

METODY OCENY WARUNKÓW RUCHU I OBLICZANIA PRZEPUSTOWOŚCI

TOM I

**Drogi jednojezdniowe: dwupasowe
dwukierunkowe, drogi 2+1, zwężenia**

Projekt **INSTRUKCJI OBLICZANIA**



Warszawa 2019

„Metodę 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, 00- 695 Warszawa, ul. Nowogrodzka 47 a
i Generalnej Dyrekcji Dróg Krajowych i Autostrad, 00-874 Warszawa, ul. Wronia 53



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. Radosław Bąk
Dr inż. Stanisław Gondek
Dr inż. Mariusz Kieć
Dr inż. Malwina Spławieńska
Mgr inż. Piotr Grzywacz

Politechnika Warszawska:

Dr inż. Tomasz Dybicz – kierownik zespołu współwykonawcy
Dr hab. inż. Piotr Olszewski, prof. PW
Mgr inż. Sebastian Grabiński
Mgr inż. Piotr Mazurek
Mgr inż. Paweł Włodarek

Politechnika Gdańska:

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

Opracowanie redakcyjne: dr inż. Stanisław Gondek

Zdjęcie na okładce: mgr inż. Marcin Hałaszczyk

SPIS TREŚCI

	str.
1. WPROWADZENIE	7
1.1. Charakterystyka dróg jednojezdniowych	7
1.1.1. Funkcja dróg jednojezdniowych w sieci drogowej kraju	7
1.1.2. Cechy charakterystyczne dróg jednojezdniowych i ruchu na nich	7
1.1.3. Zakresy parametrów technicznych dróg	8
1.1.4. Otoczenie drogi	9
1.1.5. Odcinki drogi o przekroju 2+1	10
1.1.6. Zwężenia z regulacją ruchu za pomocą sygnalizacji	10
1.2. Przeznaczenie metody i zakres zastosowań	10
1.2.1. Analiza warunków ruchu	11
1.2.1.1. Planistyczna	11
1.2.1.2. Projektowa	11
1.2.1.3. Eksploatacyjna	11
1.2.2. Ocena przepustowości i stopnia obciążenia drogi	12
1.3. Ograniczenia metody	12
1.3.1. Związane z cechami geometrycznymi i otoczeniem drogi	12
1.3.2. Związane z nieciągłością ruchu	12
1.3.3. Związane z zakłóceniami w ruchu drogowym	12
1.4. Podstawowe określenia i oznaczenia	13
2. WARUNKI RUCHU I KRYTERIA ICH KLASYFIKACJI	17
2.1. Określenie warunków ruchu drogowego	17
2.1.1. Stan ruchu w pełni swobodnego	17
2.1.2. Ruch swobodny z udziałem ruchu kolumnowego	17
2.1.3. Stan ruchu wymuszonego	17
2.2. Miary warunków ruchu drogowego	18
2.2.1. Prędkość potoku pojazdów	18
2.2.2. Gęstość ruchu	18
2.3. Poziomy swobody ruchu i ich charakterystyka	18
2.3.1. Opis ilościowy <i>PSR</i>	19
2.3.2. Opis jakościowy <i>PSR</i>	19
2.4. Natężenia krytyczne	20
2.4.1. Określenie natężenia krytycznego dla danego <i>PSR</i>	20
2.4.2. Interpretacja i możliwości wykorzystania natężeń krytycznych	20
2.5. Przepustowość drogi	20
2.5.1. Pojęcie przepustowości odcinka drogi	20
2.5.2. Charakterystyka przepustowości	21
2.5.3. Przepustowość bazowa w korzystnych warunkach drogowo-ruchowych	21

3. CZYNNIKI WPLYWAJĄCE NA WARUNKI RUCHU I PRZEPUSTOWOŚĆ ODCINKA DROGI	22
3.1. Przekrój poprzeczny drogi	22
3.2. Ukształtowanie drogi w planie sytuacyjnym	22
3.3. Ukształtowanie drogi w profilu podłużnym	23
3.4. Dostępność do drogi	24
3.5. Cechy ruchu	24
4. USTALENIE ODCINKA DROGI DO ANALIZY	25
4.1. Wymagania dotyczące analizowanego odcinka	25
4.2. Podział odcinka na składowe	25
4.3. Odcinek 2+1	26
4.4. Zwężony odcinek z ruchem przemiennym (wahadłowym)	26
5. DANE DO OBLICZEŃ	27
5.1. Parametry geometryczne drogi	27
5.2. Dostępność do drogi	27
5.3. Parametry ruchu	27
6. METODYKA ANALIZ NA ODCINKU DROGI JEDNOJEZDNIOWEJ	28
6.1. Model ogólny szacowania średniej prędkości potoku pojazdów	28
6.2. Schemat analizy	29
6.3. Analiza warunków ruchu i obliczanie przepustowości	29
6.3.1. Dobór wyjściowej prędkości w ruchu swobodnym	30
6.3.2. Wyznaczanie miarodajnego natężenia ruchu w analizowanym kierunku	30
6.3.3. Krętość odcinka drogi oraz gęstość zjazdów	31
6.3.4. Średnioważone pochylenie podłużne i udział pojazdów ciężkich	31
6.3.5. Wyznaczanie średniej prędkości potoku pojazdów	32
6.3.6. Wyznaczenie gęstości ruchu	32
6.3.7. Ocena warunków ruchu na odcinkach składowych drogi	32
6.3.8. Ocena warunków ruchu na analizowanym odcinku drogi	33
6.4. Oszacowanie przepustowości i stopnia jej wykorzystania	33
6.5. Oszacowanie natężenia krytycznego dla PSR_i	35
7. METODYKA ANALIZ NA ODCINKU DROGI 2+1	36
7.1. Analiza warunków ruchu	36
7.1.1. Wyznaczanie prędkości potoku pojazdów na odcinku dwupasowym	37
7.1.2. Podział odcinka na sekcje o różnej liczbie pasów ruchu	37
7.1.3. Wyznaczenie prędkości potoku pojazdów na kolejnych sekcjach odcinka składowego 2+1	37
7.1.4. Wyznaczenie prędkości potoku pojazdów na odcinku z dodatkowym pasem	43
7.2. Ocena warunków ruchu	43

8. ZWĘŻENIE DROGI Z REGULACJĄ RUCHU ZA POMOCĄ SYGNALIZACJI	45
8.1. Wymagane dane do obliczeń	45
8.2. Obliczenie przepustowości	46
8.3. Wyznaczanie miar i ocena warunków ruchu	47
LITERATURA	51
ZAŁĄCZNIK 1 – Przykład obliczeniowy 1 – odcinek jednojezdniowy o zmiennym pochyleniu niwelety	52
ZAŁĄCZNIK 2 – Przykład obliczeniowy 2 – odcinek drogi 2+1	56
ZAŁĄCZNIK 3 – Przykład obliczeniowy 3 – zwężenie drogi z regulacją za pomocą sygnalizacji świetlnej	60

SPIS TABEL

1.1. Zakresy parametrów technicznych dróg jednojezdniowych	9
2.1. Poziomy swobody ruchu w zależności od gęstości ruchu na pasie drogi jednojezdniowej	19
6.1. Dobór wartości wyjściowej prędkości w ruchu swobodnym V_{sw}	30
6.2. Wybrane wartości przepustowości [P/h] dla $kr = 0^\circ/\text{km}$, $s = 3,5 \text{ m}$ i $g_z = 0 \text{ zjazdów/km}$	34
6.3. Wybrane wartości przepustowości [P/h] dla $kr = 160^\circ/\text{km}$, $s = 3,5 \text{ m}$ i $g_z = 0 \text{ zjazdów/km}$	34
6.4. Wybrane wartości przepustowości [P/h] dla $kr = 320^\circ/\text{km}$, $s = 3,5 \text{ m}$ i $g_z = 0 \text{ zjazdów/km}$	34
7.1. Wartości zmian prędkości potoku pojazdów na odcinkach dróg 2+1 – pierwsza sekcja dwu- i jednopasowa	40
7.2. Wartości zmian prędkości potoku pojazdów na odcinkach dróg 2+1 – kolejne sekcje dwu- i jednopasowa	41
8.1. Graniczne straty czasu d dla poszczególnych poziomów swobody ruchu	50

SPIS RYSUNKÓW

1.1. Wpływ udziału w ruchu pojazdów ciężkich u_c na liczbę wyprzedzeń i prędkość potoku pojazdów V	8
3.1. Wpływ natężenia ruchu i krętości drogi na średnią prędkość potoku pojazdów	23
3.2. Wpływ pochylenia podłużnego drogi i natężenia ruchu na średnią prędkość potoku pojazdów	23

3.3. Wpływ udziału pojazdów ciężkich i natężenia ruchu na średnią prędkość potoku pojazdów	24
6.1. Schemat określania warunków ruchu i wyznaczania przepustowości dla dróg jednojezdniowych	29
7.1. Schemat podziału odcinka o przekroju 2+1 pasowym na sekcje obliczeniowe	38
7.2. Zmienność prędkości potoku pojazdów na odcinku składowym drogi 2+1	39

1. WPROWADZENIE

Przedmiotem podręcznika jest metoda oceny warunków ruchu i wyznaczania przepustowości dróg jednojezdniowych, w tym z dodatkowym pasem ruchu do wyprzedzania (przekrój 2+1) oraz na odcinku zwężenia do jednego pasa z przeciwnym ruchem z przeciwnych kierunków. Z wyjątkiem tego ostatniego przypadku, metoda dotyczy dróg, na których przewiduje się ruch ciągły, tj. ruch, którego przebieg nie jest regulowany urządzeniami sterowania ruchem, takimi jak sygnalizacja świetlna oraz nie jest przerywany znakiem podporządkowania, jak to ma miejsce na rondzie lub na skrzyżowaniu z inną drogą, która ma pierwszeństwo przejazdu. Metoda przeznaczona jest do analizy warunków ruchu i przepustowości dróg zlokalizowanych poza terenami zabudowy. Procedury metody mogą być użyte do oceny sprawności istniejącej drogi, w procesie zarządzania ruchem, przy podejmowaniu decyzji o potrzebie jej przebudowy oraz w procesie projektowania i planowania dróg.

1.1. Charakterystyka dróg jednojezdniowych

1.1.1. Funkcja dróg jednojezdniowych w sieci drogowej kraju

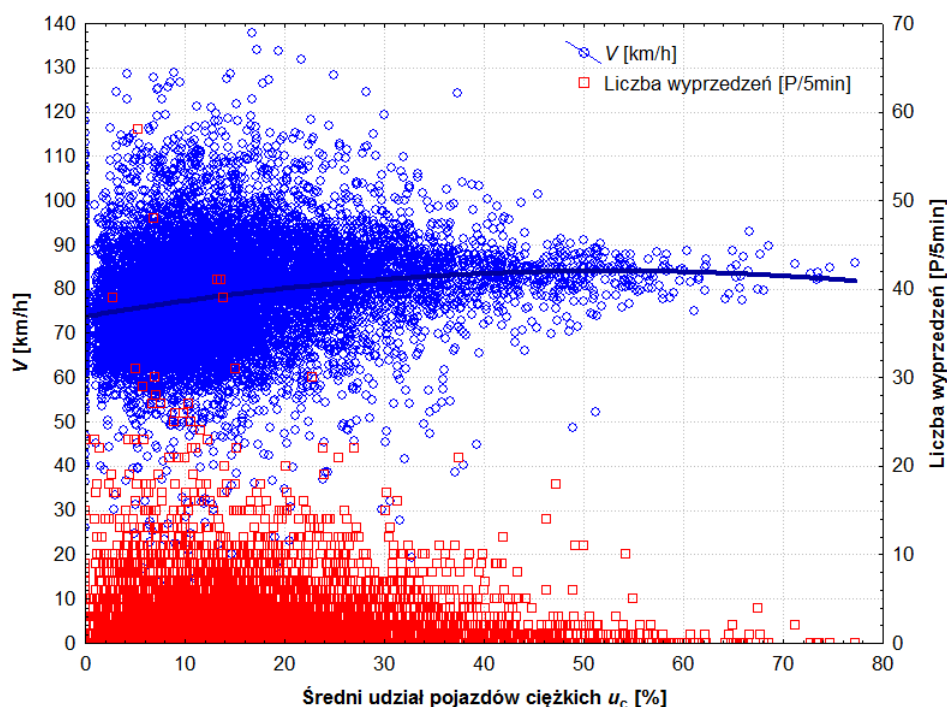
Drogi jednojezdniowe mają dominujący udział w sieci drogowej kraju. Dwukierunkowe drogi o jednej jezdni występują we wszystkich kategoriach dróg krajowych, wojewódzkich, powiatowych i gminnych i mogą mieć parametry dróg należących do klas od *S* do *D* z tym, że droga klasy *S* może mieć jedną jezdnię przy etapowaniu budowy poza terenem zabudowanym. Drogi jednojezdniowe klasy *GP* i *G* wraz z drogami dwujezdniowymi stanowią podstawowy szkielet sieci drogowej w Polsce. Na połączeniach dróg jednojezdniowych z innymi drogami występują przede wszystkim skrzyżowania jednopoziomowe (skanalizowane, zwykłe, ronda), w tym z regulacją ruchu za pomocą sygnalizacji świetlnej. Drogi jednojezdniowe mają zróżnicowaną dostępność umożliwiającą obsługę przyległego terenu (zjazdu). Projektowe wymagania, techniczne i użytkowe dla dróg reguluje rozporządzenie ministra [4]. Niekiedy rzeczywiste parametry drogi nie odpowiadają tym wymaganiom, zwłaszcza w odniesieniu do dostępności (np. w przypadku administracyjnego przypisania klasy istniejącej drodze w ramach kategoryzacji dróg).

1.1.2. Cechy charakterystyczne dróg jednojezdniowych i ruchu

Ruch pojazdów w przeciwnych kierunkach na jednej jezdni powoduje, że wyprzedzanie wolniej jadącego pojazdu odbywa się z wykorzystaniem pasa ruchu w przeciwnym kierunku. Jest to manewr niebezpieczny i może być realizowany w miejscach o dostatecznej widoczności na wyprzedzanie i przy odpowiedniej luce czasu między pojazdami z przeciwnego kierunku. Potrzeba zapewnienia możliwości wyprzedzania rzutuje na zasady projektowania dróg z jedną jezdnią. Odcinki z możliwością wyprzedzania muszą mieć udział na takiej drodze nie mniejszy niż określony w rozporządzeniu ministra [4]. Istotną rolę w projektowaniu dróg jednojezdniowych, jak również w organizacji ruchu (oznakowanie) odgrywa widoczność na wyprzedzanie. Wyprzedzanie ułatwiają w znacznej mierze dodatkowe pasy (przekrój 2+1).

Wyprzedzanie pojazdu odbywa się zazwyczaj z większą prędkością niż ta, z którą poruszał się na swoim pasie pojazd wyprzedzający. Może to, wraz ze wzrostem liczby wyprzedzeń prowadzić do wzrostu prędkości strumienia pojazdów. Wyprzedzane są często wolniej poruszające się samochody ciężarowe. Zatem, w pewnych okolicznościach (wystąpienie warunków geometryczno-ruchowych umożliwiających wyprzedzanie), wraz ze wzrostem udziału

pojazdów ciężkich w strumieniu ruchu, prędkość, zwłaszcza samochodów osobowych może wzrastać (rys. 1.1).



Rys. 1.1. Wpływ udziału w ruchu pojazdów ciężkich u_c na liczbę wyprzedzeń i prędkość potoku pojazdów V

1.1.3. Zakresy parametrów technicznych dróg

Drogi jednojezdniowe cechuje szeroki zakres klas technicznych oraz prędkości projektowych. Z tego względu drogi te są zróżnicowane pod względem granicznych wartości parametrów geometrycznych, w tym promieni łuków w planie i profilu oraz pochyłości podłużnych, a także typu i elementów przekroju poprzecznego. W tabelicy 1.1 zestawiono zakresy ważniejszych parametrów technicznych dróg wynikające z obowiązujących przepisów [4] oraz rzeczywiste zakresy parametrów dróg, które objęto badaniami empirycznymi (98 odcinków badawczych zlokalizowanych na terenie całej Polski). Wybrane do badań odcinki dróg odzwierciedlają zróżnicowanie techniczne parametrów dróg dwupasowych dwukierunkowych.

Tab. 1.1. Zakresy parametrów technicznych dróg jednojezdniowych

Parametr projektowy drogi	Zakres parametrów wg [4]	Rzeczywisty zakres parametrów
Prędkość projektowa V_p [km/h]	40 ÷ 100 serpentyny: 15 ÷ 30	40 ÷ 100 serpentyny: 15 ÷ 30
Prędkość miarodajna $V_m^{*)}$ [km/h]	60 ÷ 110	40 ÷ 95
Prędkość dopuszczalna V_d [km/h]	90 z lokalnymi ograniczeniami	90 (lokalnie min. 40)
Klasa techniczna	$Z \div S$	$Z \div S$
Promień łuków w planie R_H [m]	min. 50 ÷ 500	30 ÷ 3 200
Promień łuków niwelety jezdni R_V [m]	min. 600 ÷ 8 000	nie określono
Typ przekroju poprzecznego	1 x 2; 2+1	1 x 2; 2+1
Szerokość pasa ruchu s [m]	2,75 ÷ 3,75	3,0 ÷ 3,5
Szerokość pobocza utwardzonego s_{up} [m]	max 1,5 m	0 ÷ 1,5
Pochylenie podłużne i [%]	max. 5 ÷ 10	0,1 ÷ 9 ^{**)}
Długość pomiarowego odcinka drogi L [m]	—	400 ÷ 3 900
Krętość kr [°/km]	0 ÷ ponad 240	0 ÷ 570
Procent odcinków z możliwością wyprzedzania p_w [%]	min. 20 ÷ 50 (przy $V_p \geq 60$ km/h)	0 ÷ 100
Gęstość zjazdów g_z [zjazdów/km]	nie określono	0 ÷ 42

^{*)} Na drogach objętych pomiarami przyjęto, jako odpowiadający prędkości miarodajnej kwantyl 85% z rozkładu prędkości pojazdów w analizowanym kierunku

^{**)} Średnie ważone pochylenie podłużne na długości odcinka pomiarowego

1.1.4. Otoczenie drogi

Na drogach poza terenem zabudowy w charakterystyce otoczenia drogi, mogącego potencjalnie wpływać na uczestników ruchu uwzględnia się rzeźbę terenu i roślinność (uprawy, szpalery drzew, las – otwarta lub ograniczona przestrzeń), a także elementy zagospodarowania, takie jak rozproszona zabudowa oddalona od drogi i obiekty związane z obsługą podróży i transportem (stacje benzynowe, obiekty gastronomiczne, zajazdy i motele, bazy transportowe, centra logistyczne). Wpływ na zachowania uczestników ruchu mogą mieć też elementy wyposażenia drogi takie jak bariery ochronne i ekrany akustyczne. Oddziaływanie otoczenia drogi na uczestników ruchu następuje przez odbiór bodźców wizualnych oraz przez aktywność transportową otoczenia (zjazdy publiczne i indywidualne). Czynniki te mogą wpływać na prędkość potoku pojazdów na danej drodze. Pojazdy korzystające ze zjazdów do obiektów, posesji i pól (zjeżdżające z drogi i wjeżdżające na nią) poruszają się z niższą prędkością. Wpływ na prędkość potoku pojazdów może mieć zatem gęstość zjazdów oraz natężenie ruchu pojazdów korzystających ze zjazdów. Wpływ na prędkość potoku pojazdów większości z tych czynników (poza gęstością zjazdów) w przeprowadzonych badaniach empirycznych okazał się statystycznie nieistotny. Może jednak powodować zróżnicowanie zachowań pojedynczych uczestników ruchu.

