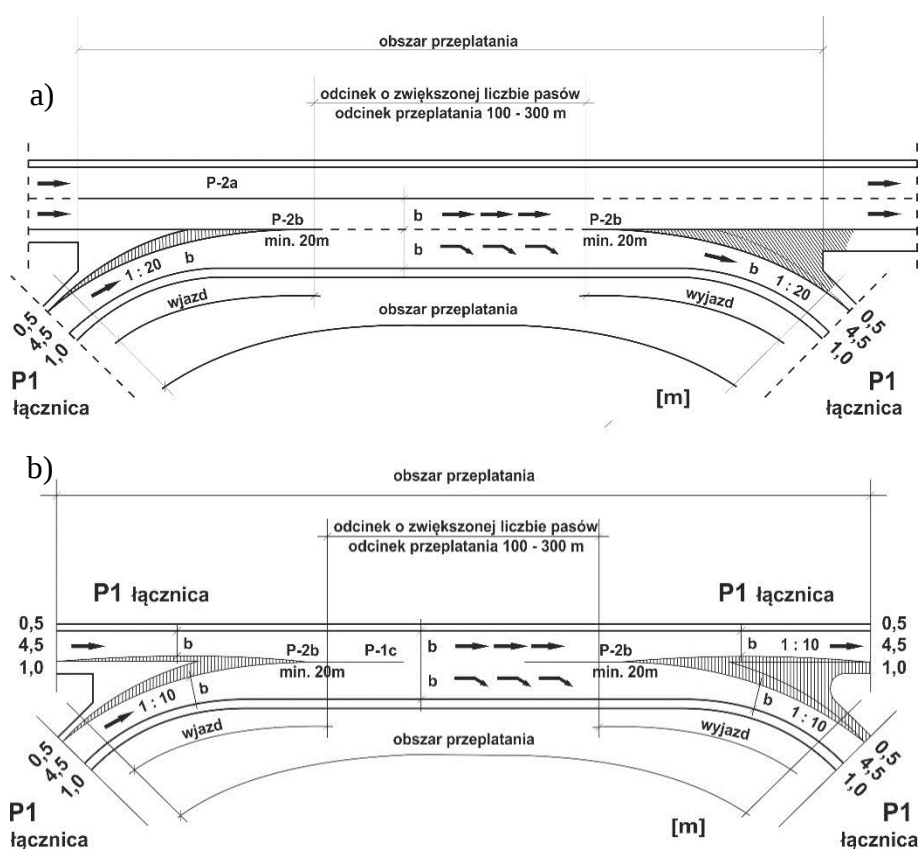
Na funkcjonowanie odcinka przeplatania mają wpływ zarówno parametry ruchu (natężenie pojazdów w przekroju drogi, przeplatających się, nieprzeplatających się pojazdów), geometria (liczba pasów ruchu, konfiguracja przeplatania, występowanie jezdni zbierająco-rozprowadzającej, długość odcinka) oraz lokalizacja węzła drogowego [12].



Rys. 7.2. Typy ukształtowania obszarów przeplatania

7.1. Aktualny stan prawny

Odcinki przeplatania nie zostały zdefiniowane w Rozporządzeniu [13]. Przedstawione informacje w § 80. 1. 1), § 91. 1., § 98. 1 oraz § 98. 2 nie pozwalają w pełni na poprawne zaplanowanie tych elementów infrastruktury. W § 98. 2 wskazano, że w obszarze przeplatania należy zwiększyć liczbę pasów o nie mniej niż jeden pas na długości od 100 do 300 m. Zasadne jest określenie minimalnej długości odcinka przeplatania, lecz długość maksymalna określona na 300 m może być myląca dla projektantów. Z dużym prawdopodobieństwem należy przyjąć, że ustawodawca dopuszcza dłuższe niż 300 m odcinki przeplatania, lecz są one wtedy traktowane jako dwa oddzielne elementy: odcinek wyjazdu i wjazdu. Rozwinięcie zagadnienia zostało przedstawione w Komentarzu [14]. Wskazano, że istotne dla manewru przeplatania jest zmniejszenie różnicy prędkości potoków przeplatających się poprzez elementy organizacji ruchu, stosując ograniczenia prędkości nie większe niż 80 km/h. Wg autorów Komentarza odcinki przeplatania o długości większej niż 300 m wywołują wydłużenie manewrów przeplatania i ich nierównomierne rozłożenie, co zwiększa zagrożenie bezpieczeństwa ruchu. Mając na uwadze, że w ww. dokumentach występują jedynie odniesienia do odcinków przeplatania zlokalizowanych na węzłach (a przecież te manewry mogą wystąpić także poza węzłami) oraz fakt, że blisko 20 lat temu w Polsce natężenia ruchu drogowego były istotnie mniejsze a duże węzły zespalone rzadkością, przyjęto odstępnie od maksymalnej długości przeplatania 300 m. Długości przeplatania należy projektować w dostosowaniu do oczekiwanych warunków ruchu drogowego przy zadanym natężeniu ruchu pojazdów (rys. 7.3).



Rys. 7.3. Obszar przeplatania na jezdni drogi, jezdni zbierająco-rozprowadzającej lub na łącznicach P1 (a) i P2 (b) [14]

Aktualnie trwają prace nad nowymi wytycznymi technicznymi, które określą minimalne oraz maksymalne długości tego odcinka, realizowanymi w ramach projektu „Analiza jakości technicznej projektów drogowych współfinansowanych z funduszy Unii Europejskiej wraz z rekomendacjami optymalizacji i szczegółowymi warunkami technicznymi projektowania, realizacji, eksploatacji i utrzymania dróg publicznych” przez konsorcjum Politechniki Krakowskiej, Politechniki Gdańskiej, Politechniki Warszawskiej, Transprojekt Gdański Sp. z o.o, Biuro Projektowo-Badawcze Dróg i Mostów Transprojekt – Warszawa Sp. z o.o.

7.2. Ograniczenia metody

Metoda ma ograniczone zastosowanie i nie uwzględnia następujących warunków:

- stosowania zarządzania wjazdem/wyjazdem (z ang. ramp metering),
- wpływu elementów ITS w obszarze wjazdu i wyjazdu,
- długość odcinka przeplatania powyżej 500 m,
- długość odcinka przeplatania poniżej 100 m,
- przeplatanie typu B i C.

7.3. Schemat analizy

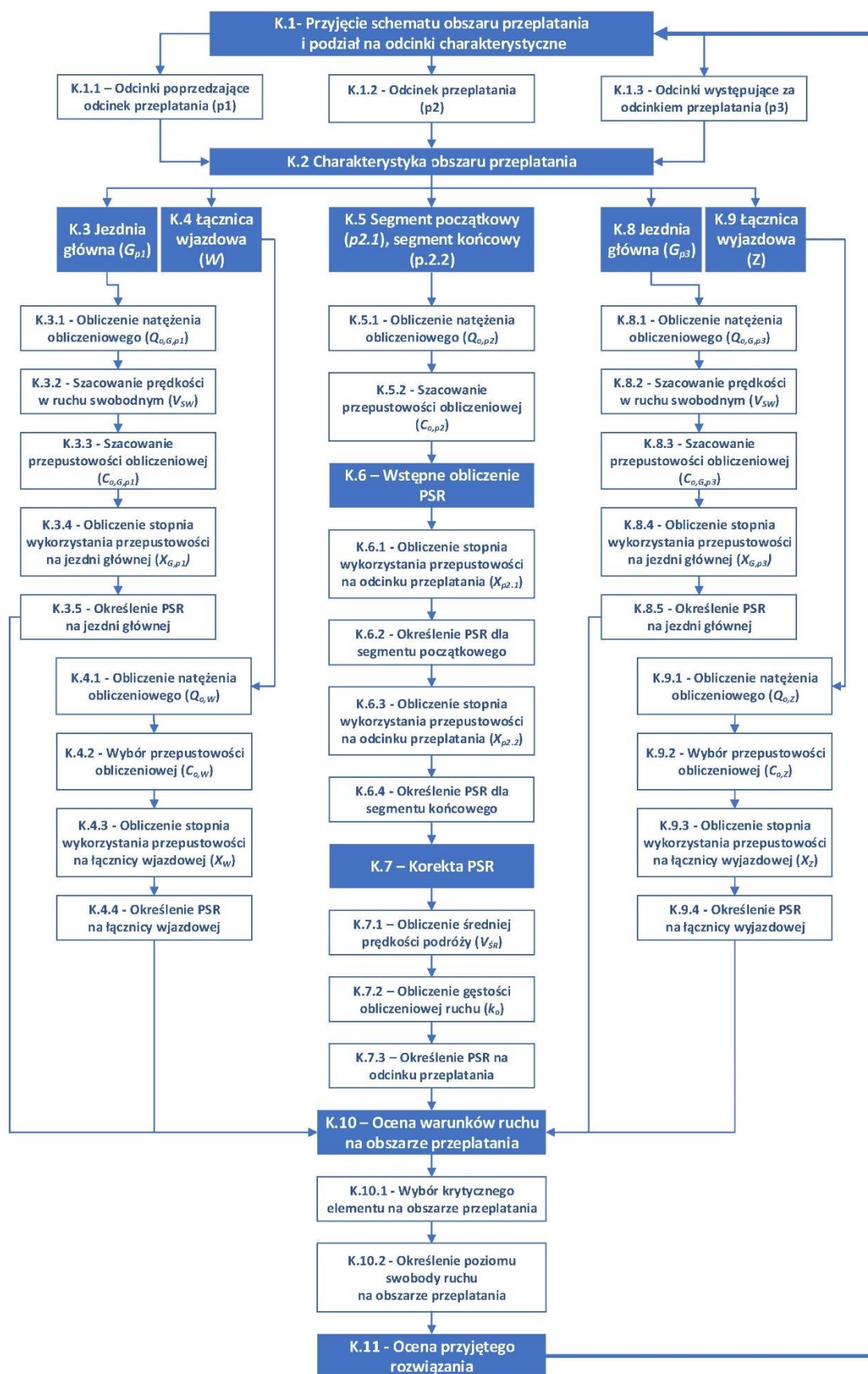
Schemat analizy szczegółowej dla obszarach przeplatania przedstawia rys. 7.4.

7.4. Kroki (etapy) analizy warunków ruchu

Metoda szczegółowa składa się 11 kroków:

- K.1 – Przyjęcie schematu obszaru przeplatania i podział na odcinki charakterystyczne,
- K.2 – Charakterystyka obszaru przeplatania,
- K.3 – Odcinki poprzedzające odcinek przeplatania – jezdnia główna,
- K.4 – Odcinki poprzedzające odcinek przeplatania – łącznica wjazdowa,
- K.5 – Odcinek przeplatania – segment początkowy i końcowy
- K.6 – Wstępne obliczenia PSR na odcinku przeplatania,
- K.7 – Korekta PSR na odcinku przeplatania,
- K.8 – Odcinki występujące za odcinkiem przeplatania – jezdnia główna,
- K.9 – Odcinki występujące za odcinkiem przeplatania – łącznica wyjazdowa,
- K.10 – Ocena warunków ruchu na obszarze przeplatania,
- K.11 – Ocena przyjętego rozwiązania.

Metody oceny warunków ruchu i obliczania przepustowości dróg poza aglomeracjami miejskimi – drogi dwujezdniowe klasy A, S, GP, G

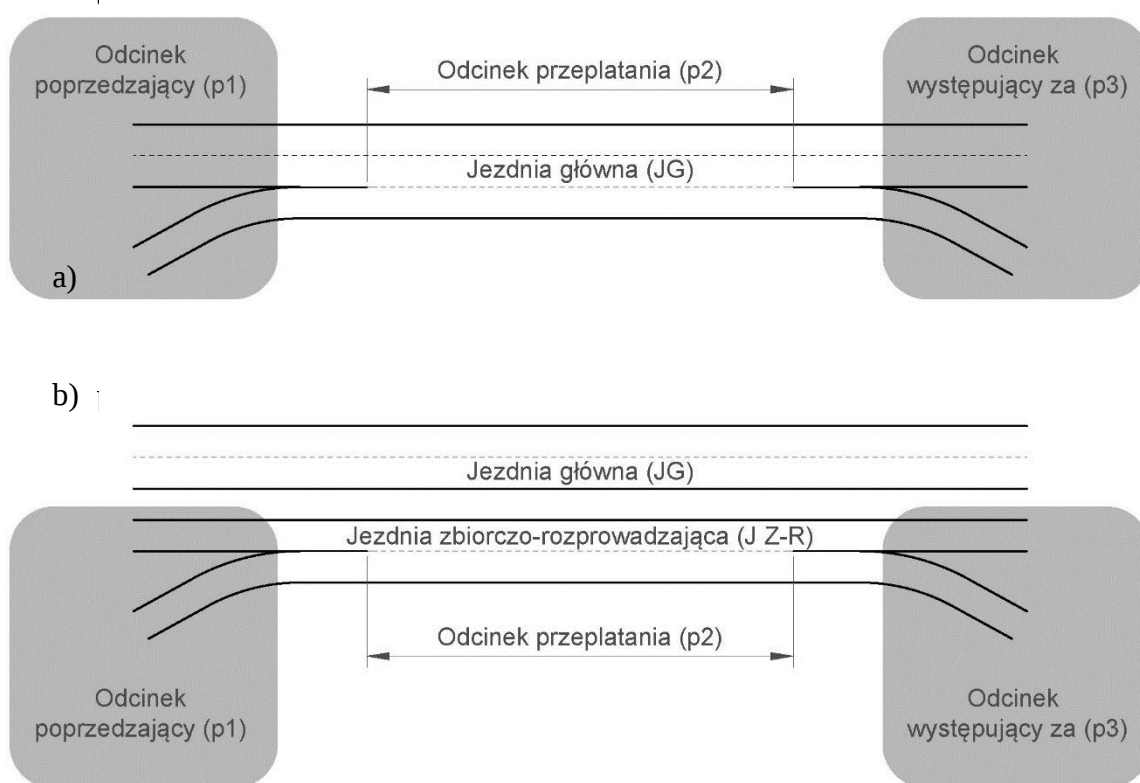


Rys. 7.4. Schemat analizy szczegółowej dla obszarów przeplatania

7.5. Przyjęcie schematu obszaru przeplatania i podział na odcinki charakterystyczne

Analizy szczegółowe na obszarach przeplatania prowadzone są na 3 odcinkach charakterystycznych (rys. 7.5):

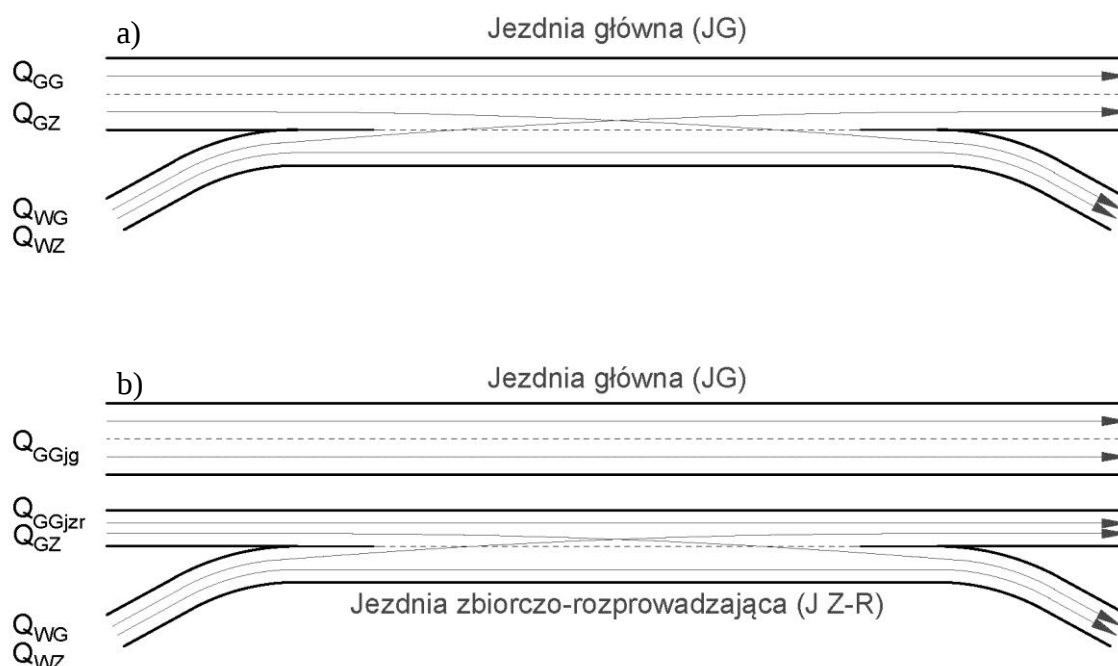
- Odcinki poprzedzające odcinek przeplatania (p1) - odcinek jezdni głównej (p1.1) i łącznicy wjazdowej (p1.2),
- odcinek przeplatania (p2), - segment początkowy (p2.1) i końcowy (p2.2),
- odcinek występujący za odcinkiem przeplatania (p3) – odcinek jezdni głównej (p3.1) i łącznicy wyjazdowej (p3.2).



Rys. 7.5. Schemat podziału na odcinki charakterystyczne na obszarze przeplatania na jezdni głównej (a), na jezdni zbierająco-rozprowadzającej (b)

Na odcinku przeplatania występują 4 strumienie ruchu pojazdów (rys. 7.6):

- Q_{GG} - strumień ruchu pojazdów jadących jezdnią główną, lub zbierająco-rozprowadzającą na wprost,
- Q_{GZ} - strumień ruchu pojazdów zjeżdżających z jezdni głównej na łącznicę wyjazdową,
- Q_{WG} - strumień ruchu pojazdów wjeżdżających na jezdnię główną z łącznicy wjazdowej,
- Q_{WZ} - strumień ruchu pojazdów wjeżdżających z łącznicy wjazdowej na jezdnię główną (na odcinek przeplatania) i zjeżdżających z jezdni głównej na łącznicę wyjazdową.



Rys. 7.6. Schemat ruchu pojazdów na obszarze przeplatania na jezdni głównej (a), na jezdni zbierająco-rozprowadzającej (b)

Odcinek przeplatania może występować w bezpośrednim sąsiedztwie jezdni głównej (Rys. 7.6a). W takim przypadku pojazdy włączające się do ruchu lub wyłączające się (strumień Q_{WG}, Q_{GZ}) muszą za każdym razem wjechać na jezdnię główną drogi klasy A, S, GP przecinając strumień pojazdów jadący na wprost (strumień Q_{GG}).

Drugim przypadkiem jest lokalizacja odcinka przeplatania na jezdni zbierająco-rozprowadzającej (JZ-R) (rys. 7.6b). W takim przypadku pojazdy włączające się do ruchu (strumień Q_{WG}) w obszarze przeplatania, w pierwszej kolejności wjeżdżają na JZ-R, a następnie na jezdnię główną klasy A, S, GP. Natomiast pojazdy wyłączające się z ruchu (strumień Q_{GZ}) w pierwszej kolejności zjeżdżają z jezdni głównej na JZ-R, a następnie w obszarze przeplatania zjeżdżają na łącznicę wyjazdową. Pojazdy zawracające poruszają się tylko po jezdni serwisowej (strumień Q_{WZ}). Do strumienia ruchu pojazdów (Q_{GG}) zaliczane będą pojazdy przejeżdżające jezdnią zbierająco-rozprowadzającą na wprost. Strumień pojazdów jadących na wprost na jezdni głównej nie uczestniczy w ruchu pojazdów na odcinku przeplatania.

7.6. Charakterystyka obszaru przeplatania

7.6.1. Parametry geometryczne drogi i związane z organizacją ruchu

Parametrami związanymi z geometrią i organizacją ruchu niezbędnymi do przeprowadzenia obliczeń na obszarach przeplatania są:

- klasa drogi,
- lokalizacja węzła (obszar aglomeracyjny, zamiejski),
- usytuowanie obszaru przeplatania (jezdni główna, jezdni zbierająco-rozprowadzająca),

- liczba pasów ruchu na jezdni głównej przed i za odcinkiem przeplatania n_G ,
- liczba pasów ruchu na łącznicy wjazdowej n_W i wyjazdowej n_Z ,
- liczba pasów w obszarze przeplatania n_{p2} ,
- pochylenie drogi, profil podłużny,
- gęstość wjazdów i wyjazdów g_{wz} ,
- ograniczenie prędkości dopuszczalnej V_d ,
- długość zmiany pasa ruchu (wyznaczona linią P-1c) na odcinku przeplatania L_P .

7.6.2. Parametry związane z natężeniem ruchu

Parametrami niezbędnymi związanymi z natężeniem ruchu do przeprowadzenia obliczeń na obszarach przeplatania są:

- natężenie miarodajne w przekroju jezdni głównej, na łącznicach wjazdowych i wyjazdowych $Q_{m,j}$,
- struktura rodzajowa pojazdów,
- współczynnik nierównomierności godzinowej k_{15} ,
- wskaźniki przeliczeniowe pojazdów rzeczywistych na umowne E_W ,
- rozkład kierunkowy ruchu, liczba pojazdów przeplatających się i nieprzeplatających się.

Szczegółowy opis niezbędnych danych do obliczeń został przedstawiony w punkcie 3.3.

7.6.3. Graniczne wartości PSR

Zgodnie z przyjętymi założeniami w opracowaniu [15] zalecane poziomy swobody ruchu PSR na planowanych, projektowanych lub funkcjonujących drogach A, S, GP i G na obszarach przeplatania wynoszą:

- na zamiejskich odcinkach dróg klasy A, S, GP – **C** (warunkowo **D**),
- na odcinkach dróg klasy A, S, GP przechodzących przez aglomerację - **D** (warunkowo **E**).

W tablicy 7.1 zestawiono graniczne wartości stopnia wykorzystania przepustowości X_{PSR} i odpowiadające im Poziomy Swobody Ruchu (PSR).

