



**ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE**

**FAKULTA DOPRAVNÍ**

**Bc. Lukáš Jirka**

**Využití hook turn jako alternativního způsobu levého  
odbočení**

**Diplomová práce**

**2023**



**K620..... Ústav dopravní telematiky**

## **ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE** (PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení studenta (včetně titulů):

**Bc. Lukáš Jirka**

Studijní program (obor/specializace) studenta:

**navazující magisterský – DS – Dopravní systémy a technika**

Název tématu (česky): **Využití hook turn jako alternativního způsobu levého odbočení**

Název tématu (anglicky): Hook Turn as an Alternative Treatment for Left-turn Movements

### **Zásady pro vypracování**

Při zpracování diplomové práce se řiďte následujícími pokyny:

- Zmapování dostupných poznatků o hook turn - motivace k zavádění, specifika, rizika, benefity
- Provedení analýzy ke zjištění provozních výhod a nevýhod hook turn vůči konvenčnímu způsobu levého odbočení za různých dopravních podmínek
- Situační návrh hook turn na křižovatce vytipované na základě výsledků předešlé analýzy
- Porovnání výsledků získaných ověřením návrhu v simulačním nástroji vůči reálným dopravně inženýrským datům zjištěným dopravním průzkumem
- Souhrn zjištěných výsledků, popis potenciálních benefitů a překážek k zavedení hook turn v českých podmínkách






- Rozsah grafických prací: dle požadavků vedoucích závěrečné práce
- Rozsah průvodní zprávy: minimálně 55 stran textu (včetně obrázků, grafů a tabulek, které jsou součástí průvodní zprávy)
- Seznam odborné literatury: International Encyclopedia of Transportation, vol 4: Traffic Management Transport Modeling and Data Management, 2021  
ČSN 73 6110 - Projektování místních komunikací  
ČSN 73 6021 - Světelná signalizační zařízení. Umístění a použití návěstidel

Vedoucí diplomové práce: **Ing. Patrik Horaždovský Ph.D.**  
**Ing. Jiří Růžička Ph.D.**

Datum zadání diplomové práce: **1. 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: **30. listopadu 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. Zuzana Bělinová, Ph.D.  
vedoucí  
Ústavu dopravní telematiky

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

Potvrzuji převzetí zadání diplomové práce.

  
Bc. Lukáš Jirka  
jméno a podpis studenta

V Praze dne..... 15. května 2023

## **Poděkování**

Na tomto místě bych rád poděkoval všem, kteří mi poskytovali rady k vypracování diplomové práce. Zvláště pak děkuji Ing. Patriku Horažďovskému Ph.D. a Ing. Jiřímu Růžičkovi Ph.D za odborné vedení diplomové práce a konzultace. Dále bych chtěl poděkovat univerzitě ČVUT, zejména odboru zahraničních vztahů, za zprostředkování studijního výjezdu do Melbourne v Austrálii, během kterého vznikl nápad na téma této diplomové práce. Poděkování patří i vyučujícím z Royal Melbourne Institute of Technology, kteří mi předali cenné znalosti a kontext o dopravní situaci v Melbourne. I díky nim mohla tato práce vzniknout.

V neposlední řadě patří největší díky mé rodině a blízkým, kteří mě plně podporovali v průběhu celého studia.

## Čestné 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 29.11.2023

  
.....  
Bc. Lukáš Jirka

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

Fakulta dopravní

Využití hook turn jako alternativního způsobu levého odbočení

Diplomová práce

Listopad 2023

Bc. Lukáš Jirka

**Abstrakt:** Tato diplomová práce zkoumá hook turn jakožto alternativní způsob levého odbočení. Cílem bylo porovnat hook turn odbočení s konvenčním odbočením z hlediska kapacity křižovatky a bezpečnosti dopravy. Vyhodnocení probíhalo zejména na základě mikroskopických simulací a výsledky ukazují, že hook turn odbočení za určitých podmínek má potenciál být vhodnou alternativou ke konvenčnímu levému odbočení. Závěrem jsou popsány potenciální benefity a překážky k zavedení hook turn v České republice a je poukázáno na nutnost prověření dalších pozitivních či negativních aspektů hook turn odbočení.

**Klíčová slova:** hook turn, levé odbočení, kapacita křižovatky, mikroskopická simulace, modelování dopravy, nehodovost, konfliktní bod

CZECH TECHNICAL UNIVERSITY IN PRAGUE

Faculty of Transportation Sciences

Hook turn as an alternative treatment for left-turn movements

Diploma thesis

November 2023

Bc. Lukáš Jirka

**Abstract**

Hook turn as an alternative treatment for left-turn movements is examined in this thesis. The main objective was to compare a hook turn with a conventional left-turn in terms of intersection capacity and road safety. The evaluation was conducted mainly based on microscopic simulations. The findings suggest that the hook turn is a suitable alternative to the conventional left-turn under certain conditions. Consequently, the benefits and obstacles to implementing hook turns in the Czech Republic are discussed and the necessity to verify any other positive or negative aspects is indicated in the conclusion.

**Keywords:** hook turn, left turn, intersection capacity, microscopic simulation, traffic modelling, traffic accidents, conflict areas

## Obsah

1. Úvod.....	11
2. Zmapování dostupných poznatků o hook turn.....	13
3. Zjištění provozních výhod a nevýhod hook turn vůči konvenčnímu způsobu levého odbočení za různých dopravních podmínek.....	15
3.1 Dopravní průzkum na reálné křižovatce.....	15
3.1.1 Data o řízení dopravy .....	17
3.1.2 Data o dopravní poptávce .....	18
3.2 Návrh modelů pro provedení mikroskopických simulací.....	19
3.2.1 Teorie o mikroskopických simulacích dopravy.....	20
3.2.2 Zvolené počáteční podmínky.....	21
3.2.3 Vytvoření modelu.....	24
3.2.4 Ověření funkčnosti modelů .....	26
3.2.5 Parametry simulace .....	26
3.2.6 Kritéria vyhodnocování.....	27
3.3 Analýza pomocí mikroskopických simulací .....	27
3.3.1 Rovnoměrné zvyšování intenzit v zachovaném vzájemném poměru.....	27
3.3.2 Zvyšování intenzity protijedoucího dopravního proudu B->D .....	29
3.3.3 Zvyšování intenzity přímého proudu D->B.....	32
3.3.4 Optimální poměr odbočujících vozidel.....	33
3.3.5 Rovnoměrné snižování intenzit v zachovaném vzájemném poměru.....	34
3.3.6 Závěr analýzy .....	35
4. Situační návrh hook turn na vytipované křižovatce.....	36
4.1 Vytipování křižovatky .....	36
4.2 Dopravní průzkum .....	38
4.2.1 Data o řízení dopravy .....	38
4.2.2 Data o dopravní poptávce .....	39
4.3 Prostorové prověření návrhu hook turn odbočení .....	41
5. Porovnání výsledků získaných ověřením návrhu v simulačním nástroji za využití reálných dopravně inženýrských dat stávajícího stavu zjištěným dopravním průzkumem.....	43
5.1 Dopravní proud D->B .....	45
5.2 Dopravní proud A->D .....	46
5.3 Dopravní proudy A->B a D->C.....	46



5.4	Souhrn zjištěných poznatků .....	46
6.	Hook turn z pohledu bezpečnosti silniční dopravy .....	48
6.1	Analýza nehodovosti na konkrétní sledované křižovatce.....	50
7.	Souhrn zjištěných výsledků, popis potenciálních benefitů a překážek k zavedení hook turn v českých podmínkách .....	53
7.1	Benefity hook turn odbočení.....	53
7.2	Překážky k zavedení hook turn odbočení v České republice.....	54
7.3	Limitující faktory práce .....	55
7.4	Budoucí práce.....	56
8.	Závěr .....	57
9.	Seznam použitých zdrojů.....	58
10.	Seznam příloh .....	59
11.	Seznam obrázků .....	60
12.	Seznam tabulek .....	61

### **Seznam použitých zkratk:**

TP	Technické podmínky
HT	Hook turn
CBD	Central Business District
ÚKD	Úroveň kvality dopravy
ČR	Česká republika
SSZ	Světelné signalizační zařízení
VDZ	Vodorovné dopravní značení
SDZ	Svislé dopravní značení
ČSN	Chráněné označení českých technických norem
PTV	Planung Transport Verkehr (společnost vyvíjející software Vissim)

## 1. Úvod

Levé odbočení, tak jak ho známe ze zemí s klasickým pravostranným provozem, může být komplikované efektivně navrhnout na frekventované křižovatce řízené světelným signalizačním zařízením tak, aby křižovatka kapacitně vyhovovala a nevznikala časová zdržení delší než nezbytně nutná. V případě křižovatky s plnými signály je při odbočování potřeba zastavit vozidlo v křižovatce a dát přednost protijedoucím, což v případě frekventovaného protijedoucího dopravního proudu často vyžaduje návrh dalších opatření pro zachování efektivity. Například může být navrženo přidání samostatné fáze pro kompletně chráněná levá odbočení do signálního plánu (pomocí směrových signálů) nebo prodloužení doby volna pro levé odbočení. Dalším možným řešením je prodloužení mezičasu nebo zavedení delšího fázového přechodu, než je podle výpočtu mezičasu potřebné, aby při změně fází bylo umožněno bezpečné opuštění tohoto prostoru (typicky s osazením signálu pro opuštění křižovatky - vyklizovací šípka). Tato opatření prodlužují celou délku cyklu, zvyšují ztrátové časy a snižují tak kapacitu křižovatky pro všechny směry.

Hook turn je alternativním způsobem tohoto odbočení, kdy odbočující vozidlo najíždí do křižovatky ve vnějším řadícím pruhu (vzdálenějším od středu křižovatky) a vyčkává před stopčárou vedlejšího ramene křižovatky (viz. obrázek 1) a pokračuje v jízdě až ve chvíli, kdy tomuto rameni přijde signál „Volno“. Hook turn křižovatky tedy zabírají prostor ekvivalentní tomu, který mají konvenční signalizované křižovatky. Jejich navrzení tak může být hypoteticky za určitých podmínek výhodnější (například v omezených prostorových podmínkách v centru města, kde není prostor na samostatný odbočovací řadící pruh). Tato práce si klade za cíl tuto hypotézu prověřit a porovnat konvenční levé odbočení s hook turn odbočením z provozního hlediska a analyzovat příležitosti a překážky k jeho zavedení v České republice.

Obrázek 1 – Vizualizace hook turn odbočení v levostranném provozu [1]



V této diplomové práci budou nejprve zmapovány dostupné poznatky o hook turn odbočení za účelem zjištění důvodů k jeho zavedení, případně již existujících poznatků o pozitivích a negativích tohoto způsobu odbočení. Následně bude provedena analýza dle autorem navrženého postupu ke zjištění provozních výhod a nevýhod hook turn vůči konvenčnímu způsobu levého odbočení za různých dopravních podmínek. Na základě zjištěných poznatků bude vytipována křižovatka vhodná k zavedení hook turn odbočení. Na této křižovatce pak bude proveden dopravní průzkum stávajícího stavu pro získání dat o dopravní poptávce a zjištěná reálná dopravně-inženýrským data budou použita jako vstup do dopravního modelu dané křižovatky. Dopravní model bude vytvořen jak pro stávající stav, tak pro stav se zavedeným hook turn odbočením. Poté bude provedeno porovnání výsledků získaných prověřením obou variant v simulačním nástroji. Jako dílčí cíl práce bude analyzováno hook turn odbočení z bezpečnostního hlediska pomocí metody konfliktních bodů. Na závěr práce budou popsány potenciální benefity a překážky k zavedení tohoto odbočení v České republice.