1.1.5. Odcinki drogi o przekroju 2+1

Odcinki dróg jednojezdniowych z dwoma pasami ruchu, chociaż są bardzo uniwersalne i stosowane w szerokim zakresie parametrów drogowo-ruchowych, często mają ograniczone możliwości przenoszenia ruchu i często nie zapewniają dostatecznie dużego udziału odcinków z możliwością wyprzedzania. Przekłada się to na wzrost udziału ruchu kolumnowego, spadek prędkości potoku pojazdów i w efekcie na gorsze warunki ruchu i bezpieczeństwa. Dlatego w celu ich poprawy stosuje się na odcinkach jednojezdniowych dodatkowe pasy ruchu do wyprzedzania. W zależności od uwarunkowań lokalnych można stosować samodzielne pasy ruchu do wyprzedzania, których efekty można mierzyć na poziomie lokalnym lub odcinki składające się z serii naprzemianległych pasów ruchu do wyprzedzania, które mają przynosić efekty poprawiające warunki ruchu na całym odcinku drogi. Ten drugi przypadek jest klasyczną formą odcinków o przekroju 2+1 pasowym. W metodzie, zgodnie z [4] definiuje się przekrój 2+1 pasowy, jako odcinek, który zawiera min. 2 dodatkowe pasy ruchu do wyprzedzania przeznaczone do ruchu w przeciwnych kierunkach, między którymi odległość nie może przekraczać długości dłuższego z nich. Przekroje 2+1 zapewniają nieznaczną poprawę warunków ruchu, wyższy komfort jazdy oraz większą niezawodność, co przekłada się na lepsze, bardziej odpowiedzialne zachowania kierujących. Należy zaznaczyć, że przekroje te nie zwiększają przepustowości odcinków dróg jednojezdniowych, wpływając lokalnie na zwiększenie wartości prędkości potoku pojazdów oraz zmianę rozkładu ruchu kolumnowego. Konieczność realizacji manewru wyprzedzania powoduje, że przy wyższych natężeniach ruchu występują zakłócenia w ruchu na zakończeniach pasów do wyprzedzania, dlatego zaleca się ich stosowanie przy *SDRR* od 4000 do 22000 P/d [4].

1.1.6. Zwężenia z regulacją ruchu za pomocą sygnalizacji

Intensywna eksploatacja drogi i konieczność utrzymania jej odpowiedniego standardu technicznego wymusza prowadzenie prac naprawczych, przy równoczesnym utrzymaniu ruchu na drodze. W czasie wykonywania robót utrzymaniowych lub remontowych często występuje konieczność zamknięcia jednego pasa ruchu na drodze jednojezdniowej, co może być przyczyną poważnych zakłóceń ruchu i powodować znaczne straty czasu uczestników ruchu drogowego. Przy braku możliwości wyznaczenia objazdu ruch w obu kierunkach musi odbywać się po jednym pasie (tzw. ruch wahadłowy). Jedną z możliwych organizacji ruchu na takim odcinku, oprócz kierowania ruchem przez przeszkolony personel lub wyznaczenia pierwszeństwa i podporządkowania za pomocą znaków drogowych, jest sterowanie przez tymczasową, przenośną sygnalizację świetlną. Podstawową funkcją sygnalizacji jest zapewnienie w miejscu zwężenia bezpiecznego i sprawnego ruchu pojazdów.

W przepisach [5] podano warunki konieczne stosowania tymczasowej, przenośnej sygnalizacji świetlnej. Brak jest jednak metody projektowania i oceny sprawności tymczasowej sygnalizacji świetlnej na zwężonym odcinku drogi. Integralną część takiej metody stanowią procedury obliczania przepustowości i oceny warunków ruchu. W p.8 opisane zostały te procedury.

1.2. Przeznaczenie metody i zakres zastosowań

Metoda przeznaczona jest przede wszystkim do analizy warunków ruchu na odcinkach dróg jednojezdniowych zlokalizowanych poza terenem zabudowy, a także do oceny ich przepustowości. Ruch na ocenianym odcinku drogi nie może być przerywany sygnałami świetlnymi czy znakiem podporządkowania.

1.2.1. Analiza warunków ruchu

Analiza warunków ruchu pozwala wyznaczyć miary warunków ruchu takie jak prędkość potoku pojazdów i gęstość ruchu (miary ilościowe) oraz sklasyfikować warunki w jakich odbywa się ruch poprzez ustalenie poziomu swobody ruchu (*PSR* – miara jakościowa). Cały zakres warunków ruchu swobodnego podzielony został na pięć poziomów oznaczonych literami od *A* do *E*, a stan ruchu wymuszonego – literą *F*. Natężenie ruchu na granicy *PSR E* i *F* odpowiada przepustowości odcinka drogi.

1.2.1.1. Planistyczna

W analizie planistycznej kształtowania sieci drogowej, stanowiącej jeden z elementów studium sieciowego oraz studium korytarzowego, uwzględnia się rozważany przebieg drogi (nowe połączenie) oraz ruch, jaki na niej wystąpi (prognozowane natężenie ruchu). Z uwagi na ograniczony zakres danych dotyczących planowanych dróg stosuje się uproszczoną procedurę analizy, zakładając korzystne parametry drogi. W studium sieciowym, w analizie elementów istniejącej sieci drogowej można wykorzystać procedurę szczegółową – analiza projektowa.

1.2.1.2. Projektowa

Określenie warunków, w jakich będzie się odbywał ruch ma podstawowe znaczenie dla zapewnienia odpowiednich warunków użytkowych drogi w procesie projektowania dróg. W analizie tej uwzględnia się przyszłe rozwiązanie drogi (parametry geometryczne) oraz ruch, jaki na niej wystąpi (prognozowane natężenie ruchu). W stadium projektowania koncepcyjnego analiza warunków ruchu umożliwia sprawdzenie czy dobrany przebieg drogi i jej parametry (w tym miejsca do wyprzedzania – przekrój 2+1) umożliwią uzyskanie wymaganej jakości ruchu (*PSR*, prędkość potoku pojazdów, czas przejazdu odcinka). Wymaganą jakość ruchu (*PSR*) określa inwestor lub zarządca drogi.

Analiza projektowa ma zastosowanie w procedurach studium techniczno-ekonomiczno-środowiskowego (*STEŚ*), koncepcji programowej oraz projektu budowlanego.

1.2.1.3. Eksploatacyjna

Analiza eksploatacyjna dotyczy bieżącego użytkowania drogi. Może być prowadzona z uwzględnieniem pomierzonego natężenia reprezentującego rok, w którym prowadzona jest analiza, jak też z uwzględnieniem zmieniającego się w czasie natężenia (wahania w ciągu doby, tygodnia i roku). Analiza ta pozwala scharakteryzować ilościowo i jakościowo warunki ruchu na istniejącej drodze i ich zmienność w czasie. Jej wyniki mogą być wykorzystane w zarządzaniu drogą, ocenie jej niezawodności, a także przy podejmowaniu decyzji o potrzebie wprowadzenia zmian w regulacji przebiegu ruchu (zarządzanie prędkością, oznakowanie) czy też zmian geometrycznych (pasy ruchu do wyprzedzania, dobudowa drugiej jezdni).

W przypadku prac budowlanych (robót drogowych) prowadzonych w koronie drogi może wystąpić potrzeba zwężenia odcinka jezdni do jednego pasa i wprowadzenia regulacji ruchu za pomocą sygnalizacji. Oprócz samej oceny warunków ruchu na takim zwężeniu metoda może być wykorzystana również w procesie projektowania programu sygnalizacji („Projektowanie sygnalizacji świetlnej na zwężeniu drogi”, dokument opracowany w ramach RID I/50).

1.2.2. Ocena przepustowości i stopnia obciążenia drogi

Przepustowość odcinka drogi określa maksymalne natężenie ruchu, jakie może wystąpić na danym odcinku. Jest więc ważną miarą w ocenie zdolności danej drogi do przenoszenia potoków ruchu o największych natężeniach. Wystąpienie na drodze natężenia ruchu bliskiego jej przepustowości wiąże się zazwyczaj z niekorzystnymi warunkami z punktu widzenia uczestników ruchu (zazwyczaj niższa od oczekiwanej prędkość jazdy i znaczna gęstość ruchu). Warunki ruchu, przy których może wystąpić największe natężenie ruchu odpowiadają poziomowi swobody ruchu *PSR E* (granica *PSR E/F*).

Stosunek natężenia ruchu na danej drodze do jej przepustowości (Q/C) określany jest mianem stopnia obciążenia drogi. Określa on stopień wykorzystania przepustowości odcinka drogi. Może być wykorzystywany w ocenie sprawności drogi oraz dopuszczalnego względnego wzrostu natężenia ruchu ($1 - Q/C$). Realność tak określonego wzrostu natężenia ruchu uzależniona jest od stabilności cech ruchu (rozkład kierunkowy, struktura rodzajowa i prędkość) w okresie zmiany natężenia.

1.3. Ograniczenia metody

Badania empiryczne wykonane w celu opracowania metody oceny warunków ruchu i wyznaczania przepustowości dróg jednojezdniowych, objęte były wieloma założeniami, które narzucają ograniczenia w stosowaniu metody. Poniżej wskazano sytuacje, w których nie należy stosować przedstawionej w opracowaniu metody.

1.3.1. Związane z cechami geometrycznymi i otoczeniem drogi

Metody nie należy stosować, gdy:

- szerokość pasa ruchu jest mniejsza niż 3,0 m,
- badany odcinek zlokalizowany jest w pobliżu (w odległości mniejszej niż 300 m) zwężeń drogi powstałych w wyniku przejścia drogi dwujezdniowej w drogę jednojezdniową,
- występują odcinki dróg z pasami ruchu do wyprzedzania na wzniesieniach oraz z samodzielnymi pasami ruchu do wyprzedzania, przy czym za samodzielny pas ruchu do wyprzedzania rozumie się pas, którego odstęp do następnego pasa przeznaczonego do ruchu w tym samym kierunku (odległość od końca tego pasa do początku następnego pasa) jest większy niż trzykrotna długość rozpatrywanego pasa.

1.3.2. Związane z nieciągłością ruchu

Metody nie należy stosować:

- gdy na analizowanych odcinkach dróg występują skrzyżowania lub przejścia dla pieszych z sygnalizacją świetlną, rondo, oraz skrzyżowania z zakłóceniami przebiegu ruchu na drodze z pierwszeństwem przejazdu (np. przy braku wydzielonego pasa dla relacji w lewo), które ograniczają płynność przejazdu i powodują zatrzymywania pojazdów.
- na odcinkach przejść przez miejscowości, oraz zlokalizowanych w terenie zabudowy oznaczonym znakami D-42 i D-43.

1.3.3. Związane z zakłóceniami w ruchu drogowym

Metody nie należy stosować:

- gdy na badanym odcinku występują częste zakłócenia przebiegu ruchu związane z parko-

waniem pojazdów (np. handel przydrożny), zatrzymywaniem się autobusów lub innymi powodowanymi przez wzmożony ruch rowerzystów, pieszych,

- gdy analizowany odcinek znajduje się w strefie oddziaływania przejazdów kolejowych,
- do analizy eksploatacyjnej w niekorzystnych warunkach pogodowych.

1.4. Podstawowe określenia i oznaczenia

Długość pasa ruchu do wyprzedzania jest to odległość między początkiem i końcem pasa wyprzedzania, na której pas ten ma pełną szerokość

Droga o przekroju 2+1 jest to jednojezdniowa, dwupasowa droga dwukierunkowa z zespołem leżących na przemian dodatkowych pasów ruchu do wyprzedzania, który tworzą co najmniej dwa dodatkowe pasy ruchu do wyprzedzania, przeznaczone do ruchu w przeciwnych kierunkach, o ile odległość pomiędzy nimi nie przekracza długości dłuższego z nich; odległość tę mierzy się pomiędzy końcami klinów początkowych lub początkami klinów końcowych, w miejscach, w których pasy te mają pełną szerokość.

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

Gęstość zjazdów g_z [zjazdów/km] jest to przypadająca na kilometr liczba zjazdów występujących po obu stronach drogi jednojezdniowej, obsługujących przyległe do drogi tereny.

Krętość odcinka drogi kr [°/km] określa się przez stosunek sumy bezwzględnych wartości kątów zwrotu kierunków trasy drogi wyrażonych w stopniach do jego długości wyrażonej w kilometrach.

Krytyczne natężenie ruchu Q_k^i [P/h] jest to największe natężenie ruchu do wartości którego może się utrzymywać określony (i -ty) poziom swobody, a po jego przekroczeniu warunki ruchu pogarszają się ($PSR\ i+1$).

Miarodajne godzinowe natężenie ruchu Q_m [P/h] jest to pomierzone lub prognozowane, najmniejsze z największych 50 natężeń godzinowych w roku.

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

Pas ruchu do wyprzedzania jest to dodatkowy pas ruchu umieszczony po lewej stronie zasadniczego pasa ruchu, przeznaczony do wyprzedzania pojazdów. Pas ten jest poprzedzony klinem początkowym, a następuje za nim klin końcowy.

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 wa-

runkach 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 bazowa drogi C_b [E/h/pas] to największa liczba pojazdów umownych, 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.

Ruch kolumnowy występuje gdy pojazdy przez pewien czas jadą jeden za drugim w małych odstępach czasu rzędu 3 s. Kolumny pojazdów na drodze o ruchu nieprzerywanym tworzą się gdy pojazdy zbliżą się do wolniej jadącego pojazdu i nie mogą go wyprzedzić. Pojazdy w kolumnie poruszają się w sposób zależny od lidera kolumny.

Stopień obciążenia drogi X [-] jest stosunkiem natężenia ruchu do przepustowości drogi.

Średnie ważone pochylenie odcinka drogi t_w [%] to stosunek sumy iloczynów wartości pochylenia podłużnych występujących na danym odcinku drogi i ich długości do długości całego odcinka. Wagami są długości odcinków z poszczególnymi pochyleniami podłużnymi.

Udział pojazdów ciężkich u_c [-], [%] jest stosunkiem natężenia pojazdów ciężkich do całkowitego natężenia ruchu w danym przekroju w ustalonej jednostce czasu, najczęściej godzinie. Wyrażany jest jako liczba niemianowana lub w procentach.

Lista oznaczeń i skrótów:

δ	– jednostkowe wydłużenie sygnału zielonego [s]
δ_{ak}	– wskaźnik aktywności prac w strefie robót na zwężeniu drogi [0 lub 1]
δ_{lz}	– wskaźnik długości zwężenia drogi [0 lub 1]
δ_{sn}	– wskaźnik stanu nawierzchni pasa ruchu na zwężonym odcinku drogi [0 lub 1]
δ_{zo}	– wskaźnik obustronnego zawężenia drogi [0 lub 1]
δ_{zp}	– wskaźnik zajęcia (wyłączenia) jednego pasa ruchu na zwężeniu drogi [0 lub 1]
Δt	– średni odstęp czasu pomiędzy pojazdami zjeżdżającymi z kolejki przed zwężeniem drogi mierzony na linii zatrzymań [s]
$\Delta V_{i,Q}$	– korekta wyjściowej wartości prędkości z uwagi na średnie ważone pochylenie niwelety jezdni i udział pojazdów ciężkich w ruchu [km/h],
ΔV_{kr}	– korekta wyjściowej wartości prędkości z uwagi na krętość drogi [km/h]
ΔV_Q	– korekta wyjściowej wartości prędkości z uwagi na natężenie ruchu [km/h]
ΔV_z	– korekta wyjściowej wartości prędkości z uwagi na liczbę zjazdów [km/h]
λ	– udział sygnału zielonego G w cyklu sygnalizacji T [-] ($\lambda = G/T$ dla sygnalizacji stałoczasowej i $\lambda = G_{max}/T_{max}$ dla sygnalizacji akomodacyjnej)
C	– przepustowość [P/h]
C_b	– przepustowość bazowa [E/h/pas]

d	– średnie straty czasu na zwężeniu drogi [s/P]
d_1	– straty czasu wynikające z zatrzymań na sygnale czerwonym na zwężeniu drogi przy równomiernym dopływie pojazdów (stałe odstępy między pojazdami) [s/P]
d_2	– straty czasu wynikające z losowych odstępów między pojazdami i okresowych przeciążeń na zwężeniu drogi [s/P]
G	– długość sygnału zielonego stałoczasowej tymczasowej sygnalizacji świetlnej [s]
G_{max}	– maksymalna długość sygnału zielonego akomodacyjnej tymczasowej sygnalizacji świetlnej [s]
g_z	– gęstość zjazdów po obu stronach drogi [zjazdów/km]
i	– pochylenie podłużne [%]
i_{max}	– maksymalne pochylenie podłużne [%]
i_w	– średnie ważone pochylenie podłużne [%]
k	– gęstość ruchu [P/km]
kr	– krętość [°/km]
K_m	– średnia maksymalna długość kolejki [P]
K_p	– kolejka pozostająca [P]
L	– długość odcinka drogi [m]
L_i	– długość pochylenia podłużnego o wartości i [m]
L_K	– zasięg kolejki [m]
L_{zw}	– długość zwężenia drogi [m]
l_c	– przeciętna długość w kolejce pojazdu ciężkiego [m]
l_l	– przeciętna długość w kolejce pojazdu lekkiego [m]
l_p	– przeciętna długość stanowiska pojazdu w kolejce [m]
p_w	– procent odcinków z możliwością wyprzedzania [%]
P	– pojazd rzeczywisty
PSR	– poziom swobody ruchu
q^i	– natężenie potoku [P/h]
Q	– natężenie ruchu [P/h]
Q_{50}	– natężenie 50 godziny w roku wg pomiaru na odcinku drogi w danym kierunku (miarodajne do bieżącej analizy) [P/h]
Q_{50p}	– natężenie miarodajne w danym kierunku odpowiadające natężeniu 50 godziny w roku prognozy [P/h]
Q_k^i	– krytyczne natężenie ruchu na i -tym PSR [P/h]
Q_m	– miarodajne godzinowe natężenie ruchu Q_{50} lub Q_{50p} [P/h]
R_H	– promień łuku w planie [m]
R_V	– promień łuku niwelety jezdni [m]

s	– szerokość pasa ruchu [m]
s_{up}	– szerokość pobocza utwardzonego [m]
S	– natężenie nasycenia [P/hz]
S_0	– wyjściowe natężenie nasycenia w pojazdach umownych (E) na godzinę sygnału zielonego (hz) [E/hz]
t_m	– czas miedzyzielony [s]
T	– długość cyklu sygnalizacyjnego stałoczasowej tymczasowej sygnalizacji świetlnej [s]
T_{max}	– maksymalna długość cyklu sygnalizacyjnego akomodacyjnej tymczasowej sygnalizacji świetlnej [s]
u_c	– udział w ruchu pojazdów ciężkich [-], [%]
u_l	– udział w ruchu pojazdów lekkich [-]
V	– prędkość potoku pojazdów [km/h]
V_d	– prędkość dopuszczalna [km/h]
V_m	– prędkość miarodajna [km/h]. Na drogach objętych pomiarami przyjęto, jako odpowiadający prędkości miarodajnej kwantyl 85% z rozkładu prędkości pojazdów lekkich w analizowanym kierunku
V_{op}	– prędkość optymalna przy natężeniu równym przepustowości [km/h],
V_p	– prędkość projektowa [km/h]
V_{sw}	– wyjściowa prędkość pojazdów w warunkach swobodnych [km/h],
X	– stopień obciążenia $X = Q/C$ [-]

Lista nie obejmuje oznaczeń używanych wyłącznie w p. 7 „Metodyka analiz na odcinku drogi 2+1”

2. WARUNKI RUCHU I KRYTERIA ICH KLASYFIKACJI

2.1. Określenie warunków ruchu drogowego

Przyjęta metodologia pozwala przeprowadzić analizę jakościową ruchu z punktu widzenia uczestnika ruchu. Ważnym kryterium jest możliwość swobodnego wyboru prędkości jazdy przez kierowców w dostosowaniu do przepisów i cech odcinka drogi.

