



ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

FAKULTA DOPRAVNÍ

Bc. Tomáš Klinský

**Modelování vybraných pohybů
autobusů VHD na komunikační síti**

Diplomová práce

2023

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

Fakulta dopravní

děkan

Konviktská 20, 110 00 Praha 1



K612 **Ústav dopravních systémů**

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení studenta (včetně titulů):

Bc. Tomáš Klinský

Studijní program (obor/specializace) studenta:

navazující magisterský – DS – Dopravní systémy a technika

Název tématu (česky): **Modelování vybraných částí pohybu autobusů VHD na komunikační síti**

Název tématu (anglicky): **Modelling of Segments of Public Transport BUS Operation on Urban Road Network**

Zásady pro vypracování

Při zpracování diplomové práce se řiďte následujícími pokyny:

- infrastruktura upřednostňující provoz veřejné dopravy jako nástroj jejího zkvalitňování a preference udržitelné městské mobility
- shrnutí teorie dekompozice pohybu vozidla veřejné dopravy v mezizastávkovém úseku
- popis charakteristických segmentů pohybu spojů VHD vybraných pro simulaci
- simulace v programu PTV VISSIM, vstupní parametry, simulované scénáře a jejich vyhodnocení
- význam zjištěných poznatků pro praxi a další výzkumnou činnost





- Rozsah grafických prací: dle potřeby - stanoví vedoucí práce
- Rozsah průvodní zprávy: minimálně 55 stran textu (včetně obrázků, grafů a tabulek, které jsou součástí průvodní zprávy)
- Seznam odborné literatury: NOVOTNÝ Vojtěch. Stanovení rozhodovacího nástroje pro preferenci VHD (dizertační práce). ČVUT v Praze, 2017.
NOVOTNÝ Vojtěch, PROUSEK Tomáš, JAVOŘÍK Tomáš. Zásady pro navrhování a zřizování preference autobusů veřejné hromadné dopravy. Praha: ČVUT v Praze, 2017.


Vedoucí diplomové práce: **Ing. Vojtěch Novotný, Ph.D.**
Ing. Nikol Dousková

Datum zadání diplomové práce: **30. června 2022**
(datum prvního zadání této práce, které musí být nejpozději 10 měsíců před datem prvního předpokládaného odevzdání této práce vyplývajícího ze standardní doby studia)


Datum odevzdání diplomové práce: **15. května 2023**
a) datum prvního předpokládaného odevzdání práce vyplývající ze standardní doby studia a z doporučeného časového plánu studia
b) v případě odkladu odevzdání práce následující datum odevzdání práce vyplývající z doporučeného časového plánu studia


Ing. Martin Jacura, Ph.D.
vedoucí
Ústavu dopravních systémů




prof. Ing. Ondřej Příbyl, Ph.D.
děkan fakulty

Potvrzuji převzetí zadání diplomové práce.


Bc. Tomáš Klinský
jméno a podpis studenta

V Praze dne..... 30. června 2022

Poděkování

Rád bych touto cestou vyjádřil poděkování vedoucím Ing. Vojtěchovi Novotnému, Ph.D. a Ing. Nikol Douskové za cenné rady při vedení mé diplomové práce, za vstřícnost a pomoc při získání potřebných informací a podkladů. Poděkování patří také dalším členům výzkumné skupiny PREFOS, a to zejména Bc. Ondřeji Vomočilovi za bezchybnou spolupráci v rámci výzkumné skupiny a cenné rady nejen při tvorbě této diplomové práce.

Poděkování náleží mým blízkým, mé rodině a zejména mým rodičům za vytvoření perfektních podmínek a zázemí nejen pro studium na vysoké škole.

Prohlášení

Předkládám tímto k posouzení a obhajobě diplomovou práci, zpracovanou na závěr studia na ČVUT v Praze Fakultě dopravní.

Prohlašuji, že jsem předloženou práci vypracoval samostatně a že jsem uvedl veškeré použité informační zdroje v souladu s Metodickým pokynem o dodržování etických principů při přípravě vysokoškolských závěrečných prací.

Nemám závažný důvod proti užívání tohoto školního díla ve smyslu § 60 Zákona č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon).

V Praze dne 15. 5. 2023



.....
Podpis

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

Fakulta dopravní

Modelování vybraných částí pohybu autobusu VHD na komunikační síti

Diplomová práce

Květen 2023

Bc. Tomáš Klinský

Abstrakt

Cílem této diplomové práce je na základě metody dekompozice pohybu vozidla veřejné dopravy vybrané podrobit vybrané situace („manévry“) analýze pomocí mikrosimulace za účelem bližšího pochopení chování účastníků silničního provozu, posouzení zdržení vozidel VHD (případně i ostatních vozidel silniční dopravy) v těchto situacích a určení vhodného dopravně-inženýrského uspořádání komunikace v souvislosti s těmito preferenčními opatřeními. Výsledky a nabyté poznatky mají dopad jak do praxe (optimální dopravně-inženýrské provedení preferenčních opatření), tak do další vědecko-výzkumné činnosti.

Klíčová slova

preferenze veřejné dopravy, městská hromadná doprava, veřejná hromadná doprava, udržitelná mobilita, preferenční opatření, mikrosimulace, PTV Vissim

CZECH TECHNICAL UNIVERSITY IN PRAGUE

Faculty of Transportation Sciences

Modelling Of Segments Of Public Transport Bus Operation On Urban Road Network

Master thesis

May 2023

Bc. Tomáš Klinský

Abstract

The aim of this thesis is to use the method of public transport manoeuvre decomposition to analyse selected situations ("manoeuvres") using microsimulation in order to further understand the behaviour of road users, to assess the delays of public transport vehicles (and other road transport vehicles) in these situations and to determine the appropriate traffic engineering layout in relation to these public transport priority measures. The results and findings will be used both in practice (optimal traffic engineering design of public transport priority measures) and for further scientific research.

Keywords

public transport priority, public transport, sustainable transport, microsimulation, PTV Vissim

Obsah

1. Motivace a cíl práce.....	8
2. Preference a podmínky pro optimální provoz VHD	10
3. Analýza pohybu spojů VHD s pomocí simulace	17
3.1 Metoda dekompozice pohybu vozidla VHD	17
3.2 Simulace/výpočet pohybu vozidla	21
3.3 Metodický postup při simulacích.....	22
4. Vybrané situace k simulaci	26
4.1 Průjezd přechodem pro chodce.....	27
4.1.1 Dopravně-inženýrské uspořádání.....	28
4.1.2 Nastavení simulace.....	31
4.1.3 Výsledky simulace.....	32
4.1.4 Závěry plynoucí ze simulace průjezdu přechodem pro chodce	41
4.2 Výjezd ze zastávky v zálivu.....	42
4.2.1 Dopravně-inženýrské uspořádání.....	42
4.2.2 Nastavení simulace pro konkrétní manévr	43
4.2.3 Výsledky simulace.....	45
4.2.4 Závěry plynoucí ze simulace výjezdu ze zastávky v zálivu	48
4.3 Odbočení vpravo z vedlejší pozemní komunikace (křižovatka neřízená SSZ)	49
4.3.1 Dopravně-inženýrské uspořádání.....	49
4.3.2 Nastavení parametrů simulace.....	51
4.3.3 Výsledky simulace.....	52
4.3.4 Závěry plynoucí ze simulace odbočení vpravo.....	56
4.4 Odbočení vlevo z vedlejší pozemní komunikace (křižovatka neřízená SSZ)....	56
4.4.1 Dopravně-inženýrské uspořádání.....	56
4.4.2 Nastavení parametrů pro simulace	57
4.4.3 Výsledky simulace.....	58
4.4.4 Závěr plynoucí ze simulace odbočení vlevo.....	61
5. Závěr	62
6. Zdroje.....	64
Seznam příloh.....	66
Seznam obrázků.....	66
Seznam tabulek.....	67

Seznam grafů.....68

Seznam použitých zkratek

ČSN – Česká státní norma

IAD – individuální automobilová doprava

MHD – městská hromadná doprava

PID – Pražská integrovaná doprava

SSZ – světelné signalizační zařízení

TP – technické podmínky

VHD – veřejná hromadná doprava

1. Motivace a cíl práce

Příznakem dnešní doby je trend globálního růstu počtu obyvatel. Vlivem rostoucího stupně urbanizace ovšem dochází k nerovnoměrnému osidlování území, což vede k hromadnému přesunu lidí do měst. Rostoucí životní úroveň a kvalita života má za následek stále rostoucí stupeň automobilizace, což vede k přetěžování městské dopravní infrastruktury, jejíž kapacita není neomezená. Je více než zřejmé, že páteří mobility ve městech nemůže být individuální automobilová doprava, která je neefektivní jak z prostorového, tak z kapacitního hlediska. Navyšování kapacity silniční infrastruktury neřeší vzniklé problémy, ale díky efektu dopravní indukce generuje novou poptávku a v dlouhodobém horizontu problémy ještě více prohlubuje. [1]

Současné problémy je tedy potřeba řešit systémově, a to v souladu s principy udržitelného rozvoje, jehož součástí je princip udržitelné mobility. Z dopravně-inženýrského hlediska je proto nutné zařadit nástroje pro řízení poptávky po dopravě a ovlivnit tak dělbu přepravní práce ve prospěch ostatních, udržitelných módů dopravy (tzn. veřejná, cyklistická a pěší doprava) na úkor dopravy individuální automobilové. Spolu s moderními trendy v dopravě, jako je přístup Mobility as a Service (MaaS), je možné tento přístup propojit s veřejnou dopravou s cílem minimalizace slabých stránek veřejné dopravy, mezi které patří problém poslední míle (tzn. vzdálenost mezi místem bydliště a nejbližší zastávkou veřejné dopravy). Při této kombinaci se stává páteří systému mobility města veřejná doprava, jejíž správná funkce má na funkci celého dopravního systému klíčový vliv. [2] [3] [4]

Pro splnění výše uvedených principů ovšem musí být obyvatelům/cestujícím nabídnuta obdobná alternativa individuální automobilové dopravy. Při dodržení základních předpokladů komfortu na straně vozidel je ovšem problém s následujícími dvěma parametry, a to s cestovní rychlostí a spolehlivostí provozu, přičemž cestovní rychlost je jedním z klíčových parametrů volby dopravního prostředku. Mezi nejvíce ovlivněné druhy dopravy vnějšími vlivy, jako jsou nehody a kongesce, patří všechny druhy povrchové dopravy. Typicky jsou tak nejvíce ovlivněny autobusy, trolejbusy a tramvaje v uličním prostoru. Zvýšení spolehlivosti a cestovní rychlosti veřejné dopravy lze dosáhnout pomocí **preferencí veřejné dopravy**. [5] [6]

Tato práce vznikla v rámci výzkumné skupiny PREFOS, která se v rámci Fakulty dopravní Českého vysokého učení technického v Praze komplexně zabývá preferencí VHD. Tato práce navazuje na disertační práci Ing. Vojtěcha Novotného, Ph.D. *Stanovení*

rozhodovacího nástroje pro preferenci VHD a dále bakalářskou práci Bc. Ondřeje Vomočila *Modelování vybraných dopravních situací souvisejících s preferencí VHD*. V rámci zadaného tématu diplomové práce dochází k bližšímu zkoumání problematiky preference VHD rozvíjenou v těchto pracích.

Motivací k volbě a práci na tomto tématu je subjektivní vnímání důležitosti preference veřejné dopravy jako součásti udržitelné mobility, a to při každodenním užívání VHD v městském prostředí. Z autorova hlediska je důležitý proaktivní přístup směrem k plynulé a kvalitní veřejné dopravě tak, aby byla co nejvíce konkurenceschopná vůči dopravě automobilové. Ekonomické a celospolečenské přínosy preference veřejné hromadné dopravy jsou neoddiskutovatelné. Je žádoucí v našich podmínkách provádět relativně moderní trend a rozvíjet ho tak, aby reflektoval nejnovější dopravně-inženýrské poznatky.

Cílem této diplomové práce je blíže zkoumat vybrané manévry vozidel VHD na komunikační síti za pomoci mikrosimulačního softwaru PTV Vissim. Účelem modelů je výpočet zdržení vozidel s cílem prověření vybraných situací a určení pravidel, jak se mají v těchto situacích navrhovat opatření pro preferenci vozidel VHD. Získaná data budou dále využita i k další výzkumné činnosti, a to například pro kalibraci koeficientů metody $Q_{\text{infra}_{\text{peak}}}$ pro vznikající disertační práci Ing. Nikol Douskové *Rozšíření a modifikace metody hodnocení kvality infrastruktury pro VHD*. S touto znalostí bude možné lépe ohodnotit přívětivost jak současného uspořádání sledovaných úseků s provozem VHD, tak predikovat přívětivost plánovaného uspořádání komunikace vůči veřejné dopravě a podnikat tak kroky k systémové podpoře veřejné hromadné dopravy.

2. Preference a podmínky pro optimální provoz VHD

Pojmem preference VHD se rozumí nástroj na straně infrastruktury k zajištění rychlého, plynulého a spolehlivého provozu spojů veřejné dopravy bez negativního ovlivňování intenzitami automobilové dopravy v uličním prostoru. Podle typologie lze preferenční opatření rozdělit do tří hlavních oblastí, kterými jsou: [6]

- **prostorová opatření** zajišťující vyhrazenou jízdní dráhu pro vozidla veřejné dopravy v mezikřižovatkovém úseku;
- **organizační opatření** zajišťující prioritu veřejné dopravy v kontextu organizace dopravy;
- **opatření na křižovatkách** zajišťující nejplynulejší průjezd vozidel VHD těmito uzlovými body komunikační sítě zcela bez zdržení či se zdržením co nejmenším.

Základními cíli preference je zvýšení cestovní rychlosti, zkrácení jízdní doby, zvýšení spolehlivosti spojů a snížení počtu vypravených vozidel, což má za následek úsporu na straně provozního personálu. Důležitým efektem je i úspora elektrické energie či dalších pohonných hmot. Jak bylo zmíněno výše, změna cestovní doby je jedním z nejvýznamnějších rozhodovacích faktorů při volbě preferovaného módu dopravy. [5]
[6]

Podle dopravně-inženýrských zásad lze přístup k preferenci VHD dále rozdělit do tří hlavních směrů, které jsou následující: [6]

- **Princip systémové přednosti v jízdě**

Základem tohoto uspořádání je komplexní přístup k pohybu vozidel a následné navržení uspořádání komunikace tak, aby toto uspořádání přirozeně poskytovalo přednost vozidlům VHD. Jedná se například o vyznačení hlavní pozemní komunikace ve směru pohybu vozidel VHD nebo zajištění plynulého výjezdu ze zastávky, což uvádí Obrázek 1.



Obrázek 1 Zajištění plynulého výjezdu z autobusového terminálu. Praha, Opatov. Zdroj [6]

- **Plynulý provoz nebo vyhrazená jízdní dráha**

V případě provozu spojů VHD na komunikacích s nízkým provozem je princip plynulého provozu splněn automaticky. Problém nastává v případě zatížených komunikací, na kterých dochází k ovlivnění vysokými intenzitami IAD. V těchto případech je žádoucí implementovat některý z prvků vyhrazené jízdní dráhy, ať už oddělené tramvajové těleso, nebo vyhrazený pruh (Obrázek 2). V úsecích, kde prostorové uspořádání nedovoluje fyzickou úpravu komunikace pro tvorbu vyhrazení jízdní dráhy VHD, je žádoucí udržovat plynulý provoz a kongesce řízeně ponechávat tam, kde nedochází k ovlivnění provozu spojů VHD.



Obrázek 2 Vyhrazený jízdní pruh pro autobusy. Praha, Jugoslávských partyzánů. Zdroj: archiv autora

- **Preference na SSZ i na příjezdu ke křižovatce**

Veřejnou dopravu je třeba preferovat nejen v mezikřižovatkových úsecích, ale v místě uzlových bodů sítě komunikací. Křižovatky, ať už řízené nebo neřízené, jsou místem omezujícím kapacitu, tedy i místem potenciálního zdržení spojů VHD. Důležitým faktorem, kromě samotné preference na křižovatce, je příjezd

ke stopčáře. Tento princip má nespočetné množství variant a velice záleží na četnosti pohybu spojů VHD. Základní (a nejmenší) mírou preference je samotná preference na SSZ, kdy vozidlo VHD přijíždí v proudu ostatních vozidel. Tohoto principu je využito v případě méně zatížených křižovatek. Opačným případem je pak pokračování vyhrazené jízdní dráhy skrz křižovatku spolu s preferencí (často i na vlastní fázi cyklu). Jsou přípustné kombinace obou krajních řešení, jako například zřízení vyhrazeného řadicího pruhu či přerušení vyhrazeného pruhu těsně před řadicími pruhy. Obecně však platí, že by vozidlo VHD mělo projet na první signál volno, tedy se zdržením maximálně jednoho cyklu. Příklady dobré praxe uvádí Obrázek 3 a Obrázek 4. [6]



Obrázek 3 Preference na příjezdu ke křižovatce formou vyhrazeného řadicího pruhu. České Budějovice. Autor fotografie: Ing. Vojtěch Novotný, Ph.D.



Obrázek 4 Příklad preference jak na příjezdu ke křižovatce, tak pro průjezd křižovatkou. Vozidlo VHD je řízeno pomocí speciálního návěstidla. Manhattan, New York. Zdroj: archiv autora

Tvorba preferenčních opatření, a to zejména tvorba vyhrazených pruhů pro autobusy VHD na vícepruhových komunikacích, přináší snížení kapacity komunikace pro individuální automobilovou dopravu, což je mnohdy argumentem proti tvorbě preferenčních opatření. Jedná se však o nesprávný argument hned z několika důvodů: [2] [6]

1) Atraktivnější VHD zaujme větší podíl na modal-splitu

Kvalitní a fungující veřejná doprava má pozitivní dopad na celý dopravní systém města. Atraktivní a spolehlivá veřejná hromadná doprava má za následek nižší používání osobních automobilů, což vede k nižšímu počtu aut v ulicích. Obecně tak dochází ke snižování prostorové náročnosti dopravy a nově uvolněné plochy jsou k dispozici pro veřejnou, pěší a cyklistickou dopravu.

2) Dojde k poklesu kapacity IAD, nikoliv však k poklesu přepravního výkonu v daném profilu

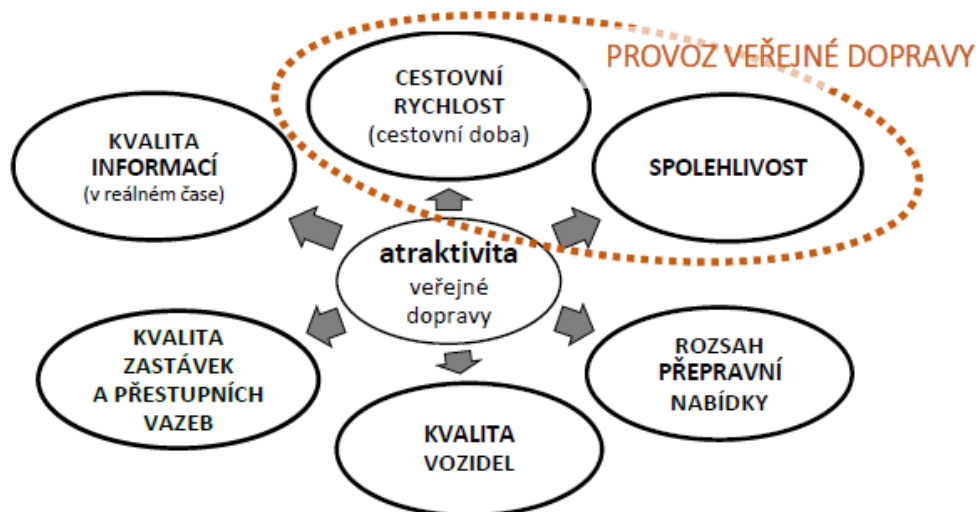
Vzhledem k obsazenosti vozidel a výkonu VHD ovšem nedochází ke snížení dopravního výkonu v daném profilu (v přepočtu na počet přepravených osob za jednotku času).

3) Tvorba preferenčních opatření vyvolá dopravní redukci

Dopravní indukce je známý a popsáný jev, při kterém dochází vlivem nové nabídky kapacity k nárůstu poptávky po dopravě. Při tomto vztahu se jedná o přímou úměrnost: čím více prostoru a kapacity nabídneme danému druhu dopravy, tím větší bude jeho podíl. Navyšování kapacity pozemních komunikací či zkapacitňování křižovatek tak nevede k řešení problémů, ale právě naopak.

Nezbytným nástrojem dopravního inženýrství je schopnost systém provozu veřejné dopravy ohodnotit, a to hned ze dvou hledisek. Prvním hlediskem je kvantifikace celkové kvality systému veřejné dopravy z hlediska cestujícího a hlediskem druhým je hledisko dopravně-inženýrské analýzy, která je nezbytná pro efektivní navrhování a realizaci preferenčních opatření. [6]

Problematika vnímání atraktivity nebo kvality veřejné dopravy je z velké míry subjektivní záležitost, přesto ale došlo k definici šesti základních oblastí, které ovlivňují vnímání atraktivity ze strany cestujících, které uvádí Obrázek 5. [6]



Obrázek 5 Přehled faktorů ovlivňujících kvalitu veřejné dopravy. [6]

S provozem veřejné dopravy přímo souvisí dvě oblasti, kterými jsou cestovní rychlost (cestovní doba) a spolehlivost provozu VHD.

V souvislosti s problematikou preference veřejné dopravy je zavedena teorie ideálního pohybu vozidla veřejné dopravy, který se skládá ze zastavení na zastávkách, během něž dochází k nástupu a výstupu cestujících, a dále z plynulého pohybu v mezizastávkovém úseku. Ideální pohyb má následující dvě vlastnosti: [6]

- **Je dosažena nejvyšší možná rychlost**

Při absolutní eliminaci vlivu IAD a ostatních vozidel dopravního proudu, včetně eliminace zdržení na křižovatkách, je tedy rychlost spoje VHD omezena pouze uspořádáním komunikace, jako je poloměr projížděného směrového oblouku, podélný sklon komunikace nebo trati a také nutnost fyzického manévru na křižovatkách.

- **V mezizastávkovém úseku je dosahováno vysoké spolehlivosti**

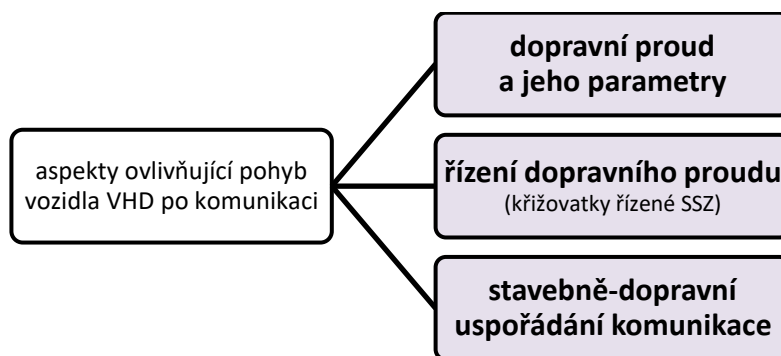
Ideálního pohybu vozidla je dosaženo zpravidla u plně segregovaných systémů, jako je železnice a metro. V případě povrchových systémů veřejné dopravy je žádoucí za pomoci preferenčních opatření snižovat vliv IAD jak na křižovatkách, tak v mezikřižovatkových úsecích tak, aby došlo **k maximálnímu přiblížení k teorii ideálního pohybu vozidla.**

3. Analýza pohybu spojů VHD s pomocí simulace

Pro detailní analýzu pohybu vozidla VHD je potřeba řešit pohyb vozidla na komunikační síti komplexně. Možným nástrojem je dekompozice pohybu vozidla. Tato metoda spočívá v rozčlenění pohybu vozidla v řešeném úseku z hlediska topologie na charakteristické segmenty pohybu vozidla („manévry“) a dílčí úseky jízdy vozidla mezi nimi [6].

