



**POLITECHNIKA
GDAŃSKA**

WYDZIAŁ INŻYNIERII LĄDOWEJ
I ŚRODOWISKA

**WYTYCZNE POSZERZENIA JEZDNI
O DODATKOWE PASY RUCHU W ZALEŻNOŚCI
OD PRZEWIDYWANEGO NATĘŻENIA RUCHU
DROGOWEGO**

Część I – Raport z analiz

Gdańsk Listopad 2016

**Opracowanie wykonano na zlecenie:
Ministerstwa Infrastruktury i Budownictwa**

Zespół autorski:

Dr hab. inż. Kazimierz Jamroz, prof. PG – kierownik projektu

Dr inż. Wojciech Kustra – autor prowadzący

Dr hab. inż. Jan Kempa, prof. UTP

Dr hab. Krzysztof Grzelec

Dr inż. Lech Michalski, doc. PG

Dr inż. Tomasz Dybicz

Dr inż. Krzysztof Ostrowski

Dr inż. Remigiusz Wojtal

Mgr inż. Tomasz Mackun

Autorzy współpracujący:

Prof. dr hab. Stanisław Gaca

Dr hab. inż. Piotr Olszewski, prof. PW

Dr inż. Marcin Budzyński

Mgr inż. Marek Bujalski

Mgr inż. Marcin Nietupski

Mgr inż. Aleksandra Romanowska

Mgr inż. Paweł Włodarek

Mgr inż. Marek Szewczuk

Inż. Eliza Ciszewska

Inż. Anna Wensierska

Spis treści:

1. WSTĘP	1
1.1 Podstawa opracowania	1
1.2 Charakterystyka problemu	1
1.3 Cel i zakres pracy.....	2
2. PRZEGLĄD DOTYCHCZASOWYCH DOŚWIADCZEŃ.....	5
2.1 Wprowadzenie	5
2.2 Wpływ parametrów przekroju na ogólne cechy funkcjonowania drogi	8
2.2.1 Warunki ruchu	8
2.2.2 Bezpieczeństwo ruchu.....	18
2.2.3 Koszty.....	24
2.3 Charakterystyka standardów technicznych dotyczących dróg wielopasowych w wybranych krajach	27
2.3.1 Niemcy	27
2.3.2 Wielka Brytania.....	38
2.3.3 Pozostałe kraje europejskie	40
2.3.4 Stany Zjednoczone	41
2.3.5 Kanada	44
2.3.6 Australia	46
2.4 Porównanie standardów i wymiarowania przekroju poprzecznego dróg wielojedzniowych w przepisach technicznych wybranych krajów i w Polsce.....	47
2.4.1 Przegląd standardów	47
2.4.2 Przegląd standardów	48
2.4.3 Ocena doboru parametrów przekroju poprzecznego w Polsce.....	53
2.4.4 Wnioski i rekomendacje.....	55
2.5 Kryteria określania liczby pasów ruchu na drogach wielojedzniowych.....	55
2.5.1 Niemcy	55
2.5.2 Stany Zjednoczone, zalecenia krajowe.....	56
2.5.3 Stany Zjednoczone, zalecenia stanowe	57
2.5.4 Kanada, Prowincja Alberta.....	59
2.5.5 Wielka Brytania.....	60
2.5.6 Hiszpania.....	63
2.5.7 EURO - Network.....	63
2.5.8 Holandia	65

2.5.9	Szwecja	66
2.5.10	Wnioski i rekomendacje	66
2.6	Praktyka w zakresie lokalizacji dodatkowego pasa / poszerzania przekroju drogi	69
2.6.1	Doświadczenia niemieckie	69
2.6.2	Podsumowanie	75
3.	UWARUNOWANIA POTRZEB I MOŻLIWOŚCI POSZERZANIA JEZDNI DRÓG SZYBKIEGO RUCHU W POLSCE	78
3.1	Charakterystyka analiz	78
3.2	Drogi krajowe	79
3.2.1	Drogi krajowe zarządzane przez GDDKIA	79
3.2.2	Drogi ruchu szybkiego	82
3.2.3	Przekroje poprzeczne dróg na krajowych drogach dwujezdniowych	84
3.3	Warunki ruchu na krajowych drogach dwujezdniowych	94
3.4	Bezpieczeństwo ruchu drogowego na krajowych drogach dwujezdniowych	98
3.4.1	Liczba wypadków, ofiar, koszty wypadków w latach 2011-2015.....	98
3.4.2	Gęstość i koncentracja wypadków, ofiar w zależności od przekroju	105
3.5	Stan zaawansowania budowy sieci dróg ruchu szybkiego.....	109
3.6	Prognozy ruchu	110
3.6.1	Model sieci dla kraju	111
3.6.2	Model podróży	114
3.6.3	Kalibracja modelu ruchu	115
3.7	Wnioski	117
4.	WYTYCZNE POSZERZANIA JEZDNI AUTOSTRAD I DRÓG EKSPRESOWYCH ..	119
4.1	Wprowadzenie	119
4.2	Układ wytycznych.....	119
4.1	Założenia	119
4.2	Procedura prowadzenia analizy	121
4.2.1	Faza projektowania wstępnego.....	121
4.2.2	Faza uzyskania decyzji administracyjnych.....	122
4.2.3	Faza utrzymania drogi	125
5.	ANALIZA I OCENA ROZWIĄZAŃ PROPONOWANYCH W PROJEKCIE WYTYCZNYCH.....	127
5.1	Wprowadzenie	127

5.2	Prognozy ruchu.....	127
5.2.1	Cele i zastosowania prognoz ruchu	127
5.2.2	Aktualizacja Krajowego Modelu Ruchu.....	128
5.2.3	Wykorzystanie modeli ruchu do wyboru scenariusz poszerzenia drogi	129
5.2.4	Założenia do wykonywania prognoz ruchu.....	130
5.3	Analiza wpływu wariantów rozbudowy przekroju	135
5.3.1	Założenia do analiz.....	135
5.3.2	Ocena warunków ruchu	136
5.3.3	Poziom bezpieczeństwa ruchu drogowego	143
5.3.4	Koszty ruchu.....	148
5.4	Analiza wpływu zaproponowanych rozwiązań na koszty realizacji inwestycji ...	152
5.4.1	Metoda analizy	152
5.4.2	Wpływ wariantu przekroju poprzecznego na koszty budowy drogi	154
5.4.3	Analiza ekonomiczna wpływu zaproponowanych typów przekroju na koszty funkcjonowania drogi.....	156
5.4.4	Podsumowanie	162
5.5	Analiza wybranych wariantów przekrojów dróg z zastosowaniem różnych scenariuszy poszerzenia przekroju drogi.....	162
5.5.1	Możliwe rozwiązania projektowe:.....	164
5.5.2	Budowa dodatkowego pasa ruchu w pasie rozdziału	167
5.5.3	Budowa dodatkowego pasa ruchu po zewnętrznej stronie drogi.....	169
5.5.4	Porównanie zakresu przebudowy przekroju w zależności od sposobu etapowania	173
5.5.5	Analiza sposobu prowadzenia ruchu drogowego i realizacji robót w zależności od etapowania wykonania obiektów inżynierskich.....	175
5.5.6	Podsumowanie i rekomendacje uwarunkowań technicznych	176
5.5.1	Analiza wpływu sposobu etapowania rozbudowy przekroju poprzecznego drogi na koszty ruchu.....	179
5.6	Analiza możliwości zmniejszenia minimalnej szerokości pasa dzielącego na drogach dwu- i więcej jezdniowych wraz ze wskazaniem tych szerokości	181
5.6.1	Wprowadzenie	181
5.6.2	Analiza doświadczeń innych krajów	182
5.6.3	Analiza obowiązujących przepisów w Polsce	187
5.6.4	Analiza wpływu widoczności na łukach poziomych	195
5.6.5	Analiza wpływu widoczności na łukach poziomych	196
6.	WNIOSKI I REKOMENDACJE	198

6.1	Synteza wyników analiz	198
6.2	Propozycje zmian w przepisach	202
7.	LITERATURA	204

1. WSTĘP

1.1 Podstawa opracowania

Opracowanie wykonywane jest w ramach umowy nr DDP-V-118/2016 pomiędzy Politechniką Gdańską a Skarbem Państwa – Ministerstwem Infrastruktury i Budownictwa

1.2 Charakterystyka problemu

Na początku 2016 roku Minister Infrastruktury i Budownictwa powołał Komitet Sterujący ds. optymalizacji procesu realizacji inwestycji drogowych. Komitet ten opracował rekomendacje dotyczące m.in. weryfikacji przepisów prawnych i technicznych, a także zapisów ustawy prawo zamówień publicznych, które mają istotny wpływ na realizację Programu Budowy Dróg Krajowych na lata 2014-2023 (z perspektywą do 2025 r.). Wśród działań rekomendowanych przez grupę roboczą ds. Techniki/Technologii występuje Rekomendacja 1.1 o następującej treści: *„Zmniejszenie minimalnej szerokości pasa dzielącego drogi dwujezdniowe z 5,0 m do 2,5 m i ustalenie zasady pozostawiania rezerwy terenu pod kolejne pasy ruchu w pasie rozdziału. Szerokość pasa może wynosić 2,5 m, jeżeli z 30-letniej prognozy ruchu nie wynika konieczność dobudowy trzeciego pasa ruchu. Pozwoli to na obniżenie kosztów związanych z wykupem gruntów pod inwestycje i kosztów realizacji inwestycji (w tym kosztów robót ziemnych przy budowie dróg i kosztów budowy obiektów inżynierskich nad i pod drogami, które mogą być o 2,5 m krótsze)”*.

W dyskusji nad tym zapisem Zespół Inżynierii Komunikacyjnej Komitetu Inżynierii Lądowej i Wodnej PAN stwierdził: *„Zmniejszenie minimalnej szerokości pasa dzielącego drogi dwujezdniowe – byłoby to niekorzystne z uwagi na bezpieczeństwo ruchu (strefa bezpieczeństwa, możliwość wykonywania odkształcalnych barier), a także z uwagi możliwość sytuowania w pasie dzielącym innych obiektów i urządzeń (podpory wiaduktów, elementy wsporcze bram ze znakami). Często zdarza się, że podpory pośrednie wiaduktów zlokalizowane są w strefie wymaganej widoczności na zatrzymanie (łuk poziomy drogi ekspresowej). Elementy te powodują, że szerokość pasa rozdziału powinna pod wiadukтами wynosić więcej niż 4,0 m. Szerokość pasa dzielącego powinna wynikać przede wszystkim z potrzeb ocenianych przez projektanta; może się ona zmieniać wzdłuż drogi”*.

Ponadto zauważono:

- *Infrastruktura drogowa należy do szczególnie trwałych elementów przestrzeni publicznej i jako taka powinna spełniać nie tylko wymagania określone stanem wiedzy dnia dzisiejszego, ale także prognozowanymi oczekiwaniami wobec niej w przyszłości. Określeniu takich trendów powinno być poświęcone opracowanie interdyscyplinarnego zespołu ekspertów.*

- *Skala nakładów finansowych na budowę infrastruktury drogowej i jej znaczenie stwarzają szansę na pobudzenie badań i wprowadzanie rozwiązań innowacyjnych (technologicznych, organizacyjnych, zarządzania itp.). Ta szansa musi być uwzględniana w tworzeniu systemowych rozwiązań rozwoju sieci drogowej.*
- *Obowiązujące przepisy techniczne projektowania infrastruktury drogowej wymagają aktualizacji wraz ze zmianą ich struktury (wytyczne – instrukcje – zalecenia – przykłady dobrej praktyki). Konieczne jest wprowadzenie przepisów odnoszących się do zagospodarowania przestrzennego otoczenia dróg i kształtowania jego różnych form.*
- *Możliwa jest szybka weryfikacja i aktualizacja wybranych przepisów projektowania na podstawie krajowych i zagranicznych doświadczeń. Równoległe należy podjąć prace w celu kompleksowej zmiany przepisów projektowania.*

Powyższe ustalenia stanowią wyzwanie dla eksperckiego opracowania dotyczącego ustalania podstawowych elementów przekroju poprzecznego: liczby pasów ruchu na jezdniach autostrad i dróg ekspresowych oraz szerokości pasa dzielącego.

Zapewnienie warunków przestrzennych dla właściwego kształtowania geometrii drogi, w tym dostosowania przekroju poprzecznego drogi do zmieniających się natężeń ruchu, decyduje o możliwościach utrzymania na danej drodze właściwych standardów obsługi ruchu samochodowego, bezpieczeństwa ruchu i racjonalnego przeprowadzenia prac modernizacyjnych i utrzymaniowych. Zwiększenie liczby pasów na drogach istniejących możliwe jest na ogół jedynie poprzez poszerzenie jezdni z prawej strony, co w obszarze węzłów wymaga przebudowy obiektów mostowych. Na projektowanych drogach dwujezdniowych możliwe jest pozostawienie rezerwy w pasie dzielącym i przygotowanie obiektów mostowych na wprowadzenie poszerzonego przekroju. Doświadczenie wskazuje, że problem poszerzenia jedni dróg dwujezdniowych, podobnie jak problem organizacji ruchu w trakcie ich remontowania, powinien być rozwiązany na etapie projektowania drogi. Warunki wykonywania tych zabiegów powinny być określone w przepisach technicznych, biorąc pod uwagę odmienne uwarunkowania występujące na odcinkach międzywęzłowych i węzłach, na wiadukcie i pod wiaduktem, w obszarach zabudowanych i niezabudowanych, drogach istniejących i projektowanych.

1.3 Cel i zakres pracy

Celem pracy jest opracowanie podstaw merytorycznych do wytycznych poszerzania jezdni dróg ekspresowych i autostrad w Polsce o dodatkowe pasy ruchu. Stanowi ono analizę sprawdzenia możliwości realizacji Rekomendacji 1.1 Grupy ds. Techniki i Technologii Komitetu Sterującego ds. optymalizacji procesu realizacji inwestycji drogowych.

Opracowanie zawiera zbiór niezbędnych studiów i analiz do opracowania propozycji zmian w procedurze doboru dodatkowych pasów ruchu na drogach, a w szczególności:

- A. Przegląd dotychczasowych doświadczeń, w tym:
1. Analizy porównawcze wymagań w zakresie warunków technicznych dotyczących wymagań poszerzania jezdni o dodatkowe pasy ruchu w wybranych krajach Unii Europejskiej i poza Europą.
 2. Analizy zasad poszerzania jezdni o kolejne pasy ruchu na drogach dwu- i więcej jezdniowych w zależności od klasy drogi oraz jej położenia (w terenie zabudowy i poza terenem zabudowy).
 3. Analizy rozwiązań stosowanych w innych krajach, analizy wyników badań i doświadczeń krajowych i zagranicznych.
- B. Uwarunkowania potrzeb i możliwości poszerzania jezdni dróg szybkiego ruchu w Polsce, w tym:
1. Identyfikacja problemów projektowych związanych z warunkami poszerzania jezdni planowanych lub projektowanych dróg o dodatkowe pasy ruchu na podstawie krajowych doświadczeń planistycznych i projektowych.
- C. Wytyczne poszerzania jezdni autostrad i dróg ekspresowych, w tym
1. Przedstawienie propozycji granicznych natężeń ruchu, uzasadniających – w konkretnej perspektywie – budowę kolejnych pasów ruchu na drogach dwu- i więcej jezdniowych, w tym pozostawienie rezerwy terenu, w zależności od klasy drogi i jej położenia (w terenie zabudowy i poza terenem zabudowy).
 2. Opracowanie zasad wykonywania długoterminowych prognoz ruchu dla potrzeb planowania i projektowania budowanych lub przebudowywanych odcinków sieci drogowej.
- D. Analiza i ocena zaproponowanych rozwiązań, w tym:
1. Analizy możliwości zmniejszenia minimalnej szerokości środkowego pasa dzielącego na drogach dwu- i więcej jezdniowych wraz ze wskazaniem tych szerokości.
 2. Analizy wpływu zaproponowanych rozwiązań na koszty realizacji inwestycji drogowych oraz charakterystyki zadania w zakresie robót budowlanych (przebudowa, rozbudowa drogi).
 3. Analiza wybranych wariantów (przypadków) przekroju dróg z zastosowaniem różnych scenariuszy poszerzania przekroju drogi z zastosowaniem przyjętych kryteriów zwiększania liczby pasów ruchu.
 4. Ocena skutków wpływu zaproponowanych rozwiązań na warunki ruchu, bezpieczeństwo ruchu, ekologię i koszty użytkowników dróg.

5. Szacunkowa ocena skutków wpływu zaproponowanych rozwiązań na koszty realizacji inwestycji drogowych.
- E. Synteza wyników, w tym:
1. Opracowanie propozycji rozporządzeń (podstawy merytoryczne) w zakresie analizowanych poszerzeń jezdni o dodatkowe pasy ruchu.

2. PRZEGLĄD DOTYCHCZASOWYCH DOŚWIADCZEŃ

W rozdziale przedstawiono wyniki studiów literatury oraz doświadczeń zagranicznych i krajowych. W ramach tych prac przeprowadzono:

- a) Porównawcze studia literatury, raportów z prac badawczych oraz doświadczeń krajowych i zagranicznych dotyczących poszerzania jezdni o dodatkowe pasy ruchu ze szczególnym uwzględnieniem:
 - kryteriów stosowanych w przypadku poszerzania jezdni,
 - metod oceny wpływu zmian przekroju poprzecznego na warunki, bezpieczeństwo i koszty ruchu,
 - metod, zasad i zakresu prognozowania parametrów ruchu.
- b) Analizy porównawcze w zakresie warunków technicznych i przepisów technicznych (wytyczne, zalecenia, instrukcje projektowania) dotyczących wymagań poszerzania jezdni o dodatkowe pasy ruchu w wybranych krajach Unii Europejskiej i poza Europą,
- c) Analizy zasad poszerzania jezdni o kolejne pasy ruchu na drogach dwu- i więcej jezdniowych w zależności od klasy drogi oraz jej położenia (w terenie zabudowy i poza terenem zabudowy),
- d) Analizy rozwiązań stosowanych w innych krajach, analiza wyników badań i doświadczeń krajowych i zagranicznych.

Syntetyczne wyniki przeprowadzonych studiów i analiz przedstawiono w dalszych podrozdziałach.

2.1 Wprowadzenie

Autostrady i drogi ekspresowe są to drogi szybkiego ruchu (dsr) przenoszące duże potoki ruchu z dużą prędkością. Powinny być tak zaprojektowane i zbudowane, aby zapewnić wysoki poziom bezpieczeństwa, duży komfort jazdy uczestnikom ruchu, przy jak najmniejszym wpływie na otoczenie i jak najniższych kosztach budowy i utrzymania. Planowanie i projektowanie tej klasy dróg wymaga rozwiązania wielu spornych kwestii: zapewnienia dostępności do źródeł i celów ruchu, zapewnienia wysokiej prędkości jazdy, zapewnienia realizacji zapotrzebowania na wzrastające natężenie ruchu, uniknięcia przesylenia i zatłoczeń, zapewnienia jednorodnych warunków ruchu na całej długości itd.

Różne oddziaływania dróg szybkiego ruchu oznaczają, że należy podejmować wiele analiz, biorąc pod uwagę następujące kryteria [53]:

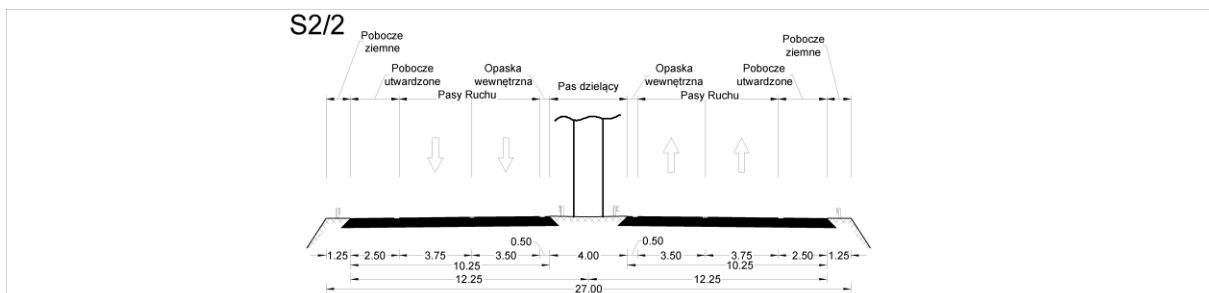
- bezpieczeństwo ruchu drogowego,
- warunki ruchu,
- wpływ na środowisko i otoczenie drogi (zagospodarowanie przestrzenne)

- ekonomikę (koszty budowy i utrzymania, koszty ruchu),
- wymagania techniczne dotyczące budowy i utrzymania dróg.

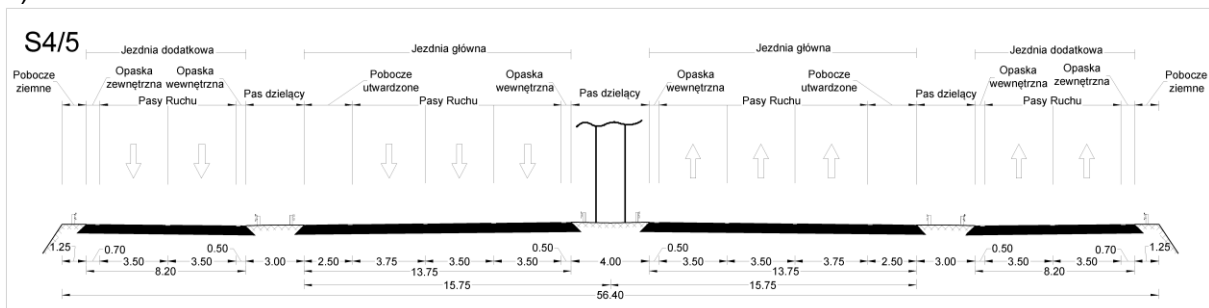
Przekrój poprzeczny drogi jest jednym jej podstawowych elementów, który określa rozmieszczenie urządzeń zapewniających równoległy ruch pojazdów oraz urządzeń towarzyszących. Wśród wielu podejść do opisu przekroju poprzecznego drogi można wyróżnić:

- podejście uproszczone, wg którego przekrój poprzeczny drogi to jezdnie i pobocza stanowiące koronę drogi oraz szeroko rozumiane otoczenie, jako przestrzeń między koroną drogi i granicą pasa drogowego (rys. 2.1.a),
- podejście funkcjonalne, wg którego przekrój poprzeczny składa się ze stref (obszarów) przeznaczonych do: poruszania się pojazdów, poruszania się innych uczestników ruchu, obszarów bezpieczeństwa, pasów rozdzielających kierunki ruchu,
- podejście techniczne, wg którego przekrój poprzeczny składa się z następujących elementów: jezdnie główne, jezdnie dodatkowe, pasy ruchu podstawowe i dodatkowe, pobocze utwardzone (z lewej i z prawej strony), pas rozdzielający jezdnie, pobocza nieutwardzone, skarpy rowów odwadniających (rys. 2.1.b).

a)



b)



Rys. 2.1 Schematy wybranych przekrojów poprzecznych dróg: a) podejście uproszczone, b) podejście techniczne.

Źródło: opracowanie własne

Na rysunku 2.2 przedstawiono przykłady dróg wielojezdniowych:

- a. autostrada dwujezdniowa, trzypasowa w Portugalii, z kierunkami ruchu rozdzielonymi barierą betonową i zewnętrznym poboczem utwardzonym,
- b. autostrada czterojezdniowa w USA, z czteropasowymi jezdniami głównymi i trzypasowymi jezdniami dodatkowymi oraz szerokim, ziemnym pasem dzielącym,
- c. dwujezdniowa autostrada dojazdowa do lotniska w Atenach, z podporami wiaduktów umieszczonymi w pasie dzielącym, z barierami betonowymi.

a)



b)



c)



Rys. 2.2 Ilustracja fotograficzna przykładów dróg wielojezdniowych.

Źródło: opracowanie własne

Na tym tle do podstawowych problemów związanych z poszerzeniem przekroju drogi, mogących być przedmiotem syntezy literatury krajowej i zagranicznej, należą:

- związki pomiędzy cechami przekroju (liczba i szerokości pasów ruchu, poboczy i pasów dzielących) a warunkami i bezpieczeństwem ruchu,
- identyfikacja kryteriów określania liczby i szerokości pasów ruchu; identyfikacja czynników decydujących o liczbie pasów ruchu na drodze istniejącej i projektowanej,
- zasady lokalizacji rezerw pod dodatkowy pas ruchu w przekroju projektowanej drogi,
- identyfikacja uwarunkowań (czynników) decydujących o lokalizacji dodatkowego pasa ruchu na istniejącej drodze (w przypadku braku projektowanych rezerw pod budowę takiego pasa),
- praktyka w zakresie przebudowy drogi i zwiększania liczby pasów w przekroju drogi.

2.2 Wpływ parametrów przekroju na ogólne cechy funkcjonowania drogi

Niniejszy rozdział zawiera analizy rozwiązań stosowanych w innych krajach, a w tym analizy wyników badań oraz doświadczeń krajowych i zagranicznych dotyczących wpływu parametrów przekroju poprzecznego drogi na warunki ruchu, bezpieczeństwo ruchu drogowego i koszty. W analizie wyróżniono drogi szybkiego ruchu (autostrady i drogi ekspresowe) oraz pozostałe drogi wielojezdniowe.

2.2.1 Warunki ruchu

Podstawowym postulatem zgłaszanym wobec funkcjonowania autostrad i dróg ekspresowych jest zapewnienie dobrych warunków ruchu, przy jednocześnie dużym natężeniu ruchu. W przypadku pozostałych dróg bardzo ważnym postulatem jest zapewnienie połączeń między istotnymi dużymi generatorami ruchu. Najistotniejszymi czynnikami wpływającymi na warunki ruchu na drogach są [53]:

- liczba pasów ruchu, w tym także dodatkowych pasów ruchu na wzniesieniach, na wjazdach i wyjazdach z węzłów,
- utwardzone pobocza (opaski),
- liczba węzłów i skrzyżowań,
- elementy planu sytuacyjnego i profilu podłużnego drogi,
- występowanie i odległość przeszkód bocznych,
- organizacja robót drogowych,
- połączenia z drogami współpracującymi.

Wpływ parametrów przekroju drogi uwzględniany jest w analizach przepustowości i ocenie warunków ruchu, zarówno na poziomie operacyjnym jak i planistycznym. Liczba pasów ruchu (ale także ich szerokość, szerokości poboczy, w przypadku dróg wielopasowych również rodzaj separacji kierunków ruchu) determinuje przepustowość drogi (jej odcinka), a także wpływa na wartości graniczne natężeń dla poszczególnych poziomów swobody ruchu (PSR).

Do szacowania przepustowości i oceny warunków ruchu korzysta się najczęściej z deterministycznych, makroskopowych metod i procedur, uwzględniających różne warunki drogowo-ruchowe, w tym dane o przekroju poprzecznym drogi. Spośród przykładów wymienić należy najbardziej rozbudowaną amerykańską metodę HCM [58] czy niemiecką HBS [6]. Swoje metody posiadają również Holandia [30], Szwecja [55], Finlandia i Norwegia [41] czy Dania [61], a także kraje azjatyckie, takie jak Chiny [63], Japonia, Indonezja [32]. Polska natomiast posiada nieaktualną już instrukcję obliczania przepustowości dróg I i II klasy technicznej z 1995 roku [64] – prace nad stworzeniem podstaw do nowej metody są realizowane w ramach projektu RID-2B „Nowoczesne metody obliczania przepustowości i

oceny warunków ruchu dla dróg poza aglomeracjami miejskimi, w tym dla dróg szybkiego ruchu” (MOP-DZ) [46].

Do oceny warunków ruchu w poszczególnych krajach i w poszczególnych metodach wykorzystywane są m.in. gęstość potoku pojazdów, prędkość potoku, stosunek natężenia do przepustowości, prawdopodobieństwo wystąpienia stanu zatłoczenia itp. Najczęściej, choć nie wszędzie (wyjątkiem może być np. Szwecja¹ czy Japonia), w oparciu o wartości graniczne tych parametrów przypisuje się danym warunkom ruchu odpowiedni PSR, odwzorowujący komfort podróży, niezawodność (w kontekście czasu podróży) i swobodę manewrowania. Takie podejście pozwala również określić, jakie poziomy swobody ruchu na drodze są akceptowane przez jej użytkowników, w zależności od jej klasy, przekroju, lokalizacji oraz rodzaju ruchu zarówno w na drodze istniejącej, jak również w przypadku jej budowy czy przebudowy.

W metodzie amerykańskiej [58] PSR określa się na podstawie gęstości ruchu, w Niemczech, Holandii², Chinach na bazie stosunku natężenia do przepustowości [6, 30, 63]. Dodatkowym wskaźnikiem wykorzystywanym w Holandii jest prawdopodobieństwo wystąpienia stanu zatłoczenia, w Chinach natomiast wskaźnikiem uzupełniającym jest różnica pomiędzy prędkością w ruchu swobodnym, a prędkością rzeczywistą.

Punktem wyjścia praktycznie wszystkich istniejących metod obliczania przepustowości i oceny warunków ruchu jest tzw. zależność fundamentalna, wiążąca ze sobą makroskopowe parametry: prędkość, gęstość oraz natężenie ruchu drogowego. Z wykresu fundamentalnego odczytać można wartości optymalne i krytyczne poszczególnych parametrów, a także powiązania występujące między nimi dla różnych stanów ruchu. W większości istniejących metod krzywe prędkości względem natężenia stanowią podstawę dalszych analiz: umożliwiają odczytanie przepustowości, natężeń krytycznych i odpowiadających im średnich prędkości.

Czynniki wpływające na przepustowość i warunki ruchu drogowego. Warunki ruchu determinowane są przez wiele czynników, do których należą:

- liczba pasów ruchu,
- pochylenie podłużne (uwzględniane w większości metod, z wyjątkiem holenderskiej),
- udział pojazdów ciężkich (uwzględniany w większości metod),
- udział pojazdów lekkich (uwzględniany w metodzie indonezyjskiej),

¹ W Szwecji kryterium uwzględnianym podczas projektowania dróg jest to, aby dla godziny projektowej spełnione zostały wymagania jakościowe: średnia prędkość co najwyżej o 10 km/h niższa od ograniczenia, średnia strata czasu nie większa niż min (drogi zamiejskie), stosunek natężenia (popytu) do przepustowości na drogach zamiejskich o wysokim standardzie nie powinien przekroczyć 0,5, na drogach zamiejskich o średnim standardzie nie powinien przekroczyć 0,7 [41].

² W Holandii podczas projektowania dróg rozważa się następujące kryteria: maksymalne prawdopodobieństwo natknięcia się kierowcy na zatłoczenie (stan ruchu na autostradzie, gdy prędkość spada poniżej 50 km/h [20]) nie powinno przekroczyć 5%; na odcinkach powyżej 30 km prędkość średnia nie powinna spaść poniżej 60 km/h.

- szerokość pasa ruchu (nieuwzględniany w metodzie niemieckiej i holenderskiej),
- szerokość pobocza wolnego od przeszkód (nieuwzględniane w metodzie niemieckiej i holenderskiej),
- charakter ruchu (np. w HCM – jako znajomość drogi przez użytkownika, w HBS – lokalizacja drogi: miejska, zamiejska),
- warunki atmosferyczne i oświetlenia (uwzględniane w metodzie holenderskiej i nowym HCM),
- gęstość zdarzeń drogowych (uwzględniana w nowym HCM),
- gęstość wjazdów i zjazdów (uwzględniana w metodzie HCM)
- dopuszczalna prędkość (uwzględniana w metodach: szwedzkiej, niemieckiej),
- występowanie dodatkowych pasów ruchu, np. buspasów, pasów HOV, aktywnych poboczy (uwzględniane w metodzie niemieckiej – aktywne pobocza, nowym HCM – dedykowane pasy ruchu).

Biorąc za przykład metodę amerykańską HCM [59] ocenić można, że:

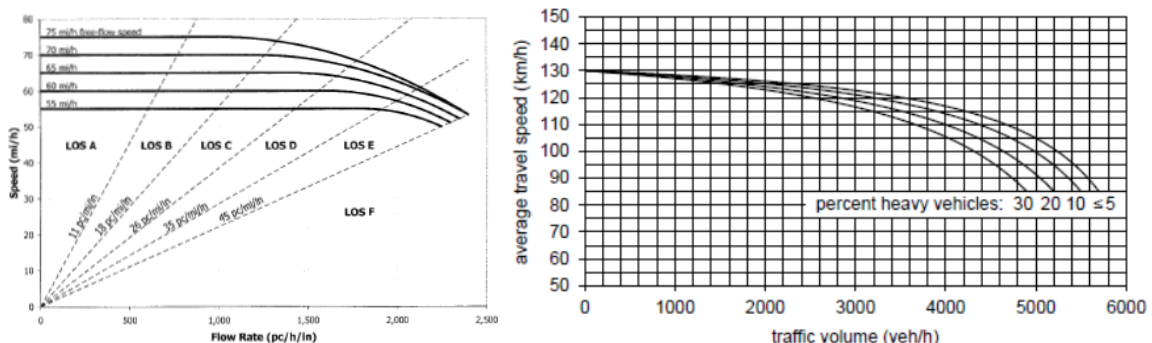
- szerokość pasa ruchu poniżej 3,65 m powoduje redukcję prędkości w ruchu swobodnym o 3,1-10,6 km/h (najwyższa redukcja w przypadku pasa o szerokości 3 m),
- pobocze wolne od przeszkód o szerokości mniejszej niż 1,8 m powoduje redukcję prędkości w ruchu swobodnym o 0-6 km/h (w przypadku pobocza < 0,6 m),
- każdy wzrost uśrednionej (z 10 km) gęstości wjazdów i zjazdów na 1,6 km drogi o 2 wjazdy/zjazdy powoduje redukcję prędkości o ok. 8 km/h,
- wpływ pochyleń podłużnych zależy od udziału pojazdów ciężkich; wraz ze wzrostem udziału pojazdów ciężkich i ze wzrostem stopnia pochylenia, rośnie wyjściowe, wyrażone w pojazdach umownych, natężenie ruchu.

Ciekawe badania realizowane były w Holandii [30], gdzie analizowano wpływ takich czynników jak: ekrany akustyczne, pasy awaryjne, szerokość pasa ruchu, szerokość pobocza wolnego od przeszkód bocznych, ograniczenie prędkości, występowanie tuneli i wiaduktów. Analizy wykazały, że:

- wpływ szerokości pasa ruchu na przepustowość obserwuje się w przypadku lewego pasa ruchu, gdy ma on 2,5 m szerokości (ok. 20% niższa przepustowość niż w przypadku pasa 3,5 m),
- nie zaobserwowano wpływu występowania pasów awaryjnych na przepustowość,
- występowanie ekranu akustycznego lub niewielkiego pobocza wolnego od przeszkód w niewielkim stopniu i nieistotnie wpływało na zmniejszenie przepustowości,

- występowanie ograniczeń prędkości w zakresie 80 do 130 km/h nie wpływało znacząco na wartość przepustowości, jedynie minimalna różnica widoczna była w przypadku ograniczenia do 80 km/h,
- nie zaobserwowano wpływu wiaduktów na przepustowość (w przypadku normalnej szerokości pasów).

Procedura obliczeń przepustowości i oceny warunków ruchu w poszczególnych metodach, z uwzględnieniem wpływu przekroju poprzecznego drogi. W metodzie amerykańskiej Highway Capacity Manual (HCM) [59] i polskiej [64] jako punkt wyjścia do dalszych analiz wykorzystuje się krzywe prędkości w ruchu swobodnym³, z których odczytuje się wartość przepustowości w idealnych warunkach drogowo-ruchowych (dla pojazdów umownych) na pas ruchu, którą następnie koryguje się w oparciu o współczynniki uwzględniające wpływ m.in.: ukształtowania terenu, pojazdów ciężkich czy charakterystyki ruchu (ruch codzienny, rekreacyjny). W najnowszym podejściu zaprezentowanym w 6. edycji HCM [60] procedurę szacowania przepustowości poszerzono dodatkowo o możliwość uwzględniania wpływu występowania wypadków drogowych, warunków atmosferycznych oraz warunków oświetlenia drogi na przepustowość i warunki ruchu. Oszacowanie przepustowości lub natężeń krytycznych dla jezdni odbywa się przez przemnożenie przepustowości pojedynczego pasa ruchu przez liczbę pasów ruchu na jezdni.



Rys. 2.3 Wykresy zależności średniej prędkości potoku pojazdów od natężenia ruchu w HCM i HBS.

Źródło: [6, 24, 59]

W niemieckiej metodzie HBS [6] przepustowość jezdni na odcinku drogi szacujej się poprzez odczytanie bezpośrednio z wykresu zależności pomiędzy natężeniem krytycznym i średnią prędkością podróży (rys. 2.3.b). Krzywe średnich prędkości samochodów osobowych⁴ przedstawione na tym wykresie uwzględniają także wpływ typu przekroju,

³ Prędkość w ruchu swobodnym jest definiowana w Polsce jako średnia prędkość samochodów osobowych przy małym i średnim natężeniu ruchu, do 1300 so/h/pas [17]

⁴ na podstawie krzywych wyznaczonych w oparciu o model Brilona i Ponzleta [9]

dopuszczalnej prędkości, udziału pojazdów ciężkich, pochylenia podłużnego czy charakteru drogi (nie korzystając tym samym z dodatkowych współczynników korekcyjnych).

W przypadku pozostałych metod, w analizach już na etapie danych wejściowych występują duże różnice w zakresie uwzględniania przekroju drogi. Oszacowanie przepustowości prowadzi się dla pojedynczego pasa ruchu m.in. w USA, Australii, Chinach czy Danii, lub dla całej jezdni lub przekroju drogi między innymi w Niemczech, Szwecji, Holandii. Dlatego w zależności od użytej metody uzyskuje się różne wartości liczbowe przepustowości wyjściowej (tablica 2.1). W tablicy 2.1 przedstawiono porównanie przepustowości wyjściowej (dla warunków idealnych lub zbliżonych do idealnych; ~pojazdy umowne=rzeczywiste) dla przykładowego przekroju 2/2 o prędkości 110 km/h (metody, w których analizuje się od razu cały przekrój podkreślono na szaro).

Tablica 2.1

Przepustowość wyjściowa C_{id} przyjmowana w wybranych metodach szacowania przepustowości (autostrada o przekroju 2/2, jeden kierunek ruchu, prędkość: 110 km/h)

Metoda	C_{id}	Metoda	C_{id}
USA	4800 E/h/pas	Polska	4400 E/h/pas
Niemcy	3700 P/h	Norwegia	4000 E/h/pas
Holandia	4300 E/h	Australia	4000 P/h/pas
Szwecja	4320 E/h	Indonezja	4600 E/h/pas
Dania	4600 E/h/pas	Japonia	4400 E/h/pas
Finlandia	4000 E/h/pas	Chiny	4400 E/h/pas

Źródło: opracowanie własne na podstawie [6, 24, 30, 41, 45, 50, 52, 55, 59, 63, 64]

Ponadto:

- w metodzie duńskiej [48] przepustowość w warunkach idealnych jest wielkością stałą (niezależną od prędkości), którą koryguje się w oparciu o odpowiednie współczynniki,
- metoda holenderska [30] podaje wynikowe wartości przepustowości (w E/h) dla określonych przekrojów dla odcinków standardowych (tym samym nie ma możliwości odczytania średniej prędkości czy natężeń krytycznych z wykresu),
- w metodzie szwedzkiej [55], dla dróg standardu I i II dane są natężenia krytyczne w przekroju (w postaci tablic dla poszczególnych danych wejściowych) i średnie prędkości dla 4 punktów przegięcia (gdzie trzeci punkt przegięcia odpowiada przepustowości, a czwarty jest jej 1,2-krotnością – ostatni punkt wykorzystywany jest w analizach ekonomicznych); w metodzie uwzględnia się nierównomierny rozkład ruchu na pasy, którego oszacowanie możliwe jest za pomocą dostarczonych formuł.

Należy zauważyć, że przepustowość oszacowana metodami uwzględniającymi cały przekrój może się różnić nawet do 20 % od przepustowości oszacowanej z uwzględnieniem poszczególnych pasów ruchu. [30] (tablica 2.2).

Tablica 2.2

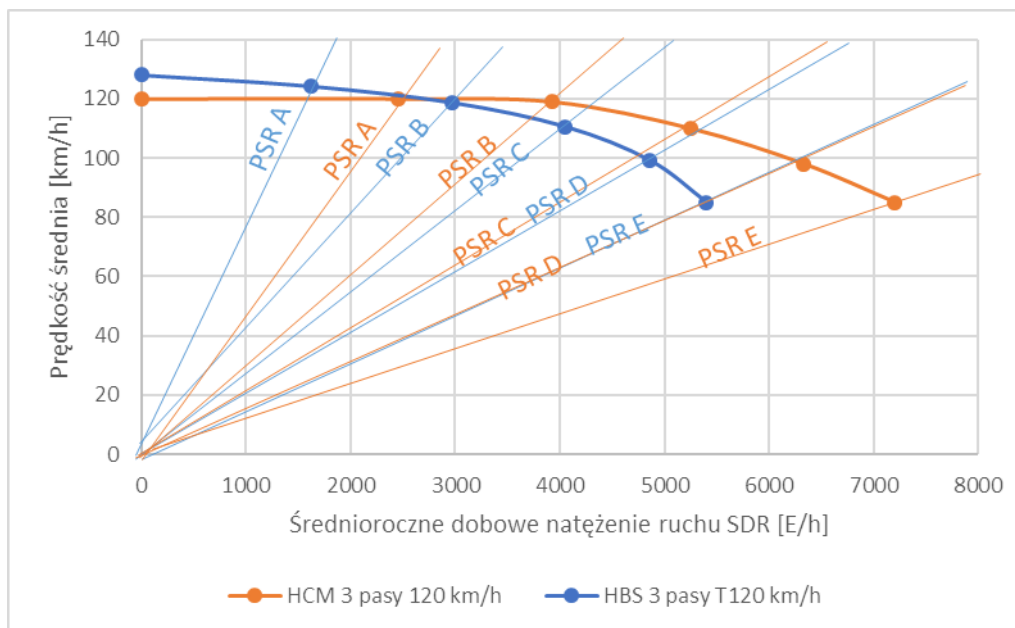
Przepustowość standardowych odcinków autostrad wykorzystywanych do obliczania PSR w holenderskim HCM

Liczba pasów ruchu	Przepustowość C		
	przekroju	kolejnego pasa	wzrost lub spadek w stosunku do pierwszego pasa
	[E/h]	[E/h/pas]	[%]
1 (<1500 m)	1900	-	-
1 (> 1500 m)	2100	-	-
2	4300	2200	+ 4,76
3	6200	1900	- 9,52
4	8200	2000	- 4,76
5	10250	2050	- 2,38
6	12000	1750	- 16,67
7	13500	1500	- 28,57

Źródło: opracowanie własne na podstawie [6, 24],

W rezultacie, analizując jednakowy przekrój z identycznymi warunkami drogowo-ruchowymi poszczególnymi metodami, widoczna jest różnica w średniej prędkości, natężeniach krytycznych, a tym samym w przepustowości i warunkach ruchu. Na rys. 2.4 przedstawiono przykład różnic w ocenie warunków ruchu według metody amerykańskiej HCM i niemieckiej HBS dla porównywalnego przekroju autostrady. Przepustowość jezdni szacowana według metody niemieckiej HBS jest o ok. 20% niższa niż przepustowość według metody amerykańskiej HCM. Różnica wynika między innymi z: założenia nierównomierności rozkładu ruchu na poszczególne pasy, a także z różnic w wielkości przepustowości wyjściowej.

Natomiast w tablicy 2.3 przedstawiono porównanie oszacowania przepustowości i warunków ruchu różnymi metodami na porównywalnym odcinku drogi ekspresowej. Analizując uzyskane wyniki można stwierdzić, że poszczególne metody wykazują bardzo duże zróżnicowanie względem siebie, nie tylko ze względu na przyjmowane wartości parametrów wyjściowych, ale również różnice w procedurach i przyjmowanych granicznych wartościach parametrów.



Rys. 2.4 Porównanie krzywych prędkości od natężenia wg HCM i HBS dla przekroju 2/3, ~0% udziale pojazdów ciężarowych i prędkości w ruchu swobodnym ~120 km/h.

Źródło: opracowanie własne na podstawie [6, 24, 59]

Tablica 2.3

Porównanie przepustowości i warunków ruchu dla przykładowego przekroju drogi ekspresowej 2/2, o prędkości w ruchu swobodnym 100 km/h, z 7% udziałem pojazdów ciężkich

Parametr	Jed.	HCM	HBS	NL	DK	S	FIN	PL
Natężenie ruchu	[P/h]	2630	2630	2630	2630	2630	2630	2630
Przepustowość wyjściowa	[E/h]	4600	3800	-	4400	4320	4000	2200
Średnia prędkość	[km/h]	82	-	-	-	66,5	-	87
Nat. kryt. – PSR A	[P/h]	1256	1110	1206	-	1944	-	1124
Nat. kryt. – PSR B	[P/h]	2028	2035	-	-		-	1875
Nat. kryt. – PSR C	[P/h]	3092	2775	-	-	3456	-	2833
Nat. kryt. – PSR D	[P/h]	3864	3330	3215	-		-	3625
Nat. kryt. – PSR E	[P/h]	4444	3700	4019	-	4320	-	4166
Przepustowość	[P/h]	4444	3700	4019	4167	4125	3775	4166
Stopień wykorzystania przepustowości		0,62	0,71	0,65	0,63	0,64	0,70	0,66
Poziom swobody ruchu		C	C	B-D	-	-	-	C

Oznaczenia: Nat. Kryt. – natężenie krytyczne, NL – Holandia, DK – Dania, S – Szwecja, FIN – Finlandia, PL - Polska

Źródło: opracowanie własne na podstawie [6, 24, 30, 41, 45, 50, 52, 55, 59, 63, 64]

W tablicach 2.4 - 2.5 przedstawiono porównanie granicznych wartości parametrów ruchu w zależności od przekroju jezdni i prędkości swobodnej oszacowanych za pomocą metod HCM i HBS. W przypadku metody HBS gęstość ruchu oszacowana została jako iloraz

natężenia ruchu i średniej prędkości, podzielony przez liczbę pasów ruchu w przekroju, celem uzyskania parametrów ruchu porównywalnych do uzyskanych z metody HCM. Dane zawarte w tablicach pokazują, że w obu metodach dla poszczególnych poziomów swobody ruchu przyjmuje się podobne wartości graniczne stosunku natężenia do przepustowości. Gęstość ruchu oszacowana w HBS jest od kilku do kilkunastu procent niższa niż przyjmowana w HCM. Należy jednak zaznaczyć, że w przypadku HBS są to wartości szacunkowe, w metodzie głównym kryterium stosowanym przy ocenie warunków ruchu jest stopień wykorzystania przepustowości.

Tablica 2.4

Graniczne wartości parametrów ruchu dla rodzaju przekroju, w zależności od prędkości w ruchu swobodnym – HCM 2010

Przekrój	2 pasy					3 pasy					4 pasy				
	A	B	C	D	E	A	B	C	D	E	A	B	C	D	E
Prędkość w ruchu swobodnym 120 km/h															
Natężenie krytyczne [E/h]	1640	2620	3500	4220	4800	2460	3930	5250	6330	7200	3280	5240	7000	8440	9600
Średnia prędkość [km/h]	120	119	110	98	85	120	119	110	98	85	120	119	110	98	85
Prędkość w ruchu swobodnym 110 km/h															
Natężenie krytyczne [E/h]	1540	2500	3380	4160	4800	2310	3750	5070	6240	7200	3080	5000	6760	8320	9600
Średnia prędkość [km/h]	110	110	108	98	85	110	110	108	98	85	110	110	108	98	85
Prędkość w ruchu swobodnym 100 km/h															
Natężenie krytyczne [E/h]	1320	2160	3120	4020	4600	1980	3240	4680	6030	6900	2640	4320	6240	8040	9200
Średnia prędkość [km/h]	100	100	96	91	82	100	100	96	91	82	100	100	96	91	82
Prędkość w ruchu swobodnym 90 km/h															
Natężenie krytyczne [E/h]	1200	1980	2860	3800	4500	1800	2970	4290	5700	6750	2400	3960	5720	7600	9000
Średnia prędkość [km/h]	90	90	90	88	80	90	90	90	88	80	90	90	90	88	80
Gęstość kryt. [E/km/pas]	7	11	16	22	28	7	11	16	22	28	7	11	16	22	28
Stosunek natężenia do przepustowości [-]	0,34	0,55	0,73	0,88	1	0,34	0,55	0,73	0,88	1	0,34	0,55	0,73	0,88	1

Źródło: opracowanie własne na podstawie [6, 24]

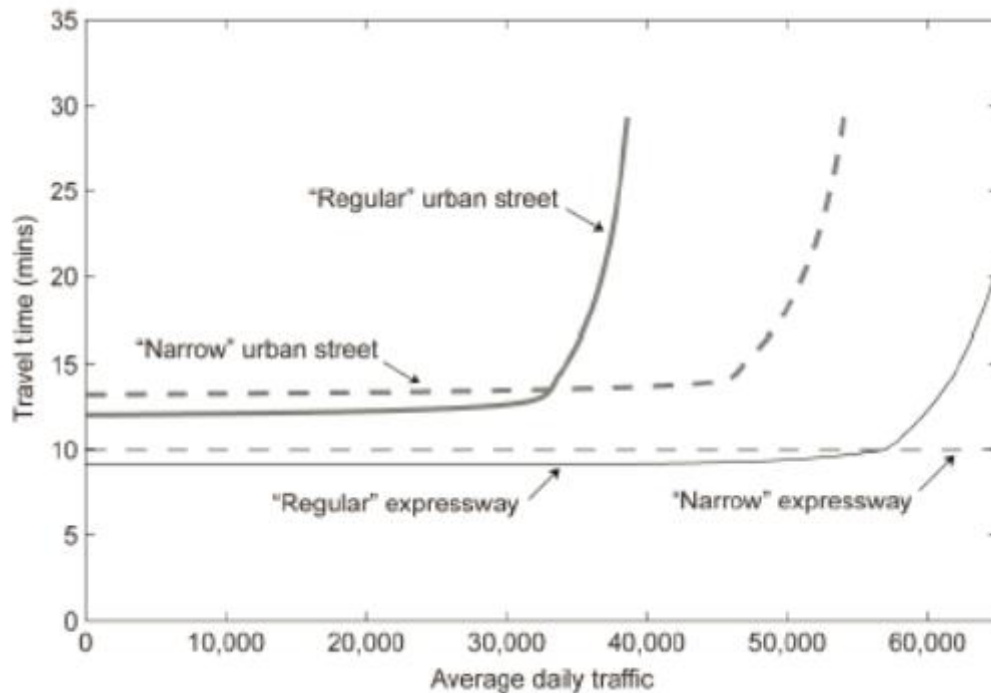
Tablica 2.5

Graniczne wartości parametrów ruchu dla rodzaju przekroju, w zależności od prędkości w ruchu swobodnym – HBS 2015

Przekrój	2 pasy					3 pasy					4 pasy				
	A	B	C	D	E	A	B	C	D	E	A	B	C	D	E
Poziom swobody ruchu															
Natężenie krytyczne [P/h]	1140	2090	2850	3420	3800	1620	2970	4050	4860	5400	2220	4070	5550	6660	7400
Stosunek natężenia do przepustowości [-]	0,3	0,55	0,75	0,9	1	0,3	0,55	0,75	0,9	1	0,3	0,55	0,75	0,9	1
Dopuszczalna prędkość 120 km/h															
Średnia prędkość [km/h]	125	120	112	99	80	124	119	111	99	85	127	123	116	105	90
Gęstość kryt. [P/km/pas]	4	8	12	17	23	4	8	12	16	21	4	8	11	15	20
Dopuszczalna prędkość 100 km/h															
Średnia prędkość [km/h]	111	107	100	91	78	112	108	102	93	80	112	108	103	95	85
Gęstość kryt. [P/km/pas]	5	9	14	18	24	4	9	13	17	22	4	9	13	17	21
Dopuszczalna prędkość 80 km/h															
Średnia prędkość [km/h]	97	94	89	83	75	97	95	91	85	75	98	95	91	85	75
Gęstość kryt. [P/km/pas]	5	11	16	20	25	5	10	14	19	23	5	10	15	19	24

Źródło: opracowanie własne na podstawie [6, 24].

Wpływ przekroju drogi na warunki ruchu jest także zauważalny w przypadku analizy i oceny warunków ruchu na dłuższych odcinkach dróg i oceny jego niezawodności, wyrażanej czasem podróży. Zarówno w metodzie HCM, jak i w HBS na przewidziano możliwość analizy warunków ruchu na odcinkach drogi składającego się z wielu segmentów, w tym pasów włączania i wyłączania, odcinków przeplatani i odcinków międzywęzłowych. Metody te umożliwiają ocenę funkcjonowania dłuższego odcinka drogi w warunkach ruchu swobodnego i częściowo wymuszonego (PSR A-E), w przypadku HCM również wymuszonego (PSR F), umożliwiając jednocześnie identyfikację odcinka krytycznego i jego wpływu na sąsiadujące odcinki. Metoda niemiecka umożliwia analizę dla warunków ruchu swobodnego i częściowo wymuszonego, rozważane jest natomiast włączenie do metody możliwości analizy w przypadku ruchu wymuszonego [28, 29]. Na rysunku 2.5 przedstawiono zmiany czasu podróży TT na odcinku drogi o różnym przekroju poprzecznym w zależności od natężenia ruchu ADT. Analizując te zależności, można stwierdzić, że przekrój poprzeczny drogi ma znaczący wpływ na parametry ruchu drogowego na dłuższym odcinku drogi. Wraz z przekroczeniem pewnych wartości granicznych natężenia ruchu, straty czasu i łączny czas podróży zaczynają intensywnie wzrastać.



Rys. 2.5 Wykresy zależności czasu podróży TT od przekroju poprzecznego drogi i natężenia ruchu ADT (porównanie szczytowych do średnich godzin w dobie).

Źródło: [47]

Procedura obliczeń przepustowości i oceny warunków ruchu w przypadku dróg dwujezdniowych niższej klasy technicznej. W przypadku dróg dwujezdniowych niższej klasy, charakteryzujących się ruchem ciągłym na dłuższym odcinku (co najmniej 3,2 km w HCM), ze względu na zbliżoną charakterystykę stosuje się tę samą lub zbliżoną do autostrad i dróg ekspresowych metodę, natomiast różne są prędkości wyjściowe, wartości krytyczne parametrów, a także wartości współczynników korygujących. W przypadku metody poprzedniej wersji metody HCM [58] drogi wielopasowe (w tym dwujezdniowe) są potraktowane oddzielnie. Różnice względem metody dla autostrad i dróg ekspresowych obejmują:

- uwzględnienie gęstości punktów dostępu (zjazd, skrzyżowania, węzły na milę drogi),
- uwzględnienie typu rozdzielania kierunku ruchu (w przypadku dróg dwujezdniowych wpływ pomijany),
- inny zakres prędkości wyjściowych (70–100 km/h) oraz inne wzory krzywych,
- inne wartości krytyczne natężeń ruchu dla danego zakresu prędkości wyjściowych.

W przypadku metody duńskiej [48] dla analizy dróg wielopasowych korzysta się z metody dla autostrad. W metodzie fińskiej [41] korzysta się również z jednej metody, ale występują

różnice we współczynnikach przeliczeniowych dla pojazdów ciężarowych (w metodzie duńskiej ich wartości są jednakowe).

Tablica 2.6

Krytyczne obliczeniowe natężenia ruchu w zależności od prędkości w ruchu swobodnym dla odcinków dróg wielopasowych – HCM2010

Prędkość w ruchu swobodnym w km/h (mil/h)	Poziom swobody ruchu PSR_i (E/h/pas)				
	A	B	C	D	E
95 (60)	660	1080	1550	1980	2200
90 (55)	600	990	1430	1850	2100
80 (50)	550	900	1300	1710	2000
70 (45)	290	810	1170	1550	1900

Źródło: [59]

W najnowszej metodzie HCM [36] dla oceny warunków ruchu na drogach wielopasowych przyjęto nowe podejście do oceny warunków ruchu na drogach wielopasowych. Utworzony został nowy model zależności pomiędzy prędkością i natężeniem ruchu, ujednoczony dla autostrad, dróg ekspresowych i dróg wielopasowych. Tym samym obie metody zostały połączone i opisane w jednym rozdziale, a sama procedura ujednoczona dla obu rodzajów analiz (tabl. 2.6).

2.2.2 Bezpieczeństwo ruchu

Autostrady i drogi ekspresowe przenoszą potoki pojazdów o dużym natężeniu, które powinny poruszać się z dużą prędkością. Na tych drogach przez odpowiednią ich konstrukcję i wyposażenie znacznie zmniejsza się prawdopodobieństwo i skutki wypadków drogowych. Udaje się to dość często poprzez zapewnienie wysokich standardów tym drogom. Autostrady i drogi ekspresowe powinny zatem być zaprojektowane i wyposażone w aby:

- odpowiednio szeroki przekrój poprzeczny (liczba i szerokość pasów ruchu oraz dostatecznie szerokie utwardzone pobocza,
- urządzenia rozdzielające przeciwne kierunki ruchu,
- jednorodne parametry drogi na dłuższych odcinkach,
- odpowiednio (wyprzedzająco) zastosowaną organizację ruchu, w tym informację drogową,
- urządzenia zapewniające ochronę uczestników ruchu i mieszkańców przebywających w pobliżu drogi,
- ukształtowanie poprzeczne drogi zapewniające wymagany poziom bezpieczeństwa bez konieczności stosowania barier ochronnych,
- urządzenia zapewniające dobre odwodnienie powierzchni jezdni,
- urządzenia zapobiegające wtargnięciu postronnych osób i zwierząt na jezdnie .

Na pozostałych drogach, w zależności od wyposażenia, zagrożenie wypadkami jest znacznie większe ze względu na :

- brak rozdziału kierunków ruchu,
- dużą gęstość skrzyżowań i wjazdów,
- występowanie przejść dla pieszych,
- przeszkody boczne w bliskiej odległości od krawędzi jezdni.

Analizując mapy wypadków na sieci dróg szybkiego ruchu (autostrad i dróg ekspresowych), można stwierdzić, że ich koncentracja następuje na węzłach i wybranych odcinkach międzywęzłowych. Jezdnie główne są elementami węzłów najbardziej obciążonymi ruchem, a tym samym o dość dużym udziale zdarzeń drogowych.

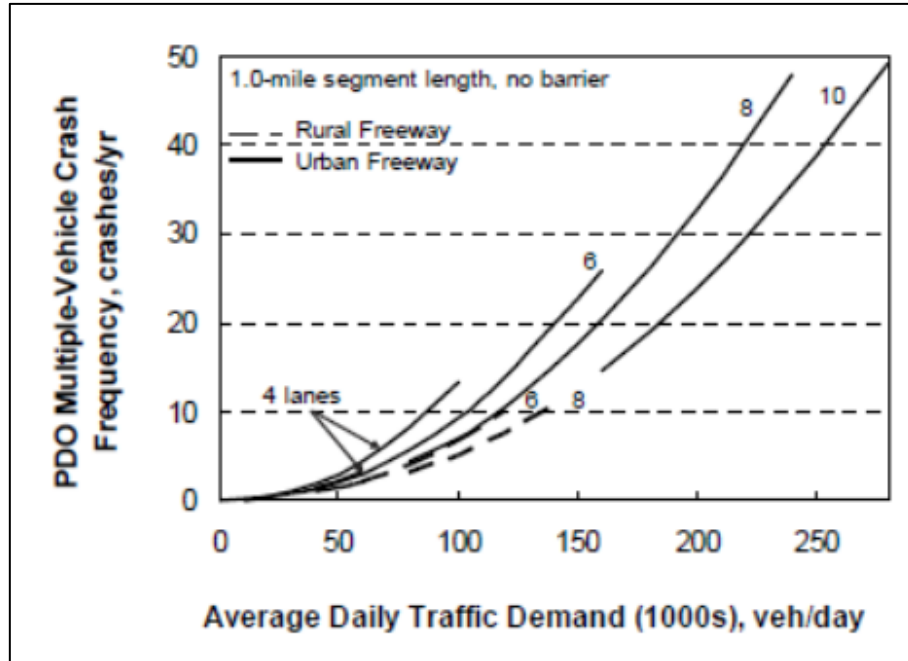
Ruch kołowy. Natężenie ruchu kołowego i struktura rodzajowa potoku (w szczególności udział ruchu pojazdów ciężarowych) oraz pojawianie się pieszych to główne czynniki ruchowe wpływające na liczbę wypadków na drogach szybkiego ruchu. Natężenie ruchu kołowego na bezpieczeństwo ruchu różny; w niektórych przypadkach liczba zdarzeń drogowych wzrasta wraz ze wzrostem natężenia ruchu, w innych przypadkach maleje. Zależy to od wielu czynników, jak geometria, otoczenie itd. [37, 54].

Struktura rodzajowa potoku, a przede wszystkim udział pojazdów ciężarowych, ma wpływ na bezpieczeństwo ruchu. W badaniach prowadzonych w Niemczech samochody ciężarowe stanowiły 22% pojazdów na dsr, a brały udział w 36% zdarzeń drogowych. Pojazdy te poruszają się na drs ze średnią prędkością około 25 km/h niższą niż samochody osobowe. Wskaźniki wypadków dla pojazdów jadących z prędkością większą lub mniejszą o 25 km/h od prędkości średniej potoku są nawet kilkakrotnie większe niż dla pojazdów jadących z prędkością równą lub zbliżoną do prędkości średniej potoku [33].

Geometria drogi. Najistotniejszymi czynnikami geometrycznymi wpływającymi na bezpieczeństwo ruchu na odcinkach międzywęzłowych i jezdniach głównych węzłów są: elementy przekroju poprzecznego, pochylenie podłużne jezdni, krzywizna łuków poziomych oraz widoczność.

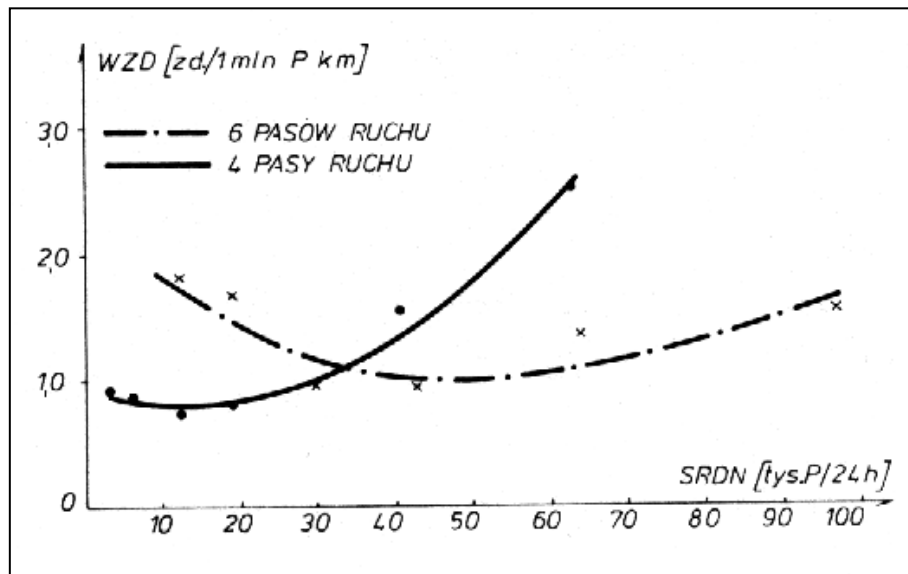
W przekroju poprzecznym drogi szybkiego ruchu istotnymi czynnikami wpływającymi na bezpieczeństwo ruchu są: liczba pasów ruchu, szerokość jezdni, szerokość utwardzonego pobocza (lub pasa awaryjnego), szerokość pasa dzielącego i odległość przeszkód bocznych.

Z badań prowadzonych na dsr w USA wynika, że wskaźniki zdarzeń drogowych na czteropasowych dsr są wyższe niż na dsr o większej liczbie pasów ruchu (rys. 2.6) [8]. Wyniki badań przedstawione na rysunku 2.7 wskazują, że w przypadku gdy średnioroczne dobowe natężenie ruchu $SRND > 30$ tys. P/24h drogi sześciopasowe (2/3) są bezpieczniejsze niż drogi czteropasowe (2/2) [11, 14]. Potwierdzają to także statystyki zdarzeń drogowych prowadzone dla dróg stanowych w stanie Kalifornia (rys. 2.8).



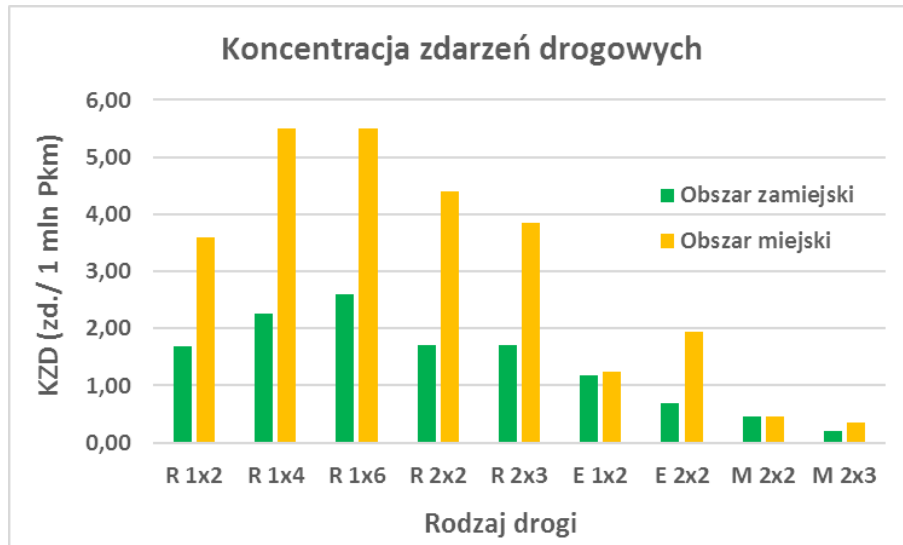
Rys. 2.6 Wykresy zależności wskaźnika częstości zdarzeń drogowych od natężenia ruchu i typu przekroju jezdni dsr w USA.

Źródło: [8]



Rys. 2.7 Wykresy zależności wskaźnika koncentracji (WZD) zdarzeń drogowych od natężenia ruchu i typu przekroju jezdni dsr.

Źródło: [11]

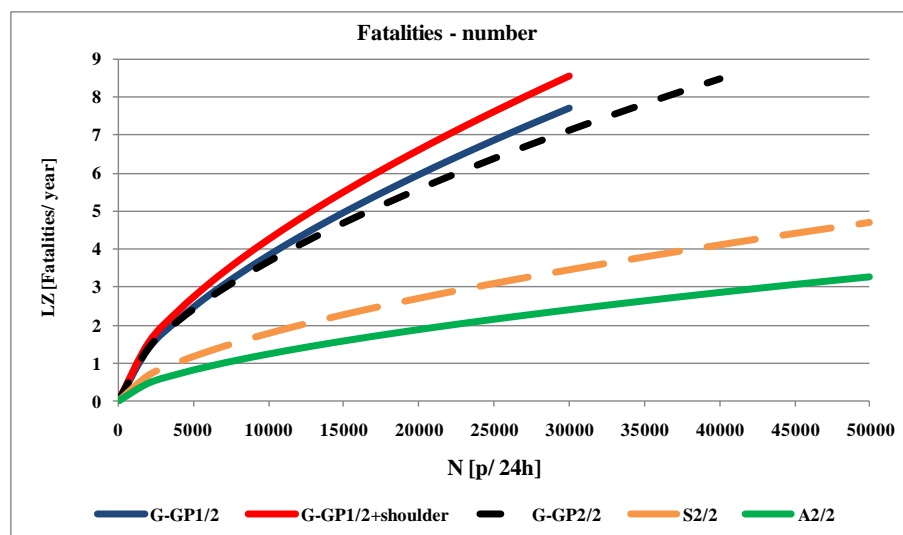


Rys. 2.8 Wykresy średnich wartości wskaźnika koncentracji (KZD) zdarzeń drogowych od typu przekroju jezdni dsr w Kalifornii.

Oznaczenia: R – drogi stanowe, E – drogi ekspresowe, M – autostrady.

Źródło: [11]

Także wyniki badań prowadzonych w ostatnim okresie w Polsce wskazują, że dwujezdniowe autostrady i drogi ekspresowe są znacznie bezpieczniejsze niż pozostałe drogi (rys. 2.9), a przekrój o trzech pasach ruchu w jednym kierunku jest bardziej bezpieczny niż przekrój dwupasowy [38].



Rys. 2.9 Wykresy liczby ofiar śmiertelnych LZ w zależności od natężenia ruchu N oraz klasy drogi i liczba pasów ruchu w Polsce.

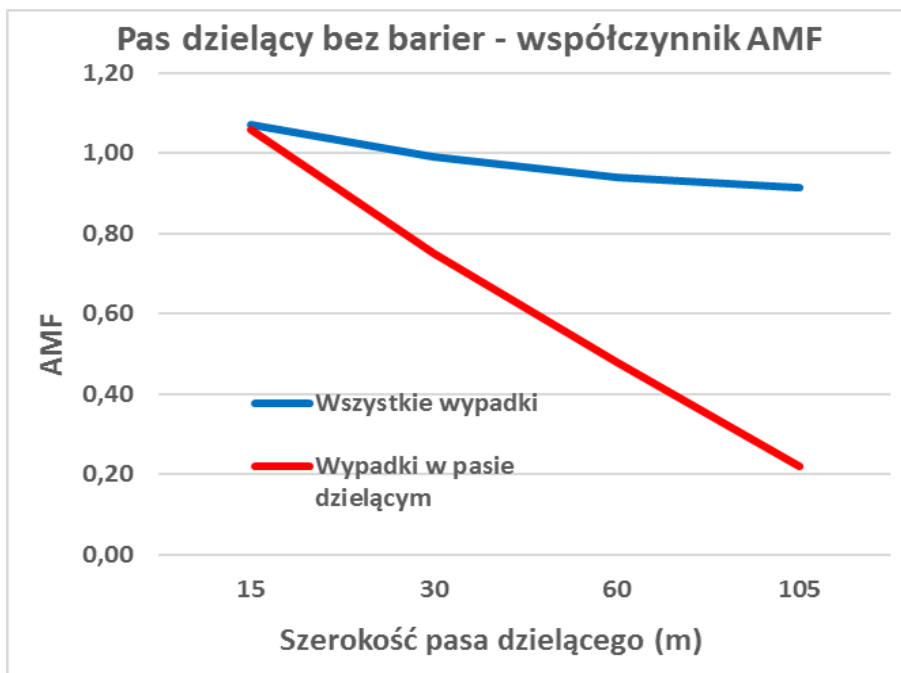
Oznaczenia: R – drogi stanowe, E – drogi ekspresowe, M – autostrady.

Źródło: [38]

Szerokość jezdni i szerokość pasa ruchu dsr wpływają także na bezpieczeństwo ruchu. Z badań wynika, że jezdnie dsr o szerokości $>7,0$ m są bezpieczniejsze niż jezdnie węższe [J-8]. Także szerokość pasa ruchu ma wpływ na bezpieczeństwo ruchu pojazdów wyprzedzanych i wyprzedzających; stwierdzono, że zmniejszenie szerokości pasów z 3,75 m do 3,50 i 3,25 m zwiększa udział kolizji związanych z błędami wyprzedzania.

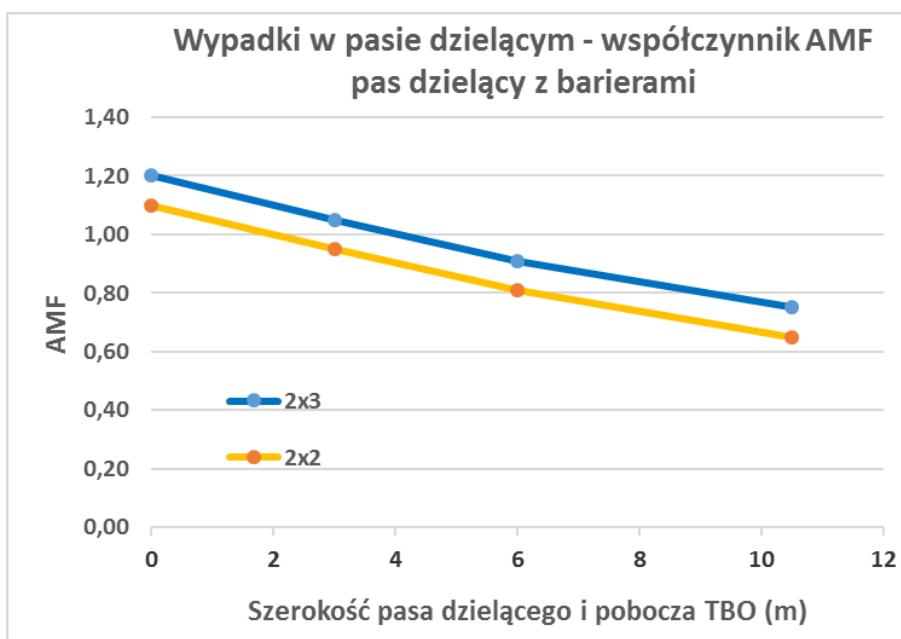
W przypadku zderzeń czołowych duże prędkości rozwijane na dsr powodują bardzo tragiczne skutki. Liczba wypadków tego rodzaju zależy w istotny sposób od szerokości pasa dzielącego jezdnie dsr – im większa szerokość pasa dzielącego, tym mniejszy udział zderzeń czołowych w ogólnej liczbie zdarzeń drogowych. W USA, w Kanadzie i coraz częściej w Europie do oceny ryzyka poszczególnych elementów drogi używa się współczynników modyfikujących funkcję bazową pod nazwą: *współczynnik modyfikacji zderzeń drogowych CMF (Crash Modification Factor)* oraz współczynnik modyfikacji wypadków drogowych *AMF (Accident Modification Factor)*. Współczynniki te wyrażają, ilokrotnie zwiększy się bądź zmniejszy się ryzyko zdarzenia drogowego w zależności od zmiany analizowanego parametru geometrii drogi. W przypadku wpływu pasa dzielącego jezdnie wartość liczbowa tych współczynników zależy od szerokości tego pasa, liczby pasów ruchu na jezdni oraz występowania barier drogowych [1]. Z wyników badań prowadzonych w USA wynika, że:

- szerokość pasa rozdzielającego przeciwne kierunki ruchu wpływa istotnie na zmniejszenie liczby wypadków ogółem, a zderzeń czołowych w szczególności (rys. 2.10, rys. 2.11),
- w przypadku braku barier drogowych w pasie dzielącym, pas dzielący jezdnie powinien być bardzo szeroki, aby wyeliminować wypadki zderzeń czołowych (rys. 2.10),
- w przypadku zastosowania drogowych barier ochronnych szerokość może być znacznie mniejsza (rys. 2.11), ale nie mniejsza niż 2,4 dla jezdni dwupasowych i 3,6 dla jezdni trzypasowych, w tym przypadku szerokość pasa rozdzielającego liczona jest między krawędziami lewych pasów ruchu TBO i składa się z pasa dzielącego i opaski, zmniejszenie pasa rozdziału z 6,0 m do 2,5 m może spowodować wzrost o 20 % liczby wypadków związanych z uderzeniem w barierę [1, 16].
- W obszarze węzłów drogowych i na odcinkach dojazdowych do węzłów występuje duża liczba obiektów drogowych i urządzeń (podpory, maszty oświetleniowe, maszty drogowskazowe itp.) usytuowanych często w bliskiej odległości od krawędzi jezdni, co powoduje dość znaczną liczbę kolizji z tymi obiektami. Na podstawie badań prowadzonych w USA [42] stwierdzono, że ok. 40% zdarzeń drogowych na jezdni głównej, na analizowanych węzłach, to najechania na urządzenia drogowe. Wynika to z faktu, że wielkość wskaźnika zdarzeń drogowych wzrasta wraz ze zmniejszeniem się odległości przeszkód bocznych od krawędzi jezdni (tablica 2.7).



Rys. 2.10 Wykresy zmian stosowanego w USA współczynnika modyfikującego liczbę wypadków AMF na dsr w zależności od szerokości pasa rozdzielającego jezdnie (bez barier).

Źródło: [1]



Rys. 2.11 Wykresy zmian stosowanego w USA współczynnika modyfikującego liczbę wypadków CMF na dsr w zależności od szerokości pasa rozdzielającego jezdnie (z barierami w środku) TB.

Źródło: [1]

Tablica 2.7

Zależność wskaźnika koncentracji zdarzeń drogowych KZD od odległości przeszkód bocznych od krawędzi jezdni

Odległości przeszkód bocznych LB	KZD
[m]	[zd./1 mln Pkm]
<0,30	1,00
0,30-1,50	0,58
>1,50	0,12

Źródło: [42]

Plan sytuacyjny i profil podłużny dsr to kolejna grupa czynników wpływających na bezpieczeństwo ruchu na jezdni głównej dsr. Z badań prowadzonych w Niemczech wynika, że łuki w planie sytuacyjnym o promieniach większych niż 500 m i pochylenia podłużne mniejsze od 7% są znacznie bezpieczniejsze niż inne.

Widoczność na łukach poziomych jest kolejnym czynnikiem wpływającym na bezpieczeństwo ruchu na dsr. Zastosowanie urządzeń drogowych na łukach poziomych (drogowych barier ochronnych, ekranów akustycznych) może powodować ograniczenie pola widoczności na zatrzymanie. Kierowca nie może polegać tylko na intuicji, ale musi widzieć z odpowiedniej odległości ewentualne przeszkody na drodze (unieruchomiony pojazd, roboty na drodze, zgubiony element transportu, plama oleju itd.), tak aby mógł je rozpoznać i odpowiednio wcześniej podjąć prawidłową decyzję o hamowaniu lub ominięciu przeszkody. Wymagana odległość widoczności na zatrzymanie wzrasta wraz ze wzrostem prędkości pojazdów. Jak widać na rysunku 2.12 ograniczenia te mogą być dość duże. W tym przypadku dla zapewnienia obszaru dobrej widoczności (rys. 2.13) konieczne jest poszerzenie pobocza lub pasa dzielącego jezdnie o dodatkową szerokość b (tabl. 2.8), która zależy od prędkości projektowej V_r i promienia łuku poziomego R_{min} i może wynosić od 3 do 13 m [13].