Tab. 7.1. Poziom swobody ruchu X_{PSR} w zależności od wartości wskaźnika Q/C dla obszarów przeplatania dróg klasy A, S i GP

Poziom Swobody Ruchu (PSR)	A	B	C	D	E	F
X	$\leq 0,30$	$\leq 0,55$	$\leq 0,78$	$\leq 0,90$	$\leq 1,00$	$> 1,00$

7.6.4. Przepustowość bazowa

Dla wszystkich kategorii dróg zdefiniowano 3 typowe układy pasów na jezdni głównej lub jezdni zbierająco-rozprowadzającej oraz pasów na łącznicach wjazdowych i wyjazdowych na obszarach przeplatania. Rysunek 7.7 przedstawia przyjęte schematy tego obszaru wykorzystywane w kolejnych krokach analizy. W zależności od przyjętej geometrii obszarów

Metody oceny warunków ruchu i obliczania przepustowości dróg poza aglomeracjami miejskimi – drogi dwujezdniowe klasy A, S, GP, G

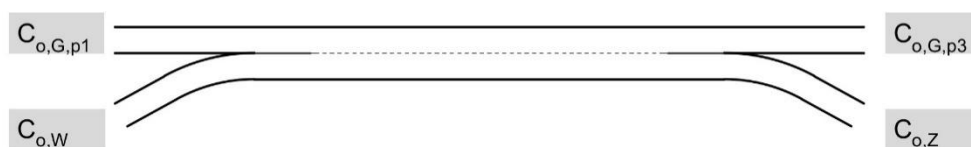
przeplatania należy przyjąć wartości bazowe przepustowości na jezdni głównej, łącznicy wjazdowej i wyjazdowej oraz obliczyć przepustowość obliczeniową.

Zestawienie wartości: $n, a, C_{b,W}, C_{b,Z}, C_{b,G,pi}$, w zależności od układu geometrii obszaru przeplatania (zgodnie ze schematami przedstawionymi na rysunku 7.7) przedstawia tablica 7.2.

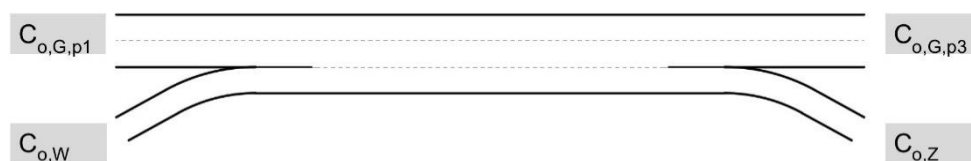
Tab. 7.2. Zestawienie wartości przepustowości bazowej jezdni głównej, łącznicy oraz współczynnika a dla obszarów przeplatania dróg klasy A, S i G

Schemat przeplatania	Liczba pasów n			a	Bazowa przepustowość	
					jezdni głównej przed lub za	łącznicy wjazdowej, wyjazdowej
	na jezdni głównej $n_{G,pi}$	na odcinku przeplatania n_{p2}	uwzględnionych w ocenie n_A		$C_{b,G,pi}$ [E/h/pas]	$C_{b,W}, C_{b,Z}$ [E/h/pas]
P-1	1	2	1	1,4	1900	1700
P-2	2	3	2	1,5	zgodnie z tablicą 5.4	1700
P-3	3	4	2	1,5		1700

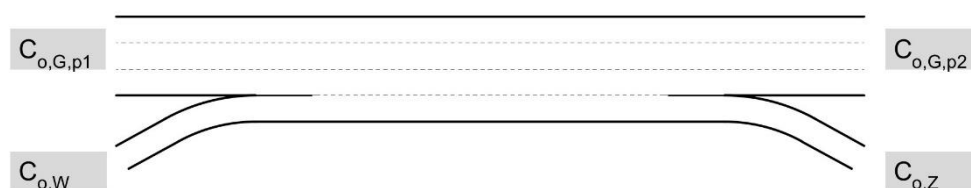
P-1



P-2



P-3



Rys. 7.7. Schematy obszarów przeplatania dróg klasy A, S i GP wykorzystywane w obliczeniach przepustowości

7.7. Natężenie ruchu

7.7.1. Obliczeniowe natężenie ruchu

Obliczeniowe natężenie ruchu $Q_{o,j}$ jest to natężenie ruchu w szczytowych 15-tu minutach w godzinie, przeliczone na natężenie godzinowe i wyrażone w pojazdach umownych. Natężenie to reprezentuje obciążenie drogi w standardowy sposób z uwzględnieniem struktury rodzajowej ruchu, zmienności godzinowej oraz wpływu pochyłeń podłużnych.

Natężenie obliczeniowe wyznaczamy z natężenia miarodajnego na podstawie wzoru:

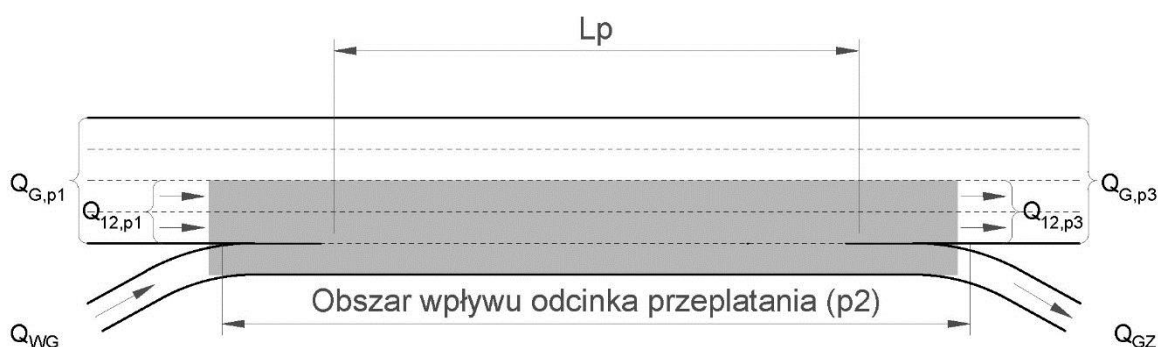
$$Q_{o,j} = \frac{Q_{m,j}}{k_{15}} * E_{W,j} \quad [\text{E/h}] \quad (7.1)$$

gdzie:

- $Q_{o,j}$ – obliczeniowe natężenie ruchu na j-tej relacji ruchu pojazdów [E/h],
- $Q_{m,j}$ – miarodajne natężenie ruchu na j-tej relacji ruchu pojazdów [E/h],
- k_{15} – współczynnik wahań ruchu w godzinie przyjęty dla natężenia ruchu w przekroju drogi przed odcinkiem przeplatania zgodnie z punktem 4.4.2,
- $E_{W,j}$ – ważony współczynnik przeliczeniowy pojazdów rzeczywistych na umowne [E] na j-tej relacji ruchu pojazdów obliczone według wzoru 4.4.

7.7.2. Miarodajne natężenie ruchu na jezdni głównej

Zgodnie z przyjętą metodyką wpływ pojazdów włączających się lub wyłączających na obszarze przeplatania występuje na 2 skrajnych pasach ruchu. W przyjętej procedurze obliczeń w przypadku, gdy na jezdni głównej poprzedzającej odcinek przeplatania występują więcej niż 2 pasy w jednym kierunku, należy obliczyć liczbę pojazdów jadących po dwóch skrajnych pasach ruchu (1 i 2). Taka sytuacja będzie powodować większą gęstość ruchu na 1 i 2 pasie i gorsze warunki ruchu pojazdów (rys. 7.8).



Rys. 7.8. Obszar wpływu odcinka przeplatania oraz podstawowe parametry ruchu i geometrii tego obszaru

Model szacujący liczbę pojazdów na 1 i 2 pasie na obszarach przeplatania wyznaczamy zgodnie ze wzorami:

1. Dla dwujezdniowej dwupasowej drogi klasy A, S, GP i jezdni zbierająco-rozprowadzającej (p1, p3):

$$Q_{12} = Q_m \quad [\text{E/h}] \quad (7.2)$$

2. Dla dwujezdniowej trzypasowej drogi klasy A, S, GP dla obszarów przeplatania:

- Odcinek jezdni głównej poprzedzający odcinek przeplatania (p1.1):

$$Q_{12,p1,s} = 305,95 + 0,456 * Q_s \quad [\text{E/h}] \quad (7.3)$$

$$Q_{12,p1,c} = 2,18 + 0,962 * Q_c \quad [\text{E/h}] \quad (7.4)$$

- Odcinek występujący za odcinkiem przeplatania na jezdni głównej (p3.1):

$$Q_{12,p3,s} = Q_{12,p1,s} + Q_{WG,s} - Q_{GZ,s} \quad [\text{E/h}] \quad (7.5)$$

$$Q_{12,p3,c} = Q_{12,p1,c} + Q_{WG,c} - Q_{GZ,c} \quad [\text{E/h}] \quad (7.6)$$

gdzie:

- Q_s – natężenie ruchu pojazdów lekkich (osobowe, dostawcze, motocykle) w przekroju drogi [P/h],
- Q_c – natężenie ruchu pojazdów ciężkich (ciężarowe bez przyczepy, ciężarowe z przyczepą, autobusy) w przekroju drogi [P/h],
- $Q_{12,p1,i}$ – miarodajne natężenie ruchu na 1 i 2 pasie na i -tym odcinku poprzedzającym odcinek przeplatania [P/h],
- $Q_{12,p3,i}$ – miarodajne natężenie ruchu na 1 i 2 pasie na i -tym odcinku występującym za odcinkiem przeplatania [P/h].

7.7.3. Obliczeniowe natężenie ruchu Q_j na obszarze przeplatania

Obliczeniowe natężenie ruchu Q_j na obszarze przeplatania na poszczególnych odcinkach wyznaczamy zgodnie ze wzorami:

- natężenie ruchu na odcinku poprzedzającym odcinek przeplatania na jezdni głównej na wprost na 1 i 2 pasie ruchu:

$$Q_{o12,p1} = Q_{o,G,p1} = Q_{o12,GG} + Q_{o,GZ} \quad [\text{E/h}] \quad (7.7)$$

- natężenie ruchu na odcinku poprzedzającym odcinek przeplatania na łącznicy wjazdowej:

$$Q_{o,W} = Q_{o,WG} + Q_{o,WZ} \quad [\text{E/h}] \quad (7.8)$$

- natężenie ruchu na odcinku występującym za odcinkiem przeplatania na jezdni głównej na 1 i 2 pasie ruchu:

$$Q_{o12,p3} = Q_{o,G,p3} = Q_{o12,GG} + Q_{o,WG} \quad [\text{E/h}] \quad (7.9)$$

- natężenie ruchu na odcinku występującym za odcinkiem przeplatania na łącznicy wyjazdowej:

$$Q_{o,Z} = Q_{o,GZ} + Q_{o,WZ} \quad [\text{E/h}] \quad (7.10)$$

- natężenie ruchu na odcinku przeplatania:

$$Q_{o,p2} = Q_{o12,GG} + Q_{o,GZ} + Q_{o,WG} + Q_{o,WZ} \quad [\text{E/h}] \quad (7.11)$$

- natężenie ruchu pojazdów przeplatających się na odcinku przeplatania:

$$Q_{o,PR} = Q_{o,GZ} + Q_{o,WG} \quad [\text{E/h}] \quad (7.12)$$

- natężenie ruchu pojazdów nieprzeplatających się na odcinku przeplatania:

$$Q_{o,NP} = Q_{o12,GG} + Q_{o,WZ} \quad [\text{E/h}] \quad (7.13)$$

- udział pojazdów przeplatających się na odcinku przeplatania:

$$u_{PR} = Q_{o,PR}/Q_{o,p2} \quad [\%] \quad (7.14)$$

gdzie:

$Q_{o,G,pi}$	– obliczeniowe natężenie ruchu na 1 i 2 pasie jezdni głównej, przed lub za odcinkiem przeplatania [E/h],
$Q_{o12,GG}$	– natężenie obliczeniowe ruchu na 1 i 2 pasie relacji na wprost [E/h],
$Q_{o,j}$	– natężenie obliczeniowe ruchu na j-tej relacji [E/h],
$Q_{o,W}$	– natężenie obliczeniowe ruchu na łącznicy wjazdowej [E/h],
$Q_{o,Z}$	– natężenie obliczeniowe ruchu na łącznicy wyjazdowej [E/h],
$Q_{o,p2}$	– natężenie obliczeniowe ruchu na odcinku przeplatania [E/h],
$Q_{o,PR}$	– natężenie obliczeniowe pojazdów przeplatających się [E/h],
$Q_{o,NR}$	– natężenie obliczeniowe pojazdów nieprzeplatających się [E/h],
u_{PR}	udział pojazdów przeplatających się [E/h].

7.8. Określanie Poziomu Swobody Ruchu na odcinku poprzedzającym (p1) i występującym za (p3) odcinkiem przeplatania

7.8.1. Szacowanie prędkości w ruchu swobodnym na jezdni głównej

Obliczenie prędkości pojazdów w warunkach ruchu swobodnego na odcinku jezdni głównej przed i za odcinkiem przeplatania opisano w rozdziale 5. W zależności od klasy drogi, należy zastosować wzór (5.1) dla autostrad, wzór (5.2) dla dróg ekspresowych lub wzór (5.3) dla dróg klasy GP i G.

W przypadku lokalizacji odcinka przeplatania na jezdni zbierająco-rozprowadzającej należy przyjąć prędkość w warunkach ruchu swobodnego jako prędkość miarodajną obliczoną ze wzoru:

$$V_{sw} = V_p + 20 \quad [\text{km/h}] \quad (7.15)$$

gdzie:

- V_p – prędkość projektowa lub wartość ograniczenia prędkości [km/h].
- V_{sw} – prędkość pojazdów w warunkach ruchu swobodnego [km/h].

W przypadku dróg istniejących zamiast szacowania prędkości pojazdów w warunkach ruchu swobodnego można dokonać jej pomiaru.

7.8.2. Szacowanie przepustowości obliczeniowej

Przepustowość obliczeniowa na jezdni głównej $C_{o,G,pi}$. niezbędną do obliczenia stopnia wykorzystania przepustowości X_i wybieramy na podstawie policzonej w poprzednim kroku prędkości swobodnej z tablicy 5.4 i przeliczamy ją zgodnie ze wzorem:

$$C_{o,G,pi} = n_A * C_{b,G,pi} \quad [\text{E/h}] \quad (7.16)$$

gdzie:

- $C_{o,G,pi}$ – przepustowość obliczeniowa jezdni głównej [E/h],
- $C_{b,G,pi}$ – przepustowość bazowa jezdni głównej [E/h/pas],
- n_A – liczba pasów ruchu uwzględnionych w ocenie warunków ruchu na odcinku przeplatania.

Wartości prędkości swobodnej V_{sw} podane są w przedziałach co 5 km/h. Z odpowiedniej tabeli należy wybrać wiersz dla prędkości najbliższej do tej wyliczonej zgodnie z zaokrągleniem matematycznym.

Przepustowość obliczeniowa na łącznicy $C_{o,W}, C_{o,Z}$. niezbędną do obliczenia stopnia wykorzystania przepustowości wybieramy z tablicy 7.2 i przeliczamy ją zgodnie ze wzorami:

$$C_{o,W} = n_W * C_{b,W} \quad [\text{E/h}] \quad (7.17)$$

$$C_{o,Z} = n_Z * C_{b,Z} \quad [\text{E/h}] \quad (7.18)$$

gdzie:

- $C_{o,W}$ – przepustowość obliczeniowa łącznicy wjazdowej [E/h],
- $C_{b,W}$ – przepustowość bazowa łącznicy wjazdowej [E/h/pas],
- $C_{o,Z}$ – przepustowość obliczeniowa łącznicy zjazdowej [E/h],
- $C_{b,Z}$ – przepustowość bazowa łącznicy zjazdowej [E/h/pas],
- n_i – liczba pasów ruchu na łącznicy wjazdowej lub zjazdowej.

7.8.3. Obliczenie Poziomu Swobody Ruchu

Obliczenie stopnia wykorzystania przepustowości. Stopień wykorzystania przepustowości określony jest wzorem:

$$X_j = Q_{o,j}/C_{o,j} \quad [-] \quad (7.19)$$

gdzie:

- X_j – stopień wykorzystania przepustowości j -tego odcinka,
- $Q_{o,j}$ – natężenie obliczeniowe j -tego odcinka [E/h],
- $C_{o,j}$ – przepustowość obliczeniowa j -tego odcinka [E/h].

Poziom Swobody Ruchu. Stopień wykorzystania przepustowości dla poszczególnych Poziomów Swobody Ruchu podano w tab. 5.5 dla autostrad, w tab. 5.6 dla dróg ekspresowych a w tab. 5.7 dla dwujezdniowych dróg klasy GP i G. Zależy on od klasy drogi i prędkości pojazdów w warunkach ruchu swobodnego. Wartości prędkości podane są w przedziałach co 5 km/h. Z odpowiedniej tabeli należy wybrać wiersz dla prędkości najbliższej do tej wyliczonej w poprzednim kroku.

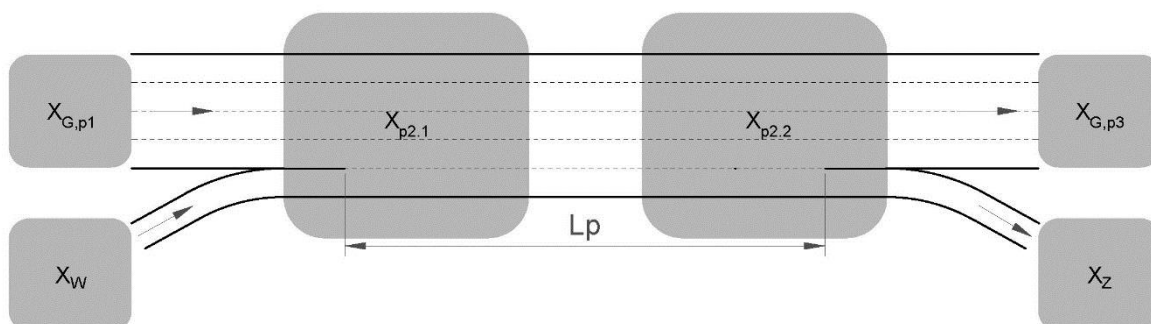
Poziom Swobody Ruchu ustalany jest przez porównanie obliczonego stopnia przepustowości X_i do maksymalnego dla poszczególnych PSR z **Błąd! Nie można odnaleźć źródła odwołania.** - **Błąd! Nie można odnaleźć źródła odwołania.** dla odcinków na jezdni głównej lub tab. 7.1 dla łącznic oraz jezdni zbierająco-rozprowadzającej.

7.9. Obliczenie Poziomu Swobody Ruchu na odcinku przeplatania

7.9.1. Wstępne określenie PSR na początkowym i końcowym segmencie

Parametry ruchu obliczane w procedurze są funkcją: liczby pasów na jezdni głównej, liczby pasów na łącznicach, geometrii odcinków przeplatania oraz granicznych wartości stopnia wykorzystania przepustowości.

Metoda opiera się na założeniu, że stosunek natężenia do przepustowości jest taki sam przed i za punktem włączania/wyłączania (rys. 7.9).



Rys. 7.9. Schemat obszaru włączania, wyłączania oraz przeplatania przyjęty do obliczeń PSR

Segment początkowy odcinka przeplatania p2.1. Warunki ruchu ocenia się w oparciu o stopień wykorzystania przepustowości na jezdni głównej i łącznicy wjazdowej odcinka przeplatania [3]:

$$X_{G,p1}^{a1} + X_W^{b1} = X_{p2.1}^{c1} \quad [-] \quad (7.20)$$

gdzie:

- $X_{G,p1}$ – stopień wykorzystania przepustowości na odcinku poprzedzającym odcinek przeplatania na jezdni głównej,
- X_W – stopień wykorzystania przepustowości na odcinku poprzedzającym odcinek przeplatania na łącznicy wjazdowej,
- $X_{p2.1}$ – uśredniony stopień wykorzystania przepustowości na segmencie początkowym odcinka przeplatania (p2.1),
- $a1, b1, c1$ – współczynniki równania w zależności od przyjętej geometrii.

Przyjmując założenie, że $a1 = b1 = c1$ oraz $X_{p2.1} = 1$ można wyznaczyć maksymalne natężenie ruchu na łącznicy wjazdowej w zależności od założonego stopnia wykorzystania przepustowości X_{PSR} , przyjętego z tab. 7.1.

Maksymalne natężenie ruchu na łącznicy wjazdowej dla przyjętych granicznych wartości PSR obliczamy z wykorzystaniem wzoru [3]:

$$Q_{o,W,PSR} = C_{o,W} * X_{PSR} * \left[1 - \left(\frac{Q_{o,G,p1}}{C_{o,G,p1} * X_{PSR}} \right)^a \right]^{\frac{1}{a}} \quad [E/h] \quad (7.21)$$

Uśredniony stopień wykorzystania przepustowości na segmencie początkowym odcinka przeplatania obliczamy z wykorzystaniem wzoru [3]:

$$X_{p2.1} = [X_{G,p1}^a + X_W^a]^{\frac{1}{a}} = \left[\left(\frac{Q_{o,G,p1}}{C_{o,G,p1}} \right)^a + \left(\frac{Q_{o,W}}{C_{o,W}} \right)^a \right]^{\frac{1}{a}} \quad [-] \quad (7.22)$$

gdzie:

- $Q_{o,W,PSR}$ – maksymalne obliczeniowe natężenie ruchu na łącznicy wjazdowej dla założonego stopnia wykorzystania przepustowości X_{PSR} [E/h],
- X_{PSR} – przyjęty stopień wykorzystania przepustowości zgodnie z tab. 7.1,
- $Q_{o,G,p1}$ – obliczeniowe natężenie ruchu na 1 i 2 pasie jezdni głównej na odcinku poprzedzającym odcinek przeplatania [E/h],
- $Q_{o,W}$ – natężenie obliczeniowe ruchu na łącznicy wjazdowej [E/h],
- $C_{o,G,p1}$ – przepustowość obliczeniowa na 1 i 2 pasie jezdni głównej na odcinku poprzedzającym odcinek przeplatania [E/h],
- $C_{o,W}$ – przepustowość obliczeniowa łącznicy wjazdowej [E/h],
- a – współczynnik równania zależny od przyjętej geometrii zgodnie z tab. 7.2.