3.1 Metoda dekompozice pohybu vozidla VHD

V rámci metody dekompozice pohybu vozidla sloužící pro detailní analýzu pohybu vozidel VHD byly definovány tři základní faktory, které ovlivňují jejich pohyb. Obrázek 6 uvádí přehled těchto faktorů. [6]



Obrázek 6 Přehled faktorů ovlivňujících pohyb vozidla VHD po komunikaci. [6]

Každý ze zmíněných faktorů přitom může způsobovat zdržení vozidel VHD sám nebo v kombinaci, a to z hlediska prostorového jak „bodově“ (tedy například oblasti křižovatek), tak „podélně“ (na určitém úseku dráhy). Na základě expertní analýzy došlo k tvorbě konečného výčtu segmentů pohybů spojů VHD v uličním prostoru, které uvádí následující Tabulka 1. [6]

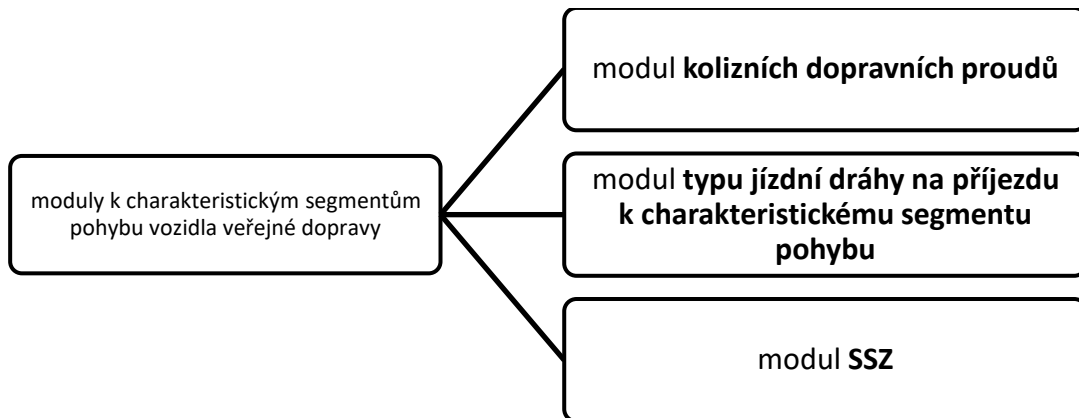
Tabulka 1 Seznam manévrů (pokračování na další straně). [6]

typ pohybu (manévr)	potenciální důvod zdržení	faktor parametrů dopravního proudu IAD	faktor řízení dopravního proudu (křižovatky řízené SSZ)	faktor stavebně-dopravního uspořádání komunikace	
přeřazování z pruhu do pruhu	dopravní proud v cílovém pruhu	ano	ne	ano	
průjezd místem snížení počtu jízdních pruhů	dopravní proud (intenzita) vzhledem k lomu kapacity komunikace	ano	ne	ano	
výjezd ze zastávky v zálivu	dopravní proud v cílovém pruhu	ano	ne	ano	
průjezd přechodem pro chodce	kolizní proud chodců	ano	částečně	ano	
přejezd dopravního proudu ostatních vozidel na tramvajové těleso	nedání zákonné přednosti v jízdě; dopravní proud v cílovém jízdním pruhu	ano	ne	částečně	
neřízená křižovatka (hlavní komunikace)	přímo	<i>blokování průjezdu vozidly čekajícími na odbočení</i>	částečně	ne	ano
	vpravo	<i>blokování průjezdu vozidly čekajícími na jiné odbočení</i>	částečně	ne	ano
	vlevo	kolizní dopravní proud (1x)	ano	ne	ano
neřízená křižovatka (vedlejší komunikace)	přímo	kolizní dopravní proud (2x)	ano	ne	částečně
	vpravo	kolizní dopravní proud (1x)	ano	ne	částečně
	vlevo	kolizní dopravní proud (3x)	ano	ne	částečně
křižovatka řízená SSZ	přímo	čekání na fázi SSZ dovolující jízdu	částečně	ano	částečně
	vpravo (plný signál)	čekání na fázi SSZ dovolující jízdu	částečně	ano	částečně
	vpravo (směrový signál)	čekání na fázi SSZ dovolující jízdu	částečně	ano	částečně
	vlevo (plný signál)	čekání na fázi SSZ dovolující jízdu + kolizní dopravní proud (1x)	ano	ano	částečně
	vlevo (směrový signál)	čekání na fázi SSZ dovolující jízdu	částečně	ano	částečně
situace počátku a ukončení VJP	počátek VJP změnou obecného JP	intenzity IAD před začátkem VJP vzhledem k lomu kapacity komunikace	ano	ne	ano
	ukončení VJP v souvislosti s místem zúžení komunikace/ jízdního pásu	dopravní proud v cílovém pruhu	ano	ne	ano

Tabulka 1 Seznam manévrů (pokračování). [6]

typ pohybu (manévr)	potenciální důvod zdržení	faktor parametrů dopravního proudu IAD	faktor řízení dopravního proudu (křižovatky řízené SSZ)	faktor stavebně-dopravního uspořádání komunikace	
sjezd autobusu z tramvajového tělesa	v mezikřižovatkovém úseku - neřízený	dopravní proud v cílovém pruhu	ano	ne	ano
	v mezikřižovatkovém úseku - řízený SSZ	čekání na fázi SSZ dovolující jízdu	ne	ano	ne

Byť se jedná o konečný počet segmentů, jde o poměrně velkou množinu. Pro potřeby systémového ohodnocení provozu VHD je třeba najít společné jmenovatele těchto manévrů, ze kterých lze složit jakýkoliv segment pohybu vozidla a zároveň budou respektovat vliv faktorů ovlivňujících jízdu vozidla VHD. Proto došlo k definici jednotlivých modulů, díky kterým je možné složit jakýkoliv charakteristický segment pohybu vozidla. Seznam modulů uvádí Obrázek 7. [6]



Obrázek 7 Rozklad charakteristických segmentů pohybu na moduly. [6]

První z výše uvedených, **modul kolizních proudů**, definuje míru rizika při křížení či zařazování se do jiného dopravního proudu v rámci charakteristického segmentu pohybu. Tento modul se dále dělí na následující varianty: [6]

- **boční/protisměrný kolizní proud** popisuje dopravní proud, který musí vozidlo VHD překřížit, tedy mu musí dát přednost v jízdě nebo kvůli němu přizpůsobit svoji jízdu;
- **souběžný kolizní proud** je takový dopravní proud, do kterého se musí vozidlo VHD zařadit, přičemž za tímto účelem musí přizpůsobit vlastní jízdu;

- **kolizní proud pěších** představuje zejména neřízené přechody pro chodce, kde musí vozidlo (kromě tramvají) dát chodcům přednost v jízdě. [6] [7]

Druhým zmíněným modulem je modul **typu dráhy na příjezdu k charakteristickému segmentu pohybu**. Příjezd k charakteristickému segmentu pohybu se může uskutečnit následujícími způsoby:

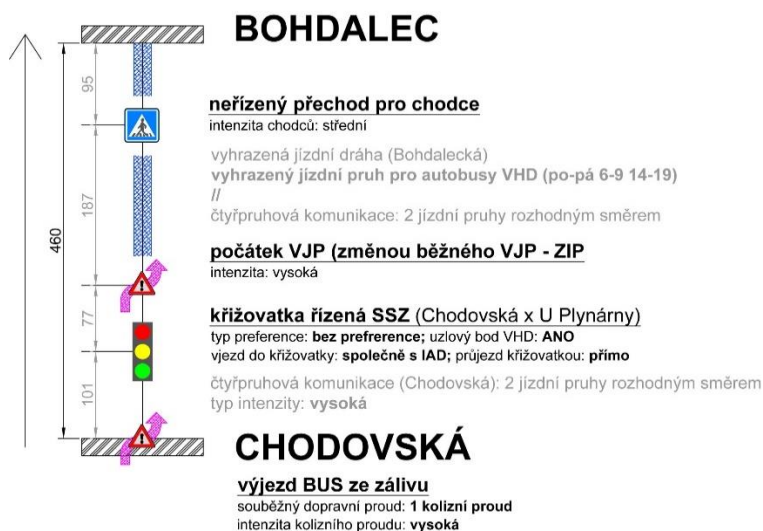
- vyhrazenou jízdni dráhou (kde nedochází k ovlivnění ostatními vozidly),
- částečně vyhrazenou jízdni dráhou (například vyhrazení jízdy v určitém směru)
- sdílenou jízdni dráhou, při kterém se vozidlo VHD pohybuje v dopravním prostoru společně s ostatními vozidly. [6]

Třetím modulem je **modul SSZ**. V tomto případě závisí zdržení vozidla VHD na míře poskytované priority při průjezdu SSZ. V praxi jsou rozlišovány tři druhy, kterými je absolutní preference, podmíněná preference a poté stav bez preference. [6]

V rámci této diplomové práce budou řešeny segmenty z prvních dvou zmíněných modulů pohybu, bude řešena problematika modulu kolizních dopravních proudů a modulu typu jízdni dráhy na příjezdu k charakteristickému segmentu pohybu. Příklad využití dekompozice pohybu vozidla ilustruje Obrázek 8 a Obrázek 9. [6]



Obrázek 8 Vyznačení mezizastávkového úseku Chodovská - Bohdalec na podkladu ortofotomapy (mapový podklad: www.mapy.cz). [6]



Obrázek 9 Schematické znázornění úseku Chodovská – Bohdalec včetně dekompozice pohybu vozidel VHD v tomto úseku. [6]

Tato práce k přistupuje k jednotlivým manévřům v souladu s metodou dekompozice pohybu vozidla s cílem jejich bližšího prozkoumání, a to s největší snahou abstrahovat

situace tak, aby respektovaly univerzálnost a skladebnost jednotlivých modulů metody dekompozice pohybu vozidla.

3.2 Simulace/výpočet pohybu vozidla

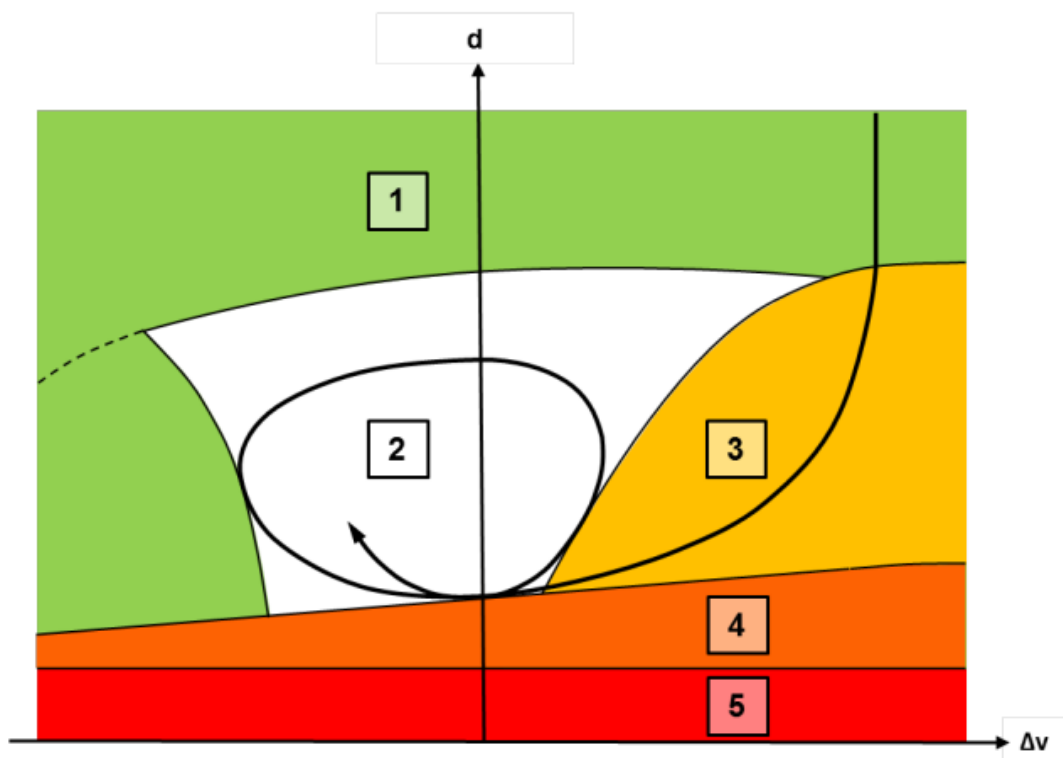
Jednou z možností, jak modelovat pohyb vozidla po komunikaci, je například využití simulačních programů. Samotné modely se dle rozlišovací úrovně dělí na tři hlavní skupiny: [8] [9]

- **Makroskopické modely**, které zobecňují jednotlivé entity a popisují dopravní proud jako celek. Svoji aplikací a nejnižší výpočetní náročností jsou využívány na výpočtové modely států, popřípadě krajů.
- **Mesoskopické modely**, které zkoumají skupiny (shluky) elementů a interakce mezi nimi. Vhodné jsou například v případě modelování dopravních modelů měst.
- **Mikroskopické modely**, které zkoumají dílčí elementy dopravního proudu a interakci mezi nimi, proto je jejich použití vhodné na menší oblasti.

Pro účely této diplomové práce byl vybrán simulační software PTV Vissim, který umožňuje tvorbu simulací na mesoskopické úrovni a také na úrovni mikroskopické, která byla pro potřeby této práce zvolena. Mikroskopická simulace poskytuje nejvyšší míru detailu, jelikož dochází k modelování každé entity (tj. jednotlivého vozidla, chodce, cyklisty apod.) vstupující do simulace zvlášť. Nevýhodou je následně vyšší výpočetní náročnost, která není vhodná pro některé typy aplikací (zejména těch, která jsou ve větším měřítku). [10]

Simulační program Vissim pracuje na bázi tzv. psycho-fyzikálního car-following modelu. Principem výpočtu pohybu vozidel je takzvaný Wiedemannův model (Wiedemann 1974), ve kterém dochází k výpočtu interakcí mezi jednotlivými vozidly na následujícím principu: Řidič vozidla sleduje rychlost předcházejícího vozidla, pokud se přibližuje k zádi vozidla před ním, zpomaluje, dokud není pomalejší než vozidlo před ním. Při větším rozdílu rychlosti a při zvětšování vzájemné časové mezery mezi zádi předcházejícího vozidla a čelem vozidla následujícího dochází k mírné akceleraci, dokud se vozidla opět nepřiblíží. Pohyb a stavy na základě vzájemné polohy a rozdílu rychlostí popisuje Obrázek 10, kde se na vodorovné ose nachází rozdíl rychlostí, na svislé ose je vzájemná vzdálenost vozidel. Podle čísel jsou poté stavy označeny následovně: 1 – oblast neovlivněné jízdy, 2 – oblast následování, 3 – oblast reakce,

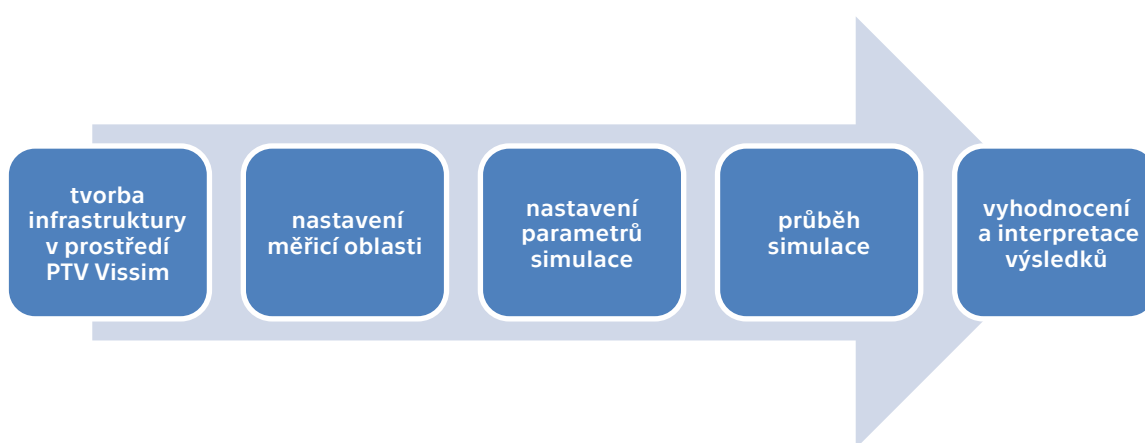
4 – brzdná oblast a 5 – kolizní oblast. Postup změny stavů naznačuje černá křivka s šipkou. [11]



Obrázek 10 Diagram pro Wiedemannův psycho-fyzikální model. [11]

3.3 Metodický postup při simulacích

Při modelování vybraných manévrů byl dodržován metodický postup, který uvádí Obrázek 11.



Obrázek 11 Schéma metodického postupu pro simulaci vybraných manévrů.

Modelování parametrů komunikace došlo pomocí klasických funkcí v prostředí Vissimu, tedy k modelování komunikací byly použity prvky Links a jejich vzájemnému propojení byly použity Connectors. Co se týče úpravy přednosti v jízdě, došlo k úpravě kolizních

ploch pomocí Conflict Areas, není-li uvedeno jinak. Měření zdržení je ve všech případech (kromě výjezdu ze zastávky ze zálivu v kapitole 4.2) provedeno pomocí funkce Nodes, a to pomocí měřicí oblasti o délce 100 m před stopčárou.

Simulace v programu PTV Vissim byla, s ohledem na předchozí zavedené postupy simulace v rámci skupin PREFOS, nastavena na délku 5 h 10 min. v úvodních 10 minutách dochází k naplnění modelu vozidly ze vstupů a sběr dat probíhá až od 11. minuty v hodinových řezech. Každá situace je simulována čtyřmi nezávislými chody simulace po zmíněných 5h 10 min. Presentovaná data jsou průměry jednotlivých hodinových řezů ze čtyř samostatných chodů simulace.

U všech simulací byl aplikován interval spojů 3 minuty v jednom směru, který reprezentuje například typický špičkový traťový interval dvou autobusových linek s linkovým intervalem 6 minut ve vzájemném prokladu.

Pro každý z modelovaných scénářů došlo k převodu číselných hodnot intenzit vozidel (a chodců, pokud jsou součástí simulace) na lingvistické hodnoty odpovídající charakteristikám uvedeným dále. Důvodem převodu je skutečnost, že číselné hodnoty intenzit jsou relativní pro každou modelovanou situaci, při které záleží na kapacitě vybraného úseku.

K odhadu intenzit a jejich přiřazení k lingvistickým hodnotám došlo pomocí expertního odhadu, popřípadě pomocí hodnoty kvality dopravy (Level Of Service), která je přímo součástí každého měření v programu PTV Vissim. Popis pěti charakteristik dopravního proudu upřesňuje Tabulka 2, charakteristiky čtyř intenzit chodců popisuje Tabulka 3.

Tabulka 2 Lingvistické hodnoty intenzit vozidel. [6]

lingvistická hodnota	charakteristika dopravního proudu
bezvýznamný	intenzita IAD je ve vztahu ke kapacitě komunikace velmi nízká; provoz pouze jednotlivých vozidel, mezi nimiž nedochází k interakci; rychlost dopravního proudu není omezena; riziko vzniku zdržení vozidel veřejné dopravy je zanedbatelné
plynulý	intenzita IAD je ve vztahu ke kapacitě komunikace nízká, tvoří se malé skupinky vozidel, ke vzájemnému ovlivňování vozidel příliš nedochází; rychlost dopravního proudu není ve většině případů omezena; riziko vzniku zdržení vozidel veřejné dopravy je malé
saturovaný	intenzita IAD je ve vztahu ke kapacitě komunikace střední; dochází k postupné saturaci dopravního proudu, tvoří se proudy vozidel; jednotlivá vozidla se vzájemně ovlivňují, rychlost dopravního proudu je nižší než nejvyšší dovolená; zdržení vozidel veřejné dopravy vznikají nižší rychlostí dopravního proudu a vzájemnou interakcí s ostatními vozidly
nestabilní	intenzita IAD se blíží ke kapacitě komunikace; dopravní proud se stává nestabilní, tvoří se kolony vozidel, provoz není plynulý; střední rychlost dopravního proudu je výrazně snížena
kongesce	překročená kapacita komunikace; dochází ke kolapsu dopravy, rychlost dopravního proudu je téměř nulová; vzniká velmi výrazné zdržení vozidel veřejné dopravy

Jak znázorňuje Tabulka 3, intenzity pěších byly rozděleny do čtyřech skupin. Konkrétní přiřazené hodnoty intenzit jsou uvedeny u každé modelované situace.

Tabulka 3 Popis lingvistických hodnot intenzit pěších. [6]

standardizovaný lingvistický výraz I_{ped}	definice lingvistického výrazu
bevýznamná	intenzita pěších je téměř nulová, riziko zdržení vozidla/spoje VHD je při křížení pěšího proudu zanedbatelné
nízká	četnost chodců přecházejících přechod pro chodce je relativně nízká, pravděpodobnost zdržení vozidel přejíždějící přechod je relativně nízká
střední	četnost chodců přecházejících přechod pro chodce je podstatná, dochází již ke shlukování chodců do skupin, dochází k relativně pravidelnému zdržení vozidel přechod pro chodce přejíždějících
vysoká	intenzita chodců je značná, přecházejí přes přechod až v souvislých proudech, dochází k významnému zdržení vozidel přechod přejíždějících

4. Vybrané situace k simulaci

Pro simulaci byly vybrány následující situace (manévry): modelování přechodu pro chodce, dále modelování výjezdu vozidla VHD ze zastávky v zálivu a poté odbočování vozidla vlevo/vpravo včetně variant příjezdu ke stopčáře na vedlejší komunikaci. Jedná se o poměrně časté a známé manévry, pro něž neexistuje dostatečné množství dat a podkladů k relevantnímu návrhu řešení preference VHD. Uvažované varianty uvádí Tabulka 4.

Tabulka 4 Seznam vybraných manévru vozidla VHD.

modelovaná situace	název manévru (dle 3.1)	Řešeno v kapitole
Přechod pro chodce ve dvou variantách:		
Přechod pro chodce bez ochranného ostrůvku	Průjezd přechodem pro chodce	4.1
Přechod pro chodce s ochranným ostrůvkem		
Zastávkový záliv	Výjezd ze zastávky v zálivu	4.2
Průsečná křižovatka	Odbočení vpravo z vedlejší pozemní komunikace (křižovatka neřízená SSZ) <i>Modelován je nejen samotný křižovatkový pohyb, ale i příjezd ke stopčáře</i>	4.3
	Odbočení vpravo z vedlejší pozemní komunikace (křižovatka neřízená SSZ) <i>Modelován je nejen samotný křižovatkový pohyb, ale i příjezd ke stopčáře</i>	4.4

4.1 Průjezd přechodem pro chodce

Vliv liniových staveb, tedy jejich bariérový efekt a „tradiční“ uspořádání ulic má nemalý vliv na základní typ pohybu, kterým je pěší doprava. Pro převedení chodců přes pozemní komunikace v úrovni vozovky je využito přechodů pro chodce a míst pro přecházení. Chodci navíc patří mezi nejzranitelnější účastníky silničního provozu, proto je kromě plynulosti dopravy důležitým měřítkem jejich bezpečnost. Dle metody dekompozice pohybu vozidla se přechod pro chodce řadí do kategorie „průjezd přechodem pro chodce“.

Pěší doprava by měla mít v území prioritu, přičemž součástí kvalitního veřejného prostoru by mělo být detailní řešení pěších vazeb, které spojují zdroje a cíle v co nejpřímější trase, a to bez bariér a ztracených spádů. Přechod pro chodce v úrovni vozovky, jakožto jeden ze základních prvků pěší infrastruktury, ovšem potenciálně generuje zdržení pro dopravní proud na pozemní komunikaci, které může vést ke **zdržení spojů veřejné dopravy**. Ke zdržení typicky dochází ve špičce, kdy dochází k časovému souběhu vyšších intenzit chodců i vyšších intenzit automobilové dopravy. Příklad vzdutí vozidel včetně vozidel VHD před přechodem řízeným SSZ (který není v záběru) ukazuje Obrázek 12.



Obrázek 12 Příklad přechodu rozděleného ochranným ostrůvkem včetně vzdutí vozidel před dalším přechodem pro chodce řízeným SSZ (není v záběru). Praha, Mírového hnutí. Zdroj: archiv autora

Dle TP 81 *Navrhování světelných signalizačních zařízení pro řízení provozu na pozemních komunikacích* jsou kritéria pro zřízení SSZ na přechodech pro chodce následující: [12]

- kritérium bezpečnosti provozu;

- kritérium intenzity provozu z hlediska vozidel;
- kritérium intenzity provozu z hlediska chodců;
- kritérium plynulosti jízdy vozidel městské hromadné dopravy.

Při zřízení SSZ se musí prokázat účelnost alespoň v jednom z kritérií.

Hodnoty a doporučení v TP 81 **se ovšem nezmiňují o stavebních úpravách** prostoru přechodu pro chodce a jeho rozdělení ochranným ostrůvkem. Co se týče kritéria plynulosti jízdy vozidel městské hromadné dopravy, je kritérium následující: *„Za důvod k vybudování SSZ pro zajištění plynulosti jízdy vozidel MHD lze považovat zdržení nejméně každého druhého vozu na dobu delší než dvě minuty ve třech nejzatíženějších hodinách dne.“* V případě dvoupruhové komunikace tedy dochází za předpokladu sdílené jízdní dráhy ke zdržení jak automobilů, tak vozidel VHD. Při hodnotě zdržení 2 minut by však docházelo ke kongescím a délka fronty by se pohybovala v řádech několika stovek metrů, proto je dle autora **hodnota zdržení značně nadhodnocena.** [12]

Dle místního šetření a odborného sledování je očekáván díky rozdělení přechodu pro chodce plynulejší provoz chodců, jelikož při využití přechodu pro chodce s ochranným ostrůvkem není ovlivňován dopravní proud v obou směrech zároveň, ale pouze v příslušném směru, který chodec přechází. Proto byla stanovena následující hypotéza: **„Přechod pro chodce s ochranným ostrůvkem bude mít vyšší výkonnost, a tudíž bude generovat menší zpoždění vozidel, a tedy i spojí veřejné dopravy jedoucích v proudu těchto vozidel.“**

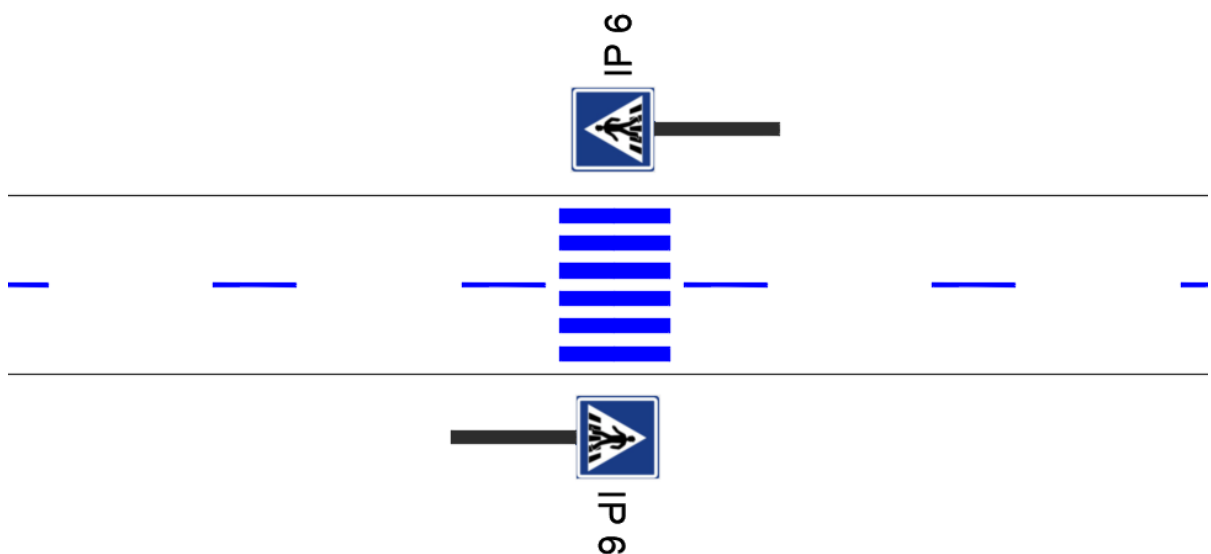
4.1.1 Dopravně-inženýrské uspořádání

Pro porovnání výše uvedených argumentů byly modelovány dvě varianty uspořádání, a to přechod přes dva protisměrné pruhy o délce 6,5 m a také přechod přes dva protisměrné jízdní pruhy o délkách 3,25 m rozdělený ochranným ostrůvkem. Příklad prvního ze zmíněných případů ilustruje Obrázek 13.