2.2.3 Koszty

Koszty są bardzo istotnym czynnikiem brany pod uwagę podczas podejmowania decyzji o budowie dróg wielojezdniowych i ich kształcie. Pod uwagę brane są koszty związane z budową i utrzymaniem drogi: koszty stałe (koszty inwestycyjne, koszty gruntów), koszty zmienne (wydatki na utrzymanie dróg) oraz koszty użytkowników drogi: koszty czasu podróży, koszty wypadków, koszty eksploatacyjne pojazdów, koszty środowiska. Oczekuje się, aby koszty te były jak najniższe. Z punktu widzenia przekroju poprzecznego na koszty budowy i utrzymania drogi wpływają:

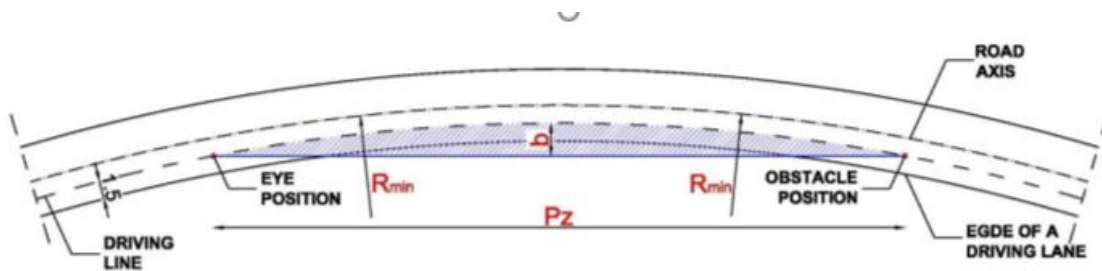
- zajęcie terenu pod drogę (wykup gruntu),
- liczba pasów ruchu, pobocza, pas dzielący, pasy dodatkowe,

- wyposażenie drogi (urządzenia bezpieczeństwa ruchu, odwodnienie, system zarządzania ruchem).



Rys. 2.12 Obszar widoczności na zatrzymanie ograniczony ekranem akustycznym na łuku poziomym.

Źródło: opracowanie własne



Rys. 2.13 Schemat obszaru wymaganej, dobrej widoczności na łuku poziomym.

Źródło: [13]

Tablica 2.8

Parametry do wyznaczania obszaru do wymaganej, dobrej widoczności na łuku poziomym

V_r [km/h]	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120
R_{min} [m]	25	45	75	120	175	250	350	450	600	750
P_z [m]	25	35	50	70	90	120	150	190	230	280
b [m]	2.9	3.6	4.3	5.1	6.0	7.1	8.3	9.9	11.3	13.3

Oznaczenia: V_r – prędkość projektowa, R_{min} – minimalna wielkość promienia łuku poziomego, przy założonej prędkości projektowej, P_z – cięciwa łuku wypukłego, dla łuku o długości widoczności na zatrzymanie, b – niezbędne odsunięcie przeszkody od osi pasa ruchu, po którym porusza się pojazd.

Źródło: [13]

Natomiast na koszty użytkownika drogi wpływają:

- poziom warunków ruchu, a przede wszystkim prędkość podróży,
- liczba i szerokość pasów ruchu, utwardzone pobocza, dodatkowe pasy ruchu na wzniesieniach,
- pas dzielący przeciwne kierunki ruchu,
- informacja drogowa i system zarządzania ruchem,
- organizacja robót drogowych.

Oddzielnym zagadnieniem wpływającym na koszty jest sposób poszerzania jezdni. Dyskutowane są różne sposoby poszerzania: symetryczne (poprzez pozostawienie poszerzonego pasa dzielącego) albo dokupienie dodatkowych gruntów na zewnątrz w czasie kiedy nastąpi taka potrzeba, asymetryczne przez budowę dodatkowych jezdni. Każdy ze sposobów ma wady i zalety, ale najczęściej stosowany jest sposób symetrycznego poszerzania jezdni do wewnątrz, korzystając z rezerwy terenu pozostawionej w pasie dzielącym. Chociaż pojawiają się głosy, że autostrady, jako najważniejsze drogi, powinny być budowane w przekroju docelowym.

Koszty poszerzania dróg o dodatkowe pasy ruchu są także przedmiotem badań. Koszty te zależą od:

- rodzaju poszerzenia,
- liczby pasów ruchu przed i po przebudowie,
- długości odcinka drogi z poszerzonym przekrojem,
- rodzaju nawierzchni,
- obszaru, przez który prowadzi analizowana droga.

Tablica 2.9 przedstawia przykładowe koszty poszerzenia autostrady w USA w zależności od użytej nawierzchni i obszaru, przez który przebiega droga. Z zestawienia tego wynika, że koszty budowy drogi w obszarze miejskim są znacznie wyższe niż w obszarze zamiejskim.

Tablica 2.9

Zestawienie kosztów poszerzenia autostrady w USA w zależności od użytej nawierzchni i obszaru, przez który przebiega droga

Obszar	Nawierzchnia	Koszt budowy 1 pasa ruchu (mln USD/km)
Miejski	Asfaltowa	8,855
	Betonowa	10,509
Zamiejski	Asfaltowa	3,391
	Betonowa	3,814

Źródło: [5]

Tablica 2.10 przedstawia przykładowe koszty budowy dróg wielojezdniowych w Wielkiej Brytanii. Z analizy zebranych danych wynika, że koszty budowy dróg na obszarach miejskich są znacznie większe niż na obszarach zamiejskich. Koszty budowy autostrad są dwukrotnie

wyższe niż koszty budowy pozostałych dróg wielojezdniowych. Natomiast uwagę zwraca fakt, że prawidłowe utrzymanie dróg w ciągu cyklu życia pochłania także duże sumy pieniędzy. Zdyskontowane koszty utrzymania w ciągu 100-letniego okresu stanowią dziesięciokrotną wartość kosztów budowy drogi. Ta analiza wskazuje, że rozbudowa infrastruktury drogowej i powiększanie jej majątku, stanowi duże wyzwanie dla następnych pokoleń, które będą musiały zapewnić duże środki na jej prawidłowe i efektywne wykorzystanie. Wskazuje to na konieczność racjonalnego wyboru rodzaju planowanej drogi.

Tablica 2.10

Zestawienie kosztów budowy dróg wielojezdniowych w Wielkiej Brytanii

Rodzaj drogi			Koszty budowy	Koszty budowy i wykupu gruntu	Koszty budowy i wykupu gruntu i 100-letniego utrzymania
Autostrady	Obszar zamiejski	2/2	1,2	7,2	72,2
		2/3	1,6	9,6	95,1
	Obszar miejski	2/4	3,1	25,1	179,8
Pozostałe drogi	Obszar zamiejski	2/2	0,6	3,3	48,9
		2/3	0,8	3,8	54,2
	Obszar miejski	2/2	1,2	4,8	75,1
		2/3	1,5	8,8	86,8

Źródło: [4]

2.3 Charakterystyka standardów technicznych dotyczących dróg wielopasowych w wybranych krajach

Niniejsza analiza dotyczy charakterystyki przepisów technicznych (wytyczne, zalecenia, instrukcje projektowania) dotyczących wymagań w zakresie poszerzania jezdni o dodatkowe pasy ruchu w wybranych krajach Unii Europejskiej (np. Niemcy, Wlk. Brytania) i poza Europą (np. Australia, USA lub Kanada).

2.3.1 Niemcy

Podstawą analizy niemieckich przepisów są wytyczne „*Richtlinien für die Anlage von Autobahnen – RAA*” wydane w 2008 roku w języku angielskim pt. „*Guidelines for the Design of Motorways*” [53]. Dokument zawiera techniczne wymagania w zakresie projektowania autostrad formalnie zatwierdzone do stosowania jako wytyczne. Należy w tym miejscu zauważyć, że możliwe jest stosowanie rozwiązań innych niż wskazane w wytycznych (RAA). W określeniu „autostrady” używanym w RAA mieszają się zarówno drogi oznakowane jako

autostrady, jak również drogi dwujezdniowe będące odpowiednikiem polskich dróg ekspresowych oraz miejskie odcinki autostrad o zredukowanych wymaganiach technicznych.

W Niemczech wyróżnia się pięć podstawowych kategorii dróg:

- autostrady (ang. motorways),
- drogi główne w obszarach zabudowanych i niezabudowanych (ang. trunk Roads),
- pozostałe drogi poza obszarami zabudowanymi (ang. rural roads),
- drogi lokalne (ang. Local roads).

Z uwagi na zakres obsługi transportowej wyróżnia się sześć funkcji dróg opisujących połączenia:

- w skali kontynentalnej (transeuropejska sieć transportowa TEN-T),
- o charakterze subkontynentalnym,
- ponadregionalne,
- regionalne,
- subregionalne (o bliskim zasięgu),
- lokalne.

Autostrady, należące do kategorii AS 0 i AS I, są drogami, na których odbywa się ruch o zasięgu krajowym oraz europejskim. Przebiegają one zarówno przez obszary zurbanizowane, jak i poza tymi obszarami. Natomiast autostrady należące do kategorii AS II pełnią funkcję tras łączących regiony bądź większe ośrodki miejskie, tzw. autostrady międzyregionalne. Na podstawie informacji o lokalizacji drogi w stosunku do obszarów zabudowanych i charakteru drogi można autostradom przydzielić klasę projektową (tablica 2.11).

Tablica 2.11

Klasy projektowe dla kategorii Autostrad w Niemczech

Kategoria drogi	AS 0/AS I		AS II		
	Zabudowany (zurbanizowany) lub niezabudowany		Zabudowany (zurbanizowany) lub niezabudowany	Niezabudowany	Zabudowany
Obszar.	Zabudowany (zurbanizowany) lub niezabudowany		Zabudowany (zurbanizowany) lub niezabudowany	Niezabudowany	Zabudowany
Przeznaczenie	Autostrady w skali kontynentalnej i subkontynentalnej (dalekie połączenia)	Drogi „o cechach” autostrad (ekspresowe)	Autostrady ponadregionalne	Drogi „o cechach” autostrad (ekspresowe)	Autostrady miejskie
Klasa projektowa	EKA 1A	EKA 2	EKA 1B	EKA 2	EKA 3

Źródło: [53]

W zależności od przyjętej kategorii drogi zostały wyróżnione 3 klasy projektowe:

- EKA 1 – autostrada o zasięgu krajowym, europejskim (*Long Distance Motorway*),

- EKA 2 – drogi o cechach autostrad niestanowiące podstawowej sieci autostrad (dróg federalnych) (*Motorway Like Road*),
- EKA 3 – autostrada w obszarze zurbanizowanym/zabudowanym, tzw. autostrada miejska (*Urban Motorway*).

Klasa projektowa EKA 1 została dodatkowo podzielona na 2 podtypy – EKA 1A oraz EKA 1B. Drogi pierwszego typu obsługują połączenia na dalsze odległości, odbywający się po nich ruch ma zasięg krajowy i europejski, natomiast na drogach typu 1B występuje ruch o zasięgu międzyregionalnym. Autostrady klasy EKA 1 są zaprojektowane w ten sposób, że nie zakłada się limitów prędkości. Wyznaczono jedynie prędkość rekomendowaną jako 130 km/h. Autostrady drugiego z wymienionych podtypów to połączenia na średnich oraz krótszych dystansach. Występują na nich ograniczenia prędkości, a co za tym idzie – stosowane są niższe wymagania techniczne niż w przypadku EKA 1A.

Autostrady typu EKA 2 są wykorzystywane do obsługi ruchu na krótkich lub średnich dystansach międzymiastowych, natomiast autostrady EKA 3 to tzw. autostrady miejskie – arterie szybkiego ruchu w obszarach zurbanizowanych. Z uwagi na przebieg wewnątrz terenów miejskich oraz konieczność krzyżowania się z innymi trasami, wprowadza się na nich ograniczenia dopuszczalnej prędkości. Szczegółowe dane o przyjmowanych wartościach prędkości do obliczeń parametrów projektowych w poszczególnych klasach autostrad przedstawia tablica 2.12.

Tablica 2.12

Wytyczne dotyczące projektowania poszczególnych klas autostrad w Niemczech

Klasa projektowa	EKA 1 A	EKA 1 B	EKA 2	EKA 3
Przeznaczenie	Długodystansowa autostrada	Międzyregionalna autostrada	Drogi o cechach autostrad	Miejska autostrada
Prędkość „wymiarowania” [km/h]	130 km/h	120 km/h	100 km/h	80 km/h
Ograniczenia prędkości	Brak	Brak	Brak	≤ 100 km/h
Rekomendowana odległość pomiędzy węzłami	>8000 m	>5000 m	>5000 m	Brak

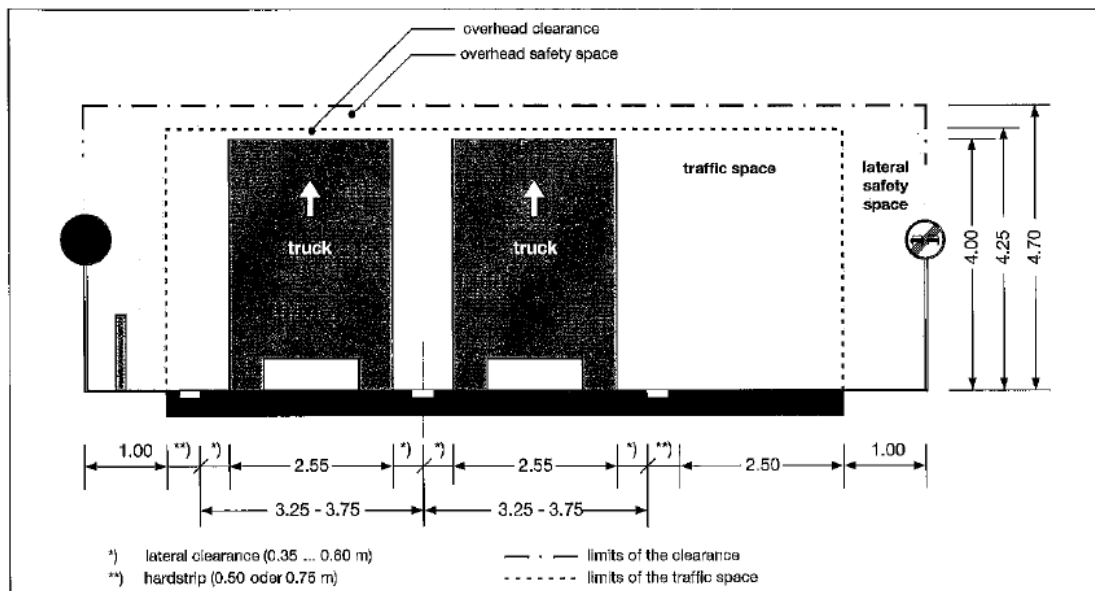
Źródło: [53]

Podstawowe wymagania dotyczące wyznaczania wymiarów skrajni dla autostrad i tras szybkiego ruchu w warunkach niemieckich:

- Boczny pas bezpieczeństwa (ang. lateral safety space) – standardowy wymiar wynosi 1,0 m. Jeżeli jednak autostrada nie posiada pasa awaryjnego, zaleca się projektowanie tej przestrzeni o wymiarach 1,25 m.

- Skrajnia pionowa – w przypadku autostrad powinna wynosić min. 4,7 m. Zaleca się jednak dodanie dodatkowych 0,2 m zapasu, na wypadek naprawy lub wzmocnienia nawierzchni.
- Skrajnia pozioma – w zależności od wybranego typu przekroju poprzecznego drogi, powinna wynosić w przypadku autostrad co najmniej 13,9 m.
- Szerokość pasa ruchu – powinna wynosić od 3,25 do 3,75 m,
- Szerokość pasa dzielącego – standardowa szerokość wynosi 4,0 m. Może być ona zmniejszona w przypadku autostrad klasy projektowej EKA 3 do 2,5 m,
- Szerokość pasa awaryjnego – nie mniej niż 2,5 m, możliwe zmniejszenie w przypadku autostrad klasy projektowej EKA 3 do 2,0 m
- Szerokość opaski – powinna wynosić przynajmniej 0,5 m, w przypadku autostrad klasy projektowej EKA 1 szerokość opaski przy pasie dzielącym wynosi 0,75 m

Przykładowy schemat skrajni stosowanej dla autostrad przedstawia rysunek 2.14.



Rys. 2.14 Podstawowe wymiary dla przekroju autostrady w Niemczech.

Źródło: [53]

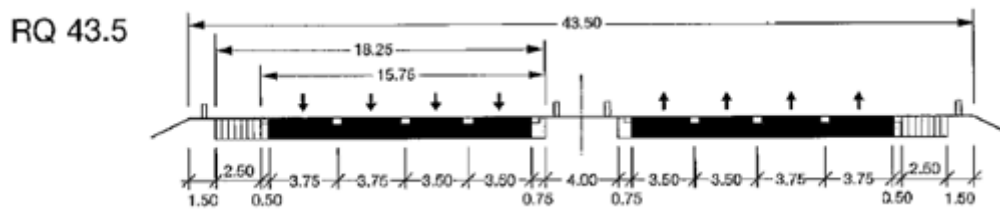
Analizowane wytyczne (RAA) określają parametry przekrojów poprzecznych wszystkich typów autostrad. Poniżej opisano ich cechy.

Przekrój EKA 1. W przypadku autostrad EKA 1 dopuszcza się 3 typy przekroju poprzecznego:

- RQ 43,5 – przekrój o szerokości 43,5 m, z ośmioma pasami ruchu (rys. 2.15),
- RQ 36 – przekrój o szerokości 36 m, z sześcioma pasami ruchu (rys. 2.16),
- RQ 31 – przekrój o szerokości 31 m, z czterema pasami ruchu (rys. 2.17).

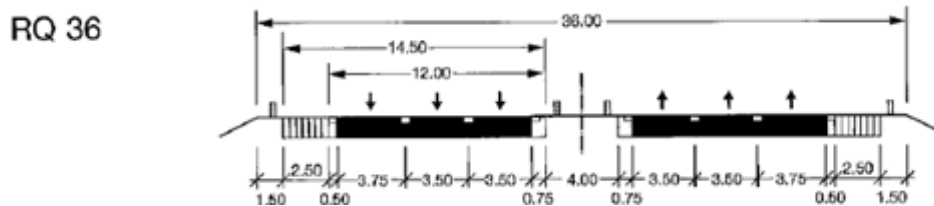
Klasa EKA 1 to najszersze możliwe przekroje poprzeczne. Szerokości stosowanych pasów ruchu uzależnione są od charakteru ruchu. Dla pojazdów ciężkich dedykowane są

pasów, których szerokość wynosi 3,75 m – stosuje się je w przypadku skrajnych pasów ruchu po prawej stronie jezdni. W przypadku przykładowego przekroju ośmiopasowego RQ 43,5 m, występują 2 pasy ruchu o szerokości 3,75 m oraz 2 pasy o szerokości 3,5 m. W przypadku przekroju o 6 pasach ruchu, jedynie zewnętrzny pojedynczy pas powinien mieć szerokość 3,75 m. Wyjątkiem jest jednak przekrój RQ 31, gdzie występują 2 pasy ruchu w każdym kierunku i zarówno pas lewy, jak i prawy mają szerokość 3,75 m. Szerokość pasa awaryjnego w omawianej klasie wynosi 2,5 m, wyjątkowo w przekroju RQ 31 – 3,0 m. Szerokość pasa dzielącego (bez opasek prowadzących) wynosi we wszystkich przypadkach 4,0 m.



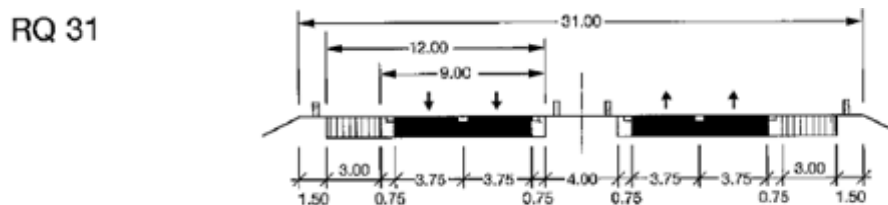
Rys. 2.15 Przekrój poprzeczny o szerokości 43,5 m klasy EKA 1

Źródło: [53]



Rys. 2.16 Przekrój poprzeczny o szerokości 36 m klasy EKA 1

Źródło: [53]

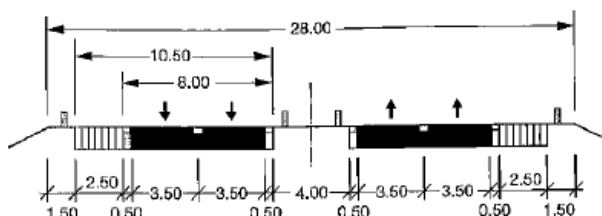


Rys. 2.17 Przekrój poprzeczny o szerokości 31 m klasy EKA 1.

Źródło: [53]

Przekrój EKA 2. W klasie projektowej EKA 2 występuje tylko jeden przekrój poprzeczny – jego szerokość całkowita wynosi 28 m. Składają się na nią 4 pasy ruchu po 3,5 m każdy, pas dzielący o szerokości 4,0 m, pasy awaryjne po 2,5 m, opaski o szerokości 0,5 m oraz pobocza ziemne o szer. 1,5 m. Schemat przekroju RQ 28 przedstawiono na rysunku 2.18.

RQ 28

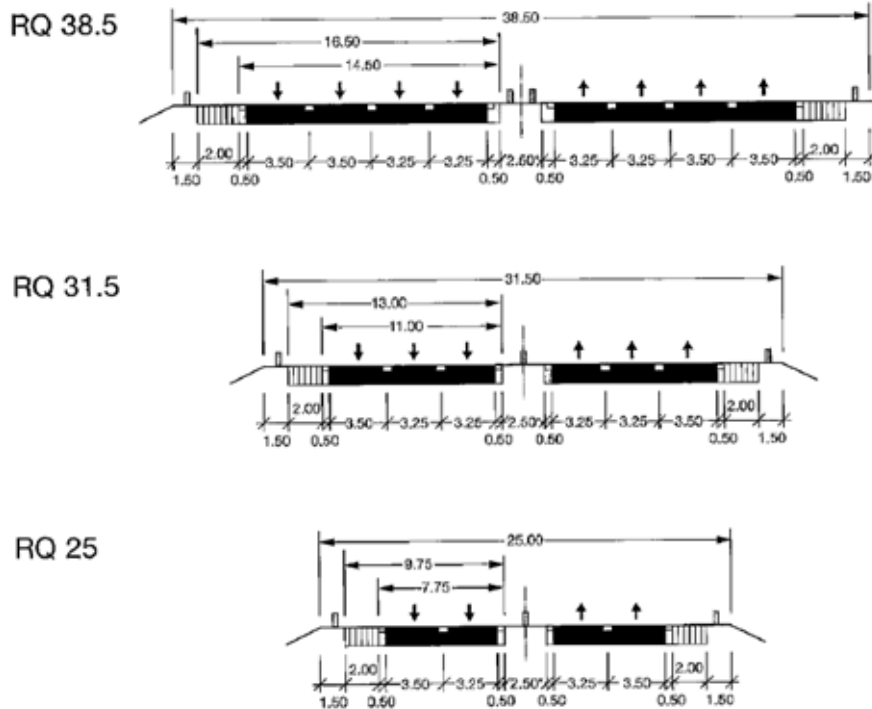


Rys. 2.18 Przekrój poprzeczny o szerokości 28 m klasy projektowej EKA 2.

Źródło: [53]

Przekrój EKA 3. Klasa projektowa EKA 3 posiada, podobnie jak klasa EKA 1 trzy typy przekrojów poprzecznych. Najszerszy z nich – RQ 38,5 posiada 4 pasy ruchu w jednym kierunku, z czego dwa zewnętrzne mają szerokość po 3,5 m, a dwa wewnętrzne po 3,25 m. Stosuje się także pas dzielący o szerokości 2,5 m, opaski zewnętrzne i wewnętrzne po 0,5 m oraz pas awaryjny o szerokości 2 m i pobocze o szerokości 1,5 m. Węższy, 3 pasowy przekrój ma 31,5 m szerokości. Jego zewnętrzny pas ma szerokość 3,5 m, a dwa wewnętrzne po 3,25 m. Pas dzielący ma szerokość 2,5 m. Pozostałe elementy (opaski, pas awaryjny, pobocza) są takie same jak w przekroju RQ 38,5. Najwęższy z przekrojów – 2-pasowy, ma szerokość 25 m. Zewnętrzny pas ruchu ma szerokość 3,5 m, a wewnętrzny 3,25 m.

Wszystkie przekroje poprzeczne są zaprojektowane w taki sposób, aby w pasie dzielącym znajdowała się bariera energochłonna. Schemat przekrojów EKA-3 przedstawiono na rysunku 2.19.

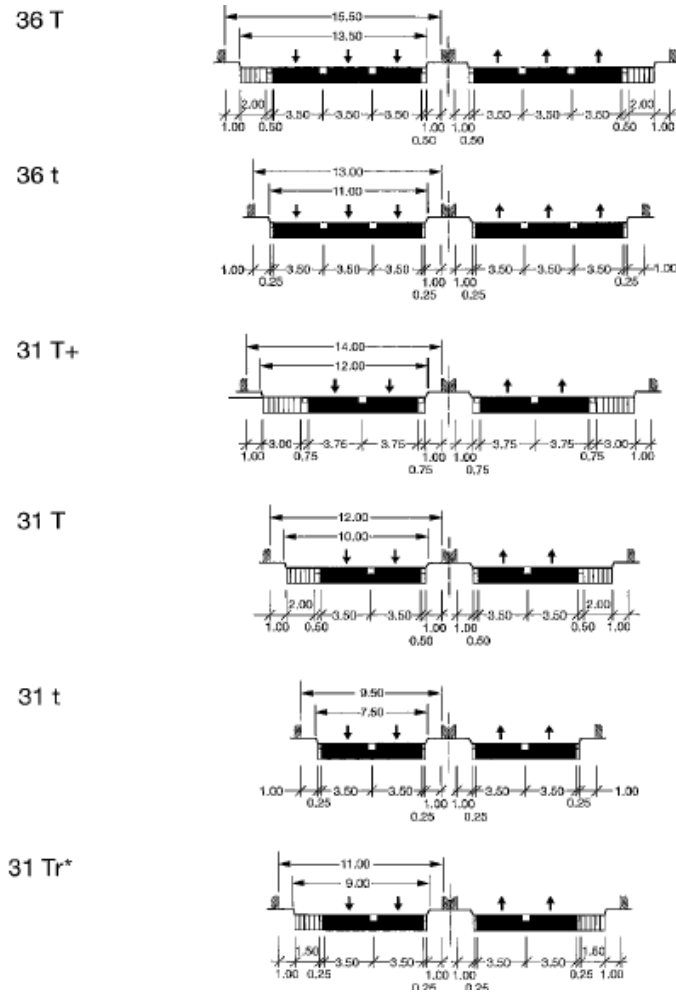


Rys. 2.19 Przekroje poprzeczne autostrady o klasie projektowej EKA 3 o szerokości
(od góry) 38,5 m, 31,5 m i 25 m

Źródło: [53]

Z uwagi na fakt, że budowa autostrad w tunelach jest o wiele bardziej kosztowna, ustalono dla nich odrębne standardy dotyczące projektowania przekrojów. Rysunek 2.20 przedstawia 5 typów przekrojów autostrad budowanych w tunelach.

Przekroje zostały zaprojektowane w oparciu o normę „*Verfahren für die Auswahl von Strassenquerschnitten in Tunneln, BMV ARS 6/2000*” dotyczącą projektowania infrastruktury drogowej w tunelach. Przekroje standardowe, które nie zawierają utwardzonych poboczy, zostały oznaczone symbolem „t”, natomiast te, które zawierają utwardzone pobocza – symbolem „T”. Te drugie powinny być stosowane w przypadku natężeń ruchu ok. 50 tys. P/dobę (w obu kierunkach) na 4 pasach (2/2) oraz w przypadku natężenia powyżej 110 tys. P/dobę na jezdni 6-pasowej (2/3). Na przekrojach stosuje się jednakową szerokość pasów ruchu po 3,5 m. Wyjątkiem jest przekrój 31 T+, gdzie stosuje się szerokość pasów ruchu po 3,75 m (rys. 2.20).

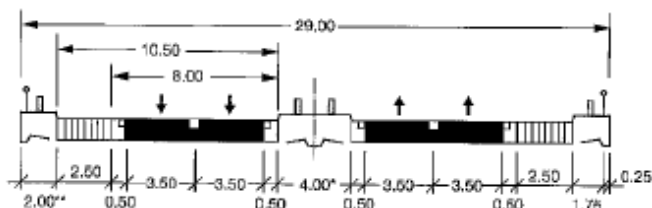


Rys. 2.20 Przekroje poprzeczne stosowane w tunelach na autostradach w Niemczech.

Źródło: [53]

Odrębne wymagania obowiązują w odniesieniu do przekroju autostrad prowadzonych na wiaduktach/mostach, co pokazują rysunki 2.21 - 2.22.

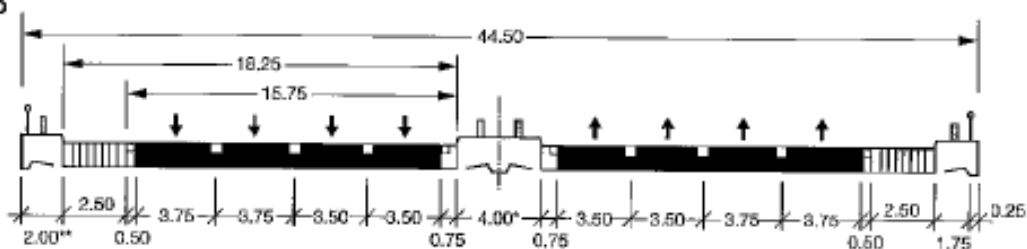
RQ 28 B



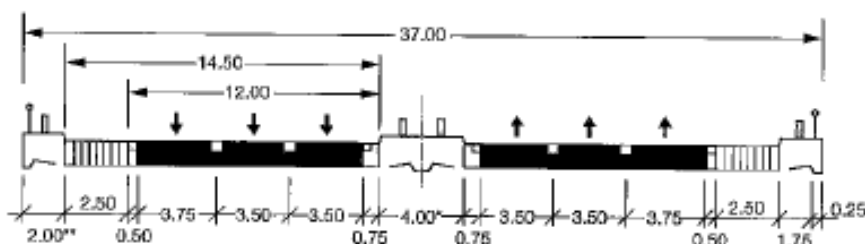
Rys. 2.21 Przekrój poprzeczny autostrady o szerokości 28 m stosowany na moście.

Źródło: [53]

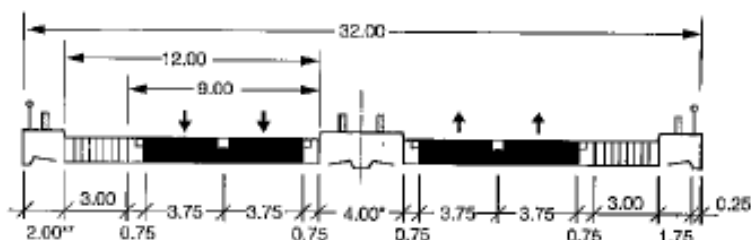
RQ 43.5 B



RQ 36 B



RQ 31 B



Rys. 2.22 Przekroje poprzeczne autostrady na mostach o szerokości (od góry) 44,5 m, 37 m i 32 m.

Źródło: [53]

Na rysunku 2.23 przedstawiono widok autostrady dwujezdniowej, czteropasowej w każdym kierunku w Niemczech



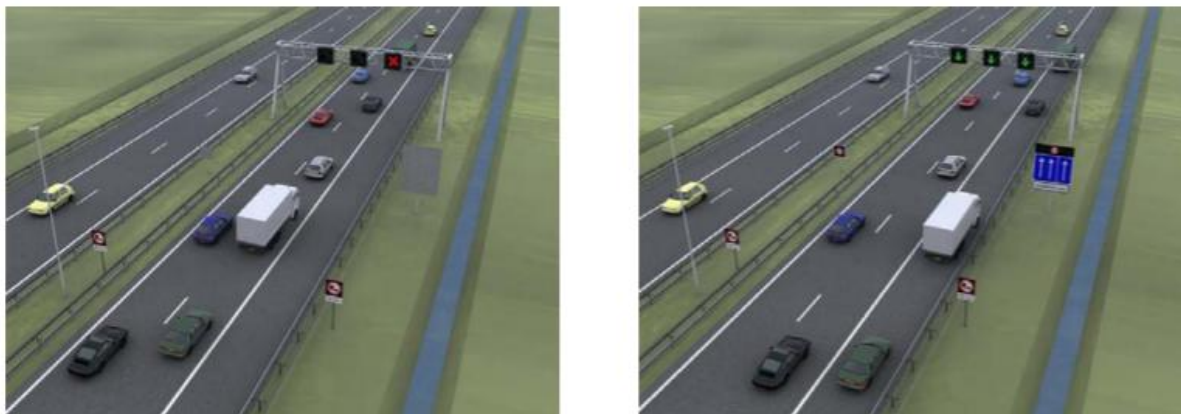
Rys. 2.23 Widok przekroju zamiejsciej autostrady czteropasowej, dwujezdniowej w Niemczech.

Źródło: https://en.wikipedia.org/wiki/Controlled-access_highway#/media/File:Garching_Bundesautobahn_9.jpg

W wielu krajach (Niemcy, Holandia, Francja, Szwecja, Wielka Brytania i USA) badany jest także wpływ przekroju autostrad z czasowym zwiększeniem liczby pasów ruchu (np. w godzinach ruchu szczytowego) z wykorzystaniem pasa awaryjnego lub utwardzonego pobocza (rys. 2.24) na warunki ruchu, bezpieczeństwo ruchu, otoczenie. W 1996 roku uruchomiono w Niemczech pierwszy projekt pilotażowy z dynamicznym wykorzystaniem utwardzonego pobocza na odcinku autostrady A4 w pobliżu Kolonii [39]. Na podstawie doświadczeń zebranych w tym projekcie przez Instytut BASt, przygotowano zalecenia dotyczące możliwości stosowania tego rodzaju rozwiązań (weszły w życie w 2002 roku), które zawierały następujące ustalenia:

- dynamiczne zwiększanie liczby pasów ruchu odbywa się za pomocą stosowania znaków zmiennej treści,
- rozwiązanie to można stosować, w przypadku gdy zapewni ono osiągnięcie warunków ruchu na poziomie co najmniej D,
- w przypadku ruchu pojazdów ciężarowych pasy te powinny mieć szerokość co najmniej 3,50 m oraz zapewnioną nośność, w pozostałych przypadkach szerokość pasa może wynosić 3,25 m,
- dopuszczalna prędkość powinna być nie większa niż 100 km/h, podniesienie prędkości do 120 km/h jest możliwe pod warunkiem zapewnienia dodatkowo pobocza o szerokości nie mniejszej niż 2,5 m,
- nie mniej niż co 1000 m powinny być wykonane zatoki do awaryjnego postoju,

- w przypadku gdy te dodatkowe pasy przebiegają przez węzły, muszą być one wykonane jako dodatkowe pasy ruchu ze względu na pasy wyłączenia i włączenia, które budowane były w ramach utwardzonego pobocza.



Rys. 2.24 Przykład czasowego wykorzystania utwardzonego pobocza w systemie dynamicznej zmiany liczby pasów ruchu w przekroju poprzecznym autostrady w Holandii.

Źródło: [26]



Rys. 2.25 Przykład czasowego wykorzystania utwardzonego pobocza w systemie dynamicznej zmiany liczby pasów ruchu w przekroju poprzecznym autostrady w Niemczech.

Źródło: [39]

Obecnie system dynamicznej zmiany liczby pasów ruchu w przekroju poprzecznym autostrady zastosowano na 10 autostradach w Niemczech, na odcinkach jezdni o długości łącznej ponad 200 km [39, 40]. Wnioski z obserwacji prowadzonych na tych odcinkach są takie, że zastosowanie systemu dynamicznej zmiany liczby pasów ruchu na przeciążonych autostradach:

- przyczynia się do zwiększenia przepustowości jezdni dwupasowych o ok. 30 %, a jezdni trzypasowych o 22 – 27 %,
- nie przyczynia się do istotnej poprawy bezpieczeństwa, prowadzone badania wskazują, że na niektórych odcinkach wzrósł nieznacznie poziom zagrożenia a na innych zmniejszył się, zależne to jest od warunków lokalnych (np. odcinek drogi trudny do wprowadzenia dodatkowych elementów brd, skomplikowane warunki terenowe), dlatego istotnym zagadnieniem jest dokładna analiza bezpieczeństwa ruchu i zagrożeń przed podjęciem decyzji o zastosowaniu tego systemu na analizowanym odcinku drogi.

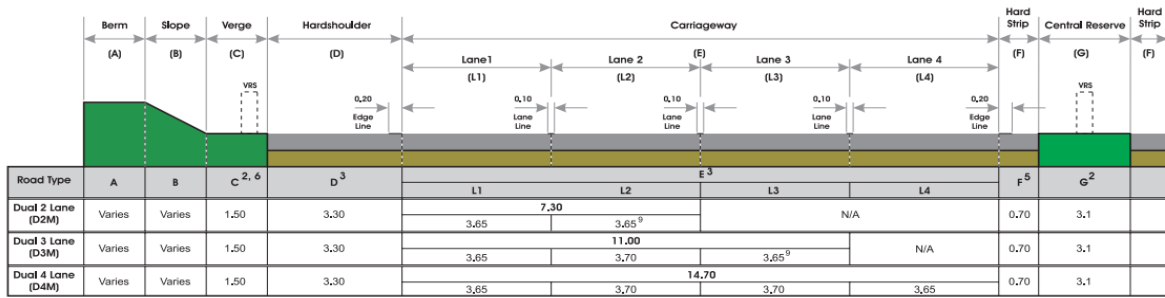
Wyniki przeprowadzonych badań [39] wskazują ponadto, że zastosowanie systemu dynamicznego przydziału liczby pasów ruchu może być stosowane jako środek zarządzania siecią drogową dla krótkich okresów działania, a decyzje powinny być podejmowane na bazie szerokich analiz opartych na rzetelnych prognozach krótkoterminowych.

2.3.2 Wielka Brytania

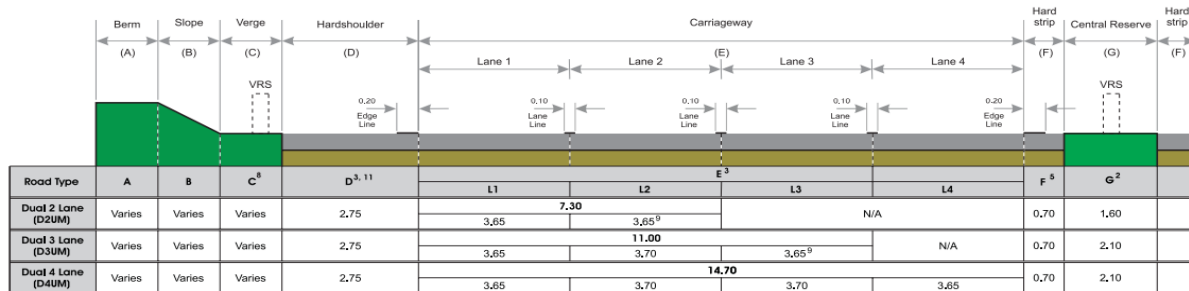
Poniżej przedstawione informacje pochodzą z dokumentu Design Manual For Roads And Bridges [31], który został opublikowany w 1992 roku w Anglii i Walii, a później także w Szkocji i Północnej Irlandii. Zawiera on standardy, porady i odwołania do innych dokumentów związanych z projektowaniem dróg, w tym autostrad i dróg szybkiego ruchu. Dokument składa się z 15 rozdziałów. Rozdział 6 dotyczy projektowania geometrii drogi i w można tam znaleźć fragmenty dotyczące projektowania przekroju poprzecznego drogi.

Drogi wielopasowe w Wielkiej Brytanii dzieli się zasadniczo na dwa rodzaje – zamiejskie i miejskie. Wśród nich wyróżniamy autostrady, drogi główne i drogi zbiorcze. Rysunek 2.26 przedstawia podstawowe przekroje poprzeczne stosowane w Wielkiej Brytanii przy budowie dróg wielopasowych. Pokazano na nim minimalne wartości poszczególnych elementów w przekroju poprzecznym (uwaga: wymiary na rysunkach podano w metrach, należy także zwrócić uwagę na fakt, że w Wielkiej Brytanii obowiązuje ruch lewostronny).

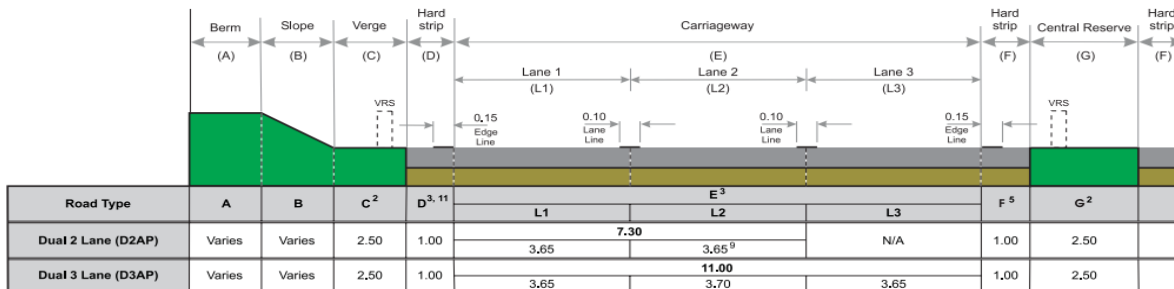
a)



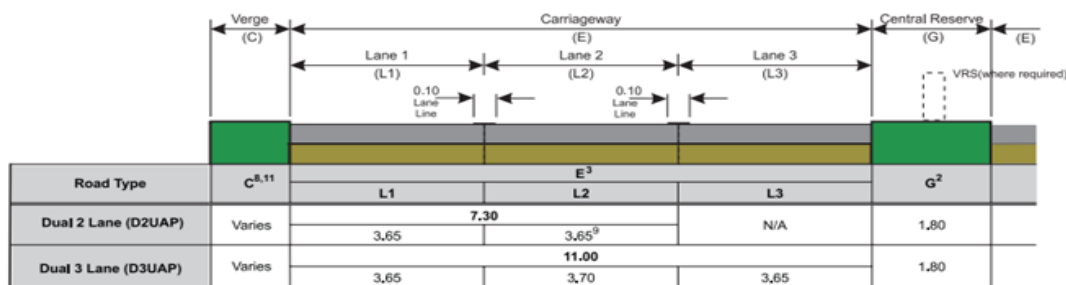
b)



c)



d)

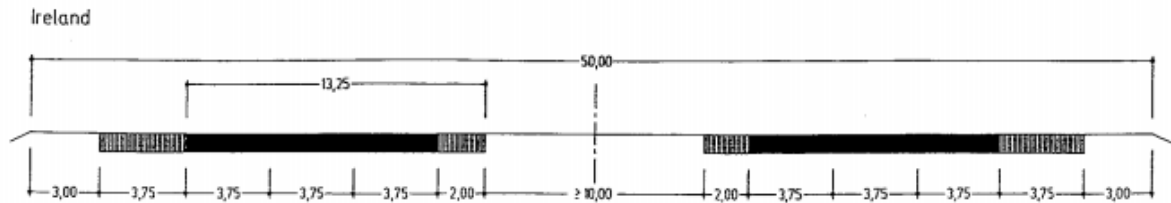


Rys. 2.26 Przekrój poprzeczny dróg wielojazdniowych w Wielkiej Brytanii: a) zamiejsciej autostrady, b) miejskiej autostrady, c) drogi głównej o podniesionej prędkości poza obszarem zabudowanym, d) drogi głównej o podniesionej prędkości w obszarze zabudowanym.

Źródło: [31]

2.3.3 Pozostałe kraje europejskie

Irlandia. Poniżej przedstawiono podstawowe przekroje stosowane na autostradach 6-pasowych w krajach europejskich. Najszersze przekroje stosuje się w Irlandii (rys. 2.27) – mają one szerokość ok. 50 m. Wartość ta wynika z zastosowania w przekroju jednego z najszerszych pasów dzielących z rezerwą min. 10 m. Pasy ruchu mają szerokość po 3,75 m. Pasy awaryjne mają szerokość 3,75 m i jest to również jedna z największych szerokości stosowanych w projektowaniu autostrad w Europie (pomiędzy jezdnią a pasem awaryjnym nie występuje opaska, tak jak ma to miejsce w Niemczech).

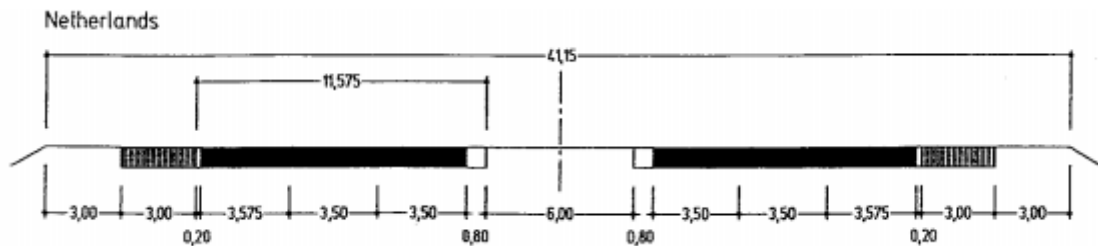


Rys. 2.27 Typowy przekrój poprzeczny autostrady w Irlandii.

Źródło: [62]

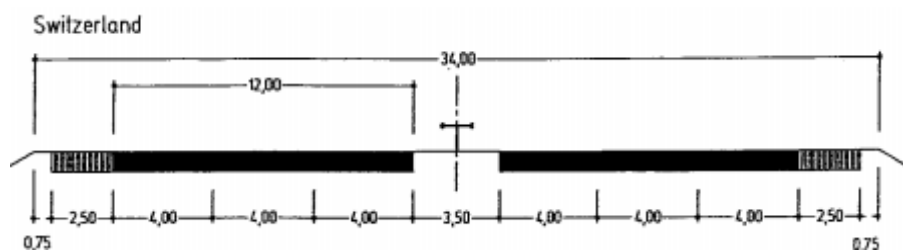
Standardowe przekroje stosowane w Holandii (rys. 2.28) posiadają szerokość 41,15 m. Pas dzielący ma szerokość 6,0 m, pasy ruchu – zewnętrzne 3,75 m, wewnętrzne – 3,5 m.

Węższe przekroje projektuje się w Szwajcarii (rys. 2.29) oraz we Francji (rys. 2.30). Stosuje się tam znacznie węższe pasy dzielące (3,5 m w Szwajcarii, 3,0 m we Francji), wykluczające jakiegokolwiek rezerwy, oraz węższe pasy awaryjne (2,5 m w Szwajcarii, i 3,0 m we Francji). W Szwajcarii projektuje się jednak szersze pasy ruchu – mają one bowiem aż 4,0 m.



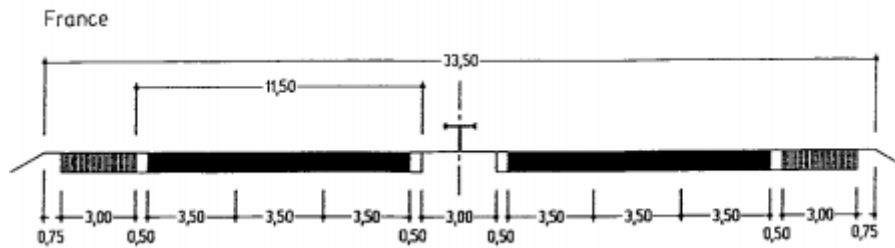
Rys. 2.28 Typowy przekrój poprzeczny autostrady w Holandii.

Źródło: [62]



Rys. 2.29 Typowy przekrój poprzeczny autostrady w Szwajcarii.

Źródło: [62]



Rys. 2.30 Typowy przekrój poprzeczny autostrady we Francji.

Źródło: [62]

2.3.4 Stany Zjednoczone

Przykład amerykański analizowano na podstawie dokumentu „*Policy on Geometric Design of Highways and Streets with 2013 Errata*” [2], potocznie nazywanego zieloną księgą. Jest to dokument z 2011 roku (z poprawkami naniesionymi w 2013), który zawiera aktualne wyniki badań, wytyczne i praktyczne zalecenia dotyczące projektowania geometrii dróg. Dokument ten ma formę przewodnika dla inżynierów i projektantów. W analizie dokumentu skupiono się na drogach określanymi jako „Highway” odpowiadających polskim autostradom oraz drogom ekspresowym (drogi szybkiego ruchu).

Drogi w Stanach Zjednoczonych dzieli się w zależności od funkcji i położenia względem obszarów zurbanizowanych.

Funkcje drogi:

- autostrada (ang. freeway),
- droga główna (ang. arterial road),
- droga zbiorcza (ang. collector road),
- droga lokalna (ang. local road).

Położenie względem obszarów zabudowanych:

- droga w terenie niezurbanizowanym (ang. rural road),
- droga w terenie zurbanizowanym (ang. urban road).

Dodatkowo drogi można dzielić w zależności od tego, kto daną drogą zarządza, jest to jednak złożone ze względu na różne przepisy obowiązujące w poszczególnych stanach. W celu uproszczenia uznano, że podany powyżej podział jest wystarczający, aby określić parametry geometryczne poszczególnych dróg.

Zgodnie z amerykańskimi wytycznymi przekrój poprzeczny drogi ruchu szybkiego składa się z:

- pasów ruchu o szerokości w przedziale 2,7 - 3,6 m, przy czym najszersze pasy ruchu są na drogach, gdzie są najwyższe prędkości i natężenia pojazdów;

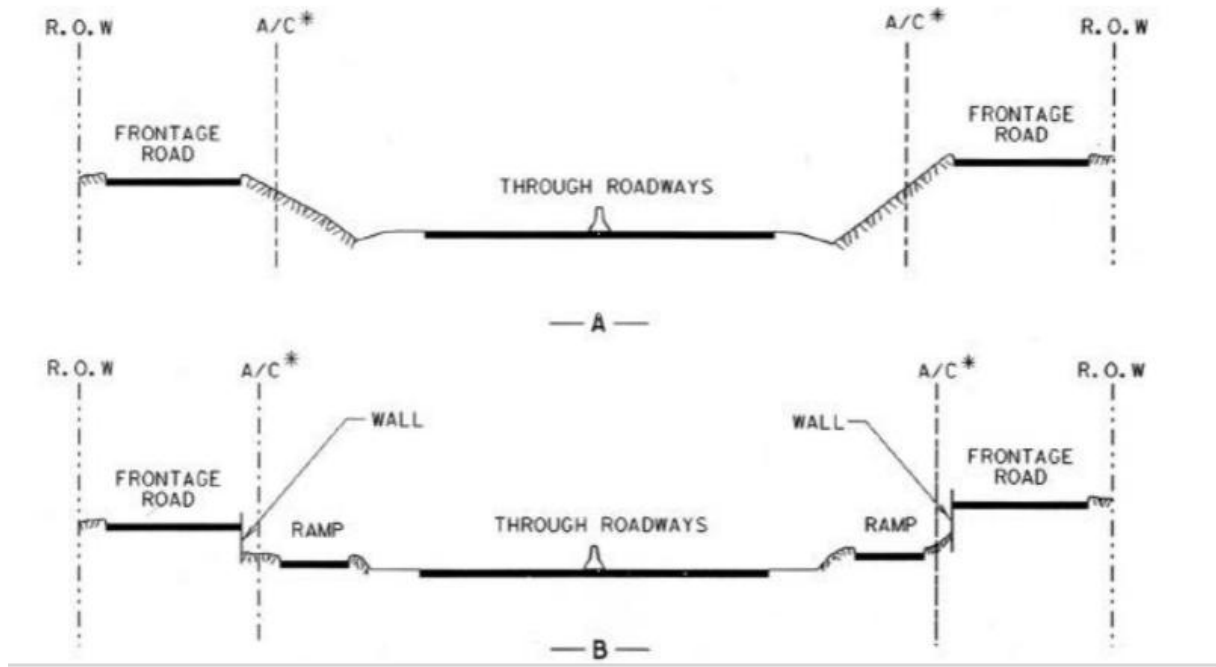
- poboczy o szerokości od 3 do 3,6 m; należy jednak pamiętać o tym, że im szersze pobocze, tym większe niebezpieczeństwo, że użytkownicy drogi będą z niego korzystać jak z normalnego pasa ruchu;
- pasa dzielącego o szerokości od 1,2 m do 24 m (w niektórych wypadkach więcej); szerszy pas dzielący pozwala na niestosowanie barier energochłonnych, a dodatkowo stanowi rezerwę terenu dla przyszłej rozbudowy drogi; podstawowym ograniczeniem szerokości pasa dzielącego są koszty budowy i utrzymania, które rosną wraz ze zwiększaniem szerokości tego pasa; należy jednak rozważyć, czy koszt rezerwy terenu nie zwróci się w okresie, na jaki projektowana jest dana droga, w postaci możliwości rozbudowy drogi i poprawy warunków ruchu.

Na rysunku 2.31 przedstawiono widok przekroju zamiejskiej autostrady dwupasowej, dwujezdniowej w USA, a na rysunku 2.32 przedstawiono schemat przekroju poprzecznego miejskiej autostrady dwujezdniowej (trougrt roadways) z łącznicami (ramp) i drogami serwisowymi (frontage road) w USA [2]. Natomiast na rysunku 2.33 przedstawiono schemat przekroju poprzecznego dwujezdniowych arterii drogowych w Stanie Nowa Karolina [57].



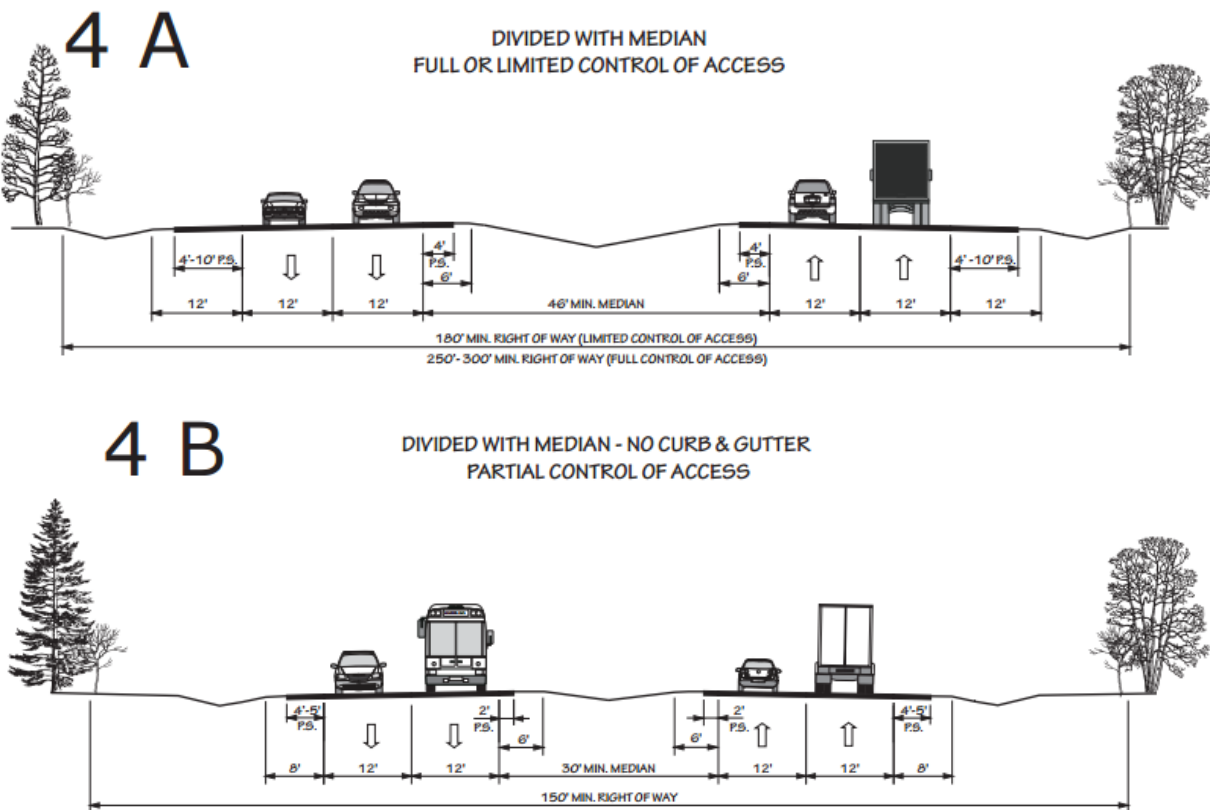
Rys. 2.31 Widok przekroju zamiejskiej autostrady dwupasowej, dwujezdniowej w USA

Źródło: [2]



Rys. 2.32 Schemat przekroju poprzecznego miejskiej autostrady dwujezdniowej (trougrt roadways) z rampami i drogami serwisowymi w USA.

Źródło: [2]



Rys. 2.33 Schemat przekroju zamiejsczej arterii dwupasowej, dwujezdniowej w USA.

Źródło: [57]

2.3.5 Kanada

Analiza wytycznych obowiązujących w Kanadzie została przeprowadzona na podstawie dokumentu „*Geometric Design Guide for Canadian Roads*” z 2011 roku, który jest ważnym dokumentem dla wszystkich osób zaangażowanych w projektowanie i budowę dróg, ponieważ zawiera wytyczne i wzorcowe rozwiązania dotyczące geometrii dróg. Ponadto każda prowincja opracowała własne wytyczne projektowania dróg. W prowincji Alberta drogi o rozdzielonych jezdniach dzieli się na [3] kategorie i klasy projektowe:

Kategorie dróg:

- *Freeway* (F) – drogi o ograniczonej dostępności, bez skrzyżowań i przejść w poprzek jezdni, dostęp jedynie poprzez węzły – odpowiednik europejskich autostrad;
- *Exspressway* (E) – ograniczony dostęp, włączenie do ruchu w węzłach lub w niektórych wypadkach dopuszcza się skrzyżowania, są to drogi w okresie pośrednim do przejścia do kategorii Freeway;
- *Arterial* (A) – drogi przeznaczone głównie dla ruchu tranzytowego, w mniejszym stopniu dla ruchu lokalnego;
- *Collector* (C) - drogi przeznaczone w równym stopniu dla ruchu tranzytowego, jak i lokalnego;
- *Local* (L) – drogi przeznaczone głównie dla ruchu lokalnego o małym udziale ruchu tranzytowego.

Klasy projektowe dróg wielojezdniowych:

- RFD-820.8-130 – Rural Freeway Divided – dwie jezdnie po 4 pasy, przekrój pojedynczej jezdni o szerokości korony – 20,8 m, prędkość projektowa – 130 km/h;
- RFD-616.6-130 Rural Freeway Divided – dwie jezdnie po 3 pasy, przekrój pojedynczej jezdni o szerokości korony – 16,6 m, prędkość projektowa – 130 km/h;
- RAD-412.4-120 Rural Arterial Divided – dwie jezdnie po 2 pasy, przekrój pojedynczej jezdni o szerokości o szerokości korony – 12,4 m, prędkość projektowa – 120 km/h.

W obszarach miejskich zdarza się, że liczba pasów ruchu i jezdni jest większa niż przewidywana w standardach (rys. 2.34).

Podane szerokości korony drogi zawierają szerokość pasów ruchu, poboczy i utwardzonych opasek. Podział dróg na kategorie wynika ze zróżnicowania dróg pod względem:

- dominującego charakteru podróży (służbowa, dom-praca, praca-dom, rekreacja);
- długości podróży;
- wielkości i typu populacji, jakiej droga ma służyć (miasta, wsie, obszary nieurbanizowane);

- charakterystyki parametrów ruchu;
- sieci drogowej i wymaganiach systemu transportowego.



Rys. 2.34 Widok przekroju miejskiej, czterojezdniowej, wielopasowej autostrady – Highway 401 in Southern Ontario w Toronto, Kanada.

Źródło: https://en.wikipedia.org/wiki/Controlled-access_highway#/media/File:Highway_401.png

Wybór klasy projektowej drogi wynika z funkcji drogi, warunków ruchu (w zależności od ruchu i warunków terenowych), kosztów, bezpieczeństwa oraz charakterystyki istniejącej sieci drogowej. Projektowanie odbywa się w oparciu o oczekiwane przez użytkowników warunki ruchu, jako bazę biorąc 20 rok projektowy drogi. W Kanadzie przyjmuje się następujące parametry przekroju poprzecznego dróg wielojezdniowych: szerokość pasów ruchu 3,7 m, szerokość poboczy wewnętrznych 0,5 – 3,0 m, szerokość poboczy zewnętrznych 2,0 m, szerokość pasa dzielącego jezdnie 6,0 – 22,6 m.

2.3.6 Australia

Analiza wytycznych obowiązujących w Australii została przeprowadzona na podstawie dokumentu „*Road Planning and Design Manual*” [12]. W Australii obowiązuje hierarchia dróg i w zależności od ich funkcji dzielą się one na:

- drogi z ograniczonym dostępem (ang. controlled access roads),
- drogi główne (ang. major roads),
- drogi zbiorcze (ang. collector / distributor roads),
- drogi lokalne (ang. local roads).

Dodatkowo główne drogi dzieli się na 4 administracyjne klasy w zależności od jednostki zarządzającej drogą. Oprócz tego drogi można dzielić na miejskie (w terenie zabudowanym) i zamiejskie (w terenie niezabudowanym):

- drogi krajowe (ang. National Highway),
- strategiczne drogi stanowe (odpowiednik polskich dróg wojewódzkich, ang. State Strategic Road),
- drogi regionalne (odpowiednik dróg powiatowych i gminnych, ang. Regional Road),
- drogi lokalne, drogi łączące dzielnice (ang. District Road).

Z definicji autostradą jest droga o dużych prędkościach, z dużym natężeniem ruchu, z ograniczonym dostępem, dodatkowo o wielopasowych rozdzielonych jezdniach. Zatem do autostrad i dróg ekspresowych zaliczają się drogi NH i SSR. Drogi ruchu przyspieszonego można podzielić w zależności od lokalizacji i charakteru terenu, przez jaki przebiega. W zależności od tych cech dobiera się parametry projektowe drogi, w tym przede wszystkim prędkość projektową, od której zależą parametry geometryczne drogi. Tablica 2.13 pokazuje prędkości dopuszczalne i rekomendowane na projektowanych autostradach i drogach ruchu przyspieszonego w zależności od lokalizacji i typu obszaru, na jakim budowana jest droga.

Tablica 2.13

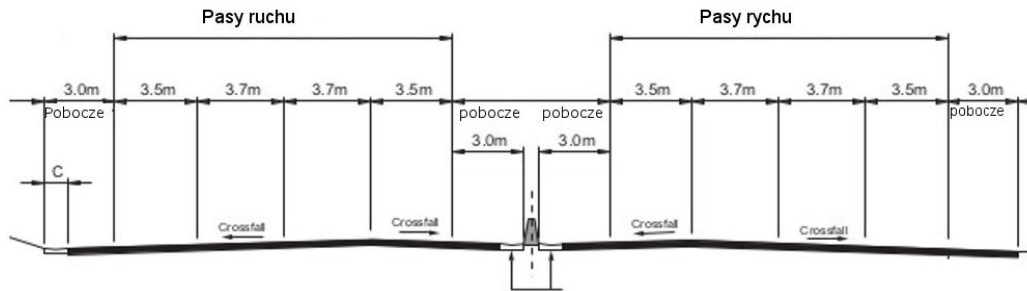
Tabela 2.13 Prędkości dopuszczalne i projektowe na autostradach w Australii

Obszar	Ograniczenie prędkości (km/h)	Rekomendowana minimalna prędkość projektowa (km/h)
Niezabudowany – płaski lub pofałdowany	110	120
Niezabudowany – trudny	100	110
Podmiejski	100	110
Miejski	80	90

Źródło: [12]

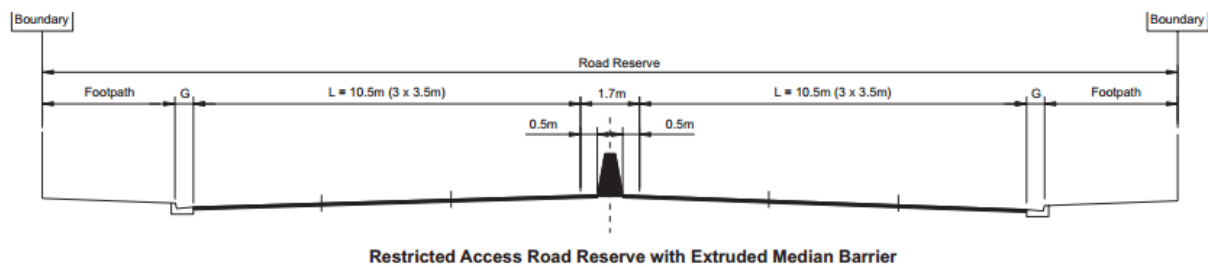
Rysunek 2.35 pokazuje typowy przekrój poprzeczny drogi autostrady w terenie niezabudowanym i drogi miejskiej w terenie zabudowanym. Przekrój poprzeczny na autostradach i wielopasowych drogach zamiejskich składa się z (2.35, rys. 2.36):

- pasów ruchu – minimum 3,5 m (jeżeli pasy są 3, to środkowy powinien mieć 3,7 m),
- pobocza – minimum 2 m, maksimum 3 m (wyjątkowo dopuszcza się 3,5 m),
- opaski zewnętrznej – nie węższej niż 1 m;
- pasa dzielącego – o szerokości minimum 3,7 m.



Rys. 2.35 Typowy przekrój poprzeczny autostrady w terenie niezabudowanym.

Źródło: [12]



Rys. 2.36 Typowy przekrój poprzeczny wielopasowej drogi miejskiej w Australii.

Źródło: [12]

2.4 Porównanie standardów i wymiarowania przekroju poprzecznego dróg wielojazdniowych w przepisach technicznych wybranych krajów i w Polsce

2.4.1 Przegląd standardów

W Polsce parametry przekroju poprzecznego dróg określone są:

- w odniesieniu do autostrad płatnych w Rozporządzeniu Ministra Infrastruktury z dnia 16 stycznia 2002 roku w sprawie przepisów techniczno - budowlanych dotyczących autostrad płatnych [43],
- w odniesieniu do dróg wszystkich klas z wyjątkiem autostrad płatnych w Obwieszczeniu Ministra Infrastruktury i Budownictwa z dnia 23 grudnia 2015 [44] roku w sprawie ogłoszenia jednolitego tekstu rozporządzenia Ministra Transportu

i Gospodarki Morskiej w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać drogi publiczne i ich usytuowanie.

Szerokości podstawowych elementów przekroju analizowanych rodzajów dróg wynikające z powyższych dokumentów przedstawiają tablice 2.14 - 2.17.

Poniżej przedstawiono ogólne podsumowanie polskiej i zagranicznej praktyki w zakresie wymiarowania przekroju poprzecznego dróg szybkiego ruchu i innych dróg wielopasowych.

Standardowe przekroje poprzeczne dsr składają się z dwóch jezdni o ruchu jednokierunkowym rozdzielonych pasem rozdzielającym. W warunkach europejskich jezdnie te mają po dwa, trzy lub cztery pasy ruchu. W niektórych przypadkach, kiedy konieczne jest zastosowanie większej niż 3 pasowej jezdni, stosuje rozwiązanie polegające na pozostawieniu jezdni trzypasowej i buduje dodatkową jezdnię dwupasową wykorzystywaną do obsługi przyległych obiektów (jezdnia serwisowa). Pozostałe drogi budowane są z jezdniami dwu- lub trzypasowymi.

2.4.2 Przegląd standardów

W celu uproszczenia projektowania dróg w wielu krajach przyjęto standardowe przekroje poprzeczne dla poszczególnych klas dróg, rozróżniając je występowaniem poszczególnych elementów, ich rodzajem i szerokością. Przykładowe zestawienie wybranych parametrów przekroju poprzecznego autostrad i dróg ekspresowych stosowanych w końcu XX wieku zestawiono w tablicach 2.16 – 2.17, natomiast aktualnie parametry przekroju poprzecznego na dsr przedstawiono w tablicach 2.14 – 2.15.

Standardowe przekroje poprzeczne dsr składają się z dwóch jezdni o ruchu jednokierunkowym rozdzielonych pasem rozdzielającym. W warunkach europejskich jezdnie te mają po dwa, trzy lub cztery pasy ruchu. W niektórych przypadkach, kiedy konieczne jest zastosowanie większej niż 3 pasowej jezdni, stosuje rozwiązanie polegające na pozostawieniu jezdni trzypasowej i buduje dodatkową jezdnię dwupasową wykorzystywaną do obsługi przyległych obiektów (jezdnia serwisowa). Pozostałe drogi budowane są z jezdniami dwu lub trzy pasowymi.

Korona drogi składa się z jezdni, pasa dzielącego, poboczy wewnętrznych i poboczy zewnętrznych. W zaprezentowanych w tablicy 2.17 przykładach wynika, że wynosi ona dla dsr od 23,0 m w warunkach miejskich, do 50,0 m w warunkach zamiejskich, natomiast dla pozostałych dróg od 18,0 – 33,0 m.

Utwardzona część drogi składa się z jezdni i utwardzonego pobocza. W zależności od liczby pasów ruchu i szerokości utwardzonego pobocza utwardzona część drogi dla jednego kierunku ruchu może mieć szerokość od 9,5 do 22,5 m szerokości. W przypadku pozostałych dróg 6,0 – 13,0 m szerokości.

Tablica 2.14

Zestawienie przykładowych parametrów przekroju poprzecznego dróg szybkiego ruchu w wybranych krajach aktualnie stosowanych w projektowaniu

Kraj	Stosowana liczba pasów ruchu na jezdni	Przykładowy przekrój jezdni (dla liczby pasów ruchu)	Szerokość (m)									
			Korona drogi	Pas ruchu	Pas dzielnicy jezdni				Pobocze zewnętrzne			
					Razem	Pas środkowy	Pobocza utw. - wew.	Opaska	Razem	Opaska	Pobocza utw. e - zew.	Pobocze gruntowe
Australia				3,5 - 3,7	> 5,7	> 3,7 (zalec. 15,0)		> 1,0			2,0 - 3,0	
Kanada	2,3,4	2	33 - 90*	3,7	6,0 - 22,6	1,8 - 18,6	0,5 - 3,0		2		2,0	
Francja		3	33,5	3,5	4,0	3,0		0,5	4,25	0,5	3,0	0,75
Holandia	2, 3, 4	3	41,5	3,5 - 3,75	7,6	6,0		0,8	6,2	0,2	3,0	3,0
Irlandia		3	50,0	3,75	> 14,0	> 10,0	2,0		6,75		3,75	3,0
Niemcy - EK1, autostrady krajowe	2,3,4	2	31,0	3,75	5,5	4,0		0,75	4,5	0,5	2,5	1,5
		3	36,0	3,5 - 3,75	5,5	4,0		0,75	4,5	0,5	2,5	1,5
		4	43,5	3,5 - 3,75	5,5	4,0		0,75	4,5	0,5	2,5	1,5
Niemcy - EK3, autostrady regionalne	2,3,4	2	25,0	3,25 - 3,5	3,5	2,5		0,5	4,0	0,5	2,0	1,5
		3	31,5	3,25 - 3,5	3,5	2,5		0,5	4,0	0,5	2,0	1,5
		4	38,5	3,25 - 3,5	3,5	2,5		0,5	4,0	0,5	2,0	1,5
Szwajcaria		3	34,0	4,0	3,5	3,5			3,25		2,5	0,75
USA				2,7 - 3,6		1,2 - 24,0					3,0 - 3,6	
Wielka Brytania, obszar zamiejski	2,3,4	4	43,8	3,65 - 3,7	4,5	3,1		0,7	4,8		3,3	1,5
Wielka Brytania, obszar zamiejski	2,3,4	2	23,1	3,65 - 3,7	3,0	2,1		0,7			2,75	
		4	38,5		3,5	1,6		0,7		2,75		
Polska - autostrady	2 i więcej	2	22,25 - 23,75	3,75 (3,5**)	min. 3,0***	min. 2,5****		0,5	3,75 - 4,25		2,5 - 3,0	1,25
Polska - drogi ekspresowe	2 i więcej	2	18,45 - 20,25	3,5 - 3,75 (3,25*)	min. 3,0	min. 2,5		0,5	1,45 - 3,25	0,0 - 0,7	0,0 - 2,5	0,75 - 1,25

Oznaczenia: *) – szerokość pasa drogowego, **) – w przypadku poszerzenia o dodatkowy pas ruchu; ***) – szerokość zależna od rodzaju urządzeń drogowych zlokalizowanych w pasie drogowym, *****) – w przypadku umiejscowienia podpór obiektów inżynierskich min. szerokość wynosi 4,0 m.

Źródło: opracowanie własne

Tablica 2.15

Zestawienie przykładowych parametrów przekroju poprzecznego innych dróg dwujezdniowych w wybranych krajach aktualnie stosowanych w projektowaniu

Kraj	Stosowana liczba pasów ruchu na jezdni	Przykładowy przekrój jezdni (dla liczby pasów ruchu)	Szerokość (m)										
			Korona drogi	Pas ruchu	Pas dzielnicy jezdni				Pobocze zewnętrzne				
					Razem	Pas środkowy	Pobocza utwardzone - wewnętrzne	Opaska	Razem	Opaska	Pobocza utwardzone - zewnętrzne	Pobocze gruntowe	
Wielka Brytania - dwujezdniowa droga	2, 3	2	25,1	3,65	4,5	2,5			1,0	3,5	1,0		2,5
		3	32,5	3,65-3,70	4,5	2,5			1,0	3,5	1,0		2,5
Australia - miejska droga dwujezdniowa	2,3								0,5		>0,5		
Polska - drogi GP, G - zamiejskie	2,3		19,0 - 19,25	3,5 (3,5)	min. 3,0	min. 2,5			0,5	1,70 - 2,25	0,0 - 0,5	0,0 - 1,5	0,75 - 1,5
Polska - drogi GP, G - miejskie	2,3		18,5 - 18,75	3,5 (3,0)	min. 2,5	min. 2,5				1,70 - 2,25	0,0 - 0,5	0,0 - 1,5	0,75 - 1,5

Źródło: opracowanie własne

Tablica 2.16

Zestawienie przykładowych parametrów przekroju poprzecznego dróg szybkiego ruchu w wybranych krajach stosowanych w projektowaniu w końcu XX wieku

Kraj	Szerokość (m)		
	Pas ruchu	Pas dzielący jezdnie – centralny bez poboczy utwardzonych	Utwardzone pobocze
Brazylia	3,75	2,0 - 6,0	3,0L; 1,0 P
Chiny	3,5 - 3,75	1,5 - 3,0	2,0 - 3,25
Czechy	3,5 - 3,75		1,5 - 2,5
Dania	3,5	3,0	3,50
Francja	3,5	12,0	3,00
Grecja	3,5 - 3,75	3,0 - 3,5	1,50
Hiszpania	3,5 - 3,75	10,0 - 12,0	0,5 - 1,0 L; 2,5 - 3,0 P
Holandia	3,5	12,0	1,25
Izrael	3,75	3,0	3,00
Japonia	3,5 - 3,75	>4,5	>2,50
Niemcy	3,5 - 3,75	3,0 - 3,5	1,5 - 2,50
Polska	3,5 - 3,75	3,5 - 5,0	2,50 - 3,00
Portugalia	3,75	2,0 - 6,0	3,0 P; 1,0 L
Szwajcaria	3,75 - 4,00	3,50	1,50 - 2,00
Węgry	3,75	3,00	4,00
Wielka Brytania	3,65	4,00	3,30 L; 1,00 P
USA	3,6	min.3,0	3,0 - 3,6 L; 1,2 - 3,6 P
Wenezuela	3,6		0,9 - 1,2 L ;2,4 - 3,0 P

Oznaczenia: L- strona lewa, P – strona prawa.

Źródło: [27]

Jeźdnia to obszar drogi przeznaczony do ruchu pojazdów składa się z obszaru wyznaczonego przez szerokość pojazdu, opaski przeznaczonej na niestabilny ruch poprzeczny pojazdu oraz wystającego jego części (np. lusterka). Standardowe wymiary pojazdu według prawa o ruchu drogowym: szerokość < 2,60 m, wysokość 4,0 m, długość 16,50 m. Oprócz szerokości pojazdu obszar przeznaczony dla ruchu powinien obejmować prześwity między pojazdami wynikające z dynamicznego poruszania się i niestabilnego toru jazdy oraz zmieszczenia wystających części pojazdu. Szerokości tego prześwitu zależą od prędkości pojazdów i wynoszą od 0,7 – 1,2 m. Ponadto w tym pasie znajdują się opaski przeznaczone na umieszczenie oznakowania poziomego (dzielącego pasy ruchu lub wyznaczającego krawędzie jezdni) nieprzeznaczonego bezpośrednio dla ruchu pojazdów. Jeźdnia składa się z pasów ruchu.

Tablica 2.17

Zestawienie przykładowych parametrów przekroju poprzecznego dróg głównych i lokalnych w wybranych krajach stosowanych w projektowaniu w końcu XX wieku

Kraj	Drogi główne			Drogi lokalne		
	Szerokość (m)			Szerokość (m)		
	Pas ruchu	Pas dzielący jezdnię - centralny bez poboczy utwardzonych	Utwardzone pobocze	Pas ruchu	Pas dzielący jezdnię - centralny bez poboczy utwardzonych	Utwardzone pobocze
Brazylia	3,75	2,0 - 6,0	2,5	3,0	2,0 - 6,0	1,5 - 2,5
Chiny	3,75	1,5 - 3,0	0,75 - 2,5	3,5		0,5 - 1,5
Czechy	3,0 - 3,5		0,25 - 1,5	3,0		
Dania	3,0	2	2,5	3,0 - 3,25		1,0
Francja	3,5	12	2,5 + 0,75 nieutwardzone	3,0 - 3,25	12,0	2,5 + 0,75 nieutwardzone
Grecja	3,25 - 3,75	3,0 - 3,5	1,5 - 2,0	3,0 - 3,25		1,5
Hiszpania	3,0 - 3,5		1,5 - 2,5	3,0 - 3,25		0,5 - 2,0
Holandia	2,75 - 3,25	3,0 - 4,5	0,2 - 0,45	3,1 - 3,25		0,15 - 0,45
Izrael	3,6	2,5	3	3,0 - 3,3		2,0 - 2,5
Japonia	3,25 - 3,5	>1,75	>1,75	3,0 - 3,25	> 1,0	>0,5
Niemcy	3,25 - 3,5	3,0-3,5	1,5 + do 2,5 żwirowe	2,75 - 3,25	brak	1,0 - 1,5
Polska	3,0 - 3,5	3,0 - 5,0	2,0 - 2,75	2,5 - 3,0		1,0 - 1,5
Portugalia	3,8	2,0 - 6,0	2,5	3,0	2,0 - 6,0	1,5 - 2,5
Szwajcaria	3,45 - 3,75		0,5 - 1,5	3,15 - 3,65		brak
Węgry	3,5	1,5 - 3,0	2,0 - 2,5	3,0 - 3,5		0,75 - 1,5
Wielka Brytania	3,7	4,0 zamiejskie, 1,8 - 3,0 miejskie	1,0	3,0 - 3,65	1,0	brak
USA	3,3 - 3,6	1,2 do ponad 20	1,2 - 2,4	2,7 - 3,6		0,6 - 2,4

Źródło: [27]

Liczba pasów ruchu zależy od prognozowanego natężenia ruchu. Liczbę pasów ruchu na jezdni wyznacza się w zależności od przepustowości jezdni oraz dopuszczalnych (zalecanych) warunków ruchu z zapewnieniem wysokiego poziomu bezpieczeństwa ruchu oraz aspektów ekonomicznych. W Europie najczęściej stosowane są jezdnie dwu-, trzy- i czteropasowe, natomiast w USA i Kanadzie – wielopasowe.