Prędkość pojazdów na odcinkach dróg zamiejskich zależy nie tylko od natężenia ruchu i struktury rodzajowej (oddziaływanie pojazdów wolniej jadących), ale również od cech drogi, takich jak szerokość pasa ruchu i rodzaj pobocza, pochylenie podłużne, krętość oraz gęstość zjazdów.

Do oceny warunków ruchu (*PSR*) na drogach jednojezdniowych wykorzystywana jest miara, która zależy od natężenia ruchu Q , jak również od prędkości potoku pojazdów V . Miarą tą jest gęstość ruchu k .

2.1.1. Stan ruchu w pełni swobodnego

Stan ruchu w pełni swobodnego występuje na drodze w sytuacji, gdy pojazdy mogą poruszać się z pożądaną prędkością, niedeterminowaną sposobem poruszania się innych uczestników ruchu. Stan taki występuje na drodze przy bardzo małym natężeniu ruchu i małej jego gęstości a wyprzedzanie może być wykonywane bez utrudnień. Cechy drogi, takie jak znaczna jej krętość i/lub znaczne pochylenie podłużne mogą powodować poruszanie się pojazdów z niższymi prędkościami, co przy małej gęstości i natężeniu ruchu nie wyklucza występowania stanu ruchu w pełni swobodnego. Średnie prędkości strumienia pojazdów w stanie ruchu swobodnego mogą zatem różnić się na drogach o różnym ukształtowaniu geometrycznym. Ruch w pełni swobodny utożsamiany jest często z warunkami określanymi jako *PSR A*.

2.1.2. Ruch swobodny z udziałem ruchu kolumnowego

Wolniej jadące pojazdy, zwłaszcza z grupy pojazdów ciężkich, w sytuacji ograniczonej możliwości wyprzedzania powodują powstawanie kolumn pojazdów. Przyjmuje się, że pojazdy poruszają się w kolumnie jeżeli odstęp między nimi wynosi około 3 s. Im dłuższy jest czas poruszania się w kolumnie, a zwłaszcza im większy jest udział tego czasu w czasie przejazdu danego odcinka drogi, tym warunki ruchu są gorsze. Udział czasu jazdy w kolumnach zależy w głównej mierze od natężenia ruchu na drodze i możliwości wyprzedzania. Niewielki udział ruchu kolumnowego (przeważa jazda swobodna) pozwala na określenie warunków ruchu jako odpowiadających poziomowi *PSR B*, a bardzo duży (przeważający) udział jazdy w kolumnie odpowiada poziomowi *PSR E*.

2.1.3. Stan ruchu wymuszonego

Ruch wymuszony występuje gdy wyprzedzanie pojazdów jest niemożliwe (głównie wskutek bardzo dużego natężenia ruchu) i ruch pojazdów odbywa się w kolumnach z podobnymi, relatywnie niskimi prędkościami. W stanie ruchu wymuszonego mogą występować zatrzymania spowodowane zatłoczeniem (przeciążeniem) drogi. Stan ruchu wymuszonego opisywany jest przez poziom swobody ruchu *PSR F*.

2.2. Miary warunków ruchu drogowego

Miary warunków ruchu drogowego umożliwiają kwantyfikację warunków w jakich odbywa się ruch na danym odcinku drogi. Pozwalają one sklasyfikować swobodę poruszania się (komfort jazdy) pojedynczych uczestników ruchu. Klasyfikacja warunków ruchu polega na określeniu poziomu swobody ruchu na drodze.

Na odcinkach dróg jednojezdniowych dla określenia swobody ruchu (*PSR*) zastosowaną miarą jest gęstość ruchu wyznaczana na podstawie natężenia ruchu i prędkości potoku pojazdów.

Dodatkowo prędkość potoku pojazdów może być wykorzystywana jako samodzielna miara warunków ruchu jeżeli dla danej drogi (drogi danej klasy technicznej) określone są standardy warunków ruchu obejmujące oczekiwaną prędkość potoku pojazdów. Wymagany standard warunków dla nowej lub przebudowywanej inwestycji drogowej może określić inwestor lub zarządca drogi. Pochodną miarą może być oczekiwany czas przejazdu odcinka określonej długości.

2.2.1. Prędkość potoku pojazdów

Kierujący pojazdami na danym odcinku drogi oczekują odpowiedniego według ich uznania standardu warunków ruchu. Oznacza to najczęściej poruszanie się z pożądaną prędkością, niezakłócaną przez innych uczestników ruchu. Sytuacja taka może występować na drodze przy bardzo dobrych warunkach ruchu (małe natężenie ruchu i mały udział pojazdów ciężkich oraz możliwość wyprzedzania). Spadek prędkości i utrzymywanie się tego stanu przez dłuższy czas wpływa na ocenę warunków ruchu jako gorszych.

W pomiarach, prędkość danego pojazdu wyznacza się jako iloraz długości odcinka drogi i czasu jego przejazdu. Dla strumienia pojazdów jest to średnia prędkość potoku pojazdów na danym odcinku. Faktycznie, zarówno pojedynczy pojazd jak i poszczególne pojazdy w strumieniu mogą poruszać się na analizowanym odcinku ze zmienną prędkością. W ocenie warunków ruchu wykorzystuje się prędkość potoku pojazdów w danym kierunku ruchu. Prędkość ta może uwzględniać ewentualne zatrzymania pojazdów na danym odcinku powodowane warunkami ruchu (*PSR F*).

2.2.2. Gęstość ruchu

Gęstość ruchu określana jest liczbą pojazdów, które w danej chwili znajdują się na odcinku drogi o jednostkowej długości, najczęściej jednego kilometra [P/km]. Gęstość ruchu odniesiona do określonego przedziału czasu jest zazwyczaj wyliczana jako średnia z wartości gęstości w poszczególnych chwilach (sekundach) tego przedziału czasu. Wzrost wartości gęstości ruchu powoduje zazwyczaj pogorszenie warunków ruchu na drodze. Wzrasta wzajemne oddziaływanie na siebie uczestników ruchu, w tym wolniej jadących pojazdów na inne pojazdy. Wraz ze wzrostem gęstości ruchu wzrasta też udział czasu jazdy w ruchu kolumnowym. Szacunkowa gęstość ruchu może być obliczana przy znanych wartościach natężenia ruchu oraz średniej prędkości potoku pojazdów.

2.3. Poziomy swobody ruchu i ich charakterystyka

Cały zakres warunków ruchu (stan ruchu swobodnego i wymuszonego), jakie mogą wystąpić na odcinku drogi podzielony został na przedziały zwane poziomami swobody ruchu (*PSR*). Określają one w sposób ilościowy oraz jakościowy warunki, w jakich przebiega ruch

na analizowanym odcinku drogi. Ocena warunków ruchu prowadzona jest oddzielnie dla każdego kierunku ruchu (pasa ruchu) na drodze jednojezdniowej lub w kierunku o większym natężeniu.

2.3.1. Opis ilościowy *PSR*

Podstawową miarą stosowaną w klasyfikacji warunków ruchu na pasie w danym kierunku drogi jednojezdniowej jest gęstość ruchu, wyrażona liczbą pojazdów znajdujących się na odcinku drogi o długości 1 kilometra. Wylicza się ją jako iloraz natężenia miarodajnego Q_m i prędkości potoku pojazdów V (wzór (6.6)).

Graniczne wartości gęstości przypisane poszczególnym *PSR* na pasie ruchu przedstawione są w tab. 2.1.

Tab. 2.1. Poziomy swobody ruchu w zależności od gęstości ruchu na pasie drogi jednojezdniowej

<i>PSR</i>	Gęstość ruchu na pasie k [P/km]
A	≤ 5
B	≤ 10
C	≤ 15
D	≤ 20
E	≤ 25
F	> 25

Wymaganą jakość ruchu (*PSR*) dla projektowanej drogi określa inwestor lub zarządca drogi. Jako ogólny wymóg w projektowaniu dróg można przyjąć zapewnienie warunków ruchu nie gorszych niż odpowiadające *PSR C* (wyjątkowo *PSR D*).

2.3.2. Opis jakościowy *PSR*

Poziomy swobody ruchu, oprócz opisu ilościowego określają również w sposób opisowy stany (przedziały) warunków, w jakich ruch odbywa się na analizowanym odcinku drogi.

PSR A: Kierowcy bardzo rzadko odczuwają wpływ innych uczestników ruchu. Gęstość ruchu jest bardzo mała. Kierowcy mogą w znacznym stopniu dowolnie wybrać prędkość jazdy w ramach dopuszczonej prędkości maksymalnej i charakterystyki odcinka drogi.

PSR B: Pojawia się wpływ innych uczestników ruchu, jednak w małym stopniu oddziałuje on na indywidualny sposób jazdy. Na długich odcinkach dróg jednojezdniowych kierowcy nie rozwijają pełnej (wg. ich uznania) prędkości.

PSR C: Obecność innych pojazdów staje się silnie zauważalna. Mogą tworzyć się kolumny pojazdów. Gęstość ruchu jest na średnim poziomie. Nie można już swobodnie wybierać prędkości jazdy. Ruch jest stabilny.

PSR D: Następują ciągłe interakcje pomiędzy pojazdami. Ruch na drogach jednojezdniowych odbywa się często w kolumnach. Gęstość ruchu jest duża. Wybór prędkości jazdy oraz wyprzedzanie pojazdów są mocno ograniczone. Ruch jest niestabilny.

PSR E: Pojazdy poruszają się w dużej mierze w kolumnach (nawet 80% pojazdów). Gęstość ruchu jest bardzo wysoka. Wyprzedzanie jest praktycznie niemożliwe. Ruch jest niestabilny. Dla rozpatrywanego kierunku natężenie ruchu zbliża się do przepustowości odcinka. Nawet niewielki lub nietrwający długo wzrost natężenia ruchu może spowodować powstawanie zatorów i zatrzymania, a więc gwałtowne pogorszenie się warunków ruchu.

PSR F: Natężenie ruchu dopływającego do odcinka drogi jest większe niż przepustowość odcinka. Ruch się załamuje, co powoduje zatrzymywanie i poruszanie się pojazdów w sposób przerywany. Sytuacja poprawia się dopiero po wyraźnym zmniejszeniu natężenia dopływającego ruchu. Odcinek jest w danym kierunku przeciążony.

2.4. Natężenia krytyczne

Wraz ze zmianami natężenia ruchu na drodze zmieniają się też warunki ruchu. Można wyznaczyć graniczne wartości natężenia dla poszczególnych poziomów swobody ruchu. Natężenia te określa się mianem natężeń krytycznych dla i -tych poziomów swobody ruchu Q_k^i .

2.4.1. Określenie natężenia krytycznego dla danego PSR

Krytyczne natężenie ruchu Q_k^i jest to największe natężenie ruchu do wartości którego może się utrzymywać określony (i -ty) poziom swobody, a po jego przekroczeniu warunki ruchu pogarszają się ($PSR\ i+1$). Natężenie krytyczne, tak jak i warunki ruchu (PSR), determinowane jest charakterystyką drogi oraz ruchu na tej drodze.

2.4.2. Interpretacja i możliwości wykorzystania natężeń krytycznych

W procedurze analizy warunków ruchu na odcinku drogi można wyznaczyć natężenie krytyczne dla każdego PSR , jako natężenie przy którym zmienia się poziom swobody z $PSR\ i$ na $PSR\ i+1$. Jest to wartość natężenia odpowiadająca warunkom ruchu na drodze o określonych cechach i cechach ruchu na niej występującego. Jeżeli przykładowo dla $PSR\ C$ wyznaczono $Q_k^C = 780\ P/h$ a natężenie ruchu na drodze wynosi $700\ P/h$, to wzrost natężenia ruchu nie przekraczający $80\ P/h$ nie spowoduje zmiany PSR tylko pod warunkiem, że cechy ruchu (rozkład kierunkowy i struktura rodzajowa oraz prędkość potoku pojazdów) nie ulegną zmianie.

Natężenia krytyczne można zatem w ograniczonym zakresie wykorzystać w ocenie dopuszczalnego wzrostu natężenia ruchu na odcinku drogi bez zmiany poziomu swobody ruchu. Warunkiem koniecznym w takiej ocenie jest stabilność cech ruchu.

2.5. Przepustowość drogi

2.5.1. Pojęcie przepustowości odcinka drogi

Przepustowość drogi to największa liczba pojazdów, które mogą przejechać określony jej przekrój lub jednorodny odcinek w jednostce czasu, najczęściej w ciągu jednej godziny [P/h]. Przepustowość drogi jednojezdniowej powinna być określana dla każdego kierunku lub kierunku o większym natężeniu, czyli faktycznie dla pasa ruchu w danym kierunku. Przekrój

drogi powinien być reprezentatywny dla analizowanego odcinka drogi. Aby przepustowość wzdłuż odcinka drogi nie zmieniała się istotnie (w znaczeniu statystycznym), analizowany odcinek powinien być jednorodny w zakresie cech geometrycznych drogi i cech ruchu. Zasady ewentualnego, obliczeniowego podziału analizowanego odcinka drogi na odcinki składowe przedstawione zostały w p. 4.

2.5.2. Charakterystyka przepustowości

Na warunki ruchu na drodze oraz na jej przepustowość wpływa w znacznej mierze ruch, jaki odbywa się na danej drodze. Zmiany podstawowych parametrów ruchu (natężenie, struktura kierunkowa i rodzajowa, prędkość, gęstość) zachodzące w czasie powodują zatem zmiany warunków ruchu i przepustowości. Czasem traktuje się przepustowość jako zmienną losową, zwłaszcza w odniesieniu do krótszych (1, 5, 15 min.) przedziałów czasu. Obliczana przepustowość odniesiona do godziny stanowi oszacowanie maksymalnego natężenia, jakie może wystąpić na analizowanym odcinku drogi przy warunkach ruchu na granicy *PSR E* i *F*. Chwilowe wartości przepustowości mogą się różnić od wartości przepustowości wyznaczonej dla godziny.

Zmiana warunków ruchu ze stanu ruchu płynnego (swobodnego) do wymuszonego (przejście z *PSR E* na *PSR F*) wiąże się z niestabilnością ruchu (stan załamania). Ten stan występuje w przedziale natężeń bliskich przepustowości. Przejście ze stanu ruchu płynnego do zatoru a następnie rozładowanie zatoru cechuje znaczny rozrzut chwilowych (w krótkich interwałach) wartości natężeń. W badaniach empirycznych stany ruchu do momentu utraty płynności i po utracie płynności opisywane są różnymi zależnościami funkcyjnymi prędkości od natężenia ruchu. Wskazują one na występowanie różnych wartości maksymalnych natężeń przy przejściu ze stanu ruchu płynnego (swobodnego) do stanu ruchu wymuszonego (większa wartość natężenia maksymalnego) oraz przy powrocie ze stanu ruchu wymuszonego do swobodnego (mniejsza wartość natężenia maksymalnego). Wiedza o tym fakcie jest istotna w praktyce projektowej. Wskazuje ona konieczność kreowania rozwiązań drogowych zapewniających płynność ruchu.

2.5.3. Przepustowość bazowa w korzystnych warunkach drogowo-ruchowych

W korzystnych warunkach drogowo ruchowych (niekiedy zwanych warunkami idealnymi) można określić tzw. przepustowość bazową. Jest to największa wartość przepustowości na odcinku drogi o szerokości pasów i poboczy zgodnej z przepisami [4], brakiem pochyłeń podłużnych wpływających na obniżenie prędkości ruchu, z możliwością wyprzedzania na całym odcinku i udziałem w ruchu tylko samochodów osobowych. Prędkość ruchu na takim odcinku odpowiada zazwyczaj prędkości miarodajnej. W rzeczywistych warunkach drogowo ruchowych, gdy cechy drogi i ruchu różnią się od „idealnych” przepustowość będzie przyjmować niższe wartości.

3. CZYNNIKI WPLYWAJĄCE NA WARUNKI RUCHU I PRZEPUSTOWOŚĆ ODCINKA DROGI

Czynniki wpływające na warunki ruchu i przepustowość odcinka drogi można podzielić na trzy grupy. **Czynniki geometryczne**, takie jak przekrój poprzeczny drogi oraz jej ukształtowanie w planie sytuacyjnym i w profilu podłużnym; **czynniki charakteryzujące otoczenie drogi**, takie jak jego zagospodarowanie i dostępność do drogi; oraz **czynniki ruchowe**, takie jak natężenie ruchu w danym kierunku oraz struktura rodzajowa.

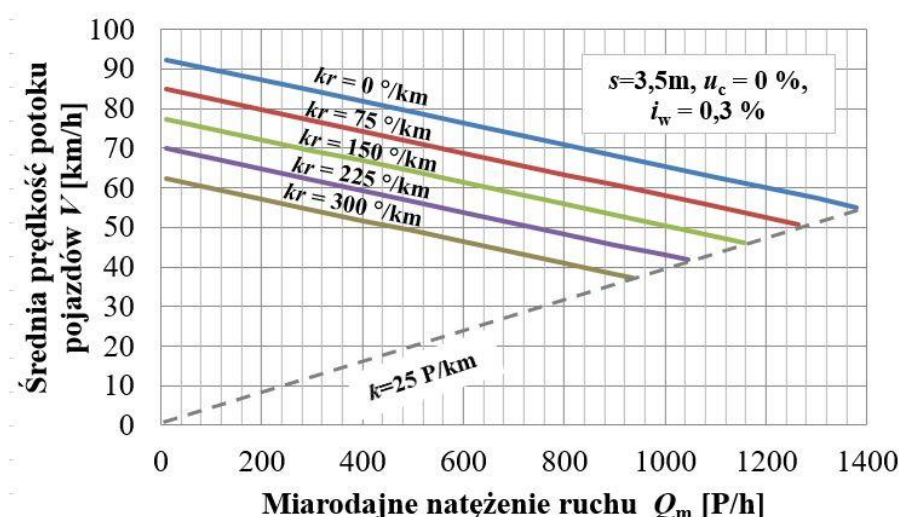
3.1. Przekrój poprzeczny drogi

Wpływ na prędkość pojazdów na danym odcinku drogi ma szerokość pasa ruchu oraz obecność utwardzonego pobocza lub jego brak. Występowanie utwardzonego pobocza (nawet wąskiego) wpływa na optyczne poszerzenie korytarza ruchu i wzrost prędkości pojazdów. Dla potrzeb analiz, wzory według których oblicza się prędkość potoku pojazdów podzielono względem szerokości pasa ruchu (3,0 m i 3,5 m) przy obecności pobocza gruntowego, a w przypadku występowania utwardzonego pobocza względem jego szerokości (opaska, 1,0 m, 1,5 m) przy szerokości pasa ruchu (3,5 m).

Zastosowanie przekroju 2+1 wpływa nieznacznie na poprawę warunków ruchu, poprzez lokalny wzrost wartości prędkości potoku pojazdów na odcinkach z dodatkowym pasem ruchu do wyprzedzania oraz zmianę rozkładu ruchu kolumnowego. Zastosowanie tego przekroju nie wpływa na przepustowość odcinków dróg dwupasowych.