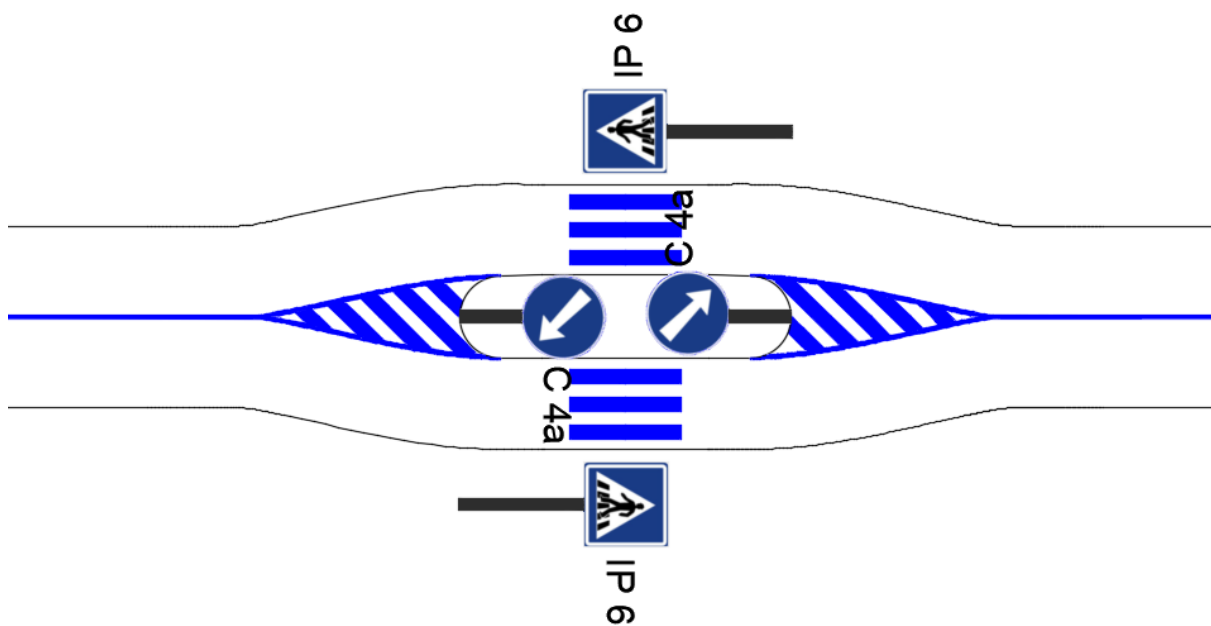


Obrázek 13 Přechod přes dva protisměrné jízdní pruhy bez rozdělení dopravním (ochranným) ostrůvkem. Praha, Smetanovo nábřeží. Zdroj: archiv autora

Základní situací v případě přechodu pro chodce je neřízený přechod přes dva protisměrné jízdní pruhy (Obrázek 14, Obrázek 16). Dle ČSN 736110 je největší délka přechodu mezi obrubami na kratší straně 6,5 metrů (případně 7 metrů pro místa s osobní linkovou dopravou a pro rekonstrukce). Pro potřeby simulace byly použity pruhy o kategorické šířce 3,25 metrů; proto je dle ČSN splněna přísnější hodnota. Šířka přechodu pro chodce byla zvolena 4 metry. Pro modelování byl využit ochranný ostrůvek pro chodce o šířce 3 metry (Obrázek 15, Obrázek 17). [13]

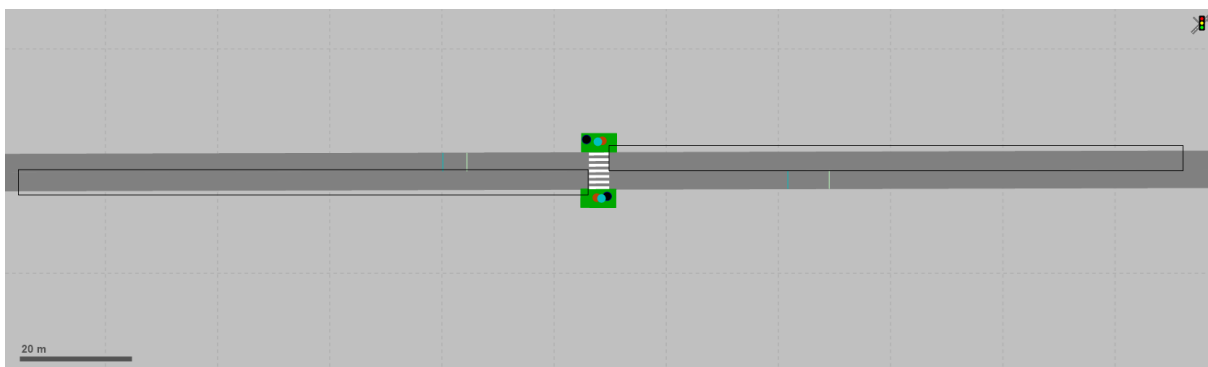


Obrázek 14 Dopravně-inženýrské schéma přechodu bez ochranného ostrůvku.

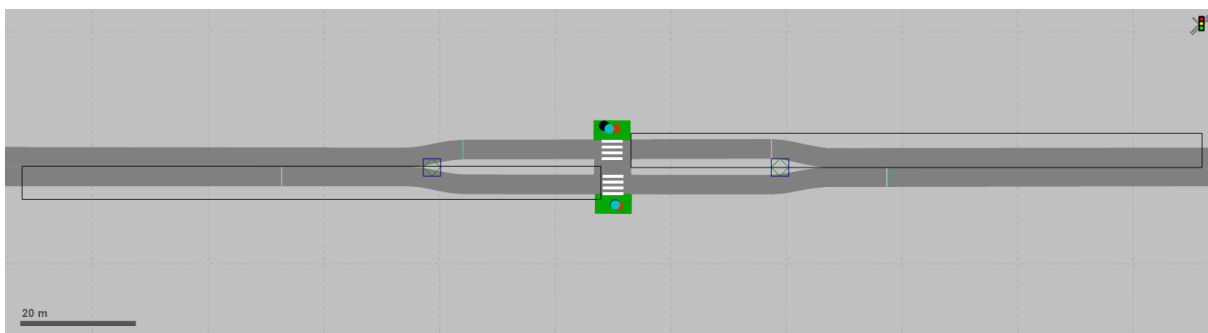


Obrázek 15 Dopravně-inženýrské schéma přechodu s ochranným ostrůvkem.

Obrázek 16 a Obrázek 17 ilustrují interpretaci simulovaných manévrů, přičemž černé obdélníky představují měřicí oblasti pro výpočet zdržení a délky fronty.



Obrázek 16 Dopravně-inženýrské uspořádání přechodu bez ochranného ostrůvku v prostředí Vissim.



Obrázek 17 Dopravně-inženýrské uspořádání přechodu s ochranným ostrůvkem v prostředí Vissim.

4.1.2 Nastavení simulace

Vzhledem k velkému množství parametrů a nedostatku informací o intenzitách pěších bylo přistoupeno k místnímu šetření, které bylo provedeno v ulici Mírového hnutí (Praha 11), kde se nachází v těsné blízkosti dělený a nedělený přechod (který je řízen SSZ).

Při místním šetření dosahovala hodnota intenzity chodců okolo 260 os./hod, která byla následně přiřazena k charakteristice chodců **střední**. Stejně jako u hodnot intenzit IAD byla snaha o lineární stupnici intenzit. Směrnost chodců byla nastavena na rovnovážnou hodnotu (tedy při hodnotě 30 os./h 15 chodců mířilo jedním směrem a 15 chodců směrem opačným). V případě hodnot, které nebyly dělitelné dvěma došlo k rozdělení na dvě sobě nejbližší celočíselné hodnoty (tedy pro hodnotu nízká na 72 a 73 os./h. a pro hodnotu vysoká na 187 a 188 osob). Konkrétní hodnoty intenzit vozidel a chodců uvádí Tabulka 5 a Tabulka 6.

Tabulka 5 Přiřazení intenzit pro konkrétní charakteristiky dopravního proudu pro simulaci průjezdu přechodem pro chodce.

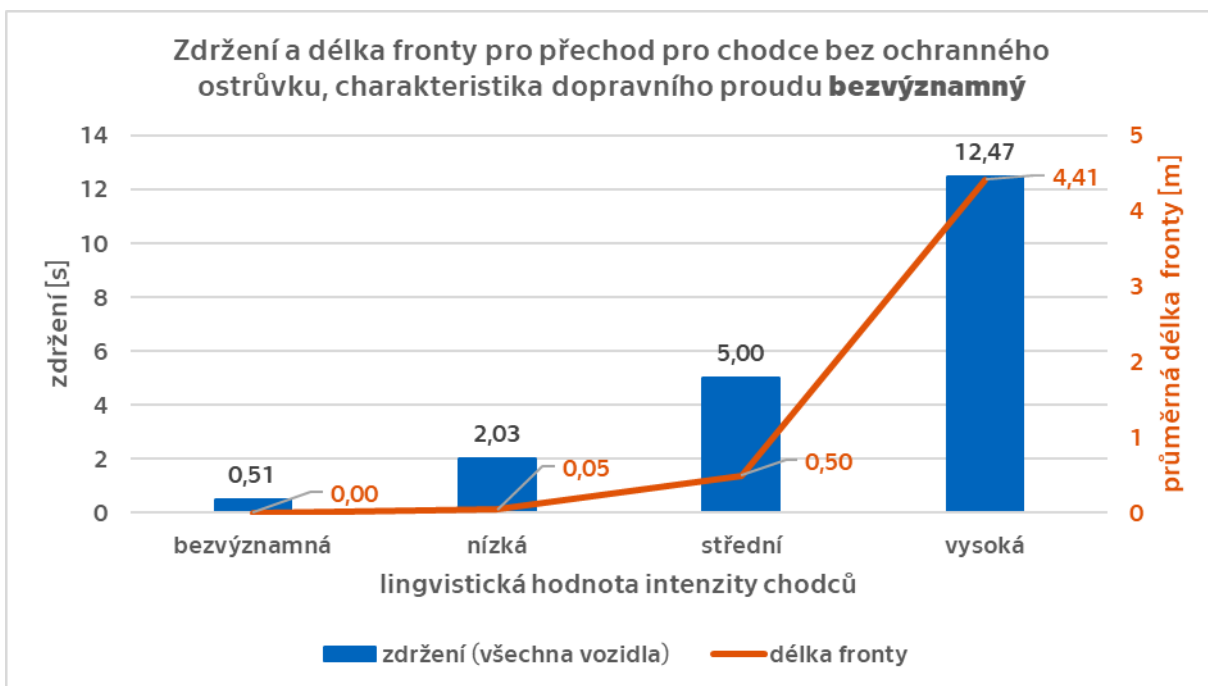
lingvistická hodnota	přiřazená intenzita dopravního proudu [voz/hod]
bezvýznamný	800
plynulý	1000
saturovaný	1200
nestabilní	1400
kongesce	1600

Tabulka 6 Přiřazení intenzit chodců pro jednotlivé charakteristiky pro simulaci průjezdu přechodem pro chodce.

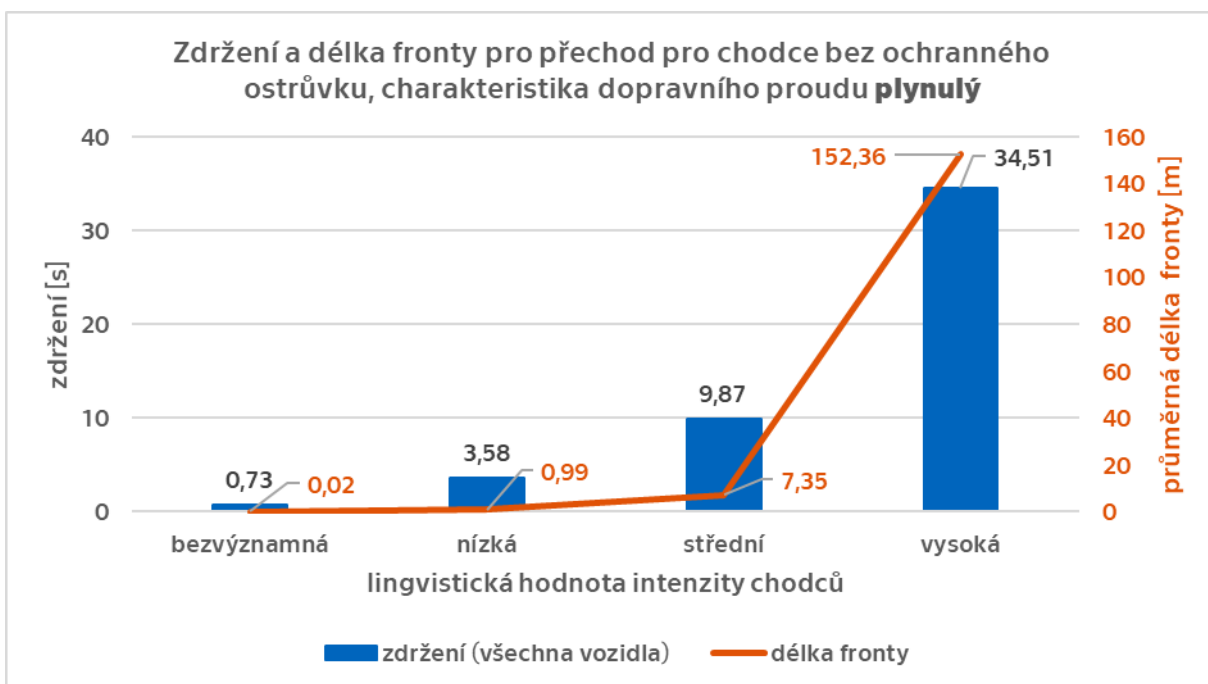
standardizovaný lingvistický výraz I_{ped}	přiřazená hodnota intenzity chodců [os./hod]
bezvýznamná	30
nízká	145
střední	260
vysoká	375

4.1.3 Výsledky simulace

Pro charakteristiky dopravního proudu bezvýznamný a plynulý (Graf 1 a Graf 2) nedochází k výraznějším zdržením, ovšem už v prvních grafech je vidět nelineární trend jak nárůstu intenzit, tak nárůstu délky fronty.

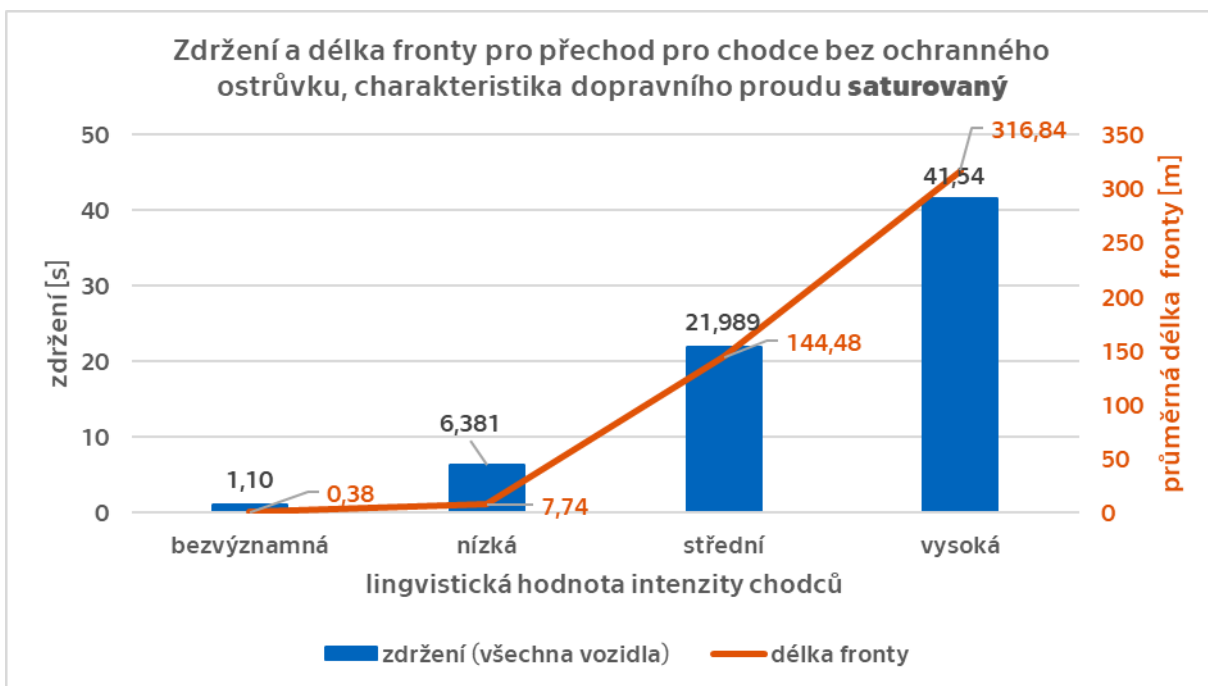


Graf 1 Přehled zdržení a délky fronty pro charakteristiku dopravního proudu bezvýznamný pro přechod bez ochranného ostrůvku.

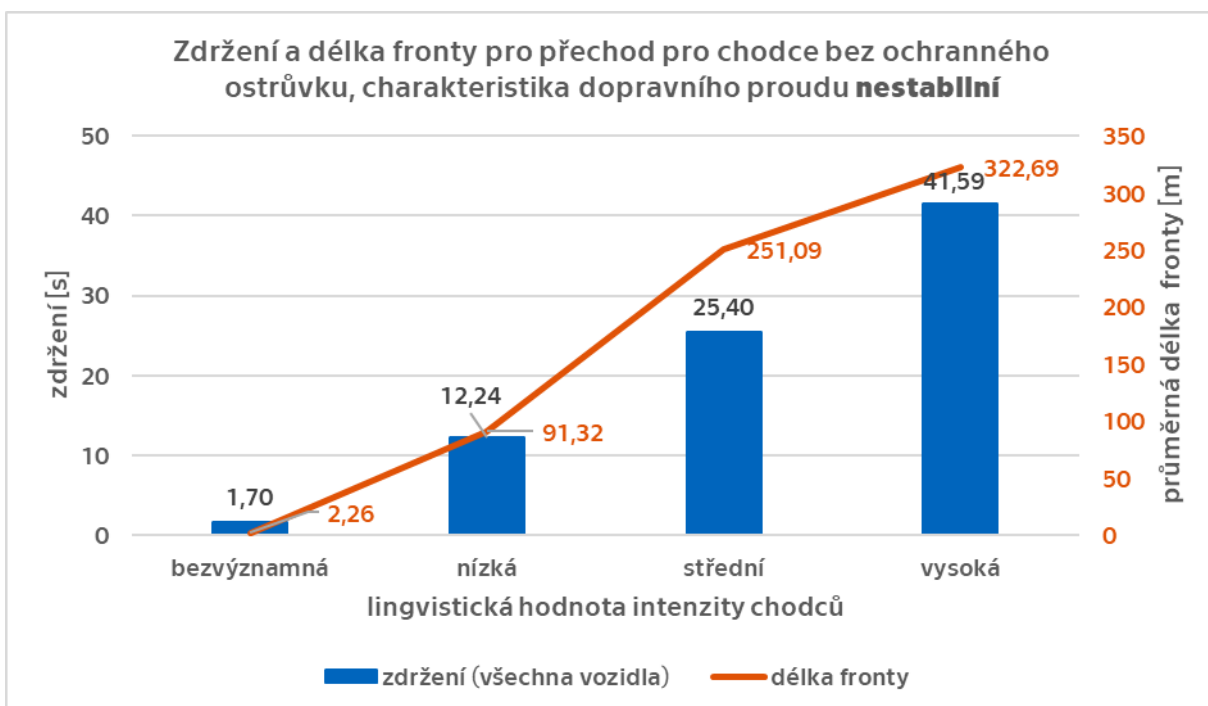


Graf 2 Přehled zdržení a délky fronty pro charakteristiku dopravního proudu plynulý pro přechod bez ochranného ostrůvku.

I z dalších grafů (Graf 3, Graf 4 a Graf 5) je patrné, že exponenciální trend pokračuje i nadále, přičemž dochází k prohlubování míry zpoždění. V případě charakteristiky dopravního proudu nestabilní je pozorovatelná změna trendu nárůstu délky zdržení ve smyslu linearizace trendu.



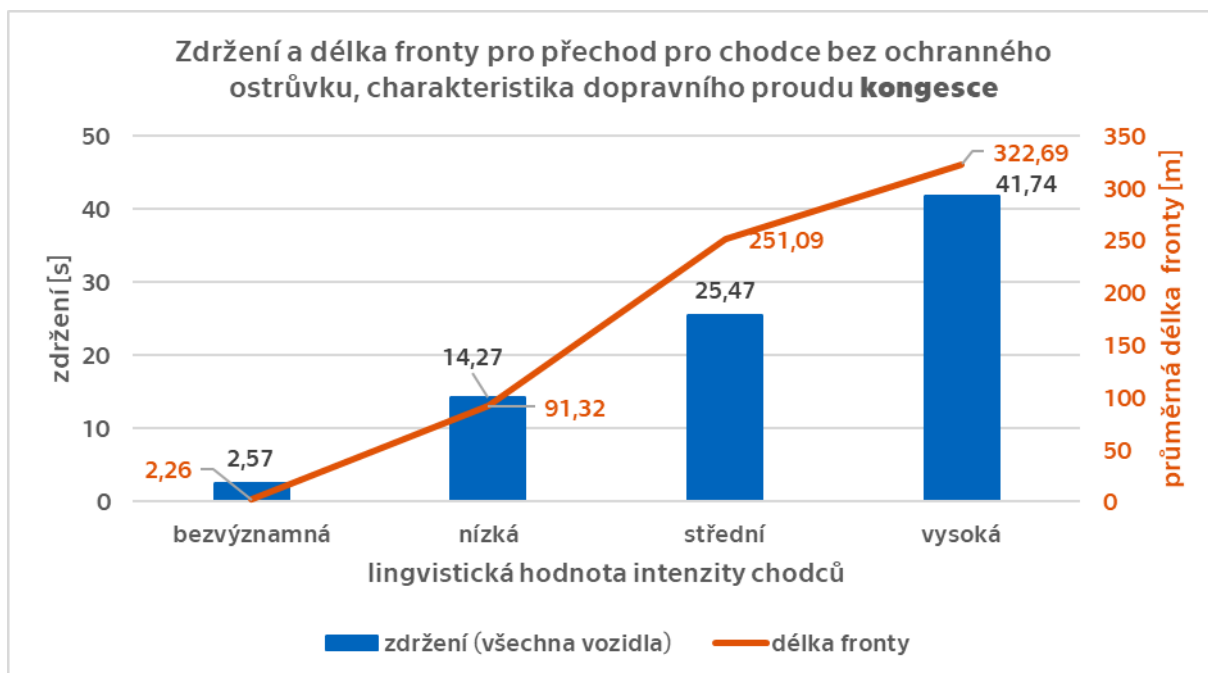
Graf 3 Přehled zdržení a délky fronty pro charakteristiku dopravního proudu satureovaný pro přechod bez ochranného ostrůvku.



Graf 4 Přehled zdržení a délky fronty pro charakteristiku dopravního proudu nestabilní pro přechod bez ochranného ostrůvku.

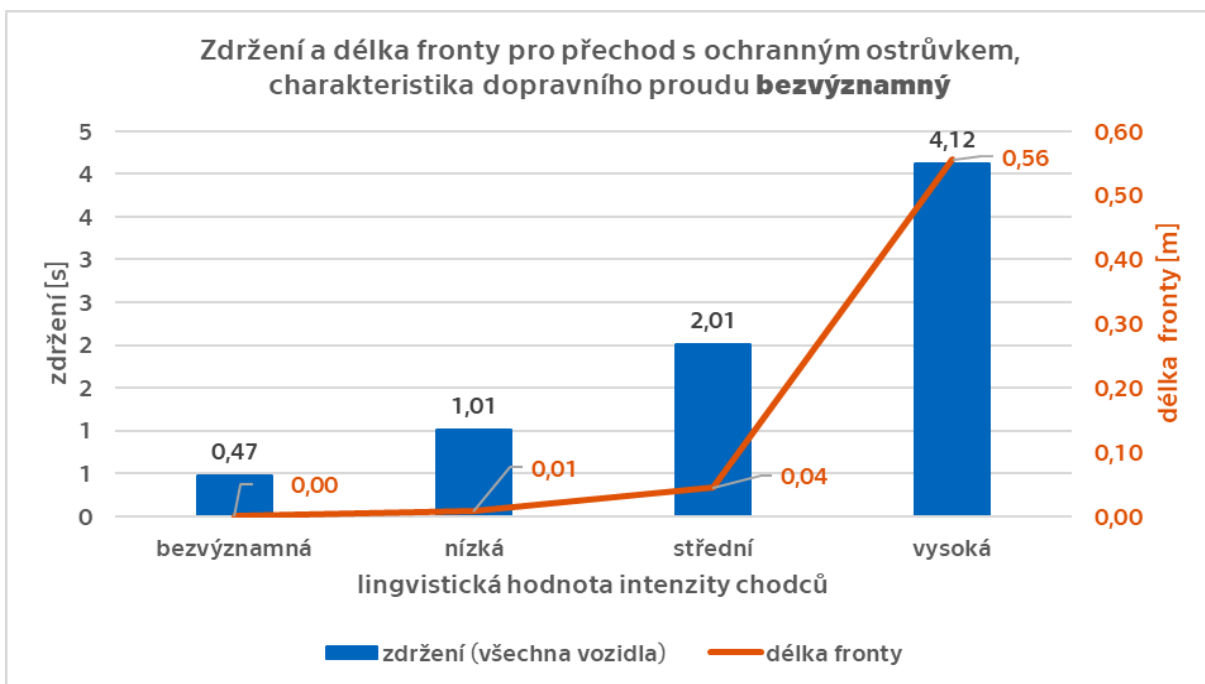
Hodnota zdržení a délka fronty pro charakteristiku nestabilní a kongesce jsou prakticky totožné, a to pro střední a vysokou charakteristiku chodců. Ze získaných dat vyplývá, že data se sbíhají k následujícím hodnotám, které jsou při maximálním zatížení následující: délka fronty konverguje k hodnotě 323 metrů a zdržení se pohybuje

bezmála na 42 sekundách. Konvergence ke konkrétní hodnotě je doprovázená změnou trendu.