Szerokość pasów ruchu mają ustalone szerokości i w przypadku dsr szerokość ta wynosi 3,25 – 4,0 m, natomiast przypadku pozostałych dróg – 3,0 – 3,7 m. Pasy o większej

szerokości stosowane są tam, gdzie poruszają się samochody ciężarowe, tj. po prawej stronie jezdni.

Dodatkowe pasy ruchu mogą być stosowane na odcinkach międzywęzłowych (drogi obsługujące lub wydzielone drogi dla wybranych użytkowników ruchu), na wzniesieniach (pasy do wyprzedzania), w obszarach węzłów (pasy do przeplatania lub drogi zbiorczo - rozdzielcze). Pasy te wyznaczane są według odrębnych zasad.

Pasy dzielące jezdnie są to obszary w środku drogi rozdzielające dwa przeciwne kierunki ruchu. Szerokość tych pasów jest mierzona jako odległości między krawędziami jezdni przeciwnych. W ramach tego pasa występuje zatem: ziemny pas rozdzielający oraz utwardzone pobocza lub opaski występujące po lewej stronie jezdni. Ziemny pas rozdzielający może być wykonany bez barier, i wówczas powinien mieć szerokość większą niż 10,0 m, lub z barierami drogowymi w środku, wówczas ma szerokość 2,0 – 12,0 (24,0) m. Pas ten jest wykorzystywany do umiejscowienia: podpór obiektów inżynierskich, drogowych urządzeń brd (np. bariery), podpór znaków drogowych, słupów oświetleniowych, urządzeń odwadniających itp. Najczęściej stosowana szerokość tego pasa wynosi 3,5 – 5,0 m, natomiast węższe szerokości występują w obszarach miejskich, przy mniejszych prędkościach na dsr oraz w przypadkach gdy w tym pasie nie ma potrzeby instalować podpór obiektów, słupów, urządzeń odwodnienia itp. Na wypukłych łukach pionowych, gdzie mogą występować ograniczenia obszaru dobrej widoczności na zatrzymanie spowodowane barierą drogową lub podborą obiektu inżynierskiego, pas ten często wymaga poszerzenia. Na pozostałych drogach szerokość środkowego pasa dzielącego wynosi 1,7 - 2,5 m, a razem z opaskami 2,5 – 4,5 m.

W przypadku stosowania drogowych barier ochronnych istotny wpływ na bezpieczeństwo ruchu (zmniejszenie ryzyka uderzenia pojazdu w barierę drogową) ma utwardzone pobocze (lub opaska) występujące po lewej stronie jezdni i jego szerokość. Szerokość ta powinna być tym większa, im więcej pasów ruchu występuje w przekroju jezdni oraz im większa występuje prędkość pojazdów na drodze. W praktyce stosowane są szerokości 0,5 – 3,5 m.

W przypadku budowy równoległych jezdni zbiorczo-rozdzielających, jezdni serwisowych itp., tj. jezdni o kierunku ruchu zgodnym z kierunkiem ruchu, na jezdni głównej stosuje się także pasy rozdzielające o szerokości 3,0 m.

Utwardzone pobocza są nieodłączną częścią przekroju poprzecznego autostrad i dróg ekspresowych. Celem ich jest umożliwienie powrotu pojazdu na jezdnię w przypadku nagłej utraty toru jazdy, awaryjne zatrzymanie pojazdu, a także prowadzenie ruchu w przypadku nagłego zdarzenia na drodze (wypadek drogowy, awaria). Szerokość zależy od klasy drogi i prędkości dopuszczalnej i wynosi 1,5 – 4,0 m z prawej strony jezdni oraz 0,5 – 3,5 m z lewej strony jezdni.

Pobocza ziemne służą do ustawiania urządzeń bezpieczeństwa ruchu (bariery, wygrozienia) oraz słupów znaków drogowych, zarządzania ruchem i oświetlenia. Pobocze to musi być wykonane z gruntu stabilnego. Szerokość pobocza ziemnego wynosi od 0,75 – 3,0 m. Szerokość ta jest istotna na łukach poziomych, gdzie mogą występować ograniczenia obszaru dobrej widoczności na zatrzymanie spowodowane barierą drogową lub ekranem akustycznym. W takim przypadku pobocze ziemne wymaga poszerzenia.

Skarpy rowów i przeciwskarpy powinny mieć odpowiednią konstrukcję i łagodne pochylenie, aby można było łagodnie zjechać w przypadku wypadnięcia pojazdu z drogi, lepiej utrzymać roślinność, lepiej zintegrować drogę z otoczeniem.

2.4.3 Ocena doboru parametrów przekroju poprzecznego w Polsce

Warunki techniczne projektowania dróg w Polsce, jak i przepisy określające zawartość projektów w poszczególnych stadiach dokumentacji wskazują, że istotne znaczenie dla wyboru przekroju poprzecznego drogi i jego realizacji ma dokumentacja projektowa wykonana w fazie projektowania wstępnego obejmującej Studium sieciowe (SS) i w fazie uzyskania decyzji środowiskowej, obejmującej⁵ :

- Studium korytarzowe (SK) i Studium Techniczno-Ekonomiczno-Środowiskowe (STEŚ) sporządzane dla uzyskania decyzji o środowiskowych uwarunkowaniach (DŚU),
- Koncepcję Programową (KP, a dla autostrady PDT lub PWA) i Projekt Budowlany (PB) sporządzane dla uzyskania decyzji o zezwoleniu na realizację inwestycji drogowej (ZRID).

W Studium korytarzowym, wykonywanym dla potrzeb GDDKiA i MliB, w celu zweryfikowania założeń do planowania rozwoju sieci drogowej, zawarte są prognozy ruchu dla analizowanych scenariuszy i wariantów rozwiązań oraz wytyczne w zakresie własności użytkowych (m. in. klasa i przekrój drogi, dostępność, przepustowość, prędkość podróży).

W Studium korytarzowym będącym analizą potencjalnych przebiegów drogi i służącym określeniu korytarzy terenowych dla tych przebiegów przyjmuje się parametry techniczne do projektowania, w tym przekrój normalny i wysokość skrajni drogi. Przyjęty typ i parametry przekroju normalnego drogi powinny umożliwić wykonanie prognoz ruchu i oceny wpływu projektowanej drogi na bezpieczeństwo ruchu, środowisko i efekty ekonomiczne.

W Studium Techniczno-Ekonomiczno-Środowiskowym wstępnie określającym zakres rzeczowy i finansowy przedsięwzięcia oraz jego efektywność ekonomiczną zawarte są typowe przekroje normalne ważniejszych projektowanych obiektów i ważniejszych urządzeń (skala 1:100 do 1:200). Należy także sprawdzić stan aktualności prognozowanych wielkości

⁵ „Stadia i skład dokumentacji projektowej dla dróg i mostów”, wprowadzone do stosowania Zarządzeniem Nr 30 z 2005 roku przez Generalnego Dyrektora Dróg Krajowych i Autostrad

ruchu i założenia, które zostały opracowane w poprzednim stadium. Dla każdego wariantu rozwiązań należy określić typ przekroju normalnego i szerokości elementów składowych tego przekroju. Przekrój poprzeczny drogi w STEŚ, jak i w następnych stadiach dokumentacji projektowej jest także przedmiotem Audytu BRD.

W Koncepcji Programowej (KP, PDT, PWA) zawarte są rysunki obrazujące typowe przekroje normalne ważniejszych projektowanych obiektów i ważniejszych urządzeń, ze schematycznym zaznaczeniem rozwiązań docelowych. Natomiast w Projekcie Budowlanym (PB) przedstawia się przekroje normalne – charakterystyczne (skala 1:50, 1:100) oraz szczegółowe przekroje konstrukcyjne (skala 1:10, 1:20). Podawane są wymagania, które powinny być wzięte pod uwagę przy projektowaniu obiektów inżynierskich, takie jak: elementy przekroju na obiektach: liczba i szerokość pasów ruchu, szerokości pobocza, pasa awaryjnego, pasa dzielącego, chodnika, opasek,

W wyżej przedstawionych przepisach brak jest ustaleń szczegółowych dotyczących sposobu wyboru standardowego przekroju drogi klasy A, S, GP i G oraz sposobu ich wymiarowania w przypadku etapowej rozbudowy przekroju drogi. Takie ustalenia były natomiast przedmiotem wytycznych projektowania dróg wprowadzonych przez GDDP w roku 1995. W tych wytycznych wskazano na przykład możliwość zastosowania na autostradzie pasów szerokości 3,5 m w przypadku poszerzenia jezdni do trzech pasów ruchu w II etapie budowy drogi (tablica 2.18).

Tablica 2.18

Szerokości podstawowych elementów przekroju poprzecznego

Lp.	Element przekroju poprzecznego	Autostrada		Droga ekspresowa			
		Prędkość projektowa V_p [km/h]					
		120	100	120	100	80	
1	Szerokość pasa ruchu	3,75 ¹ 3,5 ¹	3,5	3,5	3,5 3,75 ²	3,5	
2	Szerokość pasa dzielącego wraz z opaskami zewnętrznymi	zalecana	5,0	4,5	4,0		
		najmniejsza	3,5		3,0		
3	Szerokość pasa awaryjnego	zalecana	3,0	2,75	2,75	2,5	2,5
		najmniejsza	2,5			2,0 ⁴	
4	Szerokość opaski wewnętrznej	0,5					
5	Szerokość pobocza gruntowego	1,25		0,75 lub 1,25 ⁵			
6	Szerokość dodatkowego pasa ruchu	3,5				3,0	

1) wymiar 3,75 dotyczy dwupasowej, a wymiar 3,5 trzypasowej jezdni autostrady
2) dotyczy dwujezdniowej drogi ekspresowej
3) przy stosowaniu bariery betonowej
4) na drodze jednojezdniowej przewidywanej w II etapie jako dwujezdniowa
5) przy projektowaniu barier
W przypadku etapowego dochodzenia do trzypasowego przekroju poprzecznego jezdni autostrady projektowanej dla $V_p=120$ km/h przyjmuje się:
szerokość pasów ruchu
w I etapie budowy 2 x 3,75 m,
w II etapie budowy 3x 3,5 m,
szerokość pozostałych elementów przekroju poprzecznego w II etapie budowy jak dla $V_p=120$ km/h.

Źródło: [23]

2.4.4 Wnioski i rekomendacje

Przeгляд stosowanych standardów w zakresie przekrojów poprzecznych dróg dwujezdniowych wskazuje, że:

1. Wybór przekroju jest uwarunkowany na ogół funkcjami i klasami tych dróg, prognozowanymi natężeniami ruchu, pożądanym poziomem warunków ruchu, a także względami utrzymaniowymi związanymi z remontami lub przebudową drogi.
2. Wymiary poszczególnych elementów przekroju drogi związane są z typem przekroju, prędkością projektową lub operacyjną, liczbą pasów ruchu. W przypadku autostrad szerokości pasów zawierają się w zakresie 3,5 – 3,75, dróg ekspresowych 3,0 – 3,5 m, natomiast na drogach niższych klas wymiary wszystkich elementów przekroju mają dość duże zakresy stosowalności (pasy ruchu 2,75 – 3,75, pasy dzielące 1,2 – 20 m, pobocza 0,5 – 2,75).
3. W niewielu przypadkach wytyczne biorą pod uwagę problem kształtowania przekroju drogi pod kątem etapowania rozbudowy przekroju drogi lub organizacji ruchu na czas remontu/przebudowy drogi. Dotyczy to dróg o przekroju 2/2 i wskazań w zakresie zachowania rezerwy terenowej pod dobudowę trzeciego pasa.
4. Docelowo w warunkach technicznych projektowania autostrad i dróg ekspresowych w Polsce powinny być zawarte ustalenia w zakresie:
 - typowych przekrojów dróg klasy A i S oraz GP i G,
 - standardowych szerokości zasadniczych pasów ruchu dla jezdni 3- i 4-pasowej w poszczególnych etapach budowy takich dróg
 - standardowych szerokości pasa dzielącego umożliwiających rozbudowę przekroju.

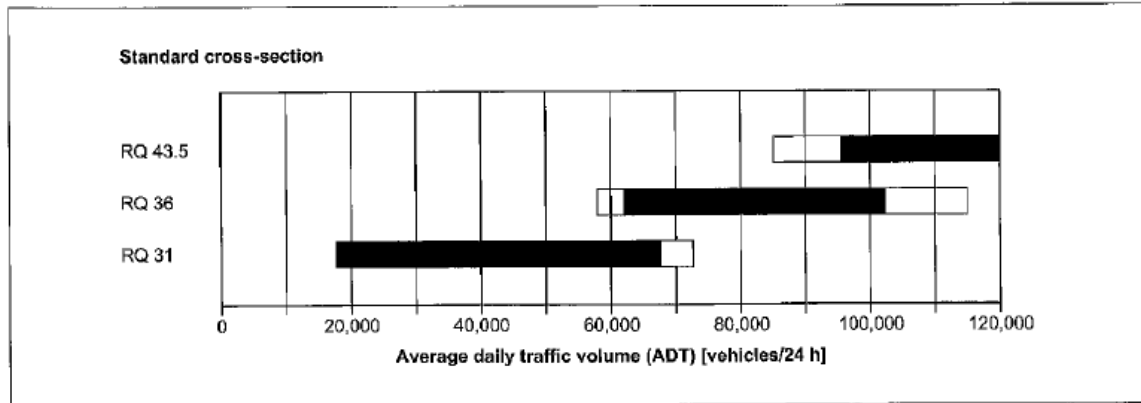
2.5 Kryteria określania liczby pasów ruchu na drogach wielojezdniowych

Podstawowymi kryteriami wyboru liczby pasów ruchu są: poziom swobody ruchu oraz najczęściej średnioroczne dobowe natężenie ruchu.

2.5.1 Niemcy

W Niemczech podstawowym parametrem doboru przekroju poprzecznego drogi szybkiego ruchu jest średnioroczne dobowe natężenie ruchu. Przedstawione załączniku A przekroje normatywne są ściśle powiązane z SDR (AADT). Na autostradach klasy projektowej EKA 1, przy natężeniach do 60 tys. pojazdów na dobę (w obie strony) wystarczającym przekrojem jest RQ 31. Gdy prognozowane natężenie przekroczy tę wartość, stosowane jest poszerzenie przekroju autostrady do RQ 36. Najszerszy przekrój zalecany jest dla wartości natężenia dobowego od ok. 85 tys. pojazdów na dobę. Na autostradach klasy EKA 2 stosuje się przekrój o szerokości 28 m niezależnie od dobowego

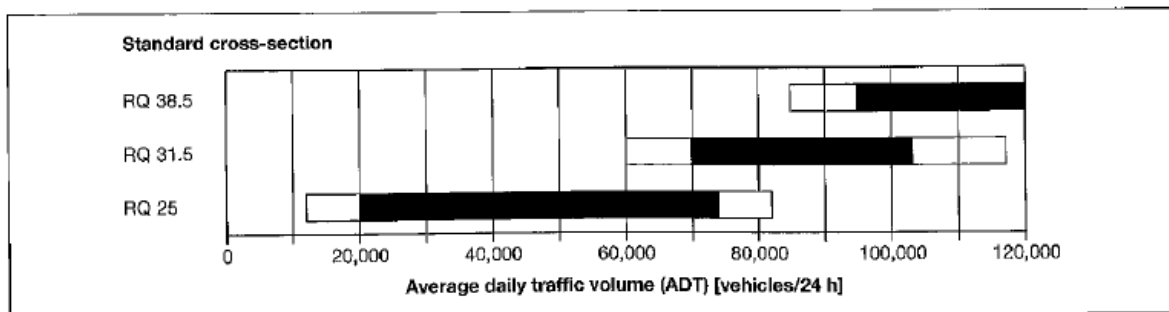
natężenia ruchu. Na autostradach klasy EKA 3 stosuje się natomiast przekrój o szerokości 25 m, gdy dobowe natężenie nie przekracza – podobnie jak w przypadku EKA 1 – 60 tys. pojazdów na dobę. Przekrój najszerszy (38,5m) jest wymagany w przypadku natężeń rzędu 85-90 tys. pojazdów na dobę (rys. 2.37, rys. 2.38)



Oznaczenia: RQ 43,5 – przekrój 4-pasowy, RQ36 – przekrój 3-pasowy, RQ31 – przekrój 2-pasowy.

Rys. 2.37 Dobór przekroju poprzecznego w zależności o średniodobowego natężenia ruchu na drogach klasy EKA 1.

Źródło: [53]



Oznaczenia: RQ 38,5 – przekrój 4-pasowy, RQ31,5 – przekrój 3-pasowy, RQ25 – przekrój 2-pasowy.

Rys. 2.38 Dobór przekroju poprzecznego w zależności o średniodobowego natężenia ruchu na drogach klasy EKA 3.

Źródło: [53]

2.5.2 Stany Zjednoczone, zalecenia krajowe

Inne podejście wykorzystują Amerykanie, którzy wskazują warunki ruchu jako główne kryterium wyboru przekroju poprzecznego drogi. W dokumencie „Policy on Geometric Design of Highways and Streets with 2013 Errata” [2], potocznie nazywanego zieloną księgą

zaznaczono, że budowa dodatkowego pasa ruchu lub pozostawienie rezerwy terenu pod przyszłą rozbudowę powinny być poparte badaniami natężenia ruchu i ich prognozami w zależności od prognozowanego poziomu swobody ruchu. W Stanach Zjednoczonych w celu oceny parametrów ruchu stosuje się metodę HCM (Highway Capacity Manual) [59]. Poziomy swobody ruchu przedstawia tablica 2.19

Tablica 2.19

Poziomy swobody ruchu według HCM

Poziom swobody ruchu	Warunki ruchu
A	Ruch swobodny
B	Rozsądnie swobodny ruch
C	Stabilny ruch
D	Zbliżający się do niestabilnego ruchu
E	Niestabilny ruch
F	Ruch wymuszony

Źródło: [59]

Na podstawie takich informacji oraz znajomości metody określania poziomu swobody ruchu (tablica 2.20) i prognozy natężenia ruchu można projektować liczbę pasów ruchu lub ewentualną rezerwę terenu pod przyszłą rozbudowę. Zastosowanie takiej metody pozwala na określenie punktu, w którym należy zacząć rozważać budowę dodatkowego pasa ruchu i moment, w którym taki pas powinien już istnieć.

Tablica 2.20

Minimalny poziom swobody ruchu w zależności od klasy i lokalizacji drogi

Klasa związana z funkcją	Poziom swobody ruchu w zależności od lokalizacji drogi i typu terenu			
	Obszar niezabudowany płaski	Obszar niezabudowany pofałdowany	Obszar niezabudowany górzysty	Obszar zabudowany
Freeway	B	B	C	C lub D
Arterial	B	B	C	C lub D
Collector	C	C	D	D
Local	D	D	D	D

Źródło: [59]

2.5.3 Stany Zjednoczone, zalecenia stanowe

Wydziały transportu niektórych stanów w USA opracowały własne wymagania dotyczące rozbudowy przekroju poprzecznego dróg.

Stan Floryda. Wydział Transportu Stanu Floryda przyjął następujące zalecenia dotyczące warunków ruchu na drogach wielojezdniowych:

- obszary wiejskie, (populacja ludności < 5000 mk.) – PSR B,
- obszary wiejskie i małe miasta (populacja < 50.000 mk) – PSR C,

- obszary miejskie (populacja < 500.000) – PSR C (D).
- duże obszary miejskie (populacja > 500,000) – PSR D (E).

Dla celów planistycznych i opracowywania koncepcji drogowych przyjmuje się natężenia krytyczne dla autostrad, w zależności od liczby pasów ruchu i obszaru, przez który te drogi przebiegają, co zostało przedstawione w tabelicy 2.21. W przypadku dodawania dodatkowych pasów ruchu w obu kierunkach zwiększa się natężenie krytyczne o 20 tys. E/dobę.

W analizach prowadzonych na etapie szczegółowego projektowania i utrzymania dróg przyjmuje się następujące natężenia maksymalne na drogach szybkiego ruchu przechodzące przez obszary:

- zamiejskie (populacja < 5.000) - 1800 P/h/pas ruchu,
- zamiejskie i miejskie (populacja > 5.000) - 1900 P/h/pas ruchu,
- średnio zurbanizowane (populacja 50.000) - 2000 P/h/pas ruchu.
- mocno zurbanizowane (populacja > 500.000) - 2100 P/h/pas ruchu.

Tablica 2.21

Natężenia krytyczne przyjmowane do planowania przekroju poprzecznego autostrad w stanie Floryda

Natężenie krytyczne (tys. E/dobę/przekrój drogi)					
Obszar	Liczba pasów ruchu w przekroju drogi	Poziom swobody ruchu			
		B	C	D	E
Zamiejski	4	28,8	43,0	52,3	60,0
	6	43,0	64,0	78,3	92,5
	8	57,5	85,4	104,4	123,5
Małe miasta, drogi tranzytowe	4	44,1	57,6	68,9	71,7
	6	65,1	85,6	102,2	111,0
	8	85,1	113,7	135,2	150,0
	10	106,2	141,7	168,8	189,0
Zurbanizowany	4	47,4	64,0	77,9	84,6
	6	69,9	95,2	116,6	130,6
	8	92,5	126,4	154,3	176,6
	10	115,1	159,7	194,5	222,7
	12	162,4	216,7	256,6	268,9

Źródło: [51]

Stan Arizona. Wydział Transportu Stanu Arizona przyjął następujące zalecenia dotyczące warunków ruchu na drogach wielojezdniowych:

- obszary wiejskie, teren płaski – PSR B,
- obszary wiejskie – teren falisty – PSR B,
- obszary wiejskie – teren górzysty – PSR B lub PSR C,
- obszary miejskie - PSR C do PSR D.

Stan Kalifornia. Kalifornijski Departament Transportu CALTRANS określa poziom usług do obsługi autostrady federalnej bazujący na różnych miarach warunków ruchu. Na podstawie szczegółowej analizy stanu autostrady (odcinki autostrady, węzły, wjazdy i zjazdy, skrzyżowania na węzłach itd.). Zaleca się utrzymać PSR na poziomie pomiędzy C i D na autostradzie federalnej. W tabelicy 2.22 przedstawiono wartości graniczne miar oceny warunków ruchu w Stanie Kalifornia.

Tablica 2.22

Natężenia krytyczne przyjmowane do planowania przekroju poprzecznego autostrad w stanie Floryda

PSR	Gęstość (E/km/pas)	Minimalna prędkość (km/h)	Maksymalny stopień wykorzystania przepustowości	Natężenie krytyczne (E/h/pas)
A	7	41	0,30	710
B	11	41	0,50	1170
C	16	41	0,71	1680
D	22	37	0,89	2090
E	28	33	1,00	2350

Źródło: [51]

Waszyngton. Departament Transportu Stanu Waszyngton określa poziom warunków ruchu na autostradach stanowych następująco:

- obszary miejskie – PSR **D**,
- obszary zamiejskie – PSR **C**.

2.5.4 Kanada, Prowincja Alberta

Wybór klasy projektowej drogi wynika z funkcji drogi, warunków ruchu (w zależności od ruchu i warunków terenowych), kosztów, bezpieczeństwa oraz charakterystyki istniejącej sieci drogowej. Projektowanie odbywa się w oparciu o oczekiwane przez użytkowników warunki ruchu, jako bazę biorąc 20 rok od uruchomienia projektowanej drogi.

Zaleca się budowę dodatkowych pasów, gdy prognozowane natężenie ruchu w roku miarodajnym przekroczy natężenie krytyczne dla poziomu swobody ruchu:

- na poziomie B, na obszarze niezurbanizowanym,
- na poziomie C, na obszarze zurbanizowanym.

Dopuszcza się warunki ruchu na poziomie D na obszarze bardzo zurbanizowanym [51]. Obliczenia prowadzi się przy założeniu, że poziom swobody ruchu jest obliczany dla 100. godziny najwyższego natężenia ruchu w roku.

Na poziomie planistycznym sugeruje się uproszczone podejście, uzależniając przyjęcie liczby pasów ruchu w przekroju od średniorocznych natężeń dobowych (AADT):

- AADT < 31000 P/dobę – przekrój 2/2;
- AADT od 31000 do 50000 P/dobę – przekrój 2/3;
- AADT > 50000 P/dobę – przekrój 2x4 lub szerszy.

Dla celów analiz prowadzonych na etapie szczegółowego projektowania i utrzymania dróg zaproponowano bardziej szczegółowe zalecenia. W tym przypadku pożądane warunki ruchu na drogach w obszarach niezurbanizowanych, przedstawiono dla średniorocznego dobowego natężenia ruchu dla typowej 100 - nej. godziny najwyższego natężenia ruchu. Dodatkowymi założeniami są:

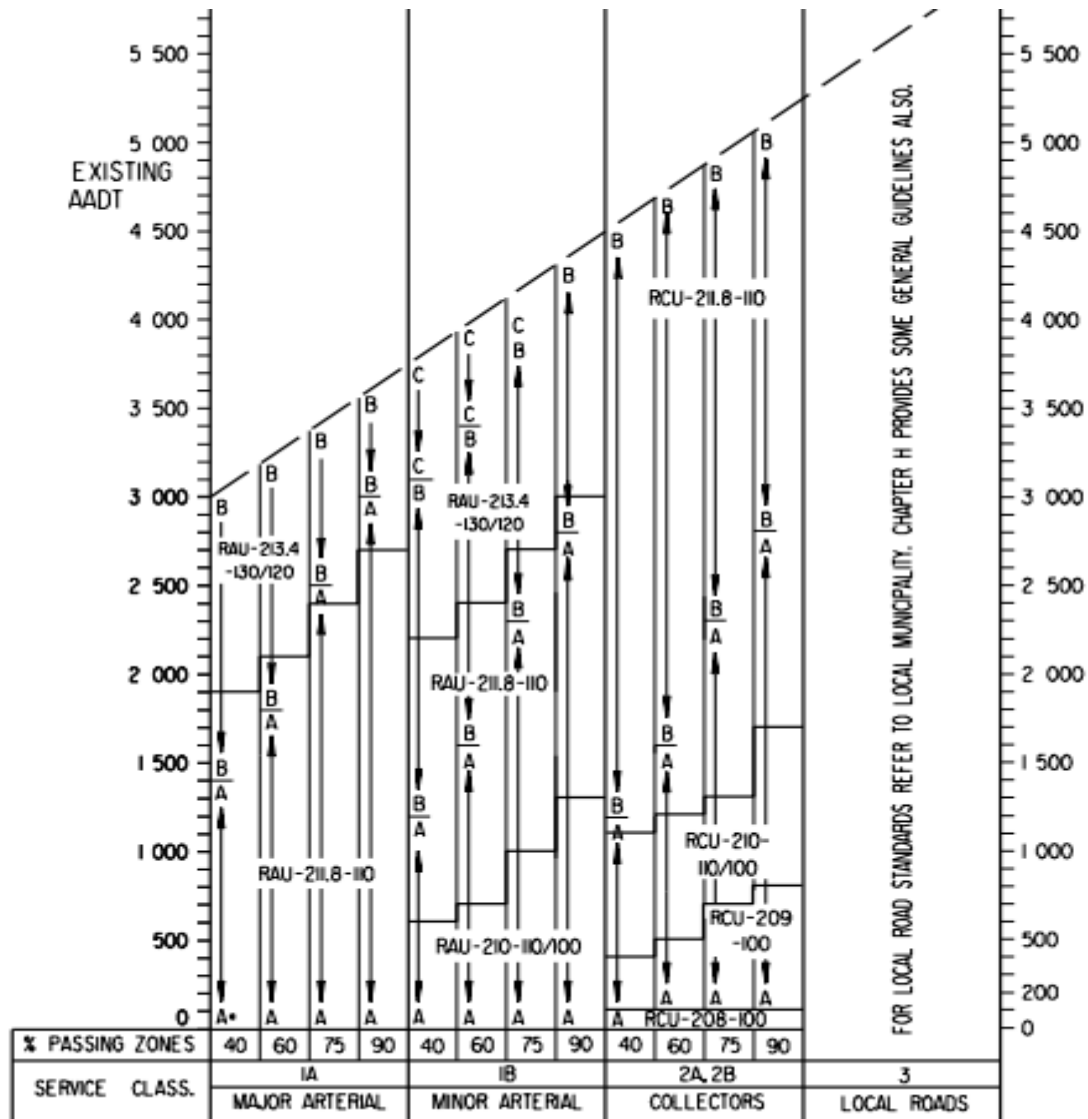
- teren płaski,
- udział pojazdów ciężarowych – 15%, udział autobusów – 0%,
- prędkość – 112,6 km/h (70 mph),
- szerokość pasa ruchu – 3,7 m.

Na rysunku 2.39 podane są zakresy natężeń krytycznych dla zalecanych poziomów swobody ruchu od kategorii drogi i przyjętego poziomu zatłoczenia.

2.5.5 Wielka Brytania

W Wielkiej Brytanii ewentualne rezerwy terenu zostawia się pośrodku, czyli w pasie dzielącym. W załączniku A pokazano minimalne wymagane szerokości pasów dzielących. W brytyjskich wytycznych [31] zostało wyraźnie podkreślone, że jeżeli występuje konieczność pozostawienia rezerwy terenu pod przyszłą rozbudowę, to należy tę rezerwę zostawić w pasie dzielącym. Musi to być poparte jednak wynikami analiz dotyczących prognoz ruchu i stroną finansową.

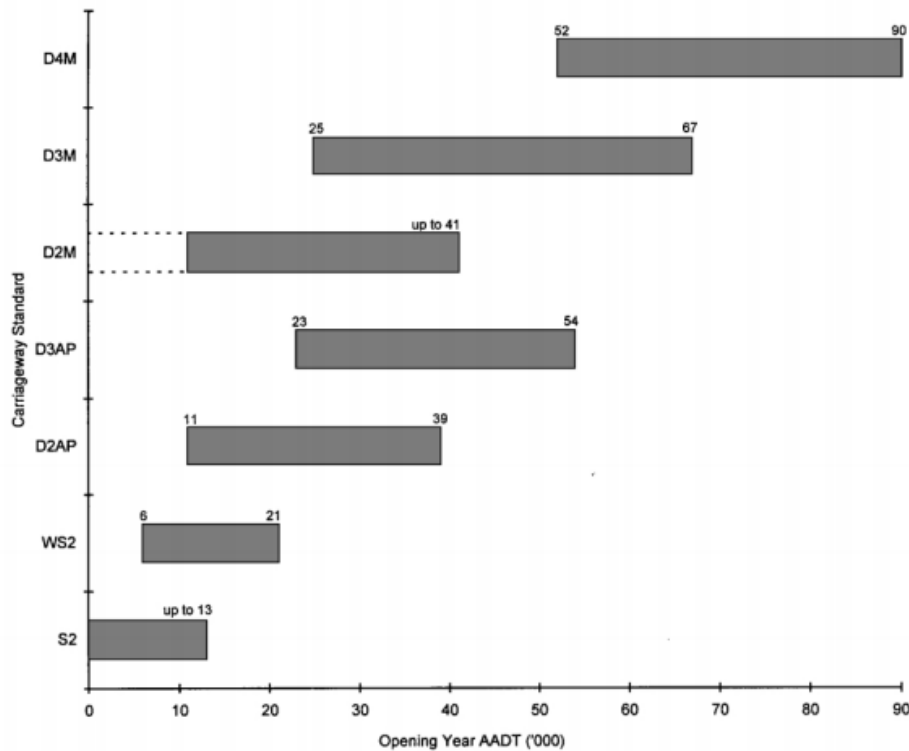
Podobnie jak w metodzie zaczerpniętej z Niemiec, dobór przekroju definiuje średnie dobowe natężenie ruchu (AADT) – rys. 2.37. Podstawą do oceny natężeń ruchu jest rok otwarcia autostrady. Klasy projektowe obowiązujące dla autostrad to D2M (przekrój dwupasowy), D3M (przekrój trzypasowy) oraz D4M (przekrój czteropasowy). Przekroje o dwóch pasach ruchu stosuje się do wielkości natężenia ruchu na poziomie ok. 40 tys. P/dobę. Przy natężeniu rzędu 25 tys. P/dobę można wprowadzić już przekrój trzypasowy. Znajduje on zastosowanie do natężenia rzędu 67 tys. P/dobę. Przekroje czteropasowe są zalecane już po przekroczeniu 50 tys. P/dobę i funkcjonują do osiągnięcia wartości 90 tys. P/dobę (rys. 2.40).



Rys. 2.39 Pożądané warunki ruchu na drogach w terenach nieurbanizowanych w prowincji Alberta w Kanadzie.

Źródło: [3]

Przy doborze przekroju drogi analizowane są co najmniej dwa warianty przekroju poprzecznego. Do wyboru optymalnego wariantu przekroju wykorzystywane są różne dane szczegółowe dotyczące analizowanego odcinka drogi: koszty ruchu, koszt budowy i utrzymania drogi, efekty sieciowe, oddziaływanie na środowisko. W analizach wykorzystywane jest średnioroczne dobowe natężenie ruchu prognozowane w 20. roku od oddania drogi do ruchu, przyjmując tempo wzrostu na podstawie danych historycznych, po 20. roku zakłada się 0 % wzrostu ruchu. W analizie ekonomicznej bierze się pod uwagę koszty zatłoczeń (jako miary niezawodności funkcjonowania drogi).



Rys. 2.40 Dobór przekroju poprzecznego w zależności o średniodobowego natężenia ruchu

Oznaczenia: D4M – autostrada 2/4, D3M – autostrada 2/3, D2M – autostrada 2/2, D2AP – dwujezdniowe 2/2, WS2 – przekrój 1/2 z pobocznymi, S2 – przekrój 1/2.

Źródło: [31]

Miarą zatłoczeń jest czas podróży. Wraz ze wzrostem czasu podróży rosną koszty: zużycia dróg, opóźnień użytkowników drogi, koszt zużycia paliwa, koszty wypadków. Przyjęto następującą klasyfikację zatłoczeń:

- brak zatłoczeń – obniżenie prędkości o 10 % w stosunku do prędkości swobodnej ($V < 0,9 V_S$)
- średnie zatłoczenia – obniżenie prędkości o 10 - 25 % w stosunku do prędkości swobodnej ($V = 0,75 - 0,9 V_S$), odpowiada to poziomowi D, który jest szeroko akceptowany,
- duże zatłoczenie – obniżenie prędkości o 25 – 50 % w stosunku do prędkości swobodnej ($V = 0,5 - 0,75 V_S$),
- bardzo duże zatłoczenie – obniżenie prędkości o ponad 50 % w stosunku do prędkości swobodnej ($V < 0,5 V_S$).

2.5.6 Hiszpania

Zgodnie ze standardami projektowania dróg Hiszpanii [65] dobór przekroju powinien bazować na pożądanym poziomie swobody ruchu w 20 roku od uruchomienia drogi, bazując na przewidywanej gęstości i strukturze ruchu. W Hiszpanii przyjmuje się, że przekrój drogi dwujezdniowej nie powinien przekraczać 4 pasów w jednym kierunku (rys. 2.41), a jednocześnie być nie mniejszy niż 2 pasy w jednym kierunku. W przypadku konieczności budowy dodatkowego (pow. 4) pasa ruchu, nie dodaje się go, a buduje się drugą jezdnię w tym samym kierunku (np. zbierająco-rozprowadzającą, serwisową), jako drogę uzupełniającą, dla której w [65] określa się minimalne wymagania dotyczące przekroju.

Do określenia PSR wykorzystuje się metodę HCM. Zgodnie z wytycznymi, dla 20 roku eksploatacji powinno się zapewnić min. PSR C dla autostrad i dróg ekspresowych o prędkościach projektowych 120-140 km/h, w przypadku niższych prędkości PSR powinien odpowiadać poziomowi D. W przypadku dróg wielopasowych dopuszczalny jest PSR D dla prędkości projektowych 80-100 km/h i PSR E dla prędkości projektowych mniejszych niż 80 km/h. Wymagane poziomy swobody ruchu dla poszczególnych przekrojów przedstawia tablica 2.23.

Tablica 2.23

Wymagane poziomy swobody ruchu wymagane dla dróg w Hiszpanii

Klasa drogi	Prędkość projektowa (km/h)	Szerokość (m)			Minimalny PSR w 20. roku eksploat.
		Pas ruchu	Pobocze		
			Wewnętrzne/ Opaska	Zewnętrzne/ Pas awaryjny	
Autostrada / droga ekspresowa	140, 130, 120	3,5	1,00 / 1,50	2,50	C
	110, 100	3,5	1,00 / 1,50	2,50	D
	90, 80	3,5	1,00	2,50	D
Droga wielopasowa	100	3,5	1,00 / 1,50	2,50	D
	90, 80	3,5	1,00	2,50	D
	70, 60	3,5	0,50 / 1,00	1,50 / 2,50	E
	50, 40	3,25–3,50	0,50 / 1,00	1,00 / 1,50	E

Źródło: [65]

2.5.7 EURO - Network

CEDR. Z deklaracji CEDR wynika, że wybór parametrów geometrycznych drogi powinien być przeprowadzony po to, aby uczestnik ruchu miał zapewniony wysoki poziom bezpieczeństwa i dobre warunki ruchu z minimalnymi zatorami drogowymi z uwzględnieniem funkcji drogi i zachowań kierowców. Zaleca się zatem dobór parametrów dróg tak, aby zachować warunki ruchu na poziomie: PSR **C**. Do oceny warunków ruchu zaleca się metodę HCM. Przekroje autostrad i dróg ekspresowych powinny być projektowane na natężenie godziny 50. N_{50} prognozowane w 30 roku od oddania drogi do ruchu.



Rys. 2.41 Widok przekroju miejskiej, trzypasowej autostrady dwujezdniowej – M- 40, obwodnica Madrytu, Hiszpania.

Źródło: https://en.wikipedia.org/wiki/Controlled-access_highway#/media/File:M40_outside_Madrid.jpg

TEM. Zgodnie z wytycznymi i rekomendowanymi praktykami dla Transeuropejskiej Autostrady Północ – Południe (TEM) [56] na etapie planowania, przyjmuje się następujące założenia:

- dobór przekroju poprzecznego powinien odnosić się do zamierzonego poziomu swobody ruchu; minimalnym zapewnionym poziomem swobody ruchu powinien być PSR C,
- do analiz powinno się przyjmować natężenie ruchu z 50 godziny w roku; w przypadku znajomości SDR na drogach dwujezdniowych, można wyznaczyć N_{50} jako $0,14 * SDR$,
- natężenia analizuje się w pojazdach umownych, przyjmując współczynniki przeliczeniowe zgodnie z [56] dla danego typu pojazdu i pożądanego PSR,
- przekrój docelowy powinien być określany dla natężenia ruchu prognozowanego na 30 rok od momentu oddania drogi do ruchu,
- przekrój początkowy powinien funkcjonować zgodnie z przyjętym poziomem warunków ruchu do 15 roku od momentu oddania drogi do ruchu,
- w celu utrzymania odpowiedniego poziomu PSR, na wzniesieniach powinno się zapewniać dodatkowe pasy ruchu,
- w przypadku autostrad powinno się zapewniać zbliżoną charakterystykę geometryczną drogi na jej dłuższych odcinkach, a tam gdzie nie jest to możliwe, zmiany w geometrii powinny zachodzić stopniowo.

2.5.8 Holandia

Holendrzy od 1968 roku wprowadzili regularny monitoring warunków ruchu na głównych drogach (autostrady, główne drogi krajowe), korzystając z metody HCM w odniesieniu do natężenia ruchu w 30 i 50 godzinie o największym natężeniu ruchu w roku. Od 1999 roku analizy prowadzone były zgodnie z metodą opracowaną na podstawie empirycznych i symulacyjnych badań holenderskich [30]. Przez te lata Holendrzy korzystali z różnych wskaźników oceny warunków ruchu. Po 1988 roku wprowadzono wskaźnik prawdopodobieństwa wystąpienia zatłoczenia mówiący o tym, jakie jest maksymalne prawdopodobieństwo natknięcia się kierowcy na zatłoczenie (w Holandii definiowane jako stan ruchu na autostradzie, gdy prędkość spada poniżej 50 km/h [30]; prawdopodobieństwo to nie powinno przekroczyć 5%). W 2001 roku zaczęto korzystać ze średniej prędkości na dłuższych odcinkach autostrad jako wskaźnika do oceny warunków ruchu – na odcinkach powyżej 30 km prędkość ta nie powinna spaść poniżej 60 km/h. Kolejnym zaproponowanym w 2005 roku wskaźnikiem jakości ruchu był stosunek średniego czasu podróży w godzinach szczytu do czasu podróży poza godzinami szczytu. Wskaźnikiem wprowadzonym w ostatnim czasie jest koszt ekonomiczny strat czasu obliczany dla każdego wąskiego gardła (ang. *bottleneck*), który ma być wykorzystywany w studiach planistycznych. Równoległe, niezmiennie od lat, dla celów oceny indywidualnych odcinków autostrad, korzysta się ze stosunku natężenia (popytu) do przepustowości. Najnowsza, czwarta wersja holenderskiego HCM [52] zestawia wspomniany wskaźnik z prawdopodobieństwem wystąpienia zatłoczenia w 30-minutowych okresach analizy, uzyskany na podstawie badań symulacyjnych. Wartość wskaźnika powyżej 0,8 oznacza prawdopodobieństwo wystąpienia zatłoczenia na poziomie do 20%, czyli stan odpowiadający amerykańskiemu poziomowi swobody ruchu PSR E lub F [30].

Niemniej jednak jako zasadniczy wskaźnik do analizy na poziomie projektowania niezmiennie wykorzystuje się stosunek natężenia do przepustowości (tablica 2.24). Dla celów analizy przyjmuje się:

- średnie godzinne natężenie ruchu w dniu roboczym, zwykle uśrednione w roku (odmiennie w stosunku do wykorzystywanej wcześniej 30 lub 50 godziny),
- stosunek natężenia do przepustowości nie powinien przekroczyć 0,8, wartość tego wskaźnika oznacza odpowiednio:
 - < 0,8 – brak zatłoczenia,
 - 0,8-0,9 – występujący nieregularnie stan zatłoczenia,
 - 0,9-1,0 – regularnie występujący stan zatłoczenia,
 - > 1,0 – ciężkie zatłoczenie, występujące często i regularnie.

Dla poszczególnych wartości wskaźnika dane jest prawdopodobieństwo wystąpienia stanu zatłoczenia, gdy natężenie ruchu odpowiadające danym warunkom ruchu (stosunek natężenia do przepustowości) utrzymuje się w ciągu 30 minut.

Tablica 2.24

Wskaźnik natężenia do przepustowości i odpowiadające mu prawdopodobieństwo wystąpienia zatłoczenia dla dróg w Holandii

Stopień wykorzystania przepustowości $X = N/C$	Prawdopodobieństwo wystąpienia zatłoczenia [%]	Poziom swobody ruchu wg amerykańskiego HCM
< 0,3	0	A
0,3 – 0,8	< 1	B - D
0,8 – 0,9	< 20	E oraz F (zatłoczenie)
0,9 – 1,0	20 - 100	E oraz F (zatłoczenie)
> 1,0	100	E oraz F (zatłoczenie)

Źródło: [30]

2.5.9 Szwecja

Analizę i ocenę warunków ruchu dla dróg w Szwecji przeprowadza się głównie na etapie planowania i projektu drogi (m.in. z wykorzystaniem metody CBA). Zgodnie z wymogami Szwedzkiej Agencji Transportu stopień nasycenia w 30 godzinie nie powinien przekroczyć 0,8, a natężenia 8-15% średniorocznego dobowego natężenia ruchu. Analizę prowadzi się dla 20 lat w przód. Dodatkowym wymogiem jest, aby średnia prędkość podróży nie była niższa niż 10 km/h poniżej prędkości dopuszczalnej [7]. Do analiz wykorzystuje się metodę szwedzką [55], w której nie korzysta się z PSR do oceny warunków ruchu. Drogi projektuje się tak, aby dla natężenia ruchu w godzinie miarodajnej przyjętej do projektowania spełnione zostały takie wymagania jakościowe, jak: średnia prędkość co najwyżej o 10 km/h niższa od ograniczenia, średnia strata czasu nie większa niż 5 min (drogi zamiejskie), stosunek natężenia (popytu) do przepustowości na drogach zamiejskich o wysokim standardzie nie powinien przekroczyć 0,5; a na drogach zamiejskich o średnim standardzie nie powinien przekroczyć 0,7 [41].

2.5.10 Wnioski i rekomendacje

Wnioski. Przedstawiony przegląd kryteriów określania liczby pasów ruchu na drogach wielojezdniowych w Europie i w Ameryce Północnej pozwala na przyjęcie uogólnionych spostrzeżeń:

1. Wielopasowe, wielojezdniowe drogi stanowią najważniejsze elementy sieci drogowej każdego kraju. Stawia się im wymagania przeniesienia dużych potoków ruchu z wysoką prędkością, przy jednoczesnym zapewnieniu wysokiego poziomu bezpieczeństwa, dużego komfortu jazdy oraz ograniczonego wpływu na otoczenie.

2. Sprawność drogi wielopasowej zależy od klasy przekroju poprzecznego, a przede wszystkim od liczby pasów ruchu. Natomiast bezpieczeństwo zależy od wyposażenia przekroju poprzecznego: pasy rozdzielające jezdnie o przeciwnych kierunkach ruchu, opaski, utwardzone pobocza, brak lub zabezpieczone przeszkody boczne itd.
3. Europejskie standardy projektowania dróg przewidują stosowanie w przekroju wielojezdniowej drogi wielopasowej dwóch jezdni dwu-, trzy- lub czteropasowej. W przypadku konieczności poszerzania przekroju powyżej trzech pasów ruchu rozważa się możliwość budowy dodatkowej jezdni dwupasowej pełniącej także funkcję jezdni serwisowej (obsługującej przyległe duże generatory ruchu). Standardy amerykańskie i kanadyjskie dopuszczają na bardzo obciążonych odcinkach dróg miejskich jezdnie nawet o 6 pasach ruchu.
4. Do oceny funkcjonowania dróg wielopasowych używa się wielu miar oceny MOE, które reprezentują: sprawność drogi (przepustowość, stopień wykorzystania przepustowości), warunki ruchu (natężenie ruchu, prędkość potoku, gęstość potoku pojazdów), komfort podróży (możliwość wyprzedzania, wydłużenie czasu podróży, zmniejszenie prędkości, prawdopodobieństwo jazdy w zatorze drogowym), wpływ na środowisko (emisja spalin, emisja hałasu), koszty ruchu (koszty czasu podróży, koszty wypadków drogowych, koszty eksploatacji pojazdów).
5. Do wyboru klasy przekroju lub jego poszerzenia o dodatkowe pasy ruchu stosuje się wybrane MOE, a często w analizach szczegółowych także koszty budowy i utrzymania dróg o wybranej klasie przekroju poprzecznego.
6. Ze zbioru przedstawionych kryteriów pierwszoplanowym jest kryterium warunków ruchu. Pozostałe kryteria stosowane są jako pomocnicze. W kryterium warunków ruchu określa się zalecane i dopuszczalne poziomy swobody ruchu, najczęściej z podziałem na obszar zamiejski i miejski. Jako zalecane poziomy swobody ruchu stosowane są najczęściej: poziom C na drogach zamiejskich i poziom D na drogach miejskich. W USA i Kanadzie zalecano na zamiejskich autostradach poziom B, ale ze względu na dość duże koszty budowy odstępuje się od tych zaleceń. Natomiast na drogach w obszarach miejskich dopuszcza się także warunki wyjątkowe, tj. poziom swobody ruchu na poziomie E. Ponadto w przypadku budowy dodatkowej jezdni (połączonej z jezdnią serwisową) obniża się o jeden poziom klasę warunków ruchu w stosunku do jezdni głównej.
7. Poziomy swobody ruchu szacuje się najczęściej za pomocą metody HCM. Podstawowym parametrem ruchu przyjmowanym do określania warunków ruchu w tej metodzie jest pomierzone lub prognozowane natężenie ruchu. Jako miarodajne natężenie ruchu przyjmowane jest:

- a) natężenie godzinowe – natężenie ruchu w 30, 50 lub 100 największej godzinie w ciągu roku,
 - b) natężenie średnioroczne dobowe – natężenie prognozowane w roku miarodajnym (10, 15, 20 lub 30 od daty oddania drogi do użytku).
8. Analizę doboru klasy przekroju poprzecznego lub liczby pasów ruchu na jezdni prowadzi się na:
- a) na etapie planistycznym, z wykorzystaniem tabel lub wykresów przedstawiających zakres natężeń ruchu optymalnych dla wybranego przekroju drogi, na przykład:
 - o arterie o przekroju 2/2 pasy ruchu stosuje się dla natężeń 10 – 40 tys. E/dobę, a arterie o przekroju 2/3 stosuje się dla natężeń 20 – 60 tys. E/dobę,
 - o autostrady o przekroju 2/2 pasy ruchu stosuje się dla natężeń 10 – 95 tys. E/dobę, autostrady o przekroju 2/3 stosuje się dla natężeń 20 – 115 tys. E/dobę, a autostrady o przekroju 2x4 pasy ruchu dla natężeń > 85 tys. E/dobę,
 - b) na etapie opracowywania projektów szczegółowych prowadzi się szczegółowe oceny warunków ruchu z uwzględnieniem lokalnych uwarunkowań, wykorzystuje się także szczegółowe analizy kosztów ruchu, kosztów inwestycyjnych, utrzymaniowych itp.
9. Kluczowe znaczenie przy wyborze jednego z typów przekroju poprzecznego lub podejmowaniu decyzji o dobudowie pasów ruchu ma prognozowane średnioroczne dobowe natężenie ruchu w miarodajnym (docelowym) roku prognozy. Z uwagi na długotrwały proces planowania i projektowania autostrad (ok. 10 lat) już w chwili podejmowania wstępnych decyzji musi być sporządzona prognoza ruchu. Oznacza to, że decyzje zapadają na podstawie prognoz ruchu o horyzoncie czasowym ok. 30 lat. Tak długi horyzont czasowy powoduje znaczny stopień niepewności prognoz, zarówno w odniesieniu do wartości natężenia ruchu, jak i postaci trendu wzrostu ruchu. Dlatego w przypadkach gdy prognozowane natężenie ruchu osiąga wartości z przedziału rozdzielającego zakresy stosowania różnych typów przekroju, często wybierany jest typ przekroju „bardziej bezpieczny” (np. 2/3 zamiast 2/2).

Rekomendacje. Biorąc pod uwagę przeprowadzone analizy rekomenduje się do przygotowywanych wytycznych w zakresie doboru przekroju poprzecznego drogi:

1. Przyjęcie następujących przekrojów poprzecznych dróg:
 - a) 2/2 pasy ruchu dla dróg klasy A, S, GP, G i Z,
 - b) 2/3 pasy ruchu dla dróg klasy A, S, GP, G i Z,
 - c) 2x4 pasy ruchu dla bardzo obciążonych dróg klasy A, S, GP położonych na obszarach miejskich oraz połączeniach lub przeplótach dwóch dróg o dużych natężeniach ruchu,

- d) 2/3 + 2/2 na obszarach miejskich (zamiast przekroju 2x4) przy małych odległościach między węzłami oraz przy występowaniu dużych obiektów generujących ruch.
2. Przyjęcie zalecanych (dopuszczalnych) warunków ruchu:
 - a) na autostradach i drogach ekspresowych: PSR – C (D),
 - b) na pozostałych drogach: PSR – D (E).
 3. Do szacowania warunków ruchu proponuje się metodę HCM. Jako miarodajne natężenia ruchu proponuje się:
 - a) natężenie godzinowe – natężenie ruchu N_{50} pomierzone w 50 największej godzinie w ciągu roku,
 - b) natężenie średnioroczne dobowe – natężenie SDR prognozowane w roku miarodajnym (10, 20 i 30 od daty oddania drogi do użytku).
 4. Analizy dotyczące wyboru klasy przekroju poprzecznego drogi powinny być prowadzone co najmniej na dwóch etapach życia obiektu drogowego: etapie prowadzenia prac planistycznych i etapie prowadzenia szczegółowych prac projektowych.
 5. Ze względu na kluczowe znaczenie prognoz ruchu, szczególnie prognoz długoterminowych, przy wyborze typu przekroju poprzecznego lub podejmowaniu decyzji o dobudowie pasów ruchu konieczne jest zbudowanie dobrego modelu ruchu na podstawowej sieci dróg.

2.6 Praktyka w zakresie lokalizacji dodatkowego pasa / poszerzenia przekroju drogi

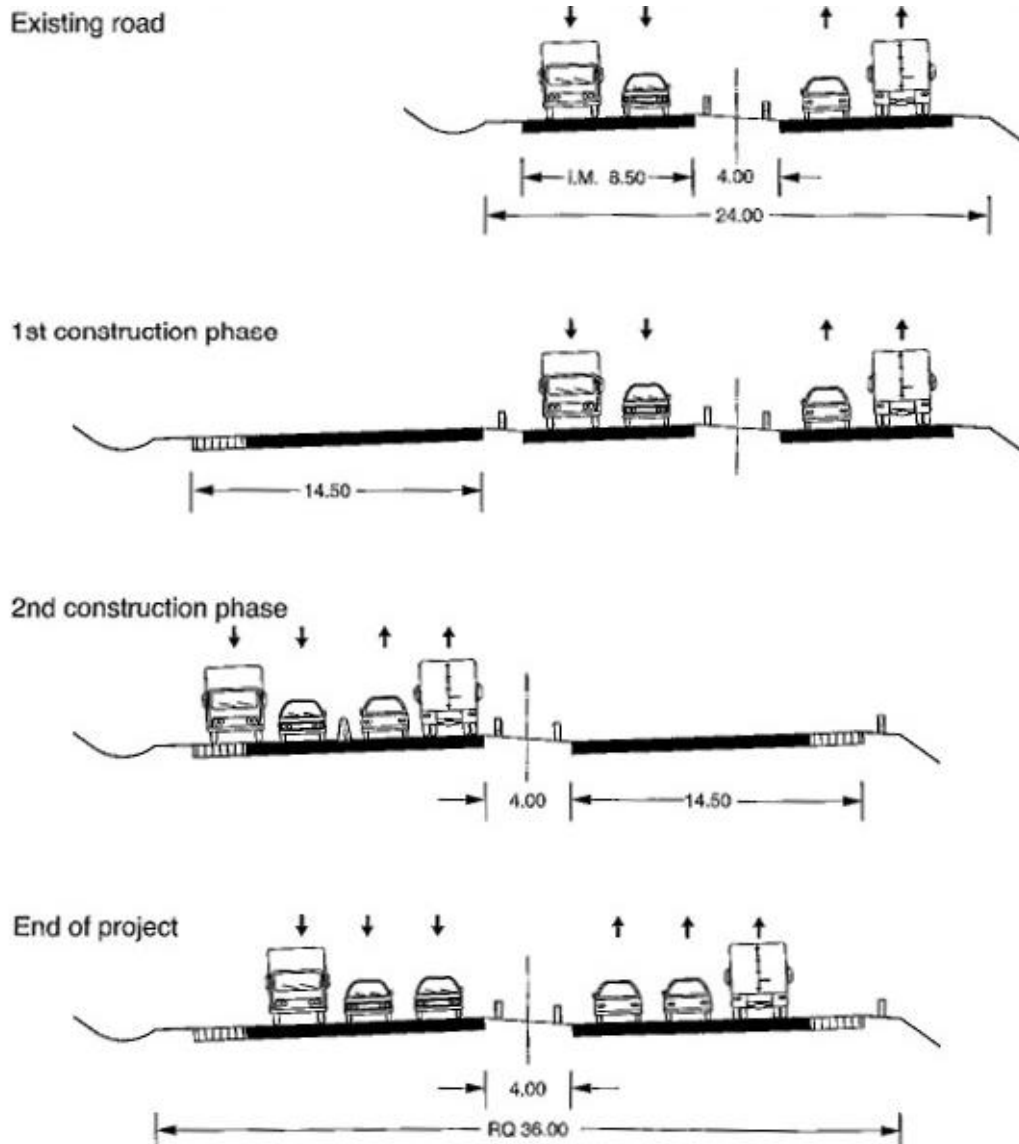
2.6.1 Doświadczenia niemieckie

Doświadczenia z poszerzania przekroju poprzecznego jezdni są bardzo rzadko publikowane. Najwięcej informacji pochodzi z Niemiec, gdzie przy okazji przebudowywania sieci autostrad i dróg krajowych we wschodniej części zdobyto wiele doświadczeń. W ramach niniejszej pracy poddano analizie trzy przypadki poszerzania przekroju drogi [53]:

- niesymetryczny,
- częściowo symetryczny,
- symetryczny.

Poszerzanie niesymetryczne. W przypadku poszerzania niesymetrycznego autostrady o przekroju 25 m zawierającej po 2 pasy ruchu w każdą stronę do autostrady zawierającej po 3 pasy ruchu w każdą stronę, proces dochodzenia do przekroju docelowego składa się z 2 etapów. W pierwszym etapie ruch na dotychczasowej jezdni prowadzony jest bez zmian. W tym samym czasie, symetrycznie do istniejących pasów ruchu, dodawana jest jezdnia o szerokości 14,50 m. W drugim etapie, po ukończeniu jezdni dodanej, zostaje na nią przeniesiony ruch z dotychczasowych pasów. Nowa jezdnia zastępuje zatem poprzednią, na

której to obecnie prowadzone są przebudowy – ze „starej” autostrady 4-pasowej zostaje ona zmodyfikowana na jezdnię z 3 pasami ruchu (w jedną stronę). Równocześnie modyfikuje się nowo wybudowaną jezdnię – z dotychczasowych 4 pasów tworzy się 3 pasy z utwardzonym poboczem. Finalnie otrzymuje się autostradę o szerokości przekroju 36 m z 3 pasami ruchu na każdej ze stron (rys. 2.42).



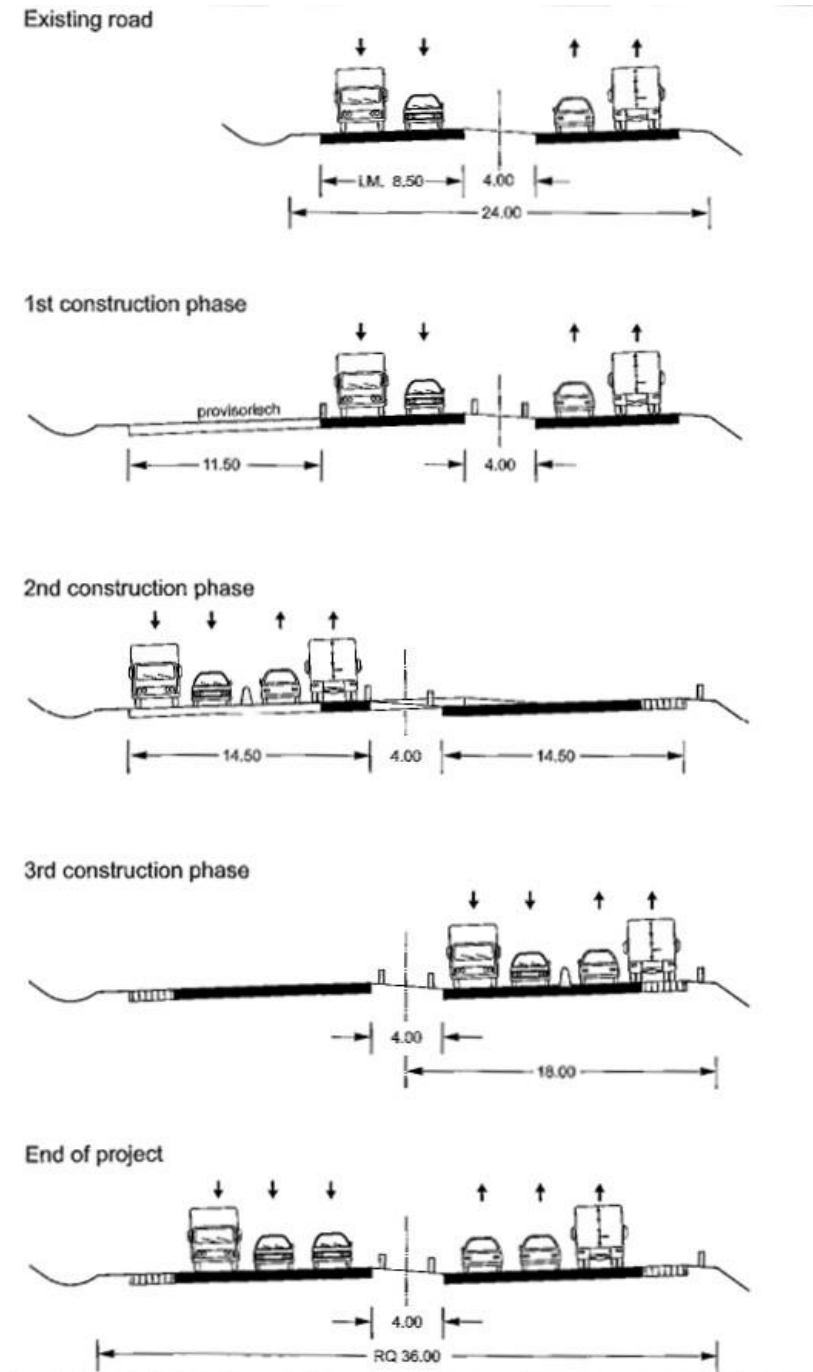
Rys. 2.42 Schematyczny przebieg zmian organizacji ruchu na niesymetrycznie poszerzanej autostradzie.

Źródło: [53]

Poszerzanie częściowo symetryczne stosowane jest w przypadku braku bądź też małej rezerwy terenu. Ten wariant jest jednak bardziej skomplikowany jeśli chodzi o proces przebudowy. W pierwszym etapie zakłada się do budowę do istniejącej jezdni pasa o szerokości 11,5 m. Kolejny etap składa się z 3 podetapów:

- Z dotychczasowej części poszerzanej jezdni w etapie 1 „zabiera” się 4,5 m na rzecz pasa dzielącego.
- Przesuwa się pas dzielący, uwzględniając dodatkowe uzyskane 4,5 m.
- Poszerza się niemodyfikowaną wcześniej stronę autostrady do szerokości 14,5 m.
- Następuje przeniesienie tymczasowe ruchu na jezdnię 4-pasową, utworzoną podczas „zabrania” miejsca na pas dzielący.

W ostatniej fazie projektu, po ukończeniu drugiego etapu, przenosi się ruch na stronę poszerzoną w punkcie poprzednim, aby dokonać wydzielenia po drugiej stronie 3 pasów ruchu (rys. 2.43).

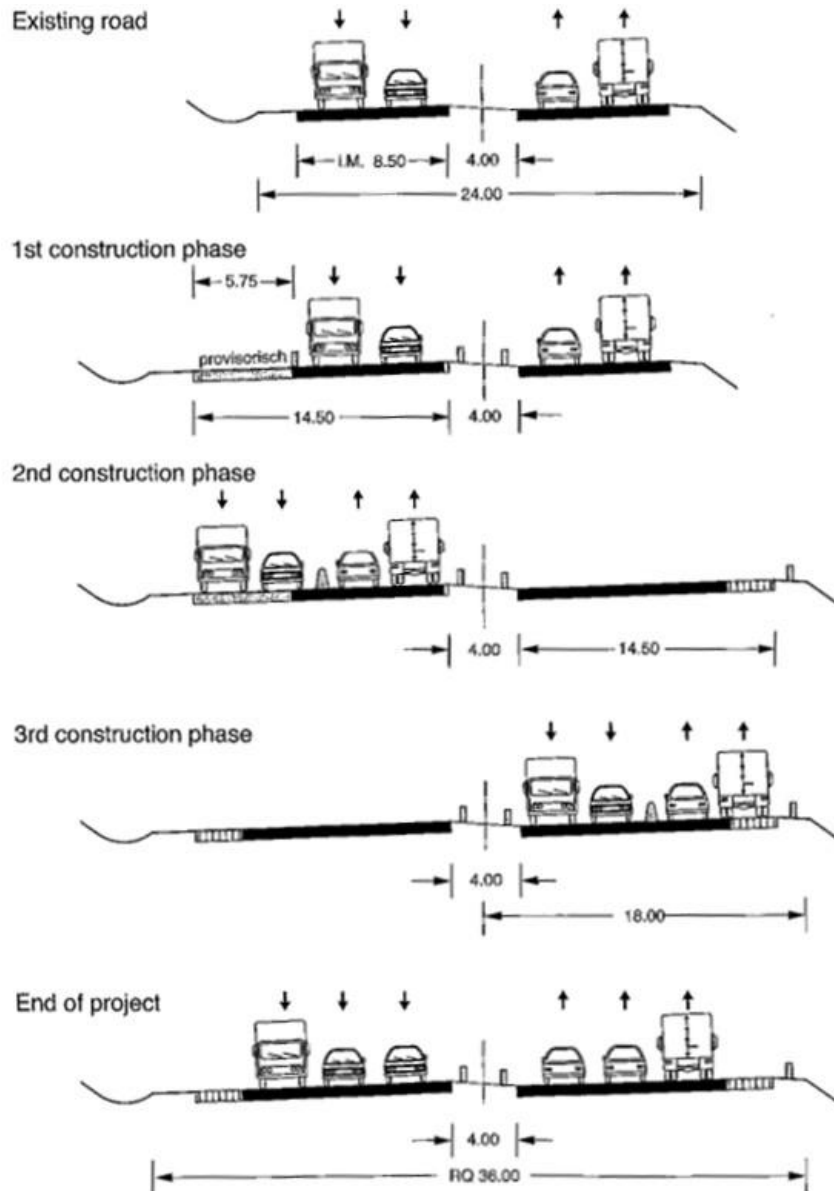


Rys. 2.43 Schematyczny przebieg zmian organizacji ruchu na częściowo symetrycznie poszerzanej autostradzie.

Źródło: [53]

Poszerzanie symetryczne. W tym przypadku zakłada się – podobnie jak w przypadku poszerzenia półsymetrycznego – wydzielanie prowizorycznej jezdni w procesie przebudowy. Jest ona jednak znacznie węższa i powinna mieć szerokość ok. 5,75 m. Jezdnię tę wykonuje się w pierwszym etapie. Natomiast w drugim etapie przenoszony jest ruch z pasa istniejącego na jezdnię dobudowaną z 2 pasami ruchu. Równocześnie możliwa jest

przebudowa dotychczasowej jezdni dwupasowej na trzypasową. W etapie kolejnym ruch przenoszony jest na stronę prawą, umożliwiając przebudowę strony lewej, analogicznie – z 2 pasów tworzy się jezdnię 3-pasową (rys. 2.44).



Rys. 2.44 Schematyczny przebieg zmian organizacji ruchu na symetrycznie poszerzanej autostradzie.

Źródło: [53]

Z opisanych powyżej trzech sposobów poszerzania jezdni najbardziej korzystny wydaje się sposób poszerzania niesymetrycznego. Jego zalety to:

- prostota procesu przebudowy,
- powodowanie mniejszych zakłóceń w prowadzeniu ruchu,
- szybkie do wdrożenia etapy prowadzenia prac.

Niestety sposób ten, w porównaniu do dwóch pozostałych, wymaga znacznie większych rezerw terenu. Z tego względu jest to opcja najrzadziej stosowana w praktyce w warunkach niemieckich. Według standardów niemieckich wybór sposobu poszerzania jezdni musi być poprzedzony rozważeniem następujących podstawowych czynników:

- topografii terenu,
- typu/klasę/kategorii autostrady,
- obszarów newralgicznych w przypadku zagospodarowania rezerwy terenu pod poszerzenie autostrady.

W tabelicy 2.25 przedstawiono rozszerzony zbiór kryteriów pomagających wybrać odpowiedni sposób poszerzania trasy szybkiego ruchu. Znak '+' oznacza przewagę danego typu poszerzania pasów. Znak '-' oznacza gorszą opcję w danym wypadku. Znak 'o' oznacza, że dany wariant jest możliwy lecz jest do rozważenia przy uwzględnieniu większej liczby zmiennych.

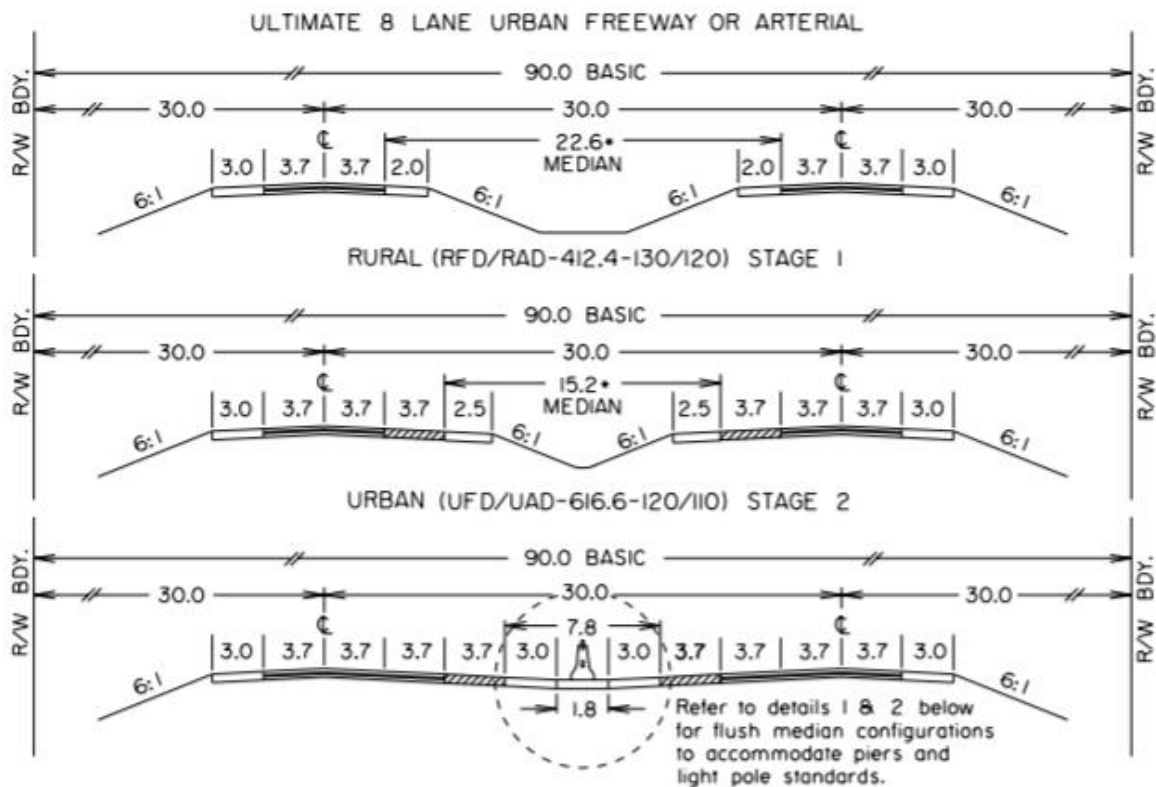
Tablica 2.25

Kryteria pozwalające dobrać odpowiednią metodę poszerzania przekroju poprzecznego

Sposób poszerzania przekroju autostrady	Poszerzanie asymetryczne	Poszerzanie symetryczne
Krótkie odległości pomiędzy ograniczeniami ruchu	-	+
Konieczność rozbudowy istniejącego przekroju w przyszłości	-	+
Konieczność poszerzania przekrojów na wiaduktach	+	-
Przejścia podziemne wymagające przebudowy	+	-
Wymagana zmiana pochylenia poprzecznego	+	-
Konieczność wprowadzenia ruchu na tymczasowych pasach	+	-
Trudny dostęp do prac z zewnątrz (np. w tunelu)	+	-
Bliskość terenów zalesionych	+	-
Koszty	o	o
Czas przebudowy	+	-
Wymagana przestrzeń	-	+

Źródło: [53]

Na rysunku 2.45 przedstawiono sposób poszerzania przekroju autostrady miejskiej w prowincji Alberta w Kanadzie. Początkowym przekrojem był przekrój 2/2 pasy ruchu z szerokim pasem dzielącym (ponad 22 m) przyjętym jako rezerwa terenu pod przekrój docelowy 2x4 pasy ruchu. Na rysunku pokazano trzyetapowe dochodzenie do przekroju docelowego.



Rys. 2.45 Schemat etapowego przekształcania przekroju poprzecznego autostrady miejskiej od przekroju początkowego do przekroju docelowego w prowincji Alberta w Kanadzie.

Źródło: [3]

Wybór odpowiedniego sposobu przebudowy autostrady w zakresie przekroju poprzecznego nie jest oczywisty. Jest to zadanie uzależnione od wielu czynników zewnętrznych bezpośrednio związanych z charakterem/klasą drogi, ukształtowaniem terenu czy też czynników takich jak czas, koszty. Na wybór sposobu ma także wpływ stan techniczny urządzeń infrastruktury związanych z daną trasą.

2.6.2 Podsumowanie

Wnioski. Z doświadczeń niemieckich uzyskanych na podstawie studiów literatry, jak i bezpośrednich rozmów prowadzonych z przedstawicielami nauki i praktyki wynika, że:

1. Autostrady uznawane są za obiekty trwałe, których nie zmienia się co 10 lat. Prowadzone rozbudowy przekroju poprzecznego dotyczą odcinków wybudowanych przed 30-40 latami.
2. W zasadzie nie stosuje się rozwiązań zakładającego już w fazie projektowania etapowej budowy autostrady, tj. przekroju 2/2 z założeniem jego rozbudowy do

- przekroju 2/3 wraz ze wzrostem natężenia ruchu. Zasadą jest budowa autostrady o przekroju docelowym, wynikającym z prognozowanego natężenia ruchu.
3. Takie postępowanie wynika z następujących przesłanek:
 - niepewność prognoz ruchu powodująca, że natężenie ruchu uzasadniające potrzebę przekroju 2/3 może wystąpić znacznie wcześniej niż przewidywano – uwzględniając cykl projektowania, np. 10 rok użytkowania autostrady oznacza 20 rok prognozy ruchu, co jest dość odległym horyzontem prognozy z jej malejącą dokładnością;
 - rozbudowa przekroju poprzecznego autostrady w przypadkach osiągnięcia przepustowości istniejącego przekroju 2/2 (lub osiągnięcia granicznego natężenia ruchu odpowiadającego poziomowi swobody ruchu D) oznaczałaby skrajnie niekorzystne warunki ruchu pojazdów w czasie rozbudowy – pogorszenie warunków związane z ograniczeniami powodowanymi przez prowadzone roboty, wyjazdy i wjazdy na budowę, konieczne ograniczenia prędkości, utrudnienia zjazdów i wjazdów na węzłach,
 - korzyści wynikające z lepszych warunków ruchu na odcinkach o przekroju 2/3 w porównaniu do 2/2 w okresie poprzedzającym potrzebę rozbudowy,
 - rachunek kosztów obejmujących wszystkie składowe, w tym także koszty użytkowników autostrad.
 4. Istotnym elementem decyzyjnym w przypadku Niemiec jest dobrze rozbudowana sieć dróg powodująca, że w prognozach ruchu nie pojawiają się gwałtowne wzrosty ruchu przypisane do określonych lat, które wskazywałyby na zasadność zmiany typu projektowanego przekroju poprzecznego autostrady począwszy od określonego roku.
 5. W przypadku etapowego rozwoju przekroju poprzecznego dróg rezerwa terenu pozostawiona w obszarze pasa dzielącego jezdnie przyczynia się do szybszej realizacji tej inwestycji i znacznego zmniejszenia strat ponoszonych przez użytkowników drogi w czasie jej przebudowy.

Rekomendacje. Biorąc pod uwagę przeprowadzone analizy **rekomenduje się** do przygotowywanych wytycznych ustalania sposobu etapowania poszerzenia przekroju poprzecznego drogi:

1. Przyjmowanie przekroju początkowego wyposażonego w liczbę pasów ruchu zapewniającą dopuszczalny poziom warunków ruchu przez okres nie krótszy niż 10 lat od roku oddania do ruchu.
2. Pozostawiania (w miarę możliwości) rezerwy terenu niezbędnej do uzyskania przekroju docelowego w obszarze poszerzonego pasa dzielącego jezdnie.

3. Przyjęcie symetrycznego sposobu poszerzania jezdni od przekroju początkowego do przekroju docelowego.

3. UWARUNOWANIA POTRZEB I MOŻLIWOŚCI POSZERZANIA JEZDNI DRÓG SZYBKIEGO RUCHU W POLSCE

W niniejszym rozdziale przedstawiono wyniki analiz stanu istniejącego na drogach krajowych zarządzanych przez GDDKiA z podziałem na autostrady, dwujezdniowe drogi ekspresowe oraz dwujezdniowe drogi klasy G i GP. Wybór tych dróg podyktowany został dostępnością danych o drogach. Do analiz wykorzystano dane: o ruchu z Generalnego Pomiaru Ruchu 2015 [21], o przekrojach i otoczeniu drogi z Banku Danych Drogowych [22], o wypadkach i ofiarach oraz kosztach wypadków z policyjnej bazy SEWIK i bazy o wypadkach GDDKiA SEZAR [20, 35]. W wyniku eksploracji tych baz zebrano dane o:

- a) długościach wszystkich dróg i długości dróg krajowych w Polsce oraz o natężeniu ruchu i pracy przewozowej na drogach krajowych zarządzanych przez GDDKiA z podziałem na klasę i typ przekroju drogi,
- b) przekrojach poprzecznych dróg krajowych: szerokościach pasów ruchu, pasów dzielących, pasów awaryjnych na dwujezdniowych drogach krajowych,
- c) poziomie bezpieczeństwa ruchu drogowego, na odcinkach referencyjnych analizowanych dróg krajowych,
- d) natężeniach ruchu, udziale pojazdów ciężarowych, prędkościach swobodnych, poziomach swobody ruchu na wszystkich odcinkach referencyjnych analizowanych dróg krajowych,
- e) stanie zaawansowania budowy sieci dróg ruchu szybkiego w kolejnych latach,

Ponadto pozyskano dane o Krajowym Modelu Ruchu Drogowego oraz aktualnie obowiązujących zasadach opracowywania prognoz ruchu drogowego w Polsce.