## 2. Zmapování dostupných poznatků o hook turn

Křižovatky s hook turn byly poprvé formálně zaváděny v Austrálii, konkrétně ve státě Victoria ve městě Melbourne od 50.let minulého století. [2] Melbourne je město s největší tramvajovou sítí na světě a hook turn opatření mělo za cíl usměrnit dopravní proudy a snížit zpoždění na tramvajových tratích způsobené vozidly odbočujícími doprava, které by ve středu křižovatky blokovaly tramvaje. (pozn. v Austrálii je zaveden levostranný provoz). Hook turn odbočení je momentálně (rok 2023) v Melbourne zavedeno na 19 křižovatkách převážně v centru města. Melbourne však není jediným městem na světě, které využívá hook turn odbočení. Lze ho nalézt v různých variantách i na dalších místech světa, například v americkém státě Illinois či v čínském Pekingu. [2]

Dále byla z dostupných internetových zdrojů nalezena studie z roku 2007, která zkoumá hook turn z pohledu preferenčního opatření pro tramvaje, jakožto jeho originální myšlenky. Výsledky této studie naznačují, že v případě odstranění všech hook turn křižovatek z tramvajové sítě by časové zdržení tramvaje v těchto křižovatkách průměrně vzrostlo o 11-15 sekund/křižovatku. V této studii však nebylo nalezeno porovnání hook turn s ostatními možnými preferenčními opatřeními pro tramvajovou dopravu. [3]

Snahou autora bylo nalézt kritéria vhodnosti návrhu hook turn na konkrétní křižovatce. Jediná relevantní návrhová kritéria pro zavádění hook turn v Melbourne nalezené v dokumentu z 80.let [9] říkají:

„Hook turn opatření by mělo být zavedeno za předpokladů, že

- a) Bude pro řidiče zřetelné a jednoznačné, že na této křižovatce je jiný, než konvenční typ pravého odbočení.
- b) Očekávané délky front vozidel čekající na hook turn na levé straně komunikace nebudou zásadně zasahovat do ostatních ne-tramvajových proudů na křižovatce. [2]

Dále bylo hledáno v dostupných aktuálních australských standardech „Austroads guide to road design (AGRD)[10]“ a v jejich dodatcích platných pouze pro stát Victoria[11], avšak tam nebyla žádná podrobnější či aktuálnější kritéria nalezena. V nich je pouze zmiňována existence hook turn odbočení a provozní úpravy s tím související (dopravní značení). Hook turn je v současnosti zavedeno na 19 křižovatkách v Melbourne a tyto křižovatky fungují v tomto režimu pravděpodobně již mnoho desítek let. Zároveň nebyla dohledána informace, že by hook turn bylo v dané lokalitě zavedeno nově v posledních letech. Vzhledem k tomu lze usuzovat, že v současnosti nejsou hook turn odbočení v Melbourne nově navrhována, což může souviset i s velmi malým rozvojem tramvajové sítě a nejsou pro jejich zřízení tak zavedené žádné návrhové podmínky či kritéria.

Z nalezených poznatků taktéž není zcela zřejmý vliv hook turn na celkovou kapacitu křižovatek, vliv na časová zdržení pro jednotlivé dopravní proudy v křižovatce a

porovnání s konvenčním typem odbočení z provozních hledisek (kapacita, bezpečnost). Definování návrhových kritérií z pohledu kapacity a porovnání hook turn s konvenčním odbočením tak bude předmětem zkoumání v dalších kapitolách této práce.

### **3. Zjištění provozních výhod a nevýhod hook turn vůči konvenčnímu způsobu levého odbočení za různých dopravních podmínek**

V této kapitole bude vzájemně porovnáno hook turn odbočení vůči konvenčnímu způsobu odbočení z kapacitního hlediska. To bude provedeno v několika krocích. Jako základ pro tuto analýzu poslouží dopravní průzkum provedený na křižovatce s hook turn odbočením. Výsledky tohoto průzkumu budou použity jako výchozí data pro mikroskopickou simulaci této křižovatky v obou zmíněných variantách. Křižovatka bude v obou variantách simulována v mnoha scénářích slišícími se dopravními podmínkami. Dopravně inženýrská data ze simulací budou následně zpracována, porovnána a interpretována.

Tato analýza má za cíl potvrdit či vyvrátit autorovu hypotézu, že:

*„Křižovatka s hook turn odbočením může být při určité kombinaci intenzit dopravních proudů kapacitnější než křižovatka s konvenčním odbočením, zejména ve chvíli, kdy intenzity přímého směru převažují nad těmi odbočujícími“*

Zvláště proto, že konvenční odbočení se stává se zvyšující se intenzitou protijedoucího dopravního proudu méně kapacitním, vozidla čekající na odbočení v křižovatce mohou blokovat křižovatku a tvořit časové zdržení i pro přímý směr. Tento faktor je při hook turn odbočení eliminován, jelikož vozidla čekající na odbočení jsou „odstavena“ mimo přímý dopravní proud. To platí hlavně pro stísněné městské podmínky, tj. v případě, kdy nemůže být zřízen samostatný řadící pruh pro odbočení.

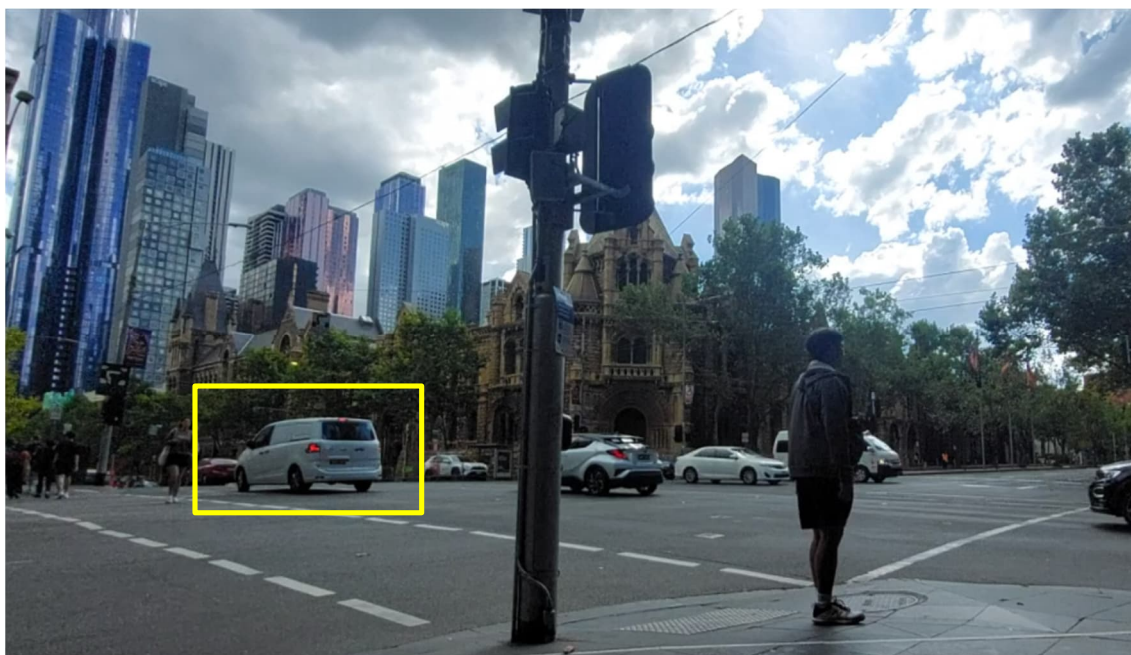
#### **3.1 Dopravní průzkum na reálné křižovatce**

Pro analýzu byla vybrána křižovatka Russel street x La Trobe street v Melbourne CBD, která se pozorováním jeví jako kvalitní, funkční a typický případ průsečné čtyřramenné křižovatky se zavedeným hook turn odbočením.

Obrázek 2 - ortofoto pohled na křižovatku Russel street x La Trobe street (zdroj:satellites.pro)



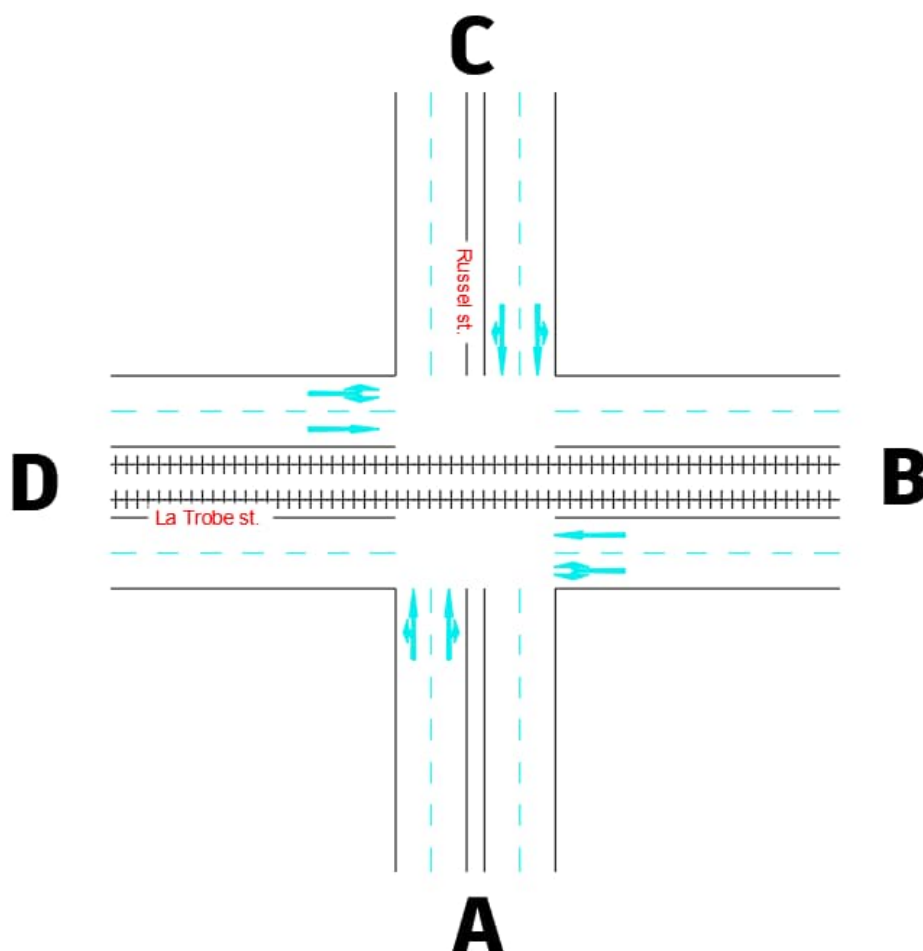
Obrázek 3 – Pohled z kamery na křižovatku Russel street x La Trobe street (poloha kamery je na předešlém obrázku znázorněna červeným symbolem)





Na obrázcích 2 a 3 je možné vidět vozidlo (zvýrazněné žlutým obdélníkem) stojící v oblasti vyznačené vodorovným dopravním značením pro vyčkávání na signál „volno“ při provádění pravého hook turn odbočení z La Trobe street do Russel street. Je třeba brát v úvahu, že v Austrálii je zaveden levostranný provoz a hook turn je zavedeno pro pravé odbočení. Pravé odbočení je v levostranném provozu to „těžké“, při kterém se při konvenční variantě dává přednost protijedoucím vozidlům (v ČR levé). Na této křižovatce jsou zavedeny obě varianty, kdy pravá odbočení z La Trobe street na Russel street jsou pomocí hook turn a pravá odbočení z Russel street na La Trobe street jsou zavedena klasickým konvenčním způsobem. Na následujícím obrázku 4 je řešená křižovatka schématicky znázorněna.

Obrázek 4 - schématické zobrazení křižovatky Russel street x La Trobe street



Dne 14. března 2023 v úterý v běžný pracovní den (tj. úterý, středa nebo čtvrtek, pokud jsou pracovními dny a pokud jim předchází i po nich následuje pracovní den [15]) byl na této křižovatce proveden dopravní průzkum pomocí videozáznamu, jehož cílem bylo získat data o řízení dopravy a dopravní poptávce.

### 3.1.1 Data o řízení dopravy



Na křižovatce je zaveden dvoufázový dynamický signální plán s proměnnou délkou jednotlivých fází (preferenční opatření pro tramvajovou dopravu). Za ideálních podmínek by bylo možné získat data o řízení od správců signalizačních zařízení.

V tomto případě byly informace zjištěny měřením a pozorováním z pořízeného videozáznamu.

Vzhledem k tomu, že se jedná o křižovatku v Austrálii, legislativa a standardy řízení křižovatky pomocí SSZ se mohou lišit od toho, co je dlouhodobě zavedeno v ČR. Například na sledované křižovatce není v signálním plánu využit signál se současně svítícím červeným a žlutým světlem, který znamená povinnost připravit se k jízdě.