Segment końcowy odcinka przeplatania p2.2. Warunki ruchu ocenia się w oparciu o stopień wykorzystania przepustowości na jezdni głównej i łącznicy wyjazdowej odcinka przeplatania [3]:

$$X_{p2.2}^{c2} = X_{G,p2}^{a2} + X_Z^{b2} \quad [-] \quad (7.23)$$

gdzie:

- $X_{G,p3}$ – stopień wykorzystania przepustowości na odcinku występującym za odcinkiem przeplatania na jezdni głównej,
- X_Z – stopień wykorzystania przepustowości na odcinku występującym za odcinkiem przeplatania na łącznicy wyjazdowej,
- $X_{p2.2}$ – uśredniony stopień wykorzystania przepustowości na segmencie końcowym odcinka przeplatania (p2.2),
- $a2, b2, c2$ – współczynniki równania w zależności od przyjętej geometrii.

Przyjmując założenie, że, że $a2 = b2 = c2$ oraz $X_{p2.2} = 1$ można wyznaczyć maksymalne natężenie ruchu na łącznicy wyjazdowej w zależności od założonego stopnia wykorzystania przepustowości X_{PSR} , przyjętego z tab. 7.1.

Maksymalne natężenie ruchu na łącznicy wyjazdowej dla przyjętych PSR obliczmy z wykorzystaniem wzoru [3]:

$$Q_{o,Z,PSR} = C_{o,Z} * X_{PSR} * \left[1 - \left(\frac{Q_{o,G,p3}}{C_{o,G,p3} * X_{PSR}} \right)^a \right]^{\frac{1}{a}} \quad [E/h] \quad (7.24)$$

Uśredniony stopień wykorzystania przepustowości na segmencie końcowym odcinka przeplatania obliczamy z wykorzystaniem wzoru [3]:

$$X_{p2.2} = [X_{G,p3}^a + X_Z^a]^{\frac{1}{a}} = \left[\left(\frac{Q_{o,G,p3}}{C_{o,G,p3}} \right)^a + \left(\frac{Q_{o,Z}}{C_{o,Z}} \right)^a \right]^{\frac{1}{a}} \quad [-] \quad (7.25)$$

gdzie:

- $Q_{o,Z,PSR}$ – maksymalne obliczeniowe natężenie ruchu na łącznicy wyjazdowej dla założonego stopnia wykorzystania przepustowości X_{PSR} [E/h],
- X_{PSR} – przyjęty stopień wykorzystania przepustowości zgodnie z tablicą 7.1,
- $Q_{o,G,p3}$ – obliczeniowe natężenie ruchu na 1 i 2 pasie jezdni głównej na odcinku występującej za odcinkiem przeplatania [E/h],
- $Q_{o,Z}$ – natężenie obliczeniowe ruchu na łącznicy wyjazdowej [E/h],
- $C_{o,G,p3}$ – przepustowość obliczeniowa na 1 i 2 pasie jezdni głównej na odcinku występującej za odcinkiem przeplatania [E/h],
- $C_{o,Z}$ – przepustowość obliczeniowa łącznicy wyjazdowej [E/h],
- a – współczynnik równania zależny od przyjętej geometrii zgodnie z tablicą 7.2

Poziom Swobody Ruchu ustalany jest przez porównanie dla maksymalnej wartości stopnia wykorzystania przepustowości na odcinku początkowym $X_{p2.1}$ lub końcowym $X_{p2.2}$ do granicznych poziomów dla poszczególnych PSR (tab. 7.1):

$$X_{p2} = \max\{X_{p2.1}, X_{p2.2}\} \quad (7.26)$$

7.9.2. Korekta PSR wynikająca z długości i natężenia ruchu

Ze względu na możliwość występowania zakłóceń ruchu wynikających z długości pasa przeplatania (w szczególności dla odcinków krótszych niż 200 m) oraz/lub udziału pojazdów przeplatających się należy sprawdzić spadek średniej prędkości w stosunku do prędkości pojazdów w warunkach ruchu swobodnego na tym odcinku. Redukcję prędkości wynikającą z długości odcinka przeplatania oraz udziału pojazdów przeplatających się obliczamy ze wzoru:

$$\Delta V = 2,394 * (u_{PR})^{0,15} * L_p^{-0,364} * Q_{o,PR}^{0,578} \quad [\text{km/h}] \quad (7.27)$$

Średnią prędkość potoku pojazdów obliczamy ze wzoru:

$$V = V_{sw} - \Delta V \quad [\text{km/h}] \quad (7.28)$$

gdzie:

- ΔV – redukcja prędkości [km/h],
- u_{PR} – udział pojazdów przeplatających się,
- L_p – długość odcinka przeplatania [m],
- $Q_{o,PR}$ – natężenie obliczeniowe odcinka przeplatania [E/h],
- V – średnia prędkość potoku pojazdów w obszarze przeplatania [km/h],
- V_{sw} – prędkość pojazdów w warunkach ruchu swobodnego obliczona zgodnie punktem 5.2.1 lub 7.8.1 w zależności od lokalizacji odcinka przeplatania [km/h].

7.9.3. Obliczenie gęstości ruchu i Poziomu Swobody Ruchu

Obliczeniowa gęstość ruchu dana jest wzorem znanym jako „fundamentalna zależność parametrów ruchu”. Gęstość to natężenie ruchu podzielone przez prędkość:

$$k_o = \frac{Q_{o,PR}}{V * n_{p2}} \quad [\text{E/km/pas}] \quad (7.29)$$

Poziom Swobody Ruchu ustalany jest przez porównanie gęstości obliczeniowej k_o do gęstości maksymalnych dla poszczególnych PSR (tab. 2.1). Gęstości maksymalne (kryteria PSR) są uniwersalne i nie zależą od klasy drogi czy też prędkości w ruchu swobodnym.

7.10. Ocena warunków ruchu w obszarze przeplatania

Na analizowanych obszarze przeplatania należy znaleźć miejsce o najgorszych warunkach ruchu lub najmniejszej przepustowości tzw. „wąskie gardło” tj. i tak

zidentyfikowane elementy drogi w tym obszarze należy przyjąć do końcowej oceny warunków ruchu.

Wybór tzw. „wąskiego gardła” polega na wyborze najniższego PSR na wszystkich analizowanych odcinkach:

- odcinek jezdni głównej poprzedzający odcinek przeplatania,
- łącznica wjazdowa,
- odcinek przeplatania,
- łącznica wyjazdowa,
- odcinek jezdni głównej występujący za odcinkiem przeplatania.

7.11. Ocena przyjętego rozwiązania

Ostatnim krokiem analizy przepustowości obszaru przeplatania jest ocena przyjętego rozwiązania. W przypadku jego akceptacji (braku przekroczenia przyjętych PSR wynikających z dokumentów wyższego rzędu [15] lub innych założeń wynikających np. z polityki transportowej na danym obszarze, przeprowadzonej analizy wielokryterialnej) analiza poziomu warunków ruchu jest zakończona. W przeciwnym razie należy wprowadzić zmiany, które pozwolą na poprawę Poziomu Swobody Ruchu na jednym z krytycznych elementów tego obszaru.

8. METODA SZCZEGÓŁOWA ANALIZY NA OBSZARACH WJAZDÓW I WYJAZDÓW NA WĘZŁACH DROGOWYCH

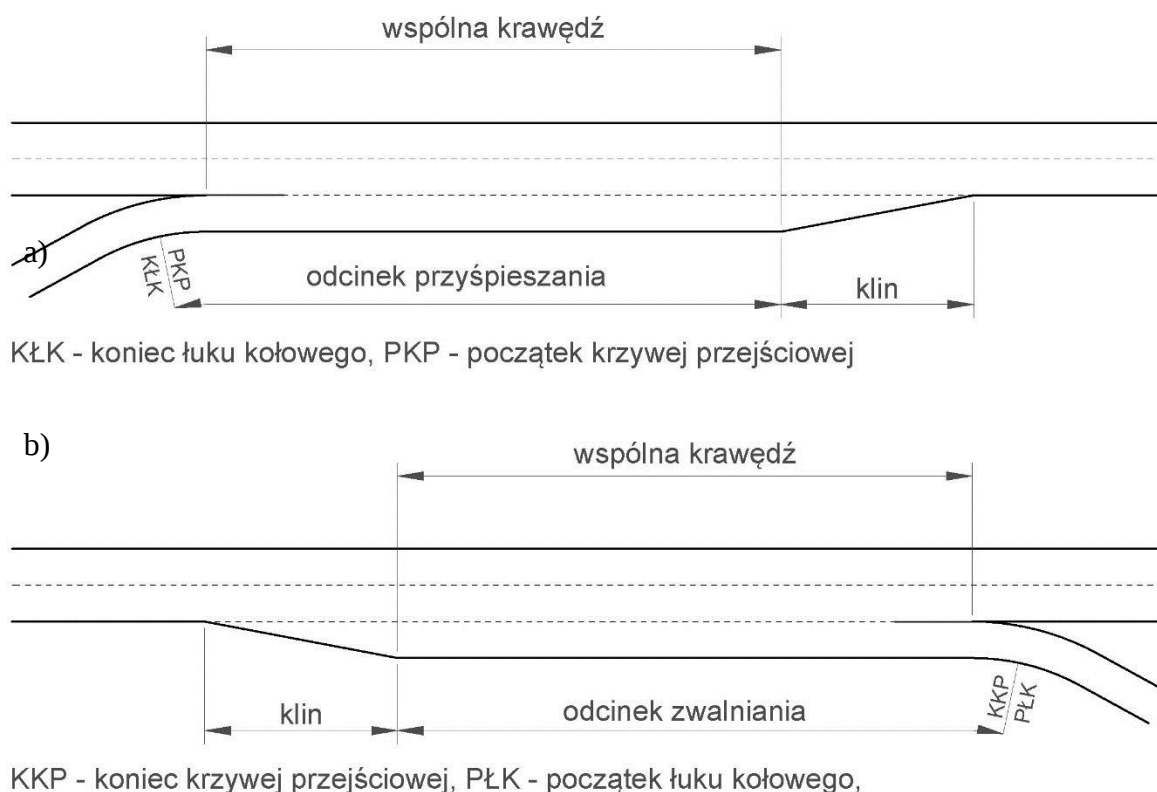
Jak podano w punkcie 3.1.2, metodę szczegółową na obszarach wjazdów i wyjazdów stosuje się do dróg istniejących w fazie eksploatacji lub też do dróg będących na etapie projektowania szczegółowego (STEŚ, koncepcja programowa, projekt budowlany).

Wjazdy i wyjazdy z dróg klasy A, S, GP są to miejsca włączenia lub wyłączenia drogi łącznikowej do jezdni głównej, na którym krzyżują się dwa potoki ruchu. Wjazdy i wyjazdy z dróg klasy A, S, GP są lokalizowane na [16] (rys. 8.1):

- w węzłach łączących te drogi z innymi drogami zgodnie z aktualnym rozporządzeniem [13],
- w miejscach obsługi podróżnych (MOP).

Możemy rozróżnić dwa obszary, na których będą występowały zakłócenia związane z koniecznością włączania się lub wyłączania pojazdów z dsr:

- odcinek pasa włączeń, wyłączeń – jest to obszar w bezpośrednim sąsiedztwie pasa włączeń, wyłączeń. Obejmuje one oprócz tego pasa dwa skrajne pasy ruchu na jezdni głównej,
- obszar wjazdu i wyjazdu – jest to obszar o długości około 450 m obejmujący zarówno sam obszar występowania pasa włączania lub wyłączania oraz wszystkie pasy na jezdni głównej.



Rys. 8.1. Schemat obszaru wjazdów (a) i wyjazdów (b)

Metodę szacowania poziomów warunków ruchu na odcinkach wjazdów, wyjazdów opisaną w niniejszej instrukcji opracowano na podstawie badań empirycznych przeprowadzonych na węzłach dróg klasy A, S i GP w Polsce w latach 2016-17. Badania te posłużyły do opracowania polskiej metody z wykorzystaniem metod: niemieckiej metody HBS-2015 [3] oraz amerykańskiej HCM6 [11] dla obszarów wjazdów, wyjazdów.

W przypadkach, gdy warunki drogowe lub ruchowe odbiegają od typowych, przy wykonywaniu oceny warunków ruchu należy kierować się wiedzą ekspercką lub analizę oprzeć na wykonaniu analizy z wykorzystaniem narzędzi symulacyjnych (np. PTV Vissim).

8.1. Aktualny stan prawny

Pasy wyłączania i włączania zostały przedstawione w Rozporządzeniu [13] odpowiednio w § 94 - 95 i § 96 - 97. Pas wyłączania składa się z klina oraz odcinka zwalniania. Parametry geometryczne pasa wyłączania projektuje się według oddzielnych zasad:

- dla wyjazdów w węźle typu WA, wyjazdów z drogi klasy A, S i GP w węźle typu WB - § 94,
- dla wyjazdów z łącznicy i z jezdni zbierająco-rozprowadzającej § 95.

W pierwszej grupie elementów infrastruktury klin może przyjmować długość minimalną od 50 do 100 m (100 do 200 m przy podwójnym pasie wyłączania) i jest uzależniona od prędkości miarodajnej i liczby pasów wyłączania. Długość odcinka zwalniania przyjmuje się nie mniej niż 65 m. Długości odcinka zwalniania określa się na podstawie typu łącznicy na

jaką następuje wyłączenie, różnicy prędkości miarodajnej drogi i prędkości projektowej łącznicy oraz pochylenia podłużnego pasa wyłączania. Długości maksymalne dla klina oraz odcinka zwalniania nie zostały określone. Pas wyłączania powinien mieć wspólną krawędź odcinka pasa o pełnej szerokości nie mniej niż 100 m.

W drugiej grupie elementów infrastruktury klin może przyjmować długość nie mniejsze niż 60 m. Długość odcinka zwalniania przyjmuje nie mniej niż 100 m i określa się go na podstawie typu węzła i typu łącznic. Zapisy wskazują, że wypadku dobrej widoczności wyjazdu z łącznicy lub jezdni zbierająco-rozprowadzającej w węźle typu WA lub WB długości klina i odcinka zwalniania na pasie wyłączania mogą być nawet o połowę krótsze. Dokument nie określa jak określić dobrą widoczność.

Pas włączania składa się z klina oraz odcinka przyspieszania. Parametry geometryczne pasa włączania projektuje się według oddzielnych zasad:

- dla wjazdów w węźle typu WA, wjazdów na drogi klasy A, S i GP w węźle typu WB - § 96,
- dla wjazdów na łącznice i jezdnie zbierająco-rozprowadzającą § 97.

W pierwszej grupie elementów infrastruktury klin może przyjmować długość minimalną od 50 do 100 m i jest uzależniona od prędkości miarodajnej. Długość odcinka przyspieszania przyjmuje nie mniej niż 90 m. Długość odcinka przyspieszania określa się na podstawie typu łącznicy z jakiej następuje włączenie, różnicy prędkości miarodajnej drogi i prędkości projektowej łącznicy oraz pochylenia podłużnego pasa włączania. Długości maksymalne dla klina oraz odcinka zwalniania nie zostały określone. Pas włączania powinien mieć wspólną krawędź odcinka pasa o pełnej szerokości nie mniej niż 100 m. Dla podwójnego pasa włączania z łącznicy P3 należy zastosować kaskadowe zamykanie pasa klinem i zastosować odpowiednią długość nie mniejszą niż 500 m.

W drugiej grupie elementów infrastruktury klin może przyjmować długość nie mniejsze niż 60 m a odcinek przyspieszania nie mniej niż 90 m. Zapisy wskazują, że wypadku dobrej widoczności wjazdu na łącznicę lub jezdnię zbierająco – rozprowadzającą w węźle typu WA lub WB, długości odcinka przyspieszania i klina mogą być nawet o połowę krótsze. Dokument nie określa, jak określić dobrą widoczność.

8.2. Ograniczenia metody

Metoda ma ograniczone zastosowanie i nie uwzględnia następujących warunków:

- stosowania zarządzania wjazdem (dozowanie wjazdu – z ang. ramp metering),
- wpływu elementów ITS w obszarze wjazdu i wyjazdu,
- długość odcinka wyjazdu i wjazdu powyżej 500 m,
- długość odcinka wyjazdu i wjazdu poniżej 100 m,

8.3. Kroki (etapy) analizy warunków ruchu

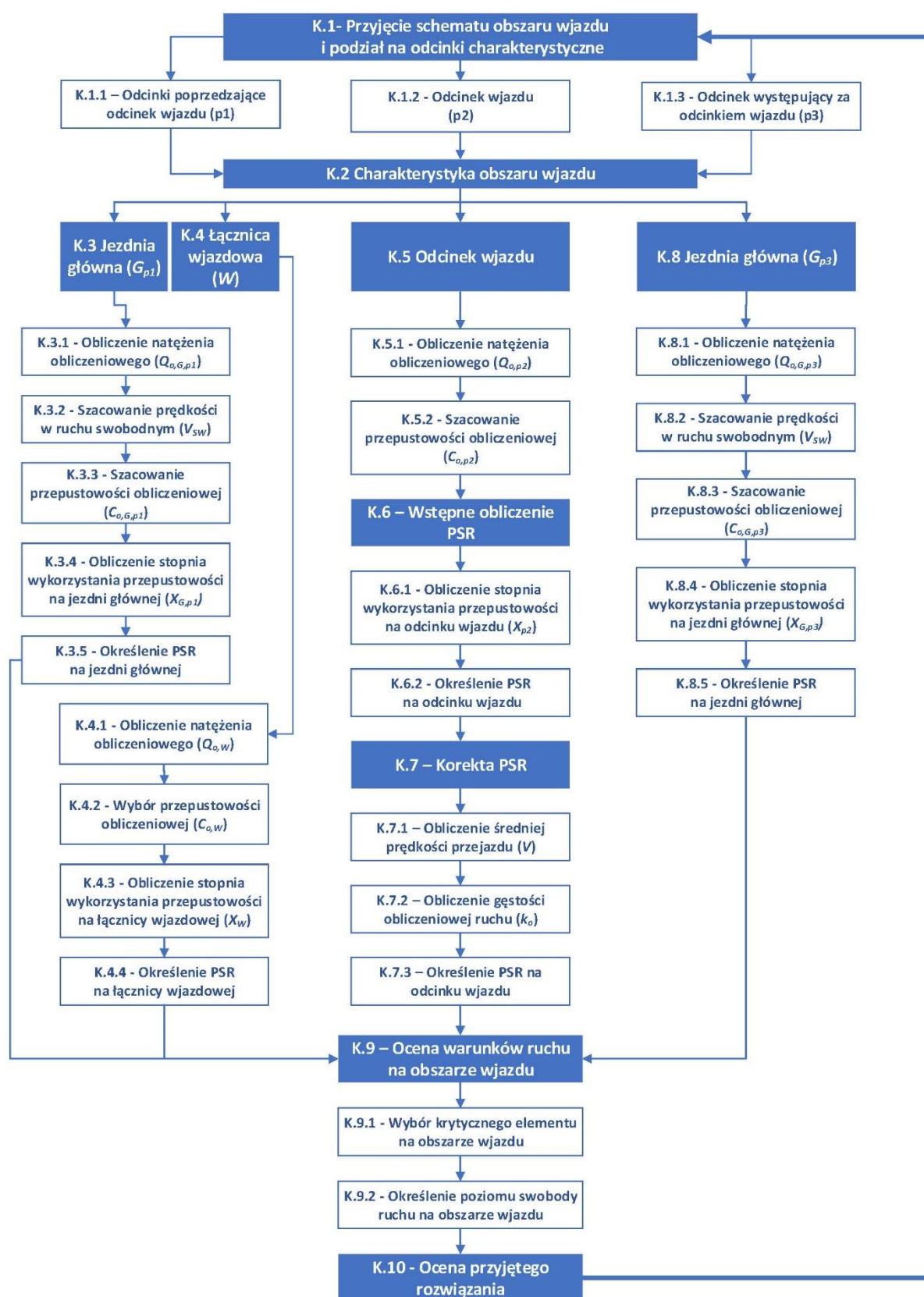
Metoda szczegółowa składa się 10 kroków:

1. Obszar wjazdu (rys. 8.2):
 - K.1 – Przyjęcie schematu obszaru wjazdu i podział na odcinki charakterystyczne,
 - K.2 – Charakterystyka obszaru wjazdu,

Metody oceny warunków ruchu i obliczania przepustowości dróg poza aglomeracjami miejskimi – drogi dwujezdniowe klasy A, S, GP, G