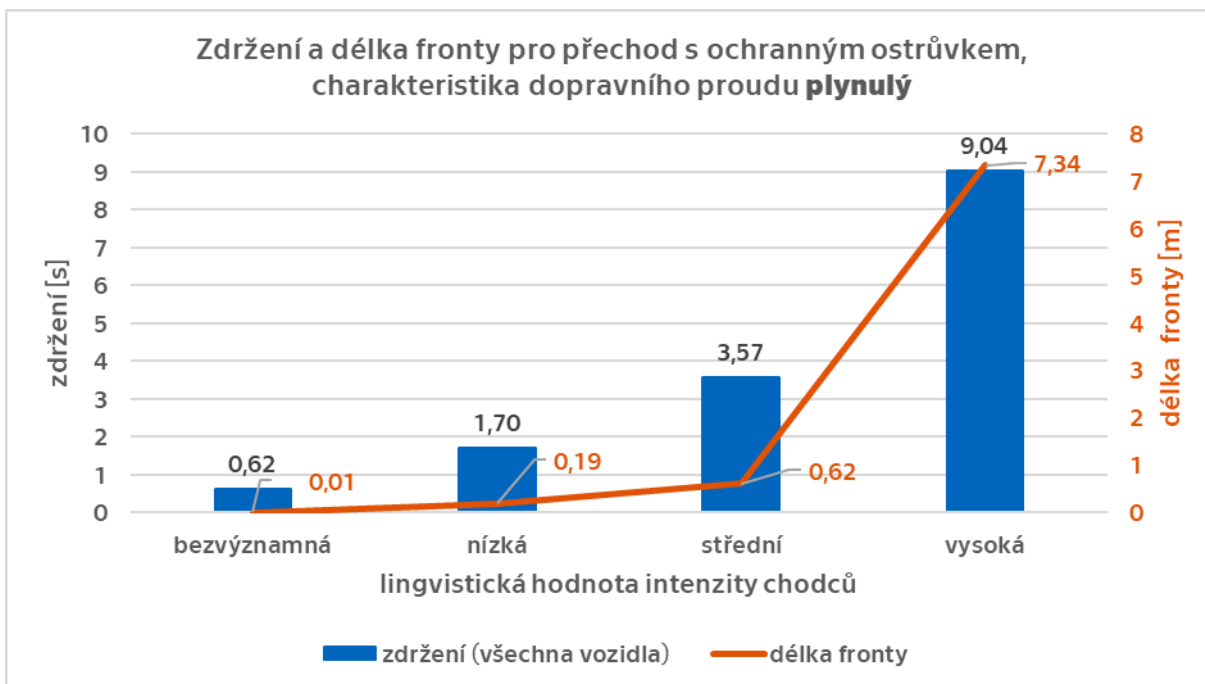


Graf 5 Přehled zdržení a délky fronty pro charakteristiku dopravního proudu nestabilní pro přechod bez ochranného ostrůvku.

V případě přechodu pro chodce s ochranným ostrůvkem jsou zdržení a délka fronty zanedbatelné, a to pro charakteristiky dopravního proudu bezvýznamný a plynulý (Graf 6 a Graf 7).

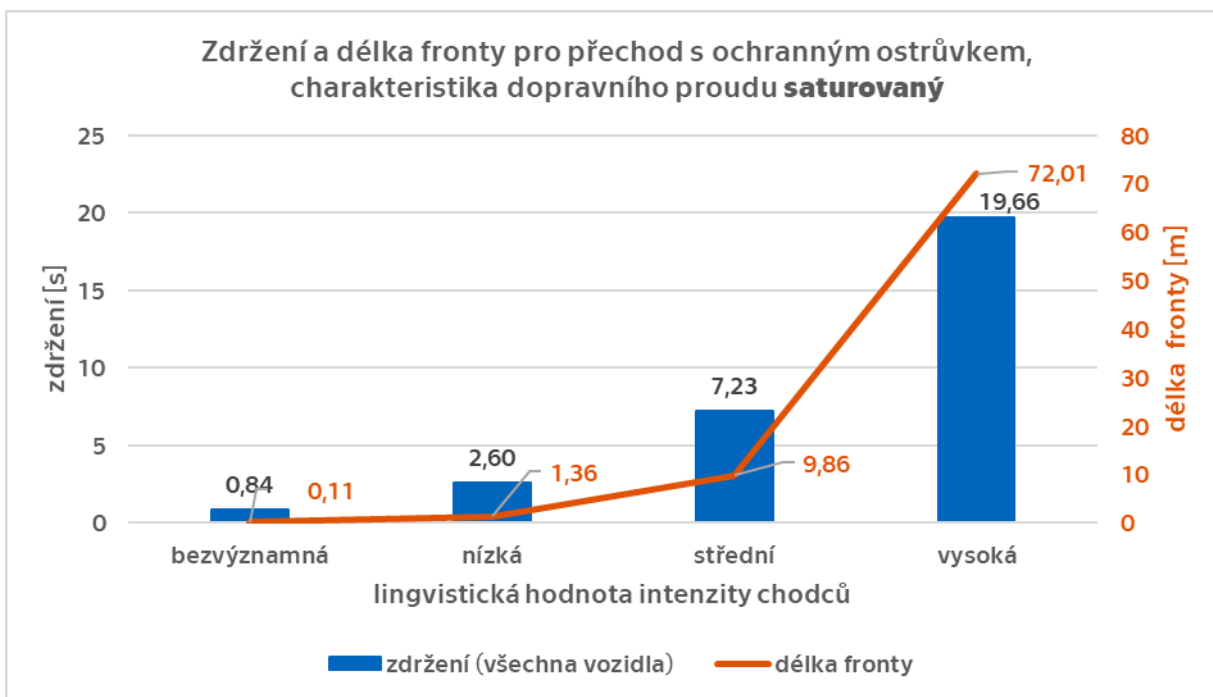


Graf 6 Přehled zdržení a délky fronty pro charakteristiku dopravního proudu *bezvýznamný* pro přechod s ochranným ostrůvkem.



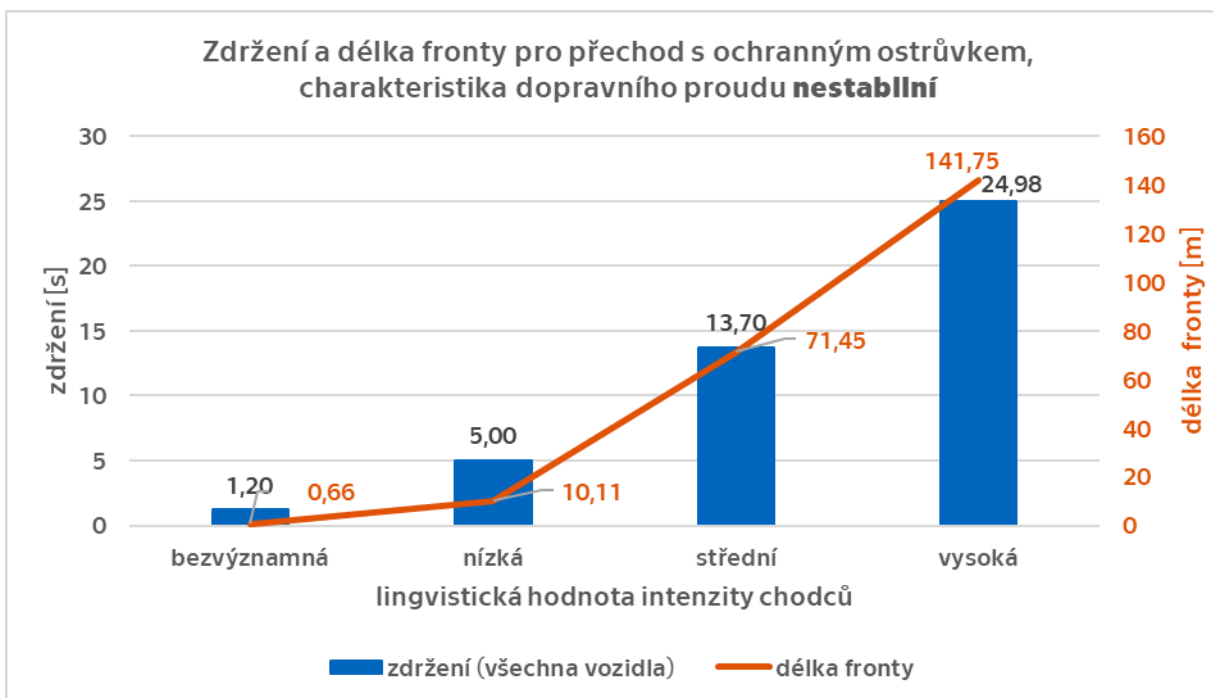
Graf 7 Přehled zdržení a délky fronty pro charakteristiku dopravního proudu *plynulý* pro přechod s ochranným ostrůvkem.

Zdržení a délka fronty začínají narůstat, a to od charakteristiky dopravního proudu *saturovaný* (Graf 8). Stejně jako v případě přechodu pro chodce bez ochranného ostrůvku je zde patrný nelineární trend nárůstu jak zdržení, tak délky fronty. Porovnání obou variant nabízejí Graf 11 až Graf 15).

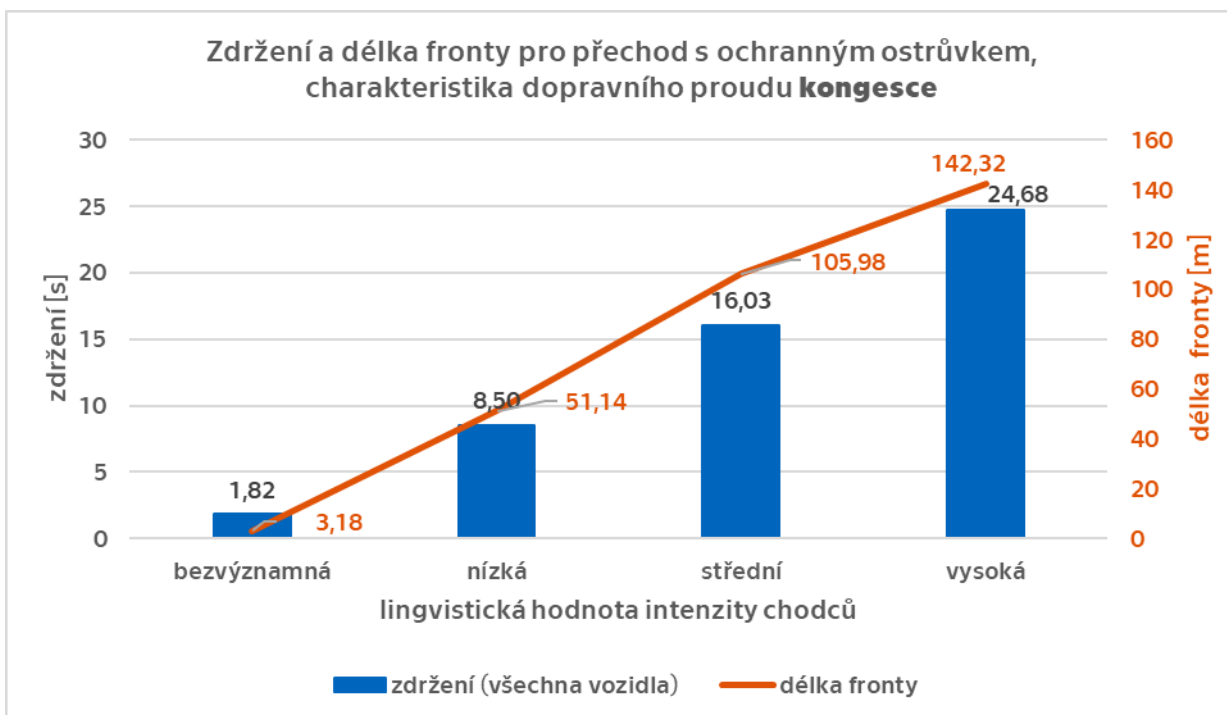


Graf 8 Přehled zdržení a délky fronty pro charakteristiku dopravního proudu saturovaný pro přechod s ochranným ostrůvkem.

Pro charakteristiku dopravního proudu nestabilní (Graf 9) a kongesce (Graf 10) je patrná změna trendu, a to zmírněním exponenciálního trendu nárůstu v případě charakteristiky dopravního proudu nestabilní. Pro charakteristiku dopravního proudu kongesce je pozorovatelný téměř lineární trend.

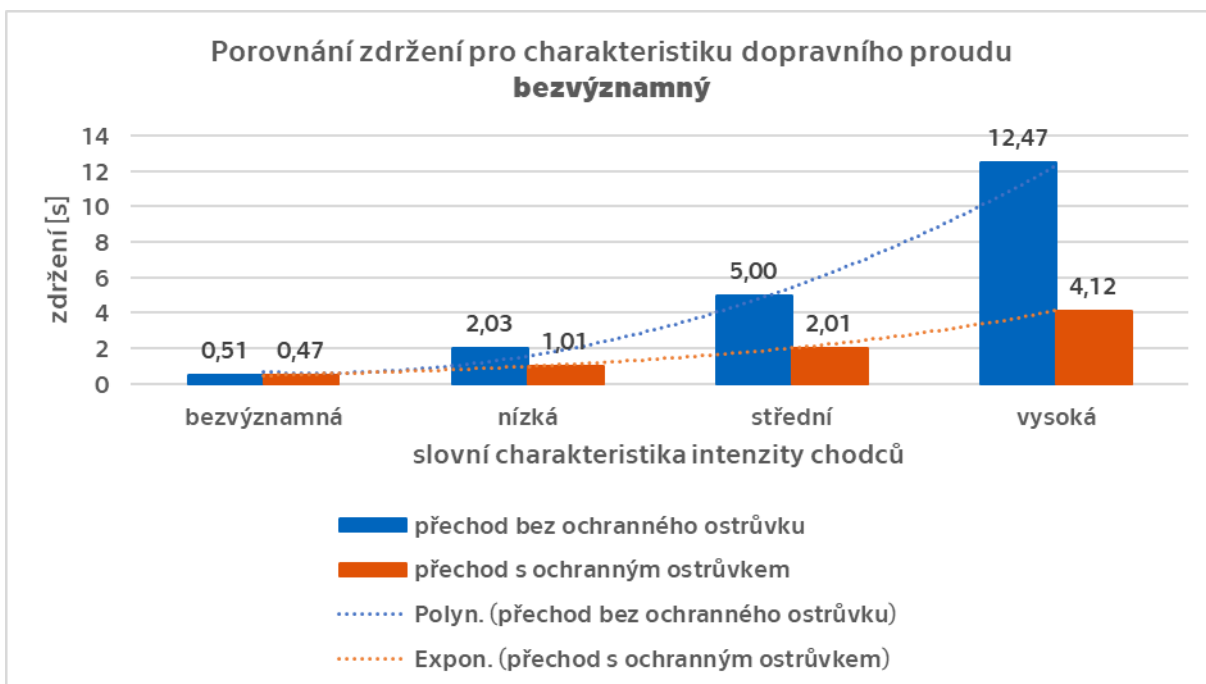


Graf 9 Přehled zdržení a délky fronty pro charakteristiku dopravního proudu nestabilní pro přechod s ochranným ostrůvkem.



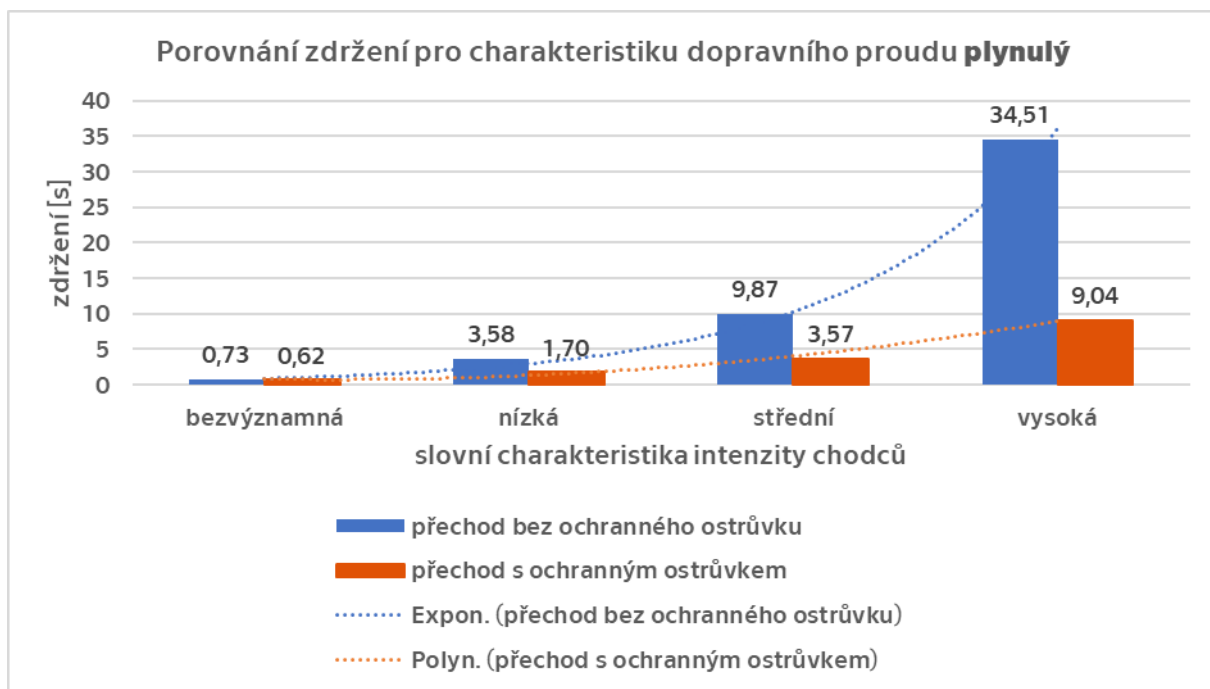
Graf 10 Přehled zdržení a délky fronty pro charakteristiku dopravního proudu nestabilní pro přechod s ochranným ostrůvkem.

V následující části dojde k porovnání zdržení obou typů přechodů vůči sobě. Již v případě charakteristiky dopravního proudu bezvýznamný (Graf 11) zde dochází k poměrně velkým rozdílům, patrný je i odlišný trend růstu zdržení.



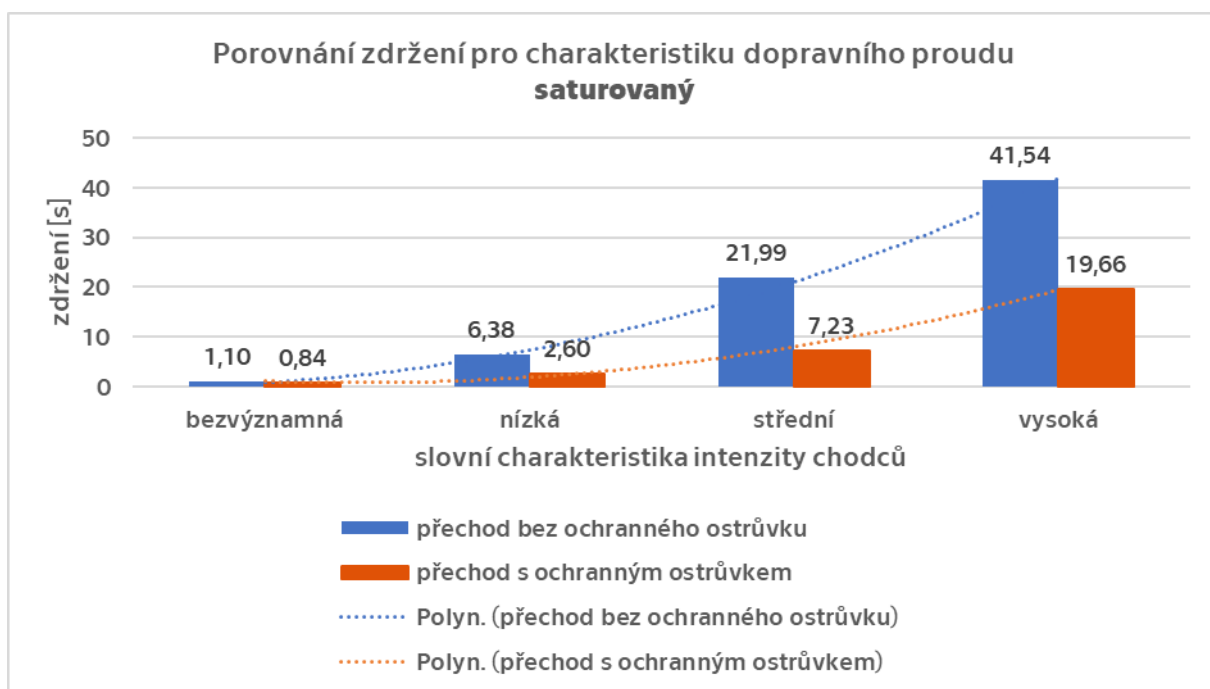
Graf 11 Porovnání zdržení pro oba typy přechodů pro charakteristiku dopravního proudu bezvýznamný.

Obdobně tomu je i v případě dopravního proudu plynulý, který uvádí Graf 12. Pro případ charakteristiky chodců vysoká je rozdíl ve zdržení přes 25 s. Obdobně trend pokračuje i pro charakteristiku dopravního proudu saturovaný (Graf 13).

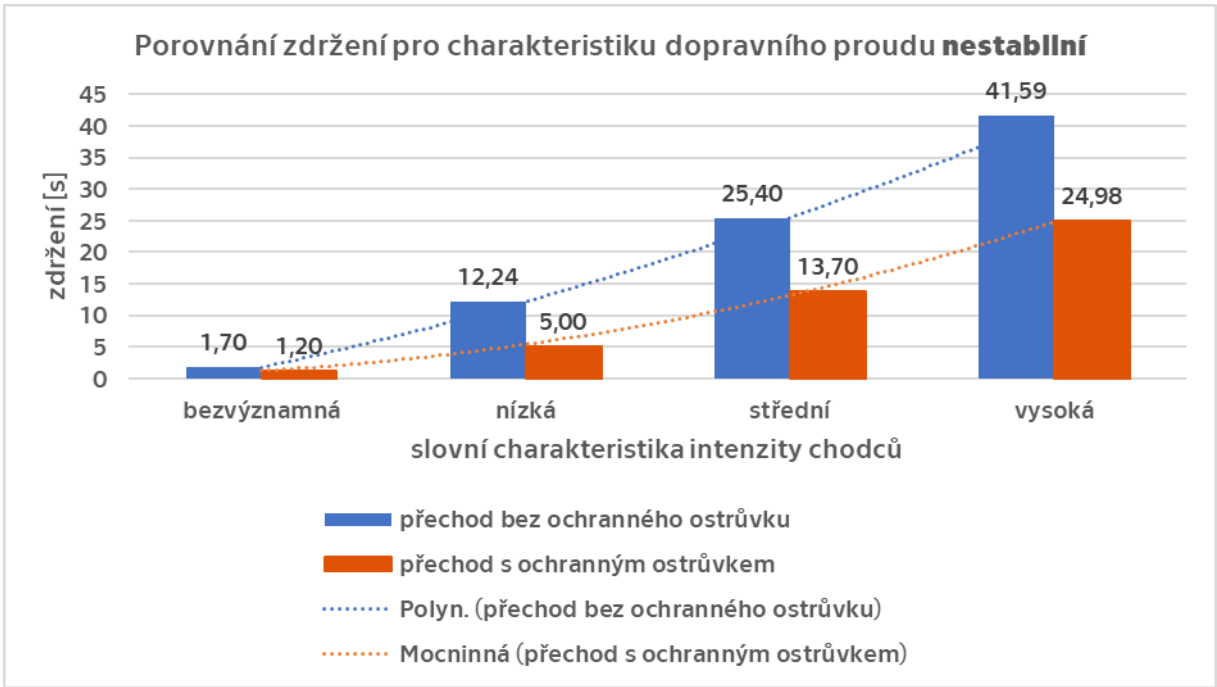


Graf 12 Porovnání zdržení pro oba typy přechodů pro charakteristiku dopravního proudu plynulý.