3.1 Charakterystyka analiz

W niniejszym rozdziale przedstawiono wyniki analiz stanu istniejącego na drogach krajowych zarządzanych przez GDDKiA z podziałem na autostrady, dwujezdniowe drogi ekspresowe oraz dwujezdniowe drogi klasy G i GP. Wybór tych dróg podyktowany został dostępnością danych o drogach. Do analiz wykorzystano dane: o ruchu z Generalnego Pomiaru Ruchu 2015 [21], o przekrojach i otoczeniu drogi z Banku Danych Drogowych [22], o wypadkach i ofiarach oraz kosztach wypadków z policyjnej bazy SEWIK i bazy o wypadkach GDDKiA SEZAR [20, 35]. W wyniku eksploracji tych baz zebrano dane o:

- długościach wszystkich dróg i długości dróg krajowych w Polsce oraz o natężeniu ruchu i pracy przewozowej na drogach krajowych zarządzanych przez GDDKiA z podziałem na klasę i typ przekroju drogi,

- przekrojach poprzecznych dróg krajowych: szerokościach pasów ruchu, pasów dzielących, pasów awaryjnych na dwujezdniowych drogach krajowych,
- poziomie bezpieczeństwa ruchu drogowego, na odcinkach referencyjnych analizowanych dróg krajowych,
- natężeniach ruchu, udziale pojazdów ciężarowych, prędkościach swobodnych, poziomach swobody ruchu na wszystkich odcinkach referencyjnych analizowanych dróg krajowych,
- stanie zaawansowania budowy sieci dróg ruchu szybkiego w kolejnych latach,

Ponadto pozyskano dane o Krajowym Modelu Ruchu Drogowego oraz aktualnie obowiązujących zasadach opracowywania prognoz ruchu drogowego w Polsce.

3.2 Drogi krajowe

3.2.1 Drogi krajowe zarządzane przez GDDKiA

Długość dróg o nawierzchni twardej w Polsce wynosi ponad 290 tys. km (stan na 31.12.2015). Najwięcej jest dróg gminnych (44% długości) i powiatowych (39%). Od roku 2011 długość dróg zwiększyła się o niecałe 4%. Największy przyrost był na drogach gminnych (wzrost o ponad 9%), natomiast długość dróg powiatowych spadła o 1,4% (tablica 3.1, rys. 3.1).

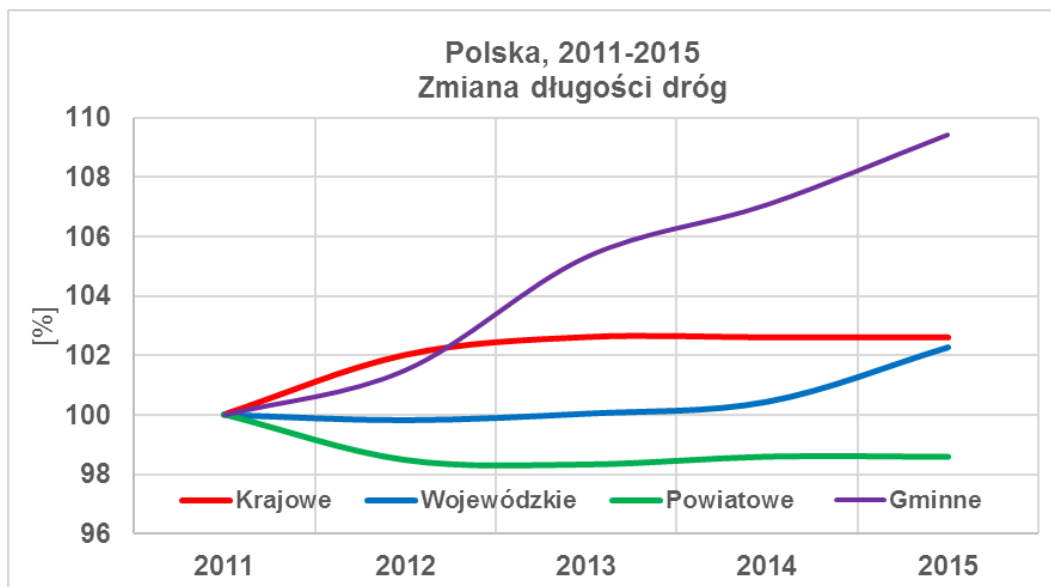
Drogi krajowe stanowią tylko niecałe 6,6% długości wszystkich dróg w Polsce. Sieć dróg krajowych o długości 18018,6 km, co stanowi 93% całej długości dróg krajowych w Polsce), jest zarządzana przez Generalną Dyрекcję Dróg Krajowych i Autostrad (GDDKiA). Obejmują one wszystkie drogi krajowe w powiatach ziemskich oraz drogi ekspresowe i autostrady na terenie powiatów grodzkich.

Tablica 3.1

Zmiany długości dróg w Polsce w latach 2011 – 2015

Kategoria	2011	2012	2013	2014	2015
	[km]	[km]	[km]	[km]	[km]
Krajowe	18799,2	19180,9	19294,7	19292,9	19292,6
Wojewódzkie	28412,6	28361,7	28423,6	28537,4	29056,6
Powiatowe	116364,1	114589,4	114409,8	114717,2	114712,3
Gminne	116824,6	118587,1	123037	125102,4	127857,6
Razem	280400,5	280719,1	285165,1	287649,9	290919,1

Źródło: opracowanie własne na podstawie [25]



Rys. 3.1 Procentowy wzrost długości dróg w Polsce w latach 2011-2015.

Źródło: opracowanie własne na podstawie [25]

Sieć dróg krajowych składa się z 7829 odcinków referencyjnych. Każdy odcinek referencyjny drogi posiada zakodowaną informację o: numerze drogi, kodzie referencyjnym początku i końca, kilometrażu, długości, klasie drogi, numerze jezdni (w przypadku dróg wielojezdniowych odcinek referencyjny jest wyznaczony dla każdej jezdni). Informacje o odcinkach referencyjnych zostały pobrane z Banku Danych Drogowych (BDD) udostępnionym przez GDDKiA [22]. W celu uniknięcia dublowania się rekordów dla dróg dwujezdniowych, zagregowano wszystkie dane do jednego odcinka (jezdni 0). Na tej podstawie wyodrębniono 5884 jednorodnych odcinków referencyjnych, którym przypisano klasę drogi, przekrój oraz dane o ruchu uzyskane z generalnego pomiaru ruchu w 2015 roku [21]. Umożliwiło to podział dróg ze względu na klasę oraz przekrój drogi oraz obliczenie natężenia ruchu, pracy przewozowej, poziomów swobody ruchu oraz poziomów bezpieczeństwa ruchu drogowego.

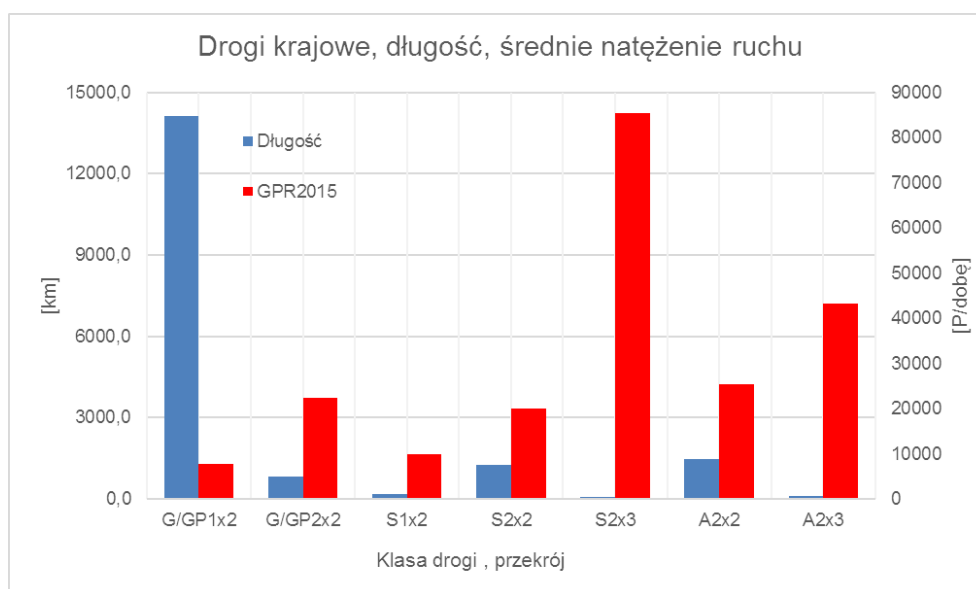
Największy udział w drogach krajowych mają jednojezdniowe drogi klasy G i GP - 14136 km (ponad 78% długości dróg krajowych). Długość dróg dwujezdniowych wynosi 3707 km, co stanowi niecałe 21% długości dróg krajowych. Porównując pracę przewozową na drogach jedno- i dwujezdniowych, jej udział na drogach dwujezdniowych jest znacznie wyższy niż na drogach jednojezdniowych i wynosi prawie 45%. Wskazuje to na znacznie większe obciążenie ruchem na drogach dwujezdniowych. Średnie natężenie ruchu w czasie doby na dwujezdniowych drogach wynosi od 20 tys. P/dobę (S2/2) do prawie 86 tys. P/dobę (S2/3) i jest prawie 11-krotnie większe do średniego natężenia na drogach jednojezdniowych (tablica 3.2, rys. 3.2).

Tablica 3.2

Długość, praca przewozowa oraz średnie natężenie ruchu na drogach krajowych zarządzanych przez GDDKiA z podziałem na klasę i przekrój w 2015

Klasa, typ drogi	Długość		Praca przewozowa		Natężenie
	[km]	[%]	[mld pkm/rok]	[%]	[P/dobę]
G/GP1/2	14135,6	78,4	40,06	54,5	7765
G/GP2/2	840,8	4,7	6,87	9,3	22383
S1/2	176,1	1,0	0,64	0,9	9974
S2/2	1255,5	7,0	9,17	12,5	20003
S2/3	55,1	0,3	1,72	2,3	85367
A2/2	1456,4	8,1	13,49	18,3	25372
A2/3	99,2	0,6	1,57	2,1	43259
Razem/średnia	18018,6	100,0	73,51	100,0	11177

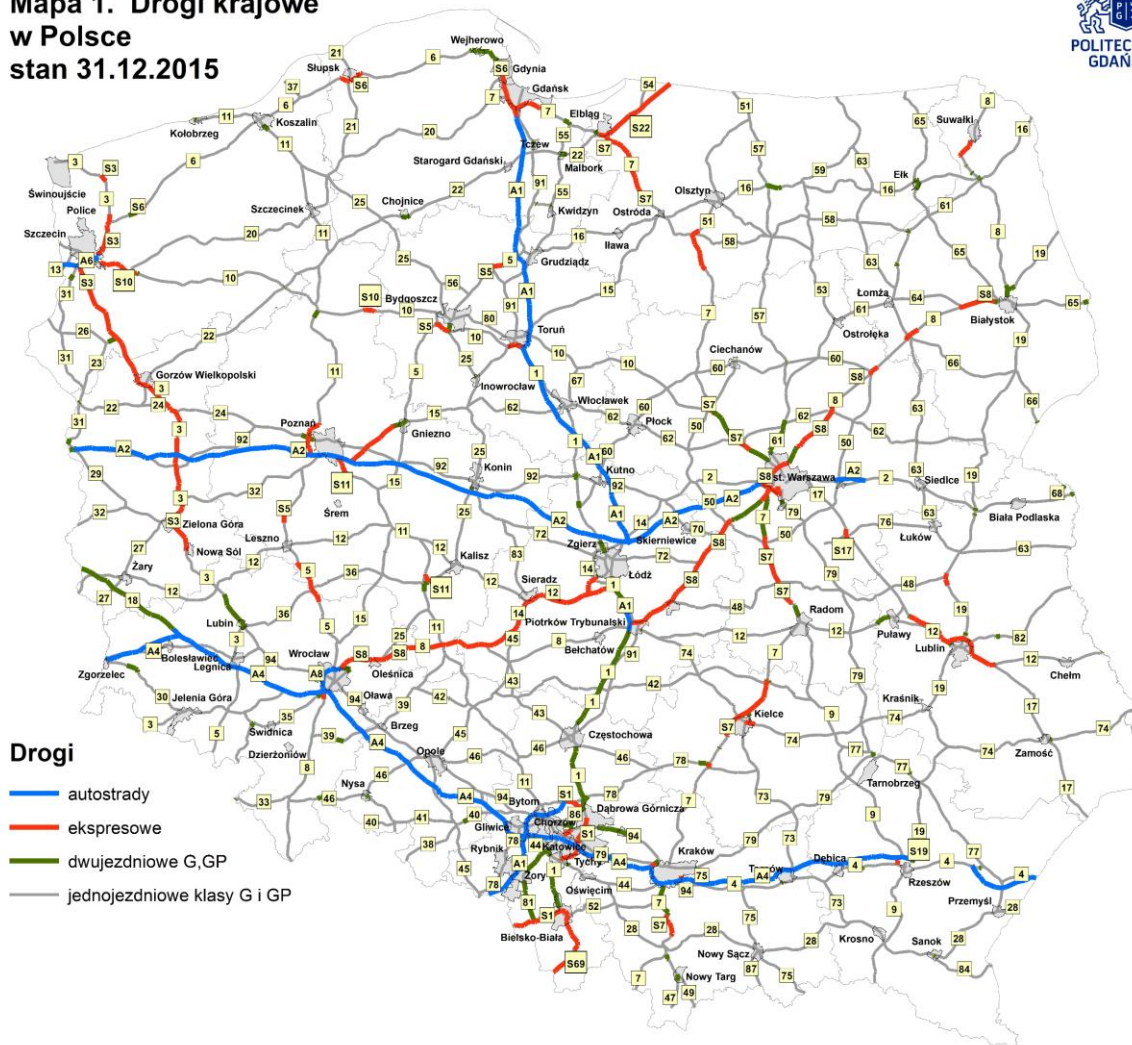
Źródło: opracowanie własne na podstawie [22]



Rys. 3.2 Rozkład długości oraz średniego natężenia ruchu na drogach krajowych z podziałem na klasę drogi i typ przekroju poprzecznego w 2015.

Źródło: opracowanie własne na podstawie [21, 22]

**Mapa 1. Drogi krajowe
w Polsce
stan 31.12.2015**



Rys. 3.3 Drogi krajowe w Polsce (stan 31.12.2015).

Źródło: opracowanie własne na podstawie [22]

3.2.2 Drogi ruchu szybkiego

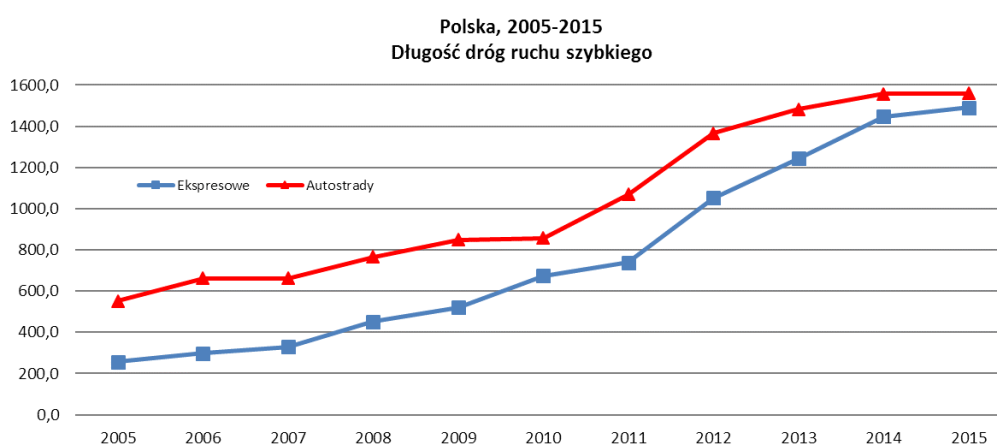
Długości autostrad oraz dróg ekspresowych (drs) w Polsce w latach 2011 - 2015 zwiększyły się. Największy przyrost długości względem roku poprzedniego nastąpił w roku 2012. Przybyło wówczas niemal 400 km autostrad oraz 300 km dróg ekspresowych. W kolejnych latach (2013 – 2014) przyrost długości dróg ekspresowych był niemal liniowy – co roku przybywało ok. 200 km dróg, podczas gdy nastąpił spadek przyrostu autostrad – przez 2 lata zostało oddane do użytku niespełna 200 km (tablica 3.3, rys. 3.4, rys. 3.5).

Tablica 3.3

Zmiany długości autostrad i dróg ekspresowych w Polsce w latach 2011 – 2015

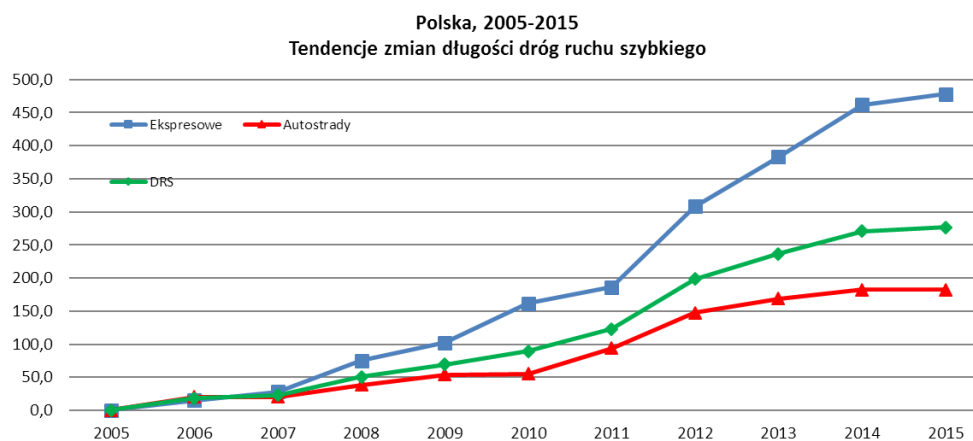
Rok	Drogi ekspresowe		Autostrady	
	[km]	[%]	[km]	[%]
2011	737,6	0	1069,6	0
2012	1052,4	42,7	1365,1	85,1
2013	1244,3	68,7	1481,8	100,9
2014	1447,5	96,2	1556,4	111,0
2015	1492,2	102,3	1559,2	111,4

Źródło: opracowanie własne na podstawie [25]



Rys. 3.4 Zmiana długości dróg ruchu szybkiego ruchu w Polsce w latach 2005-2015.

Źródło: opracowanie własne na podstawie [25]



Rys. 3.5 Procentowy wzrost długości dróg ruchu szybkiego w Polsce w latach 2005-2015.

Źródło: opracowanie własne na podstawie [25]

3.2.3 Przekroje poprzeczne dróg na krajowych drogach dwujezdniowych

Wykorzystując dostępne dane z BDD [22] zestawiono dane o szerokościach pasów ruchu, pasów awaryjnych oraz pasów dzielących na istniejących autostradach, dwujezdniowych drogach ekspresowych oraz drogach klasy G i GP.

Przekroje poprzeczne. Na istniejących autostradach i drogach ekspresowych najczęściej projektowanym przekrojem jest przekrój o dwóch pasach ruchu (94% długości). Autostrada A8, droga ekspresowa S2, S79, S86 mają przekrój 2-jezdniowy o 3 pasach ruchu (tablica 3.4). Na wybranych odcinkach drs występują dodatkowe jezdnie serwisowe równoległe do jezdni głównej.

Tablica 3.4

Zestawienie klasy drogi, długości oraz przekroju na istniejących autostradach, dwujezdniowych drogach ekspresowych

Droga	Klasa	2/2	2/3	2/2+3s 2/3+2s	Droga	Klasa	2/2	2/3	2/2+3s 2/3+2s
		[km]	[km]	[km]			[km]	[km]	[km]
A1	A	368,0	36,6		S10	S	30,7	0,0	
A2	A	467,9	4,0		S11	S	42,7	0,0	
A4	A	592,9	25,1	10,71	S12	S	47,3	0,0	
A6	A	25,3	0,0		S14	S	13,5	0,0	
A8	A	0,0	22,7		S17	S	35,8	0,0	
A18	A	5,6	0,0		S19	S	9,1	0,0	
S1	S	70,5	0,0		S22	S	2,5	0,0	
S2	S	0,0	15,3		S51	S	5,6	0,0	
S3	S	200,3	0,0		S61	S	12,8	0,0	
S5	S	81,7	0,0		S69	S	28,5	0,0	
S6	S	47,4	6,4		S74	S	6,5	0,0	
S7	S	237,4	0,0		S79	S	0,0	4,8	
S8	S	386,5	20,4	2,2	S86	S	0,0	5,9	
Autostrady					[km]	1459,7	88,5	10,7	
					[%]	93,6	5,7	0,7	
Ekspresowe					[km]	1258,8	52,9	2,2	
					[%]	95,8	4,0	0,2	

Oznaczenia: 2/2+3s – dwa pasy na jezdni głównej i 3 pasy na jezdni serwisowej, 2/3+2s – trzy pasy na jezdni głównej i 2 pasy na serwisowej.

Źródło: opracowanie własne na podstawie [22]

W przypadku dwujezdniowych dróg klasy G i GP typowym przekrojem jest przekrój o dwóch pasach ruchu (842,7 km). Tylko na bardzo krótkim odcinku na drodze nr 1: węzeł Rzgów – Tuszyn (2,6 km) w kierunku Częstochowy występują 3 pasy ruchu (tablica 3.5).



Rys. 3.6 Autostrada A4 – odcinek węzeł Ruda Śląska – węzeł Katowice – przykład przekroju autostrady z dodatkowymi jezdniami (2/3+2s).

Źródło: maps.google.com

Tablica 3.5

Zestawienie klasy drogi, długości oraz przekroju na istniejących dwujezdniowych drogach klasy G i GP

Droga krajowa nr	Przekrój		Droga krajowa nr	Przekrój		Droga krajowa nr	Przekrój		Droga krajowa nr	Przekrój	
	2/2 [km]	2/3 [km]		2/2 [km]			2/2 [km]			2/2 [km]	
1	155,7	2,6	19	13,0		42	3,2		78	12,9	
2	6,2	0,0	22	9,9		44	6,5		79	3,6	
3	27,1	0,0	24	1,2		45	0,5		80	0,4	
4	0,2	0,0	25	8,4		46	5,6		81	49,0	
5	17,3	0,0	26	6,5		47	8,3		82	1,4	
6	25,5	0,0	27	0,7		49	1,2		84	1,3	
7	103,3	0,0	29	1,5		60	1,1		86	16,5	
8	52,4	0,0	30	8,9		61	23,8		90	1,6	
10	4,5	0,0	31	8,6		62	0,5		91	18,9	
11	17,4	0,0	32	1,3		65	8,7		92	14,8	
12	12,5	0,0	35	9,6		66	2,3		94	37,4	
14	1,6	0,0	36	2,1		68	2,0		95	0,1	
15	0,6	0,0	38	0,2		71	0,2		97	2,3	
16	15,3	0,0	39	4,7		73	3,0		98	7,5	
17	1,0	0,0	40	4,7		74	2,3				
18	70,9	0,0	41	2,4		77	10,7				
Razem	842,7	2,6									

Źródło: opracowanie własne na podstawie [22]

Szerokość pasa ruchu. Na autostradach A1, A2, A4 szerokość pasa ruchu wynosi 3,75 m, na A6, A8 – 3,5 m, na tej drugiej 3,5-metrowe pasy występują na odcinku 3-pasowym, na pozostałym odcinku szerokość pasa wynosi 3,75 m. Na autostradzie A18 szerokość pasa

wynosi powyżej 3,75 m na całej długości. Na drogach ekspresowych szerokość pasa do jazdy na wprost wynosi 3,5 m (96% długości odcinków). Szersze pasy ruchu (3,75) występują na odcinkach dróg S3 (12% długości całej drogi), S7 (7%), S5 (6%) (tablica 3.6).

Tablica 3.6

Zestawienie udziału szerokości pasa ruchu na wprost na autostradach i drogach ekspresowych

Droga	Szerokość pasa [m]					Droga	Szerokość pasa [m]				
	≤3	3-3,5	3,5-3,75	3,75-4	>4		≤3	3-3,5	3,5-3,75	3,75-4	>4
	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]		[%]	[%]	[%]	[%]	[%]
A1	0,7	0,2	99,1	0,0	0,0	S1	0,0	99,4	0,4	0,2	0,0
A2	0,0	1,4	98,3	0,0	0,3	S2	0,0	100,0	0,0	0,0	0,0
A4	0,0	1,7	95,7	0,1	2,5	S3	0,0	88,3	11,7	0,0	0,0
A6	0,0	94,4	5,6	0,0	0,0	S5	0,3	93,8	5,9	0,0	0,0
A8	0,0	85,1	14,9	0,0	0,0	S6	0,1	99,9	0,0	0,0	0,0
A18	0,0	0,0	0,0	50,0	50,0	S7	0,0	92,1	7,4	0,1	0,4
Średnia	0,2	5,7	92,2	0,3	1,6	S8	0,0	100,0	0,0	0,0	0,0
						S10	2,6	97,4	0,0	0,0	0,0
						S11	0,0	99,8	0,1	0,0	0,1
						S12	0,4	99,0	0,6	0,0	0,0
						S14	0,0	100,0	0,0	0,0	0,0
						S17	0,2	99,8	0,0	0,0	0,0
						S19	2,8	97,2	0,0	0,0	0,0
						S22	0,0	100,0	0,0	0,0	0,0
						S51	0,0	98,0	0,0	0,0	2,0
						S61	0,0	100,0	0,0	0,0	0,0
						S69	0,1	99,9	0,0	0,0	0,0
						S74	0,0	100,0	0,0	0,0	0,0
						S79	0,0	100,0	0,0	0,0	0,0
						S86	0,0	100,0	0,0	0,0	0,0
						Średnia	0,1	96,3	3,4	0,0	0,1

Źródło: opracowanie własne na podstawie [22]

Na drogach dwujezdniowych klasy G i GP na największej liczbie odcinków szerokość pasa ruchu wynosi 3,5 m (na 74% długości). Na drogach krajowych nr: 2, 5, 15, 45, 94 występują odcinki o szerokości pasa 3,75 m (na ponad 20% długości). Tylko niecałe 6% długości stanowią odcinki o szerokości mniejszej niż 3 m oraz większej niż 3,75 m (tablica 3.7).

Tablica 3.7

Zestawienie udziału szerokości pasa ruchu na wprost na dwujezdniowych drogach klasy G i GP

Droga	Szerokość pasa [m]	Droga	Szerokość pasa [m]
-------	--------------------	-------	--------------------

	≤3	3-3,5	3,5-3,75	3,75-4	>4		≤3	3-3,5	3,5-3,75	3,75-4	>4
	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]		[%]	[%]	[%]	[%]	[%]
1	1,9	55,1	43,0	0,0	0,0	41	0,0	100,0	0,0	0,0	0,0
2	0,0	66,5	3,3	25,9	4,3	42	12,1	84,2	0,7	0,8	2,2
3	0,0	100,0	0,0	0,0	0,0	44	0,0	100,0	0,0	0,0	0,0
4	0,0	100,0	0,0	0,0	0,0	45	80,5	0,0	0,0	19,5	0,0
5	0,0	52,3	15,7	32,0	0,0	46	0,0	100,0	0,0	0,0	0,0
6	2,9	92,0	4,6	0,4	0,0	47	0,0	99,4	0,0	0,6	0,0
7	0,3	98,9	0,7	0,0	0,0	49	0,0	100,0	0,0	0,0	0,0
8	1,1	97,5	0,0	0,1	1,4	60	0,0	100,0	0,0	0,0	0,0
10	0,5	88,3	6,5	0,0	4,6	61	0,8	88,9	0,0	0,0	10,2
11	0,7	79,0	10,0	4,4	5,9	62	0,0	96,4	0,0	3,6	0,0
12	0,7	94,1	1,6	1,3	2,2	65	0,6	50,1	0,0	47,8	1,5
14	0,0	100,0	0,0	0,0	0,0	66	0,0	100,0	0,0	0,0	0,0
15	0,0	70,3	0,0	29,7	0,0	68	brak danych				
16	0,9	79,5	0,0	6,3	13,3	71	0,0	0,0	100,0	0,0	0,0
17	5,8	94,2	0,0	0,0	0,0	73	0,0	100,0	0,0	0,0	0,0
18	0,0	0,0	88,2	11,8	0,0	74	29,5	70,5	0,0	0,0	0,0
19	0,2	99,6	0,0	0,0	0,1	77	3,5	75,7	0,6	20,3	0,0
22	0,0	98,3	0,0	0,8	0,9	78	0,0	100,0	0,0	0,0	0,0
24	0,0	63,9	0,0	0,0	36,1	79	0,0	94,0	0,0	5,4	0,6
25	10,7	85,3	2,8	1,1	0,0	80	28,3	71,7	0,0	0,0	0,0
26	69,2	8,7	0,0	0,2	22,0	81	0,0	100,0	0,0	0,0	0,0
27	38,6	0,0	3,5	2,8	55,1	82	0,0	93,2	0,0	0,0	6,8
29	0,0	100,0	0,0	0,0	0,0	84	0,0	0,0	0,0	0,0	100,0
30	44,6	37,7	17,3	0,1	0,2	86	0,0	100,0	0,0	0,0	0,0
31	49,9	42,2	0,0	6,9	1,0	90	0,0	97,4	0,0	0,0	2,6
32	12,1	67,4	0,0	13,3	7,2	91	0,5	89,9	0,8	8,8	0,0
35	1,3	98,1	0,0	0,6	0,0	92	2,0	98,0	0,0	0,0	0,0
36	18,1	75,1	0,0	2,4	4,4	94	0,1	63,1	36,8	0,0	0,1
38	0,0	0,0	0,0	0,0	100,0	95	0,0	100,0	0,0	0,0	0,0
39	2,1	83,0	0,0	0,0	14,9	97	0,0	100,0	0,0	0,0	0,0
40	0,8	97,8	0,0	1,4	0,0	98	0,0	99,5	0,0	0,0	0,5
Średnia						[%]	1,9	73,9	20,1	3,1	1,2

Źródło: opracowanie własne na podstawie [22]

Szerokość pasa dzielącego. Na autostradach najwięcej jest odcinków o szerokości pasa ruchu poniżej 5 m (66% długości odcinków). Taka szerokość uniemożliwia dobudowanie poszerzenia wewnątrz drogi. Tylko na niecałych 30% odcinków szerokość pasa jest powyżej 10 m (A1 – 13%, A2 – 21%, A4 17%). Na autostradach A6, A8, A18 (na odcinkach, dla których uzyskano dane) nie występują szerokie pasy dzielące (pow. 10 m) umożliwiające poszerzenie drogi wewnątrz (tablica 3.8).

W przypadku dróg ekspresowych, podobnie jak w przypadku autostrad na prawie 63% odcinkach szerokość pasa dzielącego nie przekracza 4 m. Szeroki pas środkowy (powyżej 10 m) występuje na 16,5% odcinków: S5 (36,1%), S7 (24%), S17 (60%), S69 oraz na prawie

całej drodze S51 szerokość pasa dzielącego wynosi powyżej 10 m, co będzie umożliwiać wykorzystanie go do budowy 3 pasa ruchu (tablica 3.8, rys. 3.7).

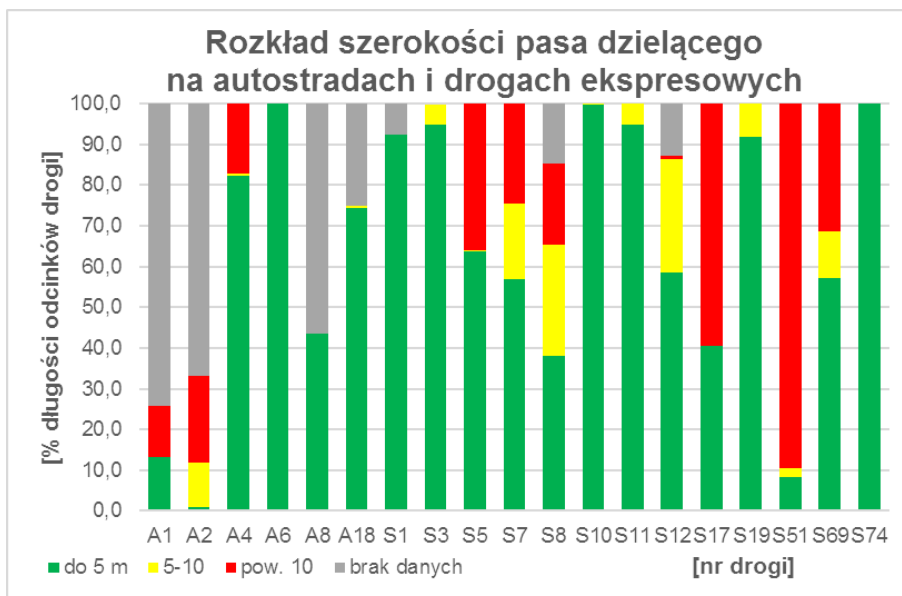
Tablica 3.8

Zestawienie rozkładów szerokości pasa dzielącego na autostradach i drogach ekspresowych

Droga	Szerokość pasa dzielącego [m]								
	≤1	1-2	2-3	3-4	4-5	5-6	6-10	>10	brak danych*
	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]
A1	0,0	0,0	0,0	13,2	0,0	0,0	0,0	12,5	74,3
A2	0,0	0,0	0,0	0,9	0,0	0,5	10,6	21,2	66,8
A4	0,0	27,3	10,4	44,6	0,1	0,3	0,2	17,1	0,0
A6	0,0	75,3	24,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
A8	0,0	0,0	0,0	0,4	43,1	0,0	0,0	0,0	56,5
A18	0,0	0,0	0,0	0,0	74,3	0,6	0,0	0,0	25,1
Średnia A	0,0	21,8	8,1	35,4	1,5	0,4	5,5	27,3	-
S1	0,1	16,1	52,9	23,4	0,0	0,0	0,0	0,0	7,5
S3	0,1	55,1	3,0	31,8	5,0	2,8	2,1	0,0	0,0
S5	0,0	0,0	0,3	63,3	0,2	0,0	0,1	36,1	0,0
S7	0,2	28,0	8,4	14,6	5,7	16,4	2,3	24,4	0,0
S8	0,2	0,4	24,5	10,7	2,3	27,4	0,0	19,9	14,6
S10	0,3	80,0	19,1	0,0	0,3	0,3	0,0	0,0	0,0
S11	0,0	0,0	0,2	93,9	0,7	3,5	1,7	0,0	0,0
S12	0,0	6,2	51,9	0,4	0,0	22,7	5,2	0,9	12,7
S14	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	100,0	0,0	0,0	0,0
S17	0,0	1,6	35,2	3,1	0,5	0,0	0,0	59,6	0,0
S19	0,0	20,6	69,4	0,0	1,9	4,1	4,0	0,0	0,0
S51	0,0	0,0	0,0	8,4	0,0	0,0	2,0	89,6	0,0
S69	0,1	0,1	0,4	36,2	20,3	5,9	5,7	31,3	0,0
S74	0,0	100,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Średnia S	0,1	22,7	17,3	22,5	3,5	16,0	1,3	16,5	-

*) W przypadku dróg: S2, S6, S22, S61, S79, S86 w BDD występują braki danych o szerokości pasa dzielącego na więcej niż 95% długości odcinków i nie zostały one uwzględnione w analizie.

Źródło: opracowanie własne na podstawie [22]



Rys. 3.7 Rozkład szerokości pasa dzielącego na autostradach i drogach ekspresowych.

Źródło: opracowanie własne na podstawie [22]

Na drogach dwujezdniowych klasy G i GP analizę szerokości pasów dzielących przeprowadzono tylko dla odcinków o całkowitej długości powyżej 5 km. Na podstawie zebranych danych można stwierdzić, że na istniejących drogach nie występują rezerwy w środkowym pasie dzielącym umożliwiające budowę dodatkowego pasa ruchu. Najwięcej odcinków jest o szerokości pasa ruchu poniżej 5 m (94% długości odcinków). Taka szerokość uniemożliwia dobudowanie poszerzenia wewnątrz drogi. Tylko na krótkich odcinkach drogi 16, 2, 77, 25 (odpowiednio 17% długości, 8%, 4%, 2%). Jednak całkowita długość wszystkich odcinków dróg nie przekracza 7 km, co wskazuje na brak zasadności wykorzystania tego pasa do poszerzenia (tablica 3.9, rys. 3.8).

Tablica 3.9

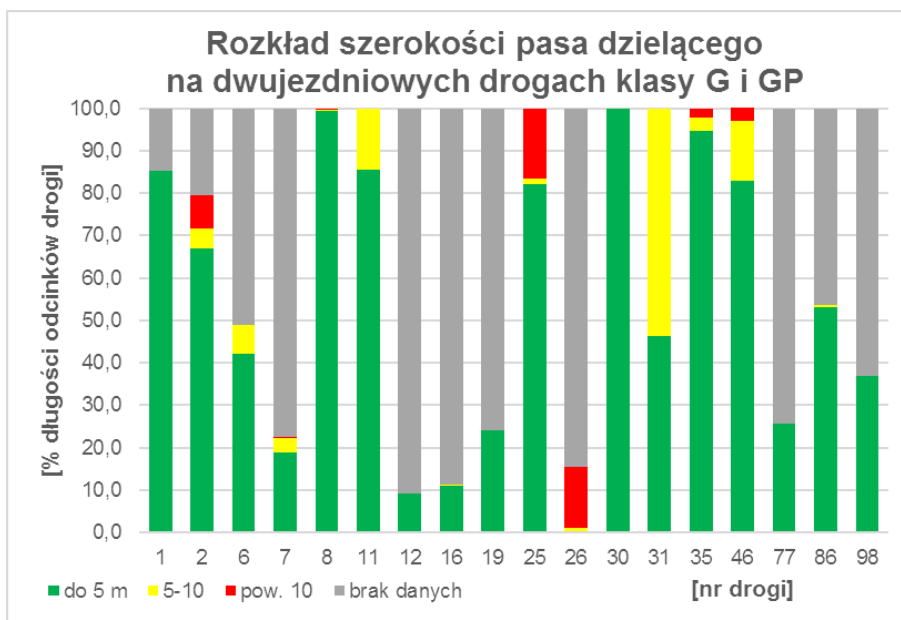
Zestawienie udziału szerokości pasa dzielącego na dwujezdniowych drogach klasy G i GP

Droga	Szerokość pasa dzielącego [m]								
	≤1	1-2	2-3	3-4	4-5	5-6	6-10	>10	brak danych*
	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]
1	0,1	15	2,8	27	41	0	0	0	15
2	0	4,1	10	31	21	0	4,8	7,8	20
6	0,2	3,9	0,7	21	16	5	1,7	1,4	50
7	0	8,3	5,9	0,1	4,7	2,2	1,1	0,4	77
8	6,7	26	14	53	0,2	0,2	0	0	0
11	1,4	20	23	26	14	2,3	12	0	0
12	0	3,3	0,5	3,2	2,1	0	0	0	91
16	0	1,9	8,9	0	0,2	0,4	0	17	72
19	0	24	0	0	0	0	0	0	76
25	0	3	0,4	93	0,7	0,1	1,1	2,2	0

Droga	Szerokość pasa dzielącego [m]								
	≤1	1-2	2-3	3-4	4-5	5-6	6-10	>10	brak danych*
	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]
30	0	0	1,2	0	99	0	0	0	0
31	0	1,4	19	26	0	51	3	0	0
35	2,1	80	13	0	1	0	3,4	0	0
46	40	0	2,4	39	3,5	0	15	0	0
77	0	0	25	0,6	0,5	0	0	3,6	71
86	0,3	7,7	13	33	0	0,5	0	0	46
98	0	36	0,5	0	0	0	0	0	63
Średnia	3,1	21,3	10,7	34,3	24,7	2,5	1,7	1,7	-

*) W przypadku dróg: 3, 5, 18, 22, 44, 47, 61, 65, 78, 81, 91, 92, 94 w BDD występują braki danych o szerokości pasa dzielącego na więcej niż 95% długości odcinków i nie zostały one uwzględnione w analizie.

Źródło: opracowanie własne na podstawie [22]



Rys. 3.8 Rozkład szerokości pasa dzielącego na dwujezdniowych drogach klasy G i GP.

Źródło: opracowanie własne na podstawie [22]

Pas awaryjny. Na autostradach A6, A2, A4, A8 występuje pas awaryjny o szerokości 3 m (na 94% długości odcinków). Na odcinku Legnica – Wrocław na autostradzie A4 na wielu odcinkach nie występuje pas awaryjny, występują jedynie zatoki postojowe. W przypadku dróg ekspresowych szerokość pasa awaryjnego wynosi 2,5 m (na 92% długości dróg). Na drogach dwujezdniowych klasy G i GP nie występują pasy awaryjne (tablica 3.10).

Szerokość pasa dzielącego jezdnie pod obiektami inżynierskimi (wiaduktami). Ze względu na brak danych o poprzecznych obiektach inżynierskich (wiaduktów) w ciągu drogi w BDD przeprowadzono analizę z wykorzystaniem filmów nagranych w trakcie własnych przejazdów po wybranych odcinkach dróg. Obserwację prowadzono pod kątem możliwości dodania pasa ruchu pod wiaduktami (z prawej lub lewej strony). Brano pod uwagę ilość

miejsca, które wraz z istniejącym poboczem mogłyby zostać przeznaczone pod budowę trzeciego pasa ruchu. Przeanalizowano następujące fragmenty dwóch autostrad oraz drogi ekspresowej:

- Autostrada A1 na odcinku: węzeł Rusocin – węzeł Łódź Północ,
- Autostrada A4 na odcinku: węzeł Zgorzelec – węzeł Radymno,
- Droga ekspresowa S7 na odcinkach: węzeł Straszyn – Gdańsk – Koszwały, węzeł Elbląg – Miłomłyn, Olsztynek – Rączki.

Tablica 3.10

Zestawienie udziału szerokości pasa awaryjnego na autostradach i drogach ekspresowych

Droga	Szerokość części pasa dzielącego jezdnie (między krawędzią jezdni i barierą drogową) [m]						Droga	Szerokość części pasa dzielącego jezdnie (między krawędzią jezdni i barierą drogową) [m]					
	≤1,5	1,5 - 2,0	2,0 - 2,5	2,5 - 3	>3	Brak dan.*		≤1,5	1,5 - 2,0	2,0 - 2,5	2,5 - 3	>3	brak dan.*
	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]		[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]
A1	0	0	0	53,5	0,4	46,1	S8	0,1	0,6	81	1,1	1,2	16
A2	0	0	0	43,1	0,4	56,5	S10	0	0	61,9	2,2	0	35,9
A4	0,3	0,1	5	63,2	1,9	29,5	S11	0,8	0,8	74,1	1,2	0	23,1
A6	0,7	0	9,9	89,4	0	0	S12	2,6	8,6	72,3	1,6	1,3	13,6
A8	0	0	0	100	0	0	S14	0	0	100	0	0	0
A18	0	0	0	3,9	6,4	89,7	S17	2,4	1	82	0	0	14,6
Śr. A	0,2	0,1	3,7	94,4	1,7	-	S19	3,1	0,6	69,3	2,4	2,4	22,2
S1	0	0,9	18,1	21,6	1,8	57,6	S61	0	0	57,6	0	0	42,4
S2	0,1	13,4	83,2	3,2	0	0	S69	0	4,7	13,8	63,5	3,1	14,9
S3	0	1,6	97,8	0,1	0,5	0	S74	0	0	100	0	0	0
S5	0	0	92,4	3,9	3,7	0	S79	0,1	22	77,4	0,3	0,2	0
S7	0,1	0,4	55,8	0,7	0,1	42,9	Śred. S	0,4	1,6	92,0	4,7	1,2	-

*) W przypadku dróg: S6, S22, S51, S86 w BDD występują braki danych o szerokości pasa awaryjnego na więcej niż 95% długości odcinków i nie zostały one uwzględnione w analizie.

Źródło: opracowanie własne na podstawie [22]

Na autostradzie A1 w znacznej większości przypadków zaobserwowano wiadukty z rezerwą terenu umożliwiające poszerzenie przekroju poprzecznego drogi (rys. 3.9). Tylko niecałe 12%, co stanowi 17 wiaduktów, takowej rezerwy nie posiada (rys. 3.10). Najwięcej takich obiektów jest w okolicach Torunia oraz Łodzi (tablica 3.11).

Na autostradzie A4 na większości obiektów nie przewidziano możliwości budowy 3 pasa ruchu. Taka sytuacja może wynikać poniekąd z okresu, w jakim była projektowana ta droga. Na analizowanej drodze tylko ok. 30% obiektów posiada rezerwę pod 3 pasy ruchu (tablica 3.11, rys. 3.11, rys. 3.12).

Z uwagi na obecne przebudowy drogi ekspresowej S7, analizie poddano jedynie wybrane odcinki poszerzone już do przekroju 2/2. Na analizowanych odcinkach znajduje się obecnie

40 wiaduktów, z których tylko w przypadku 11 wiaduktów tj. 27,5% (rys. 3.13, rys. 3.14) istnieje możliwość poszerzenia przekroju drogi wykorzystując pas dzielący jezdnie. Wskazuje to na brak założenia pozostawienia rezerwy terenowej umożliwiającej późniejsze poszerzenie drogi do przekroju 2/3 (tablica 3.11).

Tablica 3.11

Zestawienie danych o liczbie poprzecznych obiektów mostowych z możliwością poszerzenia drogi

Droga	Liczba wiaduktów [szt.]	Długość drogi [km]	Rezerwa terenu pod wiaduktami		Brak rezerwy terenu pod wiaduktami	
			[szt.]	[%]	[szt.]	[%]
A1	159	336	142	88,0%	17	12%
A4	269	628	76	28,3%	193	71,7%
S7	40		11	27,5%	29	72,5%

Źródło: opracowanie własne



Rys. 3.9 Autostrada A1 – przykład wiaduktu z rezerwą terenu na poszerzenie drogi po zewnętrznej stronie.

Źródło: opracowanie własne



Rys. 3.10 Autostrada A1 – przykład wiaduktu bez rezerwy terenu na poszerzenie drogi.

Źródło: opracowanie własne



Rys. 3.11 Autostrada A4 – przykład wiaduktu z rezerwą terenu na poszerzenie drogi po zewnętrznej stronie.

Źródło: opracowanie własne



Rys. 3.12 Autostrada A4 – przykład wiaduktu bez rezerwy terenu na poszerzenie drogi.

Źródło: opracowanie własne



Rys. 3.13 Droga ekspresowa S7 – przykład wiaduktu z rezerwą terenu na poszerzenie drogi po zewnętrznej stronie.

Źródło: opracowanie własne



Rys. 3.14 Droga ekspresowa S7 – przykład wiaduktu bez rezerwy terenu na poszerzenie drogi.

Źródło: opracowanie własne

3.3 Warunki ruchu na krajowych drogach dwujezdniowych

Przeprowadzono analizę i ocenę warunków ruchu na wszystkich odcinkach referencyjnych autostrad, dróg ekspresowych oraz dwujezdniowych dróg krajowych klasy G i GP. Do oceny warunków ruchu wykorzystano metodę HCM 2010 [59]. Do obliczeń przyjęto następujące założenia:

- parametry ruchu z średniej doby w roku, dane o średniorocznym natężeniu ruchu oraz udziale pojazdów ciężarowych – z GPR2015 [21], prędkość ruchu swobodnego została przyjęta na podstawie Krajowego Modelu Ruchu [10],
- niezbędne dane o szerokościach pasów ruchu, odległości wolnej od przeszkód, terenu zabudowanego, gęstości węzłów oraz gęstości wjazdów uzyskano z BDD,
- udział godziny szczytu w natężeniu dobowym WSG – 0,09, wskaźnik zmienności ruchu k_{15} – 0,9, wskaźnik przeliczeniowy dla pojazdów ciężarowych F_{HV} – 1,5, gęstości graniczne dla poszczególnych poziomów swobody ruchu: K_A – 7 P/km/pas, K_B – 11 P/km/pas, K_C – 16 P/km/pas, K_D – 22 P/km/pas, K_E – 28 P/km/pas, K_F - >28 P/km/pas.

Na autostradach i drogach ekspresowych generalnie występują bardzo dobre i dobre warunki (tablica 3.12, rys. 3.15). Jedynie przekroczony poziom swobody ruchu C występuje na odcinkach:

- S8 – na odcinku przejścia przez Warszawę – węzeł Prymasa Tysiąclecia – węzeł Wisłostrada oraz węzeł Puchały – węzeł Opacz, poziom swobody ruchu F,
- S6 – na odcinku Obwodnicy Trójmiasta – węzeł Gdynia Port – węzeł Gdańsk Lotnisko oraz węzeł Karczemki – węzeł Gdańsk Południe, poziom swobody ruchu D,
- S86 – na całym odcinku drogi, poziom swobody ruchu D.

Tablica 3.12

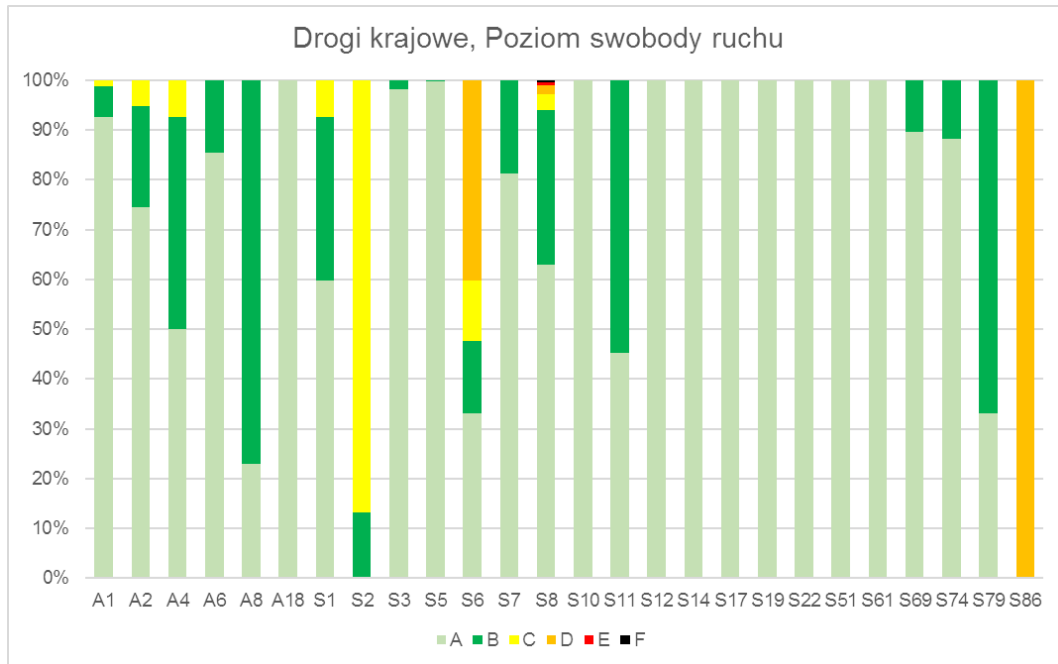
Zestawienie danych o natężeniu ruchu, gęstości ruchu oraz poziomach swobody ruchu na autostradach i drogach ekspresowych

Lp.	Droga	Natężenie		Gęstość ruchu		PSR	
		min	maks.	min	maks.	od	do
		[P/dobę]	[P/dobę]	[P/km/pas]	[P/km/pas]	[-]	[-]
1	A1	10	46520	0,25	30,59	A	C
2	A2	9530	75160	2,07	14,93	A	C
3	A4	1890	100980	0,43	15,48	A	C
4	A6	9520	32330	2,24	7,12	A	B
5	A8	38930	59530	5,95	9,03	A	B
6	A18		9300		2,3		A
7	S1	11150	46340	3,13	11,86	A	C
8	S2	59160	90190	9,58	15,18	B	C
9	S3	10970	31380	2,84	8,01	A	B
10	S5	8520	28460	2,25	7,59	A	B
11	S6	5830	77140	1,51	20,24	A	D
12	S7	8490	40250	2,29	8,71	A	B
13	S8	10170	142270	2,96	30,59	A	F
14	S10	6310	19580	1,74	4,97		A
15	S11	4540	41530	1,18	10,75	A	B
16	S12	8160	24660	2,21	6,2		A
17	S14	11550	16850	2,94	4,14		A
18	S17	12500	15250	3,32	3,96		A
19	S19	6150	15910	1,57	3,98		A
20	S22		3240		0,79		A
21	S51	7500	11320	1,93	2,84		A
22	S61		7280		2,38		A
23	S69	1060	34660	0,25	8,62	A	B
24	S74	18830	32500	4,71	8,06	A	B
25	S79	22390	43330	3,64	7,07	A	B
26	S86		112210		20,71		D

Źródło: opracowanie własne

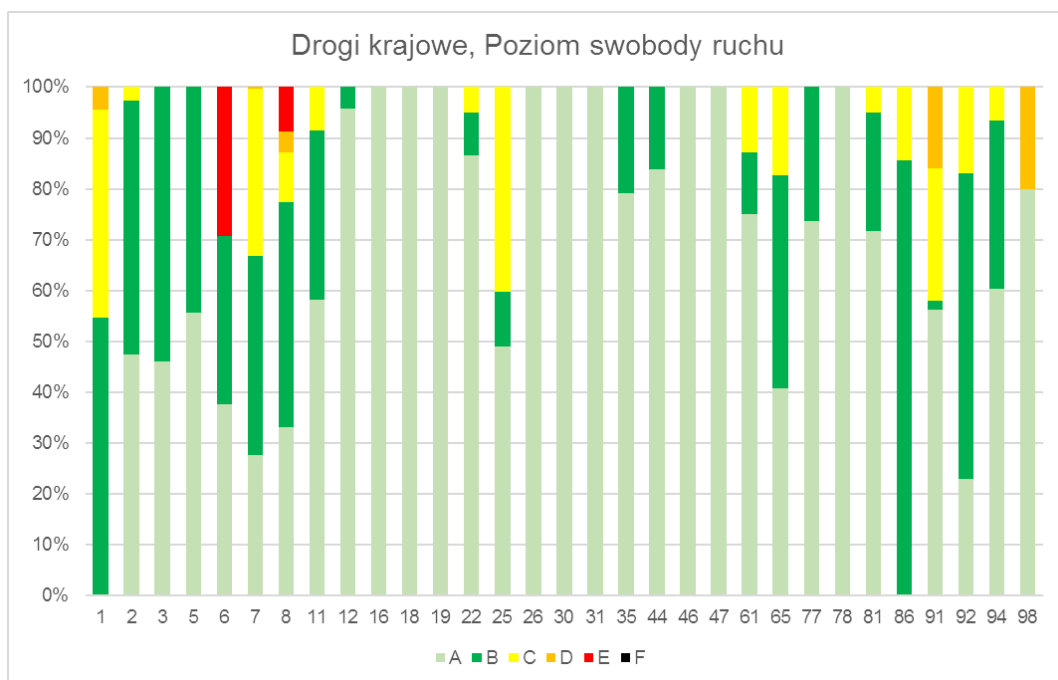
Na dwujezdniowych drogach klasy G i GP najgorsze warunki ruchu, przekroczony poziom swobody ruchu C występują na odcinkach (tablica 3.13, rys. 3.16):

- nr 1 na odcinkach: węzeł Rzgów – Tuszyn, Częstochowa – Poczesna, Siewierz/przejście,
- nr 6 na odcinku Reda – Gdynia,
- nr 7 na odcinku Łomianki – Warszawa,
- nr 8 na odcinku Węzeł Piłsudskiego – Marki/przejście/,
- nr 91 na odcinku Zgierz – Łódź,
- nr 98 na odcinku Długołęka/Wrocławska/ – Wrocław/granica miasta/.



Rys. 3.15 Rozkład poziomów swobody ruchu na autostradach i drogach ekspresowych

Źródło: opracowanie własne



Rys. 3.16 Rozkład poziomów swobody ruchu na dwujezdniowych drogach klasy G i GP

Źródło: opracowanie własne

Tablica 3.13

Zestawienie danych o natężeniu ruchu, gęstości ruchu oraz poziomach swobody ruchu na dwujezdniowych drogach klasy G i GP

Lp.	Droga	Natężenie ruchu SDR		Gęstość ruchu K		PSR	
		min	maks.	min	maks.	od	do
		[P/dobę]	[P/dobę]	[P/km/pas]	[P/km/pas]	[-]	[-]
1	1	27740	52120	8,13	25,17	B	D
2	2	2620	29340	0,72	13,33	A	C
3	3	18250	29480	5,56	8,92	A	B
4	5	11660	30280	3,43	9,25	A	B
5	6	13920	41200	4,31	24,41	A	E
6	7	10950	52470	3,07	17,9	A	D
7	8	7420	59830	2,65	25,17	A	E
8	11	9870	24490	2,95	14,46	A	C
9	12	3540	20730	1,02	8,82	A	B
10	16	3260	12430	0,94	3,36		A
11	18	7310	9120	2,36	2,88		A
12	19	3570	24740	1,04	4,59		A
13	22	6310	21820	1,23	13,1	A	C
14	25	12560	23060	3,57	11,03	A	C
15	26		5120		1,57		A
16	30	5240	12100	1,48	3,92		A
17	31	3650	7510	1,37	2,68		A
18	35	8810	25180	2,45	8,38	A	B
19	44	13550	34090	3,76	10,01	A	B
20	46		4650	1,38	1,43		A
21	47	14010	18080	3,76	4,96		A
22	61	7690	27680	2,41	14,35	A	C
23	65	3280	23400	0,98	13,98	A	C
24	77	6320	21150	1,8	9,61	A	B
25	78	6600	7580	1,42	2,19		A
26	81	16490	32990	4,56	11,51	A	C
27	86	26710	52650	7,5	15,31	B	C
28	91	4380	27640	1,37	16,75	A	D
29	92	4400	35770	1,47	12,29	A	C
30	94	5550	25930	1,55	11,98	A	C
31	98	14420	28160	4,14	17,12	A	D

Źródło: opracowanie własne

3.4 Bezpieczeństwo ruchu drogowego na krajowych drogach dwujezdniowych

3.4.1 Liczba wypadków, ofiar, koszty wypadków w latach 2011-2015

Analiza bezpieczeństwa ruchu drogowego w odniesieniu do powyższego projektu opiera się na ocenie bezpieczeństwa na autostradach, drogach ekspresowych oraz drogach dwujezdniowych klasy G i GP. Zebrano dane z wszystkich autostrad oraz dróg ekspresowych w Polsce.

Autostrady. W latach 2011 – 2015 na autostradach zarejestrowano w sumie 1496 wypadków, w których zginęło 240 osób, a 2226 zostało rannych (w tym 494 ciężko). Całkowite koszty wypadków z 5 lat sięgnęły ponad 1.600 mln zł. W 2015 roku zanotowano 378 wypadków, w których zginęło 61 osób, a ranne zostały 524 osoby.

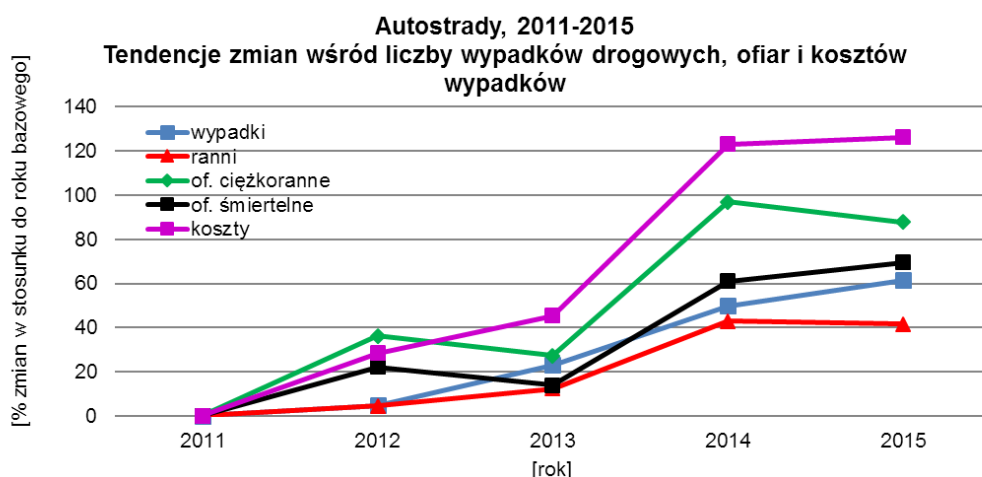
Tendencje zmian wyznaczono na podstawie roku bazowego – 2011. Liczba wypadków na autostradach w Polsce ma obecnie trend wzrostowy. Podobną tendencję wykazywała liczba rannych, jednak od roku 2015 obserwuje się nieznaczny spadek liczby poszkodowanych w wypadkach na autostradach. Brakiem widocznego trendu wykazują się liczba ofiar śmiertelnych, ciężko rannych, a także koszty wypadków. Największy wzrost tych wartości można zauważyć w roku 2014 – liczba ofiar ciężko rannych wzrosła aż do 70% w porównaniu z rokiem 2011, a koszty wzrosły o ponad 80%. (tablica 3.14, rys. 3.17).

Tablica 3.14

Zestawienie danych o liczbie wypadków, ofiar oraz kosztów na autostradach w latach 2011 – 2015

Rok	Liczba wypadków LW	Liczba ofiar rannych LR	Liczba ofiar ciężko rannych LCR	Liczba ofiar śmiertelnych LZ	Liczba ofiar LO	Koszty wypadków KWD
	[wyp.]	[ofiar]	[ofiar]	[ofiar]	[ofiar]	[mln zł]
2011	234	370	66	36	406	194,47
2012	245	387	90	44	431	249,90
2013	288	416	84	41	457	282,69
2014	351	529	130	58	587	434,02
2015	378	524	124	61	585	439,83
Suma	1496	2226	494	240	2466	1600,9

Źródło: Opracowanie własne na podstawie danych z [20, 35]



Rys. 3.17 Tendencje zmian wśród liczby wypadków, ofiar i kosztów na autostradach w latach 2011-2015.

Źródło: Opracowanie własne na podstawie danych z [20, 35]

Wskaźnik ciężkości ofiar rannych w latach 2011 – 2015 wynosił od 139 do 158 rannych/100 wypadków i jest większy o 21% od średniej dla całego kraju. Wskaźnik ofiar ciężko rannych wynosił od 28 do 37 ciężko rannych/100 wypadków i jest tylko o 1% większy od średniej dla Polski. Natomiast wskaźnik ofiar śmiertelnych, wynoszący od 14 do 18 ofiar śmiertelnych/100 wypadków, znacznie przewyższa średnią dla Polski o prawie 70% (tablica 3.15, rys. 3.18, rys. 3.19).

Tablica 3.15

Zestawienie danych o wskaźnika ciężkości wypadków na autostradach w latach 2011-2015

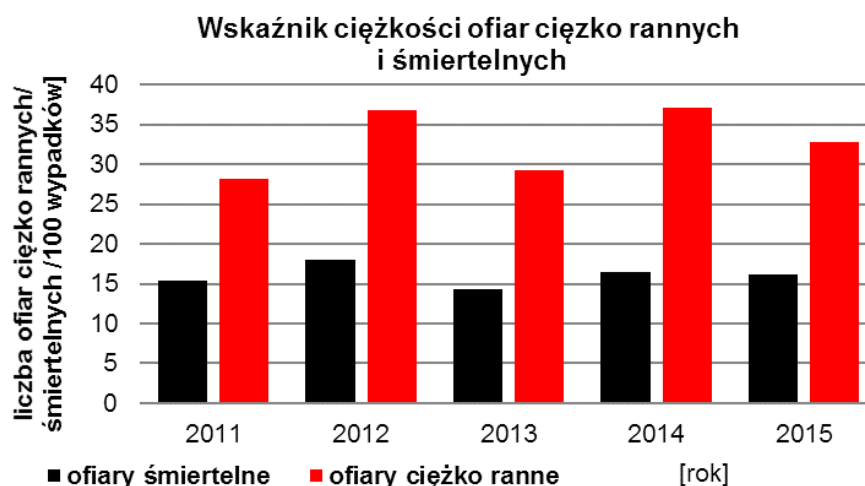
Rok	Wskaźniki ciężkości WC		
	I. of. rannych/ 100 wypadków	I. of. ciężko rannych/100 wypadków	I. of. śmiertelnych/ 100 wypadków
2011	158,1	28,2	15,4
2012	158,0	36,7	18,0
2013	144,4	29,2	14,2
2014	150,7	37,0	16,5
2015	138,6	32,8	16,1
Średnia	148,8	33,0	16,0

Źródło: Opracowanie własne na podstawie danych z [20, 35]



Rys. 3.18 Tendencje zmian wskaźnika ciężkości wypadków (ofiary ranne) na autostradach w latach 2011-2015.

Źródło: Opracowanie własne na podstawie danych z [20, 35]



Rys. 3.19 Tendencje zmian wskaźnika ciężkości wypadków (ofiary ciężko ranne, śmiertelne) na autostradach w latach 2011-2015.

Źródło: Opracowanie własne na podstawie danych z [20, 35]

Dwujezdniowe drogi ekspresowe. W latach 2011 – 2015 na autostradach zarejestrowano w sumie 1151 wypadków, w których zginęło 204 osób, a 1548 zostało rannych (w tym 375 ciężko). Całkowite koszty wypadków z 5 lat sięgnęły ponad 1.269 mln zł. W 2015 roku zanotowano 270 wypadków, w których zginęło 34 osób, a ranne zostały 88 osoby.

Na dwujezdniowych drogach ekspresowych widać wyraźną tendencję wzrostową liczby wypadków oraz rannych. Zmiany w liczbie ofiar ciężko rannych oraz ofiar śmiertelnych są dosyć losowe – w latach 2013 oraz 2014 wzrosły w porównaniu z rokiem ubiegłym, natomiast liczba zabitych w roku 2015 w porównaniu z rokiem 2014 zmalała o prawie połowę

(z 59 do 34 ofiar śmiertelnych). Koszty wypadków do roku 2014 wzrastały, lecz w roku 2015 zmalały o ok. 10% w porównaniu z rokiem bazowym (tablica 3.16 rys. 3.20).

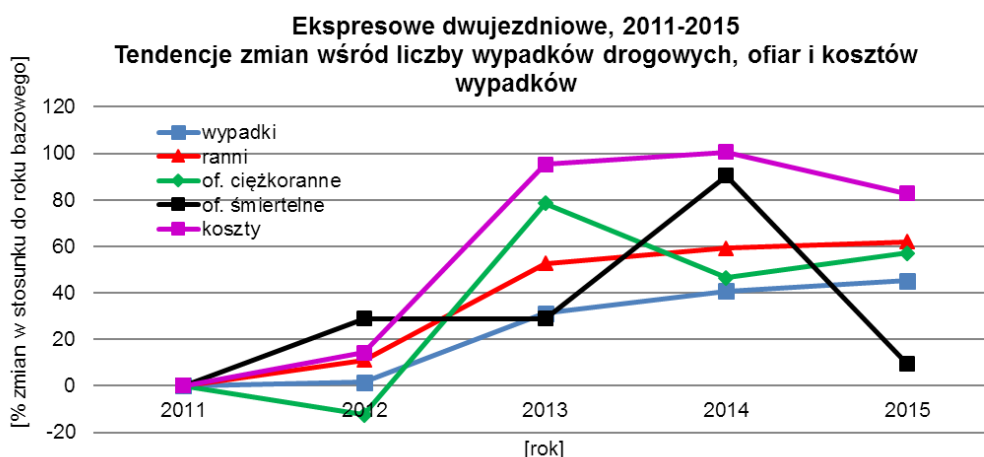
Tablica 3.16

Zestawienie danych o liczbie wypadków, ofiar oraz kosztów na dwujezdniowych drogach ekspresowych w latach 2011-2015

Rok	Liczba wypadków LW	Liczba ofiar rannych LR	Liczba ofiar ciężko rannych LCR	Liczba ofiar śmiertelnych LZ	Liczba ofiar LO	Koszty wypadków KWD
	[wyp.]	[ofiar]	[ofiar]	[ofiar]	[ofiar]	[mln zł]
2011	186	226	56	31	257	160,12
2012	189	251	49	40	291	183,03
2013	244	345	100	40	385	312,62
2014	262	360	82	59	419	321,06
2015	270	366	88	34	3657	292,50
Suma	1151	1548	375	204	5009	1269,3

Źródło: Opracowanie własne na podstawie danych z [20, 35]

Wskaźnik ciężkości ofiar rannych w latach 2011 – 2015 wynosił od 122 do 141 rannych/100 wypadków i jest o 10% większy od średniej dla całego kraju. Wskaźnik ofiar ciężko rannych wynosił od 26 do 41 ciężko rannych/100 wypadków i jest tylko o 0,5% mniejszy od średniej dla Polski. Natomiast wskaźnik ofiar śmiertelnych, wynoszący od 13 do 21 ofiar śmiertelnych/100 wypadków, znacznie przewyższa średnią dla Polski o prawie 86% (tablica 3.17, rys. 3.21, rys. 3.22).



Rys. 3.20 Tendencje zmian wśród liczby wypadków, ofiar i kosztów na dwujezdniowych drogach ekspresowych w latach 2011 – 2015.

Źródło: Opracowanie własne na podstawie danych z [20, 35]

Tablica 3.17

Zestawienie danych o wskaźnikach ciężkości wypadków na dwujezdniowych drogach ekspresowych w latach 2011 – 2015

Rok	Wskaźniki ciężkości WC		
	I. of. rannych/ 100 wypadków	I. of. ciężko rannych/100 wypadków	I. of. śmiertelnych/ 100 wypadków
2011	121,5	30,1	16,7
2012	132,8	25,9	21,2
2013	141,4	41,0	16,4
2014	137,4	31,3	22,5
2015	135,6	32,6	12,6
Średnia	134,5	32,6	17,7

Źródło: Opracowanie własne na podstawie danych z [20, 35]

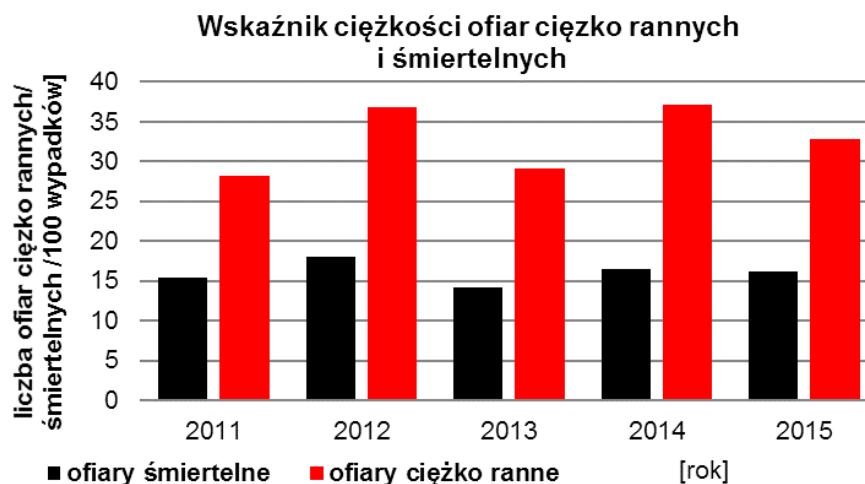
Dwujezdniowe drogi klasy G i GP. W latach 2011 – 2015 na autostradach zarejestrowano w sumie 2936 wypadków, w których zginęło 431 osób, a 813 zostało rannych (w tym 431 ciężko). Całkowite koszty wypadków z 5 lat sięgnęły ponad 2.709 mln zł. W 2015 roku zanotowano 541 wypadków, w których zginęło 75 osób, a ranne zostały 172 osoby.

Na dwujezdniowych drogach klasy G i GP widać wyraźną rosnącą tendencję wzrostową liczby ciężko rannych oraz kosztów wypadków. Liczba wypadków, ofiar rannych, ofiar śmiertelnych spada od roku 2011 (tablica 3.18, rys. 3.23).



Rys. 3.21 Tendencje zmian wskaźnika ciężkości wypadków (ofiary ranne) na dwujezdniowych drogach ekspresowych w latach 2011-2015.

Źródło: Opracowanie własne na podstawie danych z [20, 35]



Rys. 3.22 Tendencje zmian wskaźnika ciężkości wypadków (ofiary ciężko ranne, śmiertelne) na dwujezdniowych drogach ekspresowych w latach 2011 – 2015.

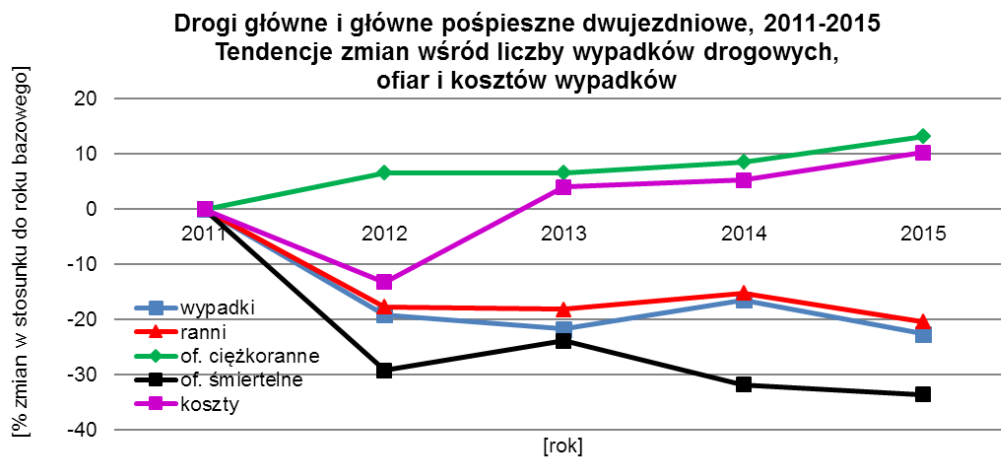
Źródło: Opracowanie własne na podstawie danych z [20, 35]

Tablica 3.18

Zestawienie danych o liczbie wypadków, ofiar oraz kosztów na dwujezdniowych drogach klasy G i GP w latach 2011 – 2015

Rok	Liczba wypadków LW	Liczba ofiar rannych LR	Liczba ofiar ciężko rannych LCR	Liczba ofiar śmiertelnych LZ	Liczba ofiar LO	Koszty wypadków KWD
	[wyp.]	[ofiar]	[ofiar]	[ofiar]	[ofiar]	[mln zł]
2011	699	896	152	113	1009	535,12
2012	565	737	162	80	817	464,13
2013	547	733	162	86	819	556,62
2014	584	760	165	77	837	563,31
2015	541	713	172	75	3657	589,82
Suma	2936	3839	813	431	7139	2709,0

Źródło: Opracowanie własne na podstawie danych z [20, 35]



Rys. 3.23 Tendencje zmian wśród liczby wypadków, ofiar i kosztów na dwujezdniowych drogach ekspresowych w latach 2011 – 2015.

Źródło: Opracowanie własne na podstawie danych z [20, 35]

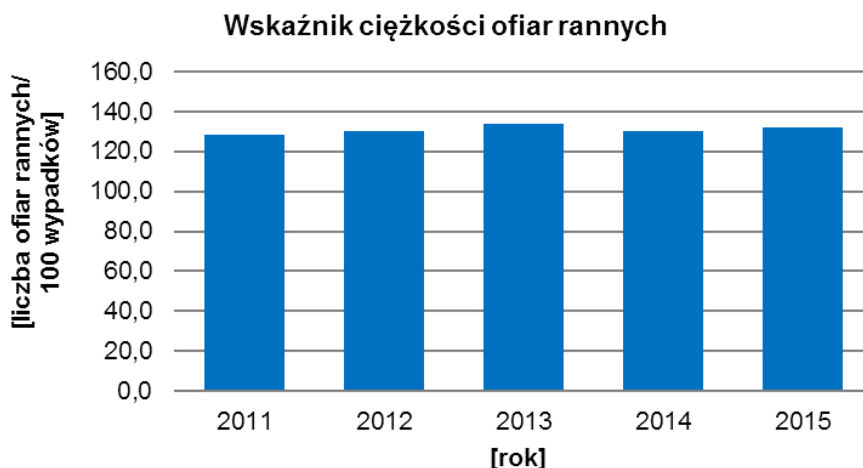
Wskaźnik ciężkości ofiar rannych w latach 2011 – 2015 wynosił od 128 do 134 rannych/100 wypadków i jest większy o 7% większy od średniej dla całego kraju. Wskaźnik ofiar ciężko rannych wynosił od 22 do 32 ciężko rannych/100 wypadków i jest tylko o 15% mniejszy od średniej dla Polski. Natomiast wskaźnik ofiar śmiertelnych, wynoszący od 13,2 do 16,2 ofiar śmiertelnych/100 wypadków znacznie przewyższa średnią dla Polski o prawie 54% (tablica 3.19, rys. 3.24, rys. 3.25).

Tablica 3.19

Zestawienie danych o wskaźnikach ciężkości wypadków na dwujezdniowych drogach ekspresowych w latach 2011-2015

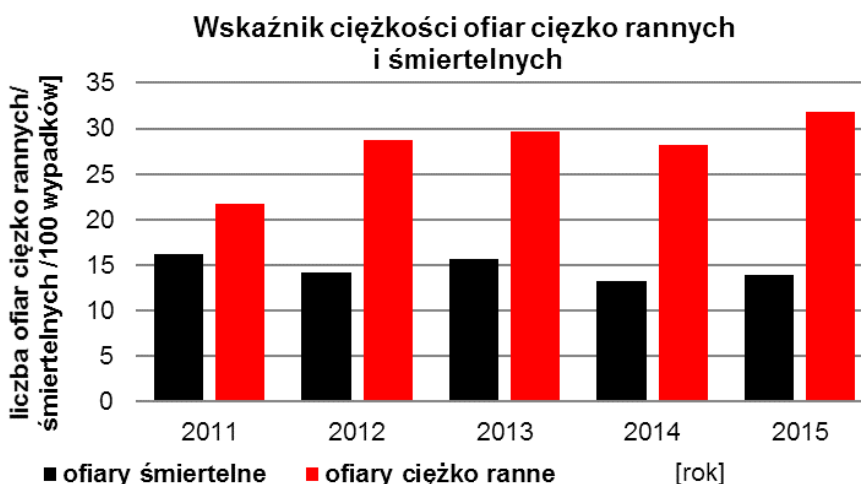
Rok	Wskaźniki ciężkości WC		
	I. of. rannych/ 100 wypadków	I. of. ciężko rannych/100 wypadków	I. of. śmiertelnych/ 100 wypadków
2011	128,2	21,7	16,2
2012	130,4	28,7	14,2
2013	134,0	29,6	15,7
2014	130,1	28,3	13,2
2015	131,8	31,8	13,9
Średnia	130,8	27,7	14,7

Źródło: Opracowanie własne na podstawie danych z [20, 35]



Rys. 3.24 Tendencje zmian wskaźnika ciężkości wypadków (ofiary ranne) na dwujezdniowych drogach klasy G i GP w latach 2011-2015.