3.2. Ukształtowanie drogi w planie sytuacyjnym

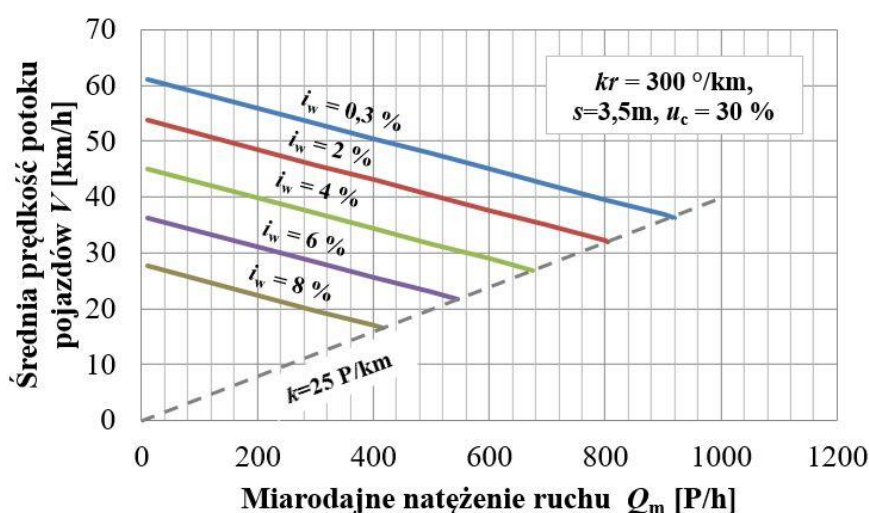
Analizowany odcinek drogi składa się zazwyczaj z odcinków prostych i odcinków łuków (łuki kołowe i krzywe przejściowe). Odcinki łuków występują w miejscach załamań kierunków trasy. O wielkości elementów krzywoliniowych trasy drogi decyduje kąt załomu kierunków trasy i wielkość promienia łuku kołowego. Wszystkie elementy trasy drogi, długość odcinków prostych i parametry krzywizn mogą wpływać na prędkość pojazdów. W metodzie obliczeniowej ukształtowanie drogi w planie sytuacyjnym reprezentuje krętość drogi, wyrażana przez iloraz sumy bezwzględnych wartości kątów załomów trasy i długości odcinka drogi. Dla potrzeb analiz przyjęto szeroki zakres zmienności krętości tj. od 0 do 320 °/km, przy czym wartość krętości powyżej 300 °/km dotyczy głównie serpentyn drogowych występujących w terenach falistych i górzystych, charakteryzujących się dużymi kątami zwrotu, krótkimi odcinkami prostymi występującymi pomiędzy łukami poziomymi i znacznymi pochyleniami podłużnymi. Rys. 3.1 ilustruje przykładowy, ustalony na podstawie badań (wzór (6.5)) wpływ natężenia ruchu i krętości drogi na prędkość potoku pojazdów.



Rys. 3.1. Wpływ natężenia ruchu i krętości drogi na średnią prędkość potoku pojazdów

3.3. Ukształtowanie drogi w profilu podłużnym

Na prędkość pojazdów, zwłaszcza ciężkich mają wpływ wielkość pochylenia podłużnego niwelety drogi oraz jego długość. Często analizowany odcinek drogi nie ma jednego pochylenia, ale kilka pochyleń o różnych wartościach i długościach. Jeżeli wartości pochyleń nie różnią się znacząco, do analizy może być stosowane średnie ważone pochylenie wyliczone, jako średnia ważona wartości pochyleń. Wagami są długości poszczególnych pochyleń. Dla potrzeb analiz przyjęto zakres bezwzględnej wartości średniego ważonego pochylenia od 0,3 do 9%. Na rys. 3.2 przedstawiono (określony na podstawie wzoru (6.5)) przykładowy wpływ na prędkość potoku pojazdów pochylenia podłużnego (w zakresie od 0,3% do 8%) i natężenia ruchu na odcinku drogi o dużej krętości ($kr = 300$ °/km) i znacznym udziale pojazdów ciężkich w ruchu ($u_c = 30\%$).



Rys. 3.2. Wpływ pochylenia podłużnego drogi i natężenia ruchu na średnią prędkość potoku pojazdów

Jeżeli na analizowanym odcinku występują wyraźnie różniące się wartości pochyleń niwelety jezdni, w tym pochylenia o dużych wartościach, odcinek powinien być podzielony na obliczeniowe odcinki składowe. Zasady podziału odcinka podano w p. 4.

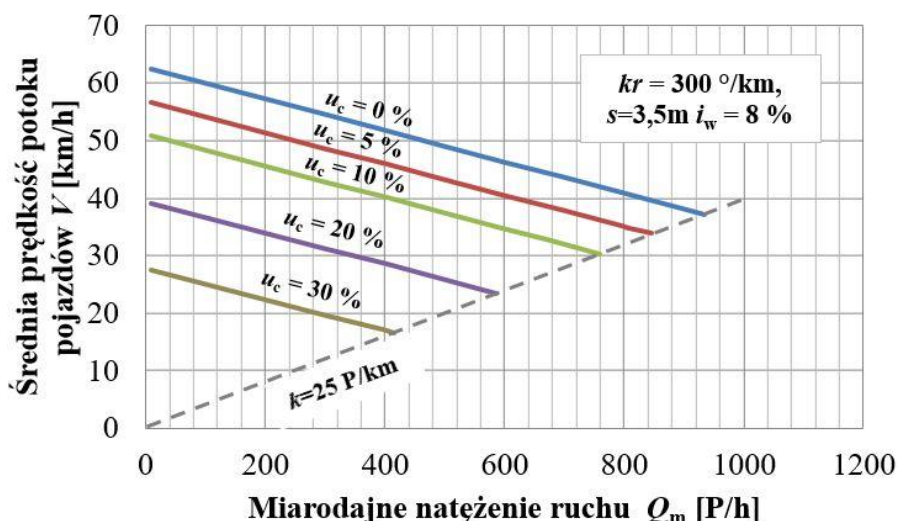
3.4. Dostępność do drogi

Zagospodarowanie otoczenia drogi i jego aktywność powoduje konieczność zapewnienia dostępności do drogi, realizowanej przez zjazdy publiczne i indywidualne. Możliwości i zasady stosowania zjazdów na drogach różnych klas regulują przepisy [4].

Pojazdy zjeżdżające z drogi jak i wjeżdżające na nią poruszając się z mniejszą prędkością mogą wpływać na prędkość ogółu pojazdów na danej drodze. Wpływ ten jest tym większy, im większa jest gęstość zjazdów i natężenie ruchu pojazdów korzystających ze zjazdów. Dla potrzeb analiz przyjęto zakres liczby zjazdów od 0 do 42 na kilometr.

3.5. Cechy ruchu

Najważniejszym czynnikiem wpływającym na warunki ruchu na danej drodze jest sam ruch opisany przez takie cechy jak natężenie i udział pojazdów ciężkich. W analizach wykorzystuje się miarodajne cechy ruchu ustalane zgodnie z opisem w p. 2 w tomie III. Zmienność cech ruchu w czasie powoduje zmienność warunków ruchu na danej drodze. Na rys. 3.3 pokazano przykładowy (określony na podstawie wzoru (6.5)) wpływ na prędkość potoku pojazdów udziału pojazdów ciężkich w ruchu (u_c zmienia się od 0% do 30%) i natężenia ruchu na drodze o dużej krętości ($kr = 300^\circ/\text{km}$) i znacznym pochyleniu podłużnym ($i_w = 8\%$).



Rys. 3.3. Wpływ udziału pojazdów ciężkich i natężenia ruchu na średnią prędkość potoku pojazdów

4. USTALENIE ODCINKA DROGI DO ANALIZY

Odcinek drogi przyjęty do analizy powinien spełniać podane poniżej wymagania odnośnie jego lokalizacji i długości oraz jednorodności cech geometrycznych i ruchowych. Określone zostały też potrzeby i reguły podziału odcinka na obliczeniowe odcinki składowe. Wyodróżniono przypadki odcinków ze zmianami geometrycznymi na ich długości, tj. odcinek drogi z sekcją 2+1 oraz zwężony do jednego pasa odcinek drogi z ruchem wahadłowym.

4.1. Wymagania dotyczące analizowanego odcinka

Odcinek jednojezdniowej drogi zamiejskiej nie powinien zawierać skrzyżowań, na których ruch na tej drodze byłby zatrzymywany (sygnalizacja świetlna, znak podporządkowania) lub natężenie ruchu znacznie (o więcej niż 100 P/h) zmieniałoby się przed i za skrzyżowaniem. Zazwyczaj do analizy przyjmuje się odcinek zlokalizowany pomiędzy ważnymi ruchowo skrzyżowaniami, przy czym nie powinien się on zaczynać i kończyć w odległości mniejszej od skrzyżowania niż wynosi strefa oddziaływania skrzyżowania [7]. Zmiany prędkości pojazdów jakie występują w strefie oddziaływania skrzyżowania nie są analizowane w metodzie. Skrzyżowania podlegają odrębnej analizie z wykorzystaniem metod obliczania przepustowości i oceny warunków ruchu na skrzyżowaniach drogowych [1, 2, 3]. Początek lub koniec odcinka może też być związany ze zmianą klasy drogi lub jej zarządcy. Długość objętego analizą odcinka drogi nie powinna być mniejsza niż 600 m. W przypadku odcinka zawierającego obliczeniowy odcinek składowy 2+1, całkowita długość powinna obejmować długość składowej 2+1 oraz odcinki składowe 1 x 2 przed i za przekrojem 2+1 o długości co najmniej 300 m.

Przyjęty do analizy odcinek powinien mieć na całej długości jednakowy przekrój poprzeczny drogi (szerokość pasa ruchu, rodzaj i szerokość pobocza). Zróżnicowanie przekroju może występować na odcinku ze składową 2+1 oraz na odcinku ze zwężeniem do jednego pasa i ruchem wahadłowym.

Przyjmowana do obliczeń krętość na analizowanym odcinku drogi nie powinna przekraczać 320 °/km a średnie ważone pochylenie podłużne 9% (wynika to z zakresu danych empirycznych uzyskanych z badań na odcinkach dróg jednojezdniowych).

4.2. Podział odcinka na składowe

Wyraźne zróżnicowanie pochyłeń podłużnych na długości odcinka, jak również zmiany przekroju poprzecznego (2+1, zwężenie z ruchem wahadłowym) determinują potrzebę wprowadzenia podziału analizowanego odcinka drogi na obliczeniowe odcinki składowe.

Jeżeli w profilu podłużnym analizowanego odcinka występują pochylenia niwelety większe od 6% o długości co najmniej 900 m, lub pochylenia większe od 8% o długości co najmniej 600 m, odcinki takie należy wydzielić i analizować oddzielnie jako obliczeniowe odcinki składowe.

W przypadku gdy analizowany odcinek drogi zawiera na pewnej jego części przekrój 2+1 część tą należy wydzielić jako obliczeniowy odcinek składowy. Odcinki składowe o przekroju podstawowym 1 x 2, poprzedzający jak i następujący po odcinku składowym 2+1, nie powinny być krótsze niż 300 m.

Gdy zajdzie potrzeba analizy odcinka drogi, na części którego w związku z prowadzonymi robotami drogowymi w dłuższym okresie wystąpi zwężenie do jednego pasa, na którym

obowiązywał będzie przemienny ruch dwukierunkowy, odcinek zwężenia powinien być analizowany oddzielnie zgodnie z procedurą opisaną w p. 8. Długość takiego odcinka obejmuje odległość między liniami zatrzymań po obu stronach zwężenia oraz zasięg kolejek L_K przed liniami zatrzymań po obu stronach zwężenia. Odcinki składowe o przekroju podstawowym 1×2 , poprzedzający jak i następujący po zwężonym odcinku, nie powinny być krótsze niż 300 m.

4.3. Odcinek 2+1

Szczegółowy opis sposobu podziału odcinka składowego z dodatkowymi pasami ruchu do wyprzedzania został opisany w p. 7.

4.4. Zwężony odcinek z ruchem przemiennym (wahadłowym)

Długość zwężonego do jednego pasa odcinka wynika z projektu organizacji ruchu w miejscu prowadzonych robót. Obejmuje ona odcinek między liniami zatrzymań przed sygnalizatorami po obu stronach zwężenia oraz odcinki oddziaływania zwężenia. Długość odcinka oddziaływania zwężenia przy dojeździe z danego kierunku można przyjąć równą zasięgowi kolejki L_K .

Analiza warunków ruchu i przepustowości na zwężonym odcinku z ruchem wahadłowym prowadzona powinna być zgodnie z procedurą opisaną w p. 8. Zakłada się, że ruch na tym odcinku regulowany jest za pomocą sygnalizacji świetlnej. Poziom swobody ruchu ustalany jest na podstawie innego kryterium, niż na odcinkach dróg jednojezdniowych. Kryterium tym są średnie straty czasu przypadające na pojazd.

5. DANE DO OBLICZEŃ

Przed przystąpieniem do obliczeń warunków ruchu na odcinku drogi lub jego obliczeniowym odcinku składowym niezbędne jest określenie rodzaju analizy (planistyczna, projektowa lub eksploatacyjna) oraz zestawu danych, które umożliwią wybór toku postępowania, a także dobór wartości parametrów. Zestaw wyjściowy do obliczeń obejmuje dane ruchowe, dane dotyczące geometrii drogi i jej otoczenia oraz dane o dostępności do drogi. Poniżej wymieniono najważniejsze parametry.

5.1. Parametry geometryczne drogi

- klasa techniczna i przekrój drogi jednojezdniowej; 1 x 2 lub 2+1,
- szerokość pasa ruchu [m] i obecność poboczy gruntowych lub utwardzonych,
- szerokość poboczy utwardzonych [m],
- długość analizowanego odcinka w planie [m],
- kąty zwrotu [°] trasy odcinka drogi,
- pochylenia podłużne niwelety drogi [%] na analizowanym odcinku oraz ich długości [m],
- długość odcinków jedno i dwupasowych o przekroju 2+1 [m], w kierunku analizowanym oraz ich rozkład na długości odcinka składowego.

5.2. Dostępność do drogi

- gęstość zjazdów po obu stronach drogi [zjazdów/km].

5.3. Parametry ruchu

- miarodajne natężenie ruchu w kierunku o większym natężeniu ruchu [P/h] (w analizie eksploatacyjnej może być też pomierzone natężenie w poszczególnych kierunkach),
- udział pojazdów ciężkich w ruchu [%],

Dane do obliczeń są zbiorem czynników determinujących miary warunków ruchu i przepustowość odcinka drogi oraz wpływają na sposób prowadzenia obliczeń. Od staranności przygotowania danych do obliczeń oraz ich reprezentatywności zależy wiarygodność końcowych wyników obliczeń.

6. METODYKA ANALIZ NA ODCINKU DROGI JEDNOJEZDNIOWEJ

Sposób określania warunków ruchu i przepustowości opiera się na następujących założeniach:

- W analizie warunków ruchu i przepustowości oba kierunki ruchu występujące na drodze jednojezdniowej uwzględnia się oddzielnie, przy czym analizę zaleca się prowadzić dla kierunku z większym natężeniem ruchu.
- Analizę prowadzi się w pojazdach rzeczywistych.
- Okresem analizy jest 1 godzina.
- Klasyfikacja warunków ruchu bazuje na koncepcji poziomów swobody ruchu. Przyjęto 6 poziomów swobody ruchu od *A* (bardzo dobre warunki ruchu) do *F* (niekorzystne warunki ruchu).
- Podstawową miarą stosowaną w celu określenia warunków ruchu jest gęstość ruchu, bazująca na średniej prędkości potoku pojazdów i natężeniu miarodajnym.
- Poziomom swobody ruchu można przypisać natężenia krytyczne, będące progowymi wartościami umożliwiającymi ocenę warunków (określenie *PSR*) ruchu na podstawie natężenia ruchu.
- Natężenie krytyczne na poziomie swobody ruchu *PSR E* utożsamiane jest z przepustowością pasa ruchu.
- Metoda nie uwzględnia czynników losowych i zakłóceń ruchu (takich jak niekorzystne warunki pogodowe, zdarzenia drogowe) oraz nie pozwala na szacowanie częstości i czasu trwania przeciążeń na drodze po wystąpieniu *PSR F*.
- Metoda pozwala na oszacowanie w ilu godzinach w roku warunki ruchu przekraczają poziom swobody wymagany przez organ odpowiedzialny za drogę, przy znanej zmienności (profilu) natężenia godzinowego i struktury rodzajowej ruchu w roku.

6.1. Model ogólny szacowania średniej prędkości potoku pojazdów

Ogólna postać wzoru na szacowanie średniej prędkości potoku pojazdów na analizowanym odcinku drogi jednojezdniowej, przedstawia się następująco:

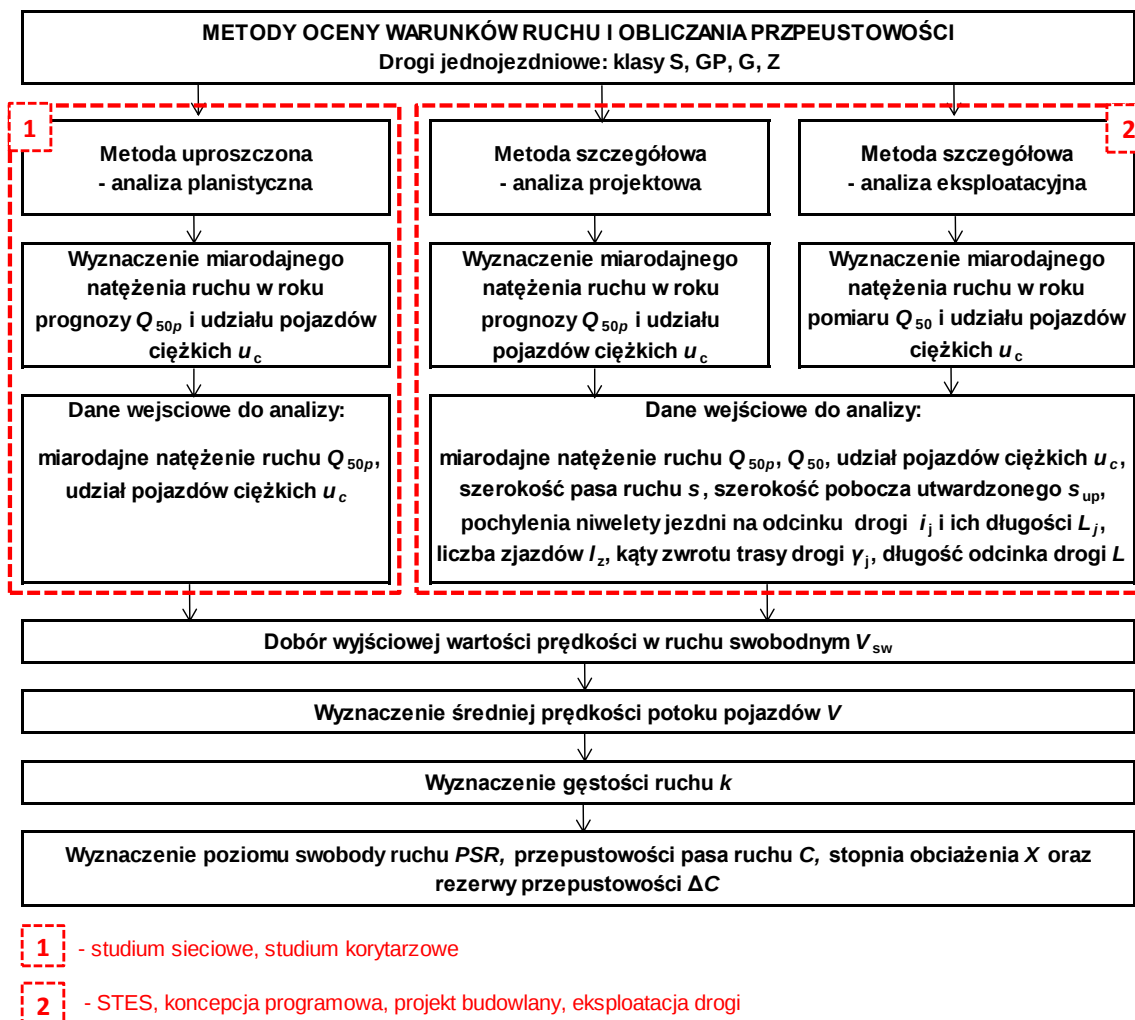
$$V = V_{sw} - \Delta V_Q - \Delta V_{kr} - \Delta V_z - \Delta V_{i,Q} \quad [\text{km/h}] \quad (6.1)$$

gdzie:

- V – średnia prędkość potoku pojazdów [km/h],
- V_{sw} – wyjściowa prędkość pojazdów w warunkach swobodnych [km/h],
- ΔV_Q – korekta wyjściowej wartości prędkości z uwagi na natężenie ruchu [km/h],
- ΔV_{kr} – korekta wyjściowej wartości prędkości z uwagi na krętość drogi [km/h],
- ΔV_z – korekta wyjściowej wartości prędkości z uwagi na liczbę zjazdów [km/h],
- $\Delta V_{i,Q}$ – korekta wyjściowej wartości prędkości z uwagi na średnie ważone pochylenie niwelety jezdni i udział pojazdów ciężkich w ruchu [km/h].