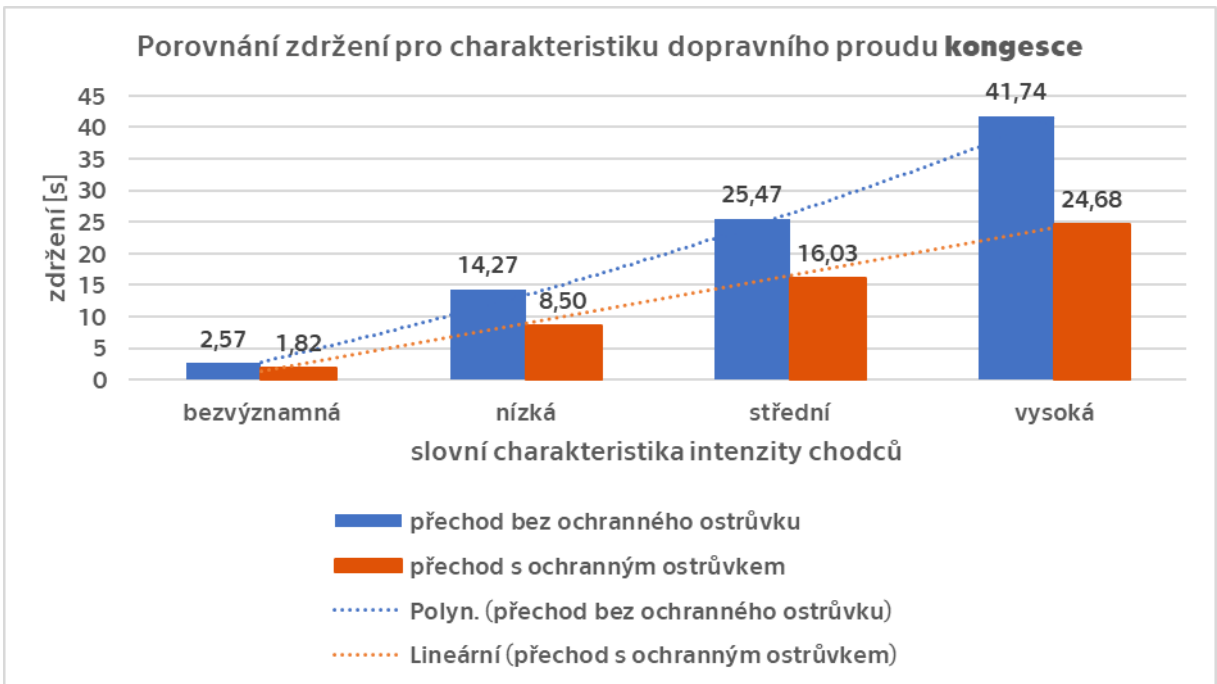
Stejně jako v předchozích grafech, pozorovaný trend pokračuje pro zbývající charakteristiky dopravního proudu (Graf 14 a Graf 15).



Graf 13 Přehled Porovnání zdržení pro oba typy přechodů pro charakteristiku dopravního proudu saturovaný.



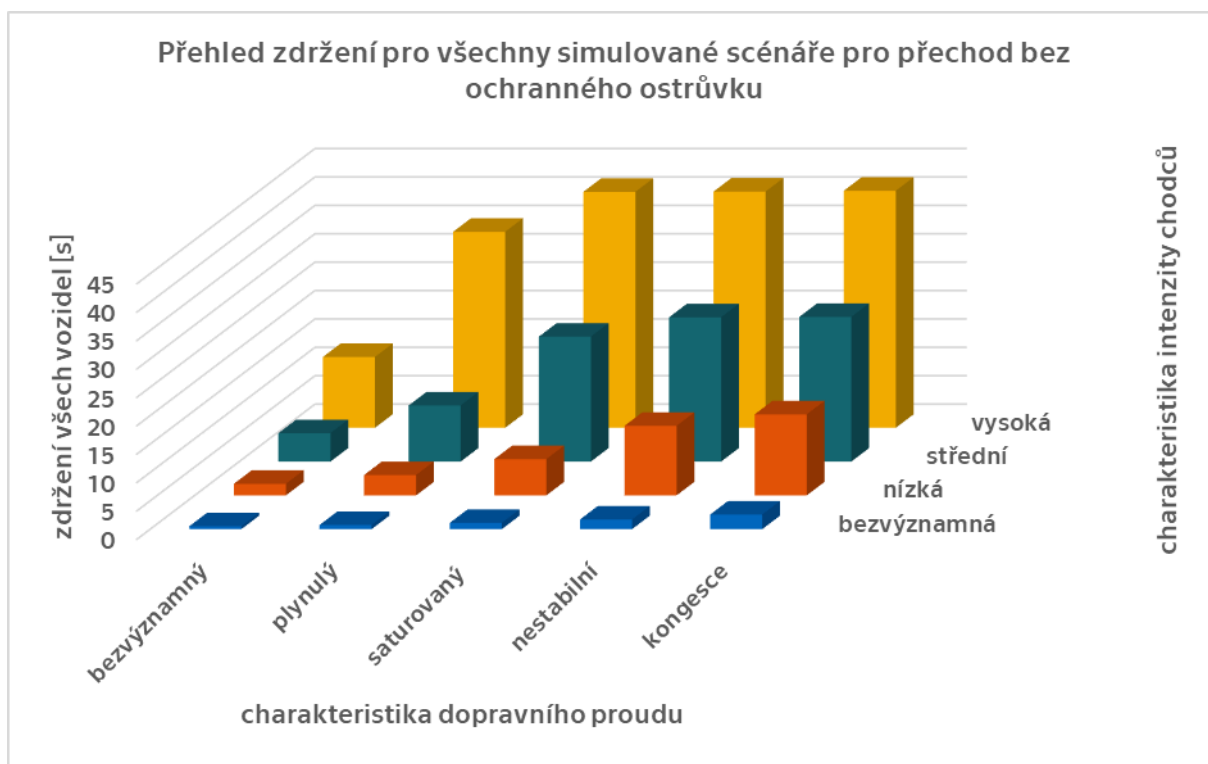
Graf 14 Porovnání zdržení pro oba typy přechodů pro charakteristiku dopravního proudu *nestabilní*.



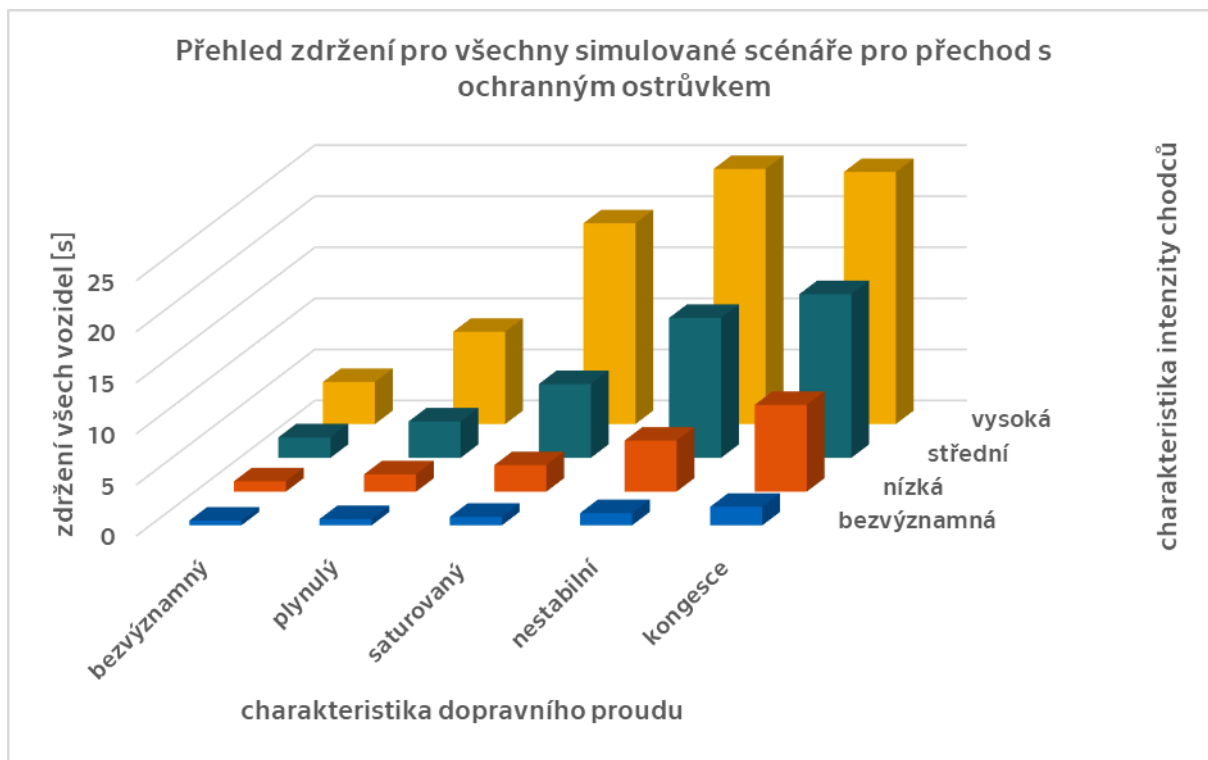
Graf 15 Porovnání zdržení pro oba typy přechodů pro charakteristiku dopravního proudu *kongesce*.

4.1.4 Závěry plynoucí ze simulace průjezdu přechodem pro chodce

Na následujících grafech (Graf 16 a Graf 17) je uvedeno srovnání zdržení pro všechny kombinace charakteristik dopravního proudu a všechny charakteristiky chodců.



Graf 16 Přehled všech simulovaných variant scénářů pro přechod bez ochranného ostrůvku.



Graf 17 Přehled všech simulovaných variant scénářů pro přechod s ochranným ostrůvkem.

Obecně lze konstatovat, že lineární zvyšování intenzity chodců vyvolává nelineární (exponenciální/mocninnou) změnu zdržení všech vozidel v dopravním proudu. Při modelování varianty přechodu bez ochranného ostrůvku došlo k maximálnímu zdržení 41,74 sekund a délce fronty 322,69 metrů pro kombinaci hodnoty intenzity chodců vysoká a charakteristiku dopravního proudu kongesce. Pro stejnou kombinaci parametrů bylo zdržení pro konfiguraci s dopravním (ochranným) ostrůvkem 24,68 sekund a délka fronty 142,32 metrů. Z výše prezentovaných grafů se dá usoudit, že zřízení ochranného ostrůvku přináší výraznou úsporu zdržení a zkrácení délky fronty, které činí v extrémních případech až 50% rozdíl ve zdržení oproti variantě bez ochranného ostrůvku. Hypotéza „**přechod pro chodce s ochranným ostrůvkem bude mít vyšší výkonnost, a tudíž bude generovat menší zpoždění vozidel, a tedy i spoju veřejné dopravy jedoucích v proudu těchto vozidel**“ je tedy potvrzena. V praxi to znamená, že v určitých případech je výhodné zřizovat neřízené přechody rozdělené dopravním (ochranným) ostrůvkem pro chodce. Toto uspořádání se jeví jako vhodný mezistupeň pro varianty neřízeného přechodu bez ochranného ostrůvku a přechodu pro chodce bez ochranného ostrůvku, který je řízený SSZ.

4.2 Výjezd ze zastávky v zálivu

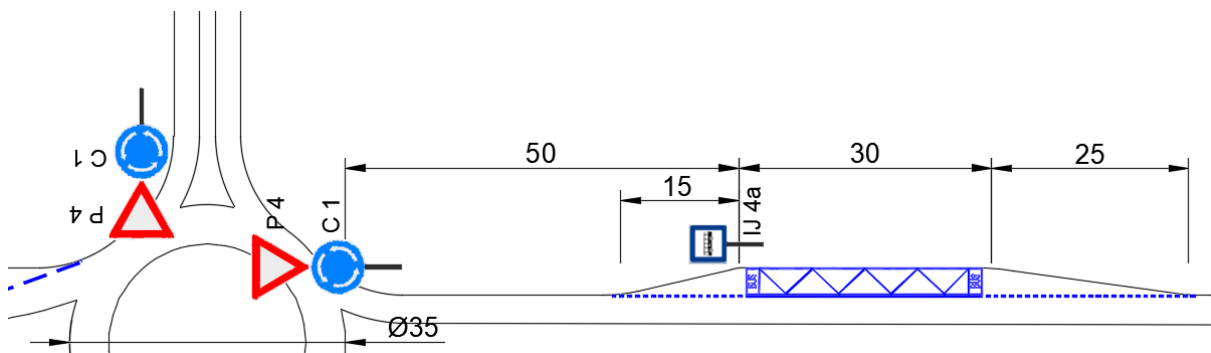
Jednou z možných provedení zastávky jak v intravilánu, tak v extravilánu je tzv. zastávkový záliv. Podle ČSN 73 6425-1 patří zastávkový záliv do kategorie zastávek „mimo jízdní pruh“, typ II. Toto řešení zastávky bylo hojně používáno v minulosti a princip stavebního provedení odpovídá tehdejšími dopravně-inženýrskými principům, jelikož **toto uspořádání neposkytuje vozidlům VHD systémovou přednost v jízdě**. Míra přednosti vozidel VHD závisí na chování ostatních účastníků silničního provozu. Dle Standardu zastávek PID se doporučuje tento typ zastávkového stanoviště použít pouze ve zvlášť odůvodněných případech, kterým je například umístění v těsné blízkosti za okružní křižovatkou nebo za velmi vytíženou křižovatkou. [14] [15]

Při výjezdu ze zastávkového zálivu mají vozidla VHD v intravilánu přednost před ostatními vozidly (dle § 25 zákona 361/2000 Sb.), přičemž tyto vozidla nesmí řidiči vozidel VHD ohrozit. Z praxe je patrné, že ne všichni řidiči IAD toto pravidlo dodržují. [7]

4.2.1 Dopravně-inženýrské uspořádání

Pro simulaci zastávkového zálivu v programu PTV Vissim bylo využito následujících stavebních parametrů (Obrázek 18): Vjezdový klín o délce 25 metrů , výjezdový klín

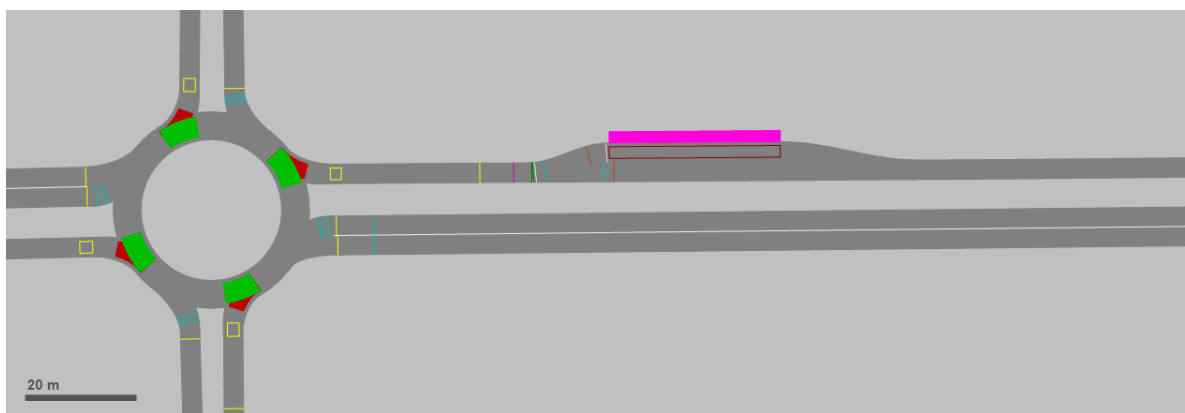
o délce 15 metrů. Tyto hodnoty vycházejí ze Standardu zastávek PID, respektive z hodnot normy ČSN 736425-1 pro místní sběrné komunikace. [14] [15]



Obrázek 18 Schéma polohy zastávkového zálivu vůči okružní křižovatce včetně rozměrů.

4.2.2 Nastavení simulace pro konkrétní manévr

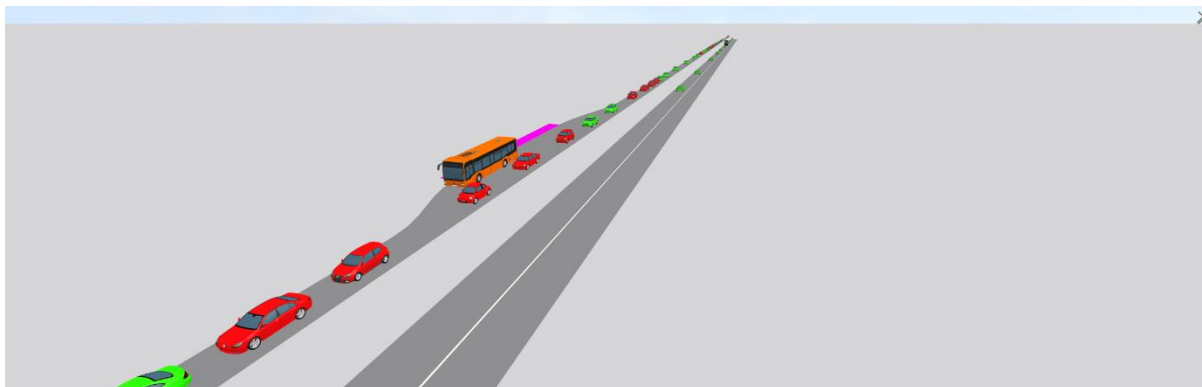
Jak ukazuje Obrázek 19, v rámci tohoto manévru bylo přistoupeno k umístění okružní křižovatky s jedním jízdním pruhem na okruhu za zastávkový záliv (ve směru dopravního proudu) za účelem snížení kapacity komunikace tak, aby mohlo dojít k simulaci všech charakteristik dopravního proudu.



Obrázek 19 Situace polohy zastávkového zálivu vůči okružní křižovatce.

Očekávanými parametry, které ovlivňují zdržení, je intenzita v přilehlém pruhu, jeho rychlost a také podíl vozidel, která respektují zákonnou povinnost dát vozidlu VHD vyjíždějícímu ze zastávkového zálivu přednost. Jak bylo zmíněno výše, vzhledem k nedodržování zákona ze strany řidičů byly vytvořeny 2 skupiny vozidel (pomocí vehicle classes) a to řidiči, kteří autobusům VHD dávají přednost v jízdě a dále ti, kteří zákonnou povinnost dát přednost v jízdě nerespektují. Vzhledem k těmto dvěma odlišným skupinám byla přednost v jízdě, na rozdíl od ostatních zkoumaných manévřů, řešena pomocí funkce Priority Rules. Obrázek 20 ukazuje 3D vizualizaci situace včetně

obou skupin řidičů, přičemž řidiči zelených vozidel dávají přednost v jízdě, naopak řidiči vozidel červených přednost nedávají.



Obrázek 20 3D pohled simulace výjezdu ze zastávky v zálivu.

V souvislosti s modelováním této simulace byla vyslovena následující hypotéza: **„Zdržení vozidel bude silně záviset na podílu řidičů, kteří dají vozidlu VHD přednost.“**

Na základě expertního odhadu byly pro lingvistické hodnoty charakteristik dopravního proudu zvoleny následující intenzity (Tabulka 7):

Tabulka 7 Přiřazené hodnoty IAD pro dané lingvistické hodnoty dopravního proudu.

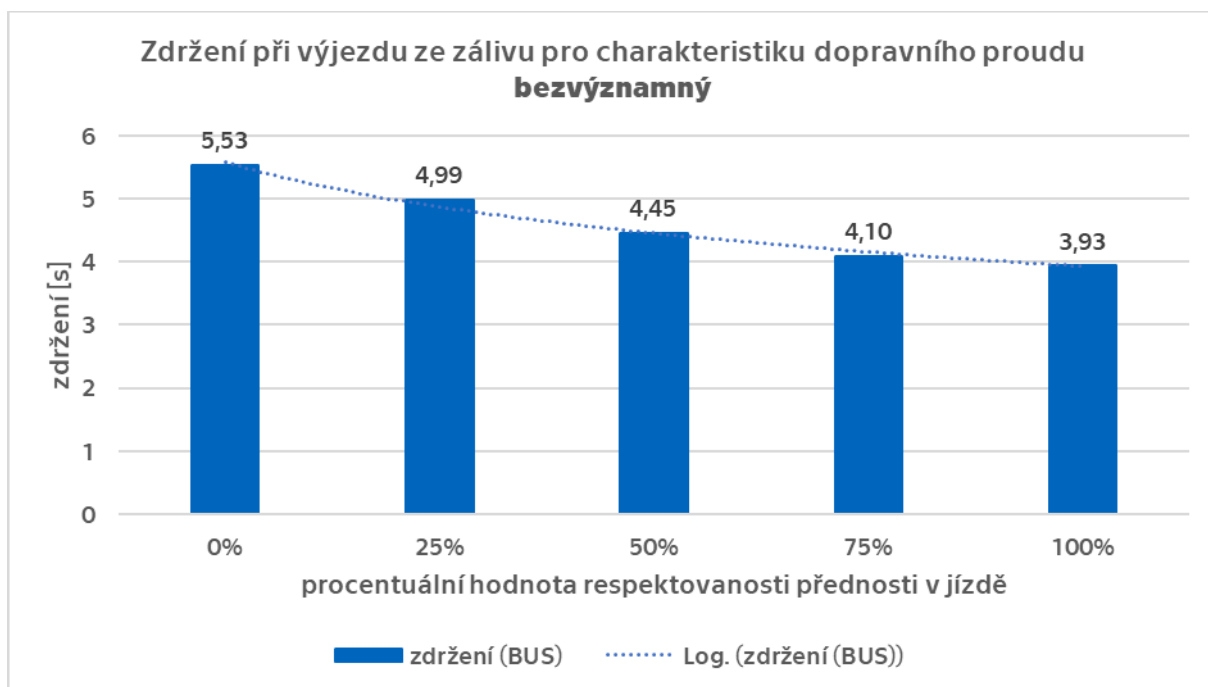
lingvistická hodnota	Přiřazená intenzita dopravního proudu [voz/hod]
bezvýznamný	500
plynulý	600
saturovaný	700
nestabilní	800
kongesce	900

Z hlediska parametru respektovanosti byly vytvořeny celkem čtyři verze skladby dopravního proudu, a to s podíly nerespektujících řidičů 0 %, 25 %, 50 % a 100 %. Celkem bylo tedy simulováno 5x4 scénářů.

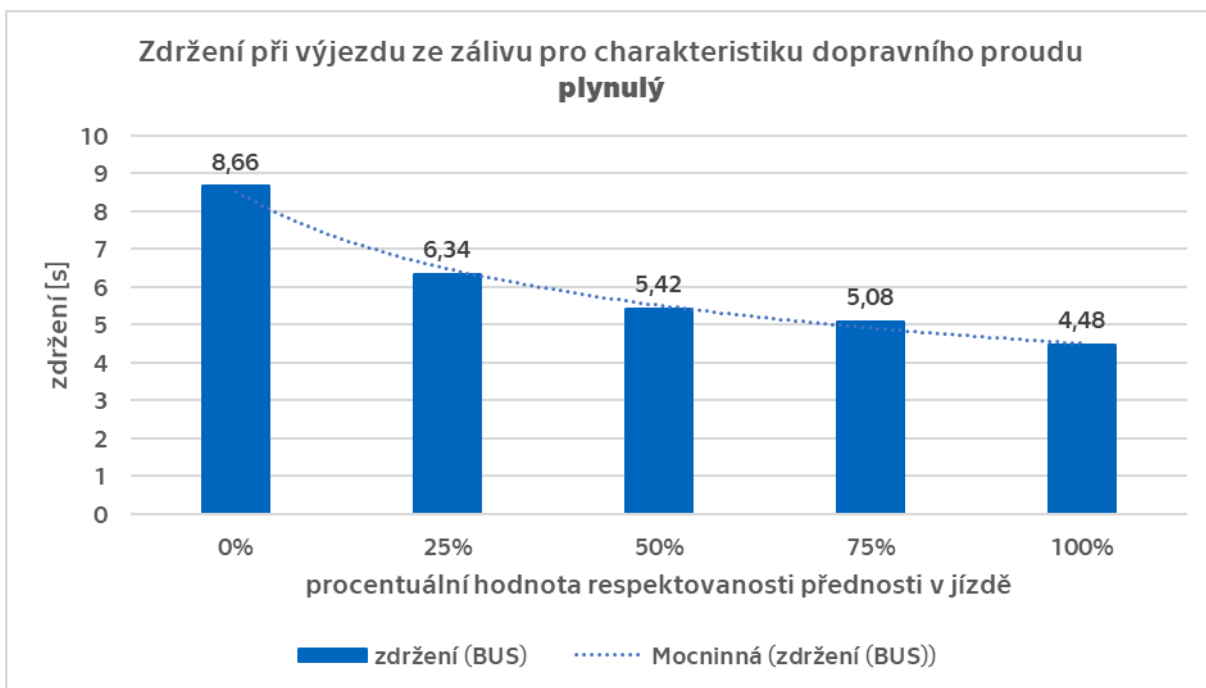
Na rozdíl od ostatních simulovaných scénářů, v tomto případě došlo k měření zdržení pomocí nástroje Vehicle Delay Times, a to z důvodu jednodušší aplikace, která byla v tomto případě dostačující.

4.2.3 Výsledky simulace

Graf 18 a Graf 19 indikují zcela minimální zdržení, a to v případě 100% respektovanosti při charakteristice dopravního proudu bezvýznamný, konkrétně 3,93 sekund. V případě charakteristiky dopravního proudu bezvýznamný není rozdíl v délce zdržení vlivem respektovanosti přednosti v jízdě. Jak ale ukazuje Graf 19, pro charakteristiku dopravního proudu plynulý se tento rozdíl mezi jednotlivými podíly respektovanosti zvětšuje.