Źródło: Opracowanie własne na podstawie danych z [20, 35]



Rys. 3.25 Tendencje zmian wskaźnika ciężkości wypadków (ofiary ciężko ranne, śmiertelne) na dwujezdniowych drogach klasy G i GP w latach 2011 – 2015.

Źródło: Opracowanie własne na podstawie danych z [20, 35]

3.4.2 Gęstość i koncentracja wypadków, ofiar w zależności od przekroju

Ryzyko społeczne. Analizując ryzyko społeczne mierzone liczbą wypadków, rannych, ciężko rannych, ofiar śmiertelnych na 1 km drogi w ciągu 3 lat, można zauważyć, że najniższy poziom ryzyka występuje na autostradach oraz drogach ekspresowych o przekroju 2/2.

Dla autostrad o przekroju 2/3 ryzyko społeczne jest wyższe w przypadku wypadków (1,6 - krotnie), ofiar rannych (1,6-krotnie), ciężko rannych (1,2-krotnie) oraz niższe w przypadku ofiar śmiertelnych (0,8-krotnie). Przyczyną takiego stanu jest znacznie większy ruch na tych drogach (średnie natężenie jest prawie 2 krotnie wyższe niż na drogach A2/2). Przeliczając

gęstość wypadków, ofiar na pas ruchu gęstość wypadków i ofiar rannych jest na podobnym poziomie natomiast gęstość ofiar ciężko rannych i śmiertelnych jest znacznie niższa (odpowiednio o 19% i 48%).

Na drogach ekspresowych o przekroju 2/3 wyższe jest ryzyko wypadku (2,6-krotnie), bycia ofiarą ranną (2,4-krotnie) i śmiertelną (1,2-krotnie) oraz niższe w przypadku ofiar ciężko rannych (0,8-krotnie) w stosunku do dróg A2/2. Podobnie jak w przypadku autostrad przyczyną jest znaczne większe natężenie ruchu (prawie 3,5 krotnie). Przeliczając gęstość na 1 pas ruchu poziom ryzyka mierzony gęstością wypadków oraz ofiar rannych jest większy o 75% i 60% natomiast poziom ryzyka mierzony gęstością ofiar ciężko rannych i śmiertelnych jest niższy (odpowiednio o 50% i 19%).

Najwyższe ryzyko społeczne bycia uczestnikiem wypadku, bycia ofiarą ranną, śmiertelną występuje na drodze dwujezdniowej klasy G i GP i jest ono prawie 3-krotnie wyższe niż na autostradzie o przekroju 2/2 przy takim samym średnim natężeniu ruchu (tablica 3.20, tablica 3.21, rys. 3.26).

Tablica 3.20

Ryzyko społeczne – liczba wypadków i liczba ofiar wypadków na drogach krajowych na 1 km drogi w latach 2013-2015

Klasa, przekrój drogi T	Gęstość			
	Wypadków GW	Rannych GR	Ciężko rannych GCR	Of. śmiert. GZ
	[wypadki/ km/3 lata]	[ranni/ km/3 lata]	[ciężko ranni/ km/ 3 lata]	[of. śmiertelne/ km/ 3 lata]
G/GP1x2	1,068	1,425	0,399	0,181
G/GP2/2	1,962	2,585	0,584	0,281
S1/2	0,755	1,284	0,534	0,261
S2/2	0,546	0,758	0,208	0,100
S2/3	1,651	2,178	0,163	0,127
A2/2	0,630	0,907	0,214	0,104
A2/3	0,988	1,483	0,262	0,081
Średnia	1,036	1,392	0,380	0,174

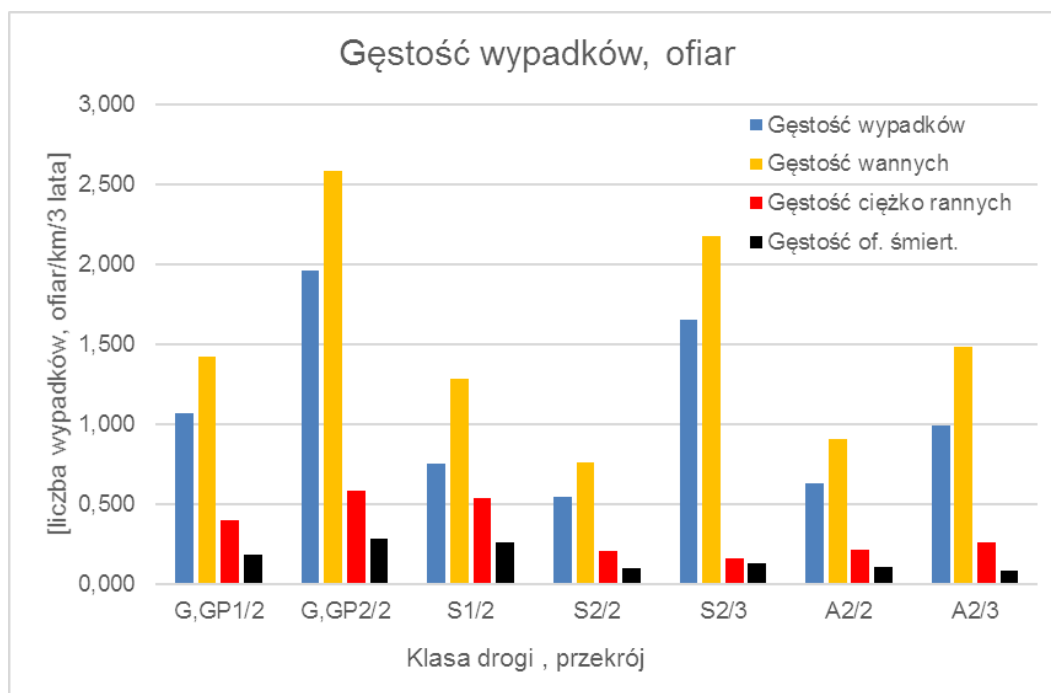
Źródło: Opracowanie własne na podstawie danych z [20, 35]

Tablica 3.21

Ryzyko społeczne – liczba wypadków i liczba ofiar wypadków na drogach krajowych na 1 km drogi w latach 2013-2015 przeliczona na jeden pas ruchu

Klasa, przekrój drogi T	Gęstość			
	Wypadków GW	Rannych GR	Ciężko rannych GCR	Of. śmiert. GZ
	[wypadki/ km/3 lata/pas ruchu]	[ranni/ km/3 lata/pas ruchu]	[ciężko ranni/ km/ 3 lata/pas ruchu]	[of. śmiertelne/ km/ 3 lata/pas ruchu]
G/GP1x2	1,068	1,425	0,399	0,181
G/GP2/2	0,981	1,292	0,292	0,140
S1/2	0,755	1,284	0,534	0,261
S2/2	0,273	0,379	0,104	0,050
S2/3	0,550	0,726	0,054	0,042
A2/2	0,315	0,454	0,107	0,052
A2/3	0,329	0,494	0,087	0,027

Źródło: Opracowanie własne na podstawie danych z [20, 35]



Rys. 3.26 Gęstość wypadków i ofiar wypadków na drogach krajowych w Polsce z podziałem na klasy dróg i rodzaje przekroju poprzecznego w latach 2013 – 2015.

Źródło: Opracowanie własne na podstawie danych z [20, 35]

Ryzyko indywidualne. Analizując ryzyko indywidualne mierzone liczbą wypadków, ofiar śmiertelnych i rannych na długość przejechanej drogi (koncentracja wypadków, ofiar), można zauważyć, że najniższy jego poziom występuje na dwujezdniowych drogach ekspresowych (przekrój 2/3). W stosunku do ryzyka na autostradzie 2/2 jest ono niższe dla wypadków (0,8-krotnie), rannych (0,7-krotnie), ciężko rannych (0,2-krotnie), ofiar śmiertelnych (0,4-krotnie). Na autostradach o przekroju 2/3 poziom ryzyka również jest niższy niż autostradzie 2/2:

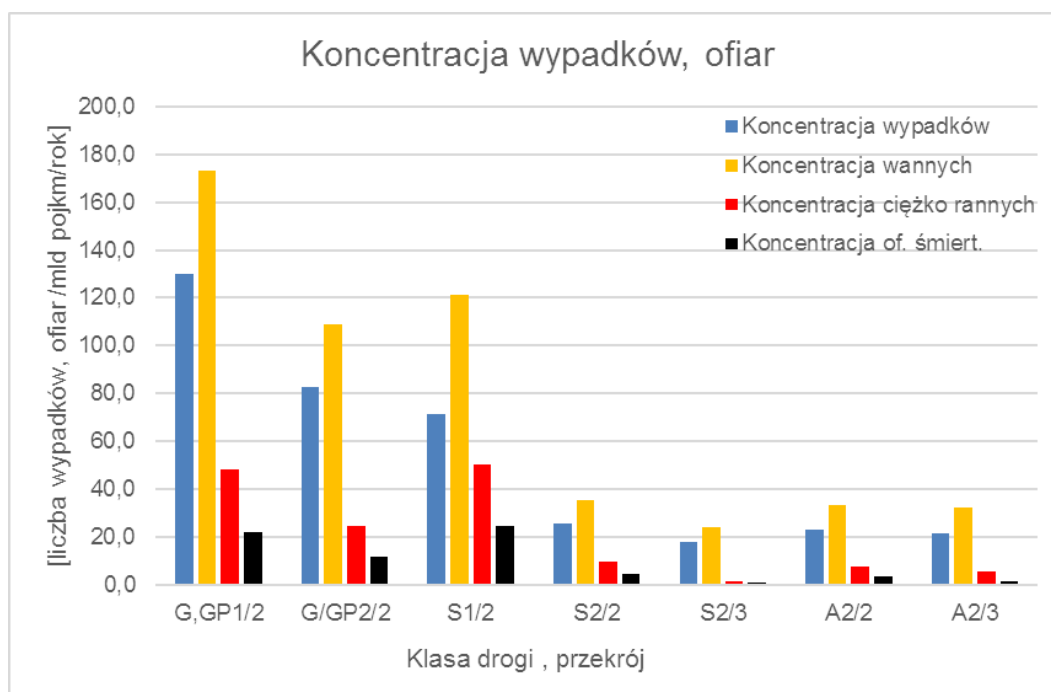
wypadki (0,9-krotnie), ciężko ranni (0,7-krotnie) ofiary śmiertelne (0,5-krotnie). Na dwujezdniowych drogach ekspresowych ryzyko indywidualne jest o ponad 20% wyższe (ofiary ciężko ranne i śmiertelne) oraz o 6-10% w przypadków wypadków i ofiar rannych. Na drogach dwujezdniowych klasy G i GP ryzyko jest ponad 3-krotnie wyższe niż na A2/2 (tablica 3.22, rys. 3.27).

Tablica 3.22

Ryzyko indywidualne – liczba wypadków i liczba ofiar wypadków na drogach krajowych na mld pojkm w latach 2013-2015

Klasa, przekrój drogi T	Koncentracja			
	Wypadków KW	Rannych KR	Ciężko rannych KCR	Of. śmiert. KZ
	[wypadki/ mld pojkm/rok]	[ofiar/ mld pojkm/rok]	[ofiar/ mld pojkm/rok]	[ofiar/ mld pojkm/rok]
G/GP1/2	129,792	173,130	48,522	21,944
G/GP2/2	82,672	108,877	24,601	11,825
S1/2	71,431	121,378	50,485	24,705
S2/2	25,719	35,706	9,799	4,731
S2/3	18,235	24,046	1,803	1,403
A2/2	23,409	33,722	7,965	3,855
A2/3	21,543	32,315	5,716	1,759
Średnia	129,792	173,130	48,522	21,944

Źródło: Opracowanie własne na podstawie danych z [20, 35]



Rys. 3.27 Koncentracja wypadków i ofiar na drogach krajowych w Polsce z podziałem na klasy dróg i rodzaje przekroju poprzecznego w latach 2013-2015.

Źródło: Opracowanie własne na podstawie danych z [20, 35]

3.5 Stan zaawansowania budowy sieci dróg ruchu szybkiego

Docelowy kształt sieci dróg krajowych określony został w Rozporządzeniu Rady Ministrów z dnia 15 maja 2004 r. w sprawie sieci autostrad i dróg ekspresowych. Wyznacza ono przebieg oraz numerację najważniejszych arterii drogowych na obszarze Polski [49].

Aktualizację rozwoju sieci dróg w Polsce przyjęto uchwałą Rady Ministrów z 4 września 2015 roku. Zgodnie z nowymi planami w latach 2014 – 2026 w Polsce zostanie zrealizowanych 51 odcinków drs o łącznej długości ponad 4000 km (168,6 autostrad oraz 3832,6 dróg ekspresowych). Tablica 3.23 przedstawia odcinki dróg przewidzianych do realizacji wraz z okresem realizacji [49].

Tablica 3.23

Lista zadań inwestycyjnych przewidzianych do realizacji w ramach Programu Budowy Dróg – autostrady i drogi ekspresowe

Lp.	Nr drogi	Nazwa zadania	Lata realizacji	Długość [km]
1	A1	A1 odc. Pyrzowice - koniec obw. Częstochowy	2015-2018	56,9
2	A2	A2/S2 Warszawa - Siedlce (odc. Warszawa - Mińsk Mazowiecki)	2017-2021	14,6
3	S2	S2 Puławska - Lubelska	2015-2020	18,6
4	S3	S3 Gorzów Wielkopolski - Sulechów - Legnica	2014-2019	143,7
5	S3	S3 Legnica - Bolków	2015-2019	35,8
6	S5	S5 Wrocław - Bydgoszcz	2014-2019	199,5
7	S5	S5 Nowe Marzy - Bydgoszcz	2015-2019	73,9
8	S6	S6 Szczecin - Koszalin	2015-2019	139,5
9	S6	S6 Koszalin - Słupsk	2017-2020	46,2
10	S6	S6 Słupsk - Gdańsk	2017-2020	143,7
11	S7	S7 Warszawa - Gdańsk	2014-2020	180,7
12	S7	S7 Warszawa - Kraków	2014-2020	185
13	S7	S7 Kraków - Rabka odc. w. Lubień - Rabka (w. Zabornia)	2016-2021	16,8
14	S8	S8 Radziejowice - Białystok	2014-2018	104,6
15	S17	S17 Warszawa - Lublin	2014-2022	125,5
16	S19	S19 Lublin - Rzeszów	2014-2020	157,5
17	S51	S51 Olsztyn - Olsztynek	2015-2019	27,6
18	S1	S1 Pyrzowice - Kosztowy	2017-2020	17,5
19	S10	S10 Toruń - Bydgoszcz wraz z w. Czerniewice	2017-2020	50,4
20	S3/A6	S3/A6 w. Kijewo - w. Rzęśnia	2017-2020	5,3
21	S3	S3 Miękowo - koniec obw. Brzozowa wraz z rozbudową odcinka Miękowo - Rzęśnia	2017-2021	26,2
22	S7	S7 Gdańsk - Warszawa odc. Płońsk (S10) – Czosnów	2018-2021	34,6
23	S12	S12 Radom - Lublin	2020-2023	65,7
24	S61	S61 obwodnica Augustowa - granica państwa	2016-2021	37,4
25	S61	S61 Ostrów Mazowiecka - obwodnica Augustowa	2017-2021	149,3
26	S69	S69 Bielsko-Biała - gr. państwa (Obejście Węgierskiej Górki)	2018-2021	8,5

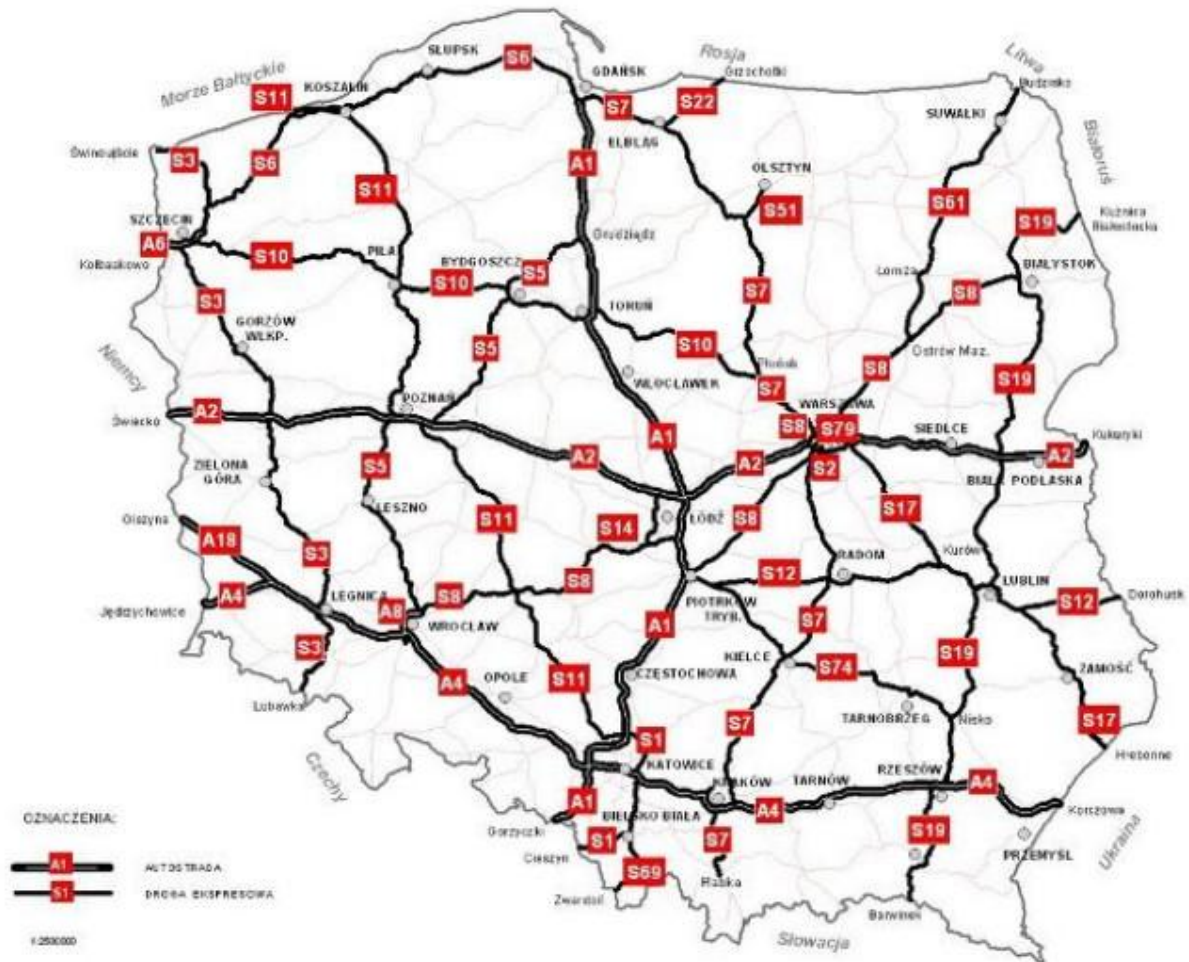
Lp.	Nr drogi	Nazwa zadania	Lata realizacji	Długość [km]
27	S3	S3 Bolków - Lubawka	2017-2020	31,3
28	S7	S7 Gdańsk - Warszawa odc. Czosnow - Warszawa (S8)	2018-2022	22,2
29	S1	S1 Kosztowy - Bielsko-Biała	2018-2021	39,7
30	S3	S3 Troszyn - Świnoujście	2018-2022	34,5
31	S74	S74 Sulejów - Kielce	2019-2023	72,7
32	S12	S12 Lublin - Dorohusk odc. Piaski - Dorohusk	2018-2022	62,4
33	S14	Budowa Zachodniej obwodnicy Łodzi	2016-2021	28,4
34	S74	S74 Kielce - Nisko	2018-2023	125,3
35	S10	S10 Piła - Szczecin odc. Stargard Szczeciński - Piła	2019-2023	108,1
36	S11	S11 Kórnik - Ostrów Wielkopolski	2022-2026	96
37	S11	S11 Ostrów Wielkopolski - Kępno	2022-2026	31
38	S10	S10 Płońsk - Toruń	2018-2027	179,6
39	S19	S19 Lubartów - Białystok	2018-2024	215,9
40	S19	S19 Lublin - Lubartów	2018-2021	23,8
41	S11	S11 Piła - Poznań	2019-2026	65,9
42	A2	A2 Siedlce - granica państwa (Kukuryki)	2019-2022	97,1
43	S19	S19 gr. państwa - Białystok	2018-2025	83,7
44	S12	S12 Piotrków Trybunalski - Radom	2019-2023	103,5
45	S10	S10 Bydgoszcz - Piła	2018-2025	71,8
46	S17	S17 Piaski - Hrebenne	2018-2022	113
47	S19	S19 w. Rzeszów Południe - w. Babica	2018-2023	10,3
48	S19	S19 w. Babica - Barwinek	2018-2023	74,9
49	S11	S11 Kępno - A1	2017-2024	104,9
50	S11	S11 Szczecinek - Piła	2022-2026	73
51	S11	S11 Koszalin - Szczecinek	2019-2022	67,2
Razem				4001,2

Źródło: [49]

3.6 Prognozy ruchu

Prognozy ruchu dla potrzeb analiz prowadzonych dla dróg krajowych w Polsce wykonywane są z wykorzystaniem Krajowego Modelu Ruchu (KMR) wykonanego przez Politechnikę Warszawską dla GDDKiA w 2008 [10]. Model ten został opracowany w celu prognozowania ruchu na nowych i przebudowywanych ciągach drogowych istotnych z punktu widzenia układu drogowego w skali kraju czy też regionu lub miasta. Zastosowanie metody, w której macierz podróży w stanie istniejącym jest opracowywana na podstawie dostępnych wyników ankietowych badań ruchu drogowego, a następnie uzupełniana za pomocą modelu grawitacyjnego, wymaga przygotowania numerycznego modelu sieci drogowej dla obszaru analizy. Model ten jest budowany w sposób klasyczny, jako zbiór odcinków i punktów węzłowych, z przypisanymi parametrami ruchowymi oraz współrzędnymi

lokalizującymi te elementy w terenie. Jako punkt wyjścia do budowy modelu przyjmuje się podstawowy układ drogowy, z możliwością dokonania uzupełnień.



Rys. 3.28 Sieć autostrad i dróg ekspresowych zgodnie z rozporządzeniem Rady Ministrów z dnia 15 maja 2004 r. w sprawie sieci autostrad i dróg ekspresowych.

Źródło: [49]

3.6.1 Model sieci dla kraju

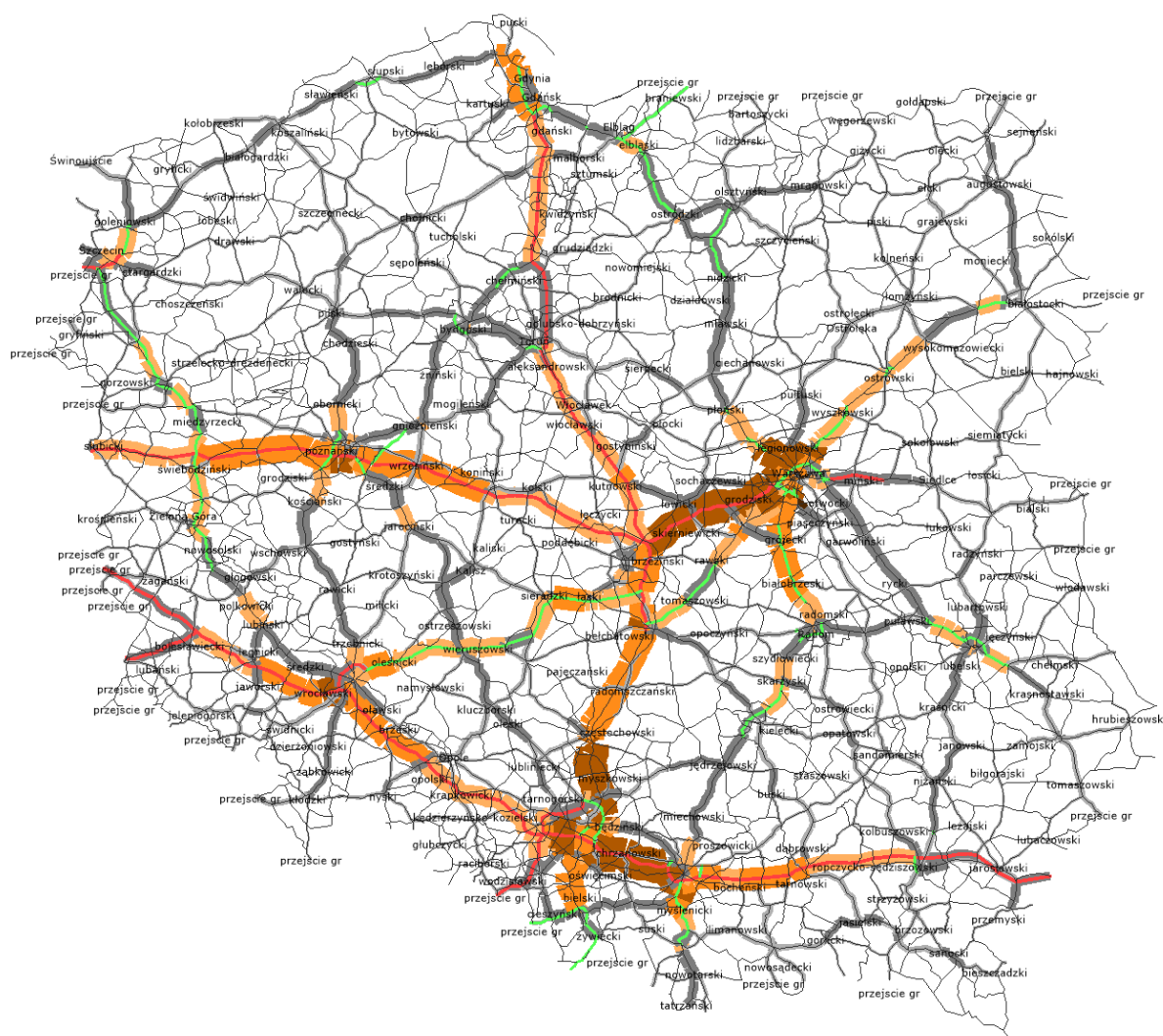
Model sieci drogowej został przygotowany w specjalistycznym programie PTV Visum służącym do modelowania i prognozowania ruchu. Model sieci drogowej obejmuje wszystkie drogi krajowe i wojewódzkie oraz ważniejsze drogi w miastach grodzkich. Miejscem rozpoczęcia i zakończenia podróży są: w przypadku rejonów wewnątrz Polski – powiaty, dla rejonów zewnętrznych – przejścia graniczne zlokalizowane na drogach krajowych i wojewódzkich. Podział sieci drogowej na odcinki międzywęzłowe przeprowadzono przy następujących założeniach:

- istniejące i planowane skrzyżowania dróg krajowych i wojewódzkich,

- miejsca zmian przekroju poprzecznego dróg,
- miejsca, w których następuje zmiana otoczenia drogi (np. droga zamiejska przechodzi w miejską, teren zabudowany itp.).

Model sieci krajowej obejmuje (rok 2015):

- 14590 połączeń między węzłami,
- 5490 węzłów (skrzyżowań),
- 462 rejonów,
- modelem objęto ponad 47.000 km dróg i ulic (rys. 3.29).



Rys. 3.29 Sieć drogowa dla krajowego modelu ruchu w roku 2015.

Źródło: [10]

W modelu sieci drogowej uwzględniono liczbę pasów ruchu oraz prędkość w ruchu swobodnym na odcinkach międzywęzłowych, natężenie nasycenia poszczególnych pasów ruchu, opłaty drogowe, komfort podróżowania dla każdej kategorii pojazdów oraz motywacji podróży. Model uwzględnia zjawisko zatłoczenia w sieci drogowej. W celu prawidłowego

rozkładu natężenia na poszczególne odcinki zastosowano funkcję oporu dla poszczególnych odcinków dróg w zależności od typu i przekroju drogi (tablica 3.24).

Wybór drogi przez kierującego pojazdem uzależniono od przewidywanego czasu podróży, długości drogi, przepustowości drogi. Czas podróży dla ruchu samochodowego został obliczony na podstawie nasycenia odcinków i skrzyżowań wynikającego z przepustowości tych elementów sieci. Czas podróży między dwoma odcinkami obejmuje czas podróży na odcinkach oraz czas podróży na relacjach skrętnych. Dla swobodnego potoku ruchu pojazdów czas t_0 podróży został określony na podstawie długości odcinka i przyjętej prędkości swobodnej V_{swb} dla danego typu odcinka. Dla relacji skrętnych na skrzyżowaniu czas podróży t_0 jest określony bezpośrednio. W sieci obciążonej czas podróży na odcinku i skrzyżowaniu są określane przez tzw. funkcję ograniczonej przepustowości (funkcja – CR). Funkcja ta opisuje korelację pomiędzy aktualnym natężeniem ruchu q a przepustowością q_{max} . Wynikiem działania funkcji CR jest czas podróży t w sieci obciążonej. Do celów niniejszego opracowania użyto funkcję HCM wg wzoru (3.1):

$$t = t_0 * \{1 + (q/q_{max})^2\} \quad (3.1)$$

gdzie:

t – czas przejazdu w sieci obciążonej odcinka drogi,

t_0 – czas przejazdu dla ruchu swobodnego na odcinku drogi,

q – natężenie ruchu na odcinku drogi.

q_{max} – przepustowość odcinka drogi.

Tablica 3.24

Przyjęte charakterystyki odcinków w krajowym modelu ruchu

Typ odcinka	Nazwa odcinka drogi	Przepusto. C	Prędkość swobodna V_{swb}	Typ odcinka (wg. Modelu Vissum)	Nazwa Odcinka	Przepust. C	Prędkość V_{swb}
		(P/dobę)	(Km/h)			P/dobę	Km/h
1	Am 2/3	78000	100	61	W 9-12	19800	81
2	Am 2/2	54000	98	62	W 7.5-9	17400	75
3	Az 2/3	72000	121	63	W 6-7.5	16000	72
4	Az pł 2/3	72000	121	64	W 5-6	13000	62
5	Az 2/2	50000	121	65	W <5	9000	50
6	Az pł 2/2	50000	121	66	W GPb2/3	72000	78
7	A2/2 Legnica Wrocław	50000	121	67	W GPb2/2	44800	75
8	A2 Konin-Tomyśl	50000	130	68	W GP2/3	49500	65
10	Em 2/3	72000	98	69	W GP2/2	35100	63
11	Em 2/2	54000	95	70	W G2/2	30600	55
12	Em 1x2	21600	85	71	W G1x4	28300	53

Typ odcinka	Nazwa odcinka drogi	Przepustowość C	Prędkość swobodna V_{swb}	Typ odcinka (wg. Modelu Vissum)	Nazwa Odcinka	Przepustowość C	Prędkość V_{swb}
		(P/dobę)	(Km/h)			P/dobę	Km/h
13	Ez 2/3	74000	113	72	W Z2/2	27000	53
14	Ez 2/2	50000	108	73	W GP1x2	12600	55
15	Ez 1x2	20400	90	74	W G1x2	10500	44
20	K 2/2	44400	101	75	W Z1x2	9600	44
21	W 2/2	45600	96	76	W Z1x4	10500	50
22	K2/2 Warszawa-Radom	44400	101	80	K GPb2/3	72000	78
23	2/2 Poznań-Września	44000	101	81	K GPb2/2	44800	75
24	K 2+1	20000	90	82	K GP2/3	49500	65
25	W 2+1	20000	90	83	K GP2/2	35100	63
30	K >12	19800	86	84	K G2/2	30600	55
31	K 9-12	19300	85	85	K G1x4	28300	53
32	droga Nr50	19300	85	86	K Z2/2	27000	53
33	Pniewy-Poznań	19300	85	87	MostyGrotaLaz	72000	78
34	Sochaczew- Błonie	19300	85	90	K GP1x2	12600	55
35	K 7-9	16800	81	91	K G1x2	10500	44
36	Ostrów-Białystok	19300	85	92	K Z1x2	9600	44
40	K 6-7	16300	74	93	K Z1x4	9600	42
41	Września-Konin	16300	74	94	Grajewo	12600	55
50	K <6	13300	66	96	Powiatowe/gminne	8000	40
60	W >12	20400	83	97	Gminne miejskie	2000	40

Przepustowość C podano dla jednego kierunku łącznie na wszystkich pasach ruchu, przekroju, prędkość V_{swb} jest prędkością swobodną dla pojazdów osobowych.

Źródło: [10]

3.6.2 Model podróży

W celu opracowania prognoz ruchu transportu samochodowego w KMR dla sieci drogowej w kraju wykorzystane zostały przygotowane macierze podróży pomiędzy rejonami. Do ich obliczenia wykorzystany został model grawitacyjny, w którym liczba podróży pomiędzy rejonami jest funkcją ich potencjału i odległości pomiędzy nimi. Macierze podróży zostały podzielone na 14 macierzy podróży, które uwzględniają (tablica 3.25):

- rodzaj ruchu: krajowy (ruch wewnętrzny), międzynarodowy (ruch zewnętrzny),
- kategorię pojazdów: pojazdy osobowe, dostawcze, ciężarowe, ciężarowe z przyczepą,
- motywacje podróży (tylko samochody osobowe): dom – praca, biznes, turystyka, inne.

Wskaźniki wzrostów liczby podróży w poszczególnych motywacjach oraz poszczególnych kategoriach pojazdów w kolejnych latach (2008-2050) zostały opracowane z wykorzystaniem wskaźników wzrostu ruchu bazujących na PKB. Przyjęte wskaźniki wzrostu PKB obrazują regionalne różnice w rozwoju gospodarczym i uwzględniają wpływ dodatkowych funduszy unijnych dla regionów słabo rozwiniętych gospodarczo. Do określenia wskaźników wzrostu dla poszczególnych kategorii pojazdów uzyskano z GDDKiA takie wskaźniki przeliczeniowe wzrostu PKB na wzrost ruchu (tablica 3.26, tablica 3.27) [19].

Tablica 3.25

Wykaz macierzy zastosowanych w modelu ruchu

Nr macierzy	Charakter ruchu	Typ pojazdu	Motywacja podróży
1	krajowy (wewnętrzny)	Samochód osobowy	Dom – praca
2			Biznes
3			Turystyka
4			Inne
5		Samochód dostawczy	
6		Samochód ciężarowy	
7		Samochód ciężarowy z przyczepą/naczepą	
8	Międzynarodowy (zewewnętrzny)	Samochód osobowy	Dom – praca
9			Biznes
10			Turystyka
11			Inne
12		Samochód dostawczy	
13		Samochód ciężarowy	
14		Samochód ciężarowy z przyczepą/naczepą	

Źródło: [10]

Tablica 3.26

Współczynnik elastyczności uzależniający wskaźnik wzrostu ruchu od wskaźnika wzrostu PKB w poszczególnych okresach

Lp	Kategoria pojazdów	Wskaźnik elastyczności W_e (w latach)	
		2008-2015	2016-2040
1	Samochody osobowe	0,90	0,80
2	Samochody dostawcze	0,33	0,33
3	Samochody ciężarowe bez przyczep i naczep	0,35	0,35
4	Samochody ciężarowe z przyczepami i naczepami	1,07	1,00

Źródło: [19]

3.6.3 Kalibracja modelu ruchu

Celem sprawdzenia zgodności przygotowanych macierzy podróży z wynikami generalnego pomiaru ruchu 2005 (GPR2005) [18] przeprowadza się procedurę kalibracyjną

Sprawdzenie prawidłowości kalibracji modelu wykonano stosując aprobowaną przez GDDKiA metodykę wyznaczania statystycznego wskaźnika GEH na odcinkach sieci drogowej. Metodyka ta jest rekomendowana przez administrację drogową w Wielkiej Brytanii i opisana jest w oficjalnym podręczniku do projektowania dróg i mostów [31].

Wskaźnik GEH jest formą rozkładu chi-kwadrat, który jest rozkładem zmiennej losowej. Wskaźnik dla poszczególnych odcinków GEH liczony jest z następującego wzoru:

$$GEH = \sqrt{\frac{(E - V)^2}{(E + V) / 2}}$$

gdzie:

E – natężenie ruchu na odcinku w modelu [poj./godz.],

V – natężenie ruchu na odcinku z pomiarów ruchu [poj./godz.].

3.7 Wnioski

Na podstawie przeprowadzonej analizy stanu istniejącego dla autostrad, dwujezdniowych dróg ekspresowych oraz dwujezdniowych dróg klasy G i GP stwierdzono, że:

1. Drogi krajowe o długości 19.293 km, stanowią niecałe 6,6% wszystkich dróg w Polsce. GDDKiA zarządza 93% tych dróg. Długość dwujezdniowych dróg (A, S, G i GP) wynosi 3707 km, co stanowi 20,7% długości dróg krajowych zarządzanych przez GDDKiA. W 2015 roku praca przewozowa wykonana przez pojazdy na tych drogach wyniosła 32,8 mld pkm/rok, co stanowi prawie 55% pracy przewozowej ruchu na drogach krajowych.
2. Na sieci dróg krajowych obecnie jest prawie 4 tys. km dróg dwu i więcej jezdniowych w tym ponad 3 tys. km autostrad i dróg ekspresowych. Do 2030 roku przewiduje się znaczną rozbudowę sieci dróg dwu i więcej jezdniowych, w tym ponad 4 tys. km autostrad i dróg ekspresowych.
3. Na istniejących autostradach i drogach ekspresowych najczęściej projektowanym przekrojem jest przekrój dwujezdniowy o dwóch pasach ruchu na każdej jezdni (tj. na 94% długości). Na istniejących dwujezdniowych drogach krajowych klasy G i GP występuje tylko przekrój jezdni o dwóch pasach ruchu.
4. Na dwupasowych odcinkach autostrad szerokość pasa ruchu wynosi 3,75 m, na trzypasowych – 3,5 m, na drogach ekspresowych oraz dwujezdniowych drogach krajowych klasy G i GP szerokość pasa wynosi 3,5 m.
5. Zestawiając dane o szerokości pasa dzielącego na autostradach i drogach ekspresowych, można zauważyć, że tylko na 21% długości dróg (dla których były dostępne dane w BDD) pozostawiono rezerwę terenu pod dodatkowe pasy ruchu.

6. Analiza i ocena warunków ruchu (bazując na danych z ruchu średniorocznego dobowego) wskazuje, że na 95% długości odcinków istniejących autostrad i dróg ekspresowych występują bardzo dobre i dobre warunki ruchu (poziom swobody ruchu A do C. Złe i bardzo złe warunki ruchu (poziom swobody ruchu D i F) występują w na drogach ekspresowych aglomeracji warszawskiej (S8), trójmiejskiej (S6) oraz śląskiej (S86). W przypadku dwujezdniowych dróg klasy G i GP na większości odcinków występuje poziom A i B, natomiast najgorsze warunki ruchu (przekroczony poziom C) występują na wybranych odcinkach dróg: 1, 6, 7, 8, 91, 98.
7. Najniższy poziom ryzyka indywidualnego (koncentracja wypadków, ofiar), mierzonego liczbą wypadków, ofiar śmiertelnych i rannych na długość przejechanej drogi występuje na drogach o przekroju 2/3. Porównując poziom ryzyka do autostrad 2/2 jest ono niższe: dla koncentracji wypadków o 15%, dla koncentracji ofiar rannych o 17%, dla koncentracji ofiar ciężko rannych o 54% dla koncentracji ofiar śmiertelnych o 59%. Najniebezpieczniejszymi drogami są dwujezdniowe drogi klasy G i GP o przekroju 2/2 gdzie poziom ryzyka jest 3 krotnie wyższy niż na autostradzie o przekroju 2/2 dla wszystkich miar.
8. Jednym z narzędzi wspomagających prognozowanie ruchu oraz ocenę warunków ruchu w stanie istniejącym oraz prognozowanym jest Krajowy Model Ruchu. Model ten opracowano prawie 10 lat temu, a wiele z jego wyjściowych założeń jest nieaktualnych. Dlatego do model ten wymaga przebudowy i weryfikacji, aby można było szacować parametry ruchu dla planowanych odcinków dróg w wymaganych krótkich i długich okresach prognozy.

4. WYTYCZNE POSZERZANIA JEZDNI AUTOSTRAD I DRÓG EKSPRESOWYCH

4.1 Wprowadzenie

Obecne przepisy techniczno-budowlane nie regulują kwestii poszerzenia jezdni o kolejne pasy ruchu w miarę wzrostu natężenia ruchu i pogarszania się warunków ruchu, a także pozostawiania rezerw terenu pod kolejne pasy ruchu. Brak jednolitych wytycznych w tym obszarze powoduje, że sieć dróg w Polsce nie jest pod tym względem jednolita, a decyzje podejmowane na etapie przygotowania inwestycji nie są optymalne i często mają charakter uznaniowy.

W ramach niniejszego opracowania zaproponowano metodykę postępowania przy doborze przekroju poprzecznego autostrad i dróg ekspresowych ujętą w zwarty dokument nazwany „Wytyczne poszerzenia jezdni o dodatkowe pasy ruchu w zależności od przewidywanego natężenia ruchu drogowego. Część 2 – Projekt wytycznych”.

Potrzeba wydania Wytycznych wynika z potrzeby uporządkowania obszaru przygotowania inwestycji drogowych, w tym także określenia zasad pozostawiania rezerw terenu pod dodatkowe pasy ruchu przewidzianych do budowy dróg ekspresowych i autostrad.

4.2 Układ wytycznych

Zaproponowany projekt wytycznych składa się z siedmiu rozdziałów.

1. Podstawy formalne.
2. Podstawowe pojęcia i definicje.
3. Założenia
4. Prace przygotowawcze i analizy pomocnicze.
5. Dobór przekroju poprzecznego.
6. Ustalenie sposobu etapowania dochodzenia do przekroju docelowego.
7. Przykłady.

4.1 Założenia

Przystępując do opracowania wytycznych przyjęto następujące założenia:

1. Głównym celem Wytycznych jest przedstawienie jednolitych zasad ustalania liczby jezdni i liczby pasów ruchu w przekroju drogi na różnych poziomach zarządzania infrastrukturą drogową (planistycznym, projektowym i operacyjnym).
2. Celami pośrednimi są:
 - osiągnięcie wysokiej jakości projektów dróg,
 - uporządkowanie obszaru przygotowania inwestycji drogowych w zakresie ustalania rezerw terenu pod dodatkowe pasy ruchu przewidzianych do budowy dróg,

- dostarczenie narzędzia ułatwiającego podejmowanie optymalnych decyzji dotyczących ustalenia docelowego przekroju poprzecznego i etapowania budowy.
3. Przedmiotem wytycznych są dwujezdniowe drogi klasy A, S, GP i G: planowane lub istniejące poddane przebudowie.
 4. Analizę ustalania liczby pasów ruchu i szerokości przekroju poprzecznego dróg wykonuje się w ramach przygotowania różnych stadiów dokumentacji oraz w trakcie procesu utrzymania drogi. Przyjmuje się trzy fazy ustalania przekroju poprzecznego dróg w cyklu życia drogi: fazę projektowania wstępnego, fazę uzyskania decyzji administracyjnych i fazę utrzymania drogi.
 5. Faza projektowania wstępnego obejmuje analizy, które powinny być prowadzone dla strategicznych odcinków dróg, np. w ramach Studium sieciowego SS. Zakres prowadzonych wówczas analiz obejmuje między innymi wytyczne dla rozwiązań planistycznych, takie jak: własności użytkowe elementów rozpatrywanej sieci drogowej (klasa drogi, przekrój poprzeczny, nośność nawierzchni obiektów drogowych, przepustowość, dostępność, prędkość podróży), pożądane powiązania drogowe wraz z ich klasą.
 6. Faza uzyskania decyzji administracyjnych – analiza powinna być prowadzona dla sieciowych odcinków dróg w celu wykonania opracowań projektowych dla potrzeb uzyskania:
 - Decyzji o Środowiskowych Uwarunkowaniach (DŚU), w tym Studium korytarzowego wraz z analizą wielokryterialną (SK) jako podstawowego dokumentu projektowego kompleksowo przedstawiającego nowe zamierzenie inwestycyjne drogowe oraz Studium Techniczno-Ekonomiczno-Środowiskowego (STEŚ). Opracowanie polega na wykonaniu kompletnego studium dla wariantów wybranych w wyniku opracowania w SK, w ramach których prowadzi się także analizy uściślające elementy przekroju poprzecznego drogi.
 - Zezwolenia na Realizację Inwestycji Drogowej (ZRID), w tym: Koncepcji programowej (KP), Projektu Budowlanego (PB). W ramach tych opracowań wykonuje się szczegółowe projekty obiektów i wymiaruje się dokładnie elementy przekroju poprzecznego drogi.
 7. Faza utrzymania drogi – analiza prowadzona powinna być dla odcinków międzywęzłowych dróg okresowo (np. po wykonaniu Generalnego Pomiaru Ruchu), w celu określenia aktualnych warunków ruchu i podjęcia decyzji o budowie dodatkowego pasa ruchu w przekroju drogi.
 8. Analizy prowadzone w poszczególnych fazach różnią się zakresem i poziomem dokładności. Tok postępowania przy ustalaniu przekroju poprzecznego dróg obejmuje

trzy etapy: prace przygotowawcze i analizy pomocnicze, dobór przekroju poprzecznego drogi i ustalenie sposobu etapowania.

4.2 Procedura prowadzenia analizy

Analizy dotyczące wyboru typu lub poszerzenia przekroju drogi mogą być wykonywane w trzech fazach cyklu życia drogi, tj. w fazach:

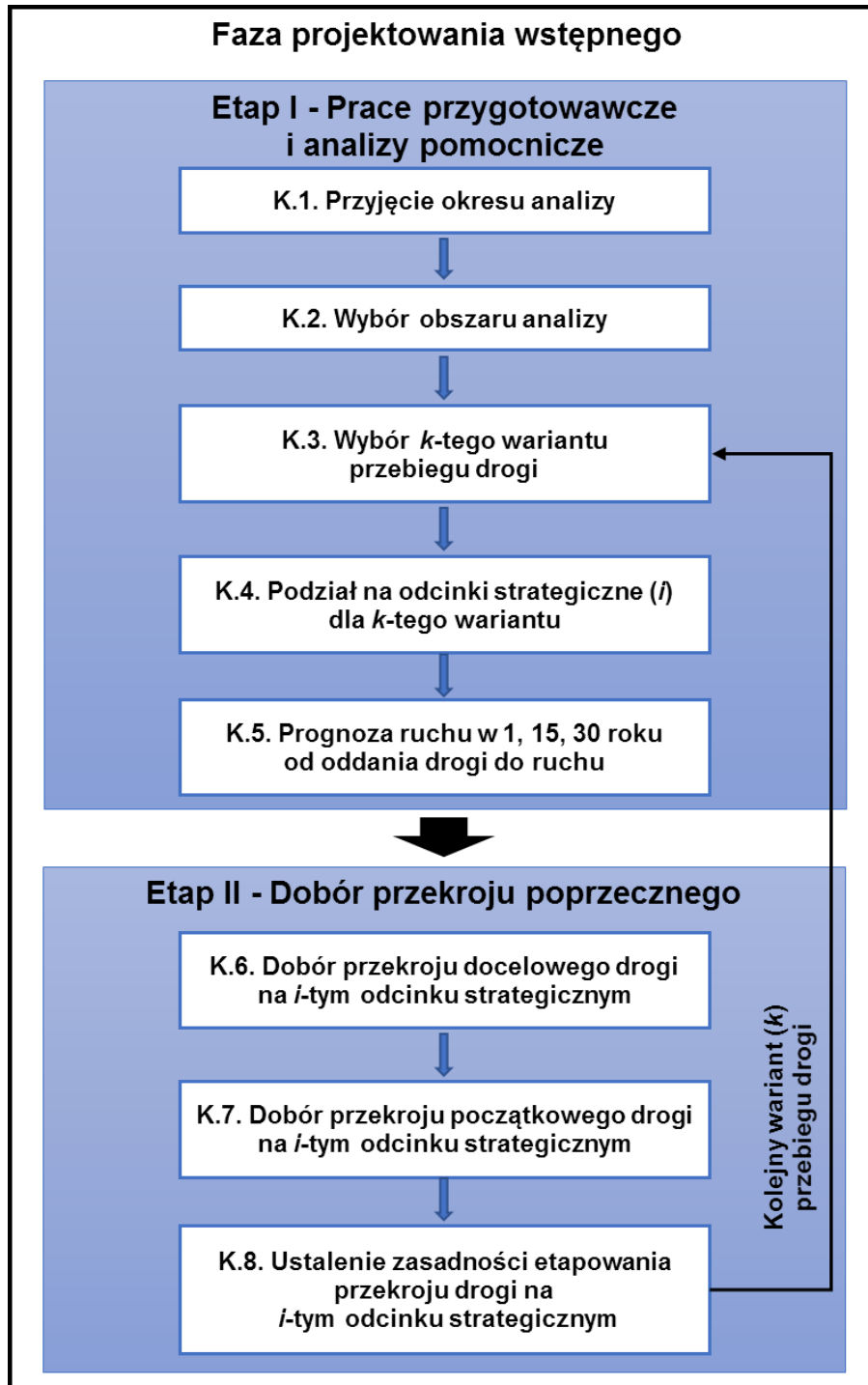
- a) projektowania wstępnego,
- b) uzyskania decyzji administracyjnych,
- c) utrzymania drogi.

4.2.1 Faza projektowania wstępnego

Faza projektowania wstępnego jest pierwszą fazą etapu projektowania nowej drogi. Należy w niej podjąć decyzję o wyborze przekroju docelowego dla odcinków strategicznych dla każdego z analizowanych wariantów. Przez odcinki strategiczne należy rozumieć odcinek drogi stanowiący połączenia międzynarodowe, międzyregionalne, międzymetropolitalne, które łączą stolice województw lub inne duże miasta; są to odcinki dróg o długości ponad 50 km. W tej fazie cyklu życia drogi (np. w trakcie opracowywania Studium Sieciowego Dróg), do doboru przekroju poprzecznego stosuje się metodę uproszczoną. Przygotowanie prognoz ruchu, służących temu celowi, będzie obejmowało dwa etapy oraz 8 kroków (rys. 4.1):

1. Etap I - Prace przygotowawcze i analizy pomocnicze:
 - K.1. Przyjęcie okresu analizy.
 - K.2. Wybór obszaru analizy.
 - K.3. Wybór k -tego wariantu przebiegu drogi.
 - K.4. Podział na odcinki strategiczne (i) dla k -tego wariantu.
 - K.5. Prognoza ruchu w 1, 15, 30 roku od oddania drogi do ruchu.
2. Etap II – Dobór przekroju poprzecznego:
 - K.6. Dobór przekroju docelowego drogi na i -tym odcinku strategicznym.
 - K.7. Dobór przekroju początkowego drogi na i -tym odcinku strategicznym.
 - K.8. Ustalenie zasadności etapowania przekroju drogi na i -tym odcinku strategicznym.

Głównym zadaniem I etapu (kroki K.1 – K.5) jest przygotowanie prognoz ruchu, które umożliwią w etapie II wybór przekroju docelowego oraz sprawdzenie możliwości etapowania przekroju na każdym z odcinków strategicznych. Głównym kryterium wyboru przekroju będzie dopuszczalny poziom swobody ruchu oraz graniczne wartości średniorocznych dobowych natężeń ruchu dla poszczególnych typów dróg.



Rys. 4.1 Schemat wykonywania prognoz ruchu dla fazy projektowania wstępnego.

Źródło: opracowanie własne

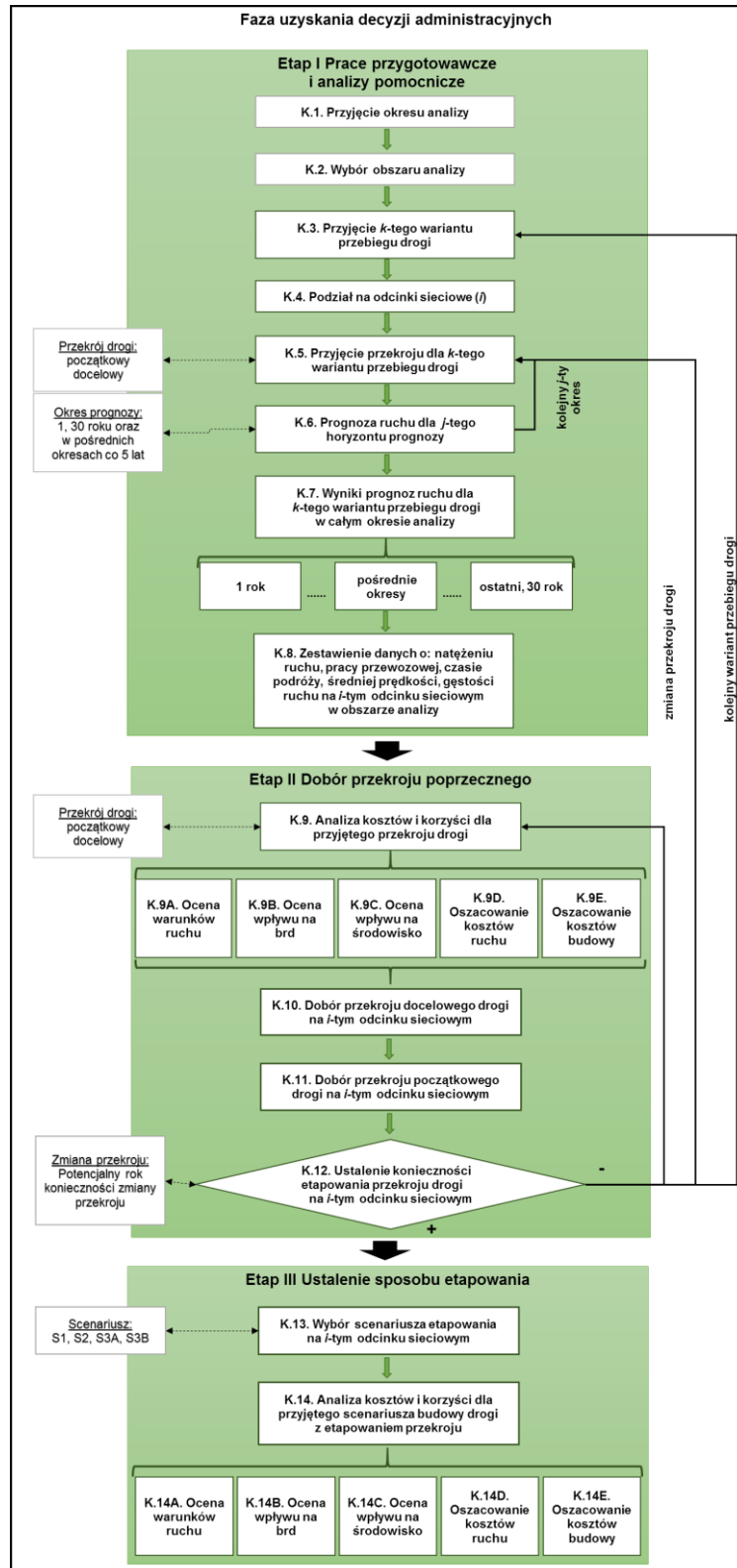
4.2.2 Faza uzyskania decyzji administracyjnych

W tej fazie cyklu życia drogi (np. w trakcie opracowywania Studium Korytarzowego, Studium Techniczno-Ekonomiczno-Środowiskowego, Koncepcji Programowej itp.) do doboru przekroju poprzecznego drogi stosuje się metodę szczegółową. Metodę stosuje się na wszystkich odcinkach sieciowych nowo projektowanego odcinka drogi. Przez odcinki

sieciowe należy rozumieć odcinki dróg stanowiące ważne elementy sieci drogowej; odcinki autostrady lub drogi ekspresowej będące wynikiem podziału wyznaczonego przez przecięcia z: autostradami, drogami ekspresowymi lub ważnymi drogami krajowymi, a także obwodnice dużych miast lub aglomeracji; są to odcinki dróg o długości 10 – 50 km. Przygotowanie prognoz ruchu, służących temu celowi, będzie obejmowało trzy etapy oraz 14 kroków (rys. 4.2):

1. Etap I - Prace przygotowawcze i analizy pomocnicze:
 - K.1. Przyjęcie okresu analizy.
 - K.2. Wybór obszaru analizy.
 - K.3. Wybór k -tego wariantu przebiegu drogi.
 - K.4. Podział na odcinki sieciowe (i) dla k -tego wariantu.
 - K.5. Przyjęcie przekroju dla k -tego wariantu przebiegu drogi.
 - K.6. Prognoza ruchu dla j -tego horyzontu prognozy
 - K.7. Wyniki prognoz ruchu dla k -tego wariantu przebiegu drogi w całym okresie analizy
 - K.8. Zestawienie danych o: natężeniu ruchu, pracy przewozowej, czasie podróży, średniej prędkości, gęstości ruchu na i -tym odcinku sieciowym w obszarze analizy.
2. Etap II – Dobór przekroju poprzecznego:
 - K.9. Analiza kosztów i korzyści dla przyjętego przekroju drogi.
 - K.10. Dobór przekroju docelowego drogi na i -tym odcinku sieciowym.
 - K.11. Dobór przekroju początkowego drogi na i -tym odcinku sieciowym.
 - K.12. Ustalenie konieczności etapowania przekroju drogi na i -tym odcinku sieciowym.
3. Ustalenie sposobu etapowania:
 - K.13. Wybór scenariusza etapowania na i -tym odcinku sieciowym.
 - K.14. Analiza kosztów i korzyści dla przejętego scenariusza budowy drogi z etapowaniem przekroju.

Podobnie jak w przypadku fazy projektowania wstępnego pierwszy etap (Kroki K1- K.8) obejmuje przygotowanie danych umożliwiających wybór przekroju drogi. Ze względu na znacznie większą dokładność tego etapu projektowania drogi będzie on wymagał dużo większej liczby przeprowadzonych analiz. Wszystkie prognozy muszą zostać wykonane dla 1, 30 roku od oddania drogi do ruchu oraz w pośrednich okresach co 5 lat dla przekroju docelowego oraz przekroju początkowego. Umożliwi to w kroku 8 zebranie danych o natężeniu ruchu, pracy przewozowej itd.



Rys. 4.2 Schemat wykonywania prognoz ruchu dla fazy uzyskania decyzji administracyjnych

Źródło: opracowanie własne

Etap II jest najistotniejszym w całym procesie wyboru przekroju drogi. Pierwszy dostarczył danych, które w czterech kolejnych krokach pozwolą na wybór optymalnego rozwiązania dla

nowej drogi. W kroku K.9 zostaną przeprowadzone analizy kosztów i korzyści zarówno dla przekroju docelowego, jak i początkowego. Obejmować będą one: ocenę warunków ruchu, ocenę wpływu na brd, ocenę wpływu na środowisko, oszacowanie kosztów ruchu i kosztów budowy.

Umożliwi to wybór przekroju docelowego (krok K.10) oraz początkowego (K.11) na każdym z odcinków sieciowych przekroju. Jeżeli przekrój docelowy i początkowy się różnią, możemy ustalić potencjalny rok konieczności zmiany przekroju. W przypadku kiedy okres funkcjonowania przekroju początkowego będzie dłuższy od zakładanego minimum (10 lat), możemy przystąpić do 3 etapu.

Trzeci etap pozwoli na wybór optymalnego scenariusza etapowania przekroju poprzecznego (krok K.13). Po jego wyborze oraz określeniu dokładnego roku zmiany przekroju z początkowego na docelowy możemy przystąpić do ponownej oceny kosztów i korzyści (krok K.14) obejmującej takie same zagadnienia jak w etapie II (krok K.9).

4.2.3 Faza utrzymania drogi

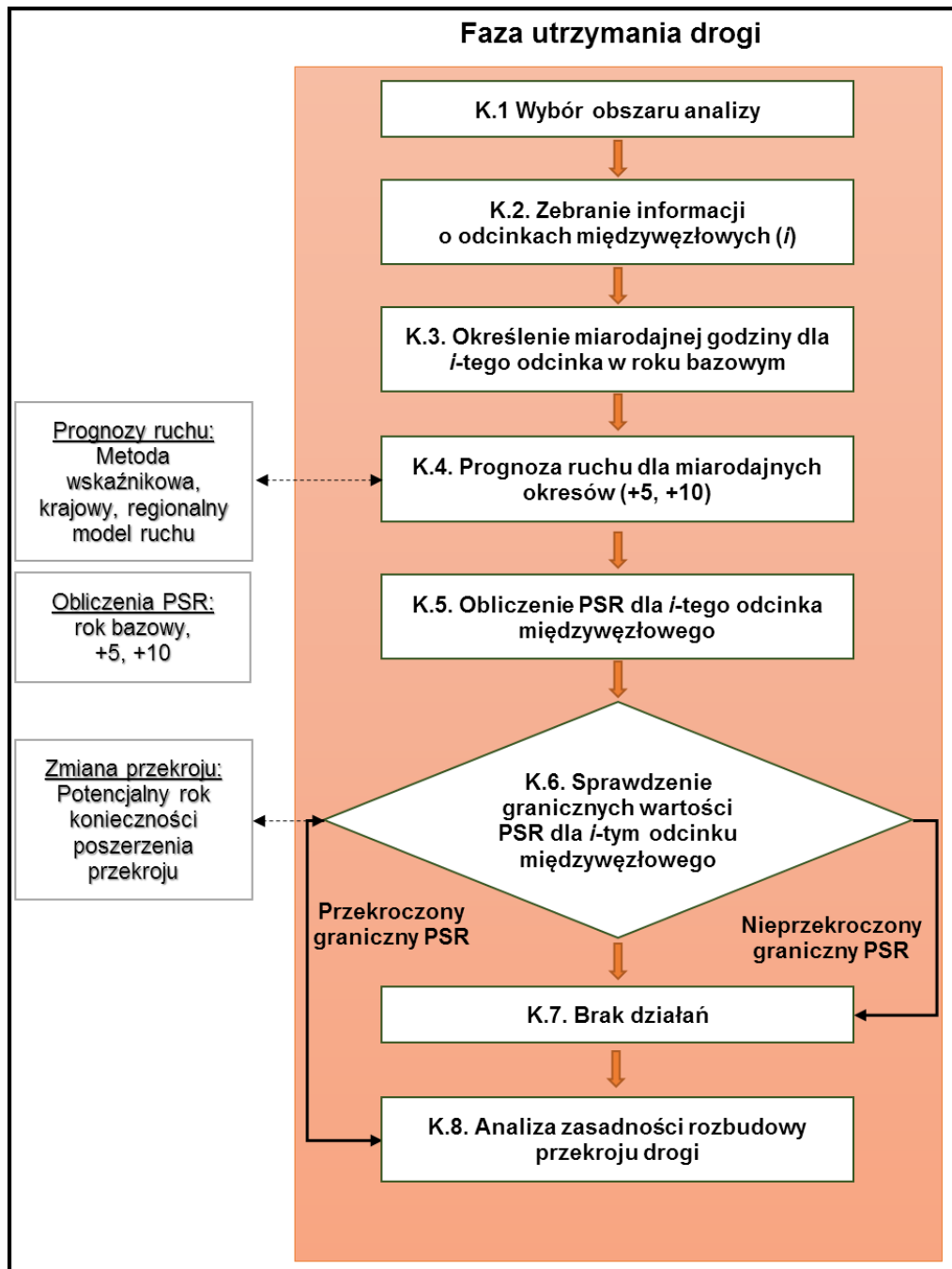
Dwie wyżej wymienione fazy obejmowały działania na poziomie strategicznym (proces projektowania nowej drogi), natomiast w tej fazie działania są podejmowane na poziomie operacyjnym. Będą one obejmowały odcinki międzywęzłowe oddane do eksploatacji. Przez odcinki międzywęzłowe należy rozumieć jednorodne odcinki dróg stanowiące połączenia między węzłami na autostradzie, drodze ekspresowej lub dwujezdniowej klasy G i GP, odcinki dróg o długości 2 – 20 km. Przygotowanie prognoz ruchu, służących temu celowi, będzie obejmowało jeden etap z 8 krokami (rys. 4.3):

- K.1. Wybór obszaru analizy.
- K.2. Zebranie informacji o odcinkach międzywęzłowych (i).
- K.3. Określenie miarodajnej godziny dla i -tego odcinka w roku bazowym.
- K.4. Prognoza ruchu dla miarodajnych okresów (+5, +10).
- K.5. Obliczenie PSR dla i -tego odcinka międzywęzłowego.
- K.6. Sprawdzenie granicznych wartości PWR dla i -tym odcinku międzywęzłowego.
- K.7. Brak działań.
- K.8. Analiza zasadności rozbudowy przekroju drogi.

Kroki K.1 – K.3 odpowiadają za zebranie szczegółowych danych, które pozwolą na oszacowanie natężenia ruchu w krótkim okresie do 10 lat. Ważnym elementem tego etapu prac jest określenie miarodajnej godziny oraz wskaźnika rozkładu kierunkowego ruchu, który może być inny niż przyjmowany dla obszaru kraju. Dla krótkiego okresu prognozy (do 5 lat) możemy wykorzystać metodę wskaźnikową, jednak metodą rekomendowaną jest

wykorzystanie Krajowego modelu ruchu lub jego regionalnych, aglomeracyjnych odpowiedników.

W krokach K.6 – K.8 określamy, czy na naszym odcinku został przekroczony graniczny PSR. W przypadku jego przekroczenia należy rozpocząć pracę, które pozwolą na określenie możliwości rozbudowy przekroju lub rozważyć inne rozwiązanie mogące wpłynąć na zmniejszenia natężenia ruchu na tym odcinku (np. budowa innych alternatywnych połączeń, wprowadzenie opłat, ograniczenie ruchu pojazdów ciężarowych).



Rys. 4.3 Schemat wykonywania prognoz ruchu na poziomie operacyjnym (drogi istniejące)

Źródło: opracowanie własne

5. ANALIZA I OCENA ROZWIĄZAŃ PROPONOWANYCH W PROJEKCIE WYTYCZNYCH

5.1 Wprowadzenie

W niniejszym rozdziale przedstawiono wyniki analiz dla zaproponowanych w projekcie wytycznych rozwiązań. Obejmowały one drogi szybkiego ruchu (autostrady i drogi ekspresowe) oraz dwujezdniowe drogi klasy G i GP:

- a) Opracowanie wytycznych do wykonywania długoterminowych prognoz ruchu dla potrzeb planowania i projektowania budowanych lub przebudowywanych odcinków sieci drogowej z wykorzystaniem Krajowego Modelu Ruchu.
- b) Ocena skutków wpływu zaproponowanych rozwiązań na poziom swobody ruchu, czas przejazdu, średnią prędkość, bezpieczeństwo ruchu, koszty użytkowników dróg, koszty emisji spalin oraz koszty eksploatacji pojazdów.
- c) Szacunkowa ocena skutków wpływu zaproponowanych rozwiązań na koszty realizacji inwestycji drogowych.
- d) Analiza wybranych wariantów przekroju dróg dla przyjętych scenariuszy poszerzania przekroju drogi z zastosowaniem przyjętych kryteriów zwiększania liczby pasów ruchu.
- e) Analiza możliwości zmniejszenia minimalnej szerokości pasa dzielącego na drogach wielojezdniowych wraz ze wskazaniem minimalnych szerokości pasa dzielącego.

5.2 Prognozy ruchu

5.2.1 Cele i zastosowania prognoz ruchu

Efektywne funkcjonowanie krajowej sieci dróg w dużej mierze zależy od trafności podejmowanych decyzji od etapu planowania, przez projektowanie i budowę, aż do eksploatacji infrastruktury, w tym decyzji o przebudowie i poszerzeniu jezdni o dodatkowe pasy ruchu.

Planowanie oraz opracowanie harmonogramu rozbudowy istniejących dróg o dodatkowe pasy ruchu wymaga dysponowania wiarygodnymi informacjami o ruchu drogowym w ujęciu prognostycznym. Z uwagi na ustawicznie realizowane inwestycje w sektorze transportu, w tym np.: realizowanie programu budowy dróg szybkiego ruchu, modernizacja kolei, rozwój transportu lotniczego, zmiany socjalno-ekonomiczne, rozwój przemysłu, systemów opłat za korzystanie z infrastruktury drogowej, systemów zarządzania ruchem i dostarczania informacji itp. wywierany jest wpływ na użytkowników systemu, który przekłada się między innymi na ich preferencje co do wykorzystywania środków transportu.

Jedyną metodą, która umożliwi pozyskanie wiarygodnych danych o ruchu w ujęciu prognostycznym, jest wykonywanie prognozowania ruchu w oparciu o metodę modelowania

ruchu. Od 2009 r GDDKiA zakazała używania metody wskaźnikowej do opracowywania prognoz ruchu drogowego. Został wprowadzony wymóg stosowania metody prognozowania ruchu drogowego do analizowania wszystkich projektów dotyczących dróg krajowych. Decyzja ta jest zasadna, ponieważ modele ruchu są obecnie jedynym sposobem prognozowania obciążeń sieci drogowej ruchem, w sytuacji gdy następuje rozwój sieci transportowej zmieniający dotychczasowe trasy przejazdów czy też w warunkach zmieniającego się zagospodarowania przestrzennego, mającego wpływ na potencjały generacji i absorpcji ruchu. Użycie modeli ruchu jest też konieczne w warunkach zmieniających się zachowań użytkowników dróg, np. w związku z rozwojem gospodarczym, wywołującym wzrost wartości czasu i większą skłonność wyboru dróg wyższej klasy, nawet w przypadku konieczności ponoszenia dodatkowych kosztów podróży (np. opłat za przejazd).

5.2.2 Aktualizacja Krajowego Modelu Ruchu

Aktualnie w Polsce na potrzeby wykonywania prognoz ruchu, GDDKiA udostępnia nieodpłatnie Krajowy Model Ruchu (KMR), który powstawał w ramach pracy badawczej dla GDDKiA w latach 2006-2008 w Zakładzie Inżynierii Komunikacyjnej Politechniki Warszawskiej. Model ten jest obecnie aktualizowany w ramach pracy badawczej Rozwój Innowacji Drogowych RID dla NCBiR oraz GDDKiA (przez Konsorcjum w składzie Politechnika Warszawska, Politechnika Krakowska, Politechnika Gdańska, którego liderem jest Politechnika Warszawska, Zakład Inżynierii Komunikacyjnej) [46]. Zakończenie tej pracy badawczej będzie miało miejsce w 2018 r. a do tego czasu prognozy ruchu będą musiały być nadal wykonywane z wykorzystaniem istniejącego modelu ruchu dla sieci dróg krajowych.

Z uwagi na to, że budowa i aktualizacja Krajowego Modelu Ruchu jest procesem długotrwałym, powinna zostać opracowana procedura jego cyklicznej aktualizacji, która odbywałaby się minimum co 5 lat równoległe z prowadzonym Generalnym Pomiarem Ruchu. W przypadku pojawienia się okoliczności, które wpływają na istotne zmiany w sposobie odbywania podróży na drogach krajowych, również powinno wykonywać się aktualizację Krajowego Modelu Ruchu.

Takie podejście umożliwi wprowadzanie do procedur obliczeniowych zmian, które mogą znacząco wpłynąć na zmianę rozkładu ruchu na sieć drogową. Zmiany te mogą występować zarówno w wyniku znaczących zmian popytu i podaży (np. sankcje nałożone na Rosję, co przyczynia się do znacznego spadku ruchu pojazdów ciężarowych), jak i również w przypadku występowania zmian socjologiczno-ekonomicznych (kryzys ekonomiczny z 2008 roku) oraz zmian rozwoju sieci drogowej (zmiana harmonogramu budowy dróg ruchu

szybkiego, budowa nowej alternatywnej trasy nie analizowanej we wcześniejszych pracach badawczych).

Wraz z opracowaniem aktualizacji modelu ruchu powinno wykonywać się aktualizacje prognoz ruchu, które między innymi służyłyby ocenie aktualnych programów budowy nowych i przebudowy istniejących dróg oraz zasadności budowy dodatkowych pasów ruchu na drogach istniejących.

5.2.3 Wykorzystanie modeli ruchu do wyboru scenariusz poszerzenia drogi

Projekty związane z poszerzeniami jezdni na drogach krajowych, podobnie jak pozostałe projekty dotyczące dróg krajowych, powinny zostać objęte sprawdzoną od wielu lat i skuteczną procedurą prognozowania ruchu wg wytycznych GDDKiA. Potencjalni wykonawcy analiz ruchu powinni uzgadniać w Departamencie Przygotowania Inwestycji GDDKiA zakres pomiarów i badań ruchu, które będą służyły do uszczegółowienia i kalibracji Krajowego Modelu Ruchu w obszarach oddziaływania analizowanych projektów. W obszarach tych należy również dokonać uszczegółowienia modelu sieci drogowej.

Należy również wykonać przejście z systemu rejonów transportowych (komunikacyjnych) opartych na powiatach (system rejonów komunikacyjnych w Krajowy Model Ruchu odwzorowuje powiatowy podział administracyjny kraju) na rejony komunikacyjne oparte na gminach czy dzielnicach miast. Proces ten wymaga dezagregacji macierzy podróży oraz opracowania modelu generacji podróży lokalnych. Do przeprowadzenia kalibracji i walidacji modelu dla stanu istniejącego należy następnie wykorzystać wyniki wykonanych poligonowych badań ruchu. W kolejnym kroku skalibrowane i poddane walidacji modele ruchu mogą w postać jako modele bazowe do opracowania prognozy ruchu.

Wyniki prognoz ruchu w głównej mierze dostarczają dane do oceny warunków ruchu, oceny bezpieczeństwa ruchu drogowego oraz szacowania kosztów ruchu (czas podróży, czas pracy kierowców, eksploatacja pojazdów, emisja spalin, hałas, zmiany klimatyczne) dla każdego wariantu budowy/ przebudowy analizowanych odcinków drogi.

Bez stosowania metody modelowania ruchu otrzymywanie powyższych wyników obarczone byłoby błędem, ponieważ tylko metoda modelowania ruchu umożliwia uwzględnienie dokonywania przez użytkowników wyboru optymalnych pod względem czasu i kosztu podróży tras przejazdu. Jest to możliwe, ponieważ w metodzie modelowania ruchu można uwzględnić wpływ zatłoczenia na drodze na czasy przejazdu poszczególnymi odcinkami dróg. Poprzez iteracyjny proces rozkładania ruchu na modelu sieci drogowej w modelu znajdowane są optymalne trasy przejazdu dla wszystkich podróży.

Bez tej własności metody modelowania ruchu nie jest możliwe opracowanie prognoz ruchu dla nowo budowanych i przebudowywanych odcinków. Poprzez zmianę standardu

drogi czas przejazdu przez analizowany odcinek ulega skróceniu, w efekcie czego droga zostaje przypisana do większej liczby optymalnych tras przejazdu. Następuje modyfikacja tras przejazdu i w efekcie na drodze tej występują większe prognozowane natężenia ruchu. Modyfikacja tras przejazdu wpływa również na zmiany łącznego czasu i długości podróży.

Powyższe statystyki są następnie wykorzystywane do określenia ekonomicznych korzyści użytkowników wynikających z realizacji analizowanych wariantów i są bezpośrednio wykorzystywane do opracowania wyników analiz ekonomicznych dla analizowanych wariantów przebudowy.

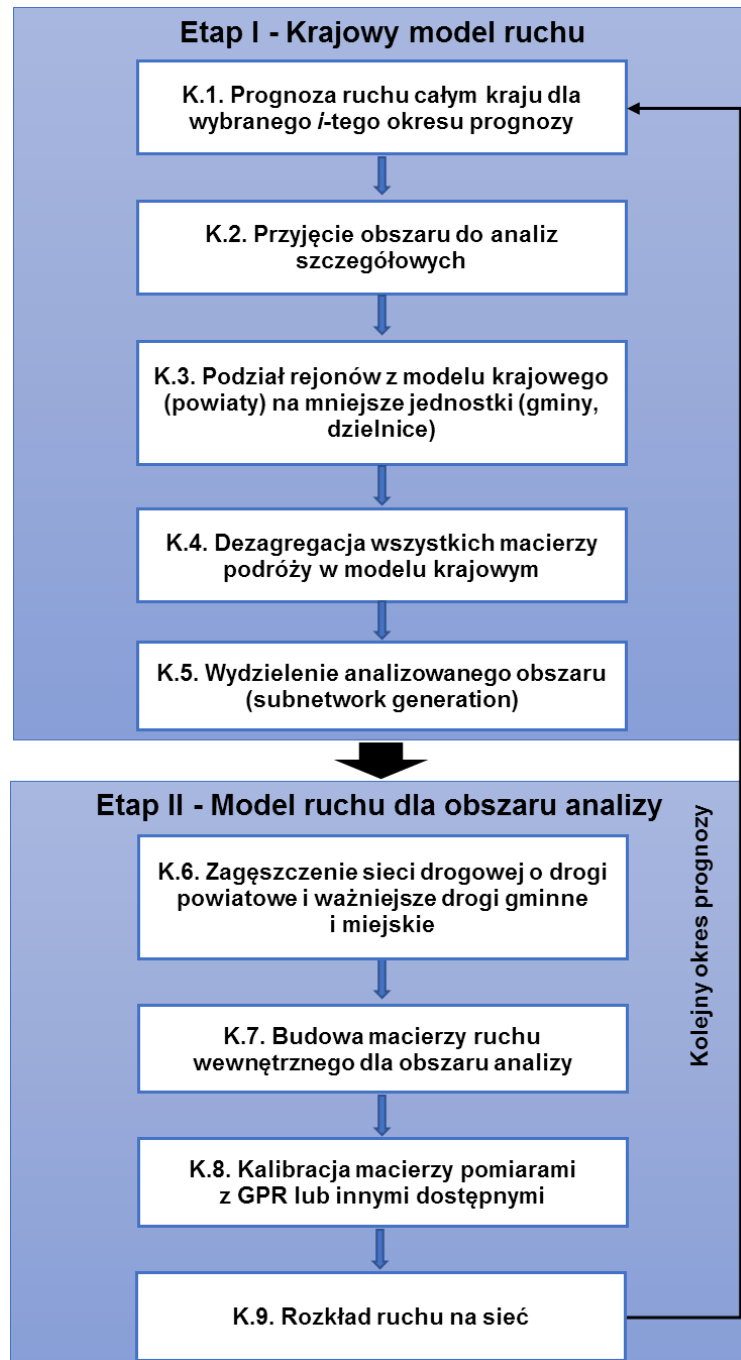
Należy zauważyć, że w przypadkach dróg bardzo mocno obciążonych ruchem drogowym planowana przebudowa nie musi wiązać się z poprawą warunków ruchu na tym odcinku. Może to wystąpić w przypadku dróg na tyle zatłoczonych, że użytkownicy wybierają inne alternatywne trasy przejazdu, inny środek transportu lub rezygnują z wykonywania podróży. W takich przypadkach mamy do czynienia ze zjawiskiem „uśpionego popytu”. Efekt ten został już zauważony w latach 60 ubiegłego wieku i nosi nazwę hipotezy Goldfrey-a. Wyjaśnia ona, że „uśpiony popyt” prowadzi do tego, że średnia prędkość pojazdów w sieciach mocno obciążonych ruchem drogowym stabilizuje się na poziomie niewiele niższym od prędkości odpowiadającej natężeniom ruchu równym przepustowości. Należy zwracać szczególną uwagę na ewentualne występowanie tego typu przypadków na drogach krajowych, które oprócz prowadzenia ruchu na duże odległości pełnią również znaczącą rolę w obsłudze ruchu lokalnego w otoczeniu dużych aglomeracji, w tym np. Obwodnica Trójmiasta, Trasa S8 w Warszawie i Obwodnica Krakowa w ciągu autostrady A4.