6.2. Schemat analizy

Procedura oceny warunków ruchu i wyznaczania przepustowości, uwzględniająca przyjęte w p. 5 założenia, została przedstawiona poniżej w postaci schematu blokowego (rys. 6.1).



Rys. 6.1. Schemat określania warunków ruchu i wyznaczania przepustowości na drogach jednojezdniowych

6.3. Analiza warunków ruchu i obliczanie przepustowości

Ocenę warunków ruchu i obliczenia przepustowości można przeprowadzić w analogiczny sposób metodami uproszczoną (analiza planistyczna) oraz szczegółową (analiza projektowa i eksploatacyjna), różniącymi się przeznaczeniem, wartością miarodajnego natężenia ruchu, które związane jest z przewidywanym horyzontem czasu prowadzonych analiz oraz zestawem dostępnych danych o ruchu. We wstępnym etapie prowadzonych analiz ważne jest rozstrzygnięcie potrzeby i przeprowadzenie podziału analizowanego odcinka na obliczeniowe odcinki składowe zgodnie z kryteriami przedstawionymi w p. 4. W następnych punktach przedstawiono kolejne kroki prowadzonych analiz dla wybranego odcinka drogi lub odcinka składowego.

6.3.1. Dobór wyjściowej prędkości w ruchu swobodnym

Wyjściową prędkość w ruchu swobodnym V_{sw} należy dobierać na podstawie szerokości składowych korytarza ruchu, którymi są szerokość pasa ruchu w przypadku przekroju bez utwardzonych poboczy lub szerokość pasa ruchu oraz szerokość utwardzonego pobocza, gdy taka część pobocza występuje. Poniżej w tablicy 6.1 przedstawiono zestawienie tabelaryczne wyróżnionych przypadków.

Tab. 6.1. Dobór wartości wyjściowej prędkości w ruchu swobodnym V_{sw}

Przypadek	Wyjściowa prędkość w ruchu swobodnym V_{sw} [km/h]	Szerokość składowych korytarza ruchu [m]
1	92,0	$s = 3,0$ m
2	92,6	$s = 3,5$ m
3	93,2	$s = 3,5$ m z opaską
4	93,8	$s = 3,5$ m z $s_{up} = 1,0$ m
5	94,4	$s = 3,5$ m z $s_{up} = 1,5$ m

W przypadku potrzeby zastosowania wartości pośrednich s lub s_{up} , prędkość w ruchu swobodnym można wyznaczyć z interpolacji liniowej. Dla jednojezdniowych dróg klasy S zaleca się przyjmować najwyższą wartość wyjściowej prędkości w ruchu swobodnym (przypadek 5).

6.3.2. Wyznaczanie miarodajnego natężenia ruchu w analizowanym kierunku

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 [6].

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 w p. 2.

We wzorze (6.1) miarodajne natężenie ruchu Q_m ujęte w składowej ΔV_Q odnosi się do kierunku o większym natężeniu ruchu (przy bieżącej analizie eksploatacyjnej może to być natężenie w każdym z kierunków ruchu).

Za wartość natężenia ruchu można również przyjąć wartość bezpośrednio pomierzoną w terenie, w okresie reprezentatywnym określonym przez zarządcę drogi. Wartość tak uzyskana nie jest wartością miarodajną w myśl powyższych zapisów i może być jedynie użyta do bieżących, orientacyjnych analiz i potrzeb zarządcy drogi.

6.3.3. Krętość odcinka drogi oraz gęstość zjazdów

Krętość drogi i gęstość zjazdów charakteryzują cechy geometryczne i otoczenia drogi, których wpływ na prędkość potoku pojazdów został ujęty we wzorze (6.1) jako składowe ΔV_{kr} i ΔV_z .

Krętość kr analizowanego odcinka drogi lub wyróżnionych odcinków składowych dłuższego odcinka drogi jest to stosunek sumy kątów zwrotu kierunków trasy drogi do jej długości:

$$kr = \frac{\sum \gamma_j}{L} \quad [^\circ/\text{km}] \quad (6.2)$$

gdzie:

- kr – krętość $[^\circ/\text{km}]$,
- γ_j – kąt zwrotu trasy drogi w wierzchołku j $[^\circ]$,
- L – długości analizowanego odcinka drogi $[\text{km}]$.

Gęstość zjazdów g_z obsługujących przyległe do drogi tereny jest to liczba zjazdów występujących po obu stronach drogi jednojezdniowej średnio na długości 1 km. Gęstość zjazdów g_z oblicza się ze wzoru:

$$g_z = \frac{l_z}{L} \quad [\text{zjazdów}/\text{km}] \quad (6.3)$$

gdzie:

- l_z – liczba zjazdów po obu stronach drogi na analizowanym odcinku drogi,
- L – długości analizowanego odcinka drogi $[\text{km}]$.

W analizach należy przyjmować wartości g_z z zakresu od 0 do 42 zjazdów/km.

6.3.4. Średnie ważone pochylenie niwelety jezdni i udział pojazdów ciężkich

Interakcja bezwzględnej wartości średniego ważonego pochylenia niwelety jezdni i udziału pojazdów ciężkich w ruchu (składowa $\Delta V_{i,Q}$ we wzorze (6.1)) wpływa znacząco na zmniejszenie wartości średniej prędkości potoku pojazdów na odcinku drogi. Jeżeli odcinek posiada stałe pochylenie niwelety jezdni, wówczas w analizach należy stosować wprost tą wartość. W sytuacji, gdy analizowany odcinek charakteryzuje się pewnym dopuszczalnym zróżnicowaniem pochylenia podłużnych (p. 4) należy obliczyć średnioważone pochylenie podłużne ze wzoru:

$$i_w = \frac{\sum i_j L_j}{L} \quad [\%] \quad (6.4)$$

gdzie:

- i_w – średnie ważone pochylenie niwelety jezdni $[\%]$,
- i_j – j -te pochylenie niwelety jezdni na długości analizowanego odcinka $[\%]$,
- L_j – długość j -tego pochylenia niwelety jezdni analizowanego odcinka $[\text{km}]$,
- L – długość całkowita odcinka, równa sumie odcinków L_j $[\text{km}]$.

Ze względu na ograniczenia metodyki analiz, nie zaleca się przyjmowania wartości udziału pojazdów ciężkich w ruchu u_c większych od 30%.

6.3.5. Wyznaczanie średniej prędkości potoku pojazdów

Ogólna, addytywna postać wzoru (6.1) została przekształcona z użyciem regresji wielorakiej do formy szczegółowej, w oparciu o dane empiryczne pochodzące z 98 poligonów badawczych i 194 analizowanych kierunków ruchu zlokalizowanych na terytorium całej Polski. Średnią prędkość potoku pojazdów można wyznaczyć zatem ze wzoru:

$$V = V_{sw} - 0,0272 \cdot Q_m - 0,10 \cdot kr - 0,125 \cdot g_z - 0,145 \cdot |i_w| \cdot u_c \quad [\text{km/h}] \quad (6.5)$$

gdzie:

- V – średnia prędkość potoku pojazdów [km/h],
- V_{sw} – wyjściowa prędkość pojazdów w warunkach swobodnych [km/h] wg tablicy 6.1,
- Q_m – miarodajne natężenie ruchu w analizowanym kierunku (zazwyczaj kierunku o większym natężeniu ruchu) wyznaczone zgodnie z opisem w p. 2.2 tomu III [P/h],
- kr – krętość [°/km],
- g_z – gęstość zjazdów [zjazdów/km],
- i_w – średnie ważone pochylenie niwelety jezdni [%],
- u_c – udział pojazdów ciężkich w ruchu [%].

W przypadku serpentyn, dla których wartości krętości kr będą większe niż wartość 320 °/km ograniczająca stosowalność wzoru (6.5), należy do obliczeń stosować wartość 320 °/km].

Wyznaczona ze wzoru (6.5) wartość średniej prędkości potoku pojazdów jest podstawą do wyznaczenia gęstości ruchu i określenia poziomu swobody ruchu PSR . Może być też wykorzystana do oceny czy droga spełnia określone przez zarządcę wymagania.

6.3.6. Wyznaczenie gęstości ruchu

Gęstość ruchu należy obliczyć wg wzoru poniższego wzoru:

$$k = \frac{Q_m}{V} \quad [\text{P/km}] \quad (6.6)$$

gdzie:

- k – gęstość ruchu [P/km],
- Q_m – miarodajne natężenie ruchu w analizowanym kierunku (zazwyczaj o większym natężeniu ruchu) [P/h],
- V – średnia prędkość potoku pojazdów [km/h].

Na podstawie obliczonej gęstości ruchu na analizowanym odcinku drogi i pasie ruchu należy odczytać poziom swobody ruchu z tablicy 2.1.

6.3.7. Ocena warunków ruchu na odcinkach składowych drogi

Jeżeli analizowany odcinek drogi składa się z odcinków znacznie różniących się parametrami geometrycznymi w tym pochyleniami niwelety jezdni, to należy go podzielić na obliczeniowe odcinki składowe wg zapisów przedstawionych w p. 4. Wówczas, każdy odcinek składowy powinien zostać oddzielnie poddany analizie warunków ruchu i przepustowości wg wskazań w niniejszym rozdziale (obliczenie przepustowości nie dotyczy składowego odcinka 2+1).

6.3.8. Ocena warunków ruchu na analizowanym odcinku drogi

Jeżeli analizowany odcinek drogi został podzielony na odcinki składowe i dla każdego odcinka składowego wyznaczona została średnia prędkość potoku pojazdów, to dla poprawnej oceny warunków ruchu na całym analizowanym odcinku należy określić średnią ważoną prędkość potoku pojazdów, z uwzględnieniem odcinków składowych i ich długości wg wzoru:

$$V_w = \frac{\sum V_j \cdot L_j}{L} \quad [\text{km/h}] \quad (6.7)$$

gdzie:

- V_w – średnia ważona prędkość potoku pojazdów na analizowanym odcinku drogi [km/h],
- V_j – prędkość potoku pojazdów na j -tym odcinku składowym [km/h],
- L_j – długość j -tego odcinka składowego [km],
- L – długość całkowita odcinka, będąca sumą długości odcinków składowych L_j [km].

Powyższe postępowanie jest właściwe tylko w sytuacji gdy na każdym z analizowanych odcinków składowych poziom swobody ruchu jest nie niższy (o gorszych warunkach ruchu) niż $PSR D$. Jeżeli na jednym z odcinków składowych wyznaczony został poziom swobody ruchu E lub F , wówczas należy przyjąć, że cały analizowany odcinek będzie charakteryzował tak samo niski poziom swobody ruchu.

Wyznaczona ze wzoru (6.7) średnia ważona prędkość potoku pojazdów jest podstawą do obliczenia gęstości ruchu, przy założeniu, że natężenie ruchu na analizowanym odcinku (poszczególnych jego składowych) nie uległo zmianie. Gęstość ruchu należy wyznaczyć ze wzoru (6.6), a poziom swobody ruchu dla całego analizowanego odcinka odczytać z tablicy 2.1.

6.4. Oszacowanie przepustowości i stopnia jej wykorzystania

Na podstawie przeprowadzonych analiz empirycznych przepustowości ustalono, że największa wartość przepustowości w bardzo dobrych warunkach, przy braku ograniczeń wynikających z geometrii drogi i jej otoczenia ($s = 3,5$ m, $i_w = 0,3\%$, $g_z = 0$ zjazdów/km) oraz cech ruchowych ($u_c = 0\%$) przy ustalonej gęstości ruchu $k = 25$ P/km wynosi 1 380 P/h. Przepustowość pasa ruchu zostanie zatem osiągnięta przy prędkości optymalnej potoku pojazdów V_{op} wynoszącej 55 km/h. Wskazana powyżej wartość przepustowości, może być określana jako przepustowość bazowa C_b wyrażana w [E/h/pas].

W celu wyznaczenia wartości przepustowości w pozostałych warunkach drogowo-ruchowych, należy skorzystać ze wzoru:

$$C = 14,881 \cdot (V_{sw} - 0,10 \cdot kr - 0,125 \cdot g_z - 0,145 \cdot |i_w| \cdot u_c) \quad [\text{P/h}] \quad (6.8)$$

Przykładowe wartości przepustowości dla wybranych warunków drogowo-ruchowych przedstawiono w tabelach 6.2 ÷ 6.4.

Tab. 6.2. Wybrane wartości przepustowości [P/h] dla $kr = 0^\circ/\text{km}$, $s = 3,5 \text{ m}$ i $g_z = 0$ zjazdów/km

		Średnioważone pochylenie podłużne i_w [%]				
		0,3	2	4	6	8
Udział pojazdów ciężkich u_c [%]	0	1380	1380	1380	1380	1380
	5	1380	1355	1335	1315	1295
	10	1375	1330	1290	1250	1210
	20	1365	1280	1200	1115	1035
	30	1355	1230	1105	980	855

Tab. 6.3. Wybrane wartości przepustowości [P/h] dla $kr = 160^\circ/\text{km}$, $s = 3,5 \text{ m}$ i $g_z = 0$ zjazdów/km

		Średnioważone pochylenie podłużne i_w [%]				
		0,3	2	4	6	8
Udział pojazdów ciężkich u_c [%]	0	1140	1140	1140	1140	1140
	5	1140	1120	1100	1080	1055
	10	1135	1095	1055	1015	970
	20	1125	1045	960	880	795
	30	1115	990	865	740	615

Tab. 6.4. Wybrane wartości przepustowości [P/h] dla $kr = 320^\circ/\text{km}$, $s = 3,5 \text{ m}$ i $g_z = 0$ zjazdów/km

		Średnioważone pochylenie podłużne i_w [%]				
		0,3	2	4	6	8
Udział pojazdów ciężkich u_c [%]	0	905	905	905	905	905
	5	905	885	865	845	820
	10	900	860	820	780	735
	20	890	810	725	645	560
	30	880	760	635	510	385

Wykorzystując wyznaczoną wartość przepustowość C pasa ruchu na analizowanym odcinku drogi, można wyliczyć stopień wykorzystania przepustowości X z następującego wzoru:

$$X = \frac{Q_m}{C} \quad [-] \quad (6.9)$$

gdzie:

X – stopień wykorzystania przepustowości pasa ruchu w analizowanym kierunku [-],

Q_m – miarodajne natężenie ruchu w analizowanym kierunku [P/h],

C – przepustowość pasa ruchu w analizowanym kierunku [P/h].

Rezerwę przepustowości ΔC pasa ruchu analizowanego odcinka drogi obliczyć można ze wzoru:

$$\Delta C = C - Q_m \quad [\text{P/h}] \quad (6.10)$$

gdzie:

ΔC – rezerwa przepustowości pasa ruchu analizowanego odcinka drogi [P/h],

C – przepustowość pasa ruchu w analizowanym kierunku [P/h],

Q_m – natężenie miarodajne ruchu w analizowanym kierunku [P/h].

Stopień wykorzystania przepustowości oraz rezerwa przepustowości to miary pośrednie informujące jedynie o zależności pomiędzy natężeniem ruchu, a przepustowością w wymiarze względnym – stopień wykorzystania przepustowości lub w wymiarze bezwzględnym – rezerwa przepustowości. Jeżeli wartości stopnia wykorzystania przepustowości zbliżają się do 1, oznacza to, że natężenie ruchu jest bliskie przepustowości, przy malejącej do zera rezerwie przepustowości. Powyższe pośrednie miary warunków ruchu można stosować jedynie jako dodatkowe, po uprzednim wyznaczeniu gęstości ruchu, która jest podstawą w ocenie warunków ruchu na pasie drogi jednojezdniowej.

6.5. Oszacowanie natężenia krytycznego dla PSR_i

Natężenie krytyczne Q_k^i dla określonego poziomu swobody ruchu PSR_i można wyznaczyć z podanego poniżej wzoru (6.11).

$$Q_k^i = \frac{1}{k_{PSR_i} + 0,0272} \cdot (V_{sw} - 0,10 \cdot kr - 0,125 \cdot g_z - 0,145 \cdot |i_w| \cdot u_c) \quad [\text{P/h}] \quad (6.11)$$

gdzie:

Q_k^i – natężenia krytyczne dla i -tego poziomu swobody ruchu PSR_i [P/h],

k_{PSR_i} – graniczna gęstość ruchu występująca przy przejściu z PSR_i na PSR_{i+1} wg tablicy 2.1 [P/km],

V_{sw} – wyjściowa prędkość pojazdów w warunkach swobodnych [km/h] wg tablicy 6.1,

kr – krętość [$^\circ$ /km],

g_z – gęstość zjazdów [zjazdów/km],

i_w – średnioważone pochylenie podłużne [%],

u_c – udział pojazdów ciężkich w ruchu [%].

Przykład pokazujący przebieg obliczeń przy wyznaczaniu warunków ruchu i przepustowości odcinka drogi zamieszczono w załączniku 1.

7. METODYKA ANALIZ NA ODCINKU DROGI 2+1

Sposób określania warunków ruchu na odcinkach dróg o przekroju 2+1 pasowym nie odbiega od ogólnych założeń przedstawionych w p. 6 dla dróg dwupasowych jednojezdniowych. Dodatkowe założenia w odniesieniu wyłącznie do dróg 2+1 są następujące:

- Nie przewiduje się oceny przepustowości tych odcinków, zakładając że przepustowość jest ograniczona przez przekrój o jednym pasie ruchu w analizowanym kierunku, co w praktyce oznacza przepustowość drogi jednojezdniowej dwupasowej.
- Poprawa warunków ruchu następuje poprzez wzrost wartości prędkości potoku pojazdów na sekcjach o dwóch pasach ruchu w jednym kierunku.
- Na odcinkach jednopasowych występuje zmniejszenie obserwowanej wartości prędkości potoku pojazdów względem odcinka poprzedzającego o dwóch pasach ruchu w jednym kierunku.
- Niezbędnym jest podział odcinka 2+1 na sekcje o dwóch pasach ruchu i jednym pasie ruchu w analizowanym kierunku ruchu.
- Wartość prędkości potoku pojazdów na odcinku składowym 2+1 jest średnią ważoną długościami analizowanych sekcji.
- Zastosowanie przekrojów 2+1 pasowych, jak i ocena warunków ruchu, powinny być ograniczone, w zależności od udziału pojazdów ciężkich, do natężenia 1 100 P/h lub 22 000 P/d wg [4]. Powyżej tej wartości występują zakłócenia ruchu na zakończeniu dodatkowego pasa ruchu do wyprzedzania, powodując pogorszenie ogólnej sprawności funkcjonowania przekroju drogi.
- Pierwszą sekcją analizowanego odcinka drogi 2+1 jest sekcja o przekroju dwupasowym jednojezdniowym (1×2) o długości L^p nie mniejszej niż 300 m (rys. 7.1.a) i nie większej niż 1 800 m. Sekcji tej nie uwzględnia się w analizie odcinka składowego 2+1 przy długości większej od 1 800 m. Wartość prędkości potoku pojazdów przed przekrojem o dwóch pasach ruchu w analizowanym kierunku należy wyznaczyć wg p. 6.
- Pierwszą sekcję analizowanego odcinka składowego 2+1 może stanowić odcinek o jednym pasie ruchu w kierunku jazdy o długości L^p . Jeden pas ruchu w kierunku analizowanym może wystąpić w przypadku odcinka składowego drogi 2+1 zaczynającego się od sekcji dwupasowej w analizowanym kierunku ruchu (rys. 7.1.b). Sekcja ta zawsze uwzględniana jest w analizie prędkości potoku pojazdów odcinka składowego 2+1.
- Końcową sekcję analizowanego odcinka drogi 2+1 stanowi sekcja o przekroju dwupasowym jednojezdniowym (1×2) o długości L^k nie mniejszej niż 300 m i nie większej niż 1 800 m. W przypadku dłuższej sekcji nie uwzględnia się jej w analizie odcinka składowego 2+1. Wartość prędkości potoku pojazdów określa się jak na sekcji jednopasowej.
- Konieczne jest prowadzenie analiz osobno w obu kierunkach ruchu.