Vyhodnocením dopravního průzkumu tak byly stanoveny následující informace o řízení dopravy na sledované křižovatce:

*Tabulka 1 – Zjištěná data o signálním plánu na sledované křižovatce Russel street x La Trobe street*

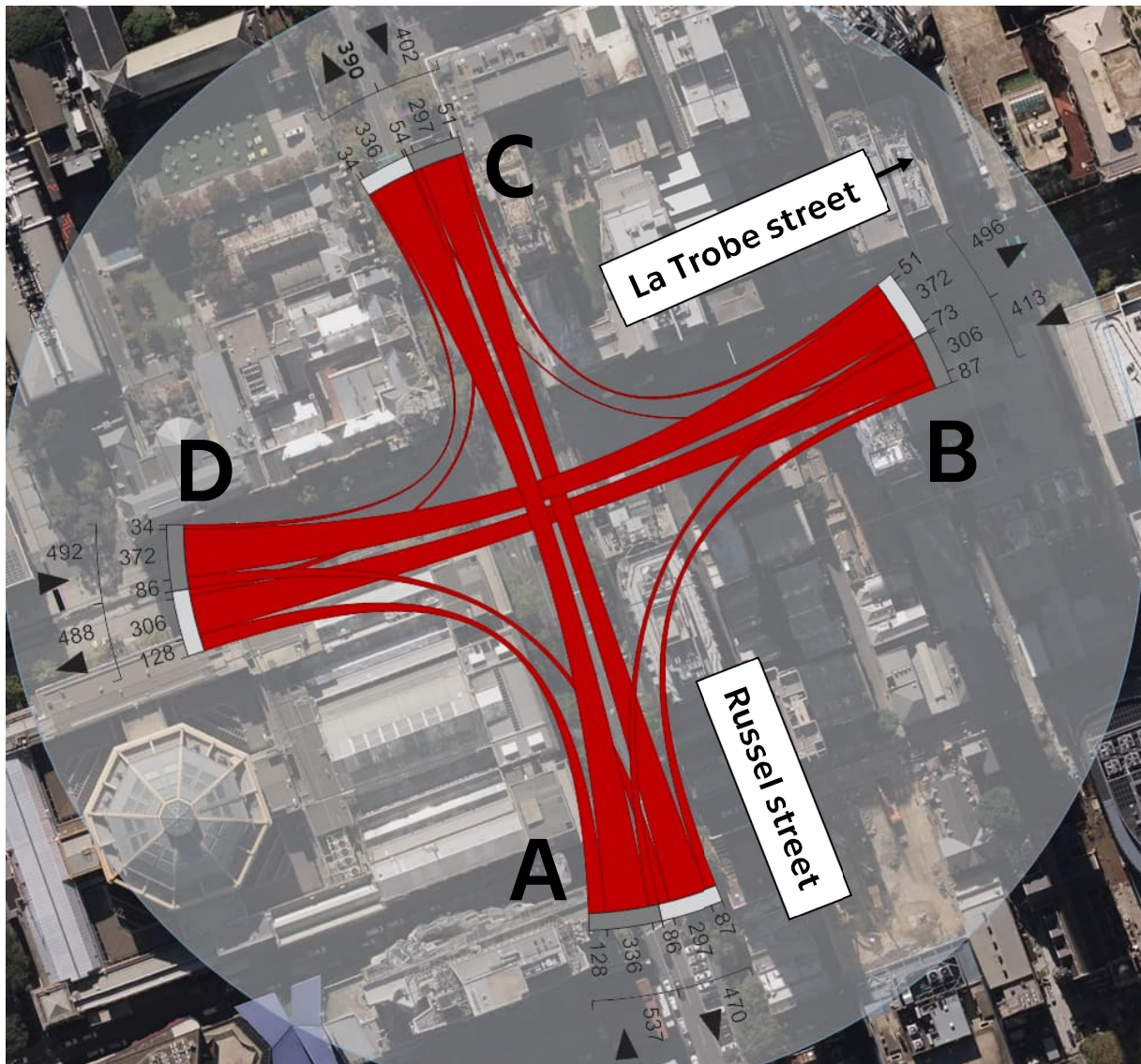
Sekvence signálů		Č - Z - Ž
Délka žlutého signálu		3s
Standardní délka cyklu		60s
Standardní poměr dob zelené F1:F2		25:23
Mezičas F1-> F2		6s
Mezičas F2 ->F1		6s

Pro účely této práce je dále uvažováno pouze s pevnými signálními plány, a tak byl stanoven a bude nadále v této práci používán uvedený nejčastěji pozorovaný (standardní) poměr dob signálů „volno“ pro jednotlivé fáze a standardní celková délka cyklu.

### **3.1.2 Data o dopravní poptávce**

Data o intenzitách dopravy v době provádění dopravního průzkumu v každém z křižovatkových směrů byla zjištěna manuálním sčítáním z videozáznamu a jsou graficky zobrazena na následujícím obrázku 5 v podobě pentlogramu.

Obrázek 5 – Pentlogram hodinových intenzit na křižovatce Russel street x La Trobe street



Jak je z pentlogramu patrné, ze všech křižovatkových ramen převažují přímé dopravní proudy a odbočující vozidla tvoří přibližně 25-30% intenzit.

### 3.2 Návrh modelů pro provedení mikroskopických simulací

Naměřené hodnoty budou sloužit jako výchozí data pro následující dva modely vytvořené v software pro mikroskopické simulace dopravy PTV Vissim.

- a) Křižovatka Russel street x La Trobe street s hook turn odbočením (reálný stav)
- b) Křižovatka Russel street x La Trobe street s konvenčním způsobem pravého odbočení

V následujících kapitolách bude za pomoci mikroskopických simulací sledováno, porovnáváno a vyhodnocováno, jak se kapacity modelů křižovatek mění v závislosti na změně některých z proměnných a zachování ostatních počátečních podmínek, které jsou detailněji popsány a definovány v kapitole 3.2.2.

### 3.2.1 Teorie o mikroskopických simulacích dopravy

Vytváření modelů obecně je napodobování reálného děje. Jde o výběrové přiblížení realitě tzn. vybírají se pouze podstatné vlivy a ty pro daný účel méně podstatné nebo nepodstatné se zanedbávají (např. počasí v dopravním modelu křižovatky). Reálné vztahy a závislosti jsou za pomoci softwaru PTV Vissim transformovány do matematických vztahů a algoritmů, které vytvářejí složitý matematický model. [4]

V současné době existují dopravní modely v různých stupních podrobnosti v závislosti na účelu zpracování.

Obrázek 6 - hierarchie dopravních modelů [4]



Mikroskopická simulace je nejdetailnějším typem dopravního modelu, umožňuje namodelovat konkrétní křižovatku na úrovni pohybů jednotlivých vozidel (na rozdíl od makroskopické simulace, která je vhodná pro širší oblast a zanedbává více jevů).

Pro účely této práce je vhodné využít mikroskopické simulace, konkrétně software PTV Vissim, protože pomocí ní lze posoudit i atypická dopravně-inženýrská řešení, např. nestandardní organizační řešení dopravního prostoru, které nemá žádnou oporu v normě nebo technickém předpisu, a tak je obtížné ho normovým postupem vůbec posoudit. Nebo je-li navrženo nové řešení dopravního prostoru nebo jeho rekonstrukce takovým způsobem, se kterým nejsou žádné nebo pouze nedostatečné zkušenosti v reálném provozu, a to je právě případ hook turn odbočení.

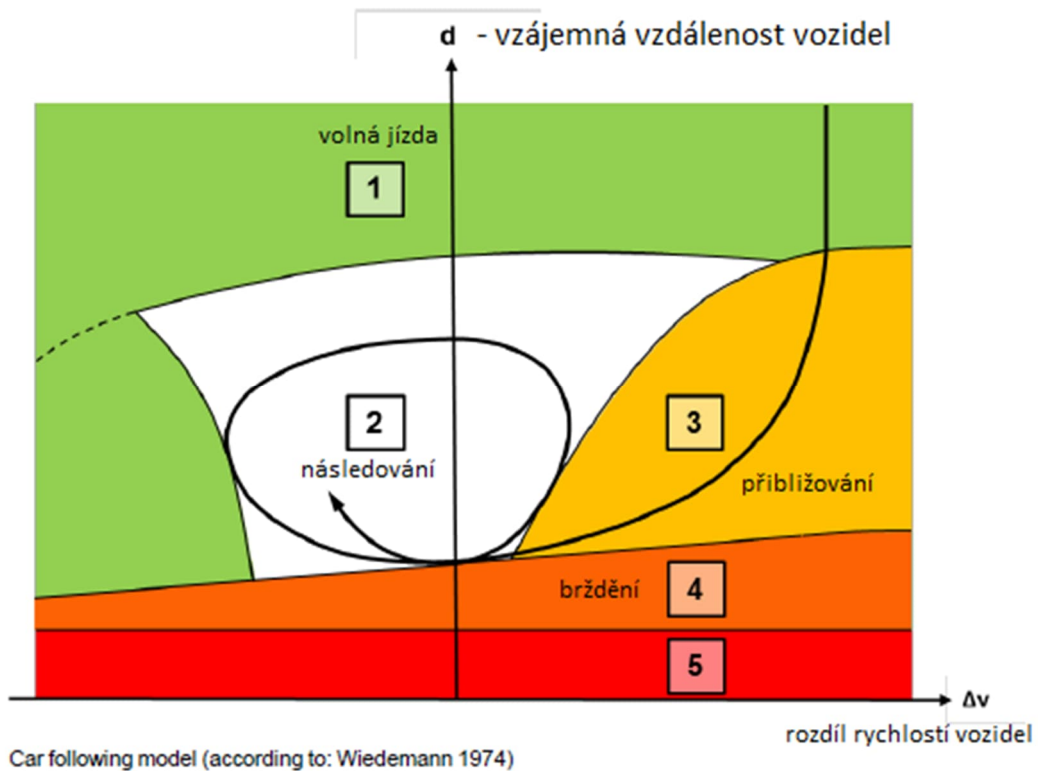
Pro zprovoznění a správnou funkčnost modelu existují principiálně tři hlavní sady vstupních dat, které je potřeba implementovat:

- a) Geometrie modelu (jízdní pruhy, délky, šířky);
- b) Řídící data (pravidla o přednosti v jízdě, signální plány řízených křižovatek);
- c) Dopravní poptávka (intenzity dopravy) [5]

Pohyb každého vozidla v mikroskopické simulaci je vypočítáván na základě tzv. car following modelu. Software PTV Vissim standardně používá car following model dle Wiedermanna z roku 1974.[5]



Obrázek 7 – Znázornění principu car following modelu (dle Wiedermanna 1974) [5]



Jednoduše řečeno, hlavním principem Wiedermannova modelu je cíl řidiče vozidla vyhnout se srážce s před ním jedoucím vozidlem a zároveň se snažit udržet požadovanou rychlost, pokud to podmínky umožňují.

Základní myšlenkou modelu pohybu vozidel je předpoklad, že řidičovo chování se může nacházet ve čtyřech jízdních stavech: [4]

- 1) volná jízda – řidič není omezován jinými vozidly, skutečná rychlost vozidla se pohybuje okolo řidičovy požadované rychlosti,
- 2) následování – řidič následuje vozidlo před sebou při zachování bezpečného odstupu, jeho rychlost následkem nedokonalého řízení mírně osciluje,
- 3) přibližování – proces přizpůsobování řidičovy požadované rychlosti k rychlosti pomalejšího vozidla,
- 4) brzdění – zpomalování vozidla ke kterému dochází v případě potřeby výraznějšího snížení rychlosti nebo zastavení.

### 3.2.2 Zvolené počáteční podmínky

V obecné rovině efektivita a kapacita křižovatky závisí na mnoha proměnných a vyčíslení a uvažování všech těchto faktorů a proměnných by přesahovalo za možnosti a rozsah této práce. Proto musely být stanovené počáteční neměnné (zjednodušující) podmínky a k výsledkům analýzy je docházeno iterativním postupem.

- Geometrie křižovatky – Geometrie prostoru křižovatky byla v modelu použita z křižovatky Russel street x La Trobe street, na které proběhl dopravní průzkum.