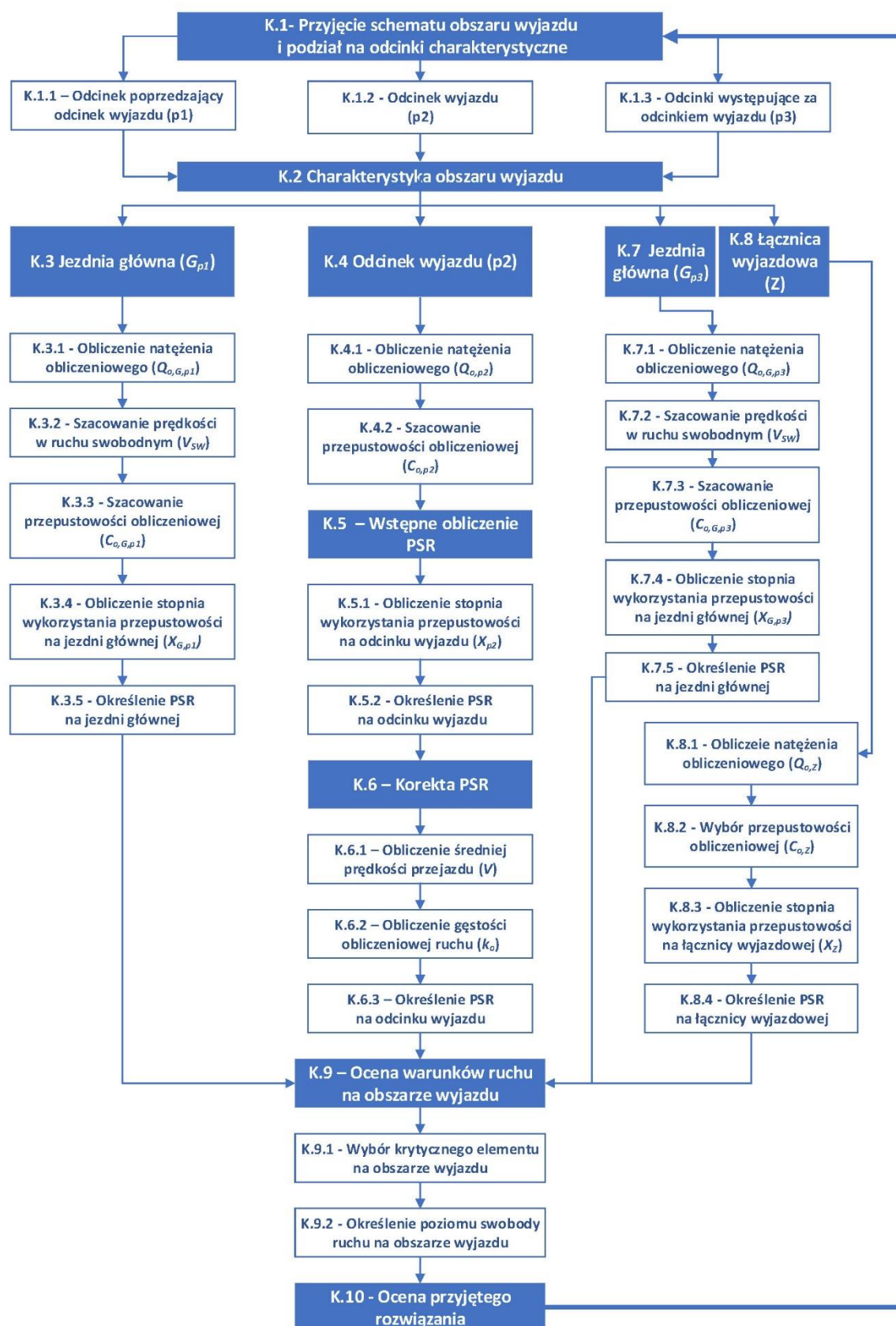
- K.3 – Odcinki poprzedzające odcinek wjazdu – jezdnia główna,
 - K.4 – Odcinki poprzedzające odcinek wjazdu – łącznica wjazdowa,
 - K.5 – Odcinek wjazdu,
 - K.6 – Wstępne obliczanie PSR na odcinku wjazdu,
 - K.7 – Korekta PSR na odcinku wjazdu,
 - K.8 – Odcinki występujące za odcinkiem wjazdu – jezdnia główna,
 - K.9 – Ocena warunków ruchu na obszarze wjazdu,
 - K.10 – Ocena przyjętego rozwiązania.
2. Obszar wyjazdu (rys. 8.3):
- K.1 – Przyjęcie schematu obszaru wyjazdu i podział na odcinki charakterystyczne,
 - K.2 – Charakterystyka obszaru wyjazdu,
 - K.3 – Odcinki poprzedzające odcinek wyjazdu – jezdnia główna,
 - K.4 – Odcinek wyjazdu,
 - K.5 – Wstępne obliczanie PSR na odcinku wyjazdu,
 - K.6 – Korekta PSR na odcinku wyjazdu,
 - K.7 – Odcinki występujące za odcinkiem wyjazdu – jezdnia główna,
 - K.8 – Odcinki występujące za odcinkiem wyjazdu – łącznica wjazdowa,
 - K.9 – Ocena warunków ruchu na obszarze wyjazdu,
 - K.10 – Ocena przyjętego rozwiązania.

Metody oceny warunków ruchu i obliczania przepustowości dróg poza aglomeracjami miejskimi – drogi dwujezdniowe klasy A, S, GP, G



Rys. 8.2. Schemat analizy szczegółowej na obszarach wjazdów

Metody oceny warunków ruchu i obliczania przepustowości dróg poza aglomeracjami miejskimi – drogi dwujezdniowe klasy A, S, GP, G



Rys. 8.3. Schemat analizy szczegółowej na obszarach wyjazdów

8.4. Podział obszaru wjazdu i wyjazdu na odcinki charakterystyczne

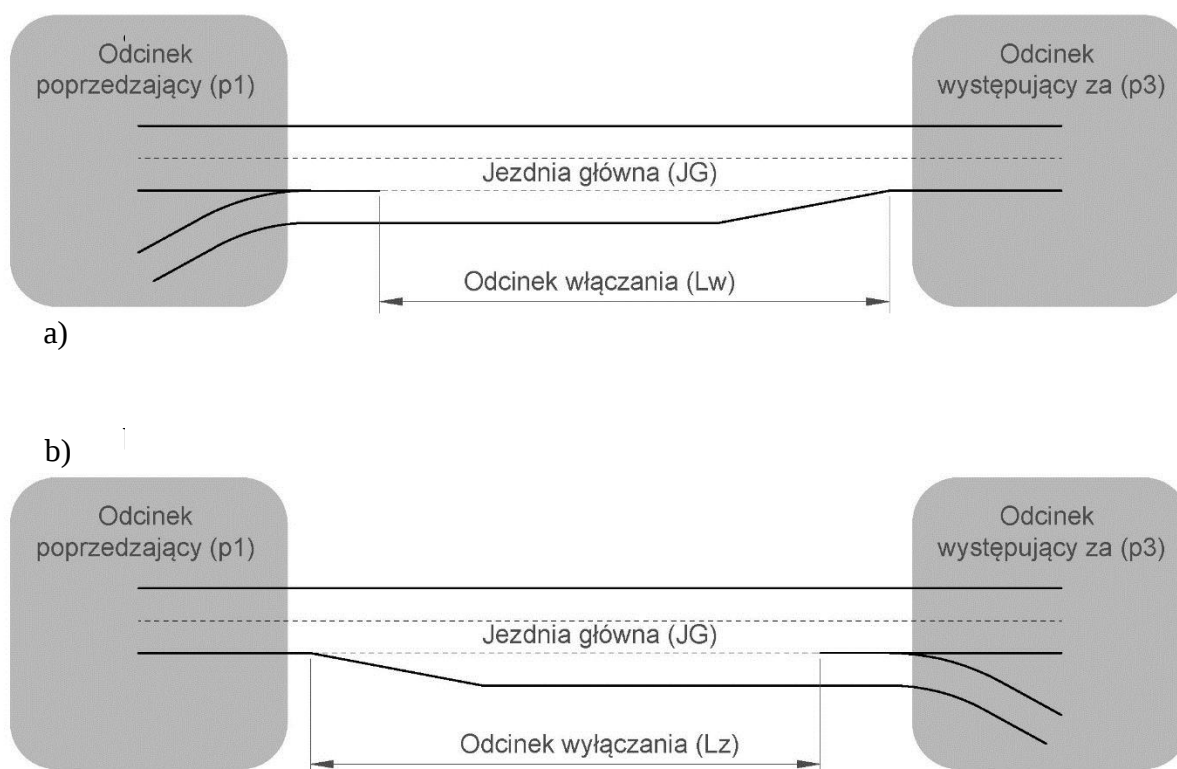
Analizy szczegółowe na obszarach wjazdu i wyjazdu prowadzone są na 3 odcinkach charakterystycznych (rys. 8.4):

1. Obszar wjazdu:

- odcinki poprzedzające odcinek wjazdu (p1) - odcinek jezdni głównej (p1.1) i łącznicy wjazdowej (p1.2),
- odcinek wjazdu (p2),
- odcinek występujący za odcinkiem wjazdu na jezdni głównej (p3).

2. Obszar wyjazdu:

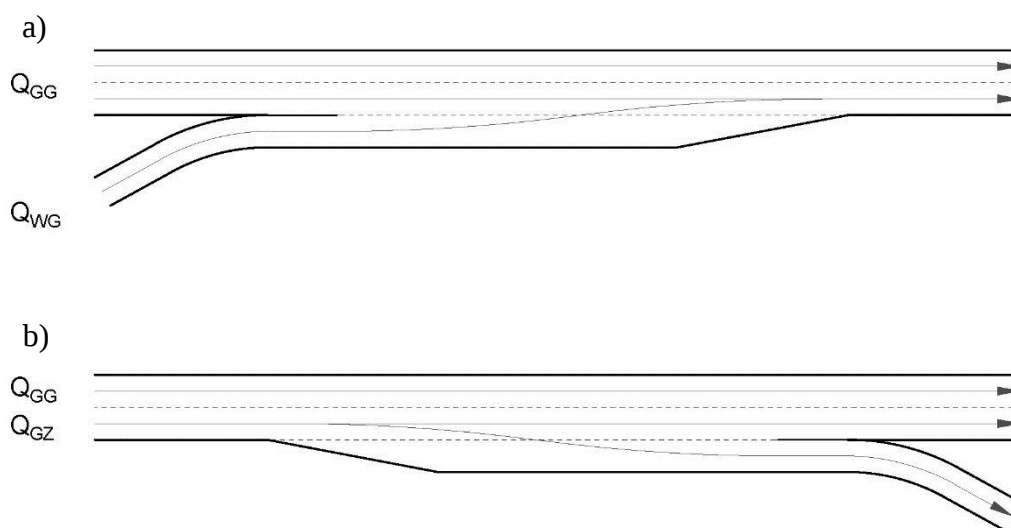
- odcinki poprzedzające odcinek wyjazdu na jezdni głównej (p1),
- odcinek wyjazdu (p2),
- odcinek występujący za odcinkiem wjazdu na jezdni głównej (p3) - odcinek jezdni głównej (p3.1) i łącznicy wjazdowej (p3.2).



Rys. 8.4. Schemat podziału na odcinki charakterystyczne na obszarze wjazdu (a) i wyjazdu (b)

Na odcinku wjazdu i wyjazdu występują 2 strumienie ruchu pojazdów (8.5):

- Q_{GG} - strumień ruchu pojazdów jadących jezdnią główną na wprost,
- Q_{GZ} - strumień ruchu pojazdów zjeżdżających z jezdni głównej na łącznicę wjazdową,
- Q_{WG} - strumień ruchu pojazdów wjeżdżających na jezdnię główną z łącznicy wjazdowej,



Rys. 8.5. Schemat ruchu pojazdów na obszarze wjazdów (a) i wyjazdów (b)

8.5. Charakterystyka obszaru wjazdu i wyjazdu

Szczegółowy opis niezbędnych danych do obliczeń został przedstawiony w punkcie 3.3.

8.5.1. Parametry geometryczna drogi i związane z organizacją ruchu

Parametrami związanymi z geometrią i organizacją ruchu niezbędnymi do przeprowadzenia obliczeń na obszarach wjazdów i wyjazdów są:

- klasa drogi,
- lokalizacja węzła (obszar aglomeracyjny, zamiejski),
- liczba pasów ruchu na jezdni głównej przed i za odcinkiem wjazdu, wyjazdu n_G ,
- liczba pasów ruchu na łącznicy wjazdowej n_W lub wjazdowej n_Z ,
- pochylenie drogi, profil podłużny,
- gęstość wjazdów i wyjazdów g_{wz} ,
- ograniczenie prędkości dopuszczalnej V_d ,
- długość zmiany pasa ruchu (wyznaczona linią P-1c) na odcinku wjazdu lub wyjazdu L_W, L_Z .

8.5.2. Parametry związane z natężeniem ruchu

Parametrami niezbędnymi związanymi z natężeniem ruchu do przeprowadzenia obliczeń na obszarach wjazdu, wyjazdu są:

- natężenie miarodajne w przekroju jezdni głównej, na łącznicach wjazdowych, wjazdowych $Q_{m,j}$,
- struktura rodzajowa pojazdów,
- współczynnik nierównomierności godzinowej k_{15} ,
- wskaźniki przeliczeniowe pojazdów rzeczywistych na umowne E_W ,
- rozkład kierunkowy ruchu, liczba pojazdów wjeżdżających, wyjeżdżających.

8.5.3. Graniczne wartości PSR

Zgodnie z przyjętymi założeniami w opracowaniu [15] zalecane poziomy swobody ruchu PSR na planowanych, projektowanych lub funkcjonujących drogach A, S, GP i G na obszarach wjazdów, wyjazdów wynoszą:

- na zamiejskich odcinkach dróg klasy A, S, GP – **C** (warunkowo **D**),
- na odcinkach dróg klasy A, S, GP przechodzących przez aglomerację - **D** (warunkowo **E**).

W tabelicy 8.1 zestawiono graniczne wartości stopnia wykorzystania przepustowości X_{PSR} i odpowiadające im Poziomy Swobody Ruchu (PSR).

Tab. 8.1. Poziom swobody ruchu X_{PSR} w zależności od wartości wskaźnika Q/C dla obszarów wjazdów i wyjazdów dróg klasy A, S i GP

Poziom Swobody Ruchu (PSR)	A	B	C	D	E	F
X	$\leq 0,30$	$\leq 0,55$	$\leq 0,78$	$\leq 0,90$	$\leq 1,00$	$> 1,00$

8.5.4. Przepustowość bazowa

Dla wszystkich kategorii dróg zdefiniowano 14 typowe układy pasów na jezdni głównej oraz pasów na łącznicach wjazdowych i wyjazdowych. Rysunek. 8.5 przedstawia przyjęte schematy tego obszaru wykorzystywane w kolejnych krokach analizy. W zależności od przyjętej geometrii obszarów przeplatania należy przyjąć wartości bazowe przepustowości na jezdni głównej, łącznicy wjazdowej i wyjazdowej oraz obliczyć przepustowość obliczeniową.

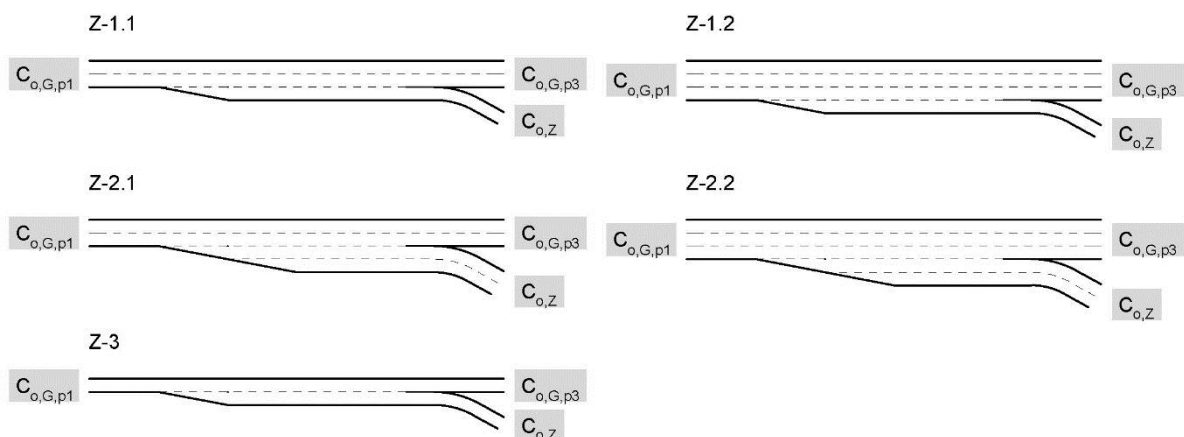
Zestawienie wartości: $n, a, C_{b,W}, C_{b,Z}, C_{b,G,pi}$, w zależności od układu geometrii obszaru wjazdów (zgodnie ze schematami przedstawionymi na rysunku 8.7) przedstawia tabela 8.3, wyjazdów (zgodnie ze schematami przedstawionymi na rysunku 8.6) tabela 8.2.

Tab. 8.2. Zestawienie wartości przepustowości bazowej jezdni głównej, łącznicy oraz współczynnika a dla obszarów wyjazdów dróg klasy A, S i G

Schemat pasów wyłączeń	Liczba pasów n				a	Bazowa przepustowość	
	na jezdni głównej $n_{G,pi}$	na odcinku wjazdu n_{p2}	uwzględnionych w ocenie			jezdni głównej przed lub za	łącznicy wyjazdow ej
			poprzedza jący n_A	występują cy za n_{A2}		$C_{b,G,pi}$ [E/h/pas]	$C_{b,z}$ [E/h/pas]
Z-1.1	2	3	2	2	1,9	zgodnie z tablicą 5.4	1700*
Z-1.2	3	4	2	2	1,9		1700*
Z-2.1	2	4	2	2	1,1		1700*
Z-2.2	3	4	2	2	1,1		1700*
Z-3	1	2	1	1	1,2	1900	1700*

*w przypadku wyjazdu na jezdnię zbierająco-rozprowadzającej należy przyjąć przepustowość 1900 [E/h/pas]

Metody oceny warunków ruchu i obliczania przepustowości dróg poza aglomeracjami miejskimi – drogi dwujezdniowe klasy A, S, GP, G

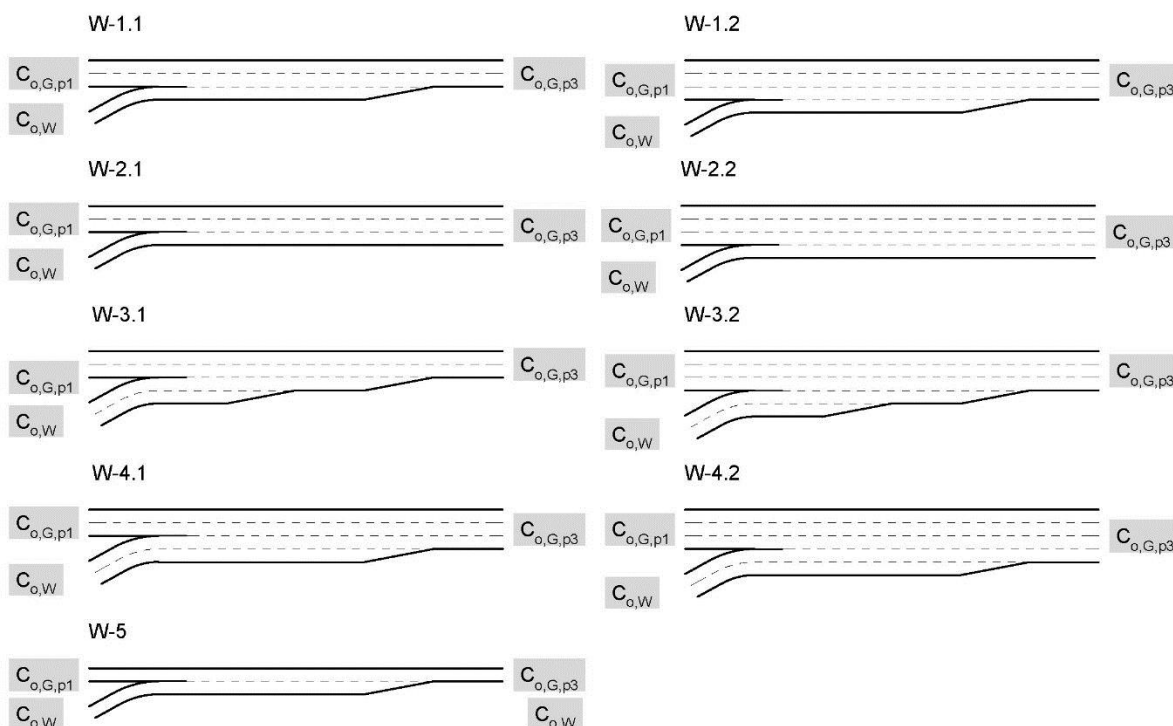


Rys. 8.6. Schematy obszarów wyjazdów dróg klasy A, S i GP wykorzystywane w obliczeniach przepustowości

Tab. 8.3. Zestawienie wartości przepustowości bazowej jezdni głównej, łącznicy oraz współczynnika a dla obszarów wjazdów dróg klasy A, S i G

Schemat pasów włączeń	Liczba pasów n				a	Bazowa przepustowość	
						jezdni głównej przed lub za	łącznicy wjazdowej
	na jezdni głównej $n_{G,pi}$	na odcinku wjazdu n_{p2}	uwzględnionych w ocenie			$C_{b,G,pi}$ [E/h/pas]	$C_{b,W}$ [E/h/pas]
			poprzedzający n_{A1}	występujący za n_{A2}			
W-1.1	2	3	2	2	1,5	zgodnie z tablicą 5.4	1700*
W-1.2	3	4	2	2	1,5		1700*
W-2.1	2	3	2	3	2,7		1700*
W-2.2	3	4	2	3	2,7		1700*
W-3.1	2	4	2	2	1,05		3400
W-3.2	3	4	2	2	1,05		3400
W-4.1	2	4	2	3	1,8		3400
W-4.2	3	4	2	3	1,8		3400
W-5	1	2	1	1	1,5	1900	1700*

* w przypadku wjazdu z jezdni zbierająco-rozprowadzającej należy przyjąć przepustowość 1900 [E/h/pas]



Rys. 8.7. Schematy obszarów wjazdów dróg klasy A, S i GP wykorzystywane w obliczeniach przepustowości

8.6. Natężenie ruchu

8.6.1. Obliczeniowe natężenie ruchu

Obliczeniowe natężenie ruchu $Q_{o,j}$ jest to natężenie ruchu w szczytowych 15-tu minutach w godzinie, przeliczone na natężenie godzinowe i wyrażone w pojazdach umownych. Natężenie to reprezentuje obciążenie drogi w standardowy sposób z uwzględnieniem struktury rodzajowej ruchu, zmienności godzinowej oraz wpływu pochyłości podłużnych.