Schemat prowadzenia analizy oceny warunków ruchu jest analogiczny jak na rysunku 6.1. Całość niżej przedstawionej procedury zawiera się w bloku dotyczącym oszacowania prędkości potoku pojazdów.

7.1. Analiza warunków ruchu

Ocenę warunków ruchu należy przeprowadzić w analogiczny sposób jak w przypadku

odcinków dróg dwupasowych. Istotnym elementem oceny warunków ruchu na drogach 2+1 jest obligatoryjny podział analizowanego odcinka na sekcje o dwóch pasach ruchu (2p) i jednym pasie ruchu (1p) w analizowanym kierunku ruchu. Poniżej w kolejnych punktach przedstawiono procedurę prowadzenia analizy w odniesieniu do odcinka drogi 2+1. Ze względu na możliwość wystąpienia zmiennych długości sekcji jedno i dwupasowych w dwóch kierunkach oraz różnego ich rozkładu na długości odcinka składowego analizę warunków ruchu należy prowadzić w każdym z kierunków oddzielnie.

7.1.1. Wyznaczanie prędkości potoku pojazdów na odcinku dwupasowym

Analizę należy rozpocząć od wyznaczenia prędkości potoku pojazdów V na odcinku poprzedzającym pierwszą sekcję z dwoma pasami ruchu w jednym kierunku, analogicznie do procedury opisanej w p. 6. Prędkość potoku pojazdów V będzie wyjściową wartością do szacowania prędkości potoku pojazdów na kolejnych analizowanych sekcjach odcinka drogi 2+1. W przypadku wyraźnie niższego standardu technicznego odcinka drogi jednojezdniowej dwupasowej, sąsiadującego z analizowanym odcinkiem składowym drogi o przekroju 2+1, prędkość wyjściową należy przyjąć jak w przypadku 5 z tab. 6.1. Jeżeli analizowany odcinek składowy drogi 2+1 jest drogą ekspresową to wyjściową prędkość potoku pojazdów uzyskaną z oszacowania wg p. 6 należy powiększyć o 10 km/h lub przyjąć 105 km/h.

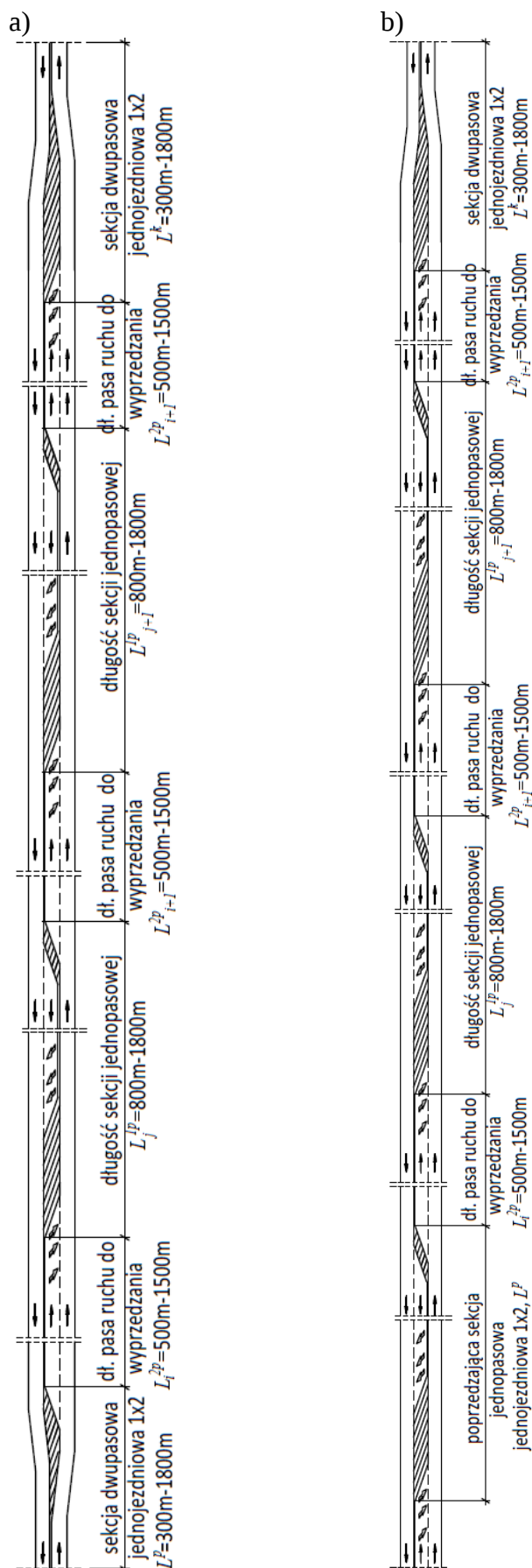
7.1.2. Podział odcinka na sekcje o różnej liczbie pasów ruchu

Analizowany odcinek drogi o przekroju 2+1 pasowym należy podzielić na sekcje o dwóch pasach ruchu (2p, sekcje *i-te*) i jednym pasie ruchu (1p, sekcje *j-te*) w kierunku poruszania się pojazdów. Na podstawie rozwiązania geometrycznego należy określić, które elementy ocenianego odcinka będą uwzględniane w analizie warunków ruchu oraz długości poszczególnych sekcji zgodnie z rysunkiem 7.1.

Zgodnie z wymaganiami projektowymi [4], długość odcinków o dwóch pasach ruchu została ograniczona do długości w zakresie 500 m ÷ 1500 m. Natomiast długość odcinków o przekroju jednopasowym w analizowanym kierunku ruchu, pomiędzy sekcjami dwupasowymi, powinna zawierać się w zakresie 800 m ÷ 1800 m.

7.1.3. Wyznaczenie prędkości potoku pojazdów na kolejnych sekcjach odcinka składowego 2+1

Wprowadzenie dodatkowego pasa ruchu do wyprzedzania powoduje pojawienie się możliwości łatwiejszej realizacji manewru wyprzedzania. Wraz z występowaniem manewrów wyprzedzania wzrasta prędkość potoku pojazdów na odcinkach z dodatkowym pasem ruchu do wyprzedzania oraz spada na odcinkach o jednym pasie ruchu (rys. 7.2). Wielkość zmian prędkości potoku pojazdów ΔV_i^{2p} , względem prędkości potoku pojazdów na odcinku poprzedzającym V (oszacowana na podstawie p. 6) zależy od natężenia ruchu, udziału pojazdów ciężkich oraz długości kolejnych sekcji. Prędkość potoku pojazdów na kolejnych sekcjach o jednym jak i o dwóch pasach ruchu należy wyznaczać z uwzględnieniem wielkości zmian prędkości potoku pojazdów ΔV_j^{1p} , ΔV_{i+1}^{2p} , ΔV_{j+1}^{1p} . W tab. 7.1 i 7.2 zestawiono wartości zmian prędkości potoku pojazdów uśrednione na całej analizowanej sekcji, uwzględniające lokalne zmiany prędkości związane z przyspieszaniem i opóźnianiem, głównie z powodu realizowania manewru wyprzedzania. W tab. 7.1 i 7.2 wyróżniono pierwsze sekcje jedno- (*j-te*) i dwupasowe (*i-te*) kolejne (odpowiednio $j + 1$ i $i + 1$) ze względu na obserwowane różnice prędkości potoku pojazdów pomiędzy nimi.



Rys. 7.1. Schemat podziału odcinka o przekroju 2+1 pasowym na sekcje obliczeniowe

Prędkość potoku pojazdów na kolejnych sekcjach należy wyznaczyć wg następujących wzorów:

- Prędkość potoku pojazdów na sekcji, o dwóch pasach ruchu w jednym kierunku, następującej po sekcji drogi dwupasowej jednojezdniowej lub o jednym pasie ruchu w kierunku jazdy:

$$V_i^{2p} = V + \Delta V_i^{2p} \quad [\text{km/h}] \quad (7.1)$$

- Prędkość potoku pojazdów na sekcji, o jednym pasie ruchu w jednym kierunku, następującej po pierwszej sekcji o dwóch pasach ruchu w jednym kierunku:

$$V_j^{1p} = V_i^{2p} + \Delta V_j^{1p} \quad [\text{km/h}] \quad (7.2)$$

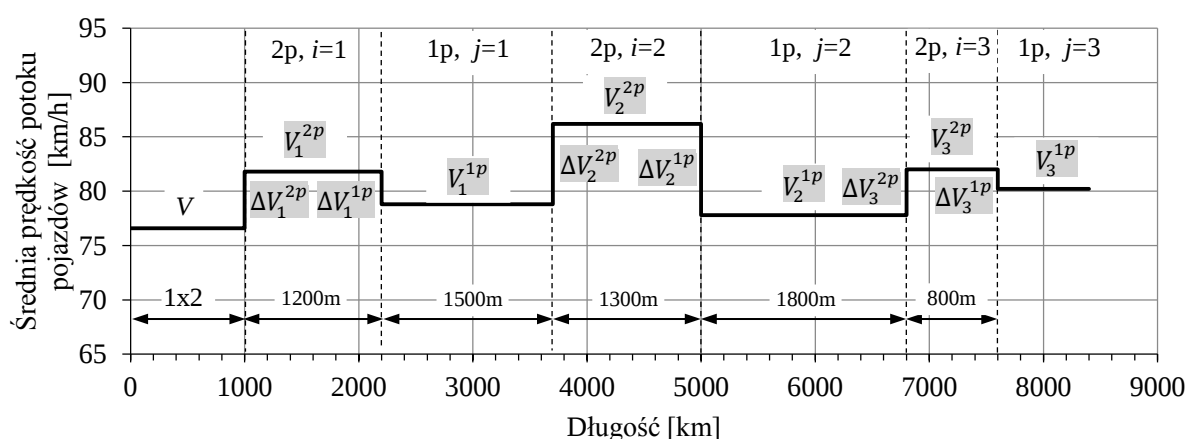
- Prędkość potoku pojazdów na kolejnej sekcji, o dwóch pasach ruchu w jednym kierunku, następującej po sekcji o jednym pasie ruchu w jednym kierunku:

$$V_{i+1}^{2p} = V_j^{1p} + \Delta V_{i+1}^{2p} \quad [\text{km/h}] \quad (7.3)$$

- Prędkość potoku pojazdów na kolejnej sekcji, o jednym pasie ruchu w jednym kierunku, następującej po sekcji o dwóch pasach ruchu w jednym kierunku:

$$V_{j+1}^{1p} = V_{i+1}^{2p} + \Delta V_{j+1}^{1p} \quad [\text{km/h}] \quad (7.4)$$

Wyżej przedstawione obliczenia należy przeprowadzić na wszystkich sekcjach o różnej liczbie pasów ruchu na analizowanym odcinku składowym drogi 2+1.



Rys. 7.2. Zmiany prędkości potoku pojazdów na odcinku składowym drogi 2+1

Jako wyjściową prędkość (V we wzorze (7.1)) należy przyjąć prędkość potoku pojazdów wyznaczoną na podstawie danych geometryczno-ruchowych (wzór (6.5)) lub w przypadku braku danych prędkość potoku pojazdów jak w przypadku 5 z tab. 6.1.

Tab. 7.1. Wartości zmian prędkości potoku pojazdów na odcinkach dróg 2+1 – pierwsza sekcja dwu- i jednopasowa

Q [P/h]	Różnica prędkości na pierwszej sekcji dwupasowej $\Delta V_i^{2p}, i = 1$							Różnica prędkości na pierwszej sekcji jednopasowej $\Delta V_j^{1p}, j = 1$						
	$L_i = 500 \text{ m}$							$L_j = 800 \text{ m}$						
	u_c							u_c						
	0%	5%	10%	15%	20%	25%	30%	0%	5%	10%	15%	20%	25%	30%
100	0,1	0,0	-0,1	-0,2	-0,2	0,1	0,3	-0,1	-0,1	-0,1	-0,1	-0,1	-0,1	-0,1
200	0,3	0,5	0,7	0,6	0,6	0,7	0,9	-0,3	-0,3	-0,3	-0,3	-0,3	-0,3	-0,3
300	0,4	0,8	1,2	1,1	1,0	1,0	1,0	-0,4	-0,4	-0,4	-0,4	-0,4	-0,4	-0,4
400	0,5	0,9	1,3	1,2	1,1	0,8	0,6	-0,5	-0,5	-0,5	-0,5	-0,5	-0,5	-0,5
500	0,6	0,9	1,1	1,0	0,8	0,2	-0,3	-0,6	-0,6	-0,6	-0,6	-0,6	-0,6	-0,6
600	0,6	0,6	0,6	0,4	0,1	–	–	-0,6	-0,6	-0,6	-0,6	-0,6	-0,6	-0,6
700	0,6	0,2	0,0	–	–	–	–	-0,6	-0,6	-0,6	-0,6	-0,6	-0,6	-0,6
800	0,6	–	–	–	–	–	–	-0,6	-0,6	-0,6	-0,6	-0,6	-0,6	-0,6
900	0,5	–	–	–	–	–	–	-0,3	-0,4	-0,5	-0,5	-0,5	-0,5	-0,5
1000	0,4	–	–	–	–	–	–	-0,2	-0,3	-0,4	-0,4	-0,4	-0,4	-0,4
1100	0,3	–	–	–	–	–	–	-0,1	-0,2	-0,3	-0,3	-0,3	-0,3	-0,3
Q [P/h]	$L_i = 700 \text{ m}$							$L_j = 1000 \text{ m}$						
	u_c							u_c						
	0%	5%	10%	15%	20%	25%	30%	0%	5%	10%	15%	20%	25%	30%
100	0,3	0,2	0,1	0,1	0,1	0,2	0,3	-0,3	-0,3	-0,3	-0,3	-0,3	-0,3	-0,3
200	0,6	0,9	1,2	1,1	1,1	1,2	1,2	-0,6	-0,6	-0,6	-0,6	-0,6	-0,6	-0,6
300	0,9	1,4	1,9	1,9	1,8	1,7	1,7	-0,9	-0,9	-0,9	-0,9	-0,9	-0,9	-0,9
400	1,2	1,8	2,4	2,2	2,1	1,9	1,7	-1,2	-1,2	-1,2	-1,2	-1,2	-1,2	-1,2
500	1,4	1,9	2,5	2,3	2,2	1,7	1,2	-1,4	-1,4	-1,4	-1,4	-1,4	-1,4	-1,4
600	1,5	1,9	2,3	2,1	1,9	1,1	0,4	-1,5	-1,5	-1,5	-1,5	-1,5	-1,5	-1,5
700	1,6	1,7	1,8	1,5	1,2	0,1	–	-1,6	-1,6	-1,6	-1,6	-1,6	-1,6	-1,6
800	1,6	1,3	1,0	0,6	0,3	–	–	-1,6	-1,6	-1,6	-1,6	-1,6	-1,6	-1,6
900	1,6	0,7	0,0	–	–	–	–	-1,3	-1,5	-1,6	-1,6	-1,6	-1,6	-1,6
1000	1,5	–	–	–	–	–	–	-0,8	-1,2	-1,5	-1,5	-1,5	-1,5	-1,5
1100	1,4	–	–	–	–	–	–	-0,6	-1,0	-1,4	-1,4	-1,4	-1,4	-1,4
Q [P/h]	$L_i = 900 \text{ m}$							$L_j = 1200 \text{ m}$						
	u_c							u_c						
	0%	5%	10%	15%	20%	25%	30%	0%	5%	10%	15%	20%	25%	30%
100	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,3	0,3	-0,4	-0,4	-0,4	-0,4	-0,4	-0,4	-0,4
200	0,9	1,3	1,7	1,6	1,6	1,6	1,5	-0,9	-0,9	-0,9	-0,9	-0,9	-0,9	-0,9
300	1,4	2,0	2,7	2,6	2,5	2,4	2,4	-1,4	-1,4	-1,4	-1,4	-1,4	-1,4	-1,4
400	1,8	2,6	3,4	3,3	3,2	3,0	2,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8
500	2,1	3,0	3,8	3,7	3,6	3,2	2,8	-2,1	-2,1	-2,1	-2,1	-2,1	-2,1	-2,1
600	2,4	3,2	3,9	3,8	3,6	3,0	2,4	-2,4	-2,4	-2,4	-2,4	-2,4	-2,4	-2,4
700	2,6	3,2	3,8	3,6	3,4	2,5	1,6	-2,5	-2,5	-2,6	-2,6	-2,6	-2,6	-2,6
800	2,7	3,0	3,3	3,1	2,9	1,7	0,5	-2,6	-2,7	-2,7	-2,7	-2,7	-2,7	-2,7
900	2,7	2,7	2,6	2,3	2,1	0,5	–	-2,3	-2,5	-2,7	-2,7	-2,7	-2,7	-2,7
1000	2,7	2,1	1,6	1,3	1,0	–	–	-1,4	-2,0	-2,7	-2,7	-2,7	-2,7	-2,7
1100	2,5	1,4	0,2	–	–	–	–	-1,1	-1,8	-2,5	-2,5	-2,5	-2,5	-2,5
Q [P/h]	$L_i = 1100 \text{ m}$							$L_j = 1400 \text{ m}$						
	u_c							u_c						
	0%	5%	10%	15%	20%	25%	30%	0%	5%	10%	15%	20%	25%	30%
100	0,5	0,5	0,6	0,6	0,6	0,5	0,4	-0,5	-0,5	-0,5	-0,5	-0,5	-0,5	-0,5
200	1,2	1,6	2,0	1,9	1,9	1,8	1,7	-1,2	-1,2	-1,2	-1,2	-1,2	-1,2	-1,2
300	1,7	2,4	3,1	3,0	3,0	2,8	2,7	-1,7	-1,7	-1,7	-1,7	-1,7	-1,7	-1,7
400	2,2	3,1	4,0	3,9	3,8	3,6	3,4	-2,2	-2,2	-2,2	-2,2	-2,2	-2,2	-2,2
500	2,6	3,6	4,6	4,5	4,4	4,0	3,6	-2,6	-2,6	-2,6	-2,6	-2,6	-2,6	-2,6
600	2,9	3,9	5,0	4,8	4,7	4,1	3,6	-2,9	-2,9	-2,9	-2,9	-2,9	-2,9	-2,9
700	3,1	4,1	5,1	4,9	4,7	4,0	3,2	-3,0	-3,1	-3,1	-3,1	-3,1	-3,1	-3,1
800	3,2	4,1	4,9	4,7	4,5	3,5	2,4	-3,2	-3,2	-3,2	-3,2	-3,2	-3,2	-3,2
900	3,2	3,9	4,5	4,3	4,1	2,7	1,3	-2,8	-3,0	-3,2	-3,2	-3,2	-3,2	-3,2
1000	3,1	3,5	3,8	3,6	3,4	1,6	–	-1,9	-2,5	-3,1	-3,1	-3,1	-3,1	-3,1
1100	3,0	2,9	2,9	2,6	2,4	–	–	-1,5	-2,3	-3,0	-3,0	-3,0	-3,0	-3,0

Tab. 7.1. – cd.