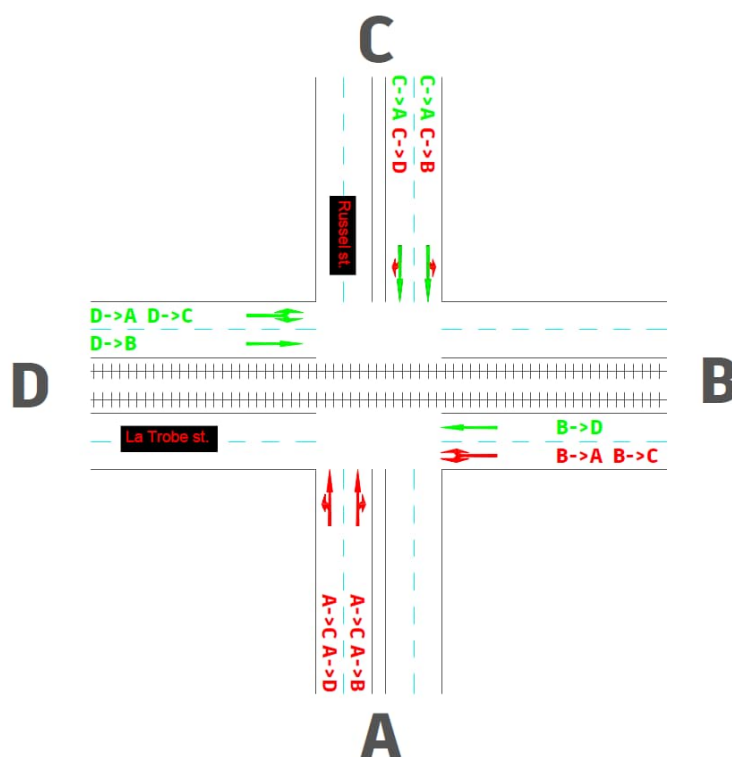
Podélné sklony, které by ovlivňovaly zejména rychlost rozjíždění vozidel, byly v modelu zanedbány.

- Skladba dopravního proudu – V modelu jsou uvažovány pouze osobní automobily. Vliv nákladních vozidel, který by měl za následek změny v rychlosti vozidel zejména v obloucích, změny v akceleraci vozidel i odlišné prostorové nároky, byl v modelu zanedbán stejně jako provoz vozidel s právem přednostní jízdy.
- Signální plán – modely používají pevného signálního plánu s dobou cyklu 60s, viz kapitola 3.1.1., signální plán sestává ze dvou fází, v konvenčním odbočení není uvažována možnost samostatné fáze na levé odbočení.
- Pěší a cyklistická doprava – V modelu je vliv pěší a cyklistické dopravy zanedbán. V případě existence pěší dopravy v modelu by model byl ovlivněn hlavně řízenými přechody pro chodce a jejich zahrnutí do signálního plánu. Intenzita chodců a její proměnlivost by mohla mít globální vliv na celou křižovatku vzhledem k nutnosti vozidla dát přednost chodcům na přechodu. V případě zahrnutí cyklistické dopravy by bylo nutné brát zřetel na prostorové nároky cyklistických integračních opatření (cyklopruhy aj.) Tyto aspekty byly v modelech zanedbány.
- Preference veřejné hromadné dopravy – v modelu je zanedbáno preferenční opatření prodlužující délku fáze „volno“ pro průjezd tramvajové dopravy.
- Počasí a denní doba – vliv proměny počasí a denní doby na dopravu (změna adhezních podmínek, prodloužení brzdné dráhy na mokré vozovce či náledí, délka rozhledu v nočních podmínkách, opatrnost řidičů) je v modelu zanedbán.

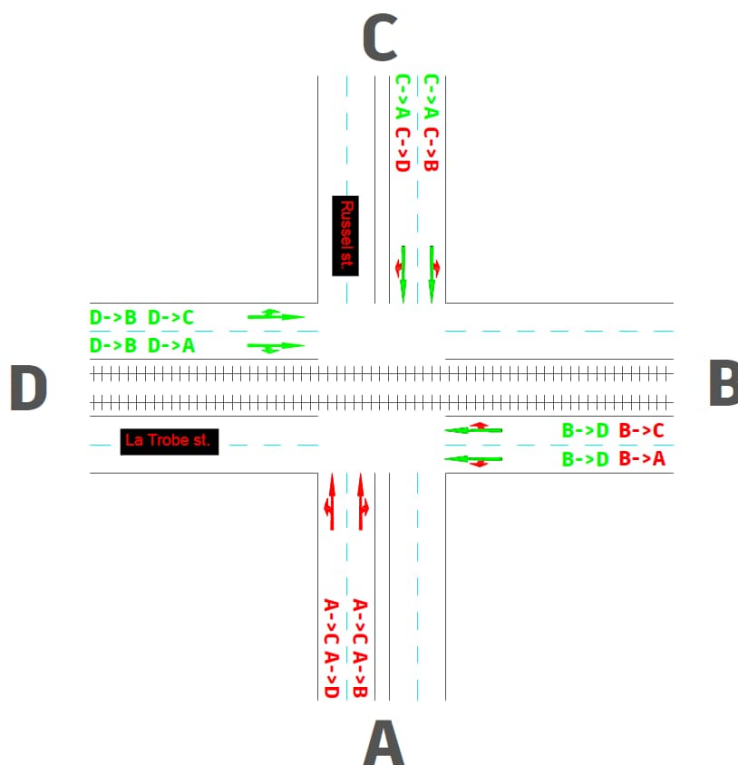
Za těchto počátečních podmínek je kapacita křižovatky závislá zejména na intenzitách dopravy a jejich směrovosti, které budou iterativním postupem měněny a výsledky analyzovány, ostatní faktory v modelu jsou zachovány stejné pro všechny simulace.

Pro zjednodušení bude tato analýza sledovat na dané křižovatce pouze relevantní dopravní proudy pro odbočení z východního ramene La Trobe street na severní Russel street. Statistiky nesledovaných proudů, které jsou s tímto odbočením nekolizní a tudíž na něm nezávislé a mají signál „volno“ v druhé fázi dvoufázového signálního plánu budou v modelu použity, avšak nebudou pro následující analýzu sledovány a jejich výsledky interpretovány. Na následujících obrázcích 8 a 9 jsou zeleně znázorněny sledované dopravní proudy a červeně ty nesledované.

Obrázek 8 - Schéma relevantních sledovaných dopravních proudů a jejich umístění do řadících pruhů v hook turn variantě křižovatky



Obrázek 9 - Schéma relevantních sledovaných dopravních proudů a jejich umístění do řadících pruhů v konvenční variantě křižovatky



Základní intenzity jednotlivých dopravních proudů získané z dopravního průzkumu použité pro první krok analýzy jsou uvedeny v následující tabulce 2:

Tabulka 2 - Tabulka výchozích intenzit pro vstup do obou modelů

Tabulka základních intenzit [voz/h]			
A	B	C	D
550	400	400	500
SMĚR			voz/h
D->B (přímý)			375
D->A (hook turn)			75
D->C (levé odbočení)			50
C->A (Přímý z boku)			300
B->D (přímý protijedoucí)			300

### 3.2.3 Vytvoření modelu

Modely byly vytvářeny v softwaru PTV Vissim zejména díky znalostem autora používání tohoto softwaru a instrukcí nalezených v oficiálním manuálu od vývojářů.[5] Tento postup nebude v této práci detailněji popisován, avšak budou zmíněny netypické úpravy nastavení v modelu, které musely být použity pro správnou funkčnost hook turn odbočení.

- V nastavení konfliktních zón bylo nutné upravit atribut „Avoid blocking the minor flow“ u konfliktních zón mezi vozidly provádějící hook turn a těmi přijíždějícími k nim z boku. Jelikož vozidlo provádějící hook turn musí zastavit v křižovatce, ve standardním nastavení by dle modelu chování do křižovatky ani nenajelo, aby neblokovalo provoz na podřazeném dopravním proudu. Po úpravě tohoto atributu pro tyto konkrétní konfliktní zóny již situace odpovídala realitě. Přenastavení atributu je vidět na následujícím obrázku 10

Obrázek 10 - Příklad nastavení jednotlivých atributů conflict areas ve Vissimu

Count	Link1	VisibLink1	Link2	VisibLink2	Status	FrontGapDef	RearGapDef	MinGapBlockDef	MesoCritGap	SafDistFactDef	AddStopDist	ObsAdjLns	AnticipRout	AvoidBlockMinor
10	10010	100,0	10018	100,0	Undetermined	0,5	0,5	3,0	3,5	1,5	0,0	<input type="checkbox"/>	0,0 %	0,0 %
11	10013	100,0	10018	100,0	Undetermined	0,5	0,5	3,0	3,5	1,5	0,0	<input type="checkbox"/>	0,0 %	0,0 %
12	10016	100,0	10018	100,0	1 waits for 2	0,5	0,5	3,0	3,5	1,5	0,0	<input type="checkbox"/>	0,0 %	0,0 %
13	15: Out_B	100,0	10018	100,0	Undetermined	0,5	0,5	3,0	3,5	1,5	0,0	<input type="checkbox"/>	0,0 %	100,0 %
14	10002	100,0	10019	100,0	2 waits for 1	0,5	0,5	3,0	3,5	1,5	0,0	<input type="checkbox"/>	0,0 %	100,0 %
15	10010	100,0	10019	100,0	Undetermined	0,5	0,5	3,0	3,5	1,5	0,0	<input type="checkbox"/>	0,0 %	100,0 %
16	10011	100,0	10019	100,0	2 waits for 1	0,5	0,5	3,0	3,5	1,5	0,0	<input type="checkbox"/>	0,0 %	100,0 %

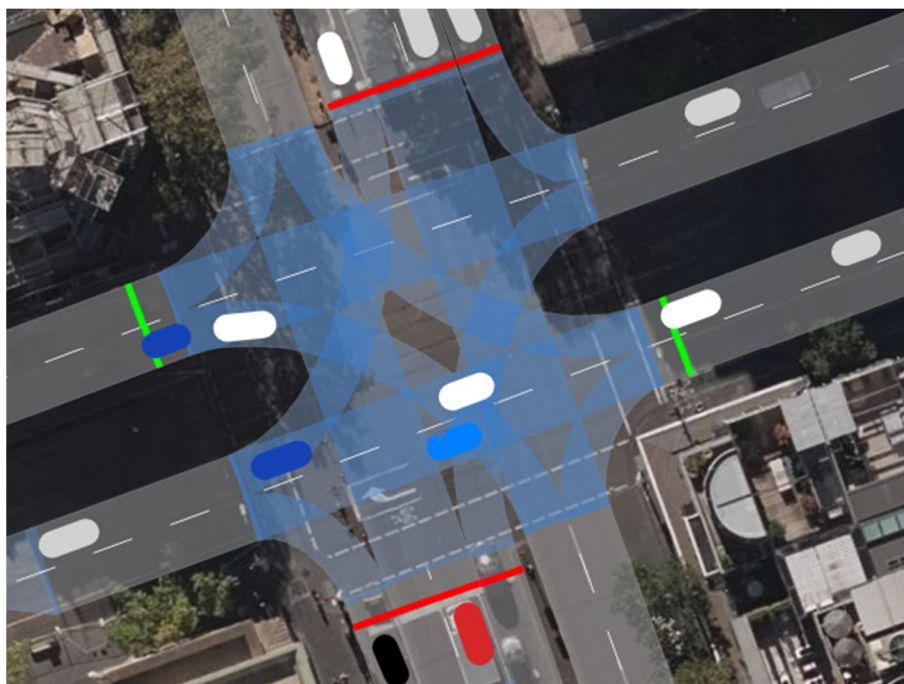
- Stejně tak bylo nutné upravit atribut ovlivňující vzdálenost, jakou vozidlo zastavuje před stopčárou na signálu „stůj“, jelikož hook turn odbočení bylo namodelováno pomocí přidané virtuální stopčáry v prostoru pro vyčkávání vozidel provádějících hook turn označeným vodorovným dopravním značením. Pro dosažení reálné situace bylo nutné, aby vozidla najížděla natěsno až k hranici virtuální stopčáry a toho bylo dosaženo pomocí změny atributu „Distance in front of stop line.“

Zmíněná zavedená opatření měla za cíl zkvalitnit simulaci tak, aby více odpovídala realitě. Na následujících obrázcích 11 a 12 je finální grafické vyobrazení obou variant modelů v době probíhající simulace. Zelené a červené úsečky představují světelné signalizační zařízení, šedě jsou znázorněny jízdní pruhy mimo prostor křižovatky