Natężenie obliczeniowe wyznaczamy z natężenia miarodajnego na podstawie wzoru:

$$Q_{o,j} = \frac{Q_{m,j}}{k_{15}} * E_{W,j} \quad [\text{E/h}] \quad (8.1)$$

gdzie:

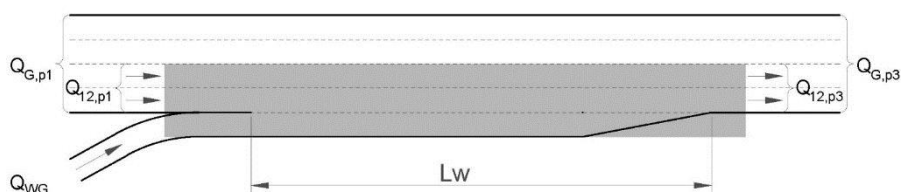
- $Q_{o,j}$ – obliczeniowe natężenie ruchu na j-tej relacji ruchu pojazdów [E/h],
- $Q_{m,j}$ – miarodajne natężenie ruchu na j-tej relacji ruchu pojazdów [E/h],
- k_{15} – współczynnik wahań ruchu w godzinie przyjęty dla natężenia ruchu w przekroju drogi przed odcinkiem przeplatania zgodnie z punktem 4.3.3,
- $E_{W,j}$ – ważony współczynnik przeliczeniowy pojazdów rzeczywistych na

umowne [E] na j-tej relacji ruchu pojazdów obliczone według wzoru 4.4.

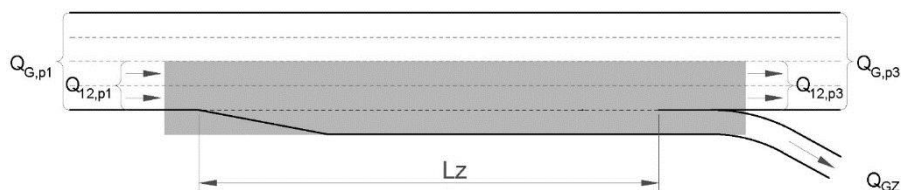
8.6.2. Miarodajne natężenie ruchu na jezdni głównej

Zgodnie z przyjętą metodyką wpływ pojazdów włączających się na obszarach wjazdów lub wyłączających na obszarze wyjazdów występuje na 2 skrajnych pasach ruchu. W przyjętej procedurze obliczeń w przypadku, gdy na jezdni głównej poprzedzającej te odcinki występują więcej niż 2 pasy w jednym kierunku, należy obliczyć liczbę pojazdów jadących po dwóch skrajnych pasach ruchu (1 i 2). Taka sytuacja będzie powodować większą gęstość ruchu na 1 i 2 pasie i gorsze warunki ruchu pojazdów (rys. 8.8).

a)



b)



Rys. 8.8. Obszar wpływu odcinka wjazdu lub wyjazdu oraz podstawowe parametry ruchu i geometrii tego obszaru

Model szacujący liczbę pojazdów na 1 i 2 pasie na obszarach przeplatania wyznaczamy zgodnie ze wzorami:

1. Dla dwujezdniowej dwupasowej drogi klasy A, S, GP (p1, p3):

$$Q_{12} = Q_m \quad [E/h] \quad (8.2)$$

2. Dla dwujezdniowej trzypasowej drogi klasy A, S, GP dla obszarów wjazdów:

- Odcinek jezdni głównej poprzedzający odcinek wjazdu (p1.1):

$$Q_{12,p1,s} = 305,95 + 0,456 * Q_s \quad [E/h] \quad (8.3)$$

$$Q_{12,p1,c} = 2,18 + 0,962 * Q_c \quad [E/h] \quad (8.4)$$

- Odcinek występujący za odcinkiem wjazdu na jezdni głównej (p3.1):

$$Q_{12,p3,s} = Q_{12,p1,s} + Q_{WG,s} \quad [E/h] \quad (8.5)$$

$$Q_{12,p3,c} = Q_{12,p1,c} + Q_{WG,c} \quad [E/h] \quad (8.6)$$

3. Dla dwujezdniowej trzypasowej drogi klasy A, S, GP dla obszarów wyjazdów:

- Odcinek jezdni głównej poprzedzający odcinek wyjazdu (p1.1):

$$Q_{12,p1,s} = 746,2 + 0,500 * Q_s \quad [E/h] \quad (8.7)$$

$$Q_{12,p1,c} = 9,5 + 0,930 * Q_c \quad [E/h] \quad (8.8)$$

- Odcinek występujący za odcinkiem wyjazdu na jezdni głównej (p3.1):

$$Q_{12,p3,s} = Q_{12,p1,s} - Q_{GZ,s} \quad [E/h] \quad (8.9)$$

$$Q_{12,p3,c} = Q_{12,p1,c} - Q_{GZ,c} \quad [E/h] \quad (8.10)$$

gdzie:

- Q_s – natężenie ruchu pojazdów lekkich (osobowe, dostawcze, motocykle) w przekroju drogi [P/h],
- Q_c – natężenie ruchu pojazdów ciężkich (ciężarowe bez przyczepy, ciężarowe z przyczepą, autobusy) w przekroju drogi [P/h],
- $Q_{12,p1,i}$ – miarodajne natężenie ruchu na 1 i 2 pasie na i -tym odcinku poprzedzającym odcinek wjazdu, wyjazdu [P/h],
- $Q_{12,p3,i}$ – miarodajne natężenie ruchu na 1 i 2 pasie na i -tym odcinku występującym za odcinkiem wjazdu, wyjazdu [P/h].

8.6.3. Obliczeniowe natężenie ruchu Q_j na obszarze wjazdu i wyjazdu

Obliczeniowe natężenie ruchu Q_j na obszarze wjazdu i wyjazdu na poszczególnych odcinkach wyznaczamy zgodnie ze wzorami:

- natężenie ruchu na odcinku poprzedzającym odcinek wjazdu na jezdni głównej na wprost na 1 i 2 pasie ruchu:

$$Q_{o12,p1} = Q_{o,G,p1} = Q_{o12,GG} \quad [E/h] \quad (8.11)$$

- natężenie ruchu na odcinku poprzedzającym odcinek wjazdu na łącznicy wjazdowej:

$$Q_{o,W} = Q_{o,WG} \quad [E/h] \quad (8.12)$$

- natężenie ruchu na odcinku występującym za odcinkiem wjazdu na jezdni głównej na 1 i 2 pasie ruchu oraz na odcinku wjazdu:

$$Q_{o12,p3} = Q_{o,G,p3} = Q_{o,p2} = Q_{o12,GG} + Q_{o,WG} \quad [E/h] \quad (8.13)$$

- udział pojazdów wjeżdżających na odcinku wjazdu:

$$u_{GW} = Q_{o,WG} / Q_{o,p2} \quad [\%] \quad (8.14)$$

- natężenie ruchu na odcinku poprzedzającym odcinek wyjazdu na jezdni głównej na wprost na 1 i 2 pasie ruchu oraz na odcinku wyjazdu:

$$Q_{o12,p1} = Q_{o,G,p1} = Q_{o,p2} = Q_{o12,GG} + Q_{oGZ} \quad [E/h] \quad (8.15)$$

- natężenie ruchu na odcinku występującym za odcinkiem wyjazdu na jezdni głównej na wprost na 1 i 2 pasie ruchu:

$$Q_{o12,p3} = Q_{o,G,p3} = Q_{o12,GG} \quad [E/h] \quad (8.16)$$

- natężenie ruchu na odcinku występującym za odcinkiem wyjazdu na łącznicy wyjazdowej:

$$Q_{o,Z} = Q_{o,GZ} \quad [E/h] \quad (8.17)$$

- udział pojazdów wyjeżdżających na odcinku wyjazdu:

$$u_{GZ} = Q_{o,GZ}/Q_{o,p2} \quad [\%] \quad (8.18)$$

gdzie:

$Q_{o,G,pi}$	– obliczeniowe natężenie ruchu na 1 i 2 pasie jezdni głównej, przed lub za odcinkiem wjazdu, wyjazdu [E/h],
$Q_{o12,GG}$	– natężenie obliczeniowe ruchu na 1 i 2 pasie relacji na wprost [E/h],
$Q_{o,j}$	– natężenie obliczeniowe ruchu na j-tej relacji [E/h],
$Q_{o,W}$	– natężenie obliczeniowe ruchu na łącznicy wjazdowej [E/h],
$Q_{o,Z}$	– natężenie obliczeniowe ruchu na łącznicy wyjazdowej [E/h],
$Q_{o,p2}$	– natężenie obliczeniowe ruchu na odcinku wjazdu, wyjazdu [E/h],
u_{WG}	udział pojazdów wjeżdżających [E/h].
u_{GZ}	udział pojazdów wyjeżdżających [E/h].

8.7. Określanie Poziomu Swobody Ruchu na odcinku poprzedzającym (p1) i występującym za (p3) odcinkiem wjazdu, wyjazdu

8.7.1. Szacowanie prędkości w ruchu swobodnym na jezdni głównej

Obliczenie prędkości pojazdów w warunkach ruchu swobodnego na odcinku jezdni głównej przed i za odcinkiem wjazdu, wyjazdu opisano w rozdziale 5. W zależności od klasy drogi, należy zastosować wzór (5.1) dla autostrad, wzór (5.2) dla dróg ekspresowych lub wzór (5.3) dla dróg klasy GP i G.

W przypadku dróg istniejących zamiast szacowania prędkości pojazdów w warunkach ruchu swobodnego można dokonać jej pomiaru.

8.7.2. Szacowanie przepustowości obliczeniowej

Przepustowość obliczeniowa na jezdni głównej $C_{o,G,pi}$ niezbędną do obliczenia stopnia wykorzystania przepustowości X_i wybieramy na podstawie policzonej w poprzednim kroku prędkości swobodnej z tablicy 5.4 i przeliczamy ją zgodnie ze wzorem

$$C_{o,G,pi} = n_A \cdot C_{b,G,pi} \quad [E/h] \quad (8.19)$$

gdzie:

- $C_{o,G,pi}$ – przepustowość obliczeniowa jezdni głównej [E/h],
- $C_{b,G,pi}$ – przepustowość bazowa jezdni głównej [E/h/pas],
- n_A – liczba pasów ruchu uwzględnionych w ocenie warunków ruchu na obszarze wjazdu, wyjazdu.

Wartości prędkości pojazdów w warunkach ruchu swobodnego V_{sw} podane są w przedziałach co 5 km/h. Z odpowiedniej tabeli należy wybrać wiersz dla prędkości najbliższej do tej wyliczonej zgodnie z zaokrągleniem matematycznym.

Przepustowość obliczeniowa na łącznicy $C_{o,W}, C_{o,Z}$. niezbędną do obliczenia stopnia wykorzystania przepustowości wybieramy z tab. 8.2 - tab. 8.3 i przeliczamy ją zgodnie ze wzorami:

$$C_{o,W} = n_W * C_{b,W} \quad [E/h] \quad (8.20)$$

$$C_{o,Z} = n_Z * C_{b,Z} \quad [E/h] \quad (8.21)$$

gdzie:

- $C_{o,W}$ – przepustowość obliczeniowa łącznicy wjazdowej [E/h],
- $C_{b,W}$ – przepustowość bazowa łącznicy wjazdowej [E/h/pas],
- $C_{o,Z}$ – przepustowość obliczeniowa łącznicy zjazdowej [E/h],
- $C_{b,Z}$ – przepustowość bazowa łącznicy zjazdowej [E/h/pas],
- n_i – liczba pasów ruchu na łącznicy wjazdowej lub zjazdowej.

8.7.3. Obliczenie Poziomu Swobody Ruchu

Obliczenie stopnia wykorzystania przepustowości. Stopień wykorzystania przepustowości określony jest wzorem:

$$X_j = Q_{o,j} / C_{o,j} \quad [-] \quad (8.22)$$

gdzie:

- X_j – stopień wykorzystania przepustowości j -tego odcinka,
- $Q_{o,j}$ – natężenie obliczeniowe j -tego odcinka [E/h],
- $C_{o,j}$ – przepustowość obliczeniowa j -tego odcinka [E/h].

Poziom Swobody Ruchu. Stopień wykorzystania przepustowości dla poszczególnych Poziomów Swobody Ruchu podano w **Błąd! Nie można odnaleźć źródła odwołania.** dla autostrad, w **Błąd! Nie można odnaleźć źródła odwołania.** dla dróg ekspresowych a w **Błąd! Nie można odnaleźć źródła odwołania.** dla dwujezdniowych dróg klasy GP i G. Zależy on od klasy drogi i prędkości w ruchu swobodnym. Wartości prędkości podane są w przedziałach co 5 km/h. Z odpowiedniej tabeli należy wybrać wiersz dla prędkości najbliższej do tej wyliczonej w poprzednim kroku.

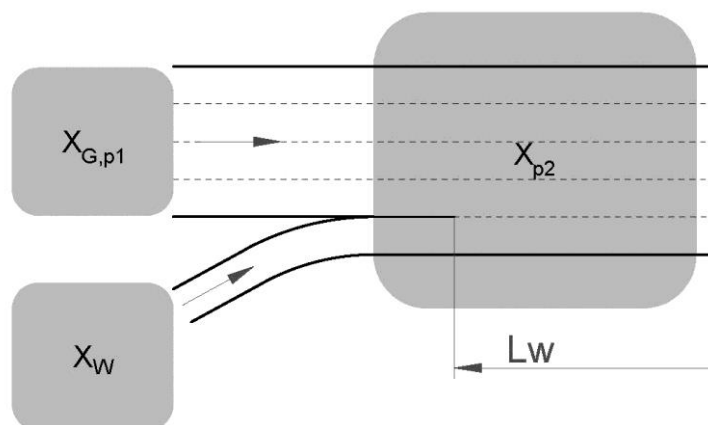
Poziom Swobody Ruchu ustalany jest przez porównanie obliczonego stopnia przepustowości X_i do maksymalnego dla poszczególnych PSR z **Błąd! Nie można odnaleźć źródła odwołania.** - **Błąd! Nie można odnaleźć źródła odwołania.** dla odcinków na jezdni głównej lub tab. 8.1 dla łącznic oraz jezdni zbierająco-rozprowadzającej.

8.8. Obliczenie Poziomu Swobody Ruchu na odcinku wjazdu

8.8.1. Wstępne określenie PSR na odcinku wjazdu

Parametry ruchu obliczane w procedurze są funkcją: liczby pasów na jezdni głównej, liczby pasów na łącznicach, geometrii odcinków wjazdu oraz granicznych wartości stopnia wykorzystania przepustowości.

Metoda opiera się na założeniu, że stosunek natężenia do przepustowości jest taki sam przed i za punktem włączania (rys. 8.9).



Rys. 8.9. Schemat obszaru wjazdu przyjęty do obliczeń PSR

Warunki ruchu ocena się w oparciu o stopień wykorzystania przepustowości na jezdni głównej i łącznicy wjazdowej [3]:

$$X_{G,p1}^{a1} + X_W^{b1} = X_{p2}^{c1} \quad [-] \quad (8.23)$$

gdzie:

- $X_{G,p1}$ – stopień wykorzystania przepustowości na odcinku poprzedzającym odcinek wjazdu na jezdni głównej,
- X_W – stopień wykorzystania przepustowości na odcinku poprzedzającym odcinek wjazdu na łącznicy wjazdowej,
- X_{p2} – uśredniony stopień wykorzystania przepustowości na odcinku wjazdu,
- $a1, b1, c1$ – współczynniki równania w zależności od przyjętej geometrii.

Przyjmując założenie, że $a1 = b1 = c1$ oraz $X_{p2} = 1$ można wyznaczyć maksymalne natężenie ruchu na łącznicy wjazdowej w zależności od przyjętego stopnia wykorzystania przepustowości X_{PSR} przyjętego z tab. 8.1.

Maksymalne natężenie ruchu na łącznicy wjazdowej dla przyjętych granicznych wartości PSR obliczamy z wykorzystaniem wzoru [3]:

$$Q_{o,W,PSR} = C_{o,W} * X_{PSR} * \left[1 - \left(\frac{Q_{o,G,p1}}{C_{o,G,p1} * X_{PSR}} \right)^a \right]^{\frac{1}{a}} \quad [\text{E/h}] \quad (8.24)$$

Uśredniony stopień wykorzystania przepustowości na odcinku wjazdu obliczamy z wykorzystaniem wzoru [3]:

$$X_{p2} = [X_{G,p1}^a + X_W^a]^{\frac{1}{a}} = \left[\left(\frac{Q_{o,G,p1}}{C_{o,G,p1}} \right)^a + \left(\frac{Q_{o,W}}{C_{o,W}} \right)^a \right]^{\frac{1}{a}} \quad [-] \quad (8.25)$$

gdzie:

- $Q_{o,W,PSR}$ – maksymalne obliczeniowe natężenie ruchu na łącznicy wjazdowej dla założonego stopnia wykorzystania przepustowości X_{PSR} [E/h],
- X_{PSR} – przyjęty stopień wykorzystania przepustowości zgodnie z tablicą 8.1,
- $Q_{o,G,p1}$ – obliczeniowe natężenie ruchu na 1 i 2 pasie jezdni głównej na odcinku poprzedzającym odcinek wjazdu [E/h],
- $Q_{o,W}$ – natężenie obliczeniowe ruchu na łącznicy wjazdowej [E/h],
- $C_{o,G,p1}$ – przepustowość obliczeniowa na 1 i 2 pasie jezdni głównej na odcinku poprzedzającym odcinek wjazdu [E/h],
- $C_{o,W}$ – przepustowość obliczeniowa łącznicy wjazdowej [E/h],
- a – współczynnik równania zależny od przyjętej geometrii zgodnie z tablicą 8.3

8.8.2. Korekta PSR wynikająca z długości i natężenia ruchu

Ze względu na możliwość występowania zakłóceń ruchu wynikających z długości pasa włączania (w szczególności dla odcinków krótszych niż 200 m) oraz/lub udziału pojazdów wjeżdżających należy sprawdzić spadek średniej prędkości w stosunku do prędkości pojazdów w warunkach ruchu swobodnego na tym odcinku. Redukcję prędkości wynikającą z długości odcinka wjazdu oraz udziału pojazdów wjeżdżających się obliczamy ze wzoru:

$$\Delta V = (u_{GW})^{0,295} * L_w^{-0,95} * Q_{o,p2}^{1,108} \quad [\text{km/h}] \quad (8.26)$$

Średnią prędkość potoku pojazdów obliczamy ze wzoru:

$$V = V_{sw} - \Delta V \quad [\text{km/h}] \quad (8.27)$$

gdzie:

- ΔV – redukcja prędkości [km/h],

u_{WG}	– udział pojazdów wjeżdżających,
L_w	– długość odcinka wjazdu [m],
$Q_{o,p2}$	– natężenie obliczeniowe na odcinku wjazdu [E/h],
V	– średnia prędkość potoku pojazdów w obszarze wjazdu [km/h],
V_{sw}	– prędkość pojazdów w warunkach ruchu swobodnego obliczona zgodnie z rozdziałem 5.2.1 lub 8.7.1 w zależności od lokalizacji odcinka wjazdowego [km/h].

8.8.3. Obliczenie gęstości ruchu i Poziomu Swobody Ruchu

Obliczeniowa gęstość ruchu dana jest wzorem znanym jako „fundamentalna zależność parametrów ruchu”. Gęstość to natężenie ruchu podzielone przez prędkość:

$$k_o = \frac{Q_{o,p2}}{V * n_{p2}} \quad [\text{E/km/pas}] \quad (8.28)$$

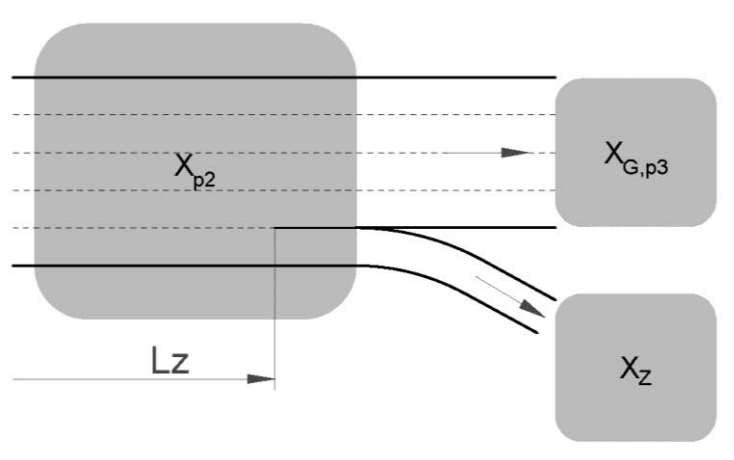
Poziom Swobody Ruchu ustalany jest przez porównanie gęstości obliczeniowej k_o do gęstości maksymalnych dla poszczególnych PSR (tab. 2.1). Gęstości maksymalne (kryteria PSR) są uniwersalne i nie zależą od klasy drogi czy też prędkości w ruchu swobodnym.

8.9. Obliczenie Poziomu Swobody Ruchu na odcinku wyjazdu

8.9.1. Wstępne określenie PSR na odcinku wyjazdu

Parametry ruchu obliczane w procedurze są funkcją: liczby pasów na jezdni głównej, liczby pasów na łącznicach, geometrii odcinków wyjazdu oraz granicznych wartości stopnia wykorzystania przepustowości.

Metoda opiera się na założeniu, że stosunek natężenia do przepustowości jest taki sam przed i za punktem wyłączenia (rys. 8.10).



Rys. 8.10. Schemat obszaru wyjazdu przyjęty do obliczeń PSR

Warunki ruchu ocena się w oparciu o stopień wykorzystania przepustowości na jezdni głównej i łącznicy wyjazdowej [3]:

$$X_{p2.2}^{c2} = X_{G,p2}^{a2} + X_Z^{b2} \quad [-] \quad (8.29)$$

gdzie:

- $X_{G,p3}$ – stopień wykorzystania przepustowości na odcinku występującym za odcinkiem wyjazdu na jezdni głównej,
- X_Z – stopień wykorzystania przepustowości na odcinku występującym za odcinkiem wyjazdu na łącznicy wyjazdowej,
- X_{p2} – uśredniony stopień wykorzystania przepustowości na odcinku wyjazdu,
- $a2, b2, c2$ – współczynniki równania w zależności od przyjętej geometrii.