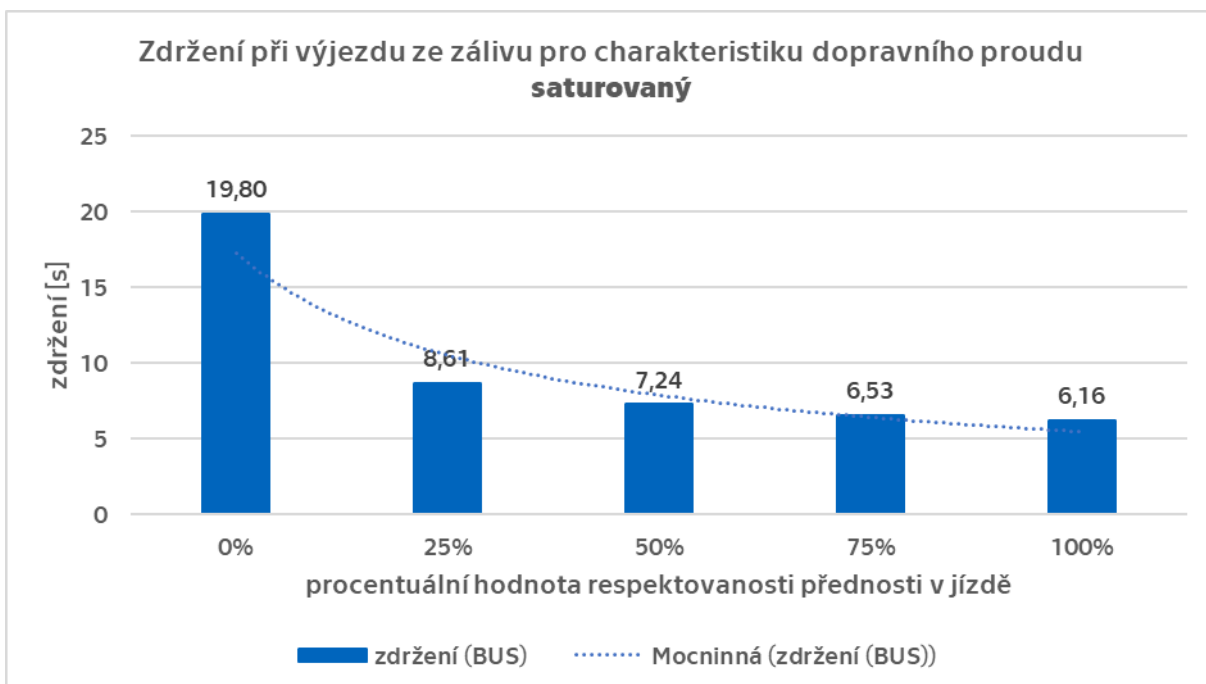


Graf 18 Zdržení při výjezdu ze zálivu pro charakteristiku dopravního proudu bezvýznamný.

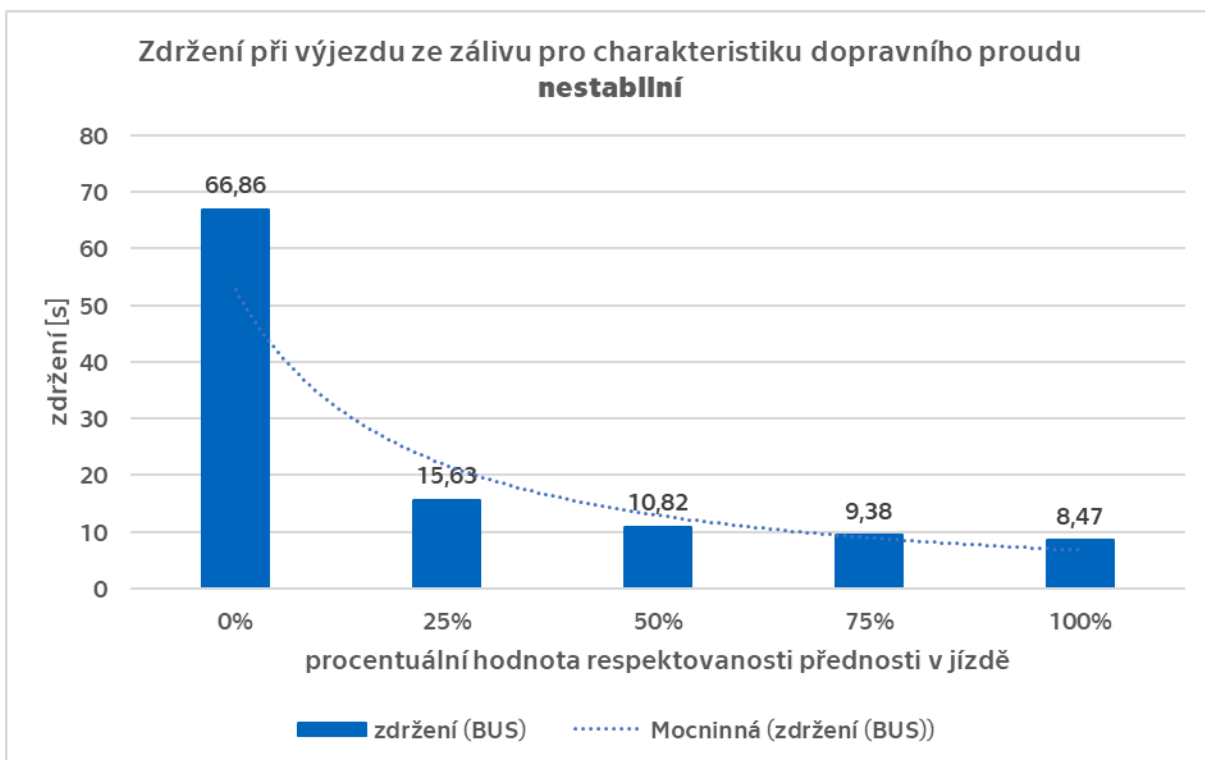


Graf 19 Zdržení při výjezdu ze zálivu pro charakteristiku dopravního proudu plynulý.

Pozorovatelný trend pro Graf 18 a Graf 19 lze sledovat i v následujících situacích, které popisuje Graf 20 a Graf 21. Hodnota zdržení pro charakteristiky saturovaný a nestabilní pro respektovanost 0 % nadále roste a odchyluje se od zbytku dat. Zdržení pro 25% až 100% respektovanost se pohybuje mezi 6 a 9 sekundami, pro 0% respektovanost se hodnota zdržení vyšplhala již na bezmála 20 sekund.

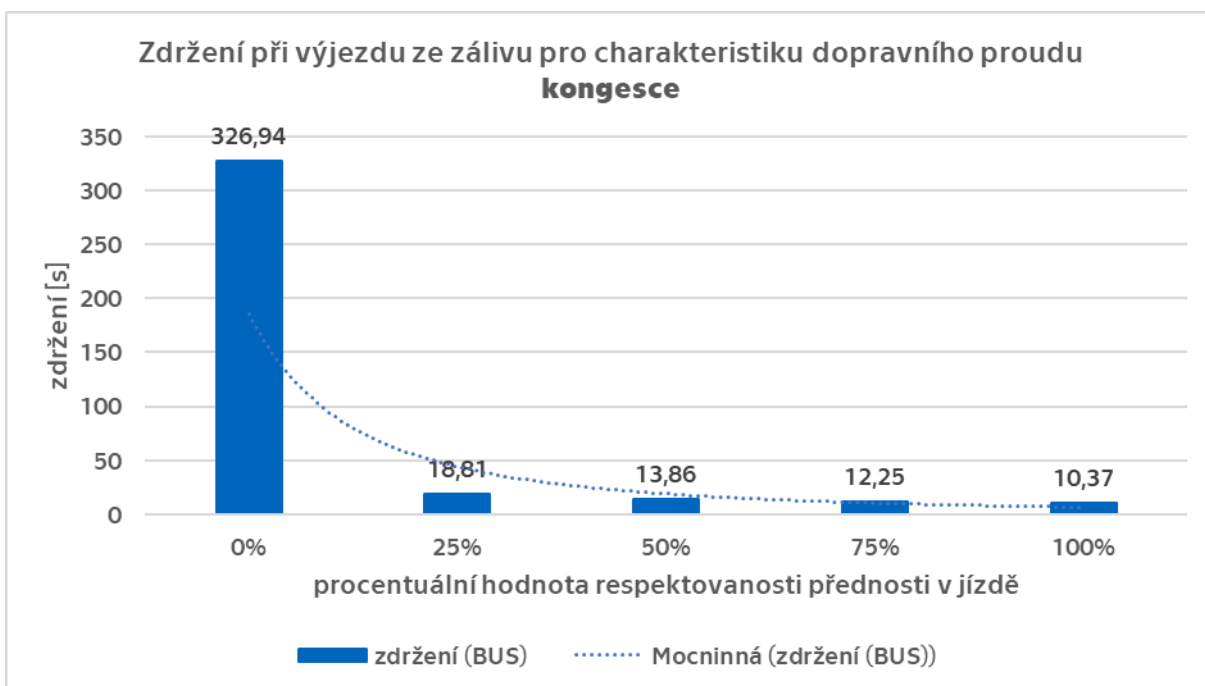


Graf 20 Zdržení při výjezdu ze zálivu pro charakteristiku dopravního proudu saturovaný.



Graf 21 Zdržení při výjezdu ze zálivu pro charakteristiku dopravního proudu nestabilní.

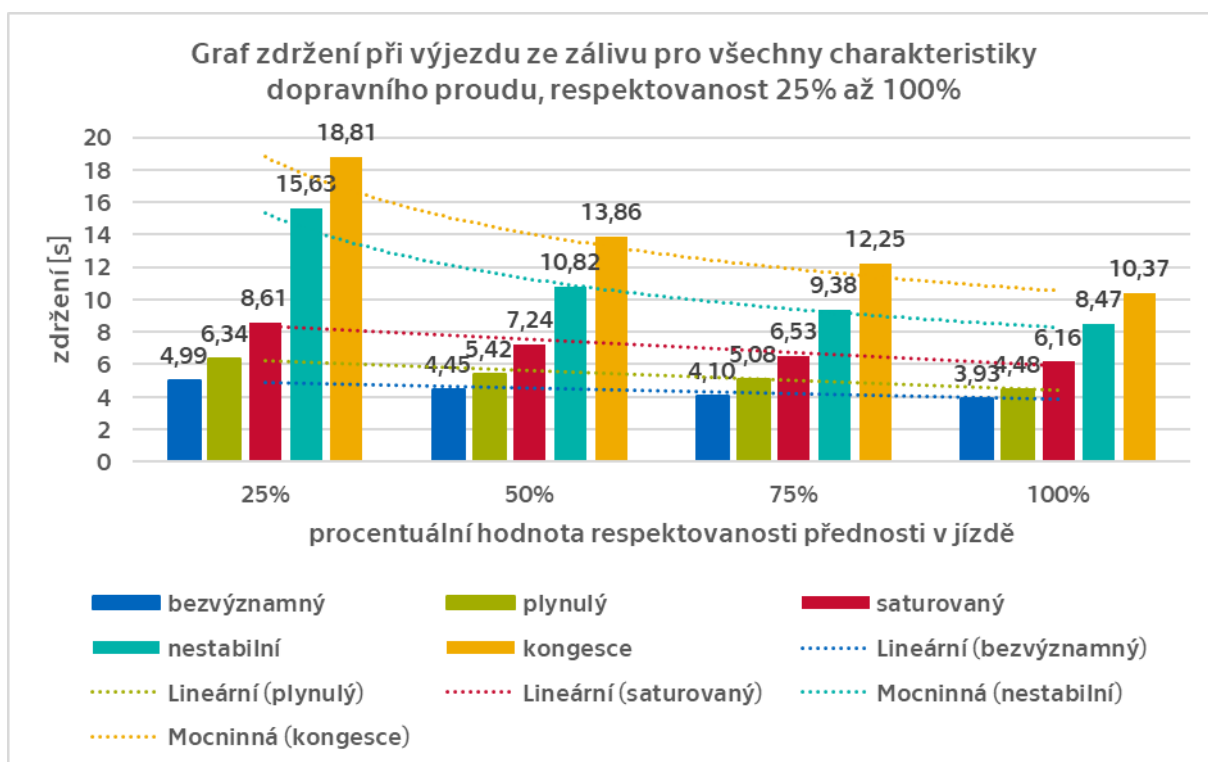
Z grafů výše je patrné, že respektovanost 0 %, zdržení pro charakteristiky dopravního proudu s rostoucí hodnotou intenzit vozidel významně roste a odchyluje se od ostatních podílů respektovanosti, což potvrzuje i Graf 22. Z tohoto důvodu byla 0% hodnota respektovanosti z finálního přehledu (Graf 23) vypuštěna.



Graf 22 Zdržení při výjezdu ze zálivu pro charakteristiku dopravního proudu kongesce.

4.2.4 Závěry plynoucí ze simulace výjezdu ze zastávky v zálivu

Souhrnný Graf 23 ukazuje, že největší odchylku zdržení od ostatních dat vykazují charakteristiky dopravního proudu nestabilní a kongesce, kde je také, na rozdíl od ostatních charakteristik, patrný nelineární trend. Charakteristiky dopravního proudu bezvýznamný, plynulý a saturovaný vykazují lineární trend s nízkým vzájemným rozptylem.



Graf 23 Přehled zdržení při výjezdu pro 25% až 100% podíly respektovanosti.

Na základě simulací je možné konstatovat, že zastávkový záliv bude vždy generovat zdržení (například vůči zastávce v jízdním pruhu), což potvrzuje současný trend, který zřizování zastávek v zálivu v intravilánu nedoporučuje. Tato forma konstrukce zastávky tedy není vhodná jak z prostorových důvodů, ale i z hlediska preference veřejné dopravy. Podle podílů respektovanosti lze usoudit, že vliv podílu respektujících vozidel hraje signifikantní úlohu pouze pro charakteristiky dopravního proudu nestabilní a kongesce. Vyslovená hypotéza, že „zdržení vozidel bude silně záviset na podílu řidičů, kteří dají vozidlu VHD přednost“ **je tedy vyvrácena.** [15]

4.3 Odbočení vpravo z vedlejší pozemní komunikace (křižovatka neřízená SSZ)

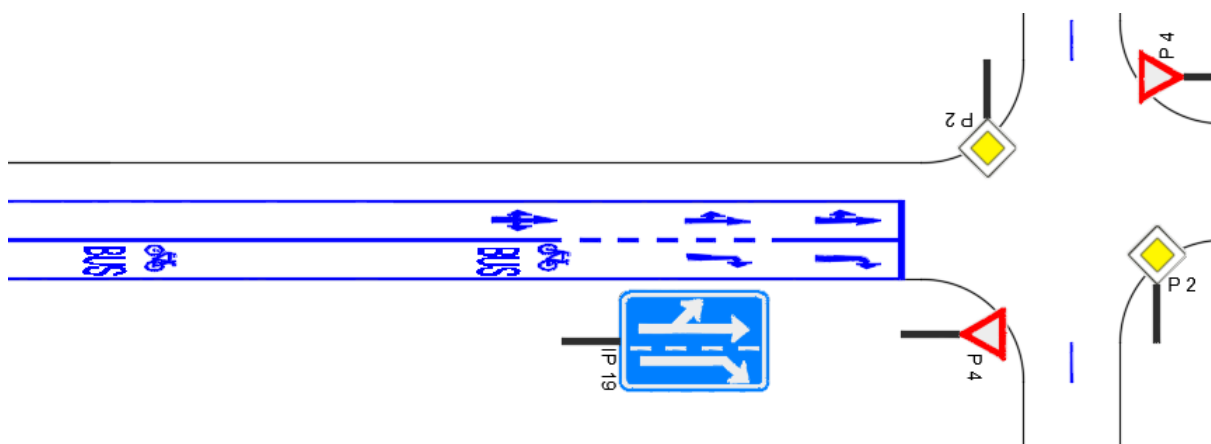
Cílem modelování této situace bylo zjistit zdržení při situacích, kdy vozidlo veřejné dopravy odbočuje z vedlejší komunikace vpravo na komunikaci hlavní, a to na křižovatkách světelně neřízených, které jsou vysoce vytížené (na hraně kapacity). Pro modelování byla jako vzorová situace zvolena průsečná křižovatka s rameny, která jsou si navzájem kolmá. Vnitřní poloměr oblouků byl zvolen na hodnotu 12 m. Dle principu dekompozice pohybu vozidla byl pohyb vozidla rozčleněn na příjezd ke stopčáře a dále samotný křižovatkový pohyb.

Přednost v jízdě byla nastavena tak, aby vědomě nerespektovala některé z principů systémové přednosti v jízdě (kapitola 2), a to konkrétně úprava přednosti v jízdě podle pohybu spojů VHD. Bohužel nelze ve všech případech lze určit hlavní komunikaci ve prospěch provozu spojů VHD, například z důvodu nerovnoměrných intenzit v jednotlivých směrech, což je i případ této modelové situace.

Pro případ příjezdu vozidla ke stopčáře bylo vytvořeno několik scénářů ukončení vyhrazeného jízdního pruhu před křižovatkou včetně krajní varianty, kterou je zákaz odbočení vpravo mimo autobusů. V tomto případě tedy bude teoretické zdržení na příjezdu ke stopčáře minimální. Na základě posledního zmíněného scénáře dochází k ohodnocení zdržení při samotném křižovatkovém manévru.

4.3.1 Dopravně-inženýrské uspořádání

K simulaci byla využita průsečná křižovatka s rameny svírajícími pravý úhel. Ramena vedlejších komunikací vstupují do křižovatky se dvěma řadícími pruhy, což ukazuje Obrázek 21.



Obrázek 21 Dopravně-inženýrské schéma pro odbočení vpravo na křižovatce neřízené SSZ.

Pro ověření funkčnosti a efektu vyhrazeného řadicího pruhu byly uvažovány následující varianty vyhrazeného jízdního pruhu pro vozidla VHD:

První verzí je vyhrazený jízdní pruh s koncem u stopčáry, přičemž je v tomto případě zakázáno ostatním vozidlům zakázáno odbočení vpravo (*pro tuto variantu neplatí intenzity na vedlejší komunikaci ani rozpad dopravního proudu uváděné v kapitole 4.3.2*). Tato varianta byla vytvořena pro výpočet zdržení při samotném křižovatkovém manévru, není tedy porovnávána s variantami ostatními. Dle autora je tato varianta z důvodu vyloučení odbočení pro všechna ostatní vozidla v praxi nepřijatelná.

Dalšími čtyřmi variantami jsou varianty, kde vyhrazený jízdní pruh končí v určité délce před stopčárou. V případě minimální varianty je VJP ukončen 25 metrů od stopčáry, přičemž řadicí pruhy mají limitní délku 10 metrů a oblast pro průplet vozidel o délce 15 metrů (dále uváděno jako „varianta 25 m“). Další varianty přidávají pro jednotlivé skladební prvky po pěti metrech tak, jak uvádí Tabulka 8. Poslední, pátou porovnávanou variantou, je situace bez vyhrazeného jízdního pruhu. [16]

Tabulka 8 Přehled uvažovaných variant ukončení vyhrazeného jízdního pruhu pro pravé odbočení z vedlejší komunikace.

název varianty	délka řadícího pruhu	délka oblasti pro průplet vozidel
Bez odbočení	pouze odbočení BUS	-
25 m	10 m	15 m
35 m	15 m	20 m
45 m	20 m	25 m
55 m	25 m	30 m
bez VJP	25 m	-

Dle očekávání a zkušeností z praxe a obecně relativní nenáročností pravého odbočení vpravo z vedlejší komunikace byla pro variantu odbočení vpravo stanovena následující hypotéza: „**Efekt vyhrazeného jízdního pruhu před křižovatkou pro manévr pravé odbočení z vedlejší komunikace se projeví pouze v případech vysokých intenzit na všech ramenech křižovatky.**“

4.3.2 Nastavení parametrů simulace

Pro nastavení simulace bylo zapotřebí nastavit jak hodnoty intenzit na hlavní a vedlejší komunikaci, tak i rozpad dopravního proudu (poměr odbočujících vozidel). Konkrétní hodnoty intenzit na hlavní a vedlejší uvádí Tabulka 9 a Tabulka 10. Vzhledem k velkému množství variant byl počet možností zúžen na 3 scénáře intenzit na hlavní komunikaci (charakteristiky: saturovaný – nestabilní – kongesce) místo původních pěti variant. Důvodem je i očekávaný efekt pouze v těchto scénářích, jelikož pro nízké zatížení křižovatek z hlediska intenzit jak na hlavní, tak vedlejší komunikaci nutnost preference vozidel VHD odpadá.

Tabulka 9 Přiřazené hodnoty intenzit pro slovní charakteristiky pro hlavní komunikaci.

lingvistická hodnota	Přiřazená intenzita dopravního proudu [voz/hod]
saturovaný	600
nestabilní	650
kongesce	700

Tabulka 10 Přiřazené hodnoty intenzit pro slovní charakteristiky pro sledované rameno vedlejší komunikaci.

lingvistická hodnota	Přiřazená intenzita dopravního proudu [voz/hod]
bezvýznamný	100
plynulý	150
saturovaný	200
nestabilní	250
kongesce	300

Poměr odbočení vozidel byl nastaven následovně: 80 % vozidel jedoucích po hlavní pozemní komunikaci pokračuje přímo a zůstane na hlavní komunikaci, 20 % odbočí vpravo a vlevo symetricky, a to 10 % vlevo a 10 % vpravo. V případě sledovaného ramene, kde se měří zpoždění při měření vpravo, 60 % řidičů odbočí vpravo, 30 % odbočí vlevo a pouze 10 % pokračuje přímo. Provoz vozidel VHD kopíruje silnější směr. Pro přehlednost shrnuje jednotlivé poměry Tabulka 11, ve které modré podbarvení zdůrazňuje převládající směr.

Tabulka 11 Přehled poměrů odbočení z jednotlivých ramen křižovatky pro simulaci pravého odbočení z vedlejší komunikace.

dopravní proud	pokračuje		odbočuje	
	přímo	vlevo	vpravo	
z hlavní komunikace	80 %	10 %	10 %	
ze sledovaného ramene vedlejší komunikace	10 %	30 %	60 %	
ze „zbývajícího“ ramene vedlejší komunikace	10 %	45 %	45 %	

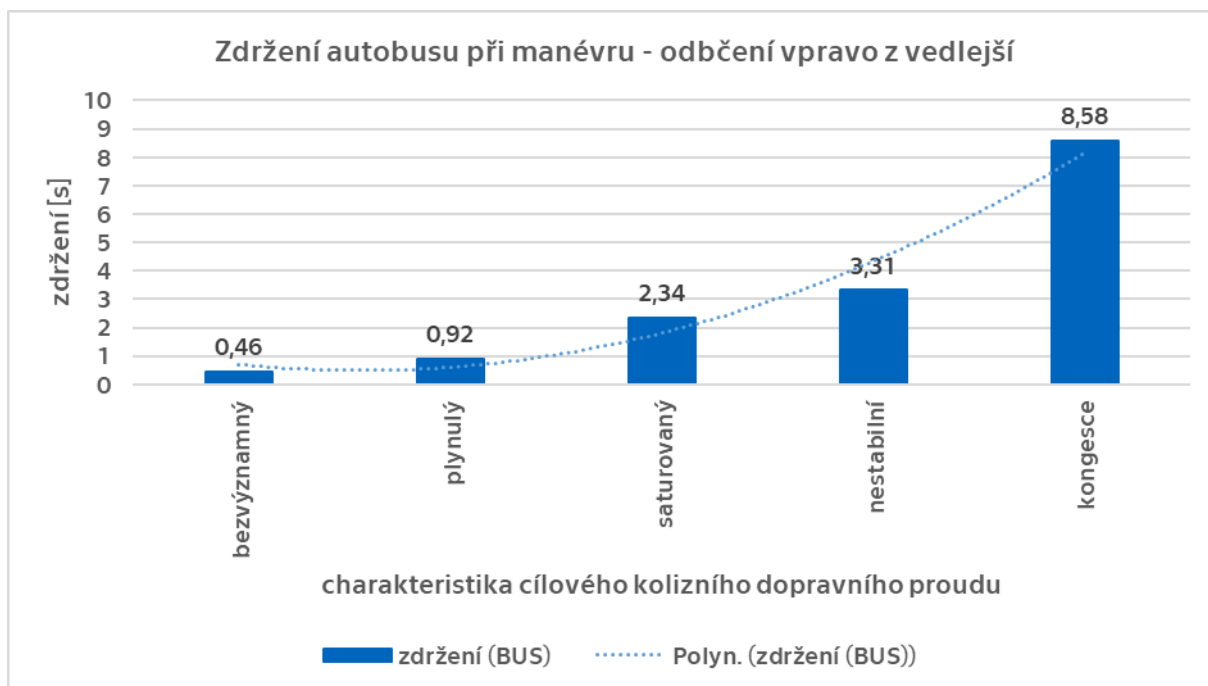
Opačné rameno bylo nastaveno jako „doplňkové“ s konstantní hodnotou intenzit 100 voz/hod s poměry odbočení 45 % vlevo, 45 % vpravo a 10 % přímo.

4.3.3 Výsledky simulace

V rámci simulace bylo vyhodnocováno zvláště zdržení při vykonávání vlastního manévru a zvláště zdržení při příjezdu ke stopčáře.

4.3.3.1 Zdržení při manévru – odbočení vpravo z vedlejší

Co se týká samotného manévru odbočení vpravo, jedná se podle očekávání o celkově bezproblémový manévr i při silném provozu, při němž hodnota zdržení nepřekročí 9 sekund. Vývoj zdržení dle charakteristiky cílového kolizního dopravního proudu ukazuje Graf 24.