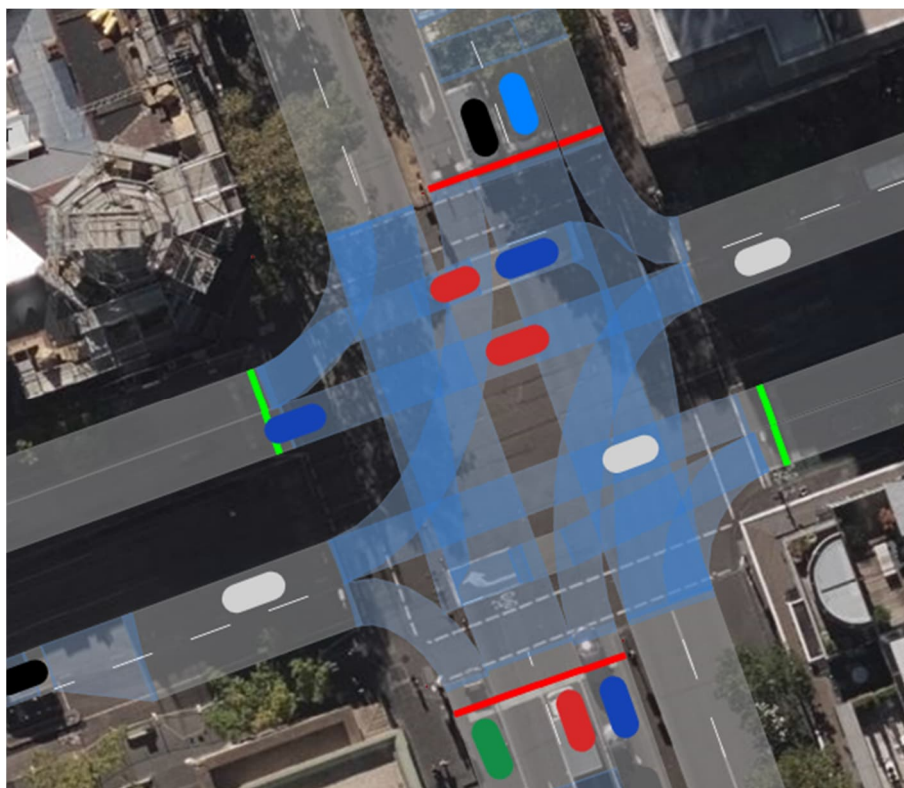


(entity „links“ v softwaru VISSIM) a modře je znázorněno vedení dopravních proudů v prostoru křižovatky (entity „connectors“ v softwaru VISSIM)

*Obrázek 11 - Screenshot z Vissimu - varianta křižovatky s konvenčním odbočením*



*Obrázek 12 - Screenshot z Vissimu - Hook Turn varianta křižovatky*



### 3.2.4 Ověření funkčnosti modelů

Před použitím modelu byla provedena potřebná ověření (v souladu s příručkou pro tvorbu a vyhodnocení mikroskopických simulací dopravy[4]), že vstupní data byla implementována korektně a model je plně funkční:

- a) Součty na modelových vjezdech a výjezdech – Bylo provedeno kontrolní ověření intenzit dopravy vstupujících a vystupujících z modelu, včetně správného nastavení směrovosti. Je nutno mít na zřeteli, že součty nemusí sedět absolutně přesně na základě jednoho kontrolního sčítání.
- b) Konektivita, funkčnost tras – Byla prověřena spojitost tras a funkčnost propojení všech zdrojů a cílů.
- c) Pravidla přednosti v jízdě – Pomocí sledování dopravního proudu v křižovatkách bylo provedeno ověření funkčnosti pravidel a korektní interakce mezi jednotlivými vozidly. (bez překrývání vozidel nebo ježdění přes sebe, správné nastavení nadřazených a podřazených dopravních proudů)

Vyladění modelu bylo provedeno zejména vizuálním sledováním simulace při různých intenzitách, kdy byla sledována vzájemná interakce vozidel a funkčnost celé křižovatky, případně sledováním konkrétních vozidel po celé jejich trase.

V průběhu vyladění modelu docházelo ke stavu tzv. Grid-lock, kdy dojde k zablokování provozu v křižovatce z důvodu nesprávného nastavení předností v jízdě (vozidla si dávají přednost navzájem a ani jedno nevjede do konfliktní plochy). Toto bylo odladěno pomocí správného přenastavení proměnné „Status“ v „Conflict Areas“.

### 3.2.5 Parametry simulace

Simulační modely při jejich spuštění vykazují obvykle nulovou saturaci modelové sítě, tj. v modelové síti se nenachází žádná vozidla. Určitý časový úsek od startu simulace musí být proto vyloučen z vyhodnocení (zahřívací čas). Délka časového úseku pro překonání stavu nulového nasycení má být obecně tak dlouhá, aby na jeho konci bylo dosaženo rovnovážného stavu, tj. že počet vozidel v síti se již významně nemění. [4] V tomto případě byl zahřívací čas stanoven na 10 minut, tj. 600s. Vyhodnocovaný interval každého měření tak byl 600s-4200s, tj. dohromady 60 minut čistého času.

Výsledky mikroskopické simulace jsou do jisté míry závislé na generátoru náhodných čísel implementovaném do simulačního softwaru, který zjednodušeně řečeno rozhoduje o tom, kdy přesně dané vozidlo vstoupí do modelu. [4] Pro každý běh simulace tak byla měněna hodnota parametru „random seed“ v modelu.

Vyhodnocení je provedeno vždy na základě deseti simulací, které se odlišují tímto rozdílným časovým přidělením vozidel na síť. Intenzita je vždy shodná, liší se pouze časový vstup jednotlivých vozidel do modelu. Tímto krokem se předejde příliš negativnímu nebo pozitivnímu přidělení vozidel. (Od průměrných hodnot ze všech simulačních procesů však bude odchylka při dobře fungujícím modelu pouze malá.) Je však nutno provést dostatečný počet simulačních procesů s rozdílným nastavením generátoru náhodných čísel k zajištění spolehlivých výsledků.

### 3.2.6 Kritéria vyhodnocování

Sledovaným kritériem výkonnosti byl zvolen celkový čas vozidel strávený v křižovatce a průměrné časové zdržení

Kritérium č. 1 – Jízdní čas – Prvním sledovaným kritériem byl čas jízdy vozidel projíždějících křižovatkou. Průměrný jízdní čas (v sekundách) představuje průměrnou hodnotu ze všech vozidel, která projela danou trasu za daný běh simulace.

Kritérium č. 2 – Časové zdržení – Druhým sledovaným kritériem bylo časové zdržení vozidel projíždějících křižovatkou. Průměrné zdržení (v sekundách) představuje průměrnou hodnotu ze všech vozidel, která projela danou trasu za daný běh simulace. Zdržení je vypočteno jako čas, o který vozidlo jede daný úsek v simulovaném provozu déle oproti stavu, kdy by na komunikacích nebyla žádná jiná vozidla viz. znázornění na následujícím obrázku. Výsledná hodnota časového zdržení je pak průměrem ze všech simulačních běhů.

Obrázek 13 – Znázornění měření jízdního času a časového zdržení [6]



### 3.3 Analýza pomocí mikroskopických simulací

V následujících kapitolách jsou zpracovány statistické analýzy výstupních dat. K analýze bylo přistupováno tak, že jejím cílem bylo nalézt podmínky, za kterých je hook turn odbočení kapacitnější.

Analýza byla provedena sledováním a vyhodnocováním chování obou modelů za různých scénářů. V jednotlivých scénářích byly měněny dvě proměnné

- různé dopravních intenzity v jednotlivých dopravních proudech
- proporce křižovatkových pohybů.

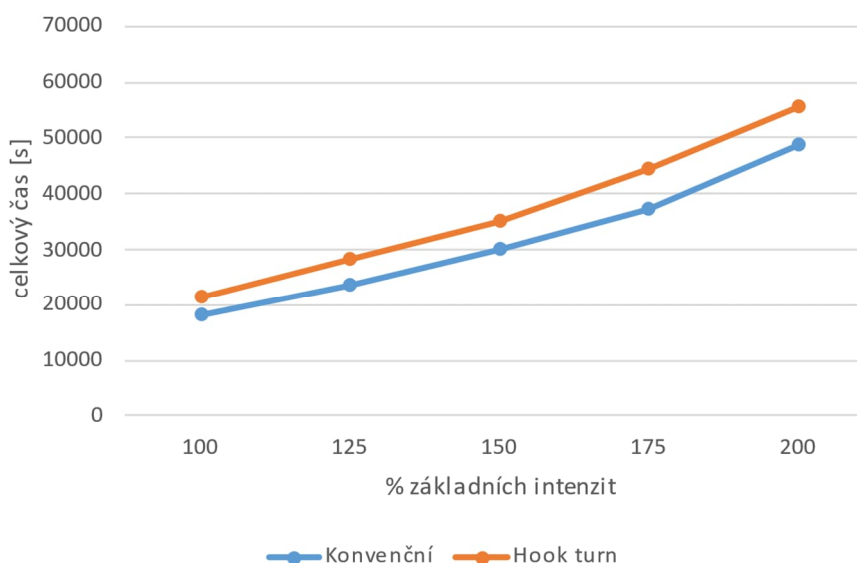
#### 3.3.1 Rovnoměrné zvyšování intenzit v zachovaném vzájemném poměru

První provedenou statistikou byla sledována kapacita křižovatky v případě zvyšování základních intenzit v zachovaném vzájemném poměru viz. následující tabulka. Je třeba poznamenat, že délky jednotlivých měřených úseků pro každé zdrojové a cílové rameno v modelu, a tedy i vzdálenosti mezi nimi, byly identické.

Tabulka 3 - Intenzity na ramenech A-D [voz/h]

	A	B	C	D
<b>100%</b>	550	400	400	500
<b>125%</b>	687,5	500	500	625
<b>150%</b>	825	600	600	750
<b>175%</b>	962,5	700	700	875
<b>200%</b>	1100	800	800	1000

Graf 1 - Celkový jízdní čas vozidel strávený v křižovatce z relevantních jízdních proudů v závislosti na procentech základních intenzit



Tabulka 4- Celkový jízdní čas vozidel [s] strávený v křižovatce z relevantních jízdních proudů v závislosti na procentech základních intenzit

	100%	125%	150%	175%	200%
<b>Konvenční</b>	18046,93	23690,14	29989,51	37035,63	48594,65
<b>Hook turn</b>	21221,11	28330,98	34956,86	44228,28	55678,7

Oba modely byly postupně simulovány nejprve při základních vstupních intenzitách (100%) a následně při jejich postupném zvyšování vždy o 25%. (viz. Tabulka 4). Součet jízdních časů vozidel pro každý scénář ukazuje, že daná křižovatka s konvenčním odbočením je kapacitnější než s hook turn odbočením. Vozidla v případě konvenčního způsobu odbočení strávila v křižovatce kratší čas – došlo celkově k menšímu časovému zdržení.

Pro další kroky analýzy je důležité následující zjištění:

- Ve sledovaném poměru intenzit a poměru odbočujících vozidel se neukázalo hook turn odbočení jako kapacitnější v žádném ze sledovaných scénářů. Pro najití scénáře, kde hook turn odbočení bude kapacitnější, tak bude potřeba poměry intenzit a poměry odbočujících vozidel změnit.

### 3.3.2 Zvyšování intenzity protijedoucího dopravního proudu B->D

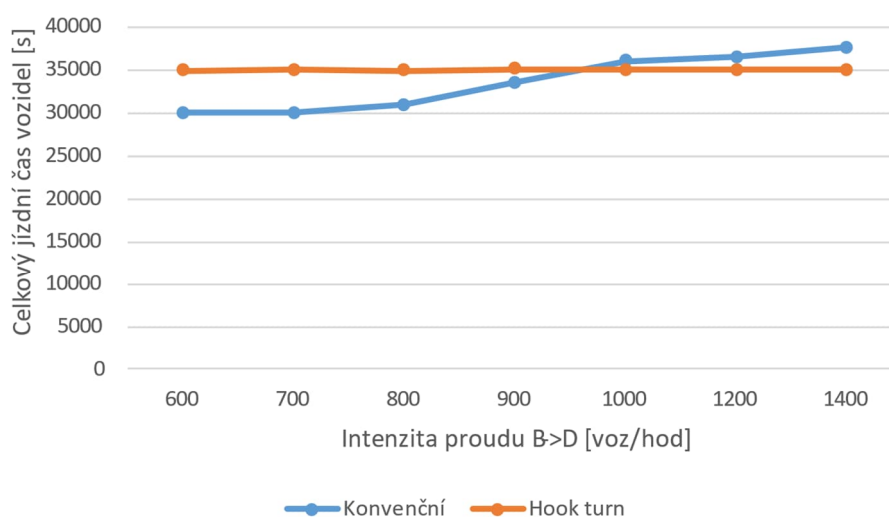
Myšlenka z autorovy hypotézy vyjádřená v úvodu kapitoly 3 spočívá v tom, že konvenční odbočení se stává se zvyšující se intenzitou protijedoucího dopravního proudu (B->D) méně kapacitním, vozidla čekající na odbočení (D->A) v křižovatce mohou blokovat křižovatku a tvořit časové zdržení i pro přímý směr (D->B). Tento faktor je při hook turn odbočení eliminován, jelikož vozidla čekající na odbočení jsou „odstavena“ mimo přímý dopravní proud. Dalším krokem v analýze tak bude postupné zvyšování intenzit protijedoucího proudu B->D a sledování vlivu na časové zpoždění.