Przyjmując założenie, że $a2 = b2 = c2$ oraz $X_{p2} = 1$ można wyznaczyć maksymalne natężenie ruchu na łącznicy wyjazdowej w zależności od przyjętego stopnia wykorzystania przepustowości X_{PSR} przyjętego z tab. 8.1.

Maksymalne natężenie ruchu na łącznicy wyjazdowej dla przyjętych PSR obliczamy z wykorzystaniem wzoru [3]:

$$Q_{o,Z,PSR} = C_{o,Z} * X_{PSR} * \left[1 - \left(\frac{Q_{o,G,p3}}{C_{o,G,p3} * X_{PSR}} \right)^a \right]^{\frac{1}{a}} \quad [E/h] \quad (8.30)$$

Uśredniony stopień wykorzystania przepustowości na odcinku wyjazdu obliczamy z wykorzystaniem wzoru [3]:

$$X_{p2.2} = [X_{G,p3}^a + X_Z^a]^{\frac{1}{a}} = \left[\left(\frac{Q_{o,G,p3}}{C_{o,G,p3}} \right)^a + \left(\frac{Q_{o,Z}}{C_{o,Z}} \right)^a \right]^{\frac{1}{a}} \quad [-] \quad (8.31)$$

gdzie:

- $Q_{o,Z,PSR}$ – maksymalne obliczeniowe natężenie ruchu na łącznicy wyjazdowej dla założonego stopnia wykorzystania przepustowości X_{PSR} [E/h],
- X_{PSR} – przyjęty stopień wykorzystania przepustowości zgodnie z tablicą 8.1,
- $Q_{o,G,p3}$ – obliczeniowe natężenie ruchu na 1 i 2 pasie jezdni głównej na odcinku występującej za odcinkiem wyjazdu [E/h],
- $Q_{o,Z}$ – natężenie obliczeniowe ruchu na łącznicy wyjazdowej [E/h],
- $C_{o,G,p3}$ – przepustowość obliczeniowa na 1 i 2 pasie jezdni głównej na odcinku występującej za odcinkiem wyjazdu [E/h],
- $C_{o,Z}$ – przepustowość obliczeniowa łącznicy wyjazdowej [E/h],
- a – współczynnik równania zależny od przyjętej geometrii zgodnie z tablicą 8.2

8.9.2. Korekta PSR wynikająca z długości i natężenia ruchu

Ze względu na możliwość występowania zakłóceń ruchu wynikających z długości pasa wyłączania (w szczególności dla odcinków krótszych niż 200 m) oraz/lub udziału pojazdów wyjeżdżających należy sprawdzić spadek średniej prędkości w stosunku do prędkości swobodnej na tym odcinku. Redukcję prędkości wynikającą z długości odcinka wyjazdu oraz udziału pojazdów wyjeżdżających, obliczamy ze wzoru:

$$\Delta V = (u_{GZ})^{1,117} * L_Z^{-0,357} * Q_{o,p2}^{0,837} \quad [\text{km/h}] \quad (8.32)$$

gdzie:

u_{GZ} – udział pojazdów wyjeżdżających,

L_Z – długość odcinka wjazdu [m].

Średnią prędkość potoku pojazdów obliczamy ze wzoru 8.27.

8.9.3. Obliczenie gęstości ruchu i Poziomu Swobody Ruchu

Obliczeniowa gęstość ruchu należy obliczyć zgodnie ze wzorem 8.28.

Poziom Swobody Ruchu ustalany jest przez porównanie gęstości obliczeniowej k_o do gęstości maksymalnych dla poszczególnych PSR (tab. 2.1). Gęstości maksymalne (kryteria PSR) są uniwersalne i nie zależą od klasy drogi czy też prędkości w ruchu swobodnym.

8.10. Ocena warunków ruchu w obszarze wjazdu, wyjazdu

Na analizowanych obszarze wjazdu lub wyjazdu należy znaleźć miejsce o najgorszych warunkach ruchu lub najmniejszej przepustowości tzw. „wąskie gardło” tj. i tak zidentyfikowane elementy drogi w tym obszarze należy przyjąć do końcowej oceny warunków ruchu.

Wybór tzw. „wąskiego gardła” polega na wyborze najniższego PSR na wszystkich analizowanych odcinkach:

- odcinek jezdni głównej poprzedzający odcinek wjazdu, wyjazdu,
- łącznica wjazdowa lub wjazdowa,
- odcinek wjazdu lub wyjazdu,
- odcinek jezdni głównej występujący za odcinkiem wjazdu, wyjazdu.

8.11. Ocena przyjętego rozwiązania

Ostatnim krokiem analizy przepustowości obszaru wjazdu lub wyjazdu jest ocena przyjętego rozwiązania. (braku przekroczenia przyjętych PSR wynikających z dokumentów wyższego rzędu [15] lub innych założeń wynikających np. z polityki transportowej na danym obszarze, przeprowadzonej analizy wielokryterialnej) analiza poziomu warunków ruchu jest zakończona. W przeciwnym razie należy wprowadzić zmiany, które pozwolą na poprawę Poziomu Swobody Ruchu na jednym z krytycznych elementów tego obszaru.

LITERATURA

- [1] Ministerstwo Transportu i Gospodarki Morskiej, *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. 2013 r. poz. 1409, z późn. zm. 1999.
- [2] Transportation Research Board, *Highway Capacity Manual 6th Edition: A Guide for Multimodal Mobility Analysis*. TRB, Washington D.C., 2016.
- [3] M. M. Baier, W. Brilon, G. Hartkopf, K. Lemke, R. Maier, and M. Schmotz, *HBS2015 Handbuch für die Bemessung von Straßenverkehrsanlagen. Teil A: Autobahnen*. Kommission Bemessung von Straßenverkehrsanlagen, Köln: Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (FGSV), 2015.
- [4] P. Śleszyński, “Delimitacja Miejskich Obszarów Funkcjonalnych stolic województw,” *Przegląd Geogr.*, vol. 85, no. 2, pp. 173–197, 2013.
- [5] “Godzina miarodajna i wahania ruchu dobowego. Dostępne w Internecie: <https://www.gddkia.gov.pl/pl/3215/Godzina-miarodajna-i-wahania-ruchu-dobowego> [dostęp z dnia 16.09.2018].”
- [6] *Stadia i skład dokumentacji projektowej dla dróg i mostów w fazie przygotowania zadań. Zarządzenie Generalnego Dyrektora Dróg Krajowych i Autostrad nr 17 z dnia 11 maja 2009 roku.*
- [7] “Wymagania, założenia i zalecenia do analiz i prognoz ruchu. Dostępne w Internecie: <https://www.gddkia.gov.pl/pl/992/zalozenia-do-prognoz-ruchu> [dostęp z dnia 16.09.2018].”
- [8] GDDKiA, “Metody szacowania Średniego Dobowego Ruchu Roczego (SDRR) na podstawie pomiarów krótkotrwałych - 24 godzinnych,” 2017.
- [9] W. Brillon, J. Geistefeldt, and M. Regler, “Reliability of freeway traffic flow: a stochastic concept of capacity,” in *Proceedings of the 16th International Symposium on Transportation and Traffic Theory*, Maryland, 2005, pp. 125–144.
- [10] M. Van Aerde and H. Rakha, “Multivariate calibration of single regime speed-flow-density relationships [road traffic management],” *Pacific Rim TransTech Conf. 1995 Veh. Navig. Inf. Syst. Conf. Proceedings. 6th Int. VNIS. A Ride into Futur.*, no. August 1995, pp. 334–341, 1995.
- [11] Transportation Research Board, *Highway Capacity Manual 6th Edition: A Guide for Multimodal Mobility Analysis*. TRB, Washington D.C., 2016.
- [12] S. Gaca, W. Suchorzewski, and M. Tracz, *Inżynieria ruchu drogowego. Teoria i praktyka*. Warszawa: Wydawnictwa Komunikacji i Łączności, 2008.
- [13] Ministerstwo Infrastruktury i Budownictwa, *Obwieszczenie Ministra Infrastruktury i Budownictwa w sprawie ogłoszenia jednolitego tekstu rozporządzenia Ministra Transportu i Gospodarki Morskiej w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać drogi publiczne i ich usytuowanie*. Polska, 2016, p. 77.
- [14] T. Sandecki, *Komentarz do Warunków Technicznych jakim powinny odpowiadać drogi publiczne i ich usytuowanie – Część II: Zagadnienia Techniczne*. Biuro Projektowo-

Badawcze Dróg i Mostów “Transprojekt-Warszawa”, 2002.

- [15] K. Jamroz et al., *Wytyczne poszerzenia jezdni o dodatkowe pasy ruchu w zależności od przewidywanego natężenia ruchu drogowego*. Ministerstwo Infrastruktury i Budownictwa, Polska, 2016, p. 58.
- [16] R. Krystek et al., *Węzły drogowe i autostradowe*. 2008.

ZAŁĄCZNIKI – PRZYKŁADY OBLICZENIOWE

Z1 Przykład oceny warunków ruchu na odcinku międzywęzłowym – metoda uproszczona

Rozważamy odcinek planowanej drogi ekspresowej o przekroju 2x2 pasy.

Dane wejściowe:

- Droga klasy S, liczba pasów w jednym kierunku $n = 2$;
- Droga w obszarze aglomeracji - tak;
- Odcinek jednorodny o długości $L_k = 3,0$ km;
- Pochylenie podłużne $i = 3\%$ (wzniesienie);
- Prędkość dopuszczalna dla drogi ekspresowej $V_d = 120$ km/h;
- Gęstość wjazdów i wyjazdów $g_{wz} = 0,3$ na km;
- Natężenie miarodajne z prognozy ruchu: $Q_m = Q_{50p} = 3150$ P/h;
- Udział pojazdów ciężkich z prognozy $u_c = 0,10$;
- Współczynnik wahań ruchu w godzinie $k_{15} = 0,97$.

Obliczenia:

- 1) Wpływ struktury ruchu i pochylenia podłużnego:

Z tab. 4.1 dla odcinka drogi klasy S o przekroju 2x2 o długości 3 km i pochyleniu wznoszącym 3% współczynniki przeliczeniowe wynoszą: dla samochodów lekkich $E_s = 1,07$ a dla samochodów ciężkich $E_c = 2,54$ (przy założeniu, że stopień obciążenia drogi $X < 0,75$). Udział pojazdów ciężkich to 0,1.

Ważony współczynnik przeliczeniowy na pojazdy umowne (wzór 4.4):

$$E_w = 1,07 (1 - 0,1) + 2,54 * 0,1 = 1,217 \text{ E/P}$$

- 2) Natężenie obliczeniowe ze wzoru (4.3):

$$Q_o = \frac{3150}{2 \times 0,97} * 1,217 = 1976 \text{ E/h/pas}$$

- 3) Prędkość w ruchu swobodnym wyznaczamy ze wzoru (5.2) dla drogi ekspresowej, w obszarze aglomeracji, przy gęstości wjazdów i wyjazdów $g_{wz} = 0,3$. Zakładamy dopuszczalną prędkość dla dróg ekspresowych $V_d = 120$ km/h.

$$V_{sw} = 83,5 - 10,7 * 0,3 + 7,7 * 0 + 0,334 * 120 = 120,37 \text{ km/h}$$

- 4) Natężenia krytyczne dla dróg ekspresowych o $V_{sw} = 120$ km/h z tab. 5.2:

$$Q_{ok,C} = 1742 \text{ E/h/pas} \text{ oraz}$$

$$Q_{ok,D} = 2051 \text{ E/h/pas}$$

Ponieważ mamy: $Q_{ok,C} < Q_o < Q_{ok,D} \rightarrow \text{PSR} = D$

Przewidywany poziom swobody ruchu to D.

- 5) Przepustowość bazowa drogi z tab. 5.2:

$$C_o = 2150 \text{ E/h/pas}$$

- 6) Stopień obciążenia drogi ze wzoru (5.5):

$$X = \frac{1976}{2150} = 0,92$$

- 7) Ponieważ $X > 0,75$ co jest niezgodne z założeniem zrobionym w punkcie (1), potrzebna jest korekta obliczeń. Dla $X > 0,75$ wartość współczynnika przeliczeniowego dla pojazdów ciężkich wynosi $E_c = 2,22$ (Tabela 4.1).

Poprawiony ważony współczynnik przeliczeniowy na pojazdy umowne (wzór 4.4):

$$E_w = 1,07 * (1 - 0,1) + 2,22 * 0,1 = 1,185 \text{ E/P}$$

- 8) Natężenie obliczeniowe wg wzoru (4.3):

$$Q_o = \frac{3150}{2 \times 0,97} * 1,185 = 1924 \text{ E/h/pas}$$

Ponieważ natężenie obliczeniowe nadal mieści się w przedziale natężeń krytycznych dla PSR D (patrz punkt 4), przewidywany poziom swobody ruchu to D.

- 9) Poprawiony stopień obciążenia drogi ze wzoru (5.5):

$$X = \frac{1924}{2150} = 0,895$$

Przepustowość jest wykorzystana w prawie 90%. Jest to mniej niż zalecane 90%, a więc jest pewna rezerwa przepustowości i prawdopodobieństwo załamania płynności ruchu nie jest duże.

Z2 Przykład oceny warunków ruchu na odcinku międzywęzłowym – metoda szczegółowa

Rozważamy krótki odcinek o dużym nachyleniu istniejącej autostrady o przekroju 2x3 pasy.

Dane wejściowe:

- Droga klasy A, liczba pasów w jednym kierunku $n = 3$;
- Droga w obszarze aglomeracji - nie;
- Odcinek jednorodny o długości $L_k = 1,0$ km;
- Pochylenie podłużne: $i = 5\%$ (wzniesienie), poprzedni odcinek $i = 1\%$;
- Prędkość dopuszczalna dla autostrady $V_d = 140$ km/h;
- Gęstość wjazdów i wyjazdów $g_{wz} = 0,43$ na km;
- Natężenie miarodajne z pomiarów ruchu: $Q_m = 3150$ P/h;
- Udział pojazdów ciężkich wg pomiarów $u_c = 0,15$;
- Współczynnik wahań ruchu w godzinie - nieznany.

Obliczenia:

- 1) Wpływ struktury ruchu i pochylenia podłużnego:

Zgodnie z punktem 4.4.3, dla krótkiego odcinka ($L < 3,0$ km) obliczamy pochylenie efektywne:

$$\Delta i = \max\{5, 2\} - \max\{1, 2\} = 3, \quad \Delta i > 0$$

$$p_{i,j} = 0,4(1 - 3) = -0,8$$

$$i_{ef,j} = 5 - 0,8 = 4,2\%$$

Z tab. 4.1 dla odcinka drogi klasy A o przekroju 2x3 o pochyleniu efektywnym wznoszącym 4,2% współczynniki przeliczeniowe (stosując interpolację) wynoszą: dla samochodów lekkich $E_s = 1,23$ a dla samochodów ciężkich $E_c = 2,45$. Udział pojazdów ciężkich to 0,15.

Ważony współczynnik przeliczeniowy na pojazdy umowne (wzór 4.4):

$$E_w = 1,23(1 - 0,15) + 2,45 * 0,15 = 1,413 \text{ E/P}$$

- 2) Współczynnik nierównomierności godzinowej k_{15} jest nieznany, więc szacujemy go ze wzoru (4.7):

$$k_{15} = 0,725 + 0,029 * \ln\left(\frac{3150}{3}\right) = 0,927$$

- 3) Natężenie obliczeniowe ze wzoru (4.3):

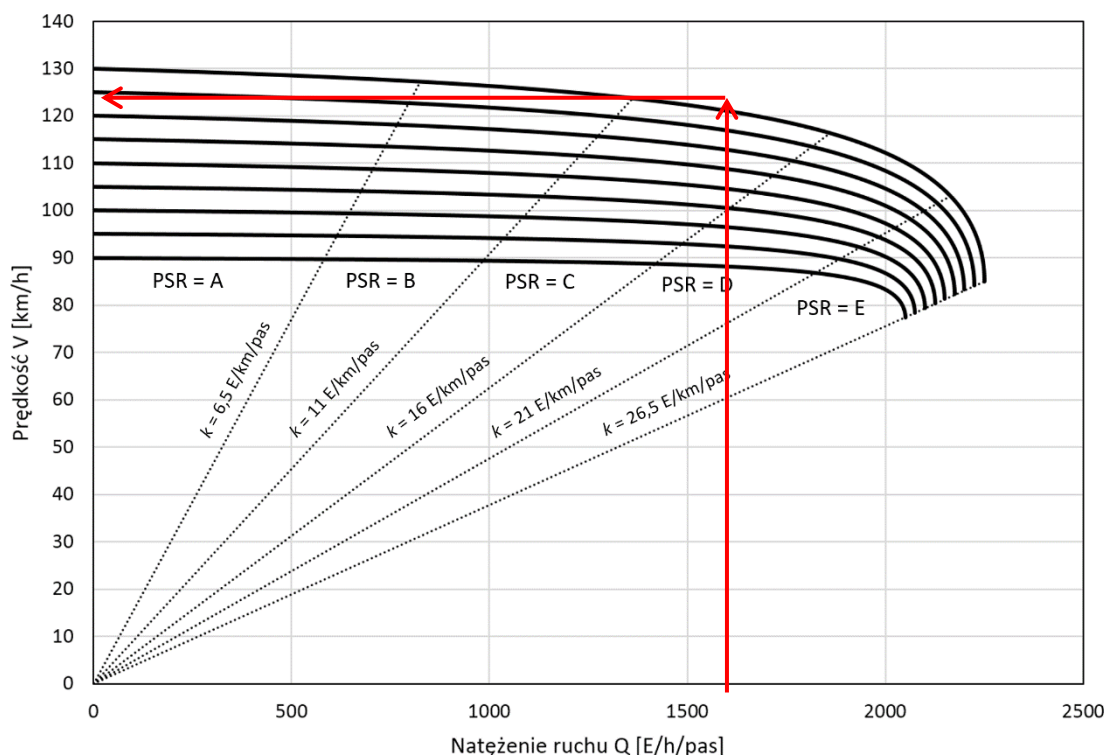
$$Q_o = \frac{3150}{3 \times 0,927} * 1,413 = 1600 \text{ E/h/pas}$$

Metody oceny warunków ruchu i obliczania przepustowości dróg poza aglomeracjami miejskimi – drogi dwujezdniowe klasy A, S, GP, G

- 4) Prędkość w ruchu swobodnym wyznaczamy ze wzoru (5.2) dla autostrady, poza obszarem aglomeracji, przy gęstości wjazdów i wyjazdów $g_{wz} = 0,43$. Dopuszczalną prędkość dla autostrad $V_d = 140$ km/h.

$$V_{sw} = 82,2 - 10,7 * 0,43 + 7,7 * 1 + 0,334 * 140 = 132,1 \text{ km/h}$$

- 5) Z wykresu 6.2 wyznaczamy prędkość potoku pojazdów dla $V_{sw} = 132,1$ km/h oraz $Q_o = 1600$ E/h/pas:



Prędkość potoku pojazdów z wykresu: $V = 124$ km/h. Gęstość obliczeniowa:

$$k_o = \frac{1600}{124} = 12,9 \text{ E/km}$$

Przewidywany poziom swobody ruchu to C.

- 6) Przepustowość bazowa autostrady z tab. 5.2:

$$C_o = 2250 \text{ E/h/pas}$$

- 7) Stopień obciążenia drogi ze wzoru (5.5):

$$X = \frac{1600}{2250} = 0,71$$

Z3 Przykład oceny warunków ruchu na obszarze przeplatania

Z3a Odcinek przeplatania zlokalizowany na jezdni głównej

Przykład obliczeniowy przedstawia procedurę analizy szczegółowej dla odcinka przeplatania zlokalizowanego na jezdni głównej (rys. Z3.1).



Rys. Z3.1a. Przykład odcinka przeplatania zlokalizowanego na jezdni głównej



Rys. Z3.1b. Przykład odcinka przeplatania zlokalizowanego na jezdni głównej

K.1 Przyjęcie schematu obszaru przeplatania i podział na odcinki charakterystyczne

Zgodnie z rysunkiem 7.7 przyjęto schemat odcinka przeplatania P-2 do obliczeń.

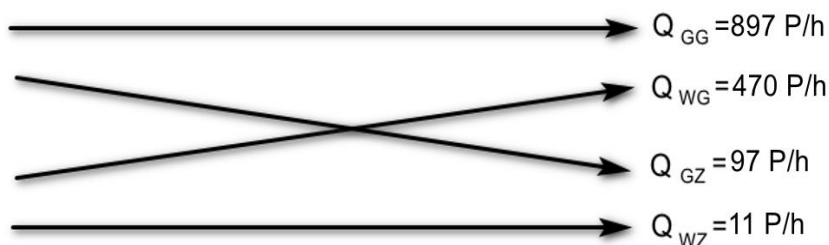
K.2 Charakterystyka obszaru przeplatania

1. Parametry geometryczna drogi i związane z organizacją ruchu

- klasa drogi: A, 2x2,
- lokalizacja węzła: obszar aglomeracyjny,
- usytuowanie obszaru przeplatania: jezdnia główna
- liczba pasów ruchu na jezdni głównej przed i za odcinkiem przeplatania $n_G = 2$,
- liczba pasów ruchu na łącznicy wjazdowej i wyjazdowej: $n_W, n_Z = 1$,
- liczba pasów w obszarze przeplatania: $n_{p2} = 3$,
- pochylenie drogi, profil podłużny: 1%,
- gęstość wjazdów i wyjazdów: $g_{wz} = 0,8/km$,
- ograniczenie prędkości dopuszczalnej: $V_d = 80 km/h$,
- długość odcinka przeplatania: $L_P = 390 m$.

2. Parametry związane z natężeniem ruchu

- natężenie miarodajne na poszczególnych kierunkach przedstawia rysunek Z3.2.