5.2.4 Założenia do wykonywania prognoz ruchu

W celu opracowania prognoz ruchu transportu samochodowego dla wybranego odcinka nowo projektowanej drogi należy przeprowadzić dwuetapową analizę, składającą się z 9 kroków (rys. 5.1) zgrupowanych w dwóch etapach. Szczegółową procedurę wykorzystywaną w procesie prognozowania ruchu przedstawiono na przykładzie prognozy ruchu dla drogi ekspresowej S5 na odcinku Nowe Marzy – Gniezno oraz prognozy ruchu dla Autostrady A2 na odcinku Sochaczew – Warszawa.

Etap I. W pierwszym etapie do budowy modelu ruchu w analizowanym obszarze należy wykorzystać KMR. Tak jak zostało opisane to w punkcie 5.2.2 podejście takie umożliwi uwzględnienie zmian mających wpływ na rozkład przestrzenny podróży w całym kraju. Te zmiany mogą istotnie wpływać na liczbę podróży w analizowanym obszarze (krok K.1). W kolejnym kroku dla pierwszego okresu (stan 0) należy określić obszar, który będzie obejmował szczegółowe analizy ruchu. Minimalny zasięg takiego obszaru musi obejmować powiaty, przez które przechodzi analizowany odcinek drogi oraz wszystkie powiaty przyległe

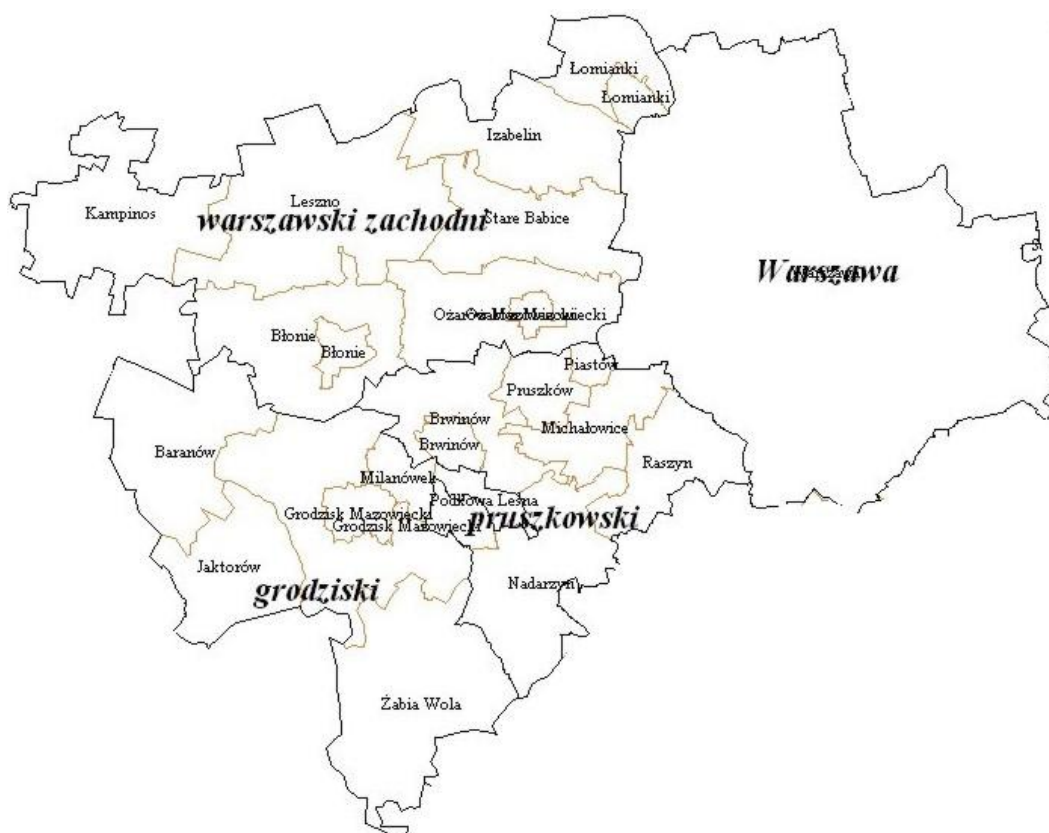
do tego obszaru (krok K.2). Dla tak zdefiniowanego obszaru analiz należy przeprowadzić podział rejonów na mniejsze jednostki urbanistyczne: gminna, dzielnicowa, które będą w dalszych pracach pełnić rolę miejsca początku i końca podróży (krok K.3). Rysunki 5.2 – 5.3 przedstawiają podział rejonów (powiatów). W rezultacie 3 rejonów komunikacyjnych zastąpiono 24 nowymi, mniejszymi rejonami komunikacyjnymi (tablica 5.1). Dodatkowo Warszawę (rejon komunikacyjny nr 178) podzielono na 18 mniejszych rejonów komunikacyjnych wg dzielnic (tablica 5.2)



Rys. 5.1 Podział na etapy i kroki w procesie budowy modelu do prognoz ruchu

Źródło: opracowanie własne

W kolejnym kroku dla wszystkich macierzy wykorzystywanych w modelu krajowym: samochód osobowy z podziałem na motywacje podróży: dom – praca, biznes, turystyka, inne, zagraniczny samochód osobowy z podziałem na motywacje podróży: dom – praca, biznes, turystyka, inne, samochód ciężarowy bez przyczepy, zagraniczny samochód ciężarowy bez przyczepy, samochód dostawczy, zagraniczny samochód dostawczy, samochód ciężarowy z przyczepą, zagraniczny samochód ciężarowy z przyczepą należy przeprowadzić procedurę dyzgregacji macierzy z poziomu powiatu do przyjętych rejonów komunikacyjnych (krok K.4). Ostatnim krokiem (krok K.5) w tym etapie będzie wycięcie analizowanego obszaru do szczegółowych analiz. Macierze z KMR będą macierzami zewnętrznymi (ruch tranzytowy oraz źródłowo celowy).



Rys. 5.2 Podział powiatów na gminy w rejonie analizy

Źródło: opracowanie własne



Rys. 5.3 Podział powiatu Warszawa na dzielnice w rejonie analizy

Źródło: opracowanie własne

Tablica 5.1

Podział powiatów na gminy w rejonie analizy

L.p.	Gmina	Obszar	Powiat	Ludność 2015 [tys.]
1	Brwinów	miasto	pruszkowski	13.0
2	Brwinów	obszar wiejski	pruszkowski	10.5
3	Michałowice		pruszkowski	17.0
4	Nadarzyn		pruszkowski	11.0
5	Piastów		pruszkowski	26.0
6	Pruszków		pruszkowski	61.0
7	Raszyn		pruszkowski	21.5
8	Baranów		grodziski	5.5
9	Grodzisk Mazowiecki	miasto	grodziski	30.5
10	Grodzisk Mazowiecki	obszar wiejski	grodziski	11.5
11	Jaktorów		grodziski	11.5
12	Milanówek		grodziski	18.0
13	Podkowa Leśna		grodziski	4.5
14	Żabia Wola		grodziski	7.0
15	Błonie	miasto	warszawski zachodni	13.5
16	Błonie	obszar wiejski	warszawski zachodni	8.5
17	Izabelin		warszawski zachodni	11.0
18	Kampinos		warszawski zachodni	4.5
19	Leszno		warszawski zachodni	9.5

L.p.	Gmina	Obszar	Powiat	Ludność 2015 [tys.]
20	Łomianki	miasto	warszawski zachodni	17.0
21	Łomianki	obszar wiejski	warszawski zachodni	6.5
22	Ożarów Mazowiecki	miasto	warszawski zachodni	9.0
23	Ożarów Mazowiecki	obszar wiejski	warszawski zachodni	14.0
24	Stare Babice		warszawski zachodni	16.5

Źródło: opracowanie własne na podstawie danych GUS

Tablica 5.2

Podział rejonu komunikacyjnego Warszawa na dzielnice

L.p	Dzielnica	Ludność [tys.]	Pow. [km ²]	L.p	Dzielnica	Ludność [tys.]	Pow. [km ²]
1	Bemowo	105	25.0	10	Targówek	125	24.2
2	Białołęka	105	73.0	11	Ursus	45	9.4
3	Bielany	135	32.3	12	Ursynów	145	43.8
4	Mokotów	225	35.4	13	Wawer	65	79.7
5	Ochota	90	9.7	14	Wesoła	20	22.6
6	Praga-Południe	185	22.4	15	Wilanów	15	36.7
7	Praga-Północ	75	11.4	16	Włochy	40	28.6
8	Rembertów	25	19.3	17	Wola	140	19.3
9	Śródmieście	135	15.6	18	Żoliborz	50	8.5

Źródło: opracowanie własne na podstawie danych GUS

Etap II. W tym etapie prace zmierzające do oszacowania ruchu na nowo projektowanej drodze są prowadzone w 4 kolejnych krokach.

Krok K.6. W pierwszym z nich należy uzupełnić sieć drogową o istniejące drogi powiatowe, ważniejsze drogi gminne i miejskie (rys. 5.4).

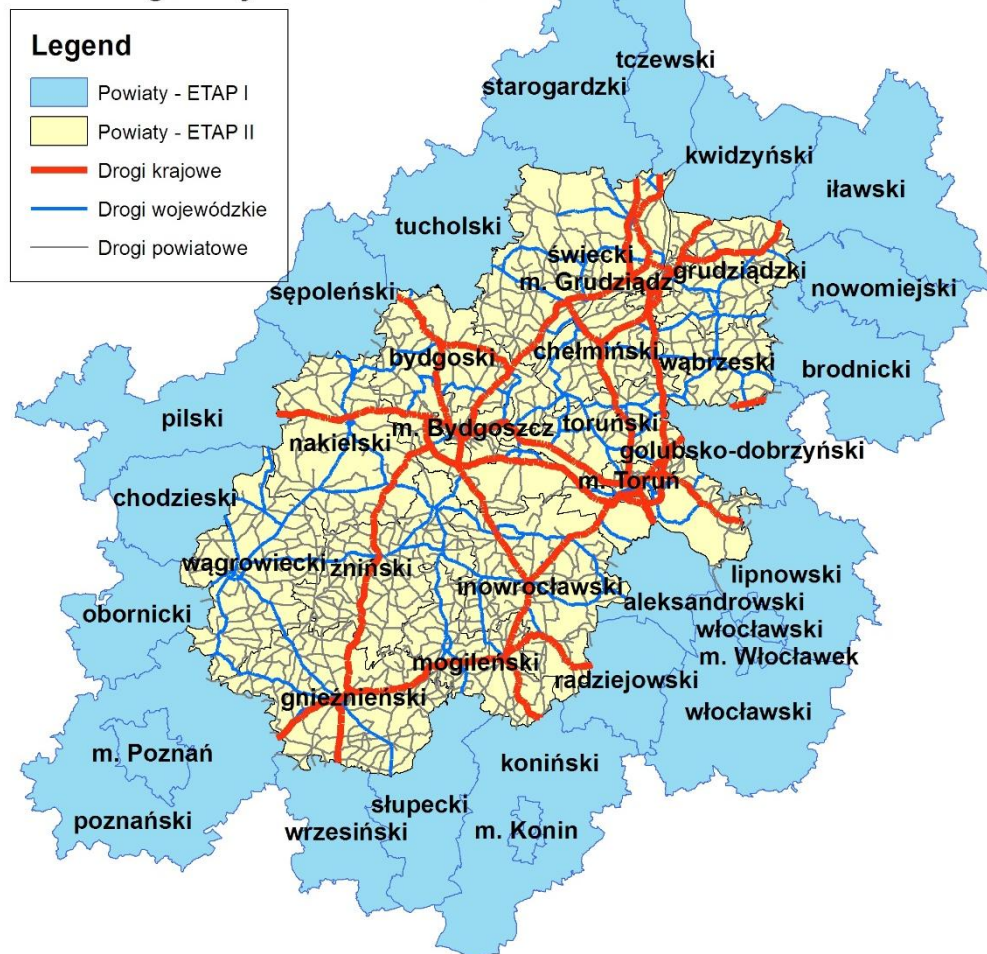
Krok K.7 obejmuje procedurę budowy macierzy ruchu wewnętrznego dla analizowanego obszaru dla wszystkich rejonów (gmin, dzielnic w mieście). Do ich obliczania powinien zostać zastosowany model grawitacyjny, w którym liczba podróży pomiędzy rejonami jest funkcją ich potencjału i odległości pomiędzy nimi.

Krok K.8 obejmuje kalibrację macierzy ruchu wewnętrznego zgodnie z opisem przedstawionym w punkcie 3.6.3.

Krok K.9. Ostatni krok obejmuje rozkład ruchu na sieć drogową. Skalibrowany model bazowy będzie modelem wyjściowym do dalszych prac na kolejne lata prognozy.

W kolejnych okresach prognozy należy powtarzać procedurę z pominięciem kalibracji macierzy wewnętrznych. Macierze te powinny być obliczane z uwzględnieniem zmian demograficznych, zagospodarowania przestrzennego i funkcji obszarów oraz zachowań transportowych mieszkańców tych rejonów.

Droga ekspresowa S5 Przyjęty obszar do szczegółowych analiz ruchu



Rys. 5.4 Przyjęty obszar do szczegółowych analiz ruchu

Źródło: opracowanie własne

5.3 Analiza wpływu wariantów rozbudowy przekroju

5.3.1 Założenia do analiz

Analizy wpływu wariantów rozbudowy przekroju przeprowadzono na modelowym (bazowym) odcinku międzyregionalnym odcinku drogi o długości 100 km.

Analizę przeprowadzono dla następujących typów dróg (typ drogi oznacza klasę drogi, liczbę jezdni oraz łączną liczbę pasów ruchu w jednym kierunku w przekroju drogi): autostrada A2/2, A2/3, A2/4, droga ekspresowa S2/2, S2/3, S2/4, droga główna ruchu pośpiesznego GP2/2, GP2/3, oraz droga główna G2/2, G2/3,

Przyjęto następujące parametry przekroju poprzecznego drogi:

- szerokość pasów ruchu: 3,75 m dla autostrad, 3,5 m dla pozostałych dróg,
- szerokość wolna od przeszkód po prawej stronie jezdni 1,8 m.

Przyjęto następujące założenia dotyczące prędkości swobodnej (bazując na założeniach krajowego modelu ruchu KMR):

- autostrady A – $VS = 121$ km/h,
- drogi ekspresowe S: 2-pasowe – $VS = 108$ km/h, trzypasowe i czteropasowe – $VS = 113$ km/h,
- drogi główne ruchu pośpiesznego GP – $VS = 101$ km/h,
- drogi główne G – $VS = 96$ km/h.

Strukturę rodzajową pojazdów przyjęto jako średnią na istniejących drogach krajowych. Analizę przeprowadzono dla natężeń ruchu SDR w zakresie od 10 tys. do 190 tys. pojazdów na dobę, w interwale 10 tys. pojazdów. Graniczne wartości przepustowości przyjęte zgodnie z KMR.

Obliczenia poziomów swobody ruchu przeprowadzono zgodnie z metodyką zawartą w HCM 2010 [59]. Do oceny warunków ruchu (poziomów swobody ruchu PSR) przyjęto następujące założenia:

- udział godziny szczytowej – 9%,
- wskaźnik zmienności ruchu $k_{15} = 0,9$,
- graniczne wartości gęstości ruchu K_{gr} : poziom A – 7 P/km/pas, B – 11 P/km/pas, C – 16 P/km/pas, D - 22 P/km/pas, E – 28 P/km/pas, F >28 P/km/pas,

Założono brak wpływu gęstości węzłów, szerokości pasów ruchu, gęstości zjazdów, wjazdów oraz przeszkód bocznych.

Obliczenia liczby wypadków, ofiar rannych, ciężko rannych oraz śmiertelnych wykonano wykorzystując modele szacowania wybranych miar brd na długich odcinkach dróg krajowych [38]. Jednostkowe koszty wypadków i ofiar dla roku 2020 przyjęto na podstawie niebieskiej księgi [34].

Wartości jednostkowych kosztów użytkowników drogi, emisji spalin, kosztów eksploatacji pojazdów przyjęto na podstawie Niebieskiej Księgi - Jaspers [34] dla roku 2020.

5.3.2 Ocena warunków ruchu

Przeprowadzona analiza pozwoliła oszacować warunki ruchu na drogach w zależności od klasy drogi, liczby pasów oraz wartości średniorocznego dobowego natężenia ruchu. Szczegółowe zestawienie obliczeń czasu przejazdu, średniej prędkości, gęstości ruchu oraz poziomów swobody ruchu przedstawiono w tablicach 5.3 – 5.6 i na rysunkach 5.5 – 5.7. Na podstawie przeprowadzonej analizy można wysnuć następujące stwierdzenia.

Czas przejazdu. Czas przejazdu zależy od typu przekroju drogowego i wzrasta wraz ze wzrostem natężenia ruchu drogowego. Gwałtowny wzrost czasu podróży obserwuje się po przekroczeniu pewnego poziomu natężeń na drogach dwujezdniowych:

- w przypadku jezdni dwupasowych, w zależności od klasy drogi, po przekroczeniu natężeń ruchu $SDR > 75$ tys. – 95 tys. poj./24h, najmniejsze dla dróg klasy G, największe dla autostrad A,
- w przypadku jezdni trzypasowych, w zależności od klasy drogi, po przekroczeniu natężeń ruchu $SDR > 115$ tys. – 135 tys. poj./24h, najmniejsze dla dróg klasy G, największe dla autostrad A,
- w przypadku czteropasowych po przekroczeniu natężeń ruchu $SDR > 160$ tys. poj./24h, dla dróg ekspresowych S i autostrad A.

Średnia prędkość przejazdu. Prędkość przejazdu zależy od typu przekroju drogowego i zmniejsza się wraz ze wzrostem natężenia ruchu drogowego. Gwałtowny spadek średniej prędkości przejazdu obserwuje się po przekroczeniu pewnego poziomu natężeń na drogach dwujezdniowych:

- w przypadku jezdni dwupasowych, w zależności od klasy drogi, po przekroczeniu natężeń ruchu $SDR > 40$ tys. – 70 tys. poj./24h, mniejsze natężenia dla dróg klasy G, większe natężenia dla autostrad A,
- w przypadku jezdni trzypasowych, w zależności od klasy drogi, po przekroczeniu natężeń ruchu $SDR > 60$ tys. – 110 tys. poj./24h, mniejsze natężenia dla dróg klasy G, większe natężenia dla autostrad A,
- w przypadku czteropasowych po przekroczeniu natężeń ruchu $SDR > 130$ tys. poj./24h, dla dróg ekspresowych S i autostrad A.

Średnia gęstość potoku. Gęstość potoku zależy od typu przekroju drogowego (liczba pasów ruchu) i wzrasta wraz ze wzrostem natężenia ruchu drogowego. Gwałtowny wzrost średniej gęstości potoku obserwuje się po przekroczeniu pewnego poziomu natężeń ruchu na drogach dwujezdniowych:

- w przypadku jezdni dwupasowych, w zależności od klasy drogi, po przekroczeniu natężeń ruchu $SDR > 70$ tys. – 95 tys. poj./24h, mniejsze natężenia dla dróg klasy G, większe natężenia dla autostrad A,
- w przypadku jezdni trzypasowych, w zależności od klasy drogi, po przekroczeniu natężeń ruchu $SDR > 115$ tys. – 140 tys. poj./24h, mniejsze natężenia dla dróg klasy G, większe natężenia dla autostrad A,
- w przypadku czteropasowych po przekroczeniu natężeń ruchu $SDR > 165$ tys. poj./24h, dla dróg ekspresowych S i autostrad A.

Warunki ruchu. Warunki ruchu dla poszczególnych klas dróg zależą od typu przekroju drogowego (liczba pasów ruchu) i natężenia ruchu drogowego:

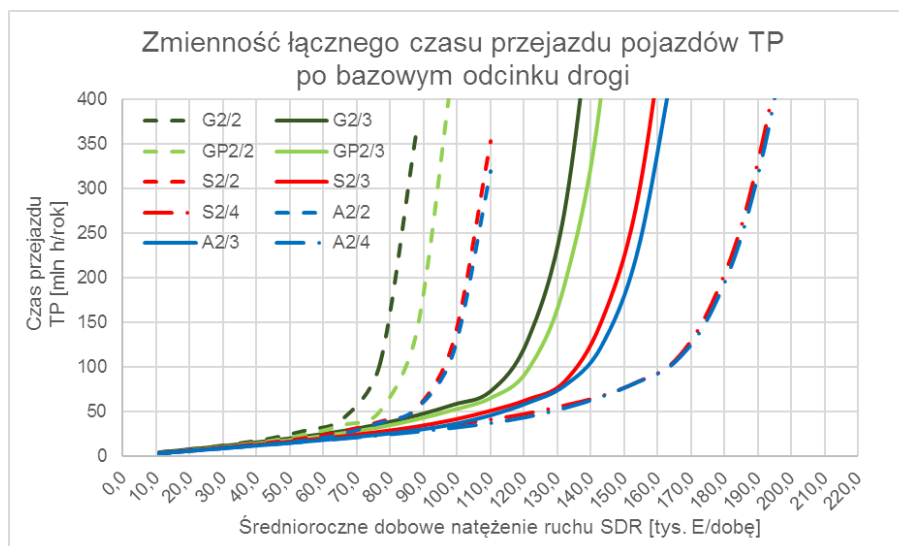
- w przypadku jezdni dwupasowych:
 - dobre warunki ruchu (PSR na poziomie C) występują na drogach dwujezdniowych, w zależności od klasy drogi, dla natężeń SDR < 50 tys. – 60 tys. poj./24h, mniejsze natężenia dla dróg klasy G, większe natężenia dla autostrad A,
 - złe i bardzo złe warunki ruchu (PSR na poziomie E) występują na drogach dwujezdniowych, w zależności od klasy drogi, dla natężeń SDR > 60 tys. – 80 tys. poj./24h, mniejsze natężenia dla dróg klasy G, większe natężenia dla autostrad A,
- w przypadku jezdni trzypasowych:
 - dobre warunki ruchu (PSR na poziomie C) występują na drogach dwujezdniowych, w zależności od klasy drogi, dla natężeń SDR < 70 tys. – 90 tys. poj./24h, mniejsze natężenia dla dróg klasy G, większe natężenia dla autostrad A,
 - złe i bardzo złe warunki ruchu (PSR na poziomie E) występują na drogach dwujezdniowych, w zależności od klasy drogi, dla natężeń SDR > 90 tys. – 110 tys. poj./24h, mniejsze natężenia dla dróg klasy G, większe natężenia dla autostrad A,
- w przypadku jezdni czteropasowych:
 - dobre warunki ruchu (PSR na poziomie C) występują na drogach dwujezdniowych, w zależności od klasy drogi, dla natężeń SDR < 90 tys. – 120 tys. poj./24h, mniejsze natężenia dla dróg klasy S, większe natężenia dla autostrad A,
 - złe i bardzo złe warunki ruchu (PSR na poziomie E) występują na drogach dwujezdniowych (S i A), w zależności od klasy drogi, dla natężeń SDR > 130 tys. poj./24h.

Tablica 5.3

Zestawienie wyników obliczeń czasu przejazdu bazowego odcinka drogi TP przez pojazdy w zależności od typu przekroju poprzecznego drogi TPD i natężenia ruchu SDR

Średnioroczne dobowe natężenie ruchu SDR		Czas przejazdu TP [min h/rok]									
		Typ przekroju drogowego TPD									
[tys. P/24h]	[tys. E/24h]	G2/2	G2/3	GP2/2	GP2/3	S2/2	S2/3	S2/4	A2/2	A2/3	A2/4
10	11,0	4,1	4,0	3,9	3,9	3,7	3,5	3,5	3,3	3,3	3,3
20	22,0	8,3	8,1	7,9	7,8	7,4	7,1	7,1	6,5	6,5	6,5
30	33,0	13,2	12,4	12,4	11,8	11,3	10,7	10,6	9,9	9,8	9,8
40	44,1	19,5	17,0	17,8	16,2	15,7	14,4	14,3	13,6	13,1	13,1
50	55,1	28,9	22,2	25,1	21,0	21,0	18,4	18,0	18,0	16,5	16,4
60	66,1	42,2	28,2	35,6	26,5	28,4	22,8	21,9	25,1	20,2	19,8
70	77,1	104,3	35,8	51,3	33,2	39,2	27,8	26,1	37,4	24,4	23,4
80	88,1	368,0	45,5	141,9	41,9	54,4	33,5	30,7	53,6	29,3	27,4
90	99,1		57,6	445,5	52,6	130,4	41,2	35,7	117,9	35,9	31,9
100	110,1		72,6		65,8	352,6	51,2	41,4	319,4	45,8	37,1
110	121,2		129,2		96,7		63,7	48,2		59,7	44,1
120	132,2		273,2		191,7		83,6	57,0		78,9	53,8
130	143,2		598,3		404,7		150,2	67,5		122,8	66,5
140	154,2				858,9		289,8	83,8		231,1	83,3
150	165,2						571,1	107,1		448,9	105,3
160	176,2							170,8			162,5
170	187,2							287,0			273,9
180	198,3							493,5			471,8
190	209,3							849,9			813,6

Źródło: opracowanie własne



Rys. 5.5 Wykresy zmienności łącznego czasu przejazdu pojazdów po bazowym odcinku drogi TP przez pojazdy w zależności od typu przekroju poprzecznego drogi TPD i natężenia ruchu SDR

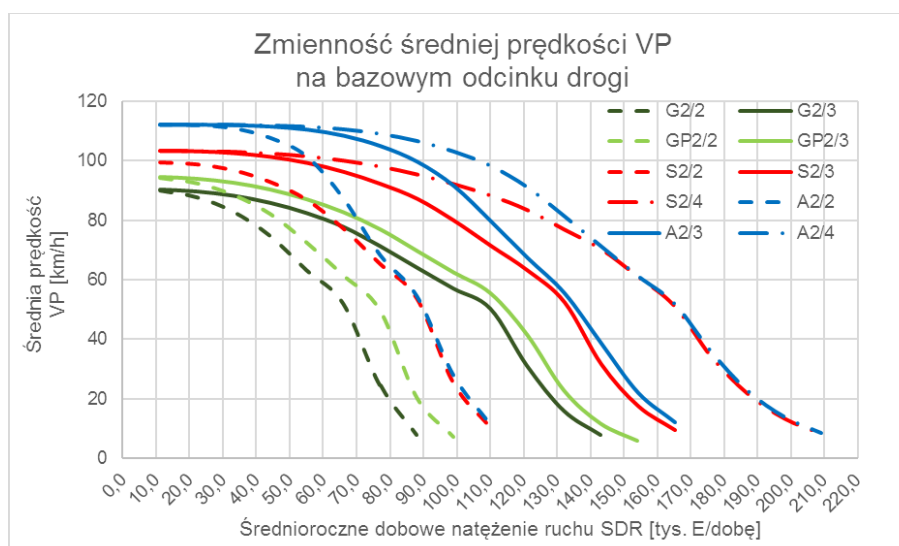
Źródło: opracowanie własne

Tablica 5.4

Zestawienie wyników obliczeń średniej prędkości potoku pojazdów na bazowym odcinku drogi VP od typu przekroju poprzecznego drogi TPD i natężenia ruchu SDR

Średnioroczne dobowe natężenie ruchu SDR		Średnia prędkość przejazdu VP (km/h)									
		Typ przekroju poprzecznego drogi TPD									
[tys. P/24h]	[tys. E/24h]	G2/2	G2/3	GP2/2	GP2/3	S2/2	S2/3	S2/4	A2/2	A2/3	A2/4
10	11,0	90,0	90,3	94,3	94,5	99,4	103,2	103,2	112,1	112,1	112,1
20	22,0	87,7	89,7	92,5	93,9	98,8	103,0	103,1	111,9	112,1	112,1
30	33,0	82,9	88,3	88,6	92,6	96,8	102,4	102,9	110,9	112,0	112,1
40	44,1	74,8	85,9	82,2	90,3	92,9	101,2	102,3	107,7	111,5	111,8
50	55,1	63,2	82,4	72,6	87,0	86,8	99,1	101,3	101,4	110,4	111,4
60	66,1	51,9	77,8	61,6	82,7	77,2	96,1	99,9	87,3	108,4	110,5
70	77,1	24,5	71,3	49,8	76,9	65,3	92,1	97,9	68,3	104,9	109,0
80	88,1	7,9	64,1	20,6	69,7	53,7	87,0	95,3	54,5	99,6	106,6
90	99,1		57,0	7,4	62,4	25,2	79,7	92,0	27,9	91,4	103,1
100	110,1		50,3		55,5	10,4	71,3	88,2	11,4	79,6	98,3
110	121,2		31,1		41,5		63,0	83,3		67,3	91,1
120	132,2		16,0		22,9		52,4	76,8		55,5	81,4
130	143,2		7,9		11,7		31,6	70,2		38,6	71,3
140	154,2				5,9		17,6	61,0		22,1	61,3
150	165,2						9,6	51,1		12,2	52,0
160	176,2							34,2			35,9
170	187,2							21,6			22,7
180	198,3							13,3			13,9
190	209,3							8,2			8,5

Źródło: opracowanie własne



Rys. 5.6 Wykresy zmienności średniej prędkości potoku pojazdów na bazowym odcinku drogi VP od typu przekroju poprzecznego drogi TPD i natężenia ruchu SDR

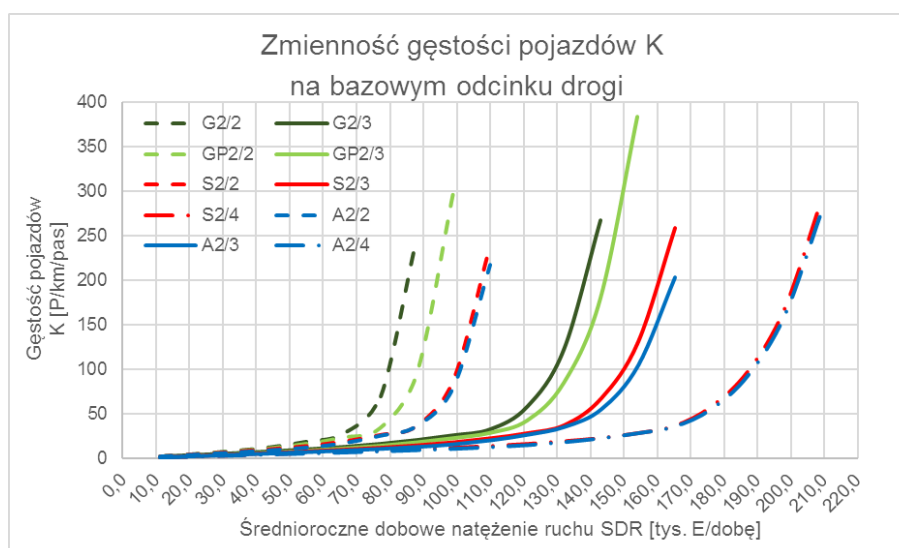
Źródło: opracowanie własne

Tablica 5.5

Zestawienie wyników obliczeń średniej gęstości potoku pojazdów K na bazowym odcinku drogi w zależności od typu przekroju poprzecznego drogi TPD i natężenia ruchu SDR

Średnioroczne dobowe natężenie ruchu SDR		Średnia gęstość potoku pojazdów K [E/km]									
		Typ przekroju poprzecznego drogi TPD									
[tys. P/24h]	[tys. E/24h]	G2/2	G2/3	GP2/2	GP2/3	S2/2	S2/3	S2/4	A2/2	A2/3	A2/4
10	11,0	2,7	1,8	2,6	1,7	2,5	1,6	1,2	2,2	1,5	1,1
20	22,0	5,6	3,6	5,3	3,5	5,0	3,2	2,4	4,4	2,9	2,2
30	33,0	8,9	5,5	8,3	5,3	7,7	4,8	3,6	6,7	4,4	3,3
40	44,1	13,1	7,6	11,9	7,2	10,7	6,5	4,8	9,2	5,9	4,4
50	55,1	19,3	9,9	16,8	9,4	14,3	8,3	6,1	12,2	7,5	5,6
60	66,1	28,2	12,6	23,8	11,8	19,3	10,3	7,4	17,0	9,1	6,7
70	77,1	69,9	16,0	34,4	14,8	26,6	12,6	8,9	25,4	11,0	8,0
80	88,1	246,5	20,3	95,1	18,7	36,9	15,2	10,4	36,4	13,3	9,3
90	99,1		25,7	298,5	23,5	88,5	18,7	12,1	80,0	16,3	10,8
100	110,1		32,4		29,4	239,4	23,2	14,1	216,9	20,7	12,6
110	121,2		57,7		43,2		28,8	16,4		27,0	15,0
120	132,2		122,0		85,6		37,8	19,4		35,7	18,3
130	143,2		267,3		180,8		68,0	22,9		55,6	22,6
140	154,2				383,7		131,2	28,4		104,6	28,3
150	165,2						258,5	36,3		203,2	35,7
160	176,2							58,0			55,1
170	187,2							97,4			92,9
180	198,3							167,5			160,1
190	209,3							288,5			276,2

Źródło: opracowanie własne



Rys. 5.7 Wykresy zmienności średniej gęstości potoku pojazdów K na bazowym odcinku drogi w zależności od typu przekroju poprzecznego drogi TPD i natężenia ruchu SDR

Źródło: opracowanie własne

Tablica 5.6

Zestawienie wyników oceny poziomów swobody ruchu PSR na bazowym odcinku drogi w zależności od typu przekroju poprzecznego drogi TPD i natężenia ruchu SDR

Średnioroczne dobowe natężenie ruchu SDR		Poziom swobody ruchu PSR									
		Typ przekroju poprzecznego drogi TPD									
[tys. P/24h]	[tys. E/24h]	G2/2	G2/3	GP2/2	GP2/3	S2/2	S2/3	S2/4	A2/2	A2/3	A2/4
10	11,0	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A
20	22,0	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A
30	33,0	B	A	B	A	B	A	A	A	A	A
40	44,1	C	B	C	B	B	A	A	B	A	A
50	55,1	D	B	D	B	C	B	A	C	B	A
60	66,1	F	C	E	C	D	B	B	D	B	A
70	77,1	F	D	F	C	E	C	B	E	C	B
80	88,1	F	D	F	D	F	C	B	F	C	B
90	99,1		E	F	E	F	D	C	F	D	B
100	110,1		F		F	F	E	C	F	D	C
110	121,2		F		F		F	D		E	C
120	132,2		F		F		F	D		F	D
130	143,2		F		F		F	E		F	E
140	154,2				F		F	F		F	F
150	165,2						F	F		F	F
160	176,2							F			F
170	187,2							F			F
180	198,3							F			F
190	209,3							F			F

Źródło: opracowanie własne

5.3.3 Poziom bezpieczeństwa ruchu drogowego

Przeprowadzona analiza pozwoliła oszacować liczbę wypadków, ofiar oraz koszty wypadków w zależności od klasy drogi, liczby pasów oraz wartości średniorocznego dobowego natężenia ruchu. Szczegółowe zestawienie przedstawiono w tablicach 5.7 – 5.9 i na rysunkach 5.8 – 5.10. Na podstawie przeprowadzonej analizy stwierdzono, że:

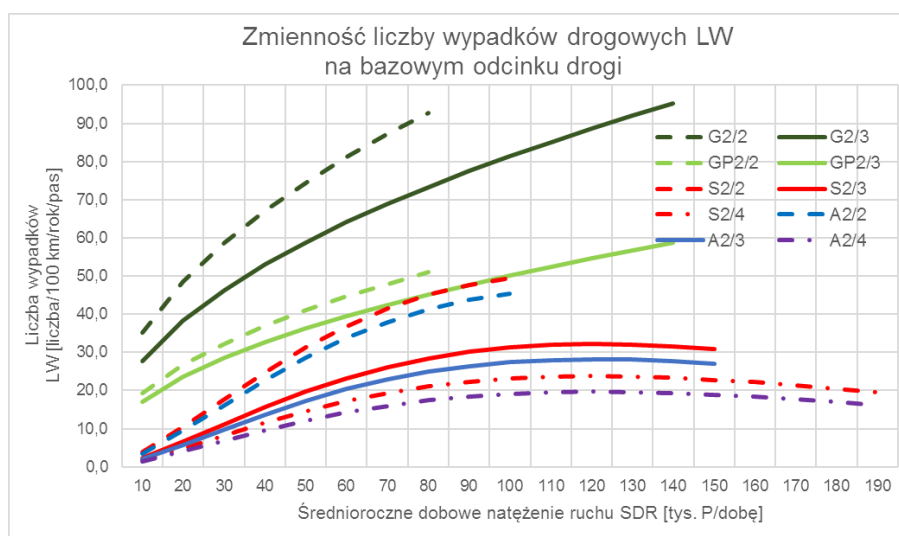
- Niższy poziom brd występuje na drogach klasy G i GP, jest on kilkakrotnie niższy niż na drogach klasy A i S.
- Wraz ze wzrostem liczby pasów ruchu, dla takiego samego natężenia ruchu, zmniejsza się gęstość wypadków, ofiar rannych, ciężko rannych oraz śmiertelnych w przeliczeniu na 1 pas ruchu.
- Na wszystkich drogach wraz ze wzrostem natężenia ruchu rośnie liczba wypadków, ofiar wypadków i kosztów wypadków drogowych; na drogach ruchu szybkiego (A i S) o 3 i 4 pasach ruchu w każdym kierunku, przy natężeniu przekraczającym 120 tys. P/dobę występuje niewielki spadek liczby wypadków;
- Liczba ofiar ciężko rannych i śmiertelnych nie rośnie proporcjonalnie do wzrostu natężenia ruchu; przekroczenie pewnych poziomów natężenia ruchu: G2/2 – 50 tys. P/dobę, GP2/2 – 60 tys. P/dobę, A2/2, S2/2 – 70 tys. P/dobę, G2/2, GP2/3 – 60 tys. P/dobę, A2/3, S2/3 – 80 tys. P/dobę, A2/4, S2/4 – 90 tys. P/dobę powoduje istotny spadek średniej prędkości potoku, co skutkuje zmniejszeniem się ciężkości wypadków i redukcją liczby najcięższych ofiar;
- Analogiczna sytuacja występuje w przypadku kosztów wypadków, gdzie przekroczenie natężenia ruchu nie będzie generowało większych kosztów wypadków, główny wpływ na to będzie miała zmniejszająca się liczba ofiar ciężko rannych oraz śmiertelnych.

Tablica 5.7

Zestawienie wyników obliczeń liczby wypadków drogowych LW na bazowym odcinku drogi dwujezdniowej w zależności od typu przekroju poprzecznego drogi TPD i natężenia ruchu SDR

Średnioroczne dobowe natężenie ruchu SDR	Liczba wypadków LW [wyp./rok/pas ruchu]									
	Typ przekroju poprzecznego drogi TPD									
	[tys. P/24h]	G2/2	G2/3	GP2/2	GP2/3	S2/2	S2/3	S2/4	A2/2	A2/3
10	35,1	27,7	19,3	17,0	3,8	2,4	1,8	3,5	2,1	1,5
20	48,5	38,3	26,7	23,6	10,4	6,6	4,9	9,5	5,8	4,0
30	58,6	46,3	32,3	28,5	17,7	11,2	8,3	16,2	9,8	6,8
40	67,1	53,0	36,9	32,6	24,8	15,7	11,6	22,7	13,7	9,6
50	74,5	58,8	41,0	36,2	31,3	19,7	14,6	28,6	17,3	12,1
60	81,1	64,1	44,6	39,4	36,8	23,3	17,2	33,7	20,4	14,2
70	87,2	68,9	48,0	42,4	41,4	26,2	19,3	38,0	22,9	16,0
80	92,8	73,3	51,1	45,1	45,0	28,4	21,0	41,3	24,9	17,4
90		77,5		47,7	47,7	30,1	22,3	43,7	26,4	18,5
100		81,4		50,1	49,5	31,3	23,1	45,4	27,4	19,2
110		85,1		52,4		31,9	23,6		28,0	19,6
120		88,6		54,6		32,2	23,8		28,2	19,7
130		92,0		56,6		32,0	23,7		28,1	19,6
140		95,3		58,6		31,6	23,3		27,7	19,3
150						30,9	22,8		27,1	18,9
160							22,1			18,4
170							21,4			17,7
180							20,5			17,0
190							19,5			16,2

Źródło: opracowanie własne



Rys. 5.8 Wykres zmienności liczby wypadków drogowych LW na bazowym odcinku drogi dwujezdniowej w zależności od typu przekroju poprzecznego drogi TPD i natężenia ruchu SDR.

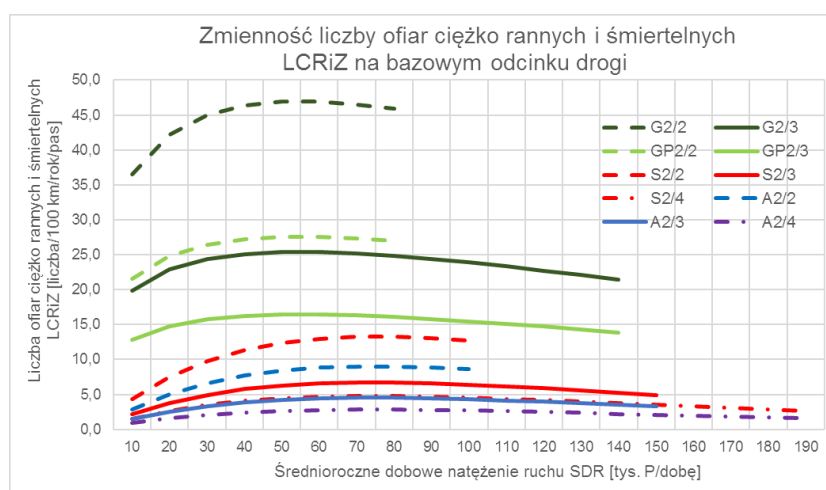
Źródło: opracowanie własne

Tablica 5.8

Zestawienie wyników obliczeń liczby ofiar ciężko rannych i śmiertelnych wypadków drogowych LCRiZ na bazowym odcinku drogi dwujezdniowej w zależności od typu przekroju poprzecznego drogi TPD i natężenia ruchu SDR

Średnioroczne dobowe natężenie ruchu SDR	Liczba ofiar ciężko rannych i ofiar śmiertelnych LCRiZ [ofiar/rok/pas]									
	Typ przekroju poprzecznego drogi TPD									
	[tys. P/24h]	G2/2	G2/3	GP2/2	GP2/3	S2/2	S2/3	S2/4	A2/2	A2/3
10	36,5	19,8	21,5	12,8	4,3	2,2	1,5	2,9	1,5	0,9
20	42,2	22,9	24,8	14,8	7,4	3,8	2,7	5,0	2,5	1,6
30	45,0	24,4	26,5	15,8	9,7	4,9	3,5	6,6	3,3	2,1
40	46,3	25,1	27,3	16,2	11,3	5,8	4,1	7,7	3,9	2,4
50	46,9	25,4	27,6	16,4	12,4	6,3	4,5	8,4	4,2	2,7
60	46,9	25,4	27,6	16,4	13,0	6,6	4,7	8,8	4,4	2,8
70	46,5	25,2	27,4	16,3	13,3	6,7	4,8	9,0	4,5	2,8
80	45,9	24,9	27,0	16,1	13,2	6,7	4,8	9,0	4,5	2,8
90		24,4		15,8	13,0	6,6	4,7	8,8	4,4	2,8
100		23,9		15,5	12,7	6,4	4,6	8,6	4,3	2,7
110		23,4		15,1		6,2	4,4		4,2	2,6
120		22,7		14,7		5,9	4,2		4,0	2,5
130		22,1		14,3		5,6	4,0		3,8	2,4
140		21,5		13,9		5,3	3,7		3,5	2,2
150						4,9	3,5		3,3	2,1
160							3,3			2,0
170							3,1			1,8
180							2,8			1,7
190							2,6			1,6

Źródło: opracowanie własne



Rys. 5.9 Wykres zmienności liczby ofiar ciężko rannych i śmiertelnych LCRiZ w wypadkach drogowych na bazowym odcinku drogi dwujezdniowej w zależności od typu przekroju poprzecznego drogi TPD i natężenia ruchu SDR.

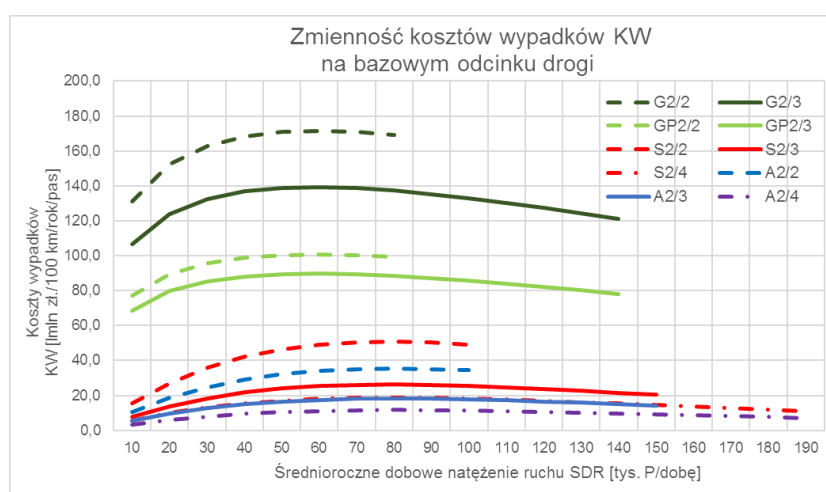
Źródło: opracowanie własne

Tablica 5.9

Zestawienie wyników obliczeń liczby kosztów wypadków drogowych KW na bazowym odcinku drogi dwujezdniowej w zależności od typu przekroju poprzecznego drogi TPD i natężenia ruchu SDR

Średnioroczne dobowe natężenie ruchu SDR	Koszty wypadków KW [mln zł/rok/pas ruchu]									
	Typ przekroju poprzecznego drogi TPD									
	[tys. P/24h]	G2/2	G2/3	GP2/2	GP2/3	S2/2	S2/3	S2/4	A2/2	A2/3
10	131,1	106,5	76,9	68,7	15,3	7,8	5,6	10,5	5,3	3,4
20	152,3	123,7	89,3	79,8	27,0	13,8	9,8	18,6	9,4	6,0
30	162,9	132,3	95,5	85,4	35,8	18,4	13,1	24,7	12,6	8,0
40	168,5	136,8	98,8	88,2	42,1	21,7	15,4	29,1	14,9	9,5
50	171,0	138,9	100,3	89,6	46,4	23,9	17,0	32,2	16,5	10,5
60	171,6	139,3	100,6	89,9	49,0	25,3	18,0	34,1	17,5	11,1
70	170,8	138,7	100,2	89,5	50,4	26,1	18,6	35,1	18,1	11,5
80	169,1	137,3	99,1	88,6	50,7	26,3	18,7	35,4	18,2	11,6
90		135,3		87,3	50,2	26,0	18,6	35,2	18,1	11,6
100		132,9		85,8	49,1	25,5	18,2	34,5	17,8	11,4
110		130,3		84,1		24,7	17,6		17,3	11,1
120		127,3		82,2		23,7	16,9		16,6	10,7
130		124,3		80,2		22,6	16,2		15,9	10,2
140		121,1		78,2		21,5	15,3		15,1	9,7
150						20,3	14,5		14,3	9,2
160							13,6			8,6
170							12,7			8,1
180							11,9			7,6
190							11,0			7,1

Źródło: opracowanie własne



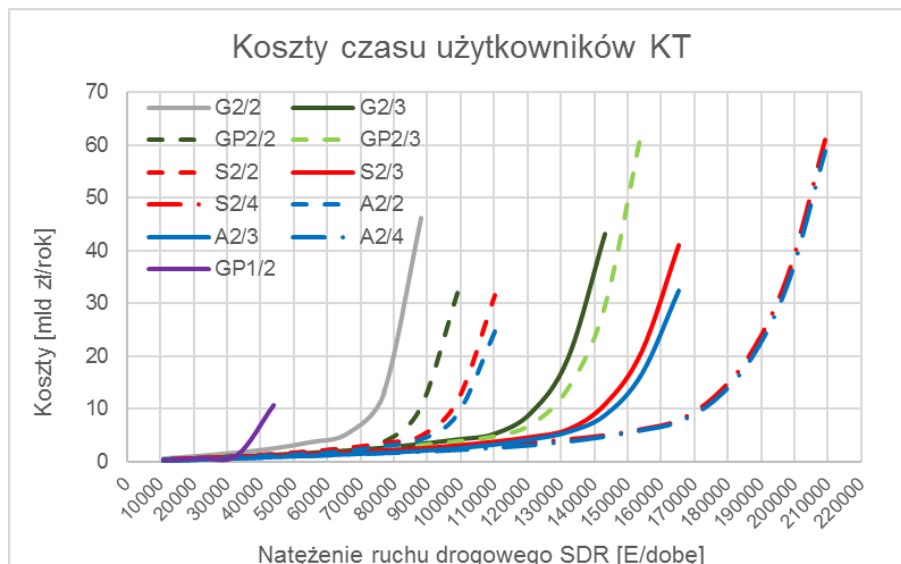
Rys. 5.10 Wykres zmienności kosztów wypadków drogowych KW na bazowym odcinku drogi dwujezdniowej w zależności od typu przekroju poprzecznego drogi TPD i natężenia ruchu SDR.

Źródło: opracowanie własne

5.3.4 Koszty ruchu

Na podstawie przyjętych założeń dotyczących prognozy ruchu oraz kosztów jednostkowych dla czasu użytkowników infrastruktury drogowej, eksploatacji pojazdów oraz emisji spalin (przyjętych na podstawie Niebieskiej Księgi JASPERS dla Infrastruktury drogowej z lipca 2015 r.) wyliczono koszty w zależności od typu drogi (zróżnicowana klasa drogi i przekrój poprzeczny). Obliczenia wykonano dla poszczególnych grup kosztów oraz dla kosztów użytkowników zbiorczo. Wyniki obliczeń wskazują na nieznaczne zróżnicowanie gwałtownego wzrostu kosztów przy typach dróg S2/2 i A2/2, S2/3 i A2/3 oraz A2/4 i A2/4. Przy krytycznych wartościach natężeń decydujące o gwałtownym wzroście są koszty czasu użytkowników. Na podstawie zestawienia zbiorczego kosztów ruchu stwierdzono, że (tablice 5.10 – 5.13, rysunki 5.11– 5.14):

- W przypadku jednej jezdni (GP1/2); bardzo duży przyrost kosztów obserwuje się przy natężeniu SDR > 30 tys.
- w przypadku jezdni dwupasowych; bardzo duży przyrost kosztów ruchu obserwuje się na drogach klasy G i GP już przy SDR > 60 – 70 tys. P/dobę, natomiast w przypadku dróg A i S bardzo duży wzrost jest widoczny dla SDR > 80 tys. P/dobę,
- w przypadku jezdni trzypasowych; bardzo duży przyrost kosztów ruchu obserwuje się przy natężeniu SDR >100 -120 tys. P/dobę (mniejsze dla G i GP, większe dla S i A),
- Dla dróg o czterech pasach ruchu gwałtowny wzrost kosztów jest widoczny przy natężeniu SDR > 150 tys. P/dobę.



Rys. 5.11 Wykres zmienności kosztów czasu uczestników ruchu KT na bazowym odcinku drogi dwujezdniowej w zależności od typu przekroju poprzecznego drogi TPD i natężenia ruchu SDR.

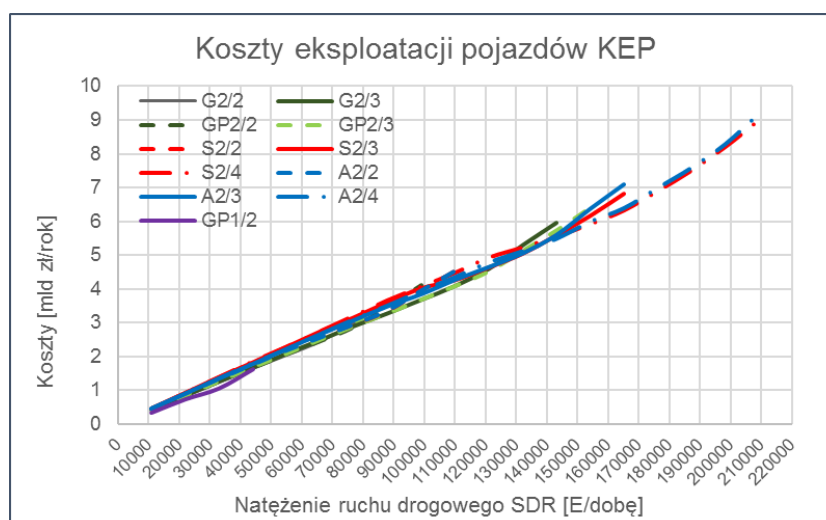
Źródło: opracowanie własne

Tablica 5.10

Zestawienie wyników obliczeń kosztów czasu przejazdu uczestników ruchu KT na bazowym odcinku drogi dwujezdniowej w zależności od typu przekroju poprzecznego drogi TPD i natężenia ruchu SDR

Średnioroczne dobowe natężenie ruchu SDR		Koszty czasu [mld zł/rok]										
		Typ przekroju poprzecznego drogi TPD										
[tys. P/24h]	[tys. E/24h]	G2/2	G2/3	GP1/2	GP2/2	GP2/3	S2/2	S2/3	S2/4	A2/2	A2/3	A2/4
10	11,0	0,5	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,2	0,2
20	22,0	1,0	0,6	0,6	0,6	0,6	0,7	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
30	33,0	1,6	0,9	1,2	0,9	0,9	1,0	0,8	0,8	0,8	0,7	0,7
40	44,1	2,4	1,2	10,7	1,3	1,2	1,4	1,0	1,0	1,1	0,9	0,9
50	55,1	3,6	1,6		1,8	1,5	1,9	1,3	1,3	1,4	1,2	1,2
60	66,1	5,3	2,0		2,6	1,9	2,6	1,6	1,6	1,9	1,5	1,4
70	77,1	13,0	2,6		3,7	2,4	3,5	2,0	1,9	2,9	1,8	1,7
80	88,1	46,2	3,3		10,2	3,0	4,9	2,4	2,2	4,1	2,1	2,0
90	99,1		4,1		32,0	3,8	11,7	3,0	2,6	9,1	2,6	2,3
100	110,1		5,2		97,3	4,7	31,6	3,7	3,0	24,7	3,3	2,7
110	121,2		9,3			7,0		4,6	3,5		4,3	3,2
120	132,2		19,7			13,8		6,0	4,1		5,7	3,9
130	143,2		43,2			29,2		10,8	4,9		8,8	4,8
140	154,2		92,0			62,3		20,9	6,0		16,6	6,0
150	165,2							41,1	7,7		32,3	7,6
160	176,2								12,3			11,7
170	187,2								20,7			19,7
180	198,3								35,6			34,0
190	209,3								60,9			58,7

Źródło: opracowanie własne



Rys. 5.12 Wykres zmienności kosztów eksploatacji pojazdów KEP na bazowym odcinku drogi dwujezdniowej w zależności od typu przekroju poprzecznego drogi TPD i natężenia ruchu SDR.

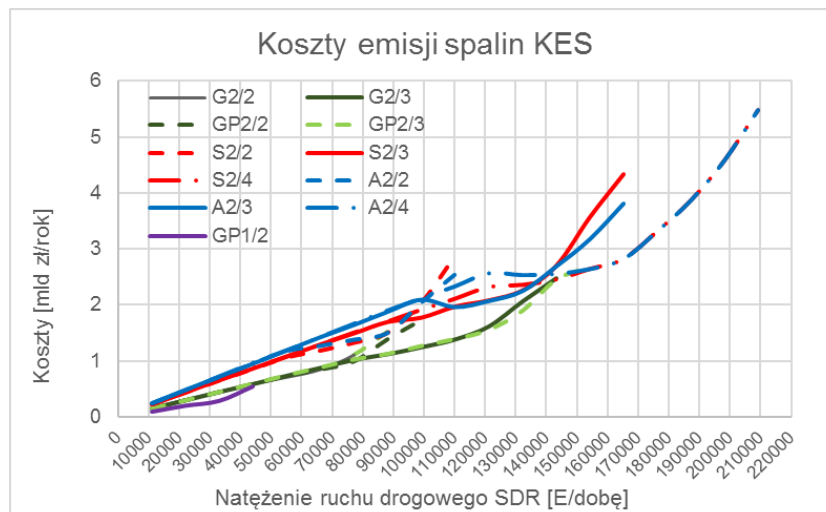
Źródło: opracowanie własne

Tablica 5.11

Zestawienie wyników obliczeń kosztów eksploatacji pojazdów KEP na bazowym odcinku drogi dwujezdniowej w zależności od typu przekroju poprzecznego drogi TPD i natężenia ruchu SDR

Średnioroczne dobowe natężenie ruchu SDR		Koszty eksploatacji pojazdów [mld zł/rok]										
		Typ przekroju poprzecznego drogi TPD										
[tys. P/24h]	[tys. E/24h]	G2/2	G2/3	GP1/2	GP2/2	GP2/3	S2/2	S2/3	S2/4	A2/2	A2/3	A2/4
10	11,0	0,4	0,4	0,3	0,4	0,4	0,5	0,5	0,5	0,4	0,4	0,4
20	22,0	0,8	0,8	0,7	0,8	0,8	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9
30	33,0	1,2	1,3	1,1	1,3	1,3	1,4	1,4	1,4	1,3	1,3	1,3
40	44,1	1,7	1,7	1,6	1,7	1,7	1,8	1,8	1,9	1,8	1,8	1,8
50	55,1	2,0	2,1		2,1	2,1	2,2	2,3	2,3	2,2	2,2	2,2
60	66,1	2,4	2,5		2,5	2,5	2,6	2,7	2,7	2,6	2,7	2,7
70	77,1	3,0	2,9		2,9	2,9	3,0	3,2	3,2	3,0	3,1	3,1
80	88,1	3,7	3,3		3,5	3,3	3,4	3,6	3,7	3,4	3,5	3,5
90	99,1		3,7		4,1	3,7	4,0	4,0	4,1	4,0	3,8	3,9
100	110,1		4,1		4,6	4,1	4,6	4,3	4,5	4,6	4,3	4,4
110	121,2		4,6			4,5		4,6	4,9		4,6	4,8
120	132,2		5,3			5,1		5,1	5,2		5,1	5,1
130	143,2		6,0			5,7		5,6	5,6		5,6	5,5
140	154,2		6,4			6,4		6,2	5,9		6,4	6,0
150	165,2							6,8	6,3		7,1	6,4
160	176,2								6,9			7,0
170	187,2								7,5			7,6
180	198,3								8,2			8,3
190	209,3								9,0			9,2

Źródło: opracowanie własne



Rys. 5.13 Wykres zmienności kosztów emisji spalin przez pojazdy KES na bazowym odcinku drogi dwujezdniowej w zależności od typu przekroju poprzecznego drogi TPD i natężenia ruchu SDR.

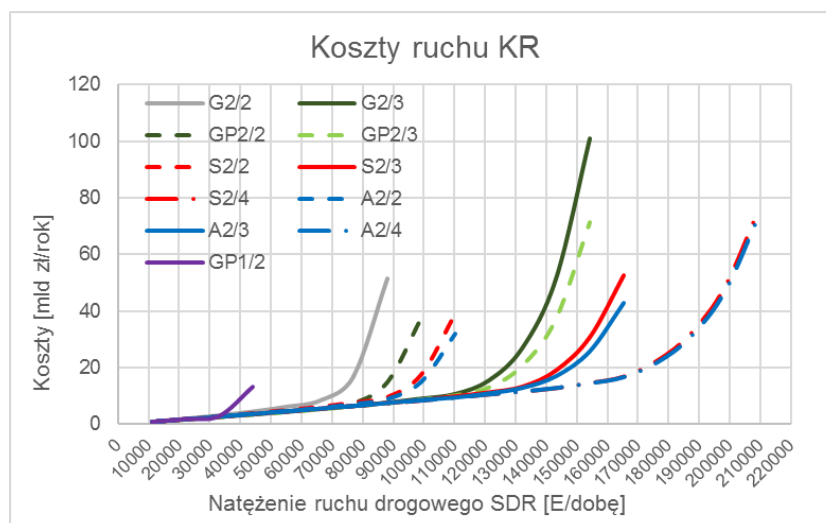
Źródło: opracowanie własne

Tablica 5.12

Zestawienie wyników obliczeń kosztów emisji spalin emitowanych przez pojazdy KES na bazowym odcinku drogi dwujezdniowej w zależności od typu przekroju poprzecznego drogi TPD i natężenia ruchu SDR

Średnioroczne dobowe natężenie ruchu SDR		Koszty emisji spalin [mld zł/rok]										
		Typ przekroju poprzecznego drogi TPD										
[tys. P/24h]	[tys. E/24h]	G2/2	G2/3	GP1/2	GP2/2	GP2/3	S2/2	S2/3	S2/4	A2/2	A2/3	A2/4
10	11,0	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
20	22,0	0,3	0,3	0,2	0,3	0,3	0,4	0,4	0,4	0,5	0,5	0,5
30	33,0	0,4	0,4	0,3	0,4	0,4	0,6	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7
40	44,1	0,6	0,6	0,5	0,6	0,6	0,9	0,9	0,9	1,0	1,0	1,0
50	55,1	0,7	0,7		0,7	0,7	1,1	1,1	1,1	1,2	1,2	1,2
60	66,1	0,8	0,9		0,8	0,9	1,2	1,3	1,3	1,3	1,4	1,4
70	77,1	1,1	1,0		1,0	1,0	1,3	1,5	1,5	1,4	1,6	1,7
80	88,1	1,5	1,1		1,4	1,1	1,5	1,7	1,7	1,5	1,9	1,9
90	99,1		1,2		1,7	1,3	2,0	1,8	1,9	2,0	2,1	2,1
100	110,1		1,4		1,9	1,4	2,9	2,0	2,1	2,5	2,0	2,3
110	121,2		1,6			1,6		2,1	2,3		2,1	2,6
120	132,2		2,1			1,9		2,3	2,4		2,3	2,5
130	143,2		2,5			2,4		2,7	2,5		2,7	2,6
140	154,2		2,7			2,7		3,6	2,6		3,2	2,6
150	165,2							4,3	2,8		3,8	2,8
160	176,2								3,3			3,3
170	187,2								3,9			3,9
180	198,3								4,6			4,6
190	209,3								5,5			5,5

Źródło: opracowanie własne



Rys. 5.14 Wykres zmienności łącznych kosztów ruchu KR na bazowym odcinku drogi dwujezdniowej w zależności od typu przekroju poprzecznego drogi TPD i natężenia ruchu SDR.

Źródło: opracowanie własne

Tablica 5.13

Zestawienie wyników obliczeń łącznych kosztów ruchu KR na bazowym odcinku drogi dwujezdniowej w zależności od typu przekroju poprzecznego drogi TPD i natężenia ruchu SDR

Średnioroczne dobowe natężenie ruchu SDR		Koszty emisji spalin [mld zł/rok]										
		Typ przekroju poprzecznego drogi TPD										
[tys. P/24h]	[tys. E/24h]	G2/2	G2/3	GP1/2	GP2/2	GP2/3	S2/2	S2/3	S2/4	A2/2	A2/3	A2/4
10	11,0	1,1	0,9	0,8	0,8	0,8	1,0	0,9	0,9	1,0	0,9	0,9
20	22,0	2,2	1,7	1,8	1,7	1,7	2,0	1,8	1,8	1,9	1,9	1,9
30	33,0	3,3	2,6	2,9	2,6	2,6	3,0	2,8	2,8	2,9	2,8	2,8
40	44,1	4,7	3,5	13,3	3,5	3,4	4,0	3,7	3,7	3,8	3,7	3,8
50	55,1	6,4	4,4		4,6	4,3	5,1	4,6	4,6	4,8	4,7	4,7
60	66,1	8,6	5,4		5,9	5,3	6,3	5,6	5,5	5,8	5,6	5,6
70	77,1	17,1	6,5		7,6	6,3	7,8	6,6	6,5	7,2	6,6	6,6
80	88,1	51,4	7,7		15,1	7,4	9,8	7,6	7,4	9,0	7,6	7,5
90	99,1		9,1		37,8	8,7	17,7	8,6	8,4	15,1	8,7	8,5
100	110,1		10,7		103,8	10,2	39,0	9,9	9,5	31,8	9,5	9,5
110	121,2		15,5			13,0		11,3	10,6		11,0	10,7
120	132,2		27,1			20,8		13,3	11,6		13,0	11,6
130	143,2		51,7			37,4		19,1	12,8		17,1	12,9
140	154,2		101,0			71,4		30,8	14,6		26,0	14,6
150	165,2							52,5	16,9		43,0	16,7
160	176,2								22,5			21,9
170	187,2								32,0			31,0
180	198,3								48,3			46,8
190	209,3								75,3			73,2

Źródło: opracowanie własne

5.4 Analiza wpływu zaproponowanych rozwiązań na koszty realizacji inwestycji

5.4.1 Metoda analizy

Analizę wpływu zaproponowanych wariantów typu przekroju poprzecznego drogi na koszty funkcjonowania drogi przeprowadzono metodą analizy kosztów i korzyści. W tabelicy 5.14 przedstawiono przykładowe zestawienie składowych kosztów drogowych i kosztów ruchu dla porównania wybranych typów przekroju poprzecznego.

Tablica 5.14

Porównanie składowych kosztów na poziomie operacyjnym dla wariantów: realizacja zadania budowa przekroju 2/2 i realizacja zadania budowa przekroju 2/3

Realizacja zadania 2/2		Realizacja zadania 2/3
Wykup gruntów		Wykup gruntów
Dokumentacja techniczna		Dokumentacja techniczna
Nadzór inwestorski		Nadzór inwestorski
Badania archeologiczne		Badania archeologiczne
Inne prace przygotowawcze		Inne prace przygotowawcze
Promocja projektu		Promocja projektu
Roboty drogowe, w tym: <ul style="list-style-type: none"> • prace przygotowawcze • roboty ziemne • obiekty mostowe • tunele • ściany oporowe itp. • podbudowa • nawierzchnie • odwodnienia • ekrany • inne działania środowiskowe • roboty wykończeniowe • oznakowanie • oświetlenia • BRD • inne roboty Przebudowa urządzeń obcych Zieleń ITS		Roboty drogowe, w tym: <ul style="list-style-type: none"> • prace przygotowawcze • roboty ziemne • obiekty mostowe • tunele • ściany oporowe itp. • podbudowa • nawierzchnie • odwodnienia • ekrany • inne działania środowiskowe • roboty wykończeniowe • oznakowanie • oświetlenia • BRD • inne roboty Przebudowa urządzeń obcych Zieleń ITS
Zakład i maszyny		Zakład i maszyny
Koszty okołokontraktowe		Koszty okołokontraktowe
Rezerwa na roboty nieprzewidziane		Rezerwa na roboty nieprzewidziane
Utrzymanie bieżące		Utrzymanie bieżące
Naprawy i remonty		Naprawy i remonty
Przebudowa		Przebudowa
Koszty eksploatacji pojazdów		Koszty eksploatacji pojazdów
Koszty czasu		Koszty czasu
Koszty wypadków drogowych		Koszty wypadków drogowych
Koszty zanieczyszczenia powietrza		Koszty zanieczyszczenia powietrza
Koszty zmian klimatu		Koszty zmian klimatu
Koszty hałasu		Koszty hałasu

Źródło: [34]

W przedstawionym układzie porównawczym nakłady inwestycyjne, wzrost kosztów bieżącego utrzymania oraz koszty społeczne powinny być dyskontowane dla przyjętego okresu analizy. Ponadto w rachunku korzyści należy uwzględnić stronę przychodową: opłaty za autostrady i Viatoll na drogach krajowych.

W rezultacie należy analizować ekonomiczne wartości netto, przy stopie dyskontowej r :

$$ENPV_r = NPB_r + NPC_r \quad (5.1)$$

gdzie: NPB_r – zdyskontowane korzyści, a NPC_r – zdyskontowane koszty.

Roczne wartości NV powinny być dyskontowane dla różnych wartości r , aby poprzez iterację ustalić aktualną wartość netto (zdyskontowane korzyści netto) i obliczyć stopę dyskontową, która odpowiada wartości ekonomicznej wewnętrznej stopy zwrotu $EIRR$, czyli dla której $ENPV_r = 0$.

Analizę ekonomiczną należy uzupełnić o wyliczenie wskaźnika BCR (wskaźnik korzyści do kosztów) i wartości rezydualnej dla obu wariantów wg wzoru:

$$R = \sum_{n=26}^t \frac{PO - PK}{(1 + i)^{n-1}} \quad (5.2)$$

Dla obu wariantów proponuje się skorzystać z klasycznego schematu analizy efektywności ekonomicznej – dla każdego elementu sieci, a następnie zbiorczo dla całej sieci. Dla całego okresu NV analizy należy przyjąć ceny stałe bez podatku VAT.

5.4.2 Wpływ wariantu przekroju poprzecznego na koszty budowy drogi

Wielkość kosztów budowy drogi dla różnych wariantów przekroju poprzecznego przeanalizowano na podstawie danych z projektów realizowanych przez wybrane biura projektów. W tablicach 5.15 - 5.17 zestawiono porównanie kosztów inwestycyjnych dla drogi ekspresowej o przekroju 2/2 i 2/3 w wybranych wariantach realizacyjnych. Przyjęto uśredniony, szacunkowy koszt budowy 1 km drogi ekspresowej o przekroju drogi 2/2 wraz z niezbędnymi obiektami i infrastrukturą towarzyszącą (bez wykupów gruntów) – ok. 27 mln zł netto na podstawie wybranych cen rynkowych w latach 2010 – 2015.

Na podstawie analizy uzyskanych danych stwierdzono, że najkorzystniejszym scenariuszem jest pozostawienie rezerwy na dodatkowy pas ruchu w pasie rozdziału (scenariusz SE_2), a najmniej korzystnym rozwiązaniem będzie brak pozostawienia rezerwy (scenariusz SE_0), co wiąże się z koniecznością znaczącej przebudowy stanu istniejącego, co generuje wysokie koszty inwestycji.

Tablica 5.15

Szacunkowy koszt budowy elementów drogi klasy S w wybranym wariantcie realizacyjnym - przekrój drogi S2/2 (cena złotych netto za 1km)

Warianty rezerwy terenu	Rezerwa w pasie rozdziału SE_2	Rezerwa na zewnątrz korony drogi		Brak rezerwy
		SE_3	SE_4	SE_0
Obiekty inżynierskie wzdłuż drogi	2 886 835	2 886 835	2 222 863	2 222 863
Obiekty inżynierskie w poprzek drogi	4 330 253	4 330 253	3 334 295	3 334 295
Odwodnienie	1 490 784	1 490 784	1 192 627	1 192 627
Oświetlenie	935 306	935 306	935 306	935 306
Oznakowanie i urządzenia BRD	2 591 327	2 591 327	2 073 061	2 073 061

Warianty rezerwy terenu	Rezerwa w pasie rozdziału SE ₂	Rezerwa na zewnątrz korony drogi		Brak rezerwy
		SE ₃	SE ₄	SE ₀
Ekrany	295 421	295 421	295 421	295 421
Infrastruktura	1 988 265	1 988 265	1 988 265	1 988 265
Drogi i inne roboty	12 232 199	12 232 199	11 232 199	11 232 199
SUMA:	26 750 389	26 750 389	23 274 037	23 274 037

Źródło: opracowanie własne

Tablica 5.16

Szacunkowy koszt budowy/przebudowy elementów drogi klasy S w wybranym wariantcie realizacyjnym – poszerzenie do przekroju S2/3 (cena złotych netto za koszt prac związanych z poszerzeniem, w przeliczeniu na 1km)

Warianty rezerwy terenu	Rezerwa w pasie rozdziału SE ₂	Rezerwa na zewnątrz korony drogi		Brak rezerwy
		SE ₃	SE ₄	SE ₃
Obiekty inżynierskie wzdłuż drogi	0	0	2 222 863	2 222 863
Obiekty inżynierskie w poprzek drogi	0	0	3 334 295	3 334 295
Odwodnienie	223 618	447 235	1 192 627	1 192 627
Oświetlenie	140 296	140 296	467 653	561 184
Oznakowanie i urządzenia BRD	259 133	777 398	1 658 449	1 658 449
Ekrany	0	295 421	295 421	295 421
Infrastruktura	0	0	0	994 132
Drogi i inne roboty	2 100 000	2 100 000	5 100 000	5 100 000
SUMA:	2 723 046	3 760 350	14 271 308	15 358 971

Źródło: opracowanie własne

Tablica 5.17

Szacunkowy całkowity koszt budowy 3 pasa ruchu (cena złotych netto za 1km)

Rezerwa w pasie rozdziału SE ₂	Rezerwa na zewnątrz korony drogi		Brak rezerwy
	SE ₃	SE ₄	SE ₀
26 750 389	26 750 389	23 274 037	23 274 037
2 723 046	3 760 350	14 271 308	15 358 971
29 473 435	30 510 739	37 545 345	38 633 008

Źródło: opracowanie własne

Uzyskano także dane o jednostkowych kosztach budowy 1 km drogi z obiektów realizowanych przez GDDKiA (pismo nr BGD.WZD.053.3.2016.1.AKr z dnia 14.12.2016 r.) (tablica 5.18).

Tablica 5.18

Jednostkowy koszt budowy 1 km drogi (dane GDDKiA)

Klasa drogi	Koszt budowy KB (mln zł / 1 km)	
	Jezdnia dwupasowa	Jezdnia trzypasowa
G - GP	14,2	24,6
S	34,9	74,8
A	32,3	35,4

Zwraca uwagę bardzo wysoki koszt budowy przekroju S2/3. Wynika to z faktu, że takie przekroje występują w obrębie terenów zabudowanych (np. droga S8 w Warszawie), gdzie koszt inwestycji jest znacznie większy niż poza terenem zabudowanym.

Dane uzyskane na temat kosztów budowy dróg ruchu szybkiego w Polsce uzyskano także z raportu PwC dla GDDKiA z 2013 r., gdzie koszty dla autostrady o przekroju A2/2 – 39 mln zł brutto na 1 km, a dla drogi ekspresowej - 35,3 mln zł na 1 km drogi.

Na podstawie analizy danych o kosztach budowy dróg różnych klas uzyskanych z biur projektów szacunkowy koszt wynosi dla przekroju:

- S2/3 – 63 mln na 1 km
- S2/2 – 48 mln na 1 km
- GP1/2 – 15 mln na 1 km,
- GP2/2 – 35 mln zł na 1 km.

Powyższe zestawienia wskazują na bardzo duże zróżnicowanie kosztów budowy, szczególnie dla dróg o przekroju S2/3. Wskazuje to na konieczność indywidualnego podejścia do każdej inwestycji ze względu na bardzo dużą liczbę potencjalnych zmiennych decydujących o kosztach inwestycyjnych.

5.4.3 Analiza ekonomiczna wpływu zaproponowanych typów przekroju na koszty funkcjonowania drogi

Ocena skutków wpływu zaproponowanych rozwiązań została oparta o analizę ekonomiczną wykonaną na podstawie [34]. Do oszacowania kosztów przyjęto następujące założenia:

- przyjęto odcinek bazowy drogi o długości 100 km,
- analizowano wpływ natężeń ruchu w przedziale od 10 tys. P/dobę do 190 tys. P/dobę,
- przyjęto cykl życia drogi 30 lat, dla tego okresu prowadzono obliczenia.

Obliczenia zostały wykonane oddzielnie dla wybranych typów przekroju poprzecznego dla autostrad i dróg ekspresowych.

Podstawową miarą oceny funkcjonowania drogi są koszty funkcjonowania drogi w cyklu życia obiektu drogowego. Sumaryczne koszty funkcjonowania drogi w cyklu jej życia KFD_{CZ} liczone według wzoru (5.3):

$$KFD_{CZ,j} = \sum_{i=1}^{30} (KD_{i,j} + KR_{i,j}) \quad (5.3)$$

gdzie:

$KFD_{CZ,j}$ – sumaryczne koszty funkcjonowania analizowanego odcinka drogi, w przypadku realizacji scenariusza j dochodzenia do przekroju docelowego, (mln zł/km),

$KD_{i,j}$ – suma kosztów budowy drogi według scenariusza j dochodzenia do przekroju docelowego oraz kosztów utrzymania drogi w roku i według tego scenariusza dla analizowanego odcinka drogi, (mln zł/km),

$KR_{i,j}$ – suma kosztów ruchu (koszty czasu podróży, koszty eksploatacji pojazdów, koszty wypadków, koszty środowiska) w czasie przebudowy drogi według scenariusza j dochodzenia do przekroju docelowego oraz kosztów eksploatacji pojazdów i funkcjonowania analizowanego odcinka drogi w roku, (mln zł/km).

Przy analizie wzięto pod uwagę następujące koszty drogowe oraz koszty ruchu drogowego:

- koszty drogowe – inwestycyjne oszacowano na podstawie rozdz. 5.4.2 przyjęto 32,3 mln zł brutto na 1 km autostrady i 34,9 mln zł na 1 km drogi ekspresowej dla przekroju 2/2 oraz 45,0 mln zł na 1 km autostrady i 49,0 mln zł na 1 km drogi ekspresowej dla przekroju 2/3. Dla potrzeb analizy przyjęto wzrost kosztów inwestycyjnych dla przekroju 2/4 o 80% w stosunku do przekroju 2/2.
- koszty drogowe – utrzymaniowe (na podstawie [34] dla przekroju 2/2), dla potrzeb analizy przyjęto wzrost kosztów utrzymaniowych dla przekroju 2/3 o 40% i dla przekroju 2/4 o 80% w stosunku do przekroju 2/2,
- koszty eksploatacji pojazdów,
- koszty czasu,
- koszty wypadków drogowych,
- koszty emisji spalin,

Pominięto koszty hałasu i koszty zmian klimatycznych ze względu na ich znikomy wpływ na wynik analizy.