Jako výchozí intenzity pro další část analýzy byly použity hodnoty 150% původních intenzit. Při základních hodnotách intenzit (100%) vzniká stále poměrně velká rezerva v kapacitě. (všechny dopravní proudy se vyznačují časovým zdržením kratším než 20s – ÚKD A dle ČSN 736102 [13]). Při takto malém nasycení křižovatky by nemusely být patrné změny ve výsledných časových zdržení jednotlivých proudů

Tabulka 5 - Zkoumané kombinace intenzit v této části analýzy

A	B	C	D
825	<b>600</b>	600	750
825	<b>700</b>	600	750
825	<b>800</b>	600	750
825	<b>900</b>	600	750
825	<b>1000</b>	600	750
825	<b>1200</b>	600	750
825	<b>1400</b>	600	750

Graf 2 - Celkový jízdní čas vozidel z relevantních proudů strávený v křižovatce v závislosti na intenzitě protijedoucího proudu B->D



V případě hook turn odbočení je proud B->D nekolizní vůči všem ostatním sledovaným relevantním proudům. Sledované proudy tak nejsou zvyšující se intenzitou proudu B->D ovlivněny a proto kritérium celkového jízdního času vozidel zůstává u hook turn

odbočení stejné, zatímco u konvenčního odbočení se navyšuje. (viz. Graf 2 a červené zvýraznění v tabulkách 6 a 7)

*Tabulka 6 - Konvenční odbočení - průměrné časové zdržení na jednotlivých dopravních proudech v závislosti na intenzitě proudu B->D*

Intenzita B->D [voz/hod]	600	700	800	900	1000	1200
D->A (vpravo, konvenční)	19,99	21,3	23,93	31,39	36,02	45,87
D->C (vlevo)	12,79	12,4	12,63	14,49	13,26	14,2
D->B (přímo)	14,23	14,2	15,12	15,49	16,21	17,75
C->A (přímo)	13,65	13,65	13,66	14,06	13,72	13,74
B->D (přímo)	13,89	13,35	13,94	16,19	17	23,25

*Tabulka 7 - Hook turn odbočení - průměrné časové zdržení na jednotlivých dopravních proudech v závislosti na intenzitě proudu B->D*

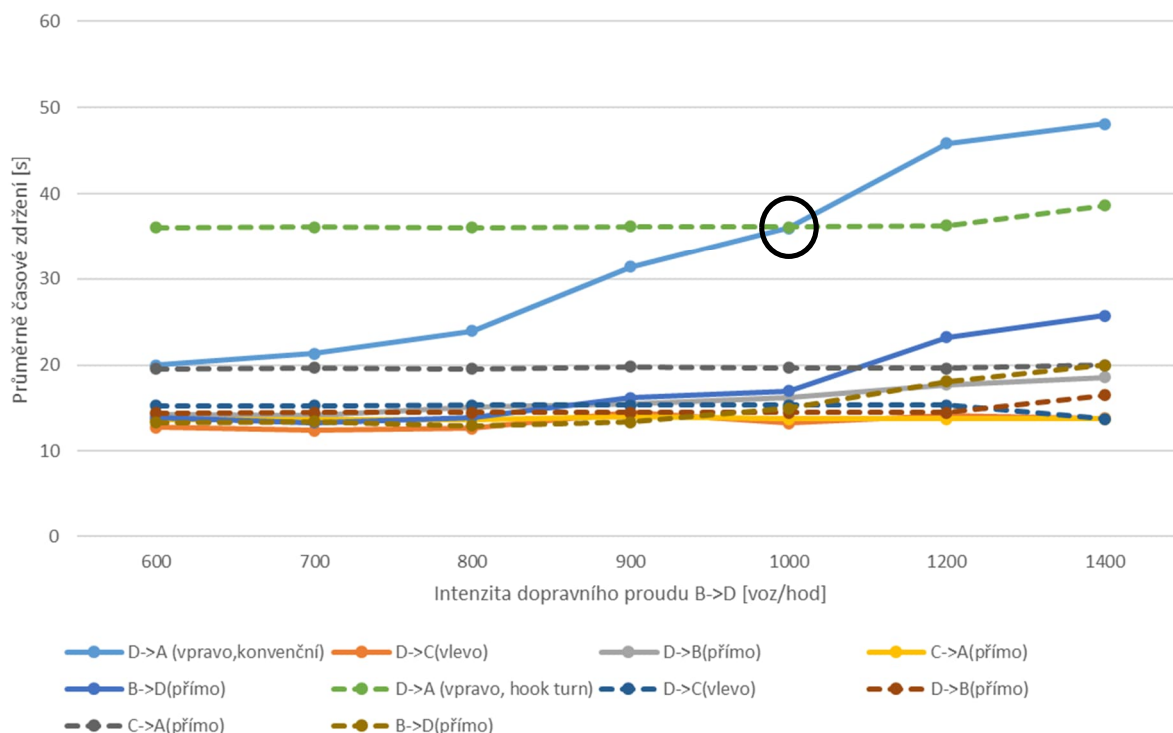
Intenzita B->D [voz/hod]	600	700	800	900	1000	1200
D->A (vpravo, hook turn)	36,08	36,11	36,06	36,21	36,13	36,28
D->C (vlevo)	15,3	15,28	15,32	15,33	15,31	15,34
D->B (přímo)	14,41	14,49	14,47	14,47	14,49	14,46
C->A (přímo)	19,57	19,7	19,53	19,83	19,68	19,6
B->D (přímo)	13,33	13,47	12,95	13,4	14,98	25

Z pohledu dopravního proudu C->A je patrný konstatní a očekávaný rozdíl v časovém zdržení mezi konvenční a hook turn křižovatkou cca 5-6 sekund. Tento rozdíl je způsobený tím, že proud C->A musí na začátku své fáze vyčkat vyklizení křižovatkou vozidly vykonávající hook turn (D->A).

Porovnáním vývoje průměrného časového zdržení proudu D->A v obou modelech bylo zjištěno, že hodnoty průměrného časového zdržení se vyrovnají přibližně při intenzitě protijedoucího proudu 1000 voz/hod a u konvenčního odbočení se zdržení nadále zvyšuje (viz. černá zvýraznění v tabulkách a grafu). V následujícím grafu jsou hodnoty průměrných časových zdržení u hook turn odbočení znázorněny přerušovanou čarou a konvenční odbočení plnou čarou.



**Graf 3 - průměrné časové zdržení [s] v jednotlivých dopravních proudech v závislosti na intenzitě proudu B->D**



Pro další kroky analýzy jsou důležitá následující zjištění:

- b) Při dosažení intenzity 1000 voz/hod dopravního proudu B->D se průměrné časové zdržení konvenčního odbočení rovná průměrnému časovému zdržení hook turn odbočení
- c) Zatímco u hook turn odbočení zůstávají ostatní proudy takřka neovlivněny zvyšováním intenzity proudu B->D, u konvenčního odbočení dochází k nárůstu průměrného časového zdržení v přímém proudu D->B. Z vizuálního pozorování bylo odhaleno, že k tomuto zdržení dochází nejčastěji dočasným zablokováním přímého směru odbočujícími vozidly, (viz. následující obrázek 14 a červené zvýraznění hodnot v tabulce 7) Efekt se projevuje až u vyššího stupně saturace křižovatky (kolem 900 voz/hod proudu B->D).

**Obrázek 14 – Příkladová situace zablokování přímého směru odbočujícími vozidly**



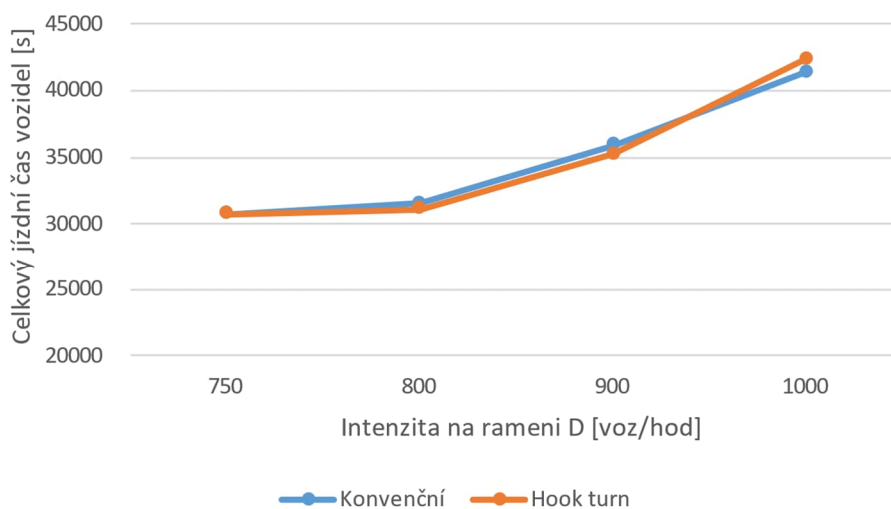
### 3.3.3 Zvyšování intenzity přímého proudu D->B

Následujícím krokem analýzy je zvyšování intenzity proudu D->B. Vstupními daty pro tento bod analýzy byla zvolena kombinace intenzit z předešlého bodu tj. intenzita proudu B 900 voz/hod, při které se začalo výrazněji projevovat zdržení proudu D->A potažmo D->B. Je pravděpodobné, že s narůstající intenzitou tohoto proudu, který je ovlivněn protijedoucím proudem B->D se bude zvyšovat celkové zdržení vozidel.

Tabulka 8 - Zkoumané kombinace intenzit v této části analýzy

A	B	C	D	D->B
825	900	600	<b>750</b>	<b>562,5</b>
825	900	600	<b>800</b>	<b>612</b>
825	900	600	<b>900</b>	<b>712</b>
825	900	600	<b>1000</b>	<b>812</b>

Graf 4 - Celkový jízdní čas vozidel z relevantních proudů strávený v křižovatce v závislosti na intenzitě na rameni D



Tabulka 9 - Celkový jízdní čas vozidel z relevantních proudů strávený v křižovatce v závislosti na intenzitě na rameni D

D voz/hod	750	800	900	1000
Konvenční	30750,18	31552,67	35908,92	41349,22
Hook turn	30716,3	31100,87	35211,87	42377,45

Tabulka 10 – Konvenční odbočení -průměrné časové zdržení [s] v jednotlivých dopravních proudech v závislosti na intenzitě na rameni D

D voz/hod	750	800	900	1000
D->A (vpravo, konvenční)	31,39	29,82	31,61	37,66
D->C (vlevo)	14,49	14,43	15,04	15,97



D->B(přímo)	15,49	15,35	17	20,06
C->A(přímo)	14,06	14,04	14,04	14,11
B->D(přímo)	16,19	16,64	18,56	19,26

Tabulka 11 – Hook turn odbočení -průměrné časové zdržení [s] v jednotlivých dopravních proudech v závislosti na intenzitě proudu D

D voz/hod	750	800	900	1000
D->A (vpravo, Hook turn)	36,21	33,45	36,62	39,86
D->C(vlevo)	15,33	14,31	14,32	21,21
D->B(přímo)	14,47	14,77	16,84	23,25
C->A(přímo)	19,83	19,56	20,69	19,91
B->D(přímo)	13,4	13,48	13,4	13,41

Výsledky simulací vykazovaly při všech scénářích velmi podobné hodnoty u obou modelů. Zatímco při intenzitě proudu D 750 voz/hod byl celkový čas vozidel strávený v křižovatce v obou případech téměř stejný, v průběhu zvyšování intenzit sejevila varianta s hook turn odbočením jako mírně kapacitnější, dokud nezačala fronta vozidel na hook turn odbočení významně blokovat proud D->C kde pak docházelo k navýšení zpoždění.

Pro další kroky analýzy je důležité následující zjištění

- Hook turn odbočení vykazuje pro danou křižovatku lepší výsledky při intenzitách proudu D okolo 750-950 voz/hod. V případě vyšších hodnot začne docházet k významnému zdržení proudu D->C a konvenční varianta křižovatky má celkově kratší zdržení.