Rys. Z3.2. Rozkład ruchu na odcinku przeplatania

$$Q_{GG} = 897 P/h$$

$$Q_{GZ} = 97 P/h$$

$$Q_{WG} = 470 P/h$$

$$Q_{WZ} = 11 P/h$$

- udział pojazdów ciężarowych

$$u_{c,GG} = 0,48$$

$$u_{c,GZ} = 0,29$$

$$u_{c,WG} = 0,07$$

$$u_{c,WZ} = 0,00$$

- współczynnik nierównomierności godzinowej: $k_{15} = 0,913$,

Metody oceny warunków ruchu i obliczania przepustowości dróg poza aglomeracjami miejskimi – drogi dwujezdniowe klasy A, S, GP, G

- wskaźniki przeliczeniowe pojazdów rzeczywistych na umowne (tablica 4.1): $E_s = 1,00, E_c = 2,40$
- współczynnik przeliczeniowy pojazdów rzeczywistych na pojazdy umowne wyznaczamy ze wzoru 4.4

$$E_{W12,GG} = 1,00(1 - 0,48) + 2,40 * 0,48 = 1,67$$

$$E_{W,GZ} = 1,00(1 - 0,29) + 2,40 * 0,29 = 1,41$$

$$E_{W,WG} = 1,00(1 - 0,07) + 2,40 * 0,07 = 1,10$$

$$E_{W,WZ} = 1,00(1 - 0,00) + 2,40 * 0,00 = 1,00$$

- natężenie obliczeniowe na poszczególnych kierunkach ruchu obliczamy ze wzorów 7.1, 7.11-7.12

$$Q_{o12,GG,p1} = \frac{897}{0,913} * 1,67 = 1641 \text{ E/h}$$

$$Q_{o,GZ} = \frac{97}{0,913} * 1,41 = 150 \text{ E/h}$$

$$Q_{o,WG} = \frac{470}{0,913} * 1,10 = 566 \text{ E/h}$$

$$Q_{o,WZ} = \frac{11}{0,913} * 1,00 = 12 \text{ E/h}$$

$$Q_{o,p2} = 1641 + 150 + 566 + 12 = 2369 \text{ E/h}$$

$$Q_{o,PR} = 150 + 566 = 716 \text{ E/h}$$

$$u_{PR} = \frac{716}{2369} = 0,30$$

3. Graniczna wartość PSR - na odcinkach dróg klasy A, S, GP przechodzących przez aglomerację - D (warunkowo E),

4. Przepustowość bazowa (tablica 7.2) – schemat przeplatania P2

$$a = 1,5$$

$$C_{b,G,1} = C_{b,G,2} = 2100 \text{ E/h/pas}$$

$$C_{b,W} = 1700 \text{ E/h/pas}$$

$$C_{b,Z} = 1700 \text{ E/h/pas}$$

K.3 Jezdnia główna (G_{p1})

K3.1 Obliczenie natężenia obliczeniowego ($Q_{o,G,p1}$) ze wzoru 7.7

$$Q_{o,G,p1} = 1641 + 150 = 1791 \text{ E/h}$$

K3.2 Szacowanie prędkości w ruchu swobodnym (V_{sw}) ze wzoru 5.1

$$V_{sw} = 82,2 - 10,7 * 0,8 + 7,7 * 0 + 0,334 * 80 = 100,4 \text{ km/h}$$

K3.3 Szacowanie przepustowości obliczeniowej ($C_{o,G,p1}$) ze wzoru 7.16

$$C_{o,G,p1} = 2 * 2100 = 4200 \text{ E/h}$$

K3.4 Obliczenie stopnia wykorzystania przepustowości na jezdni głównej ($X_{G,p1}$) ze wzoru 7.17

$$X_{G,p1} = \frac{1791}{4200} = 0,426$$

K3.5 Określenie PSR na jezdni głównej z tablicy 7.1

$$X_{G,p1} = 0,426 < 0,55 \rightarrow \text{PSR B}$$

K4. Łącznica wjazdowa (W)

K4.1 Obliczenie natężenia obliczeniowego ($Q_{o,W}$) ze wzoru 7.8

$$Q_{o,W} = 566 + 12 = 578 \text{ E/h}$$

K4.2 Wybór przepustowości obliczeniowej ($C_{o,W}$) z tablicy 7.2

$$C_{o,W} = 1700 \text{ E/h}$$

K4.3 Obliczenie stopnia wykorzystania przepustowości na łącznicy wjazdowej (X_W) ze wzoru 7.17

$$X_W = \frac{578}{1700} = 0,34$$

K4.4 Określenie PSR na łącznicy wjazdowej z tablicy 7.1

$$X_W = 0,34 < 0,55 \rightarrow \text{PSR B}$$

K.5. Segment początkowy (p2.1), segment końcowy (p2.2)

K.5.1. Obliczenie natężenia obliczeniowego ($Q_{o,p2}$) ze wzoru 7.11

$$Q_{o,p2} = 1641 + 150 + 566 + 12 = 2369 \text{ E/h}$$

K.5.2 Szacowanie przepustowości obliczeniowej ($C_{o,p2}$)

Przepustowość obliczeniową należy przyjąć z kroku K.3.3

K.6. Wstępne określenie PSR

K.6.1. Obliczenie stopnia wykorzystania przepustowości na odcinku przeplatania ($X_{p2,1}$) – odcinek początkowy ze wzoru 7.20

$$X_{p2,1} = \left[\left(\frac{1791}{4200} \right)^{1,5} + \left(\frac{578}{1700} \right)^{1,5} \right]^{\frac{1}{1,5}} = 0,610$$

K.6.2. Określenie PSR dla segmentu początkowego na podstawie tablicy 7.1

$$X_{p2,1} = 0,610 < 0,78 \rightarrow \text{PSR C}$$

K.6.3 Obliczenie stopnia wykorzystania przepustowości na odcinku przeplatania ($X_{p2,2}$) – odcinek końcowy ze wzoru 7.23

$$X_{p2,2} = \left[\left(\frac{2207}{4200} \right)^{1,5} + \left(\frac{162}{1700} \right)^{1,5} \right]^{\frac{1}{1,5}} = 0,552$$

K.6.4 Określenie PSR dla segmentu końcowego na podstawie tablicy 7.1

$$X_{p2,2} = 0,552 < 0,78 \rightarrow PSR C$$

K.7 Korekta PSR

K.7.1 Obliczenie średniej prędkości podróży (V) wzorów 7.25 – 7.26

$$\Delta V = 2,394 * (0,3)^{0,15} * 390^{-0,364} * 2369^{0,578} = 20,3 \text{ km/h}$$

$$V = 100,4 - 20,3 = 80,1 \text{ km/h}$$

K.7.2 Obliczenie gęstości obliczeniowej ruchu (k_o) ze wzoru 7.27

$$k_o = \frac{2369}{80,1 * 3} = 9,86 \text{ E/km/pas}$$

K.7.3 Określenie PSR na odcinku przeplatania z tablicy 2.1

$$k_o = 9,86 \text{ E/km/pas} < 11,0 \text{ E/km/pas} \rightarrow PSR B$$

K.8 Jezdnia główna (G_{p3})

K.8.1 Obliczenie natężenia obliczeniowego ($Q_{o,G,p3}$) ze wzoru 7.9

$$Q_{o,G,p3} = 1641 + 566 = 2207 \text{ E/h}$$

K.8.2 Szacowanie prędkości w ruchu swobodnym (V_{sw}) ze wzoru 5.1

$$V_{sw} = 82,2 - 10,7 * 0,8 + 7,7 * 0 + 0,334 * 80 = 100,4 \text{ km/h}$$

K.8.3 Szacowanie przepustowości obliczeniowej ($C_{o,G,p3}$) ze wzoru 7.16

$$C_{o,G,p3} = 2 * 2100 = 4200 \text{ E/h}$$

K.8.4 Obliczenie stopnia wykorzystania przepustowości na jezdni głównej ($X_{G,p3}$) ze wzoru 7.17

$$X_{G,p3} = \frac{2207}{4200} = 0,525$$

K.8.5 Określenie PSR na jezdni głównej z tablicy 7.1

$$X_{G,p3} = 0,525 < 0,55 \rightarrow PSR B$$

K.9 Łącznica wyjazdowa (Z)

K.9.1 Obliczenie natężenia obliczeniowego ($Q_{o,Z}$) ze wzoru 7.10

$$Q_{o,Z} = 150 + 12 = 162 \text{ E/h}$$

K.9.2 Wybór przepustowości obliczeniowej ($C_{o,Z}$) z tablicy 7.2

$$C_{o,Z} = 1700 \text{ E/h}$$

K.9.3 Obliczenie stopnia wykorzystania przepustowości na łącznicy wyjazdowej (X_Z) ze wzoru 7.17

$$X_Z = \frac{162}{1700} = 0,095$$

K.9.4 Określenie PSR na łącznicy wyjazdowej z tablicy 7.1

$$X_Z = 0,095 < 0,3 \rightarrow PSR A$$

K.10 Ocena warunków ruchu na obszarze przeplatania

K.10.1 Wybór krytycznego elementu na obszarze przeplatania

Odcinek	PSR	Krok
Jezdnia główna (G_{p1})	B	K.3
Łącznica wjazdowa (W)	B	K.4
Odcinek przeplatania ($p2$)	C	K.6-7
Jezdnia główna (G_{p3})	B	K.8
Łącznica wyjazdowa (Z)	A	K.9
Obszar przeplatania	C	K.10

K.10.2 Określenie poziomu swobody ruchu na obszarze przeplatania

Na analizowanym obszarze przeplatania odcinkiem o najgorszych warunkach ruchu jest odcinek przeplatania, na którym występuje PSR C, zatem na całym obszarze przeplatania występuje także PSR C.

K.11 Ocena przyjętego rozwiązania

W analizowanej godzinie nie został przekroczony graniczny poziom swobody ruchu, który dla obszaru aglomeracji wynosi D.

Z3b Odcinek przeplatania zlokalizowany na jezdni zbierająco-rozprowadzającej

Przykład obliczeniowy przedstawia procedurę analizy szczegółowej dla odcinka przeplatania zlokalizowanego na jezdni zbierająco-rozprowadzającej (rys. Z3.3).



Rys. Z3.3a. Przykład odcinka przeplatania zlokalizowanego na jezdni zbierająco-rozprowadzającej



Rys. Z3.3b. Przykład odcinka przeplatania zlokalizowanego na jezdni zbierająco-rozprowadzającej

K.1 Przyjęcie schematu obszaru przeplatania i podział na odcinki charakterystyczne

Zgodnie z rysunkiem 7.7 przyjęto schemat odcinka przeplatania P-1 do obliczeń.

K.2 Charakterystyka obszaru przeplatania

1. Parametry geometryczna drogi i związane z organizacją ruchu

- klasa drogi: S, 2x2,
- lokalizacja węzła: obszar aglomeracyjny,
- usytuowanie obszaru przeplatania: jezdnia zbierająco-rozprowadzająca,
- liczba pasów ruchu na jezdni głównej przed i za odcinkiem przeplatania $n_G = 1$,
- liczba pasów ruchu na łącznicy wjazdowej i wyjazdowej: $n_W, n_Z = 1$,
- liczba pasów w obszarze przeplatania: $n_{p2} = 2$,
- pochylenie drogi, profil podłużny: 0%,
- gęstość wjazdów i wyjazdów: $g_{WZ} = 1/km$,
- ograniczenie prędkości dopuszczalnej: $V_d = 60 km/h$,
- długość odcinka przeplatania: $L_P = 140 m$.

2. Parametry związane z natężeniem ruchu

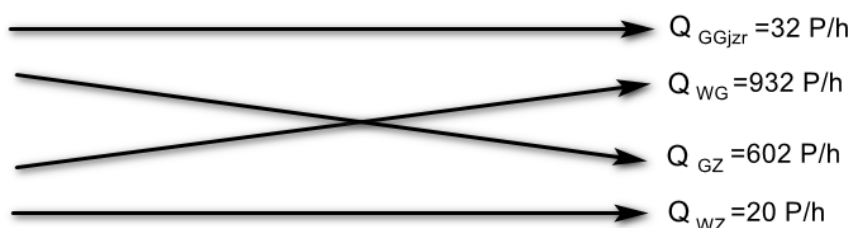
- natężenie miarodajne na poszczególnych kierunkach przedstawia rysunek Z3.4.

$$Q_{12,GG} = 32 P/h$$

$$Q_{GZ} = 602 P/h$$

$$Q_{WG} = 932 P/h$$

$$Q_{WZ} = 20 P/h$$



Rys. Z3.4. Rozkład ruchu na odcinku przeplatania

- udział pojazdów ciężarowych

$$u_{c12,GG} = 0,28$$

$$u_{c,GZ} = 0,02$$

$$u_{c,WG} = 0,01$$

$$u_{c,WZ} = 0,00$$

- współczynnik nierównomierności godzinowej: $k_{15} = 0,977$,

Metody oceny warunków ruchu i obliczania przepustowości dróg poza aglomeracjami miejskimi – drogi dwujezdniowe klasy A, S, GP, G

- wskaźniki przeliczeniowe pojazdów rzeczywistych na umowne (tablica 4.7): $E_s = 1,00, E_c = 2,40$
- współczynnik przeliczeniowy pojazdów rzeczywistych na pojazdy umowne wyznaczamy ze wzoru 4.4

$$E_{W12,GG} = 1,00(1 - 0,28) + 2,40 * 0,28 = 1,39$$

$$E_{W,GZ} = 1,00(1 - 0,02) + 2,40 * 0,02 = 1,03$$

$$E_{W,WG} = 1,00(1 - 0,01) + 2,40 * 0,01 = 1,01$$

$$E_{W,WZ} = 1,00(1 - 0,00) + 2,40 * 0,00 = 1,00$$

- natężenie miarodajne na poszczególnych kierunkach ruchu obliczamy ze wzorów 7.1, 7.11-7.12, 7.14

$$Q_{o12,GG} = \frac{32}{0,977} * 1,39 = 46 \text{ E/h}$$

$$Q_{o,GZ} = \frac{602}{0,977} * 1,03 = 633 \text{ E/h}$$

$$Q_{o,WG} = \frac{932}{0,977} * 1,01 = 967 \text{ E/h}$$

$$Q_{o,WZ} = \frac{20}{0,977} * 1,00 = 20 \text{ E/h}$$

$$Q_{o,p2} = 46 + 633 + 967 + 20 = 1666 \text{ E/h}$$

$$Q_{o,PR} = 633 + 967 = 1600 \text{ E/h}$$

$$u_{PR} = \frac{1600}{1666} = 0,96$$

5. Graniczna wartość PSR - na odcinkach dróg klasy A, S, GP przechodzących przez aglomerację - D (warunkowo E),

6. Przepustowość bazowa (tablica 7.2) – schemat przeplatania P1

$$a = 1,4$$

$$C_{b,G,1} = C_{b,G,2} = 1900 \text{ E/h/pas}$$

$$C_{b,W} = 1700 \text{ E/h/pas}$$

$$C_{b,Z} = 1700 \text{ E/h/pas}$$

K.3 Jezdnia główna (G_{p1})

K3.1 Obliczenie natężenia obliczeniowego ($Q_{o,G,p1}$) ze wzoru 7.7

$$Q_{o,G,p1} = 46 + 633 = 679 \text{ E/h}$$

K3.2 Szacowanie prędkości w ruchu swobodnym (V_{sw}) ze wzoru 7.15

$$V_{sw} = 60 + 20 = 80 \text{ km/h}$$

K3.3 Szacowanie przepustowości obliczeniowej ($C_{o,G,p1}$) ze wzoru 7.16

$$C_{o,G,p1} = 1 * 1900 = 1900 E/h$$

K3.4 Obliczenie stopnia wykorzystania przepustowości na jezdni głównej ($X_{G,p1}$) ze wzoru 7.17

$$X_{G,p1} = \frac{679}{1900} = 0,357$$

K3.5 Określenie PSR na jezdni głównej z tablicy 7.1

$$X_{G,p1} = 0,357 < 0,55 \rightarrow PSR B$$

K4. Łącznica wjazdowa (W)

K4.1 Obliczenie natężenia obliczeniowego ($Q_{o,W}$) ze wzoru 7.8

$$Q_{o,W} = 967 + 20 = 987 E/h$$

K4.2 Wybór przepustowości obliczeniowej ($C_{o,W}$) z tablicy 7.2

$$C_{o,W} = 1700 E/h$$

K4.3 Obliczenie stopnia wykorzystania przepustowości na łącznicy wjazdowej (X_W) ze wzoru 7.17

$$X_W = \frac{987}{1700} = 0,581$$

K4.4 Określenie PSR na łącznicy wjazdowej z tablicy 7.1

$$X_W = 0,581 < 0,78 \rightarrow PSR C$$

K.5. Segment początkowy (p2.1), segment końcowy (p2.2)

K.5.1. Obliczenie natężenia obliczeniowego ($Q_{o,p2}$) ze wzoru 7.11

$$Q_{o,p2} = 46 + 633 + 967 + 20 = 1666 E/h$$

K.5.2 Szacowanie przepustowości obliczeniowej ($C_{o,p2}$)

Przepustowość obliczeniową należy przyjąć z kroku K.3.3

K.6. Wstępne określenie PSR

K.6.1. Obliczenie stopnia wykorzystania przepustowości na odcinku przeplatania ($X_{p2,1}$) – odcinek początkowy ze wzoru 7.20

$$X_{p2,1} = \left[\left(\frac{679}{1900} \right)^{1,4} + \left(\frac{987}{1700} \right)^{1,4} \right]^{\frac{1}{1,4}} = 0,778$$

K.6.2. Określenie PSR dla segmentu początkowego na podstawie tablicy 7.1

$$X_{p2,1} = 0,778 < 0,78 \rightarrow PSR C$$

K.6.3 Obliczenie stopnia wykorzystania przepustowości na odcinku przeplatania ($X_{p2,2}$) – odcinek końcowy ze wzoru 7.23

$$X_{p2.2} = \left[\left(\frac{1013}{1900} \right)^{1,4} + \left(\frac{653}{1700} \right)^{1,4} \right]^{\frac{1}{1,4}} = 0,756$$

K.6.4 Określenie PSR dla segmentu końcowego na podstawie tablicy 7.1

$$X_{p2,2} = 0,756 < 0,78 \rightarrow PSR C$$

K.7 Korekta PSR

K.7.1 Obliczenie średniej prędkości podróży (V) wzorów 7.25 – 7.26

$$\Delta V = 2,394 * (0,96)^{0,15} * 140^{-0,364} * 1666^{0,578} = 28,7 \text{ km/h}$$

$$V = 80,0 - 28,7 = 51,3 \text{ km/h}$$

K.7.2 Obliczenie gęstości obliczeniowej ruchu (k_o) ze wzoru 7.27

$$k_o = \frac{1666}{51,3 * 2} = 16,24 \text{ E/km/pas}$$

K.7.3 Określenie PSR na odcinku przeplatania z tablicy 2.1

$$k_o = 16,23 \text{ E/km/pas} < 21,0 \text{ E/km/pas} \rightarrow PSR D$$

K.8 Jezdnia główna (G_{p3})

K.8.1 Obliczenie natężenia obliczeniowego ($Q_{o,G,p3}$) ze wzoru 7.9

$$Q_{o,G,p3} = 46 + 967 = 1013 \text{ E/h}$$

K.8.2 Szacowanie prędkości w ruchu swobodnym (V_{sw}) ze wzoru 7.15

$$V_{sw} = 60 + 20 = 80 \text{ km/h}$$

K.8.3 Szacowanie przepustowości obliczeniowej ($C_{o,G,p3}$) ze wzoru 7.16

$$C_{o,G,p3} = 1 * 1900 = 1900 \text{ E/h}$$

K.8.4 Obliczenie stopnia wykorzystania przepustowości na jezdni głównej ($X_{G,p3}$) ze wzoru 7.17

$$X_{G,p3} = \frac{1013}{1900} = 0,533$$

K.8.5 Określenie PSR na jezdni głównej z tablicy 7.1

$$X_{G,p3} = 0,533 < 0,55 \rightarrow PSR B$$

K.9 Łącznica wyjazdowa (Z)

K.9.1 Obliczenie natężenia obliczeniowego ($Q_{o,Z}$) ze wzoru 7.10

$$Q_{o,Z} = 633 + 20 = 653 \text{ E/h}$$

K.9.2 Wybór przepustowości obliczeniowej ($C_{o,Z}$) z tablicy 7.2

$$C_{o,Z} = 1700 \text{ E/h}$$

K.9.3 Obliczenie stopnia wykorzystania przepustowości na łącznicy wyjazdowej (X_Z) ze wzoru 7.17

$$X_Z = \frac{653}{1700} = 0,384$$

K.9.4 Określenie PSR z tablicy 7.1

$$X_Z = 0,384 < 0,55 \rightarrow PSR B$$

K.10 Ocena warunków ruchu na obszarze przeplatania

K.10.1 Wybór krytycznego elementu na obszarze przeplatania

Odcinek	PSR	Krok
Jezdnia główna (G_{p1})	B	K.3
Łącznica wjazdowa (W)	C	K.4
Odcinek przeplatania ($p2$)	D	K.6-7
Jezdnia główna (G_{p3})	B	K.8
Łącznica wyjazdowa (Z)	B	K.9
Obszar przeplatania	D	K.10

K.10.2 Określenie poziomu swobody ruchu na obszarze przeplatania

Na analizowanym obszarze przeplatania odcinkiem o najgorszych warunkach ruchu jest odcinek przeplatania, na którym występuje PSR D, zatem na całym obszarze przeplatania występuje także PSR D.