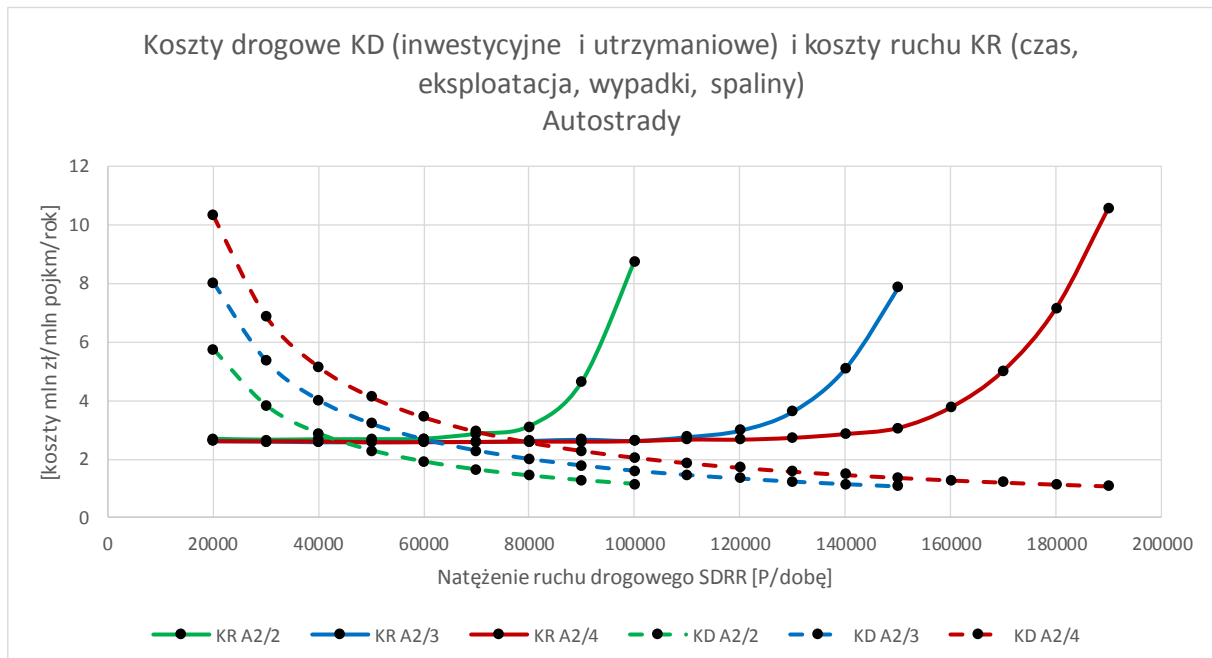
Po wyliczeniu poszczególnych grup kosztów ruchu drogowego, zsumowano je ze sobą i wyliczono koszt jednostkowy na 1 mln pojkm. Podobne obliczenia wykonano dla kosztów drogowych. Efekt analizy przedstawiono na rysunkach 5.11 - 5.13 (oddzielne koszty drogowe i koszty ruchu) oraz na rysunku 5.14 (łącznie koszty drogowe i koszty ruchu zdyskontowane).

Analizy prowadzone dla tak przyjętego bazowego odcinka drogi pozwalają na poszukiwanie optymalnej wielkości kosztów funkcjonowania drogi w zależności od typu przekroju poprzecznego. Analizując uzyskane wyniki stwierdzono, że optymalne koszty uzyskuje się:

- dla przekrojów typu A2/2 i S2/2 przy natężeniach ruchu SDR = 60 tys. – 80 tys. P/dobę,
- dla przekrojów typu A2/3 i S2/3 przy natężeniach ruchu SDR = 80 tys. – 120 tys. P/dobę,
- dla przekrojów typu A2/4 i S2/4 przy natężeniach ruchu SDR = 120 tys. – 150 tys. P/dobę.

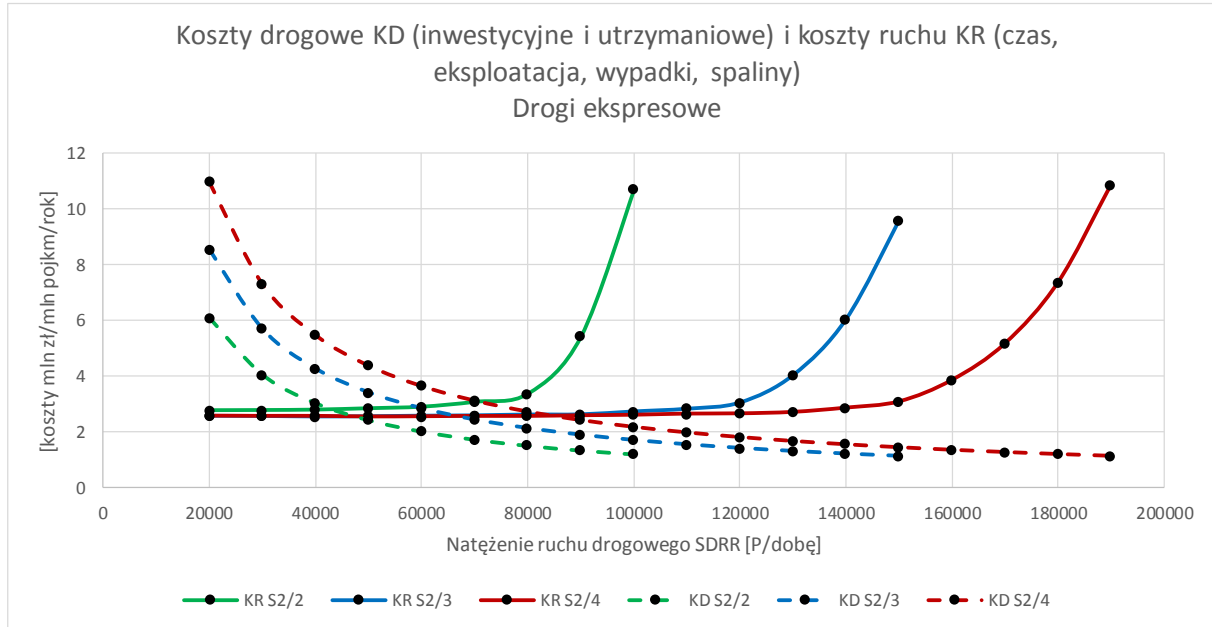
Ponadto wyniki przeprowadzonych analiz wskazują, że po przekroczeniu pewnej wartości natężenia ruchu suma wszystkich kosztów gwałtownie wzrasta:

- w przypadku typów przekroju w przekroju A2/2 i S2/2, jest to natężenie SDR > 80 tys. P/dobę,
- w przypadku typów przekroju w przekroju A2/3 i S2/3, jest to natężenie SDR > 120 tys. P/dobę,
- w przypadku typów przekroju w przekroju A2/4 i S2/4, jest to natężenie SDR > 150 tys. P/dobę.



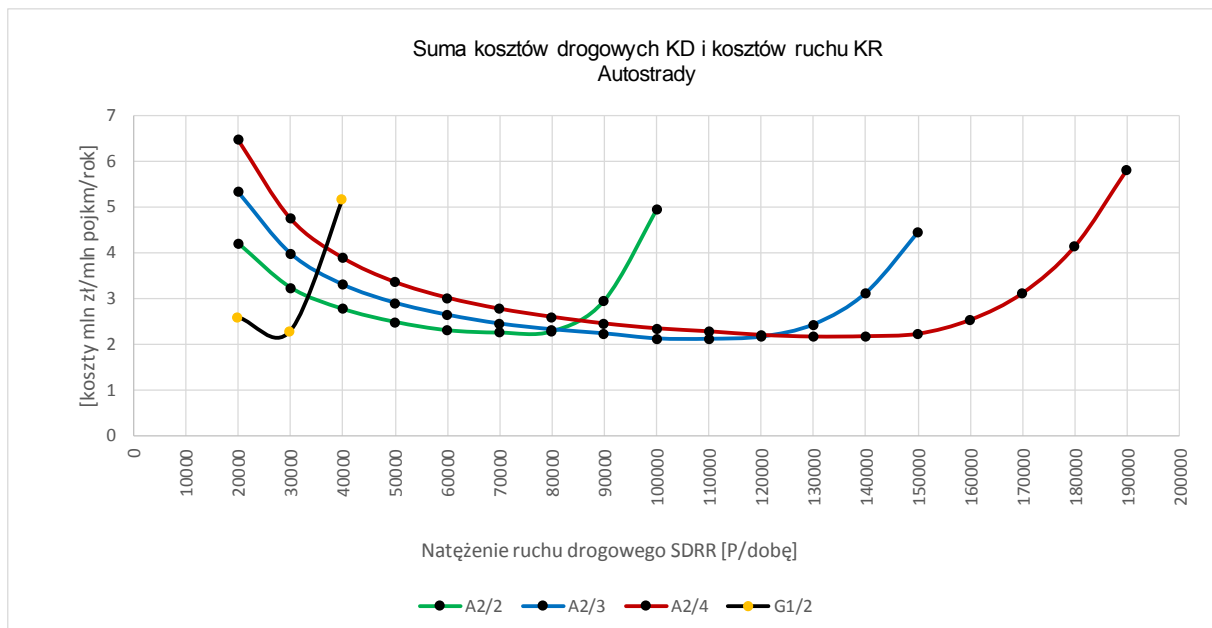
Rys. 5.15 Koszty jednostkowe drogowe i koszty jednostkowe ruchu (mln zł/mln poj km) dla autostrad (KD – koszty drogowe, KR – koszty ruchu).

Źródło: Opracowanie własne



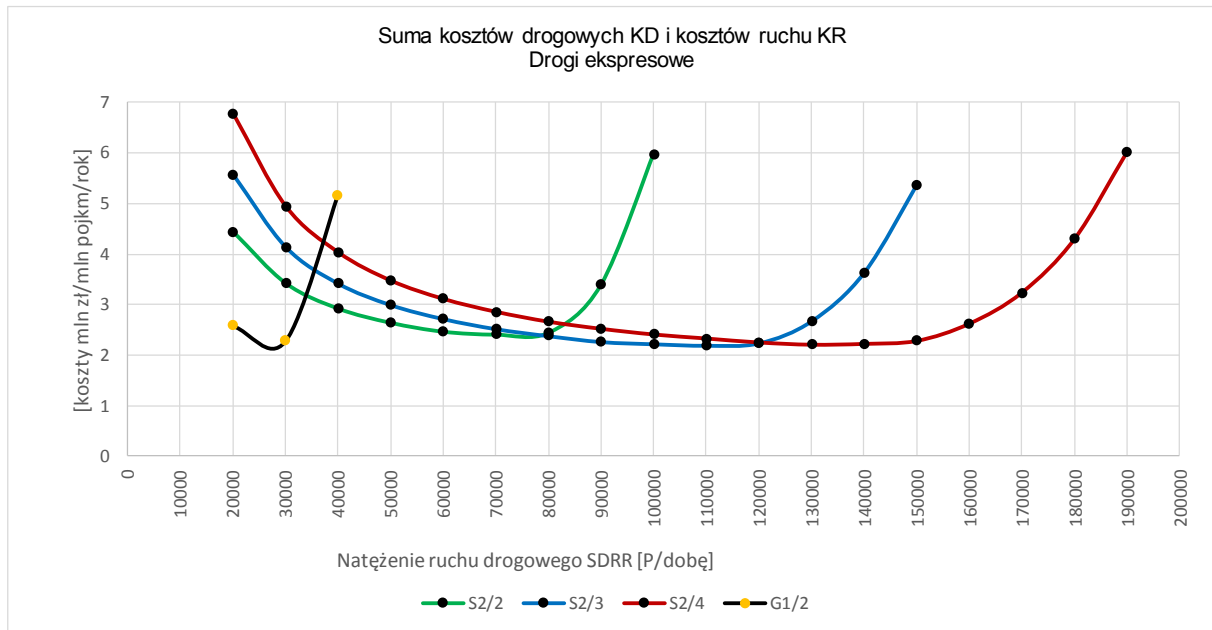
Rys. 5.16 Koszty jednostkowe drogowe i koszty jednostkowe ruchu (mln zł/mln poj km) dla dróg ekspresowych (KD – koszty drogowe, KR – koszty ruchu).

Źródło: Opracowanie własne



Rys. 5.17 Zestawienie kosztów jednostkowych dla autostrad.

Źródło: Opracowanie własne

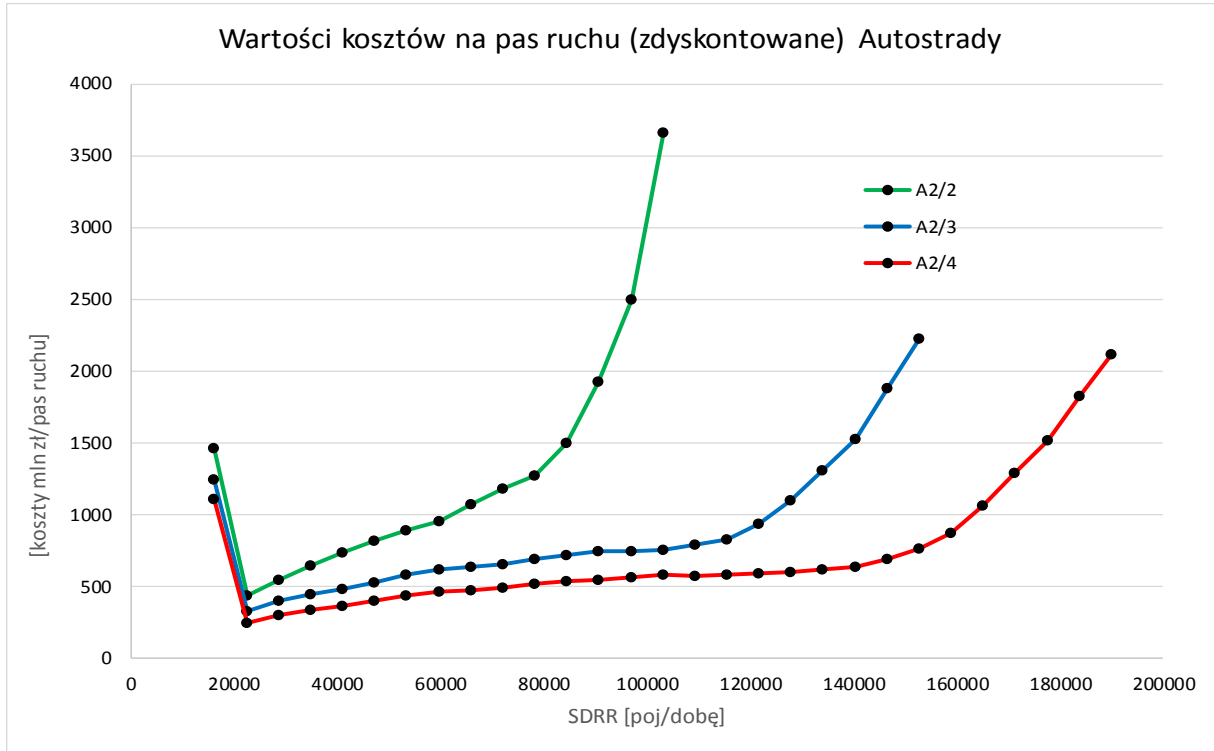


Rys. 5.18 Zestawienie kosztów jednostkowych dla dróg ekspresowych.

Źródło: Opracowanie własne

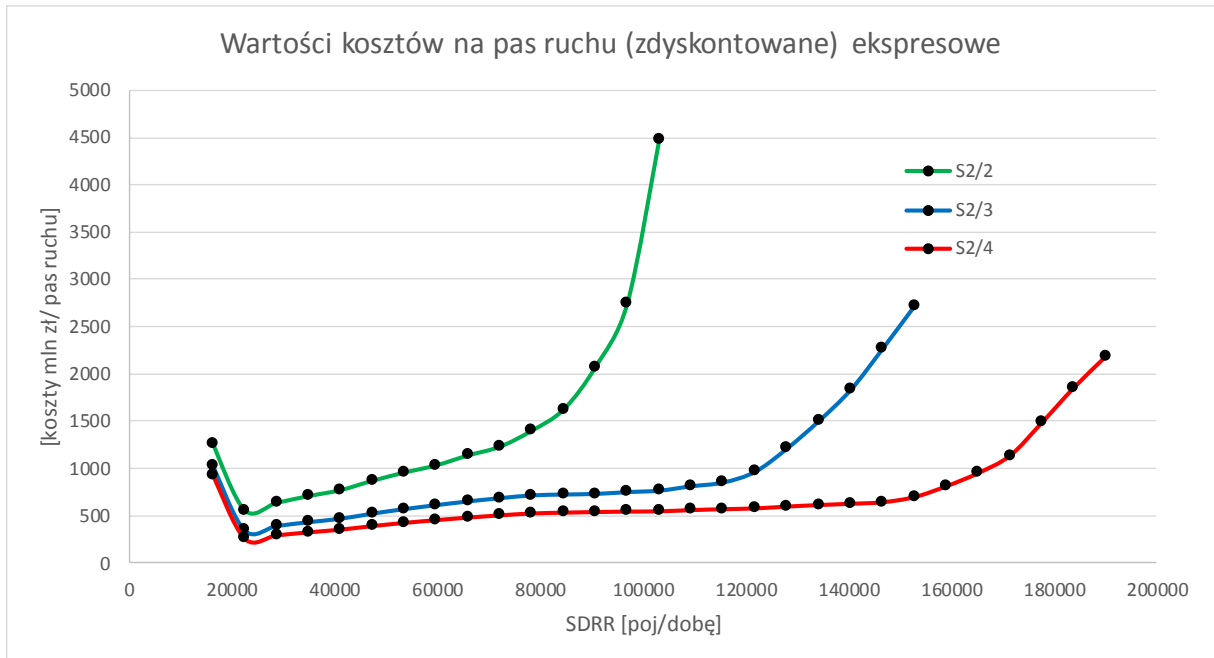
Przeprowadzono także analizę kosztów funkcjonowania drogi przypadających na 1 pas ruchu dla autostrad i dróg ekspresowych. Wyniki analizy wskazują (rys. 5.25, rys. 5.26), że:

- największe koszty funkcjonowania drogi występują w przypadku budowy drogi o przekroju 2/2 pasy ruchu, dobudowa pasa ruchu zmniejsza koszty budowy przypadające na 1 pas ruchu i zmniejsza koszty ruchu,
- gwałtowny przyrost kosztów występuje przy tych samych natężeniach ruchu jak wykazano przy kosztach sumarycznych.



Rys. 5.19 Zestawienie kosztów drogowych i kosztów ruchu przypadających na pas ruchu dla autostrad.

Źródło: Opracowanie własne



Rys. 5.20 Zestawienie kosztów drogowych i kosztów ruchu dla dróg ekspresowych.

Źródło: Opracowanie własne

5.4.4 Podsumowanie

Analizując wpływ inwestycji na koszty inwestycyjne i utrzymaniowe (koszty drogowe KD) oraz na koszty użytkowników (koszty ruchu KR), stwierdzono, że:

- analizę wpływu zaproponowanych wariantów typu przekroju poprzecznego drogi na koszty funkcjonowania drogi należy przeprowadzać metodą analizy kosztów i korzyści.
- najkorzystniejszym z punktu widzenia nakładów inwestycyjnych scenariuszem etapowania inwestycji jest pozostawienie rezerwy na dodatkowy pas ruchu w pasie rozdziału (scenariusz SE₂), a najmniej korzystnym rozwiązaniem będzie brak pozostawienia rezerwy (scenariusz SE₀) - wiąże się to z koniecznością znaczącej przebudowy stanu istniejącego, co generuje wysokie koszty inwestycji.
- optymalna wielkość łącznie kosztów drogowych i ruchowych (KD i KR) występuje dla natężeń (SDR):
 - dla przekrojów typu A2/2 i S2/2 przy SDR = 60 tys. – 80 tys. P/dobę,
 - dla przekrojów typu A2/3 i S2/3 przy SDR = 80 tys. – 120 tys. P/dobę,
 - dla przekrojów typu A2/4 i S2/4 przy SDR = 120 tys. – 150 tys. P/dobę.
- po przekroczeniu określonej wartości natężenia ruchu SDR, suma kosztów drogowych i ruchu (KD i KR) gwałtownie wzrasta:
 - w przypadku typów przekroju w przekroju A2/2 i S2/2, jest to SDR > 80 tys. P/dobę,
 - w przypadku typów przekroju w przekroju A2/3 i S2/3, jest to SDR > 120 tys. P/dobę,
 - w przypadku typów przekroju w przekroju A2/4 i S2/4, jest to SDR > 150 tys. P/dobę.

5.5 Analiza wybranych wariantów przekrojów dróg z zastosowaniem różnych scenariuszy poszerzenia przekroju drogi

Z punktu widzenia zakresu zadań analityczno-projektowych pomagających zdecydować o liczbie pasów ruchu lub zwiększeniu liczby tych pasów wyróżnić można kilka przypadków:

- przypadek A: droga przed lub w trakcie projektowania,
- przypadek B: droga projektowana o zakończonych czynnościach projektowych, na której przewiduje się rezerwy na dodatkowe pasy ruchu (przypadek B1) lub nie przewiduje się takich rezerw (przypadek B2),
- przypadek C: droga istniejąca, na której przewiduje się rezerwy na dodatkowe pasy ruchu (przypadek C1) lub nie przewiduje się takich rezerw (przypadek C2)

W powyższych przypadkach każdorazowo zachodzi konieczność:

- wykonana prognozy ruchu lub jej weryfikacja,
- określenie niezbędnej docelowo liczby pasów ruchu,

- wskazanie w projekcie drogi położenia rezerw terenowych pod dodatkowe pasy ruchu lub wskazanie położenia dodatkowego pasa ruchu na drodze istniejącej,
- oszacowanie kosztów poszerzenia przekroju drogi.

Rozbudowa przekroju drogowego o dodatkowe pasy praktycznie zawsze jest możliwa, jednakże w przypadkach gdy w pierwszej fazie realizacji nie pozostawi się stosownych założeń i rezerw, to w etapie rozbudowy prace budowlane będą miały znaczący zakres oraz wystąpią istotne utrudnienia związane z koniecznością zamykania węzłów, wiaduktów lub prowadzenia ruchu wzdłuż przebudów ograniczoną liczbą pasów ruchu. Dodatkowo w zakresie infrastruktury podstawowej i towarzyszącej może wystąpić konieczność realizacji następujących zadań:

- wykup dodatkowych gruntów,
- wyburzenia obiektów przyległych do pierwotnego pasa drogowego,
- wprowadzenie strefy ograniczonego użytkowania w sąsiedztwie pasów drogowych,
- budowa dodatkowej ochrony akustycznej,
- rozbiórka i budowa nowych obiektów inżynierskich w poprzek drogi (w wyjątkowych przypadkach może istnieć szansa na przedłużenia),
- poszerzenie obiektów wzdłuż drogi,
- rozbiórka i budowa urządzeń brd,
- rozbiórka i budowa infrastruktury otaczającej (energetyka, oświetlenie, teletechnika, odwodnienie, branże towarzyszące),
- rozbiórka i budowa systemu oznakowania pionowego drogi,
- inne.

W związku z powyższym istotne jest, aby na pierwszym etapie budowy drogi określić prawdopodobieństwo konieczności rozbudowy przekroju w przyszłości i zrealizować obiekt budowlany o parametrach pozwalających na prostą technologicznie i niekosztowną rozbudowę. Powinna ona opierać się na niskich kosztach budowlanych, ale także społecznych, tj. nie ograniczać znacząco prowadzenia ruchu drogowego i zapewnić wysoki poziom bezpieczeństwa ruchu drogowego podczas prowadzonych prac.

W związku z powyższym niezwykle istotne jest, aby optymalizować zakres inwestycji na pierwszym etapie prac, tak aby początkowa faza była stosunkowo niskonakładowa, lecz jednocześnie pozwalała na rozbudowę przekroju. Niezmiernie ważne są aspekty przekroju poprzecznego, miejsca pozostawienia rezerwy (w pasie dzielącym, na zewnątrz), wyposażenie i lokalizacja infrastruktury podstawowej i towarzyszącej.

5.5.1 Możliwe rozwiązania projektowe:

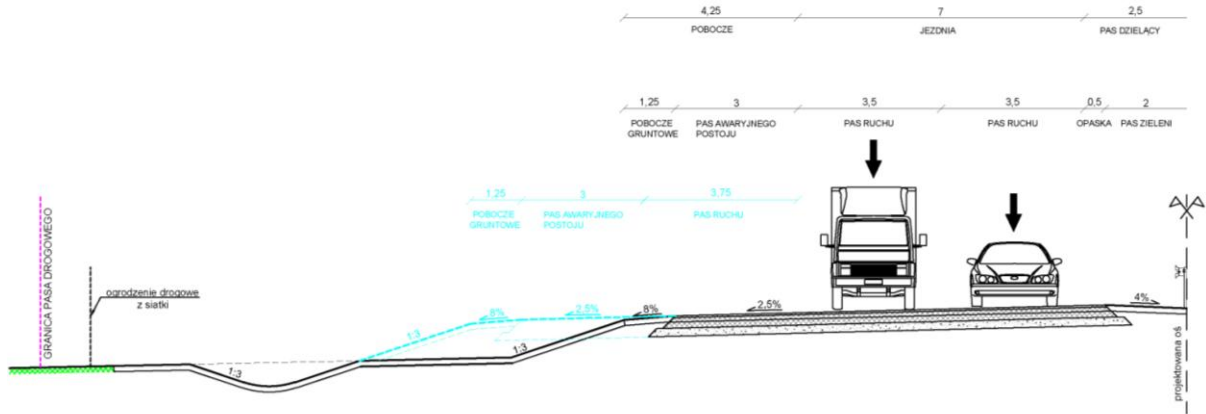
Budowa dodatkowego pasa ruchu w pasie rozdziału. Umożliwienie w przyszłości budowy dodatkowego pasa ruchu w pasie rozdziału drogi ruchu szybkiego wiąże się z koniecznością zwiększenia jego szerokości o dodatkową szerokość dwóch pasów ruchu. Pas rozdziału musi zostać poszerzony symetrycznie względem osi drogi ruchu szybkiego i uwzględniać na łukach poziomych odpowiednią widoczność na zatrzymanie na wewnętrznych, budowanych w trakcie poszerzenia, dodatkowych pasach ruchu (rys. 5.22, rys. 5.24).

Budowa dodatkowego pasa ruchu po zewnętrznej stronie drogi. Umożliwienie w przyszłości budowy dodatkowego pasa ruchu po zewnętrznej stronie jezdni drogi ruchu szybkiego wiąże się z koniecznością zapewnienia odpowiedniej szerokości pasa drogowego, aby poszerzenie korpusu drogi ruchu szybkiego o dodatkową szerokość dwóch pasów ruchu było w przyszłości możliwe. Odpowiednią rezerwę terenu należy zabezpieczyć po obu stronach drogi. (rys. 5.23, rys. 5.25).

Można wykonać to w kilku wariantach:

- docelowy pas drogowy + wybudowanie docelowego korpusu drogi (jedynie bez poszerzonej nawierzchni) + budowa docelowych obiektów podłużnych i poprzecznych + budowa w docelowej lokalizacji dróg serwisowych i infrastruktury,
- docelowy pas drogowy + wybudowanie tymczasowego korpusu drogi + budowa docelowych obiektów podłużnych i poprzecznych + budowa w docelowej lokalizacji dróg serwisowych i infrastruktury,
- docelowy pas drogowy + wybudowanie tymczasowego korpusu drogi + budowa tymczasowych obiektów podłużnych i poprzecznych + budowa w docelowej lokalizacji dróg serwisowych i infrastruktury,
- tymczasowy pas drogowy + wybudowanie tymczasowego korpusu drogi + budowa tymczasowych obiektów podłużnych i poprzecznych + budowa w tymczasowej lokalizacji dróg serwisowych i infrastruktury – czyli brak rezerwy. Wariant ten w warunkach naszego kraju oznacza w praktyce zamknięcie możliwości poszerzenia drogi w przyszłości. Władze samorządowe zagospodarują teren, a pozyskanie go na cele drogowe w przyszłości może być bardzo trudne i kosztowne.

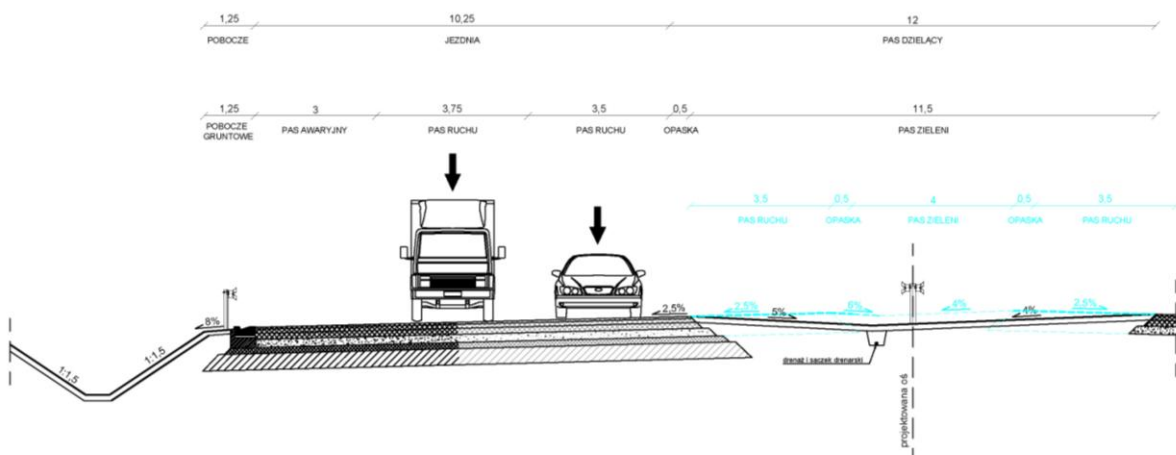
PRZEKRÓJ NORMALNY AUTOSTRADY Z REZERWĄ NA 3 PAS RUCHU PO
ZEWNĘTRZNEJ STRONIE KORONY DRÓGI



Rys. 5.21 Schemat poszerzenia autostrady do 3 pasów ruchu z rezerwą na zewnątrz.

Źródło: Opracowanie własne

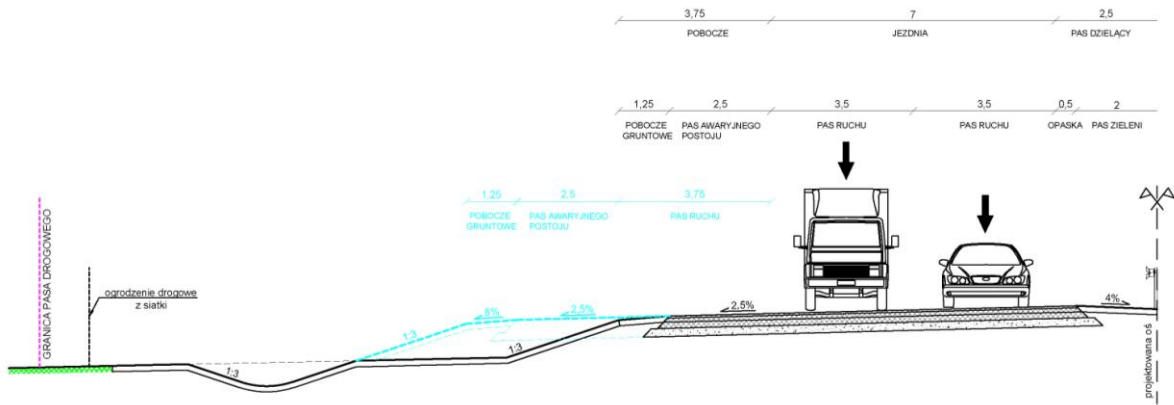
PRZEKRÓJ NORMALNY AUTOSTRADY Z REZERWĄ
NA 3 PAS RUCHU W PASIE DZIELĄCYM



Rys. 5.22 Schemat poszerzenia autostrady do 3 pasów ruchu z rezerwą pasie dzielącym.

Źródło: Opracowanie własne

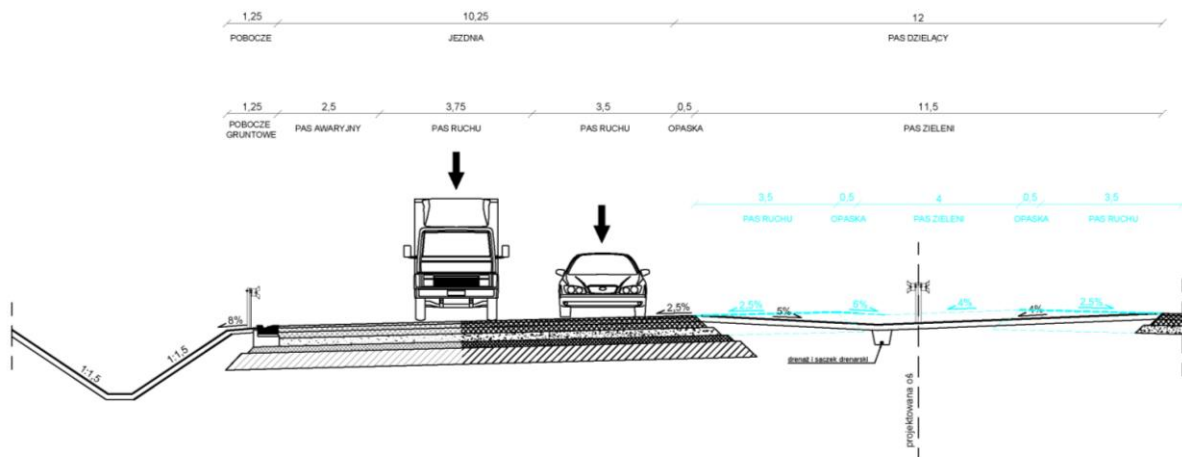
PRZEKRÓJ NORMALNY DROGI EKSPRESOWEJ Z REZERWĄ NA 3 PASY RUCHU PO
ZEWNĘTRZNEJ STRONIE KORONY DROGI



Rys. 5.23 Schemat poszerzenia drogi ekspresowej do 3 pasów ruchu z rezerwą na zewnątrz.

Źródło: Opracowanie własne

PRZEKRÓJ NORMALNY DROGI EKSPRESOWEJ Z
REZERWĄ NA 3 PASY RUCHU W PASIE DZIELĄCYM



Rys. 5.24 Schemat poszerzenia autostrady do 3 pasów ruchu z rezerwą w pasie dzielącym.

Źródło: Opracowanie własne

5.5.2 Budowa dodatkowego pasa ruchu w pasie rozdziału

Dobudowanie dodatkowego pasa ruchu w obszarze rezerwy pozostawionej w pasie rozdziału będzie charakteryzowało się następującymi uwarunkowaniami, zaleceniami i działaniami:

- Obiekty inżynierskie wzdłuż drogi (mosty, estakady, wiadukty):
 - Wszystkie obiekty inżynierskie wzdłuż drogi muszą uwzględniać docelową szerokość nawierzchni drogi. Szacuje się, że na wstępie należy ponieść koszty budowy obiektów mostowych szerszych o około 23%.
 - Poprzestanie na budowie jedynie docelowej szerokości podpór przy założeniu, że w kolejnym etapie rozbudowy drogi istniejące pomosty zostaną poszerzone ze względu na trudności techniczne i koszty należy z góry odrzucić. Tak wykonane obiekty inżynierskie nie będą wymagały jakiegokolwiek przebudowy po poszerzeniu jezdni.
 - Na etapie eksploatacji będą takie obiekty wymagały nieco większych nakładów na ich utrzymanie i konserwację. Będzie to jednak wzrost kosztów utrzymania zwiększony o zaledwie 5 – 10%. Zostanie to zrekompensowane niższymi nakładami na remonty cząstkowe (np. wymiana dylatacji) dzięki możliwości ich wykonywania przy utrzymaniu ruchu na dwóch pasach w jednym kierunku.
 - Brak docelowej szerokości obiektów inżynierskich zlokalizowanych wzdłuż drogi ruchu szybkiego będzie skutkował najczęściej rozbiórką co najmniej samych pomostów i poszerzeniem podpór, a niekiedy rozbiórką całych obiektów mostowych i budową nowych. Przy obligatoryjnej (wynikającej z przepisów) 100-letniej trwałości obiektów inżynierskich byłoby to niewłaściwe ekonomicznie.
- Obiekty inżynierskie w poprzek drogi (mosty, estakady, wiaduktu, przepusty):
 - Wszystkie obiekty inżynierskie w poprzek drogi muszą uwzględniać docelową szerokość nawierzchni drogi (dotyczy to oczywiście obu jezdni). Na samym wstępie należy ponieść koszty budowy obiektów mostowych o większej rozpiętości o około 20%. Konieczne jest zapewnienie odpowiedniej skrajni pionowej również na pasie ruchu, który ma zostać dobudowany w przyszłości. Tak wykonane obiekty inżynierskie nie będą wymagały jakiegokolwiek przebudowy po poszerzeniu jezdni.
 - W przypadku obiektów poprzecznych nie ma w możliwości ich wybudowania w jakiegokolwiek uboższej tymczasowo wersji.
 - Podobnie jak w przypadku obiektów wzdłuż drogi, na etapie eksploatacji takie obiekty będą wymagały nieco większych nakładów na ich utrzymanie i konserwację. Także w tym przypadku będzie to wzrost kosztów utrzymania zwiększony o ok. 5 – 10%.

- Odwodnienie:
 - Odwodnienie drogi musi zostać wykonane od razu w układzie docelowym. Musi również uwzględniać zwiększoną zlewnię z poszerzanej w przyszłości jezdni. Jedynie na łukach, które wymagają zmiany pochylenia poprzecznego jezdni, na odcinkach, na których spadek jezdni zwrócony jest w stronę pasa rozdziału nie można wykonać docelowego ścieku wzdłuż krawędzi. Będzie on w przyszłości rozebrany i wybudowany w nowej lokalizacji po poszerzeniu jedni. Można natomiast (i należy) wykonać docelowo wpusty deszczowe. Będą one doraźnie odsunięte od nawierzchni o szerokość pasa ruchu i połączone ze ściekiem wzdłuż krawędzi odcinkiem ścieku prostopadłego (niemal) do osi drogi. Wpusty powinny uwzględniać docelowe rzędne ścieku wzdłuż przyszłej krawędzi nawierzchni. Wszystkie elementy kanalizacji deszczowej, drenażu a także odwodnienie powierzchniowe po zewnętrznej stronie korpusu są budowane docelowo i nie będą wymagały jakichkolwiek zmian po poszerzeniu drogi.
- Oświetlenie:
 - Oświetlenie projektowane jest najczęściej po zewnętrznej stronie jezdni. Może ono ale nie musi być budowane od razu z uwzględnieniem docelowej szerokości jezdni. Latarnie mogą bowiem zostać po poszerzeniu nawierzchni wyposażone w nowe oprawy doświetlające poszerzoną nawierzchnię drogi. Oświetlenie ustawione w pasie rozdziału musi zostać wykonane od razu w układzie docelowym.
- Urządzenie BRD:
 - Urządzenia BRD muszą być budowane od razu z uwzględnieniem docelowej szerokości jezdni. Po stronie zewnętrznej drogi nic nie będzie w przyszłości powodowało konieczności ich przebudowy. Bariery w pasie rozdziału mogą być wykonane w lokalizacji innej niż docelowa, ale nie ma to żadnego uzasadnienia ekonomicznego.
- Ekranry:
 - Ekranry akustyczne budowane są od razu docelowo, są zlokalizowane po stronie zewnętrznej drogi, zatem nic nie będzie w przyszłości powodowało konieczności ich przebudowy.
- Infrastruktura:
 - Infrastruktura (linie energetyczne, teletechniczne, wodociągi, gaz itd.) zarówno biegnąca wzdłuż drogi jak i przechodząca w jej poprzek musi być budowana docelowo i przy poszerzeniu jezdni nic nie będzie powodowało konieczności jej

przebudowy, gdyż infrastruktura równoległa do drogi zawsze prowadzona jest na zewnątrz korpusu drogi, nigdy w pasie rozdziału.

- Oznakowanie
 - Zdecydowana większość elementów oznakowania, w tym najkosztowniejsze bramownice, jest budowana docelowo i nie musi wymagać zmiany. Znaki pionowe w pasie rozdziału i część tarcz znaków (zmiana treści) muszą jednak zostać wymienione na nowe po poszerzeniu.
- Drogi serwisowe:
 - Drogi serwisowe budowane są od razu docelowo, są zlokalizowane po stronie zewnętrznej korpusu drogi ruchu szybkiego, zatem nic nie będzie w przyszłości powodowało konieczności ich przebudowy.
- Infrastruktura niezbędna do utrzymania:
 - Infrastruktura służąca utrzymaniu drogi ruchu szybkiego budowana jest od razu docelowo, jest zlokalizowana po stronie zewnętrznej korpusu drogi ruchu szybkiego, zatem nic nie będzie w przyszłości powodowało konieczności jej przebudowy.
- Elementy węzłów (łącznie):
 - Elementy węzłów (łącznie) budowane są od razu docelowo, są zlokalizowane po stronie zewnętrznej (niemal zawsze) korpusu drogi ruchu szybkiego, zatem nic nie będzie w przyszłości powodowało konieczności ich przebudowy.
- Inne:
 - W trakcie poszerzenia przynajmniej teoretycznie możliwe jest „normalne” funkcjonowanie drogi, gdyż „teren robót” nie przecina wjazdów i zjazdów z drogi ruchu szybkiego.
- Oddziaływanie na otoczenie (wpływ zmiany krawędzi jezdni na uwarunkowania administracyjne i środowiskowe):
 - Brak jakiegokolwiek oddziaływania w przyszłości, gdyż zewnętrzna część korony drogi ruchu szybkiego nie ulegnie zmianie.

5.5.3 Budowa dodatkowego pasa ruchu po zewnętrznej stronie drogi

Dobudowanie dodatkowego pasa ruchu w obszarze rezerwy pozostawionej na zewnątrz jezdni będzie charakteryzowało się następującymi uwarunkowaniami, zaleceniami i działaniami:

- Obiekty inżynierskie wzdłuż drogi (mosty, estakady, wiadukty):
 - Wszystkie obiekty inżynierskie wzdłuż drogi muszą uwzględniać docelową szerokość nawierzchni drogi (dotyczy to oczywiście obu jezdni). Na samym wstępie należy ponieść koszty budowy obiektów mostowych szerszych o około 23%.

- Poprzestanie na budowie jedynie docelowej szerokości podpór przy założeniu, że w kolejnym etapie rozbudowy drogi istniejące pomosty zostaną poszerzone ze względu na trudności techniczne i koszty należy z góry odrzucić. Tak wykonane obiekty inżynierskie nie będą wymagały jakiegokolwiek przebudowy po poszerzeniu jezdni.
- Na etapie eksploatacji będą takie obiekty wymagały nieco większych nakładów na ich utrzymanie i konserwację. Będzie to jednak wzrost kosztów utrzymania zwiększony o zaledwie 5 – 10%. Zostanie to zrekompensowane niższymi nakładami na remonty częściowe (np. wymiana dylatacji) dzięki możliwości ich wykonywania przy utrzymaniu ruchu na dwóch pasach w jednym kierunku.
- Brak docelowej szerokości obiektów inżynierskich zlokalizowanych wzdłuż drogi ruchu szybkiego będzie skutkował najczęściej rozbiórką co najmniej samych pomostów i poszerzeniem podpór, a niekiedy rozbiórką całych obiektów mostowych i budową nowych. Przy obowiązkowej (wynikającej z przepisów) 100-letniej trwałości obiektów inżynierskich byłoby to niewłaściwe ekonomicznie.
- Obiekty inżynierskie w poprzek drogi (mosty, estakady, wiaduktu, przepusty):
 - Wszystkie obiekty inżynierskie w poprzek drogi muszą uwzględniać docelową szerokość nawierzchni drogi (dotyczy to oczywiście obu jezdni). Na samym wstępie należy ponieść koszty budowy obiektów mostowych o większej rozpiętości o około 20%. Konieczne jest zapewnienie odpowiedniej skrajni pionowej również na pasie ruchu, który ma zostać dobudowany w przyszłości. Tak wykonane obiekty inżynierskie nie będą wymagały jakiegokolwiek przebudowy po poszerzeniu jezdni.
 - W przypadku obiektów poprzecznych nie ma możliwości ich wybudowania w jakiegokolwiek uboższej tymczasowo wersji.
 - Podobnie jak w przypadku obiektów wzdłuż drogi, na etapie eksploatacji będą takie obiekty wymagały nieco większych nakładów na ich utrzymanie i konserwację. Także w tym przypadku będzie to wzrost kosztów utrzymania zwiększony o ok. 5 – 10%.
- Odwodnienie:
 - Odwodnienie drogi nie może zostać wykonane od razu w układzie docelowym. Docelowo można wykonać jedynie kanały zbiorcze zlokalizowane w pasie dzielącym a ich wyloty w zasadzie jedynie wówczas, gdy docelowo zostanie ukształtowany zewnętrzny korpus drogi (bez wykonywania jej nawierzchni). Kanalizacja musi wówczas uwzględniać zwiększoną zlewnię z poszerzanej w przyszłości jezdni. Jedynie na łukach, które wymagają zmiany pochylenia poprzecznego jezdni, na odcinkach, na których spadek jezdni zwrócony jest w stronę pasa rozdziału będzie

można wykonać docelowo ścieki wzdłuż krawędzi oraz studnie wpustowe. Ścieki i studnie wpustowe wykonane przy zewnętrznej krawędzi będą musiały zostać w przyszłości rozebrane i wybudowane w nowej lokalizacji po poszerzeniu jezdni. Całe odwodnienie powierzchniowe w postaci rowów drogowych musi być przy poszerzeniu drogi budowane raz jeszcze, łącznie z ich umocnieniem i umocnieniem skarp.

- Oświetlenie:
 - Oświetlenie projektowane jest najczęściej po zewnętrznej stronie jezdni. W zasadzie nie może ono być budowane od razu z uwzględnieniem docelowej szerokości jezdni. Można to zrobić jedynie przy budowie od razu docelowego korpusu drogi (jedynie bez wykonywania jej nawierzchni). Oświetlenie ustawione w pasie rozdziału może lecz nie musi zostać wykonane od razu w układzie docelowym. Latarnie mogą bowiem zostać po poszerzeniu nawierzchni wyposażone w nowe oprawy doświetlające poszerzoną nawierzchnię drogi.
- Urządzenie BRD:
 - Urządzenia BRD mogą być budowane od razu z uwzględnieniem docelowej szerokości jezdni, jedynie w przypadku, kiedy od razu wybudowany zostanie szerszy korpus drogi i to z tymczasowym zasypaniem gruntem nasypowym koryta pod przyszłą, poszerzoną nawierzchnię. Bardziej zasadne wydaje się wybudowanie urządzeń BRD po stronie zewnętrznej drogi, które przy poszerzeniu jezdni zostaną rozebrane i zastąpione nowymi. Bariery w pasie rozdziału będą wykonane w lokalizacji docelowej i przy poszerzeniu nie będą wymagały wymiany.
- Ekran:
 - Ekran akustyczny może zostać wybudowany od razu docelowo, jedynie w przypadku gdy od razu wybudowany zostanie szerszy korpus drogi i to z tymczasowym zasypaniem gruntem nasypowym koryta pod przyszłą, poszerzoną nawierzchnię. W każdym innym przypadku poszerzenie drogi na zewnątrz spowoduje konieczność ich rozebrania i ponownej budowy. Istotnym elementem jest jednak fakt, że z uwagi na propagację hałasu w górę ekrany stojące dalej od krawędzi jezdni tymczasowej będą musiały być wyższe, a co za tym idzie – droższe. Lokalizacja ekranów będzie determinowała lokalizację urządzeń brd i części oznakowania.
- Infrastruktura:
 - Infrastruktura (linie energetyczne, teletechniczne, wodociągi, gaz itd.) zarówno biegnąca wzdłuż drogi jak i przechodząca w jej poprzek powinna, lecz nie musi być

budowana docelowo. Przy jej docelowej lokalizacji podczas poszerzenia jezdni nie będzie powodowało konieczności jej przebudowy.

- Oznakowanie:
 - Duża część elementów oznakowania, w tym najkosztowniejsze bramownice, może być wybudowana docelowo i nie musi wymagać zmiany. Wszystkie znaki pionowe zlokalizowane po zewnętrznej stronie jezdni i część tarcz znaków (zmiana treści) muszą zostać wymienione na nowe po poszerzeniu.
- Drogi serwisowe:
 - Drogi serwisowe analogicznie do infrastruktury mogą i powinny być budowane od razu docelowo, wówczas podczas poszerzenia nawierzchni nie będzie konieczności ich przebudowy.
- Infrastruktura niezbędna do utrzymania:
 - Infrastruktura służąca utrzymaniu drogi ruchu szybkiego analogicznie do dróg serwisowych może i powinna być budowana od razu docelowo, wówczas podczas poszerzenia nawierzchni nie będzie konieczności jej przebudowy.
- Elementy węzłów (łącznie):
 - Elementy węzłów (łącznie) mogą być wybudowane od razu docelowo jedynie w części, część natomiast zawsze będzie wymagała przebudowy. Zakres, w jakim łącznica będzie musiała ulec przebudowie, będzie uzależniony od jej kształtu. Podczas robót związanych z poszerzeniem będą występowały znaczne trudności w funkcjonowaniu łącznic i niemal w każdym przypadku będzie niezbędne ich czasowe zamknięcie dla ruchu.
- Inne:
 - Poszerzenie nasypów zwłaszcza wysokich (zbrojenie) będzie trudne do poprawnego wykonania, zatem w zasadzie zawsze należy je wykonywać docelowo, a zaniechać jedynie wybudowania konstrukcji nawierzchni drogi na przyszłym poszerzeniu.
- Oddziaływanie na otoczenie (wpływ zmiany krawędzi jezdni na uwarunkowania administracyjne i środowiskowe):
 - Brak jakiegokolwiek oddziaływania w przyszłości będzie możliwy jedynie przy uwzględnieniu we wszelkich dokumentach administracyjnych od razu docelowego kształtu korpusu drogi i wydzieleniu docelowego pasa drogowego w terenie.

5.5.4 Porównanie zakresu przebudowy przekroju w zależności od sposobu etapowania

W celu porównania zakresu i sposobu przebudowy przyjęto trzy zasadnicze scenariusze przekroju budowane pierwotnie:

- gdy w czasie budowy podjęto decyzję, że droga nie będzie nigdy rozbudowana, a po latach użytkowania okazało się, że taka rozbudowa jest niezbędna (S0), co dotyczy także dróg istniejących bez przewidzianej rezerwy,
- gdy w czasie budowy podjęto decyzję, że w pierwszym etapie prac wybuduje się przekrój docelowy, rozbudowany o pas, który będzie niezbędny w przyszłości do prowadzenia ruchu drogowego (SE1),
- dobudowa dodatkowych pasów ruchu na poszerzonym (w celu zachowania rezerw terenu) pasie dzielącym jezdnie (SE2),
- dobudowa dodatkowych pasów ruchu po stronie zewnętrznej istniejących jezdni (SE3, SE4).

Przykładowe przypadki wariantów przebudowy przedstawia tablica 5.19.

Przyjęto następujące scenariusze do analizy:

- Scenariusze SE0 generują następujące uwarunkowania:
 - brak rezerwy na dodatkowe pasy ruchu,
 - konieczność przebudowy obiektów inżynierskich wzdłuż i w poprzek drogi,
 - konieczność przebudowy znacznego zakresu infrastruktury towarzyszącej,
 - ryzyko konieczności wyłączenia węzłów drogowych podczas prac przebudowy,
 - ryzyko braku możliwości rozbudowy przekroju.
- Scenariusze SE1 generują następujące uwarunkowania:
 - brak konieczności prowadzenia prac, gdyż przekrój wykonano w układzie docelowym.
- Scenariusz SE2 generuje następujące uwarunkowania:
 - rezerwy na dodatkowe pasy ruchu w pasie rozdziału,
 - brak konieczności przebudowy obiektów inżynierskich wzdłuż i w poprzek drogi,
 - konieczność przebudowy niewielkiego zakresu infrastruktury towarzyszącej.
- Scenariusz SE3 generuje następujące uwarunkowania:
 - rezerwy na dodatkowe pasy ruchu na skraju jezdni,
 - brak konieczności przebudowy obiektów inżynierskich wzdłuż drogi,
 - brak konieczności przebudowy obiektów inżynierskich w poprzek drogi,
 - konieczność przebudowy znacznego zakresu infrastruktury towarzyszącej,
 - ryzyko konieczności wyłączenia węzłów drogowych podczas prac rozbudowy.
- Scenariusz SE4 generuje następujące uwarunkowania:

- rezerwy na dodatkowe pasy ruchu na skraju jezdni,
- brak konieczności przebudowy obiektów inżynierskich wzdłuż drogi,
- konieczności przebudowy obiektów inżynierskich w poprzek drogi,
- konieczność przebudowy znacznego zakresu infrastruktury towarzyszącej,
- ryzyko konieczności wyłączenia z użytkowania wiaduktów oraz węzłów drogowych podczas prac rozbudowy.

Tablica 5.19

Przykładowe scenariusze i warianty przebudowy analizowanej drogi szybkiego ruchu (A, S) oraz dwujezdniowe klasy G i GP

Scenariusz	Przekrój		Rezerwa na dod. pas	Obiekty wzdłuż drogi		Obiekty poprzeczne	
	Bazowy	Docelowy		I	P	I	P
SE0	2/2 (2/3)	2/3 (2/4)	nie		X		X
SE1	2/3 (2/4)	2/3 (2/4)	Wykonanie przekroju w układzie docelowym z dodatkowym pasem potrzebnym dla prowadzenia ruchu w przyszłości				
Scenariusz 2 (dodatkowy pas ruchu w pasie rozdziału)							
SE2	2/2 (2/3)	2/3 (2/4)	tak	X		X	
Scenariusze 3 i 4 (dodatkowy pas na zewnątrz drogi)							
SE3	2/2 (2/3)	2/3 (2/4)	tak	X		X	
SE4	2/2 (2/3)	2/3 (2/4)	tak	X			X

Oznaczenia: I – Obiekty realizowane w ramach inwestycji pierwotnej, P – Obiekty realizowane w ramach inwestycji polegającej na rozbudowie o dodatkowy pas

Źródło: Opracowanie własne

W zależności od scenariusza budowy przekroju w pierwszy etap, podczas rozbudowy o dodatkowy pas ruchu zakres niezbędnych prac będzie się znacząco różnił. Największe oszczędności można uzyskać w pierwszym etapie prac, nie realizując rezerw pod rozbudowę. Rozbudowa jednak może być bardzo kosztowna i trudna technologicznie, ponieważ wiele elementów infrastruktury będzie podlegało rozbiórkom i budowie ich od nowa, a niewiele z nich będzie podlegało przeniesieniu. Różnice w zakresie udziału inwestycji w poszczególnych elementach infrastruktury przedstawiono w tablicy 5.20. Wnioski z przedstawionego zestawienia wskazują, że należy szacować koszty rozbudowy

o dodatkowy pas ruchu wraz z infrastrukturą oraz porównywać ten koszt z kosztem realizacji rozszerzonego przekroju realizowanego w pierwszym etapie.

Tablica 5.20

Udział przebudowy elementów infrastruktury w zależności od scenariusza rozbudowy o dodatkowy pas

Lp.	Branża	Scenariusze				
		SE0	SE1	SE2	SE3	SE4
1	Obiekty inż. wzdłuż drogi	+++	-	-	-	-
2	Obiekty inż. w poprzek drogi	+++	-	-	-	+++
3	Korpus drogi	+++	-	-	+	+++
4	Wykup gruntów	+++	-	-	-	-
5	Ochrona akustyczna	+++	-	-	++	++
6	Urządzenia BRD	++	-	-	++	++
7	Oznakowanie pionowe	+++	-	-	+	+++
8	Odwodnienie	+++	-	+	++	+++
9	Oświetlenie	+++	-	+	++	++
10	Infrastruktura	+++	-	-	++	+++
11	Drogi serwisowe	+++	-	-	-	+
12	Elementy węzłów	+++	-	-	++	++

+++ bardzo duży zakres przebudowy, ++ znaczny zakres przebudowy, + niewielki zakres przebudowy, - brak przebudowy

Źródło: Opracowanie własne

5.5.5 Analiza sposobu prowadzenia ruchu drogowego i realizacji robót w zależności od etapowania wykonania obiektów inżynierskich

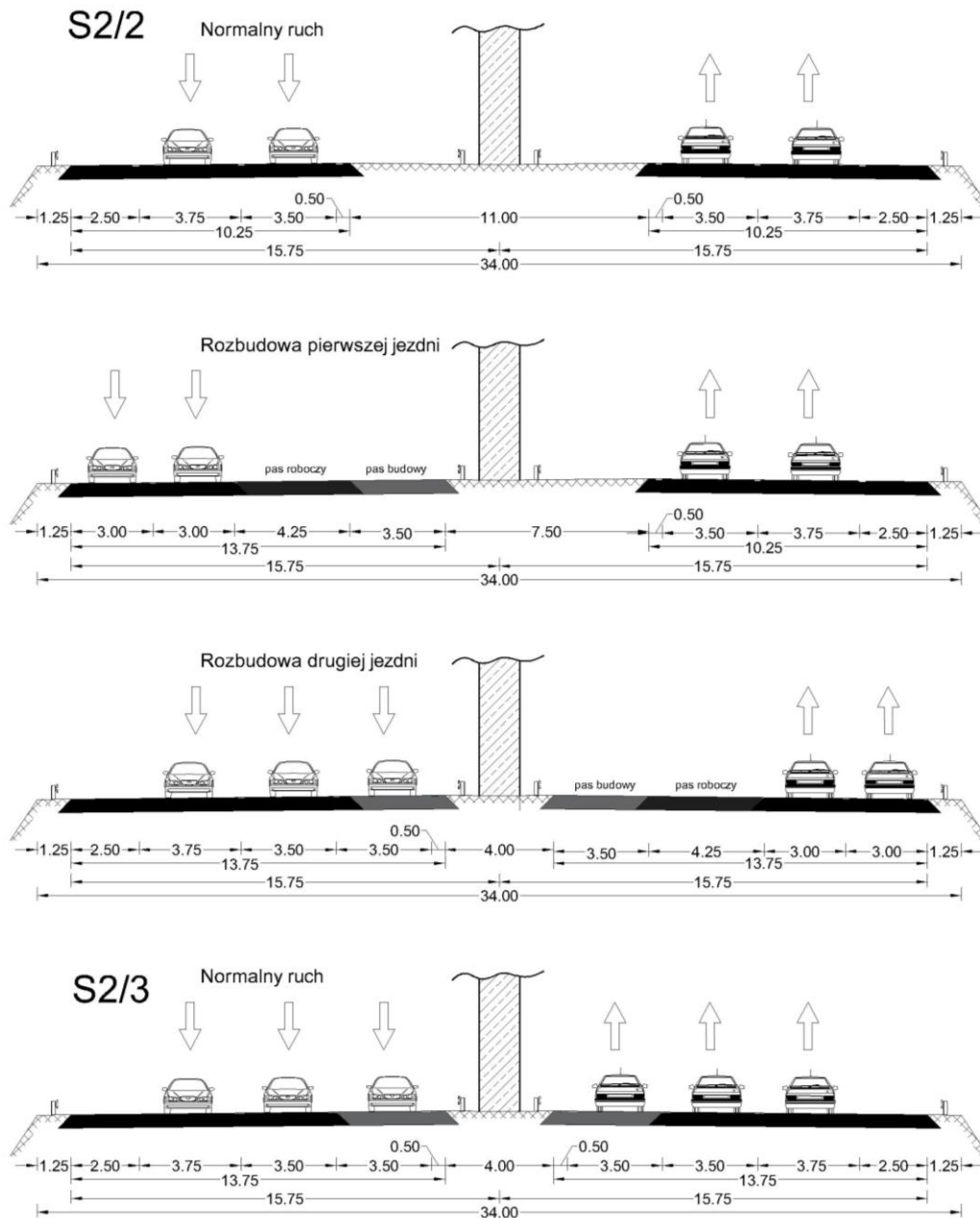
W zależności od scenariusza budowy przekroju w pierwszy etapie podczas rozbudowy o dodatkowy pas ruchu z przekroju 2/2 do przekroju 2/3 występują różne możliwości prowadzenia ruchu drogowego. W przypadku, gdy obiekty inżynierskie w pierwszym etapie zostaną wybudowane w układzie docelowym, prowadzenie robót i prowadzenie ruchu drogowego jest zdecydowanie łatwiejsze. Prace rozbudowy o dodatkowy pas ruchu można prowadzić pozostawiając funkcjonalne dwa pasy ruchu, wykorzystując utwardzone pobocze/pas awaryjny. W tym przypadku występuje zawężenie i przesunięcie pasów ruchu

(rys. 5.25). W scenariuszu, gdy obiekty inżynierskie należy rozbudować, w większości przypadków należy wyłączyć je całkowicie z ruchu podczas prowadzenia prac. Stąd w pierwszym etapie rozbudowy jednej jezdni wraz z obiektami na sąsiednią jezdnię można skierować tylko jeden pas ruchu. Realizuje się to przez zawężenie i przesunięcie pasów ruchu. Ruch z drugiego pasa ruchu przebudowanej jezdni należy prowadzić objazdami lub zawęzić przekrój do jednego pasa ruchu (rys. 5.26). Jednak w większości przypadków rozbudowę o dodatkowy pas ruchu realizuje się gdy natężenie ruchu drogowego jest tak duże, że wymaga poszerzenia przekroju, stąd zawężenie z dwóch pasów do jednego nie jest możliwe. Alternatywą jest prowadzenie objazdów, co wiązać się będzie z dodatkowymi kosztami kierowców, ryzykiem dodatkowych zdarzeń drogowych oraz rozjeżdżaniem dróg lokalnych. Mając powyższe na uwadze, podczas planowania etapowania drogi należy przewidywać sposób prowadzenia robót i prowadzenia ruchu podczas budowy oraz uwzględnić koszty i trudności z tego wynikające.

5.5.6 Podsumowanie i rekomendacje uwarunkowań technicznych

Analiza porównawcza pozostawienia rezerwy dla pasów w pasie rozdziału i na skraju jezdni wykazała, że poszerzenie na zewnątrz generuje większe trudności techniczne niż dobudowanie pasa w pasie rozdziału. Wynik rozważań nad rozbudową obiektów inżynierskich wskazuje, że z uwagi na trudności technologiczne oraz trudności z organizacji ruchu na czas robót obiekty inżynierskie wzdłuż i w poprzek drogi powinny być realizowane w układzie docelowym. Rekomenduje się także wykonanie wzmocnień gruntu oraz budowę korpusu drogowego w układzie docelowym, gdyż „doklejanie” korpusu do już istniejącego może powodować nierówną pracę korpusu i podbudowy. Dodatkowo w przypadku realizacji poszerzenia pasa w pasie rozdziału pozwala na usytuowanie infrastruktury podstawowej i towarzyszącej w układzie docelowym, a zakres przebudowy nie jest znaczący.

**Scenariusz 2 (dodatkowy pas ruchu w pasie rozdzielającym)
(istnienie docelowych obiektów inż. wzdłuż drogi)**



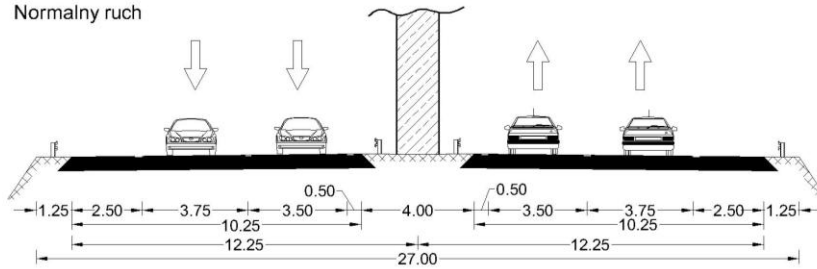
Rys. 5.25 Schemat prowadzenia ruchu drogowego podczas robót poszerzenia drogi ekspresowej do 3 pasów ruchu z rezerwą w pasie dzielącym oraz istniejących docelowych obiektów inżynierskich wzdłuż i w poprzek drogi

Źródło: Opracowanie własne

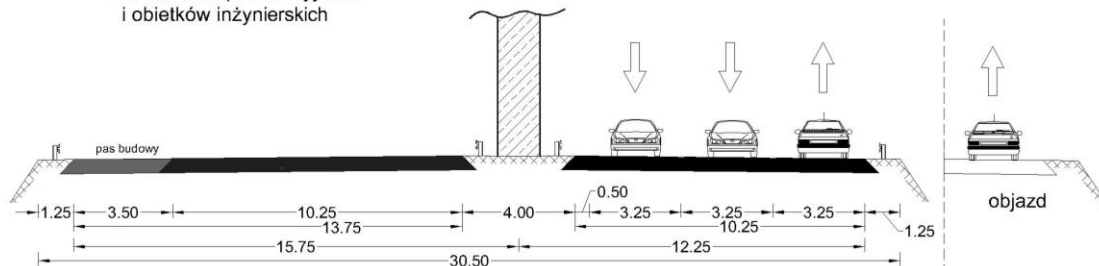
**Scenariusz 3a (dodatkowy pas na zewnątrz drogi)
(brak docelowych obiektów inż. wzdłuż drogi)**

S2/2

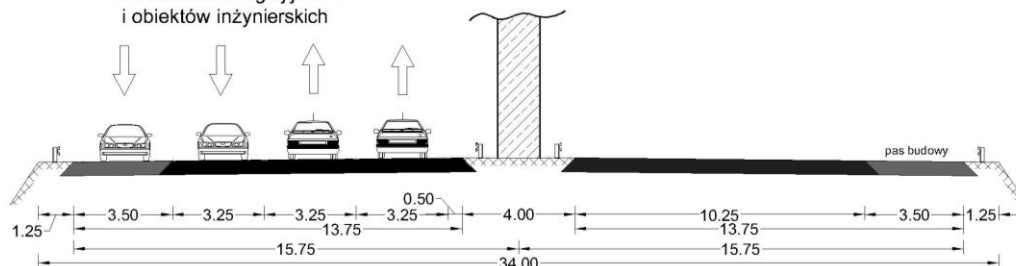
Normalny ruch



Rozbudowa pierwszej jezdni
i obiektów inżynierskich

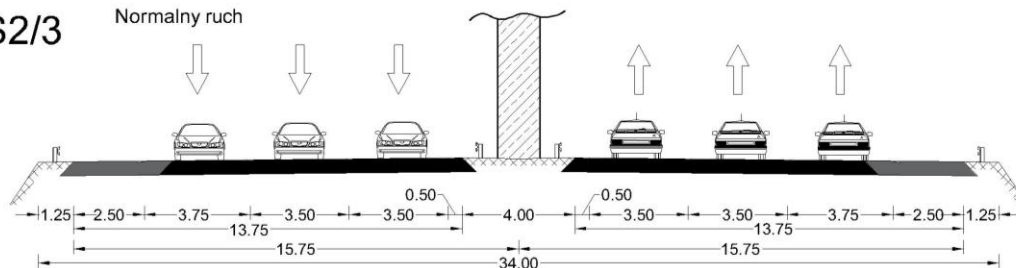


Rozbudowa drugiej jezdni
i obiektów inżynierskich



S2/3

Normalny ruch



Rys. 5.26 Schemat prowadzenia ruchu drogowego podczas robót poszerzenia drogi ekspresowej do 3 pasów ruchu z rezerwą na zewnątrz raz koniecznością rozbudowy obiektów inżynierskich wzdłuż i w poprzek drogi.

Źródło: Opracowanie własne

5.5.1 Analiza wpływu sposobu etapowania rozbudowy przekroju poprzecznego drogi na koszty ruchu

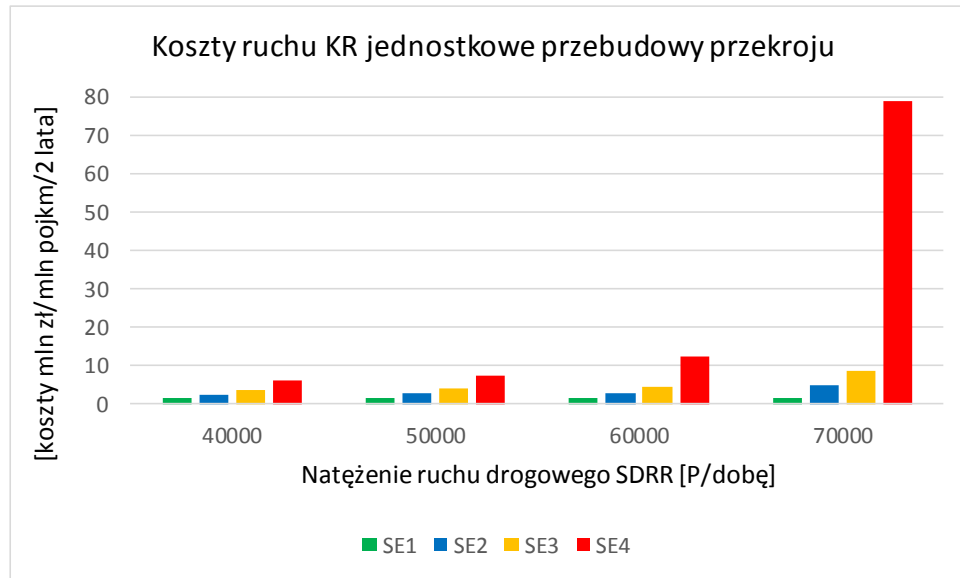
Dobór docelowego i etapowego przekroju poprzecznego należy przeprowadzić uwzględniając uwarunkowania technologiczne, ekonomiczne, społeczne i środowiskowe. Zaleca się realizować tym większy zakres prac w fazie etapowej, im szybciej w horyzoncie prognozy pojawia się zasadność realizacji rozbudowy. Jeśli istnieje znikome ryzyko osiągnięcia poziomów natężeń ruchu wskazujących na zasadność dobudowy dodatkowego pasa ruchu, można przygotować przekroje etapowe (zakładające rozbudowę pasów na zewnątrz), mając na uwadze, że realizacja ich będzie wiązała się z dużymi kosztami realizacji, problemami technologicznymi oraz ogromnymi kosztami użytkowników podczas prowadzenia prac. W przypadku braku potrzeby rozbudowy przekroju można stosować przekrój bez rezerw, mając na względzie, że powiększenie o kolejny pas będzie wiązało się kompleksową przebudową zasadniczej części infrastruktury. Alternatywne i być może jedyne rozwiązanie problemu bardzo złych warunków ruchu na drodze będzie możliwe jedynie poprzez uzupełnienie sieci drogowej o odcinki równoległe przejmujące ruchu drogowy. W przypadku gdy obiekty inżynierskie wzdłuż i w poprzek będą wymagały rozbudowy, niezbędne będzie wyłączenie z ruchu całej jednej jezdni na długi czas. W przekroju drogi zabranie szerokości jezdni na prowadzenie ruchu na czas budowy. drogi na koszty ruchu

Analizę przeprowadzono na przykładzie bazowego odcinka drogi (odcinek o długości 100 km) opisanego w rozdz. 5.4. Na podstawie przyjętych założeń dotyczących prognozy ruchu oraz kosztów jednostkowych dla czasu użytkowników infrastruktury drogowej, wypadków drogowych, eksploatacji pojazdów oraz emisji spalin (przyjętych na podstawie [34]) oszacowano sumaryczne koszty ruchu KR w zależności od scenariusza realizacji rozbudowy przekroju poprzecznego drogi. Porównano następujące scenariusze:

- Scenariusz SE₁ – od początku budowa przekroju z trzema pasami, jako punkt odniesienia.
- Scenariusz SE₂ – pozostawienie rezerwy w pasie dzielącym, czas budowy – 0,5 roku,
- Scenariusz SE₃ – pozostawienie rezerwy na zewnątrz (z dostosowaniem obiektów inżynierskich), czas budowy – 1 rok,
- Scenariusz SE₄ – pozostawienie rezerwy na zewnątrz (bez dostosowania obiektów inżynierskich), czas budowy – 2 lata,

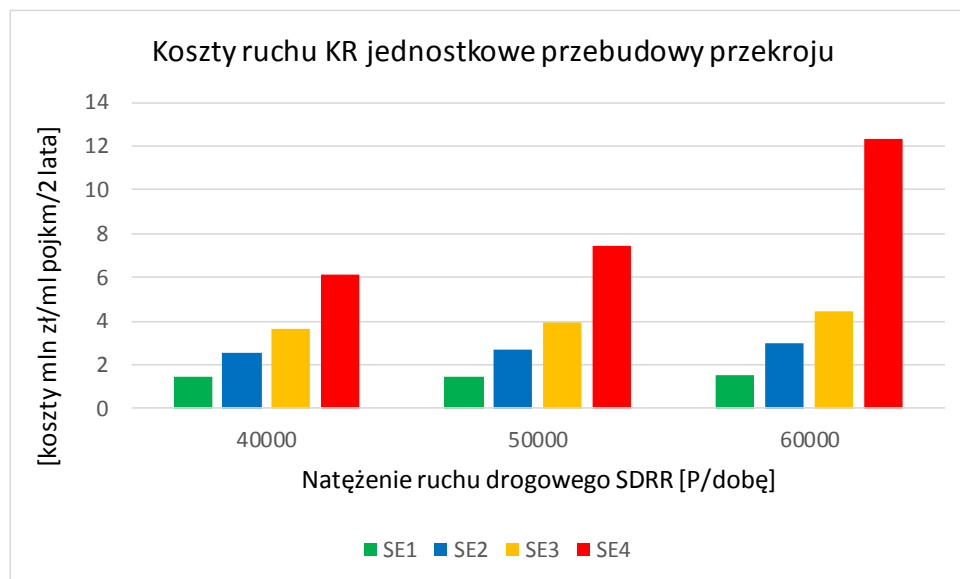
Obliczenia wykonano dla okresu 2 lat. Analizy prowadzono dla natężeń ruchu w przedziale SDR = 40 – 70 tys. P/24h. W przypadku scenariuszy SE₂ i SE₃ po okresie przebudowy przyjęto koszty ruchu jak dla typu drogi S2/3. Wyniki przedstawiono na rysunkach 5.27- 5.28. Rysunek 5.28 sporządzono bez uwzględnienia natężenia ruchu SDR = 70 tys. P/dobę dla czytelniejszego obrazu sytuacji. Zwraca uwagę fakt, że przy natężeniu

ruchu SDR = 70 tys. P/dobę następuje bardzo gwałtowny wzrost kosztów ruchu. Natężenie to jest jednocześnie natężeniem granicznym, jeżeli chodzi o przepustowość przekroju w czasie przebudowy. Pozostały ruch (w przypadku większych natężeń) przeniesie się na inne trasy.



Rys. 5.27 Dodatkowe koszty ruchu KR dla różnych scenariuszy rozbudowy przekroju drogi w czasie przebudowy w zakresie natężeń od 40 tys. – 70 tys. P/dobę.

Źródło: Opracowanie własne



Rys. 5.28 Dodatkowe koszty ruchu KR dla różnych scenariuszy rozbudowy przekroju drogi w czasie przebudowy w zakresie natężeń od 40 tys. – 60 tys. P/dobę

Źródło: Opracowanie własne

Analizując otrzymane wyniki stwierdzono, że najbardziej niekorzystnym rozwiązaniem jest przyjęcie scenariusza SE₄ (tj. brak rezerwy dla obiektów inżynierskich), który generuje

najwyższe koszty ruchu w okresie przebudowy. Spowodowane to jest najmniejszą przepustowością ruchu w czasie prowadzenie prac budowlanych. Najkorzystniejsza jest realizacja inwestycji z rezerwą terenu pod dodatkowe pasy ruchu w pasie dzielącym – scenariusz SE₂ (przy natężeniach ruchu rzędu 60 tys. P/dobę – koszty ruchu są mniejsze ok. 4 razy od kosztów dla scenariusza SE₄, a przy natężeniach ruchu rzędu 70 tys. P/dobę – koszty ruchu są mniejsze ponad 15 razy od scenariusza SE₄ i blisko 2 razy mniejsze od scenariusza SE₃).

5.6 Analiza możliwości zmniejszenia minimalnej szerokości pasa dzielącego na drogach dwu- i więcej jezdniowych wraz ze wskazaniem tych szerokości

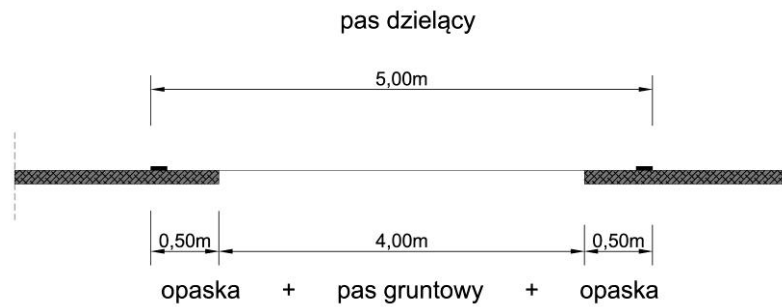
5.6.1 Wprowadzenie

Analiza możliwości zmniejszenia minimalnej szerokości pasa dzielącego na drogach dwu- i więcej jezdniowych zakłada przeprowadzenie eksperckich zależności wynikających z przepisów techniczno-budowlanych oraz innych przepisów i normatywów technicznych obowiązujących w Polsce, z wykorzystaniem rozwiązań technicznych stosowanych w krajach o wyższym poziomie wykorzystania nowoczesnych technologii. Opracowanie uwzględni prace studialne w zakresie analizy opartej na metodach analitycznych, jak również praktyczne zastosowanie na pasie dzielącym rozwiązań technicznych w zakresie stosowania elementów infrastruktury drogowej oraz wyposażenia drogi, w tym:

- urządzeń bezpieczeństwa ruchu drogowego,
- konstrukcji obiektów inżynierskich,
- elementów oświetlenia,
- elementów odwodnienia.