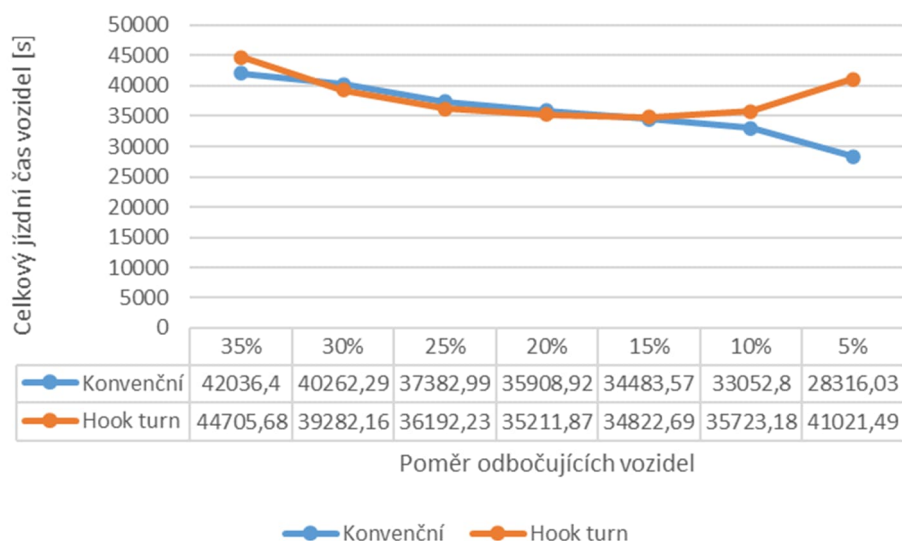
### 3.3.4 Optimální poměr odbočujících vozidel

Cílem dalšího bodu analýzy bylo zjistit, jak křižovatku ovlivní změna poměru odbočujících vozidel. Jako výchozí byly použity zeleně zvýrazněné hodnoty, pro které hook turn křižovatka vycházela s nejlepšími výsledky z předchozích bodů analýzy. Postupně poté byl měněn poměr odbočujících vozidel tj. (proudy D->A a D->C vůči D->B)

Tabulka 12 – Zkoumané kombinace intenzit a z nich vyplývajících poměrů odbočujících vozidel v této části analýzy

D	D->B	D->B	D->A + D->C
900	630	70%	30%
900	675	75%	25%
900	720	80%	20%
900	765	85%	15%
900	810	90%	10%
900	855	95%	5%

Graf 5 - Celkový jízdní čas vozidel z relevantních proudů strávený v křižovatce v závislosti na poměru odbočujících vozidel



Z grafu 5 je patrné, že křivka celkového jízdního času vozidel pro hook turn odbočení je nižší v rozmezí cca 20-30 procent odbočujících vozidel.

Zjištění plynoucí z tohoto bodu analýzy:

- Hook turn křižovatka má menší časové ztráty v případě, že poměr odbočujících vozidel je mezi 20 a 30 procenty. Ve vyšších a nižších hodnotách od tohoto intervalu se křižovatka s konvenčním odbočením vykazovala jako kapacitnější.

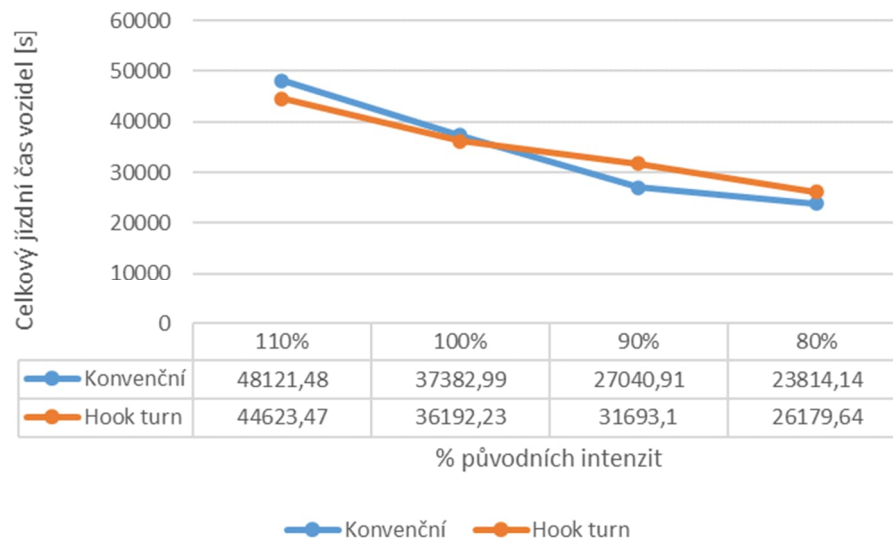
### 3.3.5 Rovnoměrné snižování intenzit v zachovaném vzájemném poměru

Pro ověření doposud zjištěných poznatků byla jako poslední část analýzy provedena zpětná kontrola postupem opačným, než byl použit v první části analýzy. Pro nalezené kombinace intenzit a poměru odbočujících na jednotlivých ramenech bylo sledováno rovnoměrné snižování intenzit v zachovaných poměrech s očekáváním, že v nižších stupni saturace bude opět konvenční odbočení kapacitnější.

Tabulka 13 - Zkoumané kombinace intenzit v této části analýzy

	A	B	C	D
110%	907,5	990	660	990
100%	825	900	600	900
90%	742,5	810	540	810
80%	660	720	480	720

**Graf 6 - Celkový jízdní čas vozidel z relevantních proudů strávený v křižovatce v závislosti na rovnoměrném snižování intenzit**



Tato myšlenka byla tímto krokem analýzy potvrzena. Pro sledované 90% a 80% hodnoty sledovaných intenzit se konvenční křižovatka ukázala jako více kapacitní.

### 3.3.6 Závěr analýzy

Z předešlé analýzy a kombinace jejich výstupů z jednotlivých kroků vyšlo najevo, že za následujících podmínek může být hook turn odbočení kapacitnější než klasické konvenční odbočení:

- a) Protijedoucí dopravní proud má intenzitu 900 voz/hod a vyšší (kap. 3.3.2)
- b) Poměr odbočujících vozidel je mezi 20-30 procenty (kap. 3.3.4)
- c) Celková saturace křižovatky je vysoká (kap. 3.3.1, 3.3.5)

Je potřeba zmínit, že analýza byla ovlivněna zjednodušujícími podmínkami uvedenými v kapitole 3.2.2, není tedy možné tvrdit, že se křižovatka bude chovat stejně i v případě změny některých z uvedených podmínek a výsledné závěry nelze brát dogmaticky pro všechny situace. K výsledkům této analýzy bylo docházeno iterativním způsobem. Postup analýzy nelze označit za jediný možný a byl postupně navrhován v průběhu zpracování práce díky sledování chování obou modelů. Pro účely ověření výsledků této analýzy v praxi bude v následující kapitole navrženo hook turn odbočení na vytipované existující křižovatce se zavedeným konvenčním odbočením a budou porovnány výsledky získané ověřením návrhu v simulačním nástroji vůči reálným dopravně inženýrským datům zjištěným dopravním průzkumem.

## 4. Situační návrh hook turn na vytipované křižovatce

V této kapitole bude, na základě zjištěných výsledků z předchozí analýzy, navrženo hook turn odbočení na reálné křižovatce nacházející se v Praze pro prověření možnosti uplatnění hook turn odbočení v českých podmínkách s pravostranným provozem, jakožto jednoho z cílů této práce.

### 4.1 Vytipování křižovatek

Na základě popsaných závěrů analýzy v kapitole 3.3.6 bylo vytipováno několik křižovatek na tramvajové síti v Praze, které by potenciálně mohly splňovat zadaná kritéria

- a) Ječná x Lipová
- b) Veletržní x Dukelských hrdinů
- c) Bělehradská x Rumunská
- d) Černokostelecká x Limuzská/Úvalská

Křižovatka Ječná x Lipová byla následně zavržena pro absenci protijedoucího dopravního proudu, jehož intenzita je jednou z podmínek vzešlých z předchozí kapitoly. (v ul. Ječná je zaveden jednosměrný provoz viz následující obrázek 15).

Obrázek 15 - Křižovatka Ječná x Lipová (zdroj: panorama mapy.cz)



Křižovatka Veletržní x Dukelských hrdinů byla zavržena pro komplikované prostorové podmínky, zavedení hook turn odbočení by nejspíše vyžadovalo stavební úpravy zejména v kontextu nutnosti zachování zavedených integračních opatření pro cyklisty.

Obrázek 16 Křižovatka Veletržní x Dukelských hrdinů (zdroj: panorama mapy.cz)



Křižovatka ulic Bělehradská a Rumunská byla zavržena kvůli jednosměrnému provozu na křižující komunikaci, který způsobuje nemožnost zavést hook turn odbočení pro obě levá odbočení z Bělehradské ulice. Zavedení pouze jednoho hook turn odbočení na průsečné křižovatce by vyžadovalo minimálně třífázový signální plán.

Obrázek 17 - Křižovatka Rumunská x Bělehradská (zdroj: panorama mapy.cz)



Jako nejvíce vhodná z pohledu prostorových poměrů, zavedenému dopravnímu režimu a očekávaných intenzit dopravy se z vytipovaných křižovatek jevila a byla vybrána křižovatka ulic Černokostelecká x Limuzská x Úvalská, se kterou tak bude uvažováno v dalších částech této práce.



Obrázek 18 - ortofoto pohled na křižovatku Černokostelecká x Limuzská x Úvalská (zdroj: maps.google.com)



Obrázek 19 - Pohled z chodníku na křižovatku Černokostelecká x Limuzská x Úvalská



## 4.2 Dopravní průzkum

Dne 18.10.2023 v běžný pracovní den byl proveden na sledované křižovatce ulic Černokostelecká x Limuzská/Úvalská dopravní průzkum v odpolední špičce za pomoci pořízení videozáznamu a jeho následného vyhodnocení. Z průzkumu byla získána data o řízení dopravy a data o dopravní poptávce.

### 4.2.1 Data o řízení dopravy

Na křižovatce byl pozorováním identifikován trojfázový dynamický signální plán s proměnnou délkou jednotlivých fází (je zde zavedené preferenční opatření pro tramvajovou dopravu). Za ideálních podmínek by bylo možné získat data o řízení od správců signalizačních zařízení. V tomto případě byly informace zjištěny měřením a pozorováním z pořízeného videozáznamu.

Tabulka 14 - Zjištěná data o signálním plánu na sledované křižovatce

Sekvence signálů	Č- ČŽ - Z - Ž
Délka žlutého signálu	3s
Standardní délka cyklu	120s
Standardní poměr dob zelené F1:F2:F3	39:34:31
Mezičas F1-> F2	5s
Mezičas F2 ->F3	5s
Mezičas F3 ->F1	6s

Pro účely této práce je uvažováno pouze s pevnými signálními plány, a tak byl stanoven a bude nadále v této práci používán uvedený nejčastěji pozorovaný (standardní) poměr dob signálů „volno“ pro jednotlivé fáze a standardní celková délka cyklu, tak jak jsou uvedeny v tabulce 14 výše

#### 4.2.2 Data o dopravní poptávce

Data o intenzitách dopravy v době provádění dopravního průzkumu v každém z křižovatkových směrů byla zjištěna manuálním sčítáním z videozáznamu.