Q [P/h]	Różnica prędkości na pierwszej sekcji dwupasowej $\Delta V_i^{2p}, i = 1$							Różnica prędkości na pierwszej sekcji jednopasowej $\Delta V_j^{1p}, j = 1$						
	$L_i = 1300 \text{ m}$							$L_j = 1600 \text{ m}$						
	u_c							u_c						
	0%	5%	10%	15%	20%	25%	30%	0%	5%	10%	15%	20%	25%	30%
100	0,6	0,7	0,7	0,7	0,7	0,6	0,5	-0,6	-0,6	-0,6	-0,6	-0,6	-0,6	-0,6
200	1,3	1,7	2,1	2,0	2,0	1,9	1,8	-1,3	-1,3	-1,3	-1,3	-1,3	-1,3	-1,3
300	1,9	2,5	3,2	3,2	3,1	2,9	2,7	-1,9	-1,9	-1,9	-1,9	-1,9	-1,9	-1,9
400	2,3	3,2	4,1	4,1	4,0	3,7	3,4	-2,3	-2,3	-2,3	-2,3	-2,3	-2,3	-2,3
500	2,7	3,8	4,8	4,7	4,6	4,2	3,8	-2,7	-2,7	-2,7	-2,7	-2,7	-2,7	-2,7
600	3,0	4,1	5,3	5,2	5,1	4,5	3,9	-3,0	-3,0	-3,0	-3,0	-3,0	-3,0	-3,0
700	3,1	4,4	5,6	5,4	5,3	4,5	3,7	-3,1	-3,1	-3,1	-3,1	-3,1	-3,1	-3,1
800	3,2	4,4	5,7	5,5	5,3	4,2	3,2	-3,2	-3,2	-3,2	-3,2	-3,2	-3,2	-3,2
900	3,1	4,3	5,6	5,3	5,0	3,7	2,4	-2,9	-3,0	-3,1	-3,1	-3,1	-3,1	-3,1
1000	3,0	4,1	5,2	4,9	4,6	3,0	1,3	-2,4	-2,7	-3,0	-3,0	-3,0	-3,0	-3,0
1100	2,7	3,7	4,6	4,3	3,9	1,9	0,0	-2,0	-2,4	-2,7	-2,7	-2,7	-2,7	-2,7
Q [P/h]	$L_i = 1500 \text{ m}$							$L_j = 1800 \text{ m}$						
	u_c							u_c						
	0%	5%	10%	15%	20%	25%	30%	0%	5%	10%	15%	20%	25%	30%
100	0,7	0,8	0,9	0,9	0,8	0,8	0,7	-0,7	-0,7	-0,7	-0,7	-0,7	-0,7	-0,7
200	1,4	1,8	2,2	2,2	2,1	2,0	1,8	-1,4	-1,4	-1,4	-1,4	-1,4	-1,4	-1,4
300	2,0	2,6	3,3	3,3	3,2	3,0	2,8	-2,0	-2,0	-2,0	-2,0	-2,0	-2,0	-2,0
400	2,4	3,4	4,3	4,2	4,1	3,8	3,5	-2,4	-2,4	-2,4	-2,4	-2,4	-2,4	-2,4
500	2,8	3,9	5,1	5,0	4,9	4,4	3,9	-2,8	-2,8	-2,8	-2,8	-2,8	-2,8	-2,8
600	3,0	4,4	5,7	5,6	5,4	4,8	4,2	-3,0	-3,0	-3,0	-3,0	-3,0	-3,0	-3,0
700	3,2	4,7	6,2	6,0	5,8	5,0	4,2	-3,2	-3,2	-3,2	-3,2	-3,2	-3,2	-3,2
800	3,2	4,8	6,5	6,2	6,0	5,0	4,0	-3,2	-3,2	-3,2	-3,2	-3,2	-3,2	-3,2
900	3,0	4,8	6,6	6,3	6,0	4,7	3,5	-3,0	-3,0	-3,0	-3,0	-3,0	-3,0	-3,0
1000	2,8	4,7	6,6	6,2	5,8	4,3	2,8	-2,8	-2,8	-2,8	-2,8	-2,8	-2,8	-2,8
1100	2,4	4,4	6,4	5,9	5,4	3,7	2,0	-2,4	-2,4	-2,4	-2,4	-2,4	-2,4	-2,4

Tab. 7.2. Wartości zmian prędkości potoku pojazdów na odcinkach dróg 2+1 – kolejne sekcje dwu- i jednopasowa

Q [P/h]	Różnica prędkości na kolejnych sekcjach dwupasowych $\Delta V_i^{2p}, i > 1$							Różnica prędkości na kolejnych sekcjach jednopasowych $\Delta V_j^{1p}, j > 1$						
	$L_i = 500 \text{ m}$							$L_j = 800 \text{ m}$						
	u_c							u_c						
	0%	5%	10%	15%	20%	25%	30%	0%	5%	10%	15%	20%	25%	30%
100	0,5	0,2	0,3	0,5	1,1	1,4	1,8	-0,5	-0,2	-0,3	-0,5	-1,1	-1,4	-1,8
200	1,4	1,5	1,6	1,8	2,0	2,0	1,9	-1,4	-1,5	-1,6	-1,8	-2,0	-2,0	-1,9
300	2,1	2,3	2,6	2,5	2,4	1,9	1,4	-2,1	-2,3	-2,6	-2,5	-2,4	-1,9	-1,4
400	2,6	2,8	2,9	2,5	2,2	1,3	0,4	-2,6	-2,8	-2,9	-2,5	-2,2	-1,3	-0,4
500	3,1	2,9	2,7	2,0	1,4	0,1	0,0	-3,1	-2,9	-2,7	-2,0	-1,4	-0,1	0,0
600	3,4	2,6	1,8	0,9	0,0	–	–	-3,4	-2,6	-1,8	-0,9	0,0	–	–
700	3,6	1,9	0,2	–	–	–	–	-3,6	-1,9	-0,2	–	–	–	–
800	3,6	0,8	–	–	–	–	–	-3,6	-0,8	–	–	–	–	–
900	3,6	–	–	–	–	–	–	-3,6	–	–	–	–	–	–
1000	3,4	–	–	–	–	–	–	-3,4	–	–	–	–	–	–
1100	3,1	–	–	–	–	–	–	-3,1	–	–	–	–	–	–
Q [P/h]	$L_i = 700 \text{ m}$							$L_j = 1000 \text{ m}$						
	u_c							u_c						
	0%	5%	10%	15%	20%	25%	30%	0%	5%	10%	15%	20%	25%	30%
100	1,0	0,7	0,4	0,8	1,1	1,3	1,5	-1,0	-0,7	-0,4	-0,8	-1,1	-1,3	-1,5
200	1,8	2,0	2,2	2,3	2,5	2,4	2,3	-1,8	-2,0	-2,2	-2,3	-2,5	-2,4	-2,3
300	2,5	2,9	3,3	3,3	3,2	2,9	2,5	-2,5	-2,9	-3,3	-3,3	-3,2	-2,9	-2,5
400	3,0	3,5	3,9	3,7	3,4	2,7	2,1	-3,0	-3,5	-3,9	-3,7	-3,4	-2,7	-2,1
500	3,5	3,7	4,0	3,5	3,0	2,0	1,0	-3,5	-3,7	-4,0	-3,5	-3,0	-2,0	-1,0
600	3,9	3,6	3,4	2,7	2,0	0,7	0,0	-3,9	-3,6	-3,4	-2,7	-2,0	-0,7	0,0
700	4,1	3,2	2,4	1,4	0,4	–	–	-4,1	-3,2	-2,4	-1,4	-0,4	–	–
800	4,2	2,5	0,7	–	–	–	–	-4,2	-2,5	-0,7	–	–	–	–
900	4,2	1,4	–	–	–	–	–	-4,2	-1,4	–	–	–	–	–
1000	4,1	–	–	–	–	–	–	-4,1	–	–	–	–	–	–
1100	3,9	–	–	–	–	–	–	-3,9	–	–	–	–	–	–

Tab. 7.2. – cd.

	Różnica prędkości na kolejnych sekcjach dwupasowych $\Delta V_i^{2p}, i > 1$							Różnica prędkości na kolejnych sekcjach jednopusowych $\Delta V_j^{1p}, j > 1$						
Q [P/h]	$L_i = 900 \text{ m}$							$L_j = 1200 \text{ m}$						
	u_c							u_c						
	0%	5%	10%	15%	20%	25%	30%	0%	5%	10%	15%	20%	25%	30%
100	1,4	1,2	1,0	1,1	1,2	1,2	1,2	-1,4	-1,2	-1,0	-1,1	-1,2	-1,2	-1,2
200	2,2	2,5	2,8	2,9	2,9	2,8	2,7	-2,2	-2,5	-2,8	-2,9	-2,9	-2,8	-2,7
300	2,9	3,5	4,1	4,1	4,1	3,8	3,5	-2,9	-3,5	-4,1	-4,1	-4,1	-3,8	-3,5
400	3,5	4,2	4,9	4,8	4,7	4,2	3,7	-3,5	-4,2	-4,9	-4,8	-4,7	-4,2	-3,7
500	3,9	4,6	5,3	5,0	4,7	4,0	3,3	-3,9	-4,6	-5,3	-5,0	-4,7	-4,0	-3,3
600	4,3	4,7	5,1	4,6	4,0	3,1	2,2	-4,3	-4,7	-5,1	-4,6	-4,0	-3,1	-2,2
700	4,6	4,5	4,5	3,6	2,8	1,6	0,5	-4,6	-4,5	-4,5	-3,6	-2,8	-1,6	-0,5
800	4,8	4,1	3,3	2,1	0,9	0,0	–	-4,8	-4,1	-3,3	-2,1	-0,9	0,0	–
900	4,9	3,3	1,7	0,1	–	–	–	-4,9	-3,3	-1,7	-0,1	–	–	–
1000	4,9	2,2	0,1	–	–	–	–	-4,9	-2,2	-0,1	–	–	–	–
1100	4,8	0,9	–	–	–	–	–	-4,8	-0,9	–	–	–	–	–
Q [P/h]	$L_i = 1100 \text{ m}$							$L_j = 1400 \text{ m}$						
	u_c							u_c						
	0%	5%	10%	15%	20%	25%	30%	0%	5%	10%	15%	20%	25%	30%
100	1,6	1,5	1,3	1,3	1,2	1,2	1,2	-1,6	-1,5	-1,3	-1,3	-1,2	-1,2	-1,2
200	2,5	2,9	3,2	3,3	3,3	3,2	3,1	-2,5	-2,9	-3,2	-3,3	-3,3	-3,2	-3,1
300	3,3	4,0	4,7	4,7	4,8	4,5	4,2	-3,3	-4,0	-4,7	-4,7	-4,8	-4,5	-4,2
400	4,0	4,8	5,7	5,7	5,7	5,2	4,8	-4,0	-4,8	-5,7	-5,7	-5,7	-5,2	-4,8
500	4,5	5,4	6,3	6,1	5,9	5,3	4,7	-4,5	-5,4	-6,3	-6,1	-5,9	-5,3	-4,7
600	5,0	5,7	6,4	6,0	5,6	4,8	4,0	-5,0	-5,7	-6,4	-6,0	-5,6	-4,8	-4,0
700	5,3	5,7	6,1	5,4	4,7	3,7	2,6	-5,3	-5,7	-6,1	-5,4	-4,7	-3,7	-2,6
800	5,6	5,5	5,4	4,3	3,2	1,9	0,6	-5,6	-5,5	-5,4	-4,3	-3,2	-1,9	-0,6
900	5,7	5,0	4,2	2,6	1,1	0,0	–	-5,7	-5,0	-4,2	-2,6	-1,1	0,0	–
1000	5,8	4,2	2,6	0,4	–	–	–	-5,8	-4,2	-2,6	-0,4	–	–	–
1100	5,7	3,1	0,5	–	–	–	–	-5,7	-3,1	-0,5	–	–	–	–
Q [P/h]	$L_i = 1300 \text{ m}$							$L_j = 1600 \text{ m}$						
	u_c							u_c						
	0%	5%	10%	15%	20%	25%	30%	0%	5%	10%	15%	20%	25%	30%
100	1,7	1,7	1,6	1,5	1,3	1,5	1,7	-1,7	-1,7	-1,6	-1,5	-1,3	-1,5	-1,7
200	2,8	3,2	3,6	3,6	3,6	3,5	3,4	-2,8	-3,2	-3,6	-3,6	-3,6	-3,5	-3,4
300	3,7	4,4	5,1	5,2	5,3	5,0	4,6	-3,7	-4,4	-5,1	-5,2	-5,3	-5,0	-4,6
400	4,6	5,4	6,3	6,3	6,4	5,8	5,3	-4,6	-5,4	-6,3	-6,3	-6,4	-5,8	-5,3
500	5,2	6,2	7,1	7,0	6,9	6,1	5,3	-5,2	-6,2	-7,1	-7,0	-6,9	-6,1	-5,3
600	5,8	6,6	7,4	7,1	6,8	5,8	4,8	-5,8	-6,6	-7,4	-7,1	-6,8	-5,8	-4,8
700	6,2	6,8	7,3	6,7	6,1	4,9	3,7	-6,2	-6,8	-7,3	-6,7	-6,1	-4,9	-3,7
800	6,5	6,7	6,9	5,9	4,9	3,5	2,1	-6,5	-6,7	-6,9	-5,9	-4,9	-3,5	-2,1
900	6,7	6,3	6,0	4,5	3,0	1,4	–	-6,7	-6,3	-6,0	-4,5	-3,0	-1,4	–
1000	6,7	5,7	4,7	2,6	0,6	–	–	-6,7	-5,7	-4,7	-2,6	-0,6	–	–
1100	6,6	4,8	3,0	0,3	–	–	–	-6,6	-4,8	-3,0	-0,3	–	–	–
Q [P/h]	$L_i = 1500 \text{ m}$							$L_j = 1800 \text{ m}$						
	u_c							u_c						
	0%	5%	10%	15%	20%	25%	30%	0%	5%	10%	15%	20%	25%	30%
100	1,8	1,8	1,9	1,6	1,4	1,7	2,1	-1,8	-1,8	-1,9	-1,6	-1,4	-1,7	-2,1
200	3,1	3,5	3,9	3,9	3,9	3,8	3,8	-3,1	-3,5	-3,9	-3,9	-3,9	-3,8	-3,8
300	4,2	4,9	5,6	5,7	5,7	5,4	5,1	-4,2	-4,9	-5,6	-5,7	-5,7	-5,4	-5,1
400	5,2	6,0	6,9	7,0	7,0	6,4	5,8	-5,2	-6,0	-6,9	-7,0	-7,0	-6,4	-5,8
500	6,0	6,9	7,8	7,8	7,8	6,9	6,0	-6,0	-6,9	-7,8	-7,8	-7,8	-6,9	-6,0
600	6,6	7,5	8,4	8,2	7,9	6,8	5,7	-6,6	-7,5	-8,4	-8,2	-7,9	-6,8	-5,7
700	7,1	7,8	8,6	8,0	7,5	6,2	4,8	-7,1	-7,8	-8,6	-8,0	-7,5	-6,2	-4,8
800	7,5	7,9	8,4	7,4	6,5	5,0	3,5	-7,5	-7,9	-8,4	-7,4	-6,5	-5,0	-3,5
900	7,7	7,7	7,8	6,4	5,0	3,3	1,6	-7,7	-7,7	-7,8	-6,4	-5,0	-3,3	-1,6
1000	7,7	7,3	6,9	4,8	2,8	1,0	–	-7,7	-7,3	-6,9	-4,8	-2,8	-1,0	–
1100	7,6	6,6	5,6	2,8	0,1	–	–	-7,6	-6,6	-5,6	-2,8	-0,1	–	–

Stosowanie przekrojów dróg 2+1 przy udziale pojazdów ciężkich powyżej 30% jest niewskazane. Wartość udziału pojazdów ciężkich należy zaokrąglić do 5%. W tab. 7.1 i 7.2 nie podano wartości, które mogą powodować obniżenie efektywności funkcjonowania dróg o przekroju 2+1 pasowym. W przypadku potrzeby zastosowania wartości pośrednich w tab. 7.1 i 7.2, wartość zmian prędkości potoku pojazdów należy wyznaczyć z interpolacji liniowej.

7.1.4. Wyznaczenie prędkości potoku pojazdów na odcinku z dodatkowym pasem

Prędkość potoku pojazdów na odcinku drogi 2+1, będącą podstawą do wyznaczenia gęstości ruchu, należy wyznaczyć jako średnią ważoną prędkość potoku pojazdów na analizowanym odcinku drogi podzielonym na sekcje o długości L wg opisu w p. 7.1.2 i wartości prędkości potoku pojazdów na poszczególnych sekcjach oszacowanych wg wzorów (7.1) ÷ (7.4). Prędkość potoku pojazdów na odcinku składowym drogi 2+1 należy wyznaczyć z następującego wzoru:

$$V^{2+1} = \frac{V \cdot L^p + \sum_{i=1}^n V_i^{2p} \cdot L_i^{2p} + \sum_{j=1}^m V_j^{1p} \cdot L_j^{1p} + V^k \cdot L^k}{L^p + \sum_{i=1}^n L_i^{2p} + \sum_{j=1}^m L_j^{1p} + L^k} \quad [\text{km/h}] \quad (7.5)$$

gdzie:

- V – prędkość potoku pojazdów na odcinku poprzedzającym odcinek składowy 2+1 [km/h], szacowana wg p. 6. W przypadku dróg ekspresowych należy wartość uzyskaną z oszacowania wg p. 6 powiększyć o 10 km/h lub przyjąć 105 km/h,
- L^p – długość sekcji poprzedzającej odcinek składowy 2+1 [m]. Wartości tej nie uwzględnia się w analizie prędkości potoku pojazdów gdy $L^p > 1800$ m. Jeśli jest to sekcja o przekroju dwupasowym jednojezdniowym (1 x 2) długość L^p powinna wynosić nie mniej niż 300 m,
- V^k – prędkość potoku pojazdów na końcowym odcinku składowym drogi 2+1 [km/h] uwzględniana tylko w przypadku zakresu długości od 300 m do 1800 m,
- L^k – długość sekcji końcowej odcinka składowego 2+1 [m]. Sekcję końcową uwzględnia się w analizie prędkości potoku pojazdów gdy długość L^k jest większa od 300 m i mniejsza od 1800 m,

Pozostałe oznaczenia wg objaśnień do wzorów (7.1) ÷ (7.4).

Wyznaczona ze wzoru (7.5) średnia ważona prędkość potoku pojazdów na odcinku składowym drogi 2+1 jest podstawą do obliczenia gęstości ruchu. Gęstość ruchu należy wyznaczyć ze wzoru (6.6), a poziom swobody ruchu na całym analizowanym odcinku odczytać z tabeli 2.1.