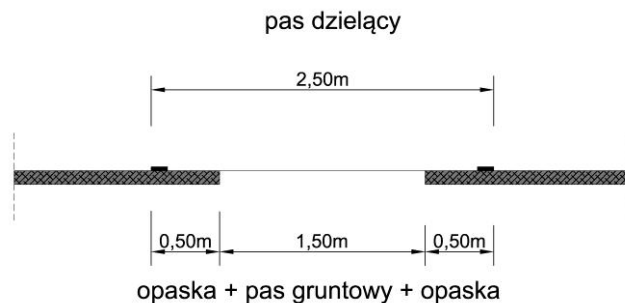
Przeprowadzona analiza dotyczy przypadku zmniejszenia szerokości pasa dzielącego dróg dwujezdniowych o przekroju 5,0 m, który wynika z obowiązujących przepisów techniczno-budowlanych oraz stanowiska Generalnej Dyrekcji Dróg krajowych przy planowaniu rozbudowy 3-ciego pasa ruchu dla dróg klasy A i S, z uwzględnieniem zlokalizowanych na nim elementów infrastruktury drogowej oraz wyposażenia drogi (rys. 5.29).

Opracowanie odnosi się również do propozycji zmniejszenia szerokości pasa dzielącego do przekroju 2,5 m rekomendowanego przez grupę roboczą Komitetu Sterującego ds. optymalizacji procesu realizacji inwestycji drogowych przy Ministrze Infrastruktury i Budownictwa (rys. 5.30).



Rys. 5.29 Minimalna szerokość pasa dzielącego wynikająca z obowiązujących przepisów oraz przyjętych założeń Generalnej Dyrekcji Dróg Krajowych i Autostrad przy budowie dróg klasy A i S.

Źródło: opracowanie własne



Rys. 5.30 Rekomendowana minimalna szerokość pasa dzielącego przez grupę roboczą Komitetu Sterującego ds. optymalizacji procesu realizacji inwestycji drogowych przy Ministrze Infrastruktury i Budownictwa.

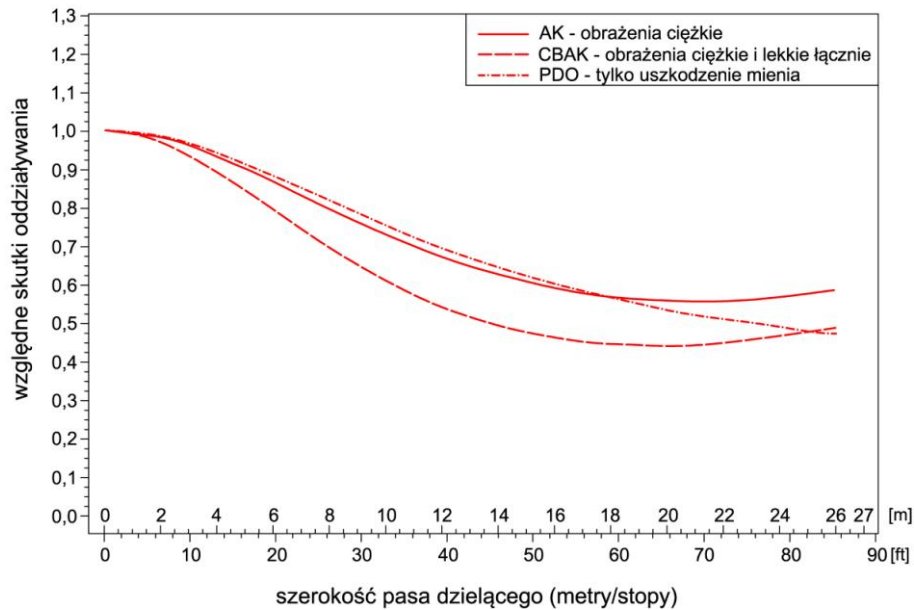
Źródło: opracowanie własne

5.6.2 Analiza doświadczeń innych krajów

Duże prędkości rozwijane na drogach wielojezdniowych i wielopasowych są przyczyną bardzo tragicznych w skutkach wypadków drogowych w przypadku czołowego zderzenia pojazdów jadących w przeciwnych kierunkach. Liczba wypadków tego rodzaju zależy w istotny sposób od szerokości pasa dzielącego jezdnie dsr: im większa szerokość pasa dzielącego, tym mniejszy udział zderzeń czołowych w ogólnej liczbie zdarzeń drogowych [48].

W badaniach prowadzonych w wybranych stanach w USA [11] potwierdzono tę zależność, co przedstawiono na rysunkach 5.31 – 5.34.

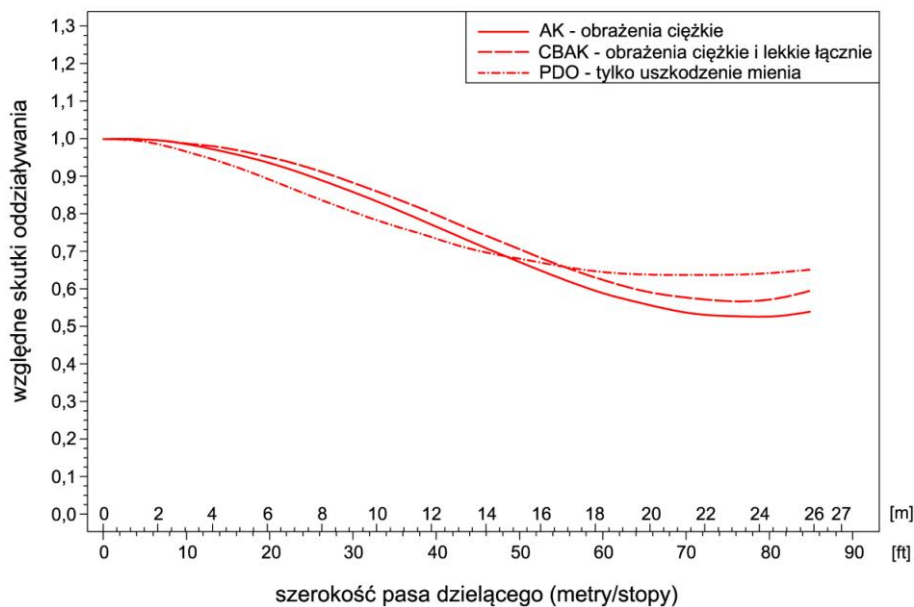
USA - stan Utah



Rys. 5.31 Względne skutki oddziaływania szerokości pasa dzielącego według ciężkości wypadków – USA, Stan Utah.

Źródło: [15]

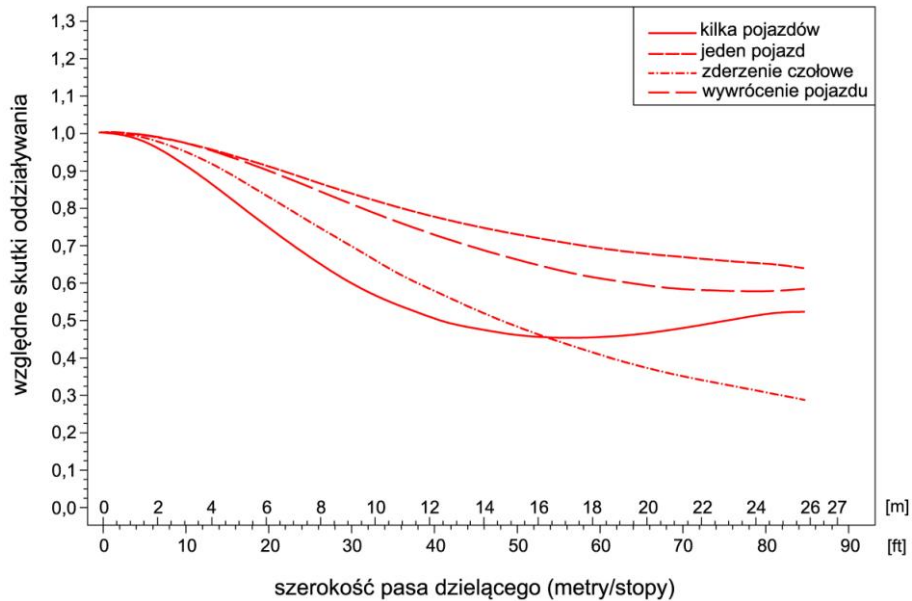
USA - stan Illinois



Rys. 5.32 Względne skutki oddziaływania szerokości pasa dzielącego według ciężkości wypadków – USA, Stan Illinois.

Źródło: [15]

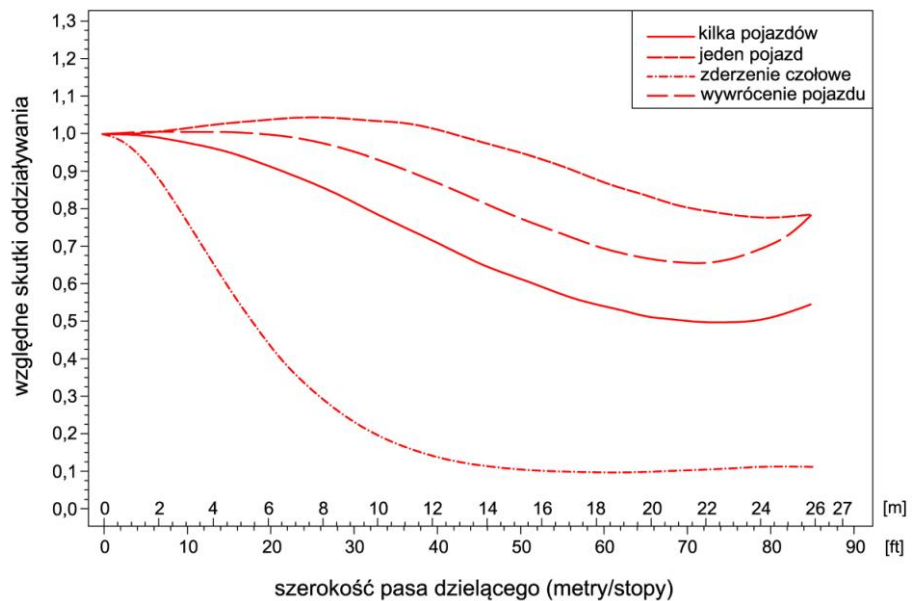
USA - stan Utah



Rys. 5.33 Względne skutki oddziaływania szerokości pasa dzielącego według typu zdarzenia drogowego (wypadku) – USA, Stan Utah.

Źródło: [15]

USA - stan Illinois



Rys. 5.34 Względne skutki oddziaływania szerokości pasa dzielącego według typu zdarzenia drogowego (wypadku) – USA, Stan Illinois.

Źródło: [15]

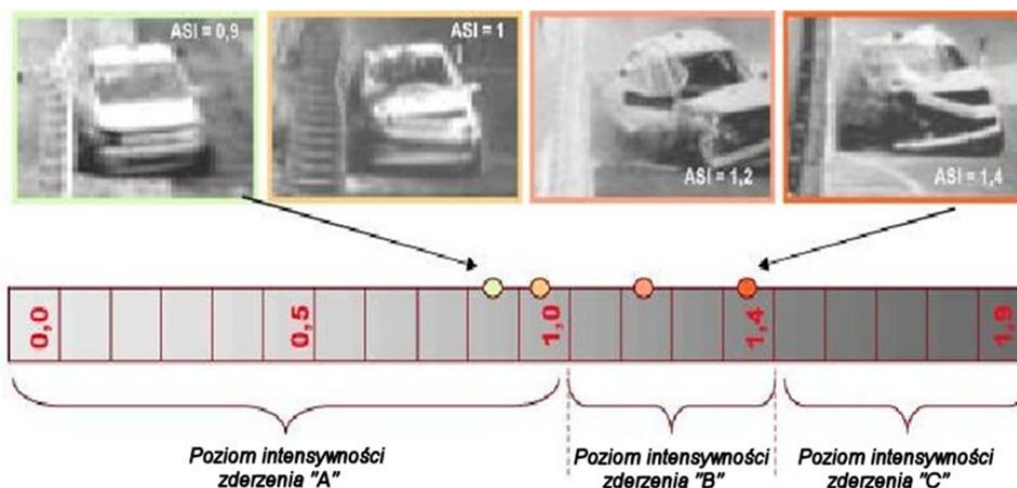
Analiza wskaźników wypadków w dwóch różnych stanach USA wykazała jednoznacznie, że niezależnie od uwarunkowań dodatkowych, tj. wpływu warunków atmosferycznych, stanu nawierzchni, natężenia ruchu, kategorii pojazdów itd. względne skutki oddziaływania

szerokości pasa dzielącego na wypadkowość i jego konsekwencje przybiera wartości niebezpieczne, zaczynając dość gwałtownie wzrastać w przedziale oddziaływania szerokości pasa dzielącego od ok. 24,4 m do ok. 12 m.

Badanie pokazuje ogólny spadek wskaźników wypadków wraz ze wzrostem szerokości pasa dzielącego. Należy jednak mieć na uwadze, że spadek ten jest bardzo niewielki dla pierwszych wartości rzędu 9,1 m, sugerując, by przy budowaniu nowych dróg pas dzielący miał co najmniej wspomnianą szerokość 9,1 m – umożliwiając w ten sposób wzrost bezpieczeństwa uczestnikom ruchu. Dane wykazują również progres bezpieczeństwa wraz z dalszym wzrostem szerokości pasa dzielącego od około 18,3 m do ok. 24,4 m. Niewątpliwie trudno jest określić dokładną szerokość, od której kończy się poprawa bezpieczeństwa. Dane wykazują jednak wyraźnie, że zmniejszenie jej wartości od 9,1 m do 6,1 powoduje spadek poziomu bezpieczeństwa na drodze.

Scharakteryzowane wyniki oddziaływania pasa dzielącego na podstawie przedstawionych dwóch przykładów sieci dróg stanowych w USA mają odbicie w badaniach przeprowadzonych w Europie (Niemcy) w zakresie niebezpiecznego oddziaływania przeszkody umiejscowionej w pasie drogowym. „Bezpieczną szerokością” pasa wydzielonego do przeszkody, która nie wymaga zabezpieczenia dodatkowymi rozwiązaniami technicznymi (np. przez zastosowanie barier ochronnych) jest szerokość od ok. 8 m do 20 m. „Bezpieczna szerokość” pasa wydzielonego uzależniona jest od dopuszczonych znakami prędkości obowiązujących na danym odcinku drogi. W związku z tym projektowanie szerokości pasów dzielących na drogach klasy A i S węższych niż ok. 20 m wymaga stosowania dodatkowego zabezpieczenia z użyciem barier ochronnych lub innych rozwiązań technicznych, które zabezpieczą pojazd przed przejechaniem na jezdnię o przeciwnym kierunku ruchu.

Należy również mieć na uwadze fakt, że względne skutki niebezpiecznego oddziaływania szerokości pasa dzielącego na wskaźnik wypadków wzrasta nie tylko wraz z zmniejszaniem szerokości pasa dzielącego, ale i stosowaniem na nim dodatkowych elementów infrastruktury drogowej. W konsekwencji należy, przy szerokości pasa dzielącego poniżej 5,0 m, przyjąć założenie, że wraz ze zmniejszającą się szerokością pasa dzielącego należy proporcjonalnie zwiększać parametry sztywności systemu powstrzymującego pojazd (bariery ochronnej). W takiej sytuacji jednak pomimo zapewnienia zabezpieczenia przed przejechaniem pojazdu na jezdnię o przeciwnym kierunku ruchu poprzez zastosowanie sztywnych konstrukcji barier ochronnych, obniża się bezpieczeństwo uczestników ruchu (rys. 5.35).



Rys. 5.35 Wpływ sztywności konstrukcji bariery, czyli mniejszej szerokości pracującej „W” na wielkość zniszczeń pojazdu oraz na uzyskany poziom intensywności zderzenia, w tym ASI – czyli na bezpieczeństwo uczestników ruchu.

Z wyników badań prowadzonych w USA wynika także, iż:

- szerokość pasa rozdzielającego przeciwne kierunki ruchu wpływa istotnie na zmniejszenie liczby wypadków ogółem, a zderzeń czołowych w szczególności,
- w przypadku braku barier drogowych w pasie dzielącym, pas dzielący jezdnie powinien być bardzo szeroki, aby wyeliminować wypadki zderzeń czołowych,
- w przypadku zastosowania drogowych barier ochronnych szerokość może być znacznie mniejsza, ale nie mniejsza niż 2,4 m dla jezdni dwupasowych i 3,6 m dla jezdni trzypasowych, w tym przypadku szerokość pasa rozdzielającego liczona jest między krawędziami lewych pasów ruchu TBO i składa się z pasa dzielącego i opaski; zmniejszenie pasa ruchu z 6,0 m do 2,5 m może spowodować wzrost o 20 % liczby wypadków związanych z uderzeniem w barierę [1, 16].

W obszarze węzłów drogowych i na odcinkach dojazdowych do węzłów występuje duża liczba obiektów drogowych i urządzeń (podpory, maszty oświetleniowe, maszty drogowskazowe itp.) usytuowanych często w bliskiej odległości od krawędzi jezdni, co powoduje dość znaczną liczbę kolizji z tymi obiektami. Na podstawie badań prowadzonych w USA [42] stwierdzono, że ok. 40% zdarzeń drogowych na jezdni głównej, na analizowanych węzłach, to najechania na urządzenia drogowe. Wynika to z faktu, że wielkość wskaźnika zdarzeń drogowych wzrasta wraz ze zmniejszeniem się odległości przeszkód bocznych od krawędzi jezdni.

Analiza literatury przedstawiona w rozdziale 2 pozwala na stwierdzenie, że pasy dzielące jezdnie są to obszary w środku drogi rozdzielające dwa przeciwne kierunki ruchu. Szerokość tych pasów jest mierzona jako odległości między krawędziami jezdni o przeciwnych kierunkach ruchu. W ramach tego pasa występuje zatem: ziemny pas rozdzielający oraz utwardzone pobocza lub opaski występujące po lewej stronie jezdni. Ziemny pas

rozdzielający może być wykonany bez barier ochronnych i wówczas powinien mieć szerokość większą niż 12,0 m lub z barierami drogowymi w środku – wówczas ma szerokość 2,0 – 12,0 (24,0) m.

Pas ten jest wykorzystywany do umiejscowienia: podpór obiektów inżynierskich, drogowych urządzeń brd (np. bariery), podpór znaków drogowych, słupów oświetleniowych, urządzeń odwadniających itp. Najczęściej stosowana szerokość tego pasa wynosi 3,5 – 5,0 m, natomiast węższe szerokości występują w obszarach miejskich, przy mniejszych prędkościach na drogach oraz w przypadkach gdy w tym pasie nie ma potrzeby instalowania podpór obiektów inżynierskich, słupów, urządzeń odwodnienia itp. Na wypukłych łukach poziomych, gdzie mogą występować ograniczenia obszaru dobrej widoczności na zatrzymanie spowodowane barierą drogową lub podborą obiektu inżynierskiego, pas ten często wymaga poszerzenia. Na pozostałych drogach szerokość środkowego pasa dzielącego wynosi 1,7 - 2,5 m, a razem z opaskami 2,5 – 4,5 m.

W przypadku stosowania drogowych barier ochronnych istotny wpływ na bezpieczeństwo ruchu (zmniejszenie ryzyka uderzenia pojazdu w barierę drogową) ma utwardzone pobocze (lub opaska) występujące po lewej stronie jezdni i jego szerokość. Szerokość ta powinna być tym większa, im więcej pasów ruchu występuje w przekroju jezdni oraz im większa występuje prędkość pojazdów na drodze. W praktyce stosowane są opaski o szerokości 0,5 – 0,75 m. Utwardzone pobocza stosuje się w celu umożliwienia powrotu pojazdu na jezdnię w przypadku nagłej utraty toru jazdy, awaryjne zatrzymanie pojazdu, a także prowadzenie ruchu w przypadku nagłego zdarzenia na drodze (wypadek drogowy, awaria). Szerokość zależy od klasy drogi i prędkości dopuszczalnej i wynosi 1,5 – 4,0 m z prawej strony jezdni oraz 0,5 – 3,5 m z lewej strony jezdni.

W przypadku budowy równoległych jezdni zbiorczo-rozdzielających, jezdni serwisowych tj. jezdni o kierunku ruchu zgodnym z kierunkiem ruchu na jezdni głównej stosuje się także pasy rozdzielające o szerokości 3,0 m.

5.6.3 Analiza obowiązujących przepisów w Polsce

5.6.3.1 Rola pasa dzielącego

Pasy dzielące dróg dwu- i więcej jezdniowych, a w szczególności ich szerokości, mają dość szczególne znaczenie ze względu na bezpieczeństwo uczestników ruchu, gdyż mogą być wykorzystywane jako strefa buforowa dla pojazdu, nad którym kierowca utracił kontrolę. W niektórych przypadkach szerokość pasa dzielącego nowo budowanych dróg jest minimalizowana w celu ograniczenia ilości wykupywanych gruntów, a tym samym ograniczenia kosztów budowy drogi. Z drugiej strony projektowane są na czas przejściowy przekroje drogowe z pasami dzielącymi poszerzonymi o szerokość przyszłego kolejnego

pasa ruchu. Działania te wprowadzicie poprawiają bezpieczeństwo uczestników ruchu na czas przejściowy, gdy występuje szerszy pas dzielący, zmniejszając jednocześnie koszty budowy drogi i po wybudowaniu kolejnego pasa ruchu zwiększając wydajność przejazdu pojazdów (mierzoną w przepustowości) – jednak należy zaznaczyć, że docelowo ograniczają bezpieczeństwo użytkowników drogi poprzez zawężenie pasa dzielącego. Należy również podkreślić, że wszelkie działania zmierzające do poprawy bezpieczeństwa po wybudowaniu drogi są droższe niż jego prawidłowe uwzględnienie na etapie projektowania.

Projekt nowo wybudowanej drogi powinien uwzględniać bezpieczeństwo użytkowników drogi, koszty, wpływ na środowisko i przepustowość jednocześnie.

Zmniejszenie minimalnej szerokości pasa dzielącego dróg dwujezdniowych z 5,0 do 2,5 m i ustalenie zasady pozostawiania rezerwy terenu pod kolejne pasy ruchu w pasie rozdziału – rekomendowane przez grupę roboczą Komitetu Sterującego ds. optymalizacji procesu realizacji inwestycji drogowych przy Ministrze Infrastruktury i Budownictwa ze względu na możliwość obniżenia w ten sposób kosztów związanych z wykupem gruntów pod inwestycje i kosztów realizacji inwestycji – mogą być w skutkach działaniem całkiem odwrotnym.

W przypadku wprowadzenia zapisu umożliwiającego stosowanie pasa dzielącego o szerokości mniejszej niż obecnie stosowana szerokość 5,0 m, np. zastosowanie rekomendowanej minimalnej szerokości pasa dzielącego 2,5 m, należy się liczyć z możliwością wystąpienia problemów wynikających z braku zapewnienia odpowiedniego bezpieczeństwa uczestnikom ruchu przy stosowaniu następujących elementów infrastruktury drogowej: urządzeń bezpieczeństwa ruchu drogowego, konstrukcji wsporczych znaków drogowych i oświetlenia, podpór konstrukcji inżynierskich, odwodnienia.

5.6.3.2 Urządzenia bezpieczeństwa ruchu drogowego (bariery ochronne oraz inne urządzenia brd)

Nieodzownym elementem wyposażenia drogi stosowanym w celu poprawy bezpieczeństwa uczestników ruchu w przypadku występowania obszarów zagrażających lub przeszkód jest wykorzystanie urządzeń brd – dotyczy to również pasów dzielących wszystkich dróg publicznych o przekroju dwu- lub więcej jezdniowym. Podstawą określenia możliwości minimalnej szerokości pasa dzielącego jest m.in. uzupełniona pełna baza przepisów technicznych dotyczących zasad stosowania elementów infrastruktury drogowej w pasie dzielącym – w tym urządzeń brd. Obecnie opracowane i wdrożone do stosowania są tylko „Wytyczne stosowania drogowych barier na drogach krajowych” (GDDKiA) oraz „Wytyczne stosowania barier ochronnych na drogach wojewódzkich” (Zarząd Dróg Wojewódzkich w Katowicach).

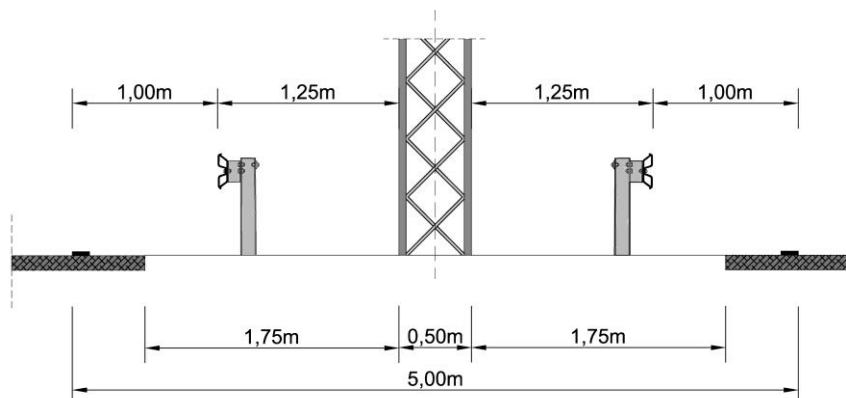
Brak jest przepisów i zasad stosowania innych urządzeń brd m.in. poduszek zderzeniowych (osłon energochłonnych), odcinków przejściowych i połączeniowych barier ochronnych, odcinków łatwo rozbieralnych barier ochronnych, terminali zderzeniowych, konstrukcji wsporczych itd.

5.6.3.3 Konstrukcje wsporcze (konstrukcje wsporcze znaków drogowych, konstrukcje słupów oświetleniowych)

Przekroje dróg dwu- i więcej jezdniowych charakteryzują się dużą szerokością w związku z występowaniem jezdni o dwu lub więcej pasach w jednym kierunku, niewątpliwie ten układ geometryczny ma duży wpływ na złożoność technologiczną bramowych konstrukcji wsporczych, które w wielu przypadkach wymagają podparcia dodatkowego podporą usytuowaną na pasie dzielącym.

Nieodzownym elementem wyposażenia drogi w obrębie lokalizacji łącznic są również konstrukcje słupów oświetleniowych, które, by spełnić wymagania obecnych przepisów i norm technicznych oświetleniowych, muszą być także usytuowane na pasie dzielącym pomiędzy dwiema jezdniami.

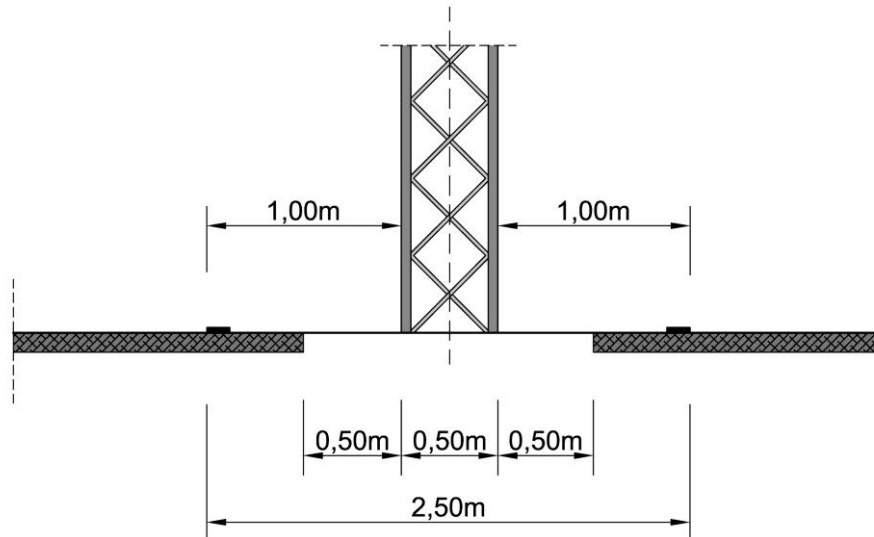
Zmniejszenie szerokości pasa dzielącego poniżej obecnie przyjętych założeń, czyli poniżej 5,0 m, spowoduje sytuację że w przypadku występowania w pasie dzielącym elementów infrastruktury drogowej, tj. środkowych podpór konstrukcji wsporczych znaków drogowych lub konstrukcji słupów oświetleniowych, wystąpi brak zagwarantowania odpowiedniego fizycznego miejsca na posadowienie w przekroju poprzecznym drogi urządzeń brd powstrzymujących pojazd (barier ochronnych), pomiędzy linią krawędziową określającą krawędź jezdni a przeszkodą (rys. 5.36 - rys. 5.39). Wymóg zagwarantowania odpowiedniej odległości wynika z wypełnienia zapisu §129 ust. 2) p-punkt 2) Rozporządzenia Ministra Transportu i Gospodarki Morskiej z dnia 2 marca 1999 r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać drogi publiczne i ich usytuowanie (Dz.U. Nr 43 poz 430 z dnia 14 maja 1999 r z późn. zm.).



Rys. 5.36 Konstrukcja wsporcza podpory znaku drogowego usytuowana w pasie dzielącym o szerokości 5,0 m.

Źródło: opracowanie własne

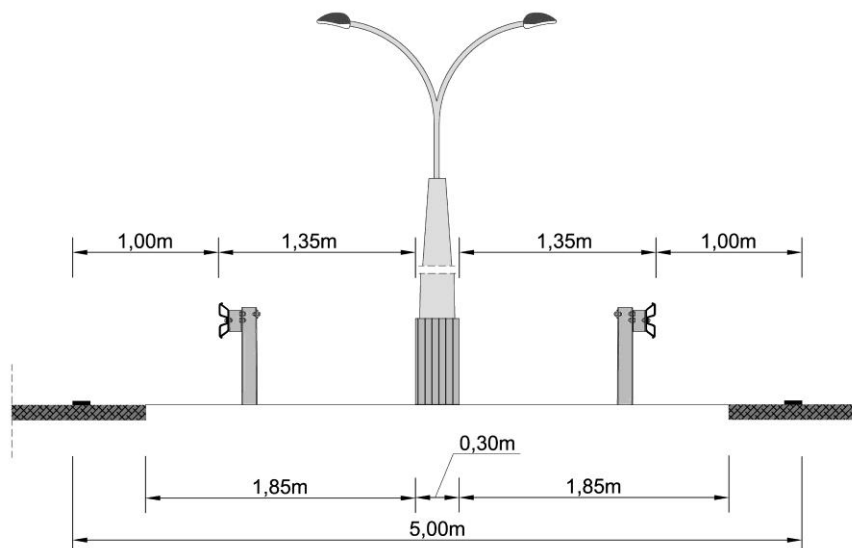
Przekrój poprzeczny pasa dzielącego pokazuje, że jest przewidziane odpowiednie miejsce pomiędzy linią krawężniową a licem konstrukcji wsporczej znaku drogowego na zastosowanie bariery ochronnej w celu zabezpieczenia przed uderzeniem pojazdem.



Rys. 5.37 Konstrukcja wsporcza podpory znaku drogowego usytuowana w pasie dzielącym o szerokości rekomendowanej 2,5 m.

Źródło: opracowanie własne

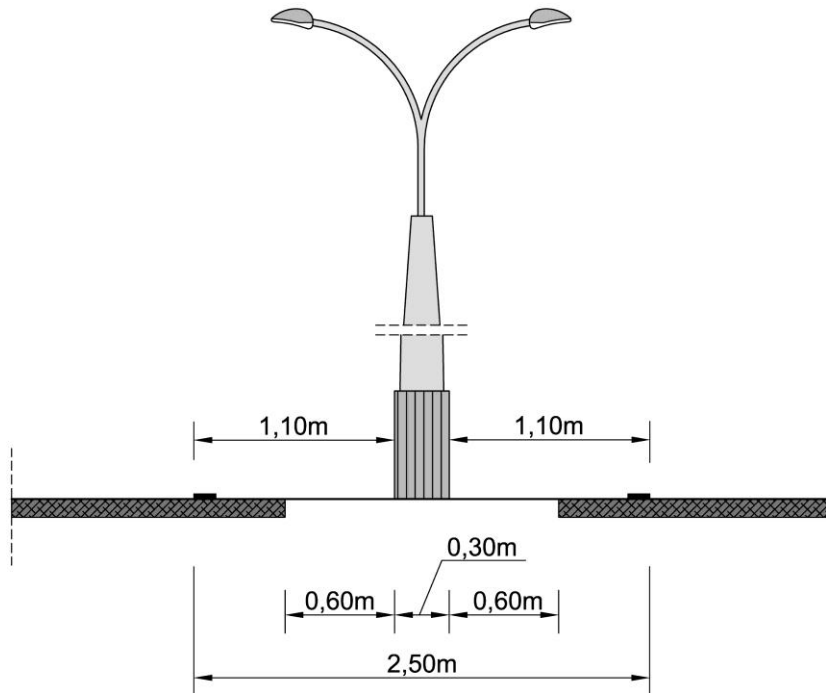
Brak zagwarantowania odpowiedniego miejsca pomiędzy linią krawężniową a licem konstrukcji wsporczej znaku drogowego na zastosowanie bariery ochronnej w celu zabezpieczenia przed uderzeniem pojazdem.



Rys. 5.38 Konstrukcja słupa oświetleniowego usytuowana w pasie dzielącym o szerokości 5,0 m.

Źródło: opracowanie własne

Przekrój poprzeczny pasa dzielącego pokazuje, że jest przewidziane odpowiednie miejsce pomiędzy linią krawężniową a licem konstrukcji słupa latarni na zastosowanie bariery ochronnej w celu zabezpieczenia przed uderzeniem pojazdem.



Rys. 5.39 Konstrukcja słupa oświetleniowego usytuowana w pasie dzielącym o rekomendowanej szerokości 2,5 m.

Źródło: opracowanie własne

Brak zagwarantowania odpowiedniego miejsca pomiędzy linią krawężniową a licem konstrukcji słupa latarni na zastosowanie bariery ochronnej w celu zabezpieczenia przed uderzeniem pojazdem.

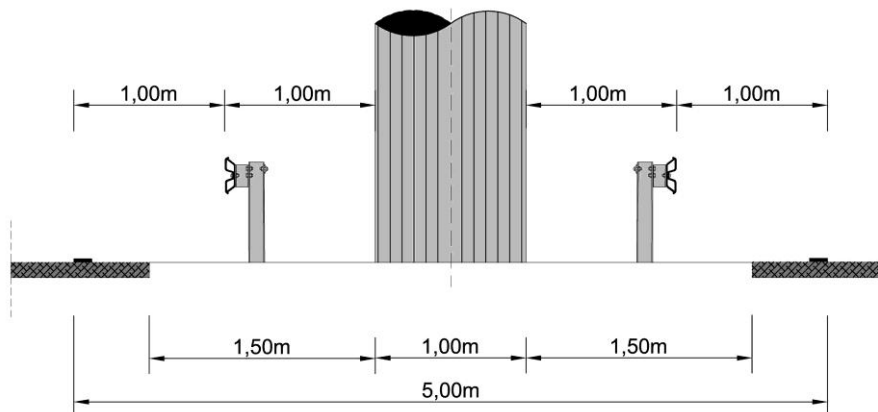
5.6.3.4 Podpory środkowe konstrukcji obiektów inżynierskich

Brak opracowania rozwiązań konstrukcyjnych elementów powtarzalnych dla obiektów inżynierskich oraz brak jasnych rekomendacji w zakresie opracowania konstrukcji, której technologia budowy mogłaby zapewnić nie tylko zmniejszenie kosztów, ale również poprawić bezpieczeństwo uczestników ruchu, tworzy sytuację że preferowanym i stosowanym najczęściej nad drogami dwujezdniowymi rozwiązaniem konstrukcyjnym jest obiekt inżynierski z podporą środkową usytuowaną na pasie dzielącym. Rozwiązanie to od strony

projektowej, jak również i technologii wykonania, jest zdecydowanie mniej skomplikowanym rozwiązaniem niż zaprojektowanie i wykonanie obiektu bez podpory środkowej. Pod kątem bezpieczeństwa użytkowników dróg wykonanie obiektu bez podpory środkowej jest bezpieczniejszym rozwiązaniem. Z tego powodu w wielu krajach, w związku z ciągłym podnoszeniem wskaźników bezpieczeństwa, kładzie się nacisk na budowę obiektów inżynierskich z rozwiązaniem technicznym bez środkowej podpory usytuowanej na pasie dzielącym.

Usytuowanie podpory obiektu inżynierskiego na pasie dzielącym ma szczególne znaczenie w sytuacji przeprowadzenia analizy możliwości zmniejszenia szerokości pasa dzielącego dla dróg dwu- i więcej jezdniowych. Należy wziąć pod uwagę, że w przypadku występowania obiektu inżynierskiego z podporą standardową o szerokości 1,0 m, usytuowaną w pasie dzielącym środkowym lub bocznym o szerokości pasa poniżej 5,0 m, dochodzi do braku zagwarantowania odpowiedniego fizycznego miejsca na lokalizację bariery ochronnej zapewniającej zabezpieczenie przed uderzeniem pojazdu w podporę (rys. 5.41).

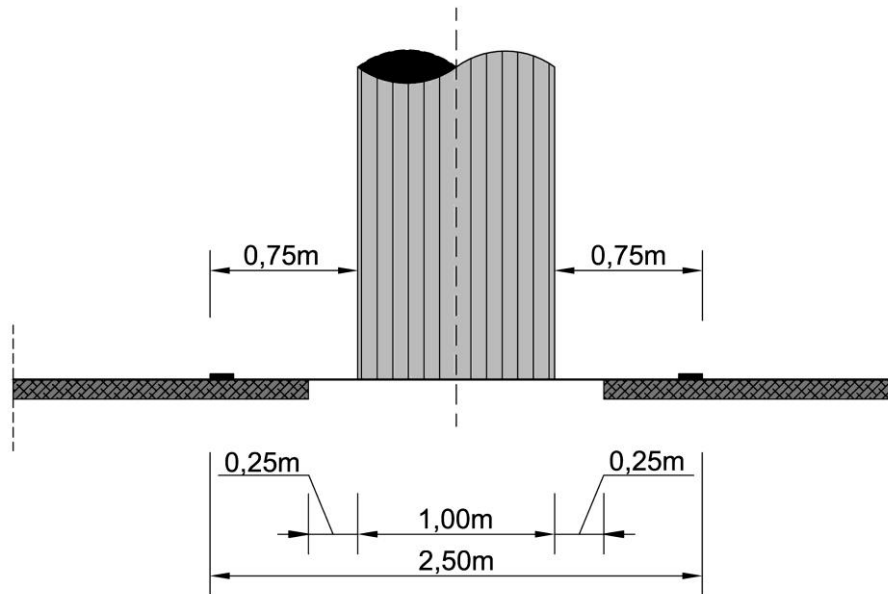
Wymóg zapewnienia odpowiedniej odległości od lica bariery do przeszkody wiąże się z wypełnieniem zapisu §129 ust. 2) p-punkt 2) Rozporządzenia Ministra Transportu i Gospodarki Morskiej z dnia 2 marca 1999 r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać drogi publiczne i ich usytuowanie (Dz.U. Nr 43 poz. 430 z dnia 14 maja 1999 r. z późn. zm.),



Rys. 5.40 Podpora obiektu inżynierskiego usytuowana w pasie dzielącym o minimalnej szerokości 5,0 m

Źródło: opracowanie własne

Przekrój poprzeczny pasa dzielącego pokazuje, że przewidziane jest odpowiednie miejsce pomiędzy linią krawężniową a licem konstrukcji podpory obiektu inżynierskiego na zastosowanie bariery ochronnej w celu zabezpieczenia przed uderzeniem pojazdem.



Rys. 5.41 Podpora obiektu inżynierskiego usytuowana w pasie dzielącym o rekomendowanej szerokości 2,5 m

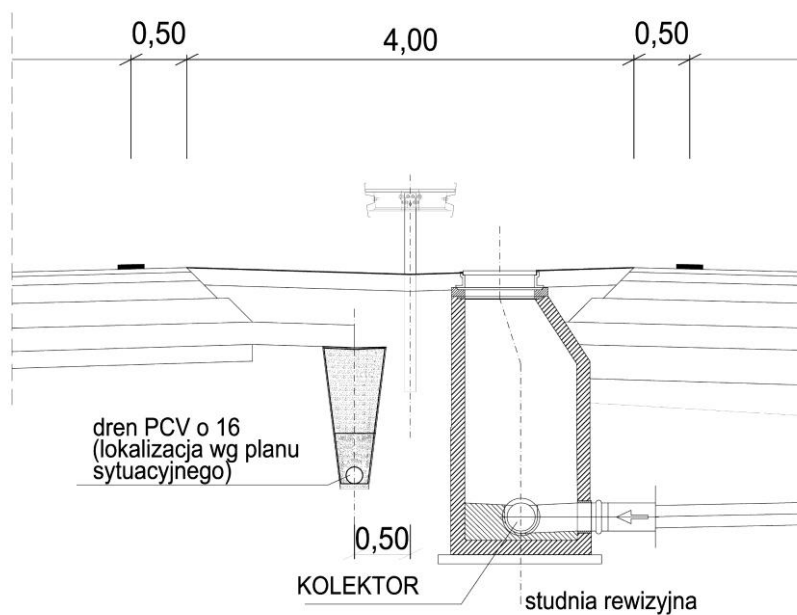
Źródło: opracowanie własne

Brak zagwarantowania odpowiedniego miejsca pomiędzy linią krawężniową a licem podpory obiektu inżynierskiego na zastosowanie bariery ochronnej w celu zabezpieczenia przed uderzeniem pojazdem.

5.6.3.5 Urządzenia odwadniające (studzienki kanalizacyjne, rury kanalizacyjne, sączki drenażowe, korytka ściekowe) oraz elektryczne linie zasilające

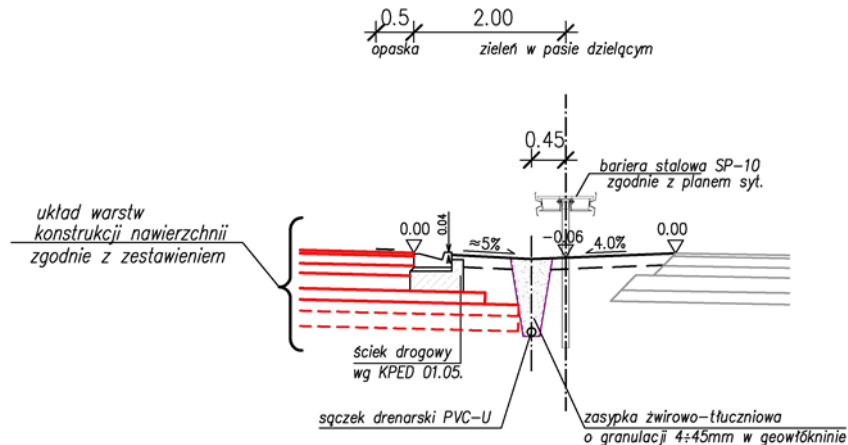
Stosowanie urządzeń odwadniających, a także elektrycznych linii zasilających, linii niskiego napięcia do sterowania różnego rodzaju tablic drogowaskazowych itp. nie jest czynnikiem projektowym, który znacząco może wpływać na ewentualne możliwości zmniejszenia szerokości pasa dzielącego dróg dwu- i więcej jezdniowych – są to elementy wyposażenia drogi umiejscowione podpowierzchniowo. Zastosowanie i lokalizacja tych urządzeń stwarza pewne problemy w przypadku gdy na pasie dzielącym zlokalizowane są urządzenia brd, a przede wszystkim bariery ochronne metalowe ze słupkami zakotwionymi w gruncie.

Lokalizacja urządzeń odwadniających i innych urządzeń posadowionych w gruncie staje się bardziej skomplikowana, gdy przekroje drogowe analizowane są pod względem widoczności na zatrzymanie pojazdu na łukach poziomych drogi.



Rys. 5.42 Przykłady lokalizacji podpowierzchniowych urządzeń wyposażenia drogi z jednoczesną możliwą lokalizacją barier w osi szerokości pasa dzielącego drogi dwujezdniowej.

Źródło: opracowanie własne



Rys. 5.43 Przykłady lokalizacji podpowierzchniowych urządzeń wyposażenia drogi z jednoczesną możliwą lokalizacją barier w osi szerokości pasa dzielącego drogi dwujezdniowej.

Źródło: opracowanie własne

Brak możliwości przemieszczania zakotwienia barier w innym położeniu, np. ze względu na zapewnienie widoczności na zatrzymanie pojazdu na łuku poziomym.

5.6.4 Analiza wpływu widoczności na łukach poziomych

Jednym z wielu czynników, który ma bezpośredni wpływ na kształtowanie przekrojów drogowych, a w związku z tym na możliwości zmniejszenia szerokości pasa dzielącego, jest spełnienie warunku widoczności na zatrzymanie na łukach poziomych i pionowych – określone zapisami paragrafu §168 Rozporządzenia Ministra Infrastruktury w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać drogi publiczne i ich usytuowanie (Dz.U. Nr 43 poz 430 z dnia 14 maja 1999 r z późn. zm.). Zagadnienie to jest bardzo istotne w przypadku szerokości pasów dzielących, gdyż spełnienie warunku widoczności na zatrzymanie na łukach poziomych jest możliwe, gdy krzywizna łuku i elementy wysokościowe elementów infrastruktury drogowej zlokalizowane na szerokości pasa dzielącego wypełniają warunki tego wymagania.

Wymóg ten jest szczególnie utrudniony w przypadku gdy pasy dzielące dróg dwu- i więcej jezdniowych są projektowane z minimalną szerokością 5,0 m, gdyż zgodnie z normatywnymi technicznymi, taka szerokość pasa dzielącego musi być zabezpieczona barierą ochronną przed przejechaniem pojazdu na jezdnię o przeciwnym kierunku ruchu. Problem jest na tyle istotny, że obecne wymagania przepisów techniczno-budowlanych w zakresie widoczności na zatrzymanie na łukach poziomych drogi przy zastosowaniu barier ochronnych w pasie dzielącym mogą stworzyć sytuację braku spełnienia wymagań technicznych już przy promieniu drogi nawet ok. 1200 m.

Zatem szerokość pasa dzielącego jest elementem projektowym na tyle ważnym, że w sytuacji powstania braku widoczności na zatrzymanie, np. w wyniku usytuowania bariery w pasie dzielącym, istnieje możliwość przesunięcia jej lokalizacji względem osi drogi (w obrębie szerokości pasa dzielącego), co w wielu przypadkach zagwarantuje spełnienie warunku widoczności na zatrzymanie. W przypadku zmniejszenia minimalnej szerokości pasa dzielącego dróg dwujezdniowych poniżej 5,0 m, czy też do szerokości rekomendowanej 2,5 m, należy się liczyć z potrzebą zastosowania innych środków bezpieczeństwa, które zgodnie z §168 Dz.U. Nr 43 poz. 430 z dnia 14 maja 1999 r. z późn. zm. spełnią wymagania bezpieczeństwa – np. ograniczenie prędkości do wielkości bezpiecznej. Takie działanie na nowo budowanych drogach klasy A i S może budzić duże wątpliwości natury technicznej, jak również co do racjonalnego wykorzystania środków pieniężnych przeznaczonych na budowę dróg.

Obecnie obowiązujące wymagania dotyczące widoczności na zatrzymanie na łukach poziomych i pionowych opracowano dla pojazdów stosowanych w latach 90 ubiegłego wieku, przez co odbiegają one od obecnych standardów technicznych przyjmowanych w innych krajach. Konieczna jest zatem weryfikacja tych wytycznych w celu określenia minimalnej szerokości pasa dzielącego.

5.6.5 Analiza wpływu widoczności na łukach poziomych

Na podstawie przeprowadzonej analizy przedstawiono następujące wnioski:

1. Pasy dzielące jezdnie są to obszary w środku drogi rozdzielające dwa przeciwne kierunki ruchu. Szerokość tych pasów jest mierzona między krawędziami jezdni przeciwnych i obejmuje ziemny lub utwardzony pas rozdzielający oraz utwardzone pobocza lub opaski występujące po lewej stronie jezdni.
2. Podstawową rolą pasów dzielących jezdnie jest rozdzielenie przeciwnych kierunków ruchu pojazdów i zmniejszenie wypadków drogowych, a w szczególności zderzeń czołowych. Poziom bezpieczeństwa ruchu zależy w istotny sposób od szerokości pasa dzielącego jezdnie w ten sposób, że im większa szerokość pasa dzielącego, tym mniejsza liczba wypadków drogowych, a w szczególności zderzeń czołowych.
3. W praktyce stosowane są szerokie pasy dzielące jezdnie (o szerokości > 12 m) niewymagające drogowych barier ochronnych lub z barierami drogowymi w środku, wówczas mają one szerokość 2,0 – 12,0 m. Najczęściej stosowana szerokość tego pasa wynosi 3,5 – 5,0 m. Mniejsze szerokości pasa dzielącego stosowane są na drogach w obszarach miejskich, przy mniejszych prędkościach pojazdów oraz w przypadkach, gdy w tym pasie nie ma potrzeby instalowania podpór obiektów inżynierskich, słupów, urządzeń odwodnienia itp.
4. Pas dzielący wykorzystywany jest także do umiejscowienia: podpór obiektów inżynierskich, drogowych urządzeń brd (np. bariery), podpór znaków drogowych, słupów oświetleniowych, urządzeń odwadniających itp.
5. Na wypukłych łukach poziomych pas dzielący wymaga często poszerzenia, ze względu na konieczność zapewnienia obszaru dobrej widoczności na zatrzymanie, która może być ograniczona przez barierą drogową, ekran dźwiękochłonny, podborą obiektu inżynierskiego itp..
6. Stosowany w Polsce pas dzielący jezdnie o przeciwnych kierunkach ruchu na drogach dwujezdniowych ma najczęściej szerokości 5,0 m, podobnie jak w wielu krajach.
7. Zastosowanie węższego pasa dzielącego jezdnie o przeciwnych kierunkach ruchu generuje pewne korzyści, ale ma też wiele wad.
8. Do korzyści zastosowania węższego pasa dzielącego jezdnie o przeciwnych kierunkach ruchu (np. do 2,5 m) można zaliczyć: zmniejszenie powierzchni gruntu niezbędnego pod budowę drogi, oszczędności kosztów budowy (mniej robót ziemnych) i skrócenie lub zwężenie obiektów inżynierskich.
9. Natomiast wadami zastosowania wąskiego pasa dzielącego jezdnie o przeciwnych kierunkach ruchu są:

- a) zwiększenie zagrożenia dla uczestników ruchu poruszających się po jezdni o przeciwnym kierunku ruchu,
 - b) konieczność stosowania sztywniejszych konstrukcji barier ochronnych (o większym oddziaływaniu fizycznym na pojazd), które w efekcie zdarzenia drogowego minimalizują możliwość przejechania na jezdnię o przeciwnym kierunku ruchu, jednak dodatkowo generują groźniejsze skutki uderzenia w sztywniejszą barierę oraz bardziej nieuregulowaną i w konsekwencji również bardziej niebezpieczną i nieprzewidywalną trajektorię ruchu pojazdu skierowanego na jezdnię, po której poruszał się pojazd przed zaistnieniem zdarzenia,
 - c) zwiększenie zużycia materiałów na wyprodukowanie sztywniejszych barier drogowych, a co za tym idzie zwiększenie kosztów ich budowy,
 - d) brak lub ograniczenie możliwości lokalizacji urządzeń w pasie dzielącym, a w szczególności: podpór konstrukcji inżynierskich, elementów infrastruktury drogowej, a w największym stopniu – do posadowienia urządzeń brd powstrzymujących pojazd przed przejechaniem na jezdnię o przeciwnym kierunku ruchu (barier ochronnych).
10. Przygotowanie i wdrożenie zasad wyjątkowego dopuszczenia do stosowania w praktyce drogowej pasa dzielącego kierunki ruchu o zaniżonej szerokości do 2,5 m dla przekroju drogowego dróg klasy S, GP i G wymaga przeprowadzenia dodatkowych analiz prawnych i technicznych.
11. Analizy te powinny obejmować: ujednolicenie przepisów techniczno-budowlanych dla dróg publicznych oraz obiektów inżynierskich, przygotowanie katalogu elementów powtarzalnych i rozwiązań projektowych dla konstrukcji inżynierskich, w których wyeliminowana byłaby podpora środkowa tych konstrukcji, przygotowania norm oświetleniowych, które wyeliminowałyby konstrukcje słupów latarni oświetleniowych z pasów środkowych i pasów bocznych na zewnętrzną krawędź, przygotowania konstrukcji wsporczych podpór znaków drogowych umieszczonych w środkowych i bocznych pasach dzielących, których wytrzymałość związana z rozpiętością wykluczyłaby stosowanie dodatkowej podpory środkowej itp..

6. WNIOSKI I REKOMENDACJE

6.1 Synteza wyników analiz

- 1) Analiza wpływu przekroju drogi na jej funkcjonowanie wskazuje, że:
 - Wybór przekroju jest uwarunkowany na ogół funkcjami i klasami dróg, prognozowanymi natężeniami ruchu, pożądanym poziomem warunków ruchu i względami utrzymaniowymi związanymi z remontami lub przebudową dróg, natomiast wymiary poszczególnych elementów przekroju dróg i związane są z typem przekroju, prędkością projektową lub operacyjną i liczbą pasów ruchu,
 - w niewielu przypadkach wytyczne uwzględniają problem kształtowania przekroju drogi pod kątem etapowania rozbudowy przekroju drogi lub organizacji ruchu na czas remontu/przebudowy drogi.
- 2) Analiza kryteriów określania liczby pasów ruchu wskazuje, że:
 - na wybór liczby pasów ruchu wpływ mają kryteria związane głównie z warunkami ruchu i kryteria pomocnicze, takie jak: bezpieczeństwo ruchu, efektywność ekonomiczna, wpływ na środowisko,
 - w analizie warunków ruchu (poziomów swobody ruchu) najczęściej stosuje się metodę HCM, natężenie godzinowe w 30, 50 lub 100 największej godzinie w ciągu roku, natężenie średnioroczne dobowe prognozowane w roku miarodajnym (10, 15, 20 lub 30 od daty oddania drogi do użytku).
 - Analizę doboru klasy przekroju poprzecznego lub liczby pasów ruchu na jezdni prowadzi się na etapie planistycznym i na etapie opracowywania projektów szczegółowych z uwzględnieniem analizy kosztów ruchu, kosztów inwestycyjnych i utrzymaniowych,
 - racjonalne jest dla polskich warunków przyjęcie poziomów swobody ruchu: na autostradach i drogach ekspresowych – C (D), na pozostałych drogach – D (E) oraz natężenie godzinowe N_{50} pomierzone w 50 największej godzinie w ciągu roku i natężenie średnioroczne dobowe SDR prognozowane w roku miarodajnym (10, 20 i 30 od daty oddania drogi do użytku).
 - analizy dotyczące wyboru klasy przekroju poprzecznego drogi powinny być prowadzone co najmniej na dwóch etapach życia obiektu drogowego: etapie prowadzenia prac planistycznych i etapie prowadzenia szczegółowych prac projektowych.
- 3) Analiza praktyki w zakresie poszerzania przekroju drogi wskazuje, że:

- w zasadzie nie stosuje się rozwiązania zakładającego w fazie projektowania etapowej budowy autostrady, tj. przekroju 2/2 z założeniem jego rozbudowy do przekroju 2/3 wraz ze wzrostem natężenia ruchu, natomiast zasadą jest budowa autostrady o przekroju docelowym, wynikającym z prognozowanego natężenia ruchu,
 - istotnym elementem decyzyjnym (w przypadku Niemiec) jest dobrze rozbudowana sieć dróg powodująca, że w prognozach ruchu nie pojawiają się gwałtowne wzrosty ruchu przypisane do określonych lat, które wskazywałyby na zasadność zmiany typu projektowanego przekroju poprzecznego autostrady począwszy od określonego roku,
 - w przypadku etapowego rozwoju przekroju poprzecznego dróg rezerwa terenu pozostawiona w obszarze pasa dzielącego jezdnie przyczynia się do szybszej realizacji tej inwestycji i znacznego zmniejszenia strat ponoszonych przez użytkowników drogi w czasie jej przebudowy,
 - racjonalnym rozwiązaniem jest przyjmowanie przekroju początkowego wyposażonego w liczbę pasów ruchu zapewniającą dopuszczalny poziom warunków ruchu przez okres nie krótszy niż 10 lat od roku oddania do ruchu.
- 4) Analiza polskich uwarunkowań w zakresie poszerzania przekrojów autostrad, dwujezdniowych dróg ekspresowych oraz dwujezdniowych dróg klasy G i GP wskazuje, że:
- dwujezdniowe drogi krajowe klasy A, S, G i GP stanowią około 21% długości dróg krajowych i wykonują prawie 55% pracy przewozowej dróg krajowych; obecnie łączna długość istniejących dróg ruchu szybkiego (klasa A i S) stanowi około 40% długości w planowanej sieci tych dróg,
 - najczęściej projektowanym przekrojem dróg klasy A i S jest przekrój o dwóch pasach ruchu (94% długości), natomiast na istniejących drogach dwujezdniowych klasy G i GP występują jezdnie o dwóch pasach ruchu; szacuje się, że tylko na 21% długości tych dróg możliwe jest wybudowanie pasa w środku drogi,
 - na 95% długości odcinków występuje poziom A i C; najgorsze warunki ruchu (przekroczony poziom C) występują w obszarach aglomeracji Warszawskiej (S8), Trójmiejskiej (S6) oraz Śląskiej (S86); w przypadku dwujezdniowych dróg klasy G i GP na większości odcinków występuje poziom A i B.
 - najmniejsze ryzyko mierzone koncentracją występuje drogach o przekroju 2/3; w stosunku do przekroju 2/2 jest ono niższe o 15% dla wypadków, o 17% dla rannych, o 54% dla ciężko rannych i o 59% dla ofiar śmiertelnych.

- Krajowy model ruchu, powstały prawie 10 lat temu i wykorzystywany w prognozowaniu ruchu oraz ocenach warunków ruchu, jest w wielu aspektach nieaktualny i wymaga aktualizacji w celu jego wykorzystania w przedmiotowych analizach.
- 5) Poziom warunków ruchu dla poszczególnych klas dróg zależy przede wszystkim od przekroju drogowego (liczba pasów ruchu) oraz natężenia ruchu drogowego SDR. Analiza wskazuje, że:
- w przypadku jezdni dwupasowych:
 - dobre warunki ruchu (PSR na poziomie C) występują na drogach dwujezdniowych, w zależności od klasy drogi, dla natężeń SDR < 50 tys. – 60 tys. poj./24h, mniejsze natężenia dla dróg klasy G, większe natężenia dla autostrad A,
 - złe i bardzo złe warunki ruchu (PSR na poziomie E) występują na drogach dwujezdniowych, w zależności od klasy drogi, dla natężeń SDR > 60 tys. – 80 tys. poj./24h, mniejsze natężenia dla dróg klasy G, większe natężenia dla autostrad A,
 - w przypadku jezdni trzypasowych:
 - dobre warunki ruchu (PSR na poziomie C) występują na drogach dwujezdniowych, w zależności od klasy drogi, dla natężeń SDR < 70 tys. – 90 tys. poj./24h, mniejsze natężenia dla dróg klasy G, większe natężenia dla autostrad A,
 - złe i bardzo złe warunki ruchu (PSR na poziomie E) występują na drogach dwujezdniowych, w zależności od klasy drogi, dla natężeń SDR > 90 tys. – 110 tys. poj./24h, mniejsze natężenia dla dróg klasy G, większe natężenia dla autostrad A,
 - w przypadku jezdni czteropasowych:
 - dobre warunki ruchu (PSR na poziomie C) występują na drogach dwujezdniowych, w zależności od klasy drogi, dla natężeń SDR < 90 tys. – 120 tys. poj./24h, mniejsze natężenia dla dróg klasy S, większe natężenia dla autostrad A,
 - złe i bardzo złe warunki ruchu (PSR na poziomie E) występują na drogach dwujezdniowych (S i A), w zależności od klasy drogi, dla natężeń SDR > 130 tys. poj./24h.
- 6) Analiza wpływu typu przekroju drogowego na wielkość kosztów drogowych KD i ruchowych KR wskazuje, że:

- optymalna wielkość łącznie kosztów KD i KR występuje dla natężeń (SDR):
 - dla przekrojów typu A2/2 i S2/2 przy SDR = 60 tys. – 80 tys. P/dobę,
 - dla przekrojów typu A2/3 i S2/3 przy SDR = 80 tys. – 120 tys. P/dobę,
 - dla przekrojów typu A2/4 i S2/4 przy SDR = 120 tys. – 150 tys. P/dobę.
 - po przekroczeniu określonej wartości natężenia ruchu SDR, suma kosztów KD i KR gwałtownie wzrasta:
 - w przypadku typów przekroju w przekroju A2/2 i S2/2, jest to SDR > 80 tys. P/dobę,
 - w przypadku typów przekroju w przekroju A2/3 i S2/3, jest to SDR > 120 tys. P/dobę,
 - w przypadku typów przekroju w przekroju A2/4 i S2/4, jest to SDR > 150 tys. P/dobę.
- 7) Analiza porównawcza w zakresie sposobów pozostawienia rezerwy dla dodatkowych pasów wskazuje, że:
- najkorzystniejszym rozwiązaniem jest pozostawienie rezerwy terenu pod dodatkowe pasy ruchu w pasie dzielącym,
 - poszerzenie na zewnątrz generuje większe trudności techniczne niż dobudowanie pasa w pasie rozdziału; realizacja poszerzenia pasa w pasie rozdziału pozwala na usytuowanie infrastruktury podstawowej i towarzyszącej w układzie docelowym, a zakres przebudowy nie jest znaczący,
 - dobór docelowego i etapowego przekroju porzecznego należy przeprowadzić, uwzględniając uwarunkowania technologiczne, ekonomiczne, społeczne i środowiskowe; zaleca się realizować tym większy zakres prac w fazie etapowej, im szybciej w horyzoncie prognozy pojawia się zasadność realizacji rozbudowy.
 - w przypadku braku potrzeby rozbudowy przekroju można stosować przekrój bez rezerw mając na względzie, że powiększenie o kolejny pas będzie wiązało się kompleksową przebudową zasadniczej części infrastruktury lub będzie bardzo utrudnione.
- 8) Biorąc pod uwagę przeprowadzone analizy rekomenduje się:
- Utrzymanie podstawowego standardu pasa dzielącego przeciwne kierunki ruchu w przekroju autostrad i dróg ekspresowych o szerokości nie mniejszej niż 5,0 m. W szczególności szerokość ta lub większa powinna być stosowana na odcinkach dróg, gdzie występują liczne konstrukcje inżynierskie z podporami zlokalizowanymi w pasie dzielącym, konstrukcje wsporcze znaków drogowych i oświetlenia, urządzenia odwodnienia drogi, konieczność zapewnienia widoczności na łukach poziomych.

- W wyjątkowych przypadkach, na odcinkach dróg ekspresowych i dróg niższej klasy, gdzie nie występują i nie przewiduje się konstrukcji inżynierskich z podporami zlokalizowanymi w pasie dzielącym, konstrukcji wsporczych znaków drogowych i oświetlenia, urządzeń odwodnienia drogi, nie występuje konieczność zapewnienia widoczności na łukach poziomych, można dopuścić do zmniejszenia szerokości pasa dzielącego do szerokości nie mniejszej niż 2,5 m. Takie działanie wymaga zastosowania droższych urządzeń bezpieczeństwa ruchu drogowego, spełniających wyższe wymagania techniczne i funkcjonalne.
- Szerokość pasów dzielących jezdnie o tych samych kierunkach ruchu powinna być nie mniejsza niż 3,0 m. W przypadku, gdy w pasie tym zlokalizowane będą podpory konstrukcji inżynierskich, konstrukcje wsporcze znaków drogowych i oświetlenia, urządzenia odwodnienia drogi itp. szerokość tego pasa powinna być większa.

6.2 Propozycje zmian w przepisach

Na podstawie przeprowadzonych analiz rekomenduje się następujące zmiany w dokumentach legislacyjnych:

1. W Rozporządzeniu Ministra Infrastruktury z dnia 16 stycznia 2002 r. w sprawie przepisów techniczno-budowlanych dotyczących autostrad płatnych:
 - a) w § 9 ust. 9.2 dodać: *Liczba zasadniczych pasów ruchu powinna być ustalona na podstawie 30-letniej prognozy ruchu i wymaganego poziomu swobody ruchu, przy czym:*
 - *prognoza powinna być aktualizowana co 5 lat,*
 - *dopuszcza się etapową rozbudowę przekroju drogi w przypadku przyjęcia przekroju o więcej niż dwa zasadnicze pasy w każdym kierunku.*
 - b) w § 36 ust. 6 dopisać: *z uwzględnieniem docelowej liczby pasów ruchu.*
2. W Rozporządzeniu Ministra Transportu i Gospodarki Morskiej z dnia 2 marca 1999 w sprawie warunków ruchu, jakim powinny odpowiadać drogi publiczne i ich usytuowanie się proponuje wprowadzenie zmian:

§14. 1 Liczba jezdni i liczba pasów ruchu na jezdni w przekroju etapowym i przekroju docelowym powinny być ustalane przy uwzględnieniu miarodajnego natężenia ruchu, klasy drogi i wymaganego poziomu swobody ruchu z zastrzeżeniem, że

 - 1) droga klasy A i S powinna mieć co najmniej dwie jezdnie, każdą przeznaczoną dla jednego kierunku, po co najmniej dwa pasy ruchu
 - 2) droga klasy GP i niższej powinna mieć co najmniej jedną jezdnię z dwoma pasami ruchu,

3) analizę wyboru przekroju poprzecznego drogi należy wykonywać w fazie projektowania wstępnego, a weryfikację tego wyboru w kolejnych fazach cyklu życia drogi,

4) w przypadku weryfikacji przekroju poprzecznego istniejącej drogi należy uwzględnić dodatkowo koszty drogowe (koszty budowy i utrzymania) i koszty ruchu

§14.2 W przypadku etapowania budowy drogi

1) droga klasy S poza terenem zabudowanym może mieć jedną jezdnię z dwoma pasami ruchu, każdym przeznaczonym do ruchu w przeciwnym kierunku,

2) w docelowym przekroju poprzecznym drogi należy wskazać teren przeznaczony na planowaną dobudowę jezdni lub pasa ruchu; w przypadku poszerzenia drogi o dodatkowy pas ruchu, rezerwę terenową zaleca się ustalać w pasie dzielącym.

3. W załączniku do Zarządzenia nr 17 Generalnego Dyrektora Dróg Krajowych i Autostrad z dnia 11 maja 2009 roku pt. Stadia i skład dokumentacji projektowej dla dróg i mostów w fazie przygotowania zadań należy:

a) w Studium korytarzowym (SK) w wytycznych dla rozwiązań planistycznych (punkt 3.1.2.5.2) wskazać typ przekroju docelowego i przekroju etapowego, co może mieć wpływ na rozkład prognozowanych natężeń ruchu w sieci

b) w części drogowej w Studium Techniczno-Ekologiczno – Środowiskowym (STES) oraz w koncepcji Programowej (KP) wskazać dodatkowo docelowy i etapowy (dla przekrojów 2/3 i 2x4) typ przekroju drogi (w tym na obiektach mostowych) oraz miejsce i wymiary rezerwy terenowej w przypadku przewidywanego poszerzenia przekroju.

4. W celu uszczegółowienia zasad analizy potrzeb i możliwości poszerzania przekroju dróg dwu- i wielopasowych należy opracować wytyczne i wprowadzić je stosownym zarządzeniem. Wytyczne powinny zawierać między innymi:

- instrukcję przeprowadzania prac przygotowawczych i analizy pomocniczych.
- metodę wyboru przekroju poprzecznego dróg dwujezdniowych,
- metodę etapowego dochodzenia do przekroju docelowego.
- katalog typowych rozwiązań dla poszerzania dróg już istniejących.

5. Podstawę merytoryczną przy formułowaniu takich wytycznych może stanowić projekt przedstawiony w części II niniejszego opracowania.

6. Docelowo rekomenduje się uzupełnienie przedmiotowych warunków technicznych (wzorem większości podobnych dokumentów w UE) o katalog typowych przekrojów dróg.

7. LITERATURA

- [1] AASHTO, *Highway Safety Manual*, American Association of State Highway and Transportation Officials, Washington, 2010.
- [2] AASHTO, *Policy on Geometric Design of Highways and Streets with 2013 Errata*, American Association of State Highway and Transportation Officials, Washington, 2011.
- [3] Alberta Transportation, *Alberta Infrastructure HIGHWAY GEOMETRIC DESIGN GUIDE*, 1999.
- [4] Archer C., Glaister S., *Investing in Roads: Pricing, Costs and New Capacity*, 2006.
- [5] Atlanta Regional Commission, *Atlanta Regional Commission: Planning Level Cost Estimation Tool. User's Manual*, Atlanta, 2015.
- [6] Baier M.M., Brilon W., Hartkopf G., Lemke K., Maier R., Schmotz M., *HBS2015 Handbuch für die Bemessung von Straßenverkehrsanlagen. Teil A: Autobahnen*, Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (FGSV), Köln, 2015.
- [7] Bergh T., Nordqvist K., Strömgren P., Bång K.L., Carlsson A., *Capacity issues in Sweden - applications and research 2 Overview Swedish Trunk Roads*, ISEHP 2016. International Symposium on Enhancing Highway Performance, Transportation Research Procedia, Berlin, 2016: pp. 36–50.
- [8] Bonneson J., Geedipally S., Pratt M.P., Lord D., *Safety prediction methodology and analysis tool for freeways and interchanges*, National Cooperative Highway Research Program Transportation Research Board of The National Academies, 2012.
- [9] Brilon W., Ponzlet M., *Application of traffic flow models*, Proceedings on the Workshop on Traffic and Granular Flow, World Scientific Publishing, Juelich, 1995.
- [10] Brzeziński A., Dybicz T., *Studium układu dróg szybkiego ruchu w Polsce, układ kierunkowy horyzont 2025 rok wraz analizą podziału funkcjonalnego całej sieci drogowej w Polsce*, 2008.
- [11] Cirillo J.A., *Interstate System Accident Research Study II. Interim Report II*, Federal Highway Administration, Washington, 1972.
- [12] Department of Main Roads Road Planning and Design Manual, *Road planning and design manual*, Sydney, 2004.
- [13] Džambas T., Ahac S., Dragčević V., *The Influence of Visibility Conditions in Horizontal Road Curves on the Efficiency of Noise Protection Barriers*, Rom. J. Transp. Infrastruct. 2 (2013) 22–32.
- [14] Everall P., *Urban Freeway Surveillance and Control*, Federal Highway Administration, Washington, 1973.

- [15] Federal Highway Administration, *The Association Of Median Width And Highway Accident Rate - FHWA-RD-93-046*, 1993.
- [16] Fitzpatrick K., Lord D., Park B., *Accident Modification Factors for Medians on Freeways and Multilane Rural Highways in Texas*, Transp. Res. Rec. J. Transp. Res. Board. (2008) 62–71.
- [17] Gaca S., Suchorzewski W., Tracz M., *Inżynieria ruchu drogowego. Teoria i praktyka*, Wydawnictwa Komunikacji i Łączności, Warszawa, 2008.
- [18] GDDKiA, *Drogi Krajowe - Generalny Pomiar Ruchu 2005*, 2006.
- [19] GDDKiA, *Prognozy wskaźnika wzrostu PKB na okres 2008 – 2040 do celów planistyczno projektowych dla dróg krajowych*, 2008.
- [20] GDDKiA, *SEZAR - Baza danych o wypadkach na drogach krajowych*, (2011).
- [21] GDDKiA, *Drogi Krajowe - Generalny Pomiar Ruchu 2015*, 2015.
- [22] GDDKiA BDD, *Bank Danych Drogowych Generalnej Dyrekcji Dróg Krajowych i Autostrad*, (2010).
- [23] GDDP, *Wytyczne projektowania dróg I i II klasy technicznej (Autostrady i drogi ekspresowe) WPD-1*, 1995.
- [24] Geistefeldt J., *Assessment of Basic Freeway Segments in the German Highway Capacity Manual HBS 2015 and Beyond*, Transp. Res. Procedia. 15 (2016) 417–425.
- [25] GUS, *Główny Urząd Statystyczny – Portal Informacyjny*, [Www.stat.gov.pl](http://www.stat.gov.pl). (2014).
- [26] De Haan H.J., Zwiers A., Albrecht H., *Traffic Management Services, Hard Shoulder Running, Easy Way*, European Commission, DG MOVE, 2012.
- [27] Hall L., Powers R., *Overview of cross section design elements*, Int. Symp. Highw. Geom. Des. Pract. (1995) 12.
- [28] Hartmann M., Vortisch P., *A rationale for enhancing the German Highway Capacity Manual to incorporate oversaturated freeway facility analysis*, 15 (2016) 426–437.
- [29] Hartmann M., Vortisch P., Schroeder B.J., *A German Approach to Freeway Facility Evaluation*, Transp. Res. Rec. J. Transp. Res. Board. 2483 (2015) 66–73.
- [30] Heikoop H., Henkens N., *Recent developments and history of the Dutch HCM*, ISEHP 2016. International Symposium on Enhancing Highway Performance, Transportation Research Procedia, 2016: pp. 51–62.
- [31] Highway Agency, *Design Manual for Roads and Bridges - Volume 6 road geometry*, London, 2007.
- [32] Irawan M.Z., *Implementation of the 1997 Indonesian Highway Capacity Manual (MKJI) Volume Delay Function*, Proceedings of the Eastern Asia Society for Transportation Studies, 2009.
- [33] James E.H., Weber K., *The Relationship Between Speed and Accident Characteristics*

- on Local Roads Near Freeway Interchanges, Highway Safety Research Institute, 1974.
- [34] Jaspers, *Niebieska księga - infrastruktura Drogowa*, 2015.
- [35] Komenda Główna Policji, *SEWIK Baza danych o wypadkach*, (2014).
- [36] Kondyli A., Lemke K., Schroeder B., *Freeway Facilities Workshop*, ISEHP 2016. International Symposium on Enhancing Highway Performance, 2016.
- [37] Krystek, Ryszard, Jamroz K., *Węzły drogowe i autostradowe*, 2008.
- [38] Kustra W., *Modelowanie wybranych miar bezpieczeństwa ruchu na długich odcinkach dróg*, Politechnika Gdańska, 2016.
- [39] Lemke K., *Hard Shoulder Running as a Short-Term Measure to Reduce Congestion*, Int. Symp. Highw. Geom. Des. (2010) 20p.
- [40] Lippold C., Lemke K., Jaehrig T., Stöckert R., *Design guidelines for motorways and for rural roads in Germany Rural Roads Design meeting nr 5 . Road network - classification*, 5 Th International Symposium on Highway Geometric Design Vancouver 2015, 2015.
- [41] Luttinen R.T., Innamaa S., *Nordic Highway Capacity. Uninterrupted Flow Facilities in Denmark, Finland, Norway, and Sweden*, Helsinki, 2000.
- [42] Maleck T., Sproule W., *Freeway interchange geometric inventory: Users manual*, Michigan State University, Michigan, 1986.
- [43] Ministerstwo Infrastruktury, *Rozporządzeniu Ministra Infrastruktury z dnia 16 stycznia 2002 roku w sprawie przepisów techniczno - budowlanych dotyczących autostrad płatnych*, 2002.
- [44] Ministerstwo Infrastruktury i Budownictwa, *Obwieszczenie Ministra Infrastruktury i Budownictwa w sprawie ogłoszenia jednolitego tekstu rozporządzenia Ministra Transportu i Gospodarki Morskiej w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać drogi publiczne i ich usytuowanie*, Polska, 2016.
- [45] Nakamura M., *Research and Application of Highway Capacity in Japan*, 1994: pp. 103–112.
- [46] NCBR, GDDKiA, *Założenia wspólnego przedsięwzięcia NCBR-GDDKiA - Rozwój Innowacji Drogowych*, 2014.
- [47] Ng C.F., Small K.A., *Tradeoffs among free-flow speed, capacity, cost, and environmental footprint in highway design*, Transportation (Amst). 39 (2012) 1259–1280.
- [48] Oehm E., *Stadtautobahnen. Planung-Bau, Betriebs. Bauverlag GmbH – Wiesbaden und Berlin*, 1973.
- [49] Rada Ministrów, *Program budowy dróg krajowych na lata 2014-2023 (z perspektywą*

- do 2025 r.), Polska, 2015.
- [50] Ravinder K., Velmurugan S., Subhamay Gangopadhyay, *India's Highway Capacity Manual Project. Developing a National Guide to Address Unique Traffic Conditions*, Transp. Res. Rec. J. Transp. Res. Board. (2014) 17–22.
- [51] Richardson S., Stapor B., *Highway 2 Corridor Improvement Study Research Paper – Standards, practices and guidelines used by other jurisdictions to regulate quality of service on freeways*, 2016.
- [52] Rijkswaterstaat DVS, *Capaciteitswaarden Infrastructuur Autosnelwegen. Handboek, versie 4*, (2015).
- [53] Rohloff M., Gladbach B., Gießen A.B., Neubiberg W.W., *Guidelines for the Design of Motorways: RAA*, Forschungsgesellschaft für Strassen- und Verkehrswesen, 2011.
- [54] Satterthwaite S., *A survey of research into relationships between traffic accidents and traffic volume*, Transport and Road Research Laboratory, 1981.
- [55] Trafikverket, *TRVMB Kapacitet och framkomlighetseffekter. Trafikverkets metodbeskrivning för beräkning av kapacitet och framkomlighetseffekter i vägtrafikanläggningar*, 2014.
- [56] Trans-European North-South Motorway (TEM), *TEM Standards and Recommended Practice, Third Edition*, Warszawa, n.d.
- [57] Transportation N.C.D. of, *Comprehensive Transportation Plans North Carolina*, 2012.
- [58] Transportation Research Board, *Highway Capacity Manual 2010*, 5th Editio, Transportation Research Board of the National Academies, Washington, 2010.
- [59] Transportation Research Board, *HCM2010 Highway Capacity Manual*, 5th Editio, Transportation Research Board of the National Academies, Washington, 2010.
- [60] Transportation Research Board, *Highway Capacity Manual 6th Edition: A Guide for Multimodal Mobility Analysis*, Transportation Research Board of the National Academies, Washington, 2016.
- [61] Vejdirektoratet – Vejregelrådet, *Håndbog for Kapacitet og serviceniveau*, 2015.
- [62] Werner B., Weiser F., *Recent Development in Highway Cross Section Design in Germany*, (1994).
- [63] Zhou R., Zhong L., Zhao N., Fang J., Chai H., Zhou J., et al., *The Development and Practice of China Highway Capacity Research*, ISEHP 2016. International Symposium on Enhancing Highway Performance, Berlin, 2016: pp. 14–25.
- [64] *Instrukcja obliczania przepustowości dróg I i II klasy technicznej (autostrady i drogi ekspresowe)*, (1995) 78.
- [65] *Standard 3.1-IC. Design of the Highways Instruction*, Hiszpania, 1999.