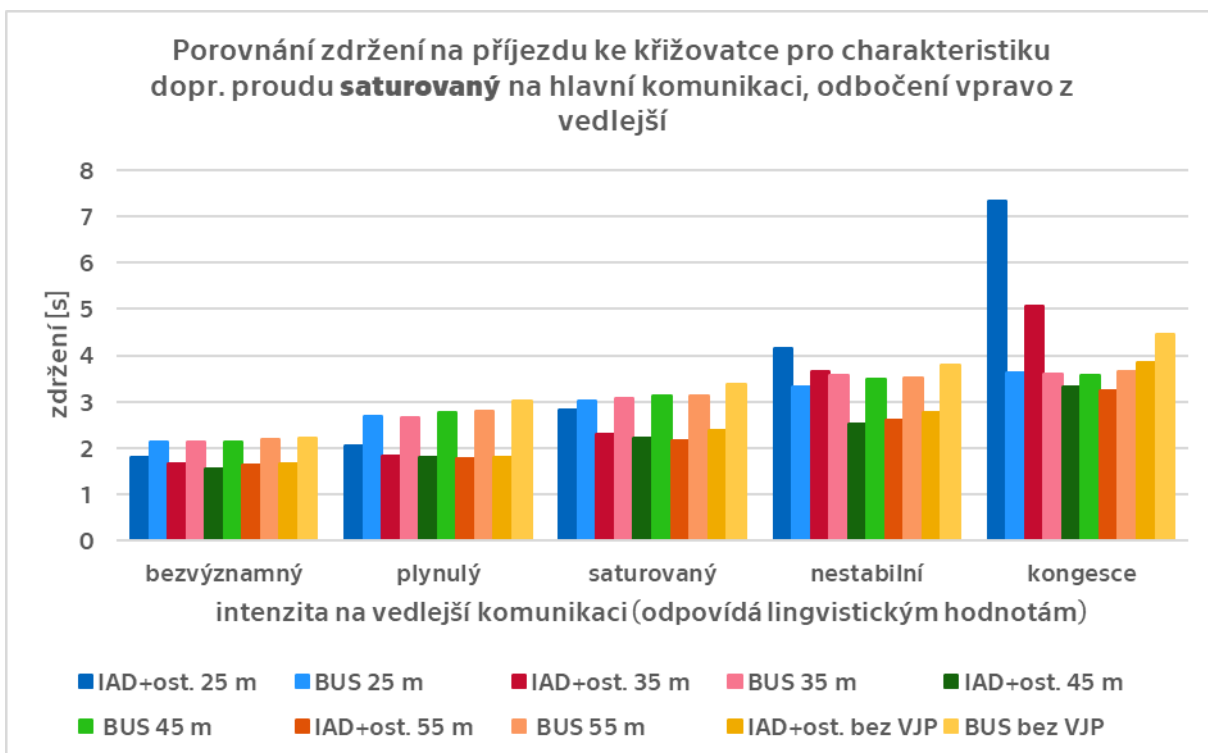


Graf 24 Přehled zdržení autobusu při manévru – odbočení vpravo z vedlejší.

4.3.3.2 Zdržení na příjezdu ke stopčáře

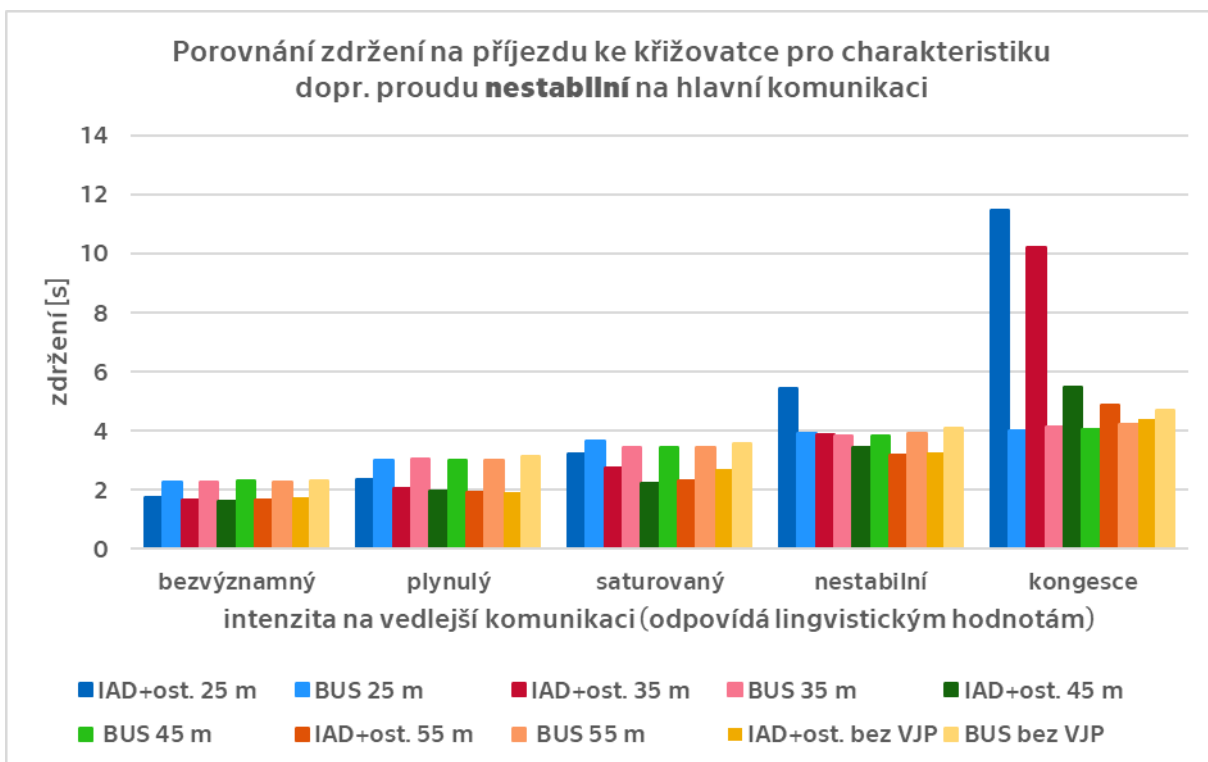
Následující grafy představují souhrnné porovnání jednotlivých variant vyhrazených jízdních pruhů (varianty 25 m – 55 m) a varianty bez vyhrazeného jízdního pruhu na příjezdu ke křižovatce. Podrobné grafy pro jednotlivé varianty řešení obsahuje **Příloha č. 1 Detailní přehled grafů příjezdu ke stopčáře pro odbočení vpravo.**

Pro charakteristiku dopravního proudu saturevaný na hlavní komunikaci (Graf 25) je efekt vyhrazeného jízdního pruhu zanedbatelný. Výraznější rozdíly ve zdržení IAD (a zbytku dopravního proudu) jsou viditelné pouze v případě charakteristiky kongesce na vedlejší komunikaci, stále se ovšem jedná o rozdíly v řádu jednotek sekund. Zároveň je vidět, že zdržení IAD je vyvoláno spíše přítomností VJP, přičemž bez tohoto řešení ke zmíněnému zdržení nedochází.



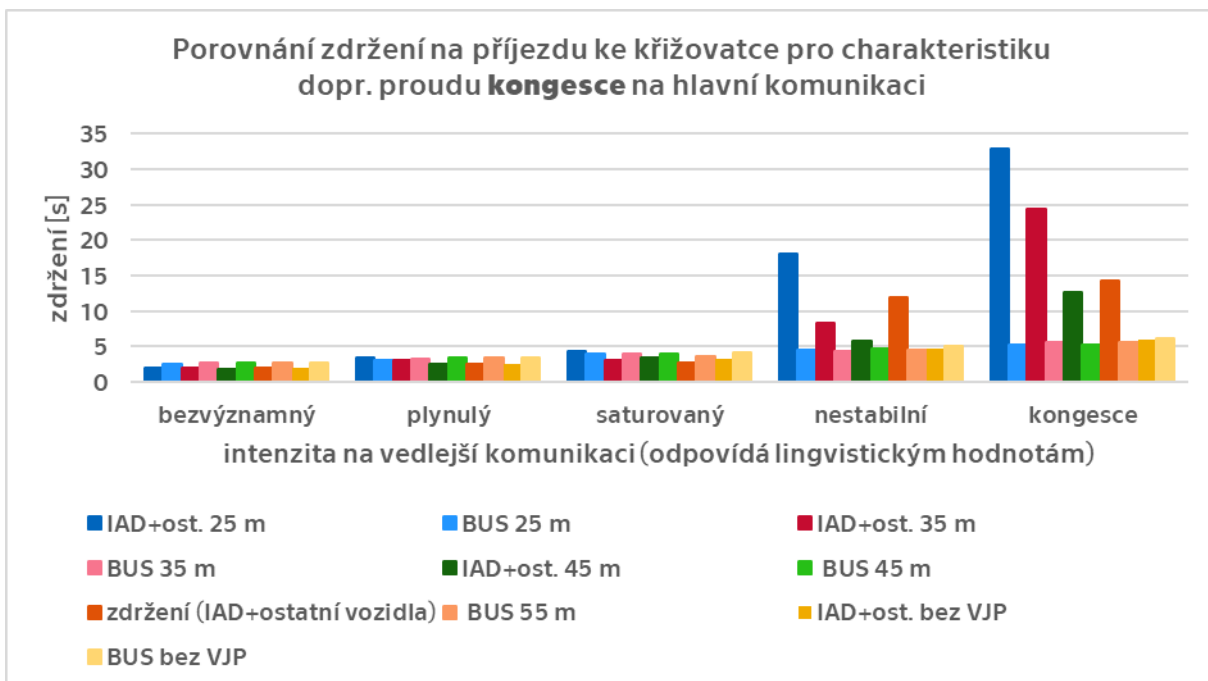
Graf 25 Porovnání variant ukončení VJP před křižovatkou pro charakteristiku dopravního proudu saturovaný na hlavní komunikaci, odbočení vpravo z vedlejší komunikace.

Výše popsaný trend se opakuje i pro charakteristiku dopravního proudu nestabilní na hlavní komunikaci (Graf 26), kde ovšem dochází ke zvyšování rozdílu zdržení v neprospěch IAD, a to zejména pro varianty 25 m a 35 m. Důležitým ukazatelem je však varianta bez VJP, u které nedochází k příliš velkému rozdílu zdržení.



Graf 26 Porovnání variant ukončení VJP před křižovatkou pro charakteristiku dopravního proudu nestabilní na hlavní komunikaci, odbočení vpravo z vedlejší komunikace.

Pozorovatelný trend je patrný i pro charakteristiku dopravního proudu kongesce, který uvádí Graf 27. Rozdíly zdržení jsou patrné pro většinu verzí ukončení VJP, ke zdržení ve verzi bez VJP ale nedochází.



Graf 27 Porovnání variant ukončení VJP před křižovatkou pro charakteristiku dopravního proudu kongesce na hlavní komunikaci, odbočení vpravo z vedlejší komunikace.

4.3.4 Závěry plynoucí ze simulace odbočení vpravo

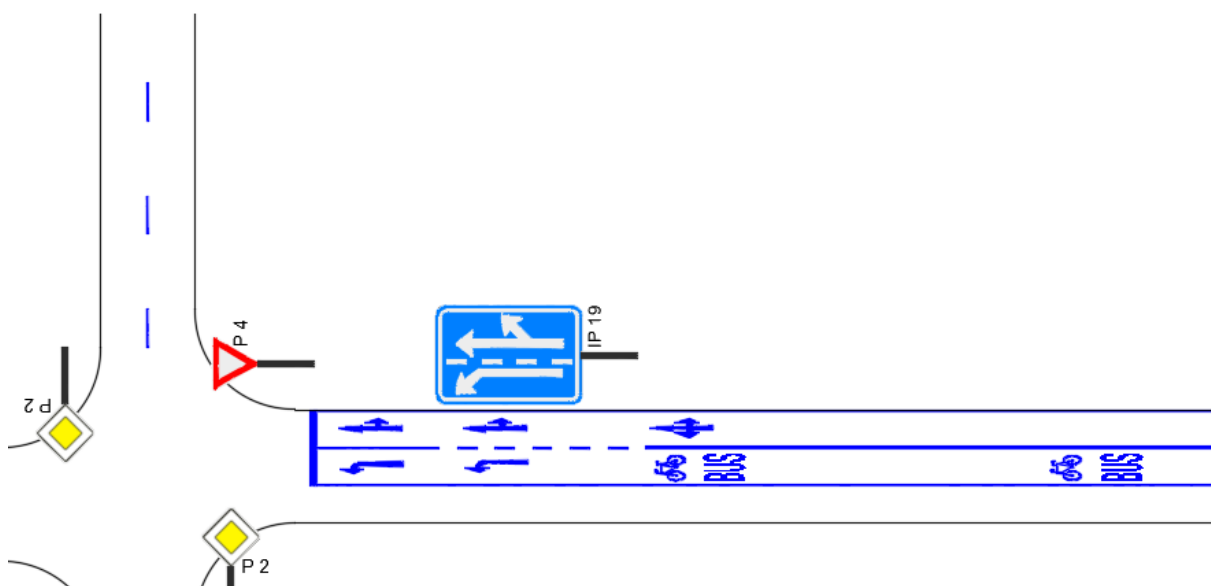
Na základě výše prezentovaných výstupů je zřejmé, že efekt vyhrazeného jízdního pruhu pro pravé odbočení z vedlejší je pro většinu uvažovaných variant zanedbatelný. Samotný charakter odbočení vpravo z vedlejší není pro vozidla VHD velkou překážkou, a to ani pro krajní varianty charakteristik intenzit dopravního proudu. Navíc zde dochází k efektu „umělého“ zdržení vozidel IAD vlivem zmenšení prostoru pro řazení vozidel před stopčárou. Tento negativní efekt by bylo možné do jisté míry tolerovat za předpokladu, že by konkrétní uspořádání s vyhrazeným pruhem přineslo časovou úsporu pro vozidla VHD, což se v případě simulací odbočení vpravo z vedlejší komunikace neprokázalo. Stanovená hypotéza, že „**efekt vyhrazeného jízdního pruhu před křižovatkou pro manévr pravé odbočení z vedlejší komunikace se projeví pouze v případech vysokých intenzit na všech ramenech křižovatky**“ **je tímto vyvrácena.**

4.4 Odbočení vlevo z vedlejší pozemní komunikace (křižovatka neřízená SSZ)

Na rozdíl od odbočení vpravo je zde očekáváno daleko vyšší zdržení, které je vyvoláno charakterem daného manévru, tzn. křížení třech kolizních směrů v křižovatce. Při čekání na splnění podmínek k bezpečnému odbočení a přítomnost přijatelné časové mezery se očekává tvorba front, při kterých najde uplatnění vyhrazený jízdní pruh pro autobusy, který „přeskočí“ většinu fronty čekajících vozidel.

4.4.1 Dopravně-inženýrské uspořádání

Tato situace byla modelována metodicky obdobně jako odbočení vpravo, tedy k simulaci byla využita průsečná křižovatka s rameny svírajícími pravý úhel. Ramena vedlejších komunikací vstupují do křižovatky se dvěma řadicími pruhy. Jiné uspořádání řadicích pruhů reflektuje i odlišné umístění vyhrazeného jízdního pruhu, které ukazuje Obrázek 22.



Obrázek 22 Dopravně-inženýrské schéma pro odbočení vlevo z vedlejší komunikace na křižovatce neřízené SSZ.

Pro ověření funkčnosti a efektu vyhrazeného řadicího pruhu byly vypracovány následující varianty vyhrazeného jízdního pruhu pro vozidla VHD, které uvádí Tabulka 12.

Tabulka 12 Přehled variant ukončení VJP pro levé odbočení z vedlejší komunikace.

název varianty	délka řadicího pruhu	délka oblasti pro průplet vozidel
bez VJP	pouze odbočení BUS	není
25 m	10 m	15 m
35 m	15 m	20 m
45 m	20 m	25 m
55 m	25 m	30 m

V souvislosti s výše uvedenými důvody a očekávanou vyšší časovou náročností odbočení vlevo je stanovena následující hypotéza: „**Efekt vyhrazeného jízdního pruhu pro vozidla VHD bude tím vyšší, čím blíže bude konec VJP ke stopčáře.**“

4.4.2 Nastavení parametrů pro simulace

Intenzity na hlavní a vedlejší komunikaci jsou totožné s variantou modelování odbočení vpravo. Konkrétní hodnoty intenzit uvádí Tabulka 9 a Tabulka 10 v kapitole 4.3.2.

Obdobně byl řešen i rozpad dopravního proudu, který byl řešen tak, jak uvádí Tabulka 13. Modré podbarvení rovněž zdůrazňuje převládající směr odbočení.

Tabulka 13 Přehled poměrů odbočení z jednotlivých ramen křižovatky pro simulaci levého odbočení z vedlejší.

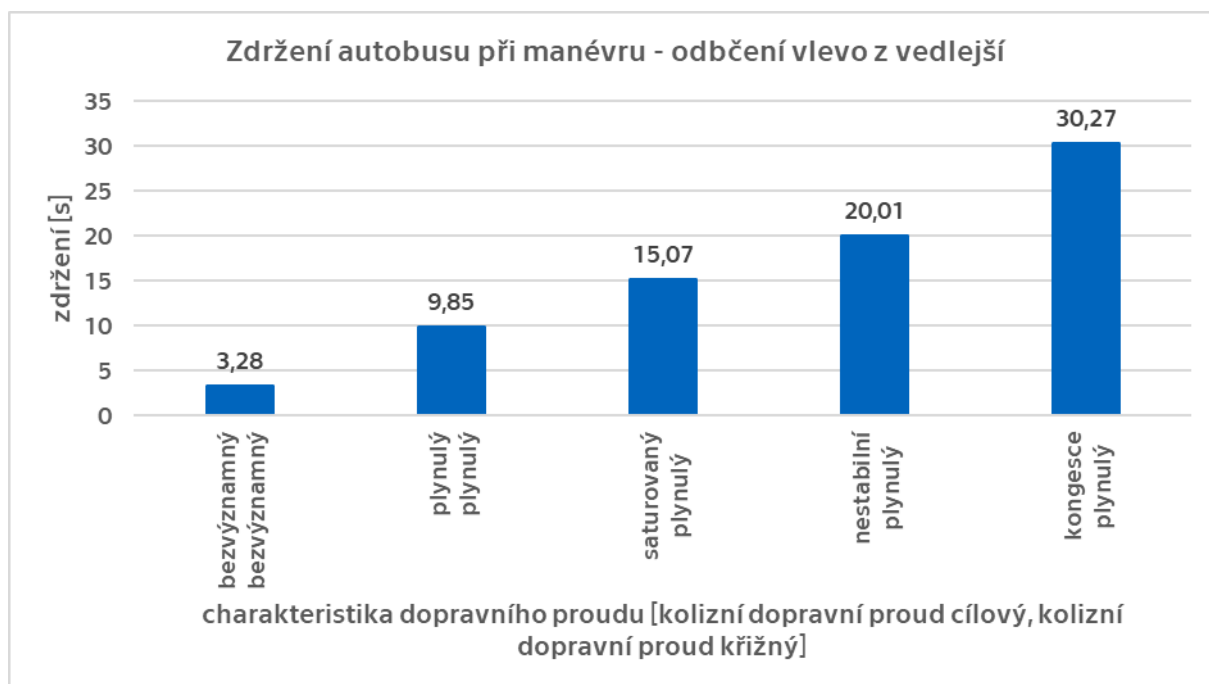
dopravní proud	pokračuje		odbočuje	
	přímo	vlevo	vpravo	
z hlavní komunikace	80 %	10 %	10 %	
ze sledovaného ramene vedlejší komunikace	10 %	60 %	30 %	
ze „zbývajícího“ ramene vedlejší komunikace	10 %	45 %	45 %	

4.4.3 Výsledky simulace

Následující kapitoly shrnují poznatky ze simulací, a to jak pro samotný manévr, tak pro příjezd ke stopčáře.

4.4.3.1 Zdržení při manévru – odbočení vlevo

Na rozdíl od odbočení vpravo má odbočení vlevo více kolizních směrů, což se projevilo na větším množství kombinací intenzit (popřípadě jejich charakteristik) na tvorbě zdržení. Následující Graf 28 popisuje pouze závažnější z uspořádaných dvojic kombinací charakteristik dopravního proudu. Obecně je vyšší zdržení způsobeno čekáním na akceptovatelnou mezeru v obou směrech současně. Všechny simulované varianty obsahuje **Příloha č. 2 Detailní přehled zdržení pro manévr – odbočení vlevo**.



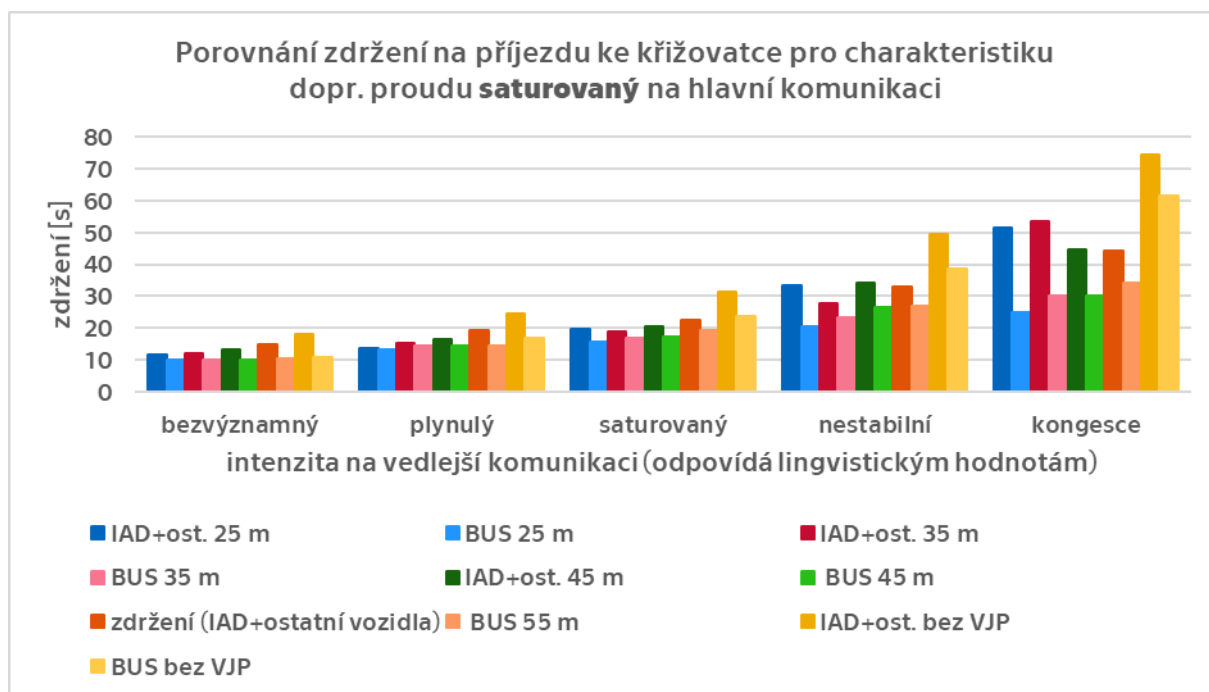
Graf 28 Zdržení autobusu VHD při manévru - odbočení vlevo z vedlejší.

4.4.3.2 Zdržení při příjezdu ke stopčáře – odbočení vlevo

Stejně jako u manévru odbočení vpravo, následující grafy představují souhrnné porovnání jednotlivých variant vyhrazených jízdních pruhů (varianty 25 m – 55 m) a varianty bez vyhrazeného jízdního pruhu na příjezdu ke křižovatce. Podrobné grafy pro jednotlivé varianty řešení obsahuje **Příloha k č. 3 Detailní přehled grafů příjezdu ke stopčáře pro odbočení vlevo**.

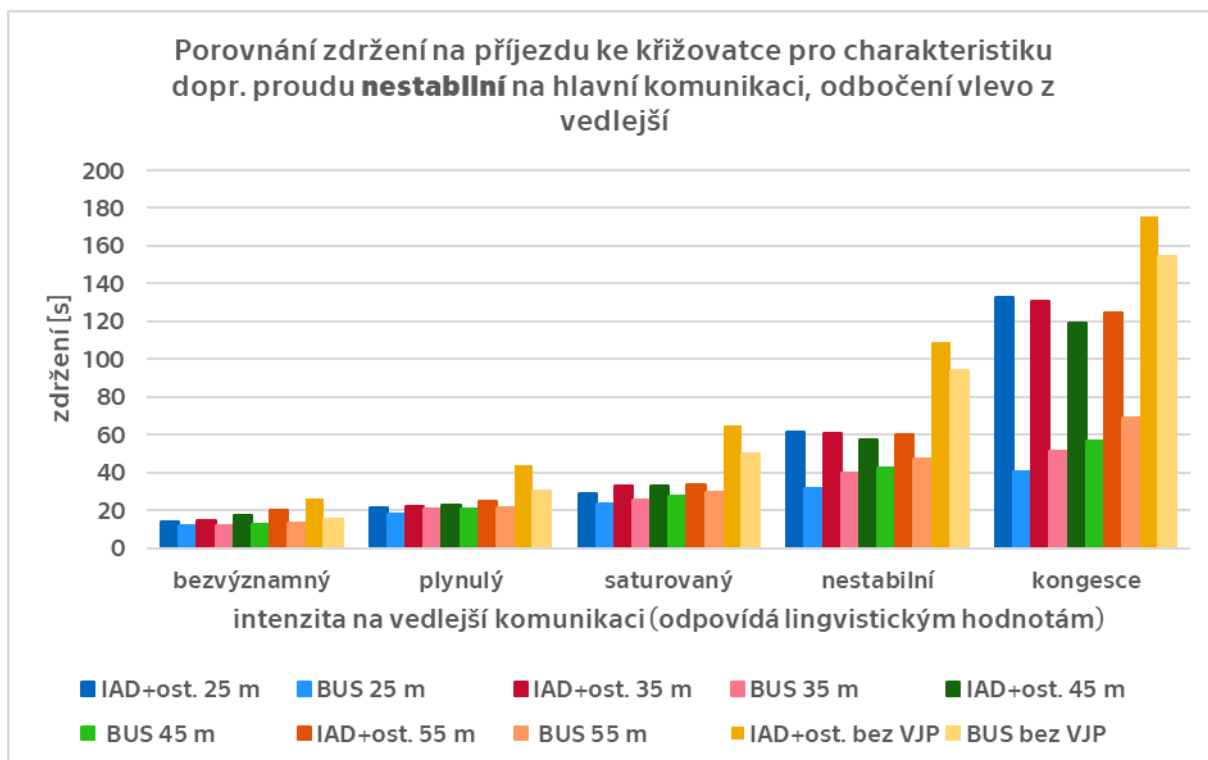
Již pro charakteristiku dopravního proudu saturovaný na hlavní komunikaci, jež ilustruje Graf 29, je patrné, že vyhrazený jízdní pruh má svoje uplatnění. Konkrétně se jedná o výraznější rozdíl zdržení již pro charakteristiku dopravního proudu nestabilní. Pozoruhodným vedlejším efektem je rovněž zvýšená hodnota zdržení pro variantu bez vyhrazeného jízdního pruhu, při kterém bylo na základě simulací patrné chaotické chování řidičů před řadicími pruhy.