7.2. Ocena warunków ruchu

Ocenę warunków ruchu na odcinkach dróg 2+1 należy przeprowadzić w sposób analogiczny jak w przypadku dróg dwupasowych jednojezdniowych. Zastosowanie odcinka drogi 2+1 powinno wpływać na poprawę warunków ruchu mierzoną prędkością potoku pojazdów. Występowanie dodatkowych pasów ruchu do wyprzedzania wpływa na wzrost prędkości potoku pojazdów i zmniejszenie obliczeniowej gęstości ruchu, co w efekcie może dać poprawę warunków ruchu. W obliczeniach gęstości ruchu na odcinku drogi o przekroju 2+1 pasowym należy uwzględnić wyłącznie jeden pas ruchu w kierunku analizowanym.

Ocenę warunków ruchu należy przeprowadzić w każdym z kierunków oddzielnie. Wynikiem analizy jest przyjęcie bardziej niekorzystnych warunków ruchu z dwóch analizowanych kierunków. Przykład pokazujący przebieg obliczeń przy ocenie warunków ruchu na odcinku drogi o przekroju 2+1 zamieszczono w załączniku 2.

8. ZWĘŻENIE DROGI Z REGULACJĄ RUCHU ZA POMOCĄ SYGNALIZACJI

Ocena warunków ruchu i obliczenia przepustowości na odcinku zwężenia drogi z ruchem sterowanym tymczasową sygnalizacją świetlną prowadzone są oddzielnie dla obu kierunków ruchu. Do wyznaczenia tych cech sprawności zwężenia niezbędna jest znajomość natężenia ruchu oraz charakterystyki odcinka zwężenia.

Poniżej przedstawiono dane wymagane do obliczeń oraz wzory, z których oblicza się przepustowość C oraz podstawowe miary warunków ruchu: średnie straty czasu d , kolejka maksymalna K_{max} i pozostająca K_p oraz zasięg kolejki L_K .

8.1. Wymagane dane do obliczeń

Przed przystąpieniem do obliczeń przepustowości i analiz warunków ruchu niezbędne jest przygotowanie zestawu danych, które są potrzebne dla wykonania określonej analizy. W przypadku zwężenia drogi z ruchem regulowanym tymczasową sygnalizacją świetlną, zestaw danych wyjściowych do obliczeń stanowią dane dotyczące:

- **charakterystyki zwężenia drogi**, takie jak:
 - organizacja robót na zwężonym odcinku (np. obecność pracowników oraz sprzętu drogowego w bezpośrednim sąsiedztwie pasa ruchu z ruchem wahadłowym),
 - szerokość pasa ruchu przeznaczonego do ruchu wahadłowego w_z ,
 - długość zwężenia drogi L_{zw} mierzona pomiędzy liniami zatrzymań dla przeciwnych kierunków ruchu przy zwężeniu drogi, na którą składają się długość strefy robót oraz dwa odcinki zmiany pasa ruchu,
 - lokalizacja (poza obszarem zurbanizowanym lub w strefie aglomeracji),
 - widoczność sytuacji ruchowej na zwężonym odcinku drogi i poza nim,
 - pochylenia niwelety jezdnii i^i przed i za zwężeniem drogi oraz na odcinku robót drogowych (wzniesienie, spadek), wpływające na prędkość pojazdów przejeżdżających przez zwężony odcinek drogi,
 - ograniczenie prędkości ruchu na zwężeniu drogi V_d^i (znak B-33).
- **organizacji ruchu**, takie jak:
 - rodzaj sterowania (stałoczasowe lub akomodacyjne),
 - długość cyklu sygnalizacji T i długości sygnałów zielonych w poszczególnych fazach sygnalizacyjnych G^f (w przypadku sterowania akomodacyjnego ich maksymalne długości G_{max}^f), czasy międzysygnałowe t_m^f i jednostkowe wydłużenie sygnału zielonego δ w przypadku sterowania akomodacyjnego,
 - lokalizacja sygnalizatorów,
- **natężenia ruchu**, takie jak:
 - natężenie ruchu pojazdów Q^i potoków dopływających z przeciwnych kierunków do zwężenia drogi w godzinie charakterystycznej dla analizowanego okresu sterowania (np. szczyt poranny, szczyt popołudniowy, okres między szczytami itp.),
 - udział pojazdów ciężkich w ruchu u_c^i ,

8.2. Obliczenie przepustowości

Przepustowość zwężenia drogi C determinowana jest przez natężenie nasycenia S oraz parametry programu sygnalizacji, tzn. długość sygnału zielonego G i długość cyklu sygnalizacyjnego T , a obliczana jest dla i -tego kierunku ze wzoru:

$$C^i = S^i \cdot \frac{G^i}{T} \quad [\text{P/h}] \quad (8.1)$$

gdzie:

- C^i – przepustowość zwężenia drogowego na kierunku i [P/h],
- S^i – natężenie nasycenia zwężenia drogowego na kierunku i [P/hz],
- G^i – długość sygnału zielonego (w przypadku sygnalizacji akomodacyjnej maksymalna długość sygnału zielonego G_{max}) na kierunku i [s],
- T – długość cyklu sygnalizacyjnego (w przypadku sygnalizacji akomodacyjnej maksymalna długość cyklu sygnalizacyjnego T_{max}) [s].

Natężenie nasycenia S definiuje się jako maksymalny możliwy odpływ pojazdów z kolejki przed zwężeniem drogi w czasie sygnału zielonego. Jeżeli przeciętny odstęp czasu pomiędzy kolejnymi pojazdami wjeżdżającymi na odcinek zwężony na kierunku i z kolejki pojazdów przed sygnalizatorem, mierzony na linii zatrzymań, oznaczy się przez Δt^i [s], to natężenie nasycenia S^i na kierunku i w okresie godziny sygnału zielonego można wyznaczyć z wzoru:

$$S^i = \frac{3600}{\Delta t^i} \quad [\text{P/hz}] \quad (8.2)$$

gdzie:

- S^i – natężenie nasycenia zwężenia drogi na kierunku i [P/hz] (w godzinie sygnału zielonego),
- Δt^i – średni odstęp czasu pomiędzy pojazdami z kolejki przed zwężeniem drogi mierzony na linii zatrzymań na kierunku i [s].

Natężenie nasycenia S dla analizowanego zwężenia drogi można najdokładniej wyznaczyć na podstawie określonej empirycznie wartości Δt na tym zwężeniu. Sposób ten zaleca się stosować dla istniejących zwężeń drogi z ruchem regulowanym tymczasową sygnalizacją świetlną.

W przypadkach gdy wykonanie pomiarów na zwężeniu drogi, dla ustalenia natężeń nasycenia, nie jest możliwe, zwłaszcza w przypadku projektowania robót drogowych, natężenie nasycenia S^i na kierunku i można obliczyć z następującego wzoru:

$$S^i = (S_0 - 50 \cdot \delta_{zp}^i - 20 \cdot \delta_{zo} - 100 \cdot \delta_{sn} - 70 \cdot \delta_{ak} + 50 \cdot \delta_{lz}) \cdot \frac{1}{1+u_c^i} \quad [\text{P/hz}] \quad (8.3)$$

gdzie:

- S^i – natężenie nasycenia zwężenia drogi na kierunku i [P/hz],
- S_0 – wyjściowe natężenie nasycenia [E/hz] przyjmowane jako 1 550 E/hz dla zwężenia drogi zlokalizowanego poza obszarami zurbanizowanymi oraz 1 650 E/hz dla zwężenia drogi zlokalizowanego w strefie aglomeracji,
- δ_{zp}^i – wskaźnik zajęcia jednego pasa ruchu; $\delta_{zp} = 1$ w przypadku zajęcia pasa ruchu przez roboty drogowe na kierunku i , $\delta_{zp} = 0$ w przypadku kontynuacji jazdy przez zwężenie drogi bez potrzeby zmiany pasa ruchu w strefie robót (zajęcie

pasa ruchu na kierunku przeciwnym do analizowanego); w przypadku obustronnego zwężenia jezdni przyjmuje się $\delta_{zp} = 0$ a uwzględnia się go przez przyjęcie $\delta_{zo} = 1$,

- δ_{zo} – wskaźnik obustronnego zawężenia drogi; $\delta_{zo} = 1$ w przypadku obustronnego zajęcia drogi (roboty drogowe po obu stronach drogi wymagające zajęcia części zewnętrznych pasów ruchu a ruch wahadłowy odbywa się środkową częścią jezdni), $\delta_{zo} = 0$ w przypadku zajęcia jednego pasa ruchu przez roboty drogowe,
- δ_{sn} – wskaźnik stanu nawierzchni pasa ruchu w rejonie zwężenia drogi; $\delta_{sn} = 1$ w przypadku złego stanu nawierzchni pasa ruchu zmuszający kierowców do znacznej redukcji prędkości (np. ubytki w nawierzchni, sfrezowana nawierzchnia pasa ruchu, nawierzchnia z płyt betonowych itp.), $\delta_{sn} = 0$ w przypadku dobrego stanu nawierzchni pasa ruchu,
- δ_{ak} – wskaźnik aktywności prac w strefie robót drogowych; $\delta_{ak} = 1$ w przypadku obecności pracowników oraz sprzętu drogowego w bezpośrednim sąsiedztwie pasa ruchu, po którym odbywa się ruch wahadłowy, $\delta_{ak} = 0$ w przypadku braku wpływu prac drogowych na przejazd pojazdów przez zwężenie drogi,
- δ_{lz} – wskaźnik długości zwężenia drogi; $\delta_{zp} = 1$ w przypadku długości zwężenia drogi poniżej 50 m i dobrej widoczności sytuacji ruchowej na zwężeniu i za nim, $\delta_{zp} = 0$ w przypadku długości zwężenia drogi powyżej 50 m,
- u_c^i – udział pojazdów ciężkich w ruchu na kierunku i [-],

8.3. Wyznaczanie miar i ocena warunków ruchu

W ocenie sprawności ruchowej zwężenia drogowego dużą rolę odgrywają warunki ruchu panujące na zwężeniu drogi. Warunki ruchu określane są z wykorzystaniem takich miar, jak straty czasu i kolejki pojazdów. Wartości tych miar pozwalają projektantowi ocenić jakość przyjętego lub istniejącego rozwiązania pod względem poprawności działania programu sygnalizacji.

Strata czasu jest to dodatkowy czas potrzebny na przejechanie zwężenia drogi z tymczasową sygnalizacją świetlną w porównaniu z czasem przejazdu przez zwężenie drogi bez zakłóceń (bez zatrzymania przed zwężeniem). W ocenie warunków ruchu na zwężeniu drogi stosowane są średnie straty czasu pojazdów d uwzględniające straty opóźniania przy dojeździe do kolejki oraz straty zatrzymania pojazdu w kolejce.

Długość kolejki wyrażana jest liczbą pojazdów i najczęściej jej wielkość rejestrowana jest w początkowej części sygnału zielonego (kolejka maksymalna) i na końcu sygnału zielonego (kolejka pozostająca). Często, już po rozpoczęciu nadawania sygnału zielonego, kolejne pojazdy dojeżdżają do końca kolejki, zwiększając odległość końca kolejki od linii zatrzymań (zasięg kolejki). Kolejka maksymalna obejmuje ten stan. Kolejki pozostające (świadczące o przeciążeniu) są ważną miarą w ocenie jakości sterowania.

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

Podstawową miarą w ocenie warunków ruchu są straty czasu pojazdów. Do głównych przyczyn powstawania strat czasu i zatrzymań pojazdów na zwężeniu drogi z tymczasową sygnalizacją świetlną należą:

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

Średnie straty czasu przypadające na pojazd d^i na kierunku i szacuje się według następujących wzorów:

$$d^i = d_1^i + d_2^i \quad [\text{s/P}] \quad (8.4)$$

$$d_1^i = \frac{T}{2} \cdot \frac{(1-\lambda^i)^2}{1-\min\{1, X^i\} \cdot \lambda^i} \quad [\text{s/P}] \quad (8.5)$$

$$d_2^i = 900 \cdot \left[(X^i - 1) + \sqrt{(X^i - 1)^2 + \frac{7 \cdot (X^i)^2}{C^i}} \right] \quad [\text{s/P}] \quad (8.6)$$

gdzie:

- d^i – średnie straty czasu na kierunku i [s/P],
- d_1^i – straty czasu wynikające z zatrzymań na sygnale czerwonym (tzw. regularne straty czasu przy założeniu stałego dopływu, z jednakowymi odstępami między pojazdami) na kierunku i [s/P],
- d_2^i – straty czasu wynikające z losowych odstępów między pojazdami i okresowych przeciążeń na kierunku i [s/P],
- T – długość cyklu sygnalizacyjnego (w przypadku sygnalizacji akomodacyjnej maksymalna długość cyklu sygnalizacyjnego T_{max}) [s],
- λ^i – udział sygnału zielonego G^i w cyklu sygnalizacji T ($\lambda^i = G^i/T$) na kierunku i ; w przypadku sygnalizacji akomodacyjnej udział maksymalnego sygnału zielonego G_{max}^i w maksymalnym cyklu sygnalizacji T_{max} ($\lambda^i = G_{max}^i/T_{max}$) na kierunku i [-],
- X^i – stopień obciążenia na kierunku i ($X^i = Q^i/C^i$) [-],
- Q^i – natężenie ruchu na kierunku i [P/h],
- C^i – przepustowość na kierunku i [P/h].

Dla oszacowania średniej kolejki pozostającej K_p^i na końcu sygnału zielonego na kierunku i należy korzystać z następującego wzoru:

$$K_p^i = \frac{C^i}{4} \cdot \left[(X^i - 1) + \sqrt{(X^i - 1)^2 + \frac{7 \cdot (X^i)^2}{C^i}} \right] \quad [\text{P}] \quad (8.7)$$

gdzie:

- K_p^i – średnia kolejka pozostająca na kierunku i [P],
- pozostałe oznaczenia jak we wzorach (8.5) i (8.6).

Długość kolejki jest cechą eksploatacyjną zwężenia drogi bezpośrednio odczuwaną przez uczestników ruchu. Uprzedza ich już przed dojazdem do zwężenia o panujących na nim warunkach. Maksymalna długość kolejki pojazdów K_m odpowiada jej zasięgowi wstecz, mierząc

od linii zatrzymania do tyłu ostatniego pojazdu dołączającego do kolejki. Średnia wartość maksymalnych długości kolejek K_m^i na kierunku i wynosi:

$$K_m^i = \frac{q^i \cdot T \cdot (1 - \lambda^i)}{1 - \lambda^i \cdot X^i} + K_p^i \quad [P] \quad (8.8)$$

gdzie:

- K_m^i – średnia z maksymalnych długości kolejek w poszczególnych cyklach sygnalizacyjnych na kierunku i [P],
- q^i – natężenie potoku dopływającego na kierunku i [P/s],
- K_p^i – średnia kolejka pozostająca na kierunku i [P] obliczona według wzoru (8.7), pozostałe oznaczenia jak we wzorach (8.5 i 8.6).

Mnożąc średnią maksymalną długość kolejki K_m^i przez średnią długość stanowiska pojazdu w kolejce l_p^i otrzymuje się zasięg kolejki L_K^i wyrażony w metrach na kierunku i :

$$L_K^i = K_m^i \cdot l_p^i \quad [m] \quad (8.9)$$

gdzie:

- L_K^i – zasięg kolejki na kierunku i [m],
- K_m^i – średnia maksymalna długość kolejki na kierunku i [P],
- l_p^i – przeciętna długość stanowiska pojazdu w kolejce na kierunku i [m] obliczana ze wzoru:

$$l_p^i = u_l^i \cdot l_l^i + u_c^i \cdot l_c^i \quad [m] \quad (8.10)$$

gdzie:

- u_l^i, u_c^i – udział w ruchu pojazdów lekkich i ciężkich na kierunku i [-],
- l_l^i, l_c^i – przeciętna długość w kolejce pojazdu lekkiego i ciężkiego na kierunku i [m] (należy przyjąć: $l_l^i = 6,2$ m, $l_c^i = 13,0$ m; w przypadku braku lub bardzo małego udziału pojazdów z przyczepami oraz członowych ($u_{cp}^i \leq 2\%$) można przyjąć $l_c^i = 11,0$ m).

Jak podano w p 2 ocena opisowa warunków ruchu na odcinku drogi opiera się na koncepcji poziomów swobody ruchu, co również zastosowano do zwężeń drogowych. Poziomy swobody ruchu (PSR) wyznaczają kategorie warunków ruchu, oceniane przez reprezentację populacji kierowców (np. bardzo dobre, ..., przeciętne, ..., niedopuszczalne).

Poziom swobody ruchu definiuje się jako miarę warunków ruchu, uwzględniającą oceny kierowców. Cały zakres zmienności warunków ruchu podzielony został na sześć kategorii; od **bardzo dobrych – PSR A** do **niedopuszczalnych – PSR F**. Niekorzystne warunki ruchu (PSR E) należy odnosić zarówno do akceptowalności warunków ruchu przez kierowców, jak i możliwości ich dopuszczenia jako warunków eksploatacyjnych zwężenia drogi.

Ilościowe kryterium klasyfikacyjne warunków ruchu określa związek poszczególnych poziomów swobody ruchu (PSR) ze średnimi stratami czasu pojazdów d (tab. 8.1).

Tab. 8.1. Graniczne straty czasu d dla poszczególnych poziomów swobody ruchu

PSR		warunki ruchu	średnia strata czasu d [s/P]
A		bardzo dobre	$\leq 30,0$
B		dobrze	$30,1 \div 60,0$
C		przeciętne	$60,1 \div 90,0$
D		dopuszczalne	$90,1 \div 120,0$
E		niekorzystne	$120,1 \div 150,0$
F	F1	niedopuszczalne	$> 150,0$
	F2		$> 180,0$
	F3		$> 210,0$
	F4		$> 240,0$

W przypadku zwężeń drogi należy spodziewać się przeciążeń, szczególnie w godzinach szczytów komunikacyjnych, stąd dla *PSR F* przewidziano 4 zakresy granicznych strat czasu (*PSR F1* ÷ *PSR F4*) dla umożliwienia zarządcy drogi w uzasadnionych przypadkach podniesienia górnego pułapu strat czasu (np. trudność znalezienia korzystnego objazdu miejsca robót drogowych) przy dopuszczeniu do użytkowania zaprojektowanego rozwiązania zwężenia.

Przykład pokazujący przebieg obliczeń przy wyznaczaniu warunków ruchu i przepustowości zwężonego odcinka drogi zamieszczono w załączniku 3.

LITERATURA

- [1]. *Metoda obliczania przepustowości rond.* MOP-R-04, Generalna Dyrekcja Dróg Krajowych i Autostrad, Warszawa 2004, ISBN 83-86219-99-8
- [2]. *Metoda obliczania przepustowości skrzyżowań bez sygnalizacji świetlnej.* MOP-SBS-04, Generalna Dyrekcja Dróg Krajowych i Autostrad, Warszawa 2004, ISBN 83-86219-98-X
- [3]. *Metoda obliczania przepustowości skrzyżowań z sygnalizacją świetlną.* MOP-SZS-04, Generalna Dyrekcja Dróg Krajowych i Autostrad, Warszawa 2004, ISBN 83-86219-44-0
- [4]. Obwieszczenie Ministra Infrastruktury i Budownictwa z dnia 23 grudnia 2015 r. w sprawie ogłoszenia jednolitego tekstu rozporządzenia Ministra Transportu i Gospodarki Morskiej w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać drogi publiczne i ich usytuowanie, Dz. U. z dnia 29 stycznia 2016 r., poz. 124
- [5]. *Szczegółowe warunki techniczne dla sygnałów drogowych i warunki ich umieszczania na drogach.* Załącznik nr 3 do Rozporządzenia Ministra Infrastruktury z dnia 3.07.2003 r. Dz. U. nr 220, poz. 2181 z dnia 23.12.2003 r.
- [6]. *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]
- [7]. *Wytyczne projektowania skrzyżowań drogowych.* Część 1, Generalna Dyrekcja Dróg, Publicznych, Warszawa 2001, ISBN 83-86552-17-4