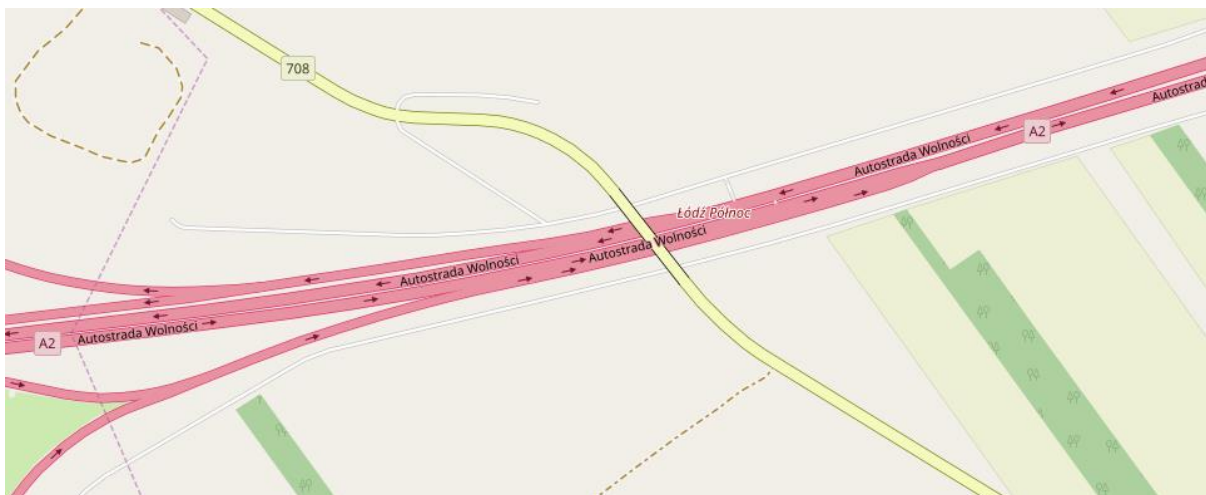
K.11 Ocena przyjętego rozwiązania

W analizowanej godzinie nie został przekroczony graniczny poziom swobody ruchu, który dla obszaru aglomeracji wynosi D.

Z4 Przykład oceny warunków ruchu na wjazdach i wyjazdach

Z4a Obszar wjazdu dwupasowego

Przykład obliczeniowy przedstawia procedurę analizy szczegółowej dla odcinka wjazdu na jezdnię głównej o przekroju 2 pasowym (rys. Z4.1).



Rys. Z4.1a. Przykład odcinka wjazdu na jezdnię głównej o przekroju 2 pasowym



Rys. Z4.1a. Przykład odcinka wjazdu na jezdnię głównej o przekroju 2 pasowym

K.1 Przyjęcie schematu obszaru wjazdu i podział na odcinki charakterystyczne

Zgodnie z rysunkiem 8.7 przyjęto schemat odcinka wjazdu W-3.2 do obliczeń.

K.2 Charakterystyka obszaru wjazdu

1. Parametry geometryczna drogi i związane z organizacją ruchu

- klasa drogi: A, 2x3,
- lokalizacja węzła: obszar zamiejski,
- liczba pasów ruchu na jezdni głównej przed i za odcinkiem wjazdu $n_G = 3$,
- liczba pasów ruchu na łącznicy wjazdowej: $n_W = 2$,
- liczba pasów ruchu na obszarze łącznicy wjazdowej: $n_W = 4$,
- pochylenie drogi, profil podłużny: 0%,
- gęstość wjazdów i wyjazdów: $g_{WZ} = 0,5/km$,
- ograniczenie prędkości dopuszczalnej: $V_d = 140 km/h$,
- długość zmiany pasa ruchu: $L_W = 1770 m$.

2. Parametry związane z natężeniem ruchu

- natężenie miarodajne na poszczególnych kierunkach

$$Q_{GG,s} = Q_s = 862 P/h$$

$$Q_{GG,c} = Q_c = 41 P/h$$

$$Q_{WG,s} = 903 P/h$$

$$Q_{WG,c} = 31 P/h$$

$$Q_{WG} = Q_{WG,s} + Q_{WG,c} = 934 P/h$$

- udział pojazdów ciężarowych

$$u_{c12,p1} = \frac{42}{741} = 0,057$$

$$u_{c,WG} = 0,033$$

$$u_{c12,p3} = \frac{73}{1675} = 0,044$$

- współczynnik nierównomierności godzinowej: $k_{15} = 0,978$,
- wskaźniki przeliczeniowe pojazdów rzeczywistych na umowne (tablica 4.7): $E_s = 1,00, E_c = 1,94$
- współczynnik przeliczeniowy pojazdów rzeczywistych na pojazdy umowne wyznaczamy ze wzoru 4.4

$$E_{W12,p1} = 1,00(1 - 0,057) + 1,94 * 0,057 = 1,054$$

$$E_{W,WG} = 1,00(1 - 0,033) + 1,94 * 0,033 = 1,031$$

$$E_{W12,p3} = 1,00(1 - 0,044) + 1,94 * 0,044 = 1,041$$

- obliczenie natężenia miarodajnego ruchu na dwóch skrajnych pasach ruchu jezdni głównej ze wzorów 8.3-8.4

$$Q_{12,p1,s} = 305,95 + 0,456 * 862 = 699 P/h$$

$$Q_{12,p1,c} = 2,18 + 0,962 * 41 = 42 P/h$$

- natężenie obliczeniowe na poszczególnych kierunkach ruchu obliczamy ze wzoru 8.1

$$Q_{o12,p1} = \frac{699 + 42}{0,978} * 1,054 = 799 E/h$$

$$Q_{o,WG} = \frac{934}{0,978} * 1,031 = 985 E/h$$

$$Q_{o12,p3} = \frac{1675}{0,978} * 1,041 = 1783 E/h$$

3. **Graniczna wartość PSR - na odcinkach dróg klasy A, S, GP zamiejski - C (warunkowo D),**
4. **Przepustowość bazowa (tablica 7.2) – schemat wjazdu W-3.2**

$$a = 1,05$$

$$C_{b,G,p1} = C_{b,G,p2} = 2250 E/h/pas$$

$$C_{b,W} = 3400 E/h/pas$$

K.3 Jezdnia główna (G_{p1})

K3.1 Obliczenie natężenia obliczeniowego ($Q_{o,G,p1}$) ze wzoru 8.11

$$Q_{o,G,p1} = Q_{o12,p1} = 799 E/h$$

K3.2 Szacowanie prędkości w ruchu swobodnym (V_{sw}) ze wzoru 5.1

$$V_{sw} = 82,2 - 10,7 * 0,5 + 7,7 * 1 + 0,334 * 140 = 131,3 km/h$$

K3.3 Szacowanie przepustowości obliczeniowej ($C_{o,G,p1}$) ze wzoru 8.19

$$C_{o,G,p1} = 2 * 2250 = 4500 E/h$$

K3.4 Obliczenie stopnia wykorzystania przepustowości na jezdni głównej ($X_{G,p1}$) ze wzoru 8.20

$$X_{G,p1} = \frac{799}{4500} = 0,178$$

K3.5 Określenie PSR na jezdni głównej z tablicy 8.1

$$X_{G,p1} = 0,178 < 0,30 \rightarrow PSR A$$

K4. Łącznica wjazdowa (W)

K4.1 Obliczenie natężenia obliczeniowego ($Q_{o,W}$) ze wzoru 8.12

$$Q_{o,W} = Q_{o,WG} = 985 E/h$$

K4.2 Wybór przepustowości obliczeniowej ($C_{o,W}$) z tablicy 8.20

$$C_{o,W} = 3400 E/h$$

K4.3 Obliczenia stopnia wykorzystania przepustowości (X_W) ze wzoru 8.22

$$X_W = \frac{985}{3400} = 0,290$$

K4.4 Określenie PSR na łącznicy wjazdowej z tablicy 8.1

$$X_W = 0,290 < 0,30 \rightarrow PSR A$$

K.5.Odcinek wjazdu (p.2)

K.5.1. Obliczenie natężenia obliczeniowego ($Q_{o,p2}$) ze wzoru 8.13

$$Q_{o,p2} = Q_{o,p2} = Q_{o12,p3} = 1783 E/h$$

K.5.2 Szacowanie przepustowości obliczeniowej ($C_{o,p2}$)

Przepustowość obliczeniową należy przyjąć z kroku K.3.3

K.6. Wstępne określenie PSR

K.6.1. Obliczenie stopnia wykorzystania przepustowości na odcinku wjazdu (X_{p2}) ze wzoru 8.25

$$X_{p2} = \left[\left(\frac{799}{4500} \right)^{1,05} + \left(\frac{985}{3400} \right)^{1,05} \right]^{\frac{1}{1,05}} = 0,453$$

K.6.2. Określenie PSR na odcinku wjazdu na podstawie tablicy 8.1

$$X_{p2.1} = 0,453 < 0,55 \rightarrow PSR B$$

K.7 Korekta PSR

K.7.1 Obliczenie średniej prędkości przejazdu (V) wzorów 8.26 – 8.27

$$\Delta V = (0,55)^{0,295} * 1770^{-0,95} * 1783^{1,108} = 2.8 km/h$$

$$V = 131,3 - 2.8 = 128.5 km/h$$

K.7.2 Obliczenie gęstości obliczeniowej ruchu (k_o) ze wzoru 8.28

$$k_o = \frac{1783}{128,5 * 4} = 3,47 E/km/pas$$

K.7.3 Określenie PSR na odcinku wjazdu z tablicy 2.1

$$k_o = 3,47 E/km/pas < 6,5 E/km/pas \rightarrow PSR A$$

K.8 Jezdnia główna (G_{p3})

K.8.1 Obliczenie natężenia obliczeniowego ($Q_{o,G,p3}$) ze wzoru 8.13

$$Q_{o,G,p3} = Q_{o12,p3} = 1783 E/$$

K.8.2 Szacowanie prędkości w ruchu swobodnym (V_{sw}) ze wzoru 5.1

$$V_{sw} = 131,3 km/h$$

K.8.3 Szacowanie przepustowości obliczeniowej ($C_{o,G,p3}$) ze wzoru 8.19

$$C_{o,G,p1} = 2 * 2250 = 4500 E/h$$

K.8.4 Obliczenia stopnia wykorzystania przepustowości jezdni głównej ($X_{G,p3}$) ze wzoru 8.22

$$X_{G,p3} = \frac{1783}{4500} = 0,396$$

K.8.5 Określenie PSR na jezdni głównej z tablicy 8.1

$$X_{G,p3} = 0,396 < 0,55 \rightarrow PSR B$$

K.9 Ocena warunków ruchu na obszarze wjazdu

K.9.1 Wybór krytycznego elementu na obszarze wjazdu

Odcinek	PSR	Krok
Jezdnia główna (G_{p1})	A	K.3
Łącznica wjazdowa (W)	A	K.4
Odcinek wjazdu ($p2$)	B	K.6-7
Jezdnia główna (G_{p3})	B	K.8

K.9.2 Określenie poziomu swobody ruchu dla całego obszaru wjazdu

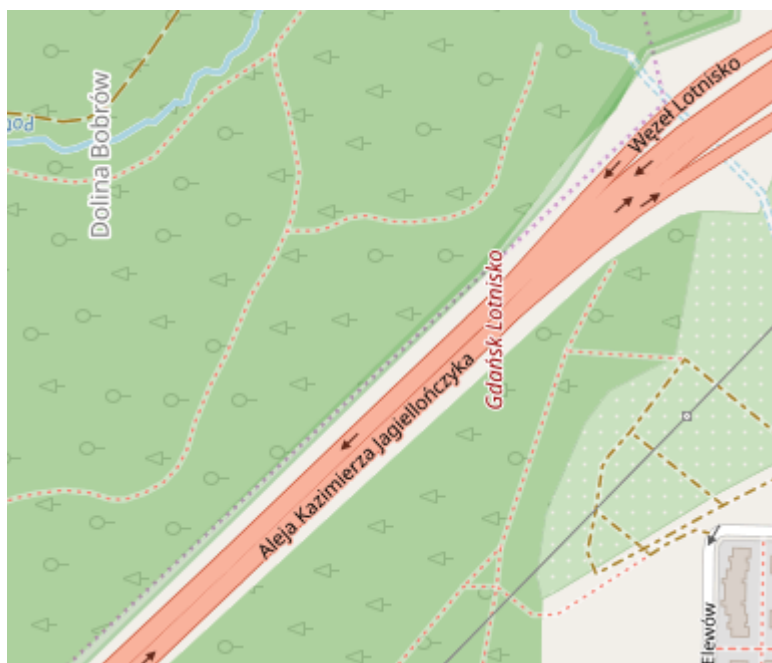
Na analizowanych obszarze wjazdu odcinkiem o najgorszych warunkach ruchu jest odcinek wjazdu ($p2$) oraz jezdni główna za obszarem wjazdu (G_{p3}), na którym występuje PSR B, zatem na całym obszarze przeplatania występuje także PSR B.

K.10 Ocena przyjętego rozwiązania

W analizowanej godzinie nie został przekroczony graniczny poziom swobody ruchu, który poza aglomeracjami wynosi C.

Z4b Obszar wyjazdu

Przykład obliczeniowy przedstawia procedurę analizy szczegółowej dla odcinka wyjazdu przedstawionego na rys. Z4.2.



Rys. Z4.2a. Przykład odcinka wyjazdu na jezdni głównej



Rys. Z4.2b. Przykład odcinka wyjazdu na jezdni głównej

K.1 Przyjęcie schematu obszaru wyjazdu i podział na odcinki charakterystyczne

Zgodnie z rysunkiem 8.7 przyjęto schemat odcinka wyjazdu Z-1.1 do obliczeń.

K.2 Charakterystyka obszaru wyjazdu

1. Parametry geometryczna drogi i związane z organizacją ruchu

- klasa drogi: S, 2x2,
- zjazd na drogę zbierająco-rozprowadzającą,
- lokalizacja węzła: obszar aglomeracji,
- liczba pasów ruchu na jezdni głównej przed i za odcinkiem wyjazdu $n_G = 2$,
- liczba pasów ruchu na łącznicy wyjazdowej: $n_Z = 1$,
- pochylenie drogi, profil podłużny: 0%,
- gęstość wjazdów i wyjazdów: $g_{wz} = 0,5/km$,
- ograniczenie prędkości dopuszczalnej: $V_d = 120 km/h$,
- długość pasa wyłączenia: $L_Z = 300 m$.

2. Parametry związane z natężeniem ruchu

- natężenie miarodajne na poszczególnych kierunkach

$$Q_{12,p1,s} = 2893 P/h$$

$$Q_{12,p1,c} = 347 P/h$$

$$Q_{12,p1} = Q_{GG,s} + Q_{GG,c} = 3240 P/h$$

$$Q_{GZ,s} = 894 P/h$$

$$Q_{GZ,c} = 62 P/h$$

$$Q_{GZ} = Q_{GZ,s} + Q_{GZ,c} = 956 P/h$$

$$Q_{12,p3,s} = Q_{12,p1,s} - Q_{GZ,s} = 2893 - 894 = 1999 P/h$$

$$Q_{12,p3,c} = Q_{GG,c} - Q_{12,p1,c} = 347 - 62 = 285 P/h$$

$$Q_{12,p3} = Q_{12,p3,s} + Q_{12,p3,c} = 1999 + 285 = 2284 P/h$$

- udział pojazdów ciężarowych

$$u_{c12,p1} = \frac{347}{3240} = 0,107$$

$$u_{c,GZ} = \frac{62}{956} = 0,065$$

$$u_{c12,p3} = \frac{285}{2284} = 0,125$$

- współczynnik nierównomierności godzinowej: $k_{15} = 0,969$,
- wskaźniki przeliczeniowe pojazdów rzeczywistych na umowne (tablica 4.7): $E_s = 1,00, E_c = 2,4$

- współczynnik przeliczeniowy pojazdów rzeczywistych na pojazdy umowne wyznaczamy ze wzoru 4.4

$$E_{W12,p1} = 1,00(1 - 0,107) + 2,4 * 0,107 = 1,150$$

$$E_{W,GZ} = 1,00(1 - 0,065) + 2,4 * 0,065 = 1,091$$

$$E_{W12,p3} = 1,00(1 - 0,125) + 2,4 * 0,125 = 1,175$$

- natężenie obliczeniowe na poszczególnych kierunkach ruchu obliczamy ze wzoru 8.1

$$Q_{o12,p1} = \frac{3240}{0,969} * 1,150 = 3845 \text{ E/h}$$

$$Q_{o,GZ} = \frac{956}{0,969} * 1,091 = 1076 \text{ E/h}$$

$$Q_{o12,p3} = \frac{2284}{0,969} * 1,175 = 2770 \text{ E/h}$$

3. Graniczna wartość PSR - na odcinkach dróg klasy A, S, GP przechodzących przez aglomerację - D (warunkowo E),
4. Przepustowość bazowa (tablica 8.2, tablica 5.4) – schemat wyjazdu Z-1.1

$$a = 1,9$$

$$C_{b,G,p1} = C_{b,G,p2} = 2150 \text{ E/h/pas}$$

$$C_{b,Z} = 1900 \text{ E/h/pas}$$

K.3 Jezdnia główna (G_{p1})

K3.1 Obliczenie natężenia obliczeniowego ($Q_{o,G,p1}$) ze wzoru 8.15

$$Q_{o,G,p1} = Q_{o12,p1} = 3845 \text{ E/h}$$

K3.2 Szacowanie prędkości w ruchu swobodnym (V_{sw}) ze wzoru 5.2

$$V_{sw} = 83,5 - 10,7 * 0,5 + 7,7 * 0 + 0,334 * 120 = 118,2 \text{ km/h}$$

K3.3 Szacowanie przepustowości obliczeniowej ($C_{o,G,p1}$) ze wzoru 8.19

$$C_{o,G,p1} = 2 * 2150 = 4300 \text{ E/h}$$

K3.4 Obliczenia stopnia wykorzystania przepustowości jezdni głównej ($X_{G,p1}$) ze wzoru 8.22

$$X_{G,p1} = \frac{3845}{4300} = 0,894$$

K3.5 Określenie PSR na jezdni głównej z tablicy 8.1

$$X_{G,p1} = 0,894 < 0,90 \rightarrow \text{PSR D}$$

K.4.Odcinek wyjazdu ($p2$)

K.4.1. Obliczenia natężenia obliczeniowego ($Q_{o,p2}$) ze wzoru 8.13

$$Q_{o,p2} = Q_{o12,p1} = 3845 \text{ E/h}$$

K.4.2 Szacowanie przepustowości obliczeniowej ($C_{o,p3}$)

Przepustowość obliczeniową należy przyjąć z kroku K.3.3

K.5. Wstępne określenie PSR na odcinku wyjazdu

K.5.1. Obliczenia stopnia wykorzystania przepustowości na odcinku wyjazdu (X_{p2}) ze wzoru 8.31

$$X_{p2} = \left[\left(\frac{2770}{4300} \right)^{1,9} + \left(\frac{1076}{1900} \right)^{1,9} \right]^{\frac{1}{1,9}} = 0,873$$

K.5.2. Określenie PSR dla segmentu początkowego na podstawie tablicy 8.1

$$X_{p2.1} = 0,873 \rightarrow PSR D$$

K.6 Korekta PSR

K.6.1 Obliczenie średniej prędkości przejazdu (V) wzorów 8.32 i 8.27

$$\Delta V = (0,39)^{1,117} * 300^{-0,357} * 2758^{0,837} = 34,6 \text{ km/h}$$

$$V = 118,2 - 34,6 = 83,6 \text{ km/h}$$

K.6.2 Obliczenie gęstości obliczeniowej ruchu (k_o) ze wzoru 8.26

$$k_o = \frac{2770}{83,6 * 3} = 11,04 \text{ E/h/pas}$$

K.6.3 Określenie PSR na odcinku wyjazdu z tablicy 2.1

$$k_o = 11,4 \text{ E/km/pas} < 16 \text{ E/km/pas} \rightarrow PSR C$$

K.7 Jezdnia główna (G_{p3})

K.7.1 Obliczenia natężenia obliczeniowego ($Q_{o,G,p3}$) ze wzoru 8.16

$$Q_{o,G,p3} = Q_{o12,p3} = 2758 \text{ E/h}$$

K.7.2 Szacowanie prędkości w ruchu swobodnym (V_{sw}) ze wzoru 5.1

$$V_{sw} = 118,2 \text{ km/h}$$

K.7.3 Szacowanie przepustowości obliczeniowej ($C_{o,G,p3}$) ze wzoru 8.19

$$C_{o,G,p3} = 2 * 2150 = 4300 \text{ E/h}$$

K.7.4 Obliczenia stopnia wykorzystania przepustowości jezdni głównej ($X_{G,p3}$) ze wzoru 8.22

$$X_{G,p3} = \frac{2770}{4300} = 0,644$$

K.7.5 Określenie PSR na jezdni głównej z tablicy 7.1

$$X_{G,p3} = 0,644 < 0,78 \rightarrow PSR C$$

K8. Łącznica wyjazdowa (Z)

K4.1 Obliczenie natężenia obliczeniowego ($Q_{o,Z}$) ze wzoru 8.17

$$Q_{o,Z} = Q_{o,GZ} = 1076 \text{ E/h}$$

K.4.2 Wybór przepustowości obliczeniowej ($C_{o,w}$) z tablicy 8.2

$$C_{o,z} = 1900 E/h$$

K4.3 Obliczenie stopnia wykorzystania przepustowości na łącznicy wyjazdowej (X_z) ze wzoru 8.22

$$X_w = \frac{1076}{1900} = 0566$$

K4.4 Określenie PSR na łącznicy wyjazdowej z tablicy 8.1

$$X_w = 0566 < 0,78 \rightarrow PSR C$$

K.9 Ocena warunków ruchu w obszarze wjazdu

K.9.1 Wybór krytycznego elementu obszaru wjazdu

Odcinek	PSR	Krok
Jezdnia główna (G_{p1})	D	K.3
Odcinek wjazdu ($p2$)	D	K.5-6
Jezdnia główna (G_{p3})	C	K.7
Łącznica wyjazdowa (Z)	C	K.8

K.9.2 Określenie poziomu swobody ruchu dla całego obszaru wjazdu

Na analizowanych obszarze wjazdu odcinkiem o najgorszych warunkach ruchu jest jezdnia główna przed odcinkiem wjazdu (G_{p1}) oraz odcinek wjazdu ($p2$), na których występuje PSR D, zatem na całym obszarze wjazdu występuje także PSR D.

K.10 Ocena przyjętego rozwiązania

W analizowanej godzinie nie został przekroczony graniczny poziom swobody ruchu, który w obszarze aglomeracji wynosi D.