Při měření byla ovšem délka fronty v případě varianty **bez VJP** výrazně menší než u všech variant s vyhrazeným jízdním pruhem. Větší prostor pro řazení vozidel znamenal vyšší hustotu vozidel a vedl k méně uspořádanému pohybu vozidel. Délka fronty tedy nekoreluje s dobou zdržení a příjezd ke křižovatce s pouze jedním pruhem je uspořádanější a tím pádem plynulejší.



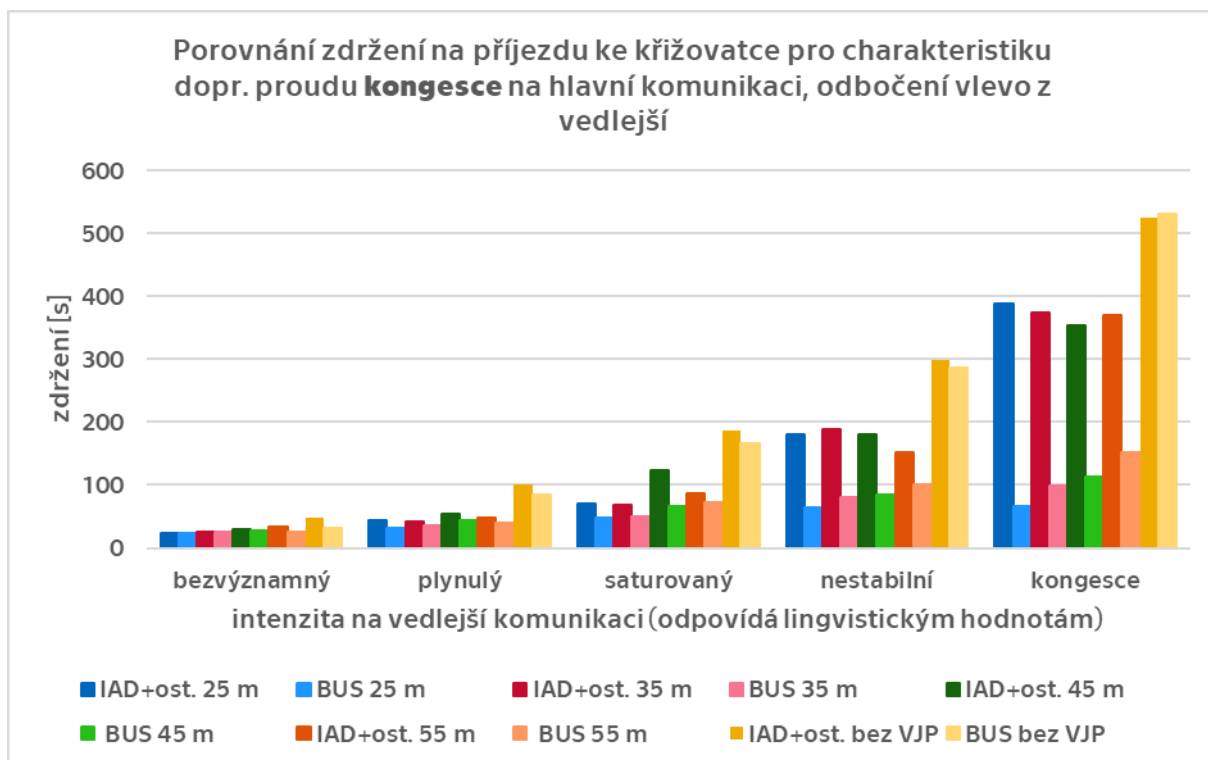
Graf 29 Porovnání variant ukončení VJP před křižovatkou pro charakteristiku dopravního proudu saturovaný na hlavní komunikaci, odbočení vlevo z vedlejší komunikace.

Stejně jako z hodnot, které uvádí Graf 29, je patrné i z grafů následujících (Graf 30 a Graf 31), že čím blíže ke stopčáře je vyhrazený jízdní pruh ukončen, tím větší je časová úspora pro vozidla VHD. I v případě charakteristiky dopravního proudu nestabilní na hlavní komunikaci je patrná výrazná časová úspora v případě zdržení. Hodnota zdržení nepřesáhne 70 sekund, a to i v případě, efektu „gridlock“, tedy že intenzita na ramenech křižovatky výrazně přesáhne její kapacitu.



Graf 30 Porovnání variant ukončení VJP před křižovatkou pro charakteristiku dopravního proudu nestabilní na hlavní komunikaci, odbočení vlevo z vedlejší komunikace.

Pozorovatelný trend se opakuje i pro charakteristiku dopravního proudu kongesce na hlavní komunikaci, což vyjadřuje Graf 31. Jak již bylo zmíněno výše, vyhrazený pruh pro autobusy je vhodný i pro případy, kdy je kapacita křižovatky vyčerpána. V těchto případech vyhrazený pruh výrazně sníží zpoždění spoje.



Graf 31 Porovnání variant ukončení VJP před křižovatkou pro charakteristiku dopravního proudu kongesce na hlavní komunikaci, odbočení vlevo z vedlejší komunikace.

4.4.4 Závěr plynoucí ze simulace odbočení vlevo

Simulace prokázaly účinnost zřízení vyhrazeného jízdního pruhu pro vozidla VHD v souvislosti s levým odbočením z vedlejší komunikace. Účinek je patrný pro všechny simulované charakteristiky dopravního proudu na hlavní komunikaci (charakteristika dopravního proudu saturovaný, nestabilní a kongesce), a to zejména s kombinací charakteristiky dopravního proudu nestabilní a kongesce na komunikaci vedlejší. Trend zdržení a míra úspory zdržení pro vozidla VHD jsou jasně pozorovatelné, a proto lze s jistotou konstatovat, že vyslovená hypotéza, která konstatuje, že „**efekt vyhrazeného jízdního pruhu pro vozidla VHD bude tím vyšší, čím blíže bude konec VJP ke stopčáře**“ **je tímto potvrzena**. Pro praxi to potvrzuje důležitost preference na příjezdu ke křižovatce, kdy je tato část preferenčních opatření (vůči preferenci na křižovatce) neméně důležitá, jelikož i přes preferenci na křižovatce v kombinaci s nedostatečnými opatřeními na samotném příjezdu ke stopčáře může dojít k velkému nárůstu zpoždění.

5. Závěr

Rostoucí urbanizace spolu se zvyšujícím se stupněm automobilizace přináší spoustu výzev, a to nejen v oblasti dopravy. Hlavním principem moderního dopravního inženýrství je upřednostnění a podpora udržitelných módů dopravy v koncepční úrovni i u konkrétních projektů. Veřejná doprava, jako přímá alternativa automobilové dopravy, hraje v rámci udržitelné mobility páteřní roli, proto je třeba bez kompromisu zajistit její vysokou cestovní rychlost a spolehlivost. Preferenční opatření pro veřejnou dopravu jsou tak základním nástrojem na straně infrastruktury pro podporu udržitelné mobility.

Navrhování preferenčních opatření vždy musí vycházet z podrobné analýzy pohybu spojů veřejné dopravy v daném úseku. Jako jedním z nástrojů této analýzy byla v rámci ČVUT FD vyvinuta teorie dekompozice vozidla (řešeno v kapitole 3.1). Cílem této práce bylo vybrané charakteristické segmenty pohybu podrobit mikrosimulacím v PTV Vissim, přičemž vybrané situace byly následující:

- simulace přechodu pro chodce;
- simulace výjezdu vozidla VHD ze zastávky v zálivu;
- simulace odbočení vozidla vlevo/vpravo z vedlejší komunikace na komunikaci hlavní.

Cílem zkoumání přechodu pro chodce bylo zjištění zdržení a délky fronty dopravního proudu včetně vozidel VHD. Pro lepší porovnání byly uvažovány dvě varianty, a to přechod chodce přes dva protisměrné jízdní pásy bez ochranného ostrůvku, v druhém případě byl mezi jízdní pásy vložen ochranný ostrůvek pro chodce. Simulace potvrdily stanovenou hypotézu **vyšší výkonnosti děleného přechodu**, který dokáže uspořit až 50 % zdržení vozidel včetně spojů VHD. Jedná se tak o vhodnou variantu úpravy přechodu pro chodce jak pro hodnoty vysokých intenzit IAD nebo velké intenzity chodců, současně jde o bezpečné, poměrně nenákladné a energeticky nezávislé řešení.

Účelem simulace bylo ověřit vliv řidičů (ne)dávajících přednost v jízdě na zpoždění vozidel VHD. Na základě simulací se ukázalo, že **vliv respektovanosti zákona nemá příliš velký vliv na zdržení vozidel VHD**. Vzhledem ke stavebnímu uspořádání zastávkového zálivu ovšem dochází ke zdržení ve všech případech, proto je vhodné tento typ zastávkového stanoviště využívat jen v odůvodněných případech.

Poslední skupinou simulovaných situací bylo modelování vyhrazeného jízdního pruhu před průsečnou neřízenou křižovatkou, a to jak pro odbočení vpravo z vedlejší, tak pro odbočení vlevo z vedlejší pozemní komunikace. Cílem bylo zjistit nejvhodnější

variantu (z celkem pěti uvažovaných uspořádání) ve smyslu vzdálenosti ukončení vyhrazeného jízdního pruhu před stopčárou.

Na základě dat bylo možné dojít k závěru, že v případě pravého odbočení z vedlejší komunikace **neprokázala žádná z porovnávaných variant svoji účinnost** a v případě pravého odbočení z vedlejší tedy zřízení vyhrazeného jízdního pruhu pozbývá účinnosti. Jinak tomu ovšem bylo v případě odbočení vlevo, při kterém se **prokázala funkčnost pro všechny simulované varianty** charakteristiky dopravního proudu na hlavní komunikaci a zároveň pro dvě nejzatíženější charakteristiky dopravního proudu pro komunikaci vedlejší. Vyhrazený jízdní pruh před křižovatkou byl schopen minimalizovat zpoždění i při stavu „gridlock“, při kterých intenzita vozidel na vjezdu překračovala kapacitu křižovatky, což v praxi reflektuje období dopravních špiček. Obecně lze tedy konstatovat, že preferenční opatření naleznou svoje uplatnění i pro odbočení vlevo z vedlejší v případě silně zatížených křižovatek, které nejsou řízeny SSZ.

Co se týče jednotlivých variant, obecně nejvhodnější variantou byla ta, ve které je ukončen vyhrazený jízdní pruh 25 m před stopčárou. Dle trendu zdržení je možné konstatovat, že **čím je ukončení VJP blíže ke stopčáře, tím je zdržení vozidla VHD na příjezdu nižší**. Dalším doprovodným efektem je skutečnost, že v případě levého odbočení dochází ve variantě bez vyhrazeného jízdního pruhu k výrazně většímu zdržení. **Dostatek prostoru pro IAD tedy automaticky nezajišťuje dostatečnou kapacitu a plynulý provoz.**

Výše zmíněné simulace přináší lepší porozumění chování účastníků silničního provozu včetně konkrétních hodnot zdržení pro konkrétní situace, na základě čehož je možné efektivněji navrhovat uspořádání komunikace s ohledem na výběr vhodného preferenčního opatření. Samozřejmostí je i využití dat pro další výzkumnou činnost, například pro kalibraci koeficientů Metody hodnocení kvality infrastruktury pro VHD, která rovněž vznikla v rámci výzkumné skupiny PREFOS.

Výše zmíněné simulace přináší lepší porozumění chování účastníků silničního provozu včetně konkrétních hodnot zdržení pro konkrétní situace, na základě čehož je možné efektivněji navrhovat uspořádání komunikace s ohledem na výběr vhodného preferenčního opatření, respektive jeho vhodné podoby. Výsledky a závěry práce budou rovněž využity v rámci vědecko-výzkumné činnosti v rámci výzkumné skupiny PREFOS, zejména při další kalibraci Metody hodnocení kvality infrastruktury pro VHD.

6. Zdroje

- [1] *United Nations, Department of Economic and Social Affairs, Population Division (2019): World Urbanization Prospects: The 2018 Revision (ST/ESA/SER.A/420)*. New York: United Nations, 2019. ISBN 978-92-1-148319-2.
- [2] KURFÜRST, Petr. *Řízení poptávky po dopravě jako nástroj ekologicky šetrné dopravní politiky*. První vydání. Praha: Centrum pro dopravu a energetiku, 2002.
- [3] BANISTER, David. The Sustainable Mobility Paradigm. *Transport Policy*. 2008, **15**(2), 73-80. ISSN 0967-070X. Dostupné z: doi:<https://doi.org/10.1016/j.tranpol.2007.10.005>
- [4] KLINSKÝ, Tomáš. *Návrh strategie a postupu implementace sdílené dopravy v konceptu Smart City*. Praha, 2021. Bakalářská práce. České vysoké učení technické v Praze, Fakulta dopravní, Ústav dopravní telematiky. Ing. Patrik Horažďovský, Ph.D.; Ing. Jiří Růžička, Ph.D.
- [5] BRAUN KOHLOVÁ, Markéta a Vojtěch MÁČA. *Faktory ovlivňující volbu dopravního prostředku městského obyvatelstva - přehled stavu poznání: studie pro Hlavní město Prahu (neveřejná)*. 2016. Univerzita Karlova – Centrum pro otázky životního prostředí.
- [6] NOVOTNÝ, Vojtěch. *Stanovení rozhodovacího nástroje pro preferenci VHD*. Praha, 2017. Disertační práce. České vysoké učení technické v Praze, Fakulta dopravní. Ing. Bc. Dagmar Kočárková, Ph.D.
- [7] ČESKÁ REPUBLIKA. Zákon č. 361/2000 Sb., o provozu na pozemních komunikacích. In: *Sbírka zákonů*. Praha, 2000. Dostupné také z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2000-361>
- [8] FALTUS, Vladimír. *Makroskopické modely dopravního proudu*. 2023. Prezentace k předmětu 12TEAP. České vysoké učení technické v Praze, Fakulta dopravní.
- [9] BERNAT, Pavel. *Modelování a simulace dopravy s využitím specializovaných nástrojů* [online]. Ostrava, 2013 [cit. 2023-04-30]. Dostupné z:

<http://hdl.handle.net/10084/98504>. Diplomová práce. Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava.

- [10] PTV VISSIM: Multimodal Traffic Simulation Software. In: *PTV Group* [online]. PTV Planung Transport Verkehr GmbH, 2023 [cit. 2023-04-24]. Dostupné z: https://www.myptv.com/en/mobility-software/ptv-vissim?_ga=2.202624337.1547080297.1682344264-549919337.1680357789
- [11] *PTV VISSIM 10 User Manual* [online]. Karlsruhe: PTV AG, 2018 [cit. 24. 04. 2023]. Dostupné z: <https://usermanual.wiki/Document/Vissim20102020Manual.1098038624.pdf>
- [12] TP 81. *Navrhování světelných signalizačních zařízení pro řízení provozu na pozemních komunikacích*. Ministerstvo dopravy ČR, 2015. Dostupné také z: https://pjk.rsd.cz/data/USR_001_2_8_TP/TP_81.pdf
- [13] ČSN 73 6110. *Projektování místních komunikací. ZMĚNA Z1*. Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2010. Dostupné také z: <https://www.unmz.cz/files/normalizace/%C4%8CSN%2073%206110/85035.pdf>
- [14] ČSN 73 6425-1. *Autobusové, trolejbusové a tramvajové zastávky, přestupní uzly a stanoviště - Část 1: Navrhování zastávek*. Český normalizační institut, 2017. Dostupné také z: <https://www.unmz.cz/files/Stavebn%C3%AD%20normy%20-%20archiv/73%206425-1.pdf>
- [15] *Standard zastávek PID: Standard přestupních bodů a zastávek společného integrovaného dopravního systému Prahy a Středočeského kraje*. První. Praha: Regionální organizátor Pražské integrované dopravy Rytířská 10, Praha 1; Integrovaná doprava Středočeského kraje Rytířská 10, Praha 1, 2017. Dostupné také z: http://standardzastavek.pid.cz/wp-content/uploads/2017/09/standard_zastavek_pid.pdf
- [16] ČSN 73 6102 ED.2. *Projektování křižovatek na pozemních komunikacích*. Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2012.

Seznam příloh

Příloha č. 1 Detailní přehled grafů příjezdu ke stopčáře pro odbočení vpravo.

Příloha č. 2 Detailní přehled zdržení pro manévr – odbočení vlevo.

Příloha č. 3 Detailní přehled grafů příjezdu ke stopčáře pro odbočení vlevo.

Seznam obrázků

Obrázek 1 Zajištění plynulého výjezdu z autobusového terminálu. Praha, Opatov. Zdroj [6]

Obrázek 2 Vyhrazený jízdní pruh pro autobusy. Praha, Jugoslávských partyzánů. Zdroj: archiv autora

Obrázek 3 Preference na příjezdu ke křižovatce formou vyhrazeného řadicího pruhu. České Budějovice. Autor fotografie: Ing. Vojtěch Novotný, Ph.D.

Obrázek 4 Příklad preference jak na příjezdu ke křižovatce, tak pro průjezd křižovatkou. Vozidlo VHD je řízeno pomocí speciálního návěstidla. Manhattan, New York. Zdroj: archiv autora

Obrázek 5 Přehled faktorů ovlivňujících kvalitu veřejné dopravy. [6]

Obrázek 6 Přehled faktorů ovlivňujících pohyb vozidla VHD po komunikaci. [6]

Obrázek 7 Rozklad charakteristických segmentů pohybu na moduly. [6]

Obrázek 8 Vyznačení mezizastávkového úseku Chodovská - Bohdalec na podkladu ortofotomapy (mapový podklad: www.mapy.cz). [6]

Obrázek 9 Schematické znázornění úseku Chodovská – Bohdalec včetně dekompozice pohybu vozidel VHD v tomto úseku. [6]

Obrázek 10 Diagram pro Wiedemannův psycho-fyzikální model. [11]

Obrázek 11 Schéma metodického postupu pro simulaci vybraných manévrů.

Obrázek 12 Příklad přechodu rozděleného ochranným ostrůvkem včetně vzduť vozidel před dalším přechodem pro chodce řízeným SSZ (není v záběru). Praha, Mírového hnutí. Zdroj: archiv autora

Obrázek 13 Přechod přes dva protisměrné jízdní pruhy bez rozdělení dopravním (ochranným) ostrůvkem. Praha, Smetanovo nábřeží. Zdroj: archiv autora

Obrázek 14 Dopravně-inženýrské schéma přechodu bez ochranného ostrůvku.

Obrázek 15 Dopravně-inženýrské schéma přechodu s ochranným ostrůvkem.

Obrázek 16 Dopravně-inženýrské uspořádání přechodu bez ochranného ostrůvku v prostředí Vissim.

Obrázek 17 Dopravně-inženýrské uspořádání přechodu s ochranným ostrůvkem v prostředí Vissim.

Obrázek 18 Schéma polohy zastávkového zálivu vůči okružní křižovatce včetně rozměrů.

Obrázek 19 Situace polohy zastávkového zálivu vůči okružní křižovatce.

Obrázek 20 3D pohled simulace výjezdu ze zastávky v zálivu.

Obrázek 21 Dopravně-inženýrské schéma pro odbočení vpravo na křižovatce neřízené SSZ.

Obrázek 22 Dopravně-inženýrské schéma pro odbočení vlevo z vedlejší komunikace na křižovatce neřízené SSZ.

Seznam tabulek

Tabulka 1 Seznam manévrů (pokračování na další straně). [6]

Tabulka 2 Lingvistické hodnoty intenzit vozidel. [6]

Tabulka 3 Popis lingvistických hodnot intenzit pěších. [6]

Tabulka 4 Seznam vybraných manévrů vozidla VHD.

Tabulka 5 Přiřazení intenzit pro konkrétní charakteristiky dopravního proudu pro simulaci průjezdu přechodem pro chodce.

Tabulka 6 Přiřazení intenzit chodců pro jednotlivé charakteristiky pro simulaci průjezdu přechodem pro chodce.

Tabulka 7 Přiřazené hodnoty IAD pro dané lingvistické hodnoty dopravního proudu.

Tabulka 8 Přehled uvažovaných variant ukončení vyhrazeného jízdního pruhu pro pravé odbočení z vedlejší komunikace.

Tabulka 9 Přiřazené hodnoty intenzit pro slovní charakteristiky pro hlavní komunikaci.

Tabulka 10 Přiřazené hodnoty intenzit pro slovní charakteristiky pro sledované rameno vedlejší komunikaci.

Tabulka 11 Přehled poměrů odbočení z jednotlivých ramen křižovatky pro simulaci pravého odbočení z vedlejší komunikace.

Tabulka 12 Přehled variant ukončení VJP pro levé odbočení z vedlejší komunikace.

Tabulka 13 Přehled poměrů odbočení z jednotlivých ramen křižovatky pro simulaci levého odbočení z vedlejší.

Seznam grafů

Graf 1 Přehled zdržení a délky fronty pro charakteristiku dopravního proudu bezvýznamný pro přechod bez ochranného ostrůvku.

Graf 2 Přehled zdržení a délky fronty pro charakteristiku dopravního proudu plynulý pro přechod bez ochranného ostrůvku.

Graf 3 Přehled zdržení a délky fronty pro charakteristiku dopravního proudu saturovaný pro přechod bez ochranného ostrůvku.

Graf 4 Přehled zdržení a délky fronty pro charakteristiku dopravního proudu nestabilní pro přechod bez ochranného ostrůvku.

Graf 5 Přehled zdržení a délky fronty pro charakteristiku dopravního proudu nestabilní pro přechod bez ochranného ostrůvku.

Graf 6 Přehled zdržení a délky fronty pro charakteristiku dopravního proudu bezvýznamný pro přechod s ochranným ostrůvkem.

Graf 7 Přehled zdržení a délky fronty pro charakteristiku dopravního proudu plynulý pro přechod s ochranným ostrůvkem.

Graf 8 Přehled zdržení a délky fronty pro charakteristiku dopravního proudu saturovaný pro přechod s ochranným ostrůvkem.

Graf 9 Přehled zdržení a délky fronty pro charakteristiku dopravního proudu nestabilní pro přechod s ochranným ostrůvkem.

Graf 10 Přehled zdržení a délky fronty pro charakteristiku dopravního proudu nestabilní pro přechod s ochranným ostrůvkem.

Graf 11 Porovnání zdržení pro oba typy přechodů pro charakteristiku dopravního proudu bezvýznamný.

Graf 12 Porovnání zdržení pro oba typy přechodů pro charakteristiku dopravního proudu plynulý.

Graf 13 Přehled Porovnání zdržení pro oba typy přechodů pro charakteristiku dopravního proudu saturovaný.

Graf 14 Porovnání zdržení pro oba typy přechodů pro charakteristiku dopravního proudu nestabilní.

Graf 15 Porovnání zdržení pro oba typy přechodů pro charakteristiku dopravního proudu kongesce.

Graf 16 Přehled všech simulovaných variant scénářů pro přechod bez ochranného ostrůvku.

Graf 17 Přehled všech simulovaných variant scénářů pro přechod s ochranným ostrůvkem.

Graf 18 Zdržení při výjezdu ze zálivu pro charakteristiku dopravního proudu bezvýznamný.

Graf 19 Zdržení při výjezdu ze zálivu pro charakteristiku dopravního proudu plynulý.

Graf 20 Zdržení při výjezdu ze zálivu pro charakteristiku dopravního proudu satureovaný.

Graf 21 Zdržení při výjezdu ze zálivu pro charakteristiku dopravního proudu nestabilní.

Graf 22 Zdržení při výjezdu ze zálivu pro charakteristiku dopravního proudu kongesce.

Graf 23 Přehled zdržení při výjezdu pro 25% až 100% podíly respektovanosti.

Graf 24 Přehled zdržení autobusu při manévru – odbočení vpravo z vedlejší.

Graf 25 Porovnání variant ukončení VJP před křižovatkou pro charakteristiku dopravního proudu satureovaný na hlavní komunikaci, odbočení vpravo z vedlejší komunikace.

Graf 26 Porovnání variant ukončení VJP před křižovatkou pro charakteristiku dopravního proudu nestabilní na hlavní komunikaci, odbočení vpravo z vedlejší komunikace.

Graf 27 Porovnání variant ukončení VJP před křižovatkou pro charakteristiku dopravního proudu kongesce na hlavní komunikaci, odbočení vpravo z vedlejší komunikace.

Graf 28 Zdržení autobusu VHD při manévru - odbočení vlevo z vedlejší.

Graf 29 Porovnání variant ukončení VJP před křižovatkou pro charakteristiku dopravního proudu satureovaný na hlavní komunikaci, odbočení vlevo z vedlejší komunikace.

Graf 30 Porovnání variant ukončení VJP před křižovatkou pro charakteristiku dopravního proudu nestabilní na hlavní komunikaci, odbočení vlevo z vedlejší komunikace.

Graf 31 Porovnání variant ukončení VJP před křižovatkou pro charakteristiku dopravního proudu kongesce na hlavní komunikaci, odbočení vlevo z vedlejší komunikace.