Jelikož byl dopravní průzkum prováděn v běžný pracovní den (18.10.2023) ve špičkové hodině, pak je (v souladu s TP 189 kap. 3.3.2 [15]) možno stanovit tzv. intenzitu dopravy špičkové hodiny (která je hlavním návrhovým kritériem pro kapacitní posouzení řízené křižovatky místních komunikací dle ČSN 736110 [14]) jako maximální hodinovou intenzitu dopravy za dobu průzkumu, tj. jako maximum z hodnot hodinových intenzit dopravy určených jako součet čtyř po sobě následujících 15 minutových intervalů (klouzavá hodina).

$$I_{sh} = \max\{I_n\}$$

$I_{sh}$  je intenzita dopravy špičkové hodiny v běžný pracovní den [voz/h]

$I_n$  jsou hodinové intenzity dopravy v době průzkumu

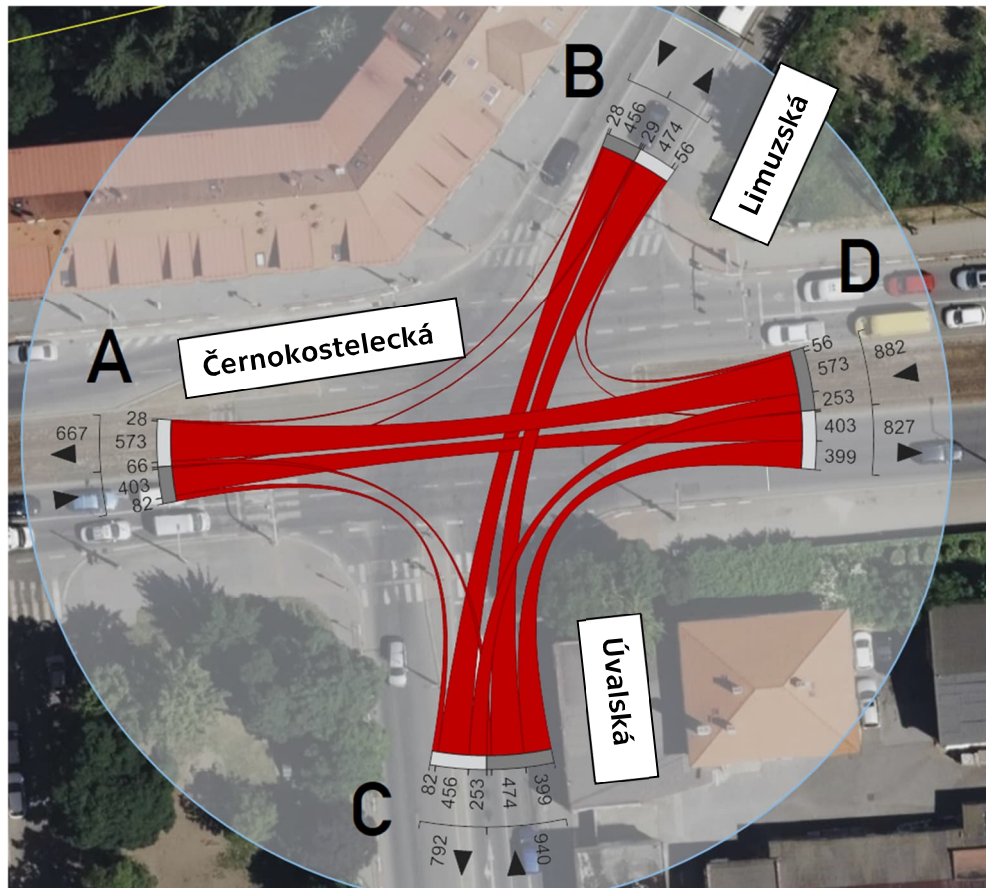
Po zpracování dat nasbíraných během dopravního průzkumu bylo možné tyto intenzity dopravy špičkové hodiny stanovit. Tyto intenzity špičkové hodiny jsou pro sledovanou křižovatku vypsány v následující tabulce 15 a zároveň jsou graficky zobrazeny v pentlogramu na následujícím obrázku 20

Tabulka 15 - Intenzity dopravy špičkové hodiny na křižovatce Černokostelecká x Limuzská x Úvalská

Křižovatkový pohyb	$I_{sh}$ [voz/hod]
B->A pravé	28
B->D levé	24
B->C rovně	464
A->D rovně	396
A->C pravé	77
A->B levé (HT/K)	28
D->A rovně	560
D->C levé (HT/K)	240

D->B pravé	60
C->D pravé	400
C->A levé	64
C->B rovně	480

Obrázek 20 - Pentlogram intenzit dopravy špičkové hodiny na křižovatce Černokostecká x Limuzská/Úvalská



Pozn. číselné hodnoty v pentlogramu se můžou v porovnání s tabulkou lišit v řádu jednotek vozidel, grafické zobrazení bylo vygenerováno v rámci jednoho simulačního běhu modelu. Z tohoto pentlogramu je důležitá zejména vypovídající hodnota o poměru jednotlivých dopravních proudů, která je znázorněna pomocí tloušťky jednotlivých pentlí.

Tyto intenzity jsou v následující tabulce přehledně porovnány vůči podmínkám definovaným na závěr analýzy kritérií (kapitola 3.3.6) pro návrh hook turn odbočení.



Tabulka 16 - Porovnání intenzit získaných dopravním průzkumem vůči podmínkám definovaným v kapitole 3.3.6

	Protijedoucí dopravní proud má intenzitu >900 voz/hod	Poměr odbočujících vozidel je mezi 20-30 %
Hook turn levé odbočení A->B (Černokostelecká -> Limuzská)	✓ (948)	✓ (20,8%)
Hook turn odbočení D->C (Černokostelecká -> Úvalská)	✗ (496)	✗ (34,9%)

Levé odbočení A->B splňuje obě vyčíslitelné definované podmínky pro zavedení hook turn odbočení. Oproti tomu levé odbočení D->C se v obou případech rozchází s požadovaným intervalem hodnot. Na křižovatce byly oproti autorovu očekávání naměřeny poměrně silné dopravní proudy v relaci C->D a naopak D->C., které však reflektují současné stavební uspořádání křižovatky se samostatnými řadícími pruhy pro tyto dopravní proudy. Tato silná relace vozidel však nenahrává podmínkám pro zavedení hook turn na levém odbočení D->C, jelikož celkový poměr odbočujících vozidel z ramene D dosahuje téměř 35 %. Při navržení hook turn odbočení na tomto dopravním proudu tak je na základě těchto informací očekáváno tvoření front v pravém řadícím pruhu působící zároveň časové zdržení pro vpravo odbočující proud D->A, to bude prověřeno v kapitole 5.

#### 4.3 Prostorové prověření návrhu hook turn odbočení

Na křižovatce bylo v tomto kroku prověřeno, že hook turn odbočení může být navrženo z pohledu prostorových poměrů pro levá odbočení z ulice Černokostelecká do Limuzská a z Černokostelecká do Úvalská. Samostatnou přílohou č.1 této diplomové práce je výkres navrhovaného dopravního značení pro zavedení hook turn odbočení.

Z důvodu neexistence takového opatření v ČR česká legislativa nezná alternativu ke svislé dopravní značce „Right turn from left only“, která je používána v Austrálii. Její možná česká alternativa „Pozor! Levé odbočení zprava“ tak byla navržena autorem této práce s převzetím designu existujícího Australského značení. Tato značka by pravděpodobně spadala do skupiny značek informativní provozní (tj. skupina IP dle vyhlášky č. 294/2015 Sb, kterou provádějí pravidla provozu na pozemních komunikacích).

Obrázek 21 - Svislá dopravní značka "Right turn from left only" užívané ve státě Victoria v Austrálii

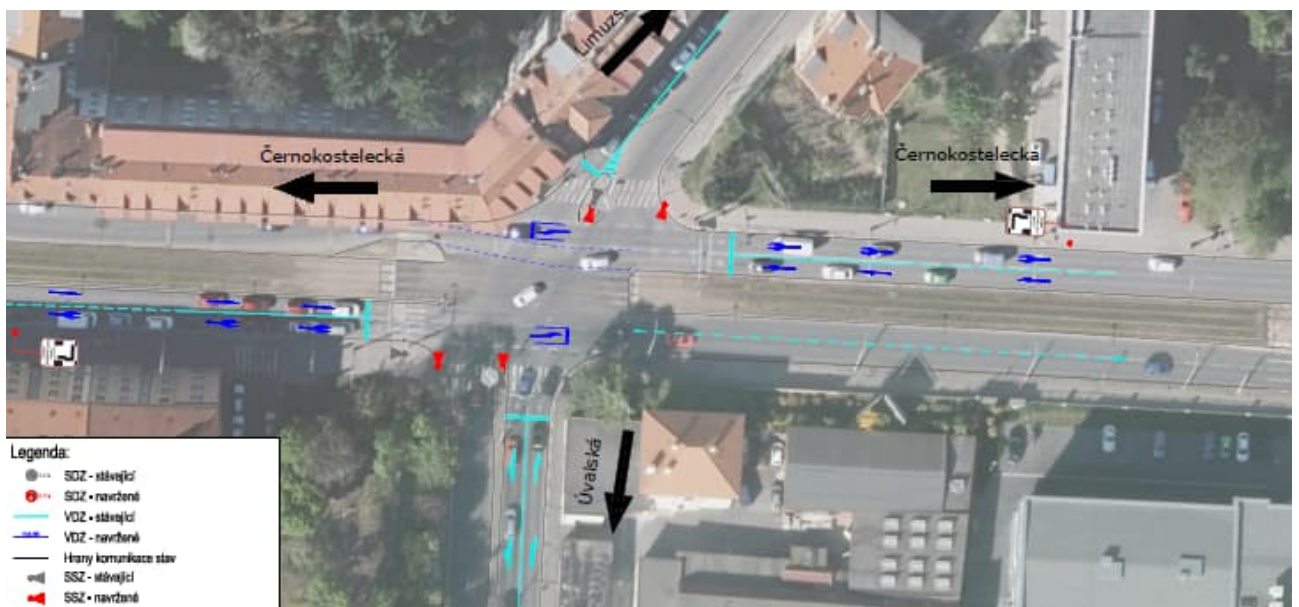


Obrázek 22 - Svislá dopravní značka "Pozor! Levé odbočení zprava" (grafický design převzat z Australské verze značky)



V situačním návrhu hook turn odbočení na sledované křižovatce je využito směrových šipek „V9“ pro příslušné řadící pruhy. Zároveň je pomocí vodorovného dopravní značení vyznačen prostor pro vyčkávání vozidel vykonávající hook turn odbočení v prostoru křižovatky. Na protilehlá ramena křižovatky je navrženo osazení sekundárních světelných signalizačních zařízení, která jsou základním předpokladem pro funkčnost hook turn odbočení (tyto SSZ nejsou standardně v ČR osazovány, viz. kapitola 7.2 o překážkách zavedení hook turn v českých podmínkách). Dalším základním předpokladem je nepřetržitý provoz a funkčnost SSZ.

Obrázek 23 - Výřez z přílohy č.1 - situace dopravní značení



## 5. Porovnání výsledků získaných ověřením návrhu v simulačním nástroji za využití reálných dopravně inženýrských dat stávajícího stavu zjištěným dopravním průzkumem

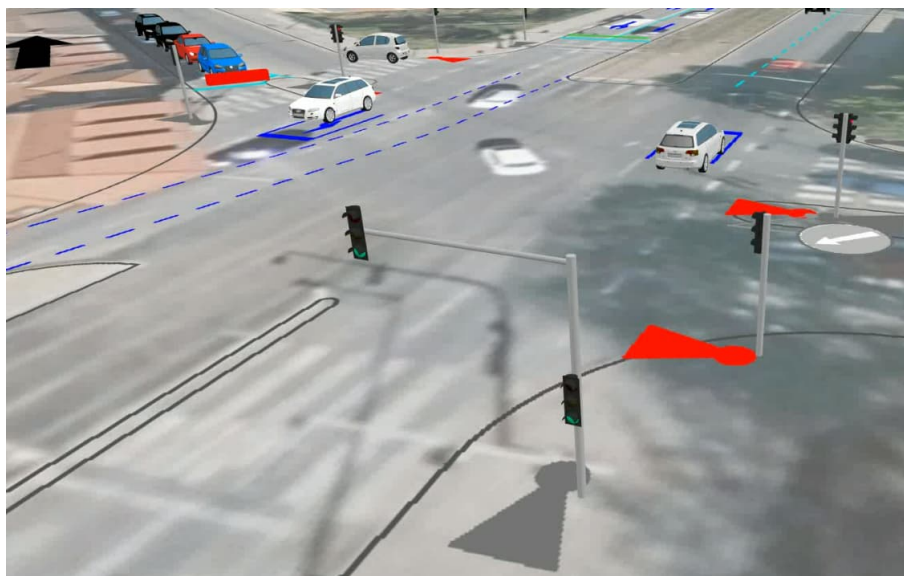
Na takto navržené křižovatce byly vytvořeny dva modely v simulačním nástroji PTV VISSIM. Hodnoty získané z dopravního průzkumu budou sloužit jako vstupní data pro tyto dva modely:

- a) Křižovatka Černokostelecká x Limuzská/Úvalská s konvenčním levým odbočením (reálný stávající stav)
- b) Křižovatka Černokostelecká x Limuzská/Úvalská se zavedeným levým hook turn odbočením

První model představuje současný reálný stávající stav křižovatky a druhý model má pro levá odbočení Černokostelecká-> Limuzská a Černokostelecká -> Úvalská zavedena hook turn odbočení. Data získaná z dopravního průzkumu byla zanesena do obou modelů. Postup tvorby modelů byl totožný s postupem popsáním v kapitolách 3.2.1- 3.2.6

Pro každý z modelů bylo provedeno celkem 10 simulací. Krátká video vizualizace návrhu hook turn z části jednoho ze simulačních běhů je samostatnou přílohou č.3 této diplomové práce. Snímek z této vizualizace zachycující dvě vozidla čekající na dokončení hook turn odbočení (proudy A->B a D->C) je zobrazen na následujícím obrázku 24.

Obrázek 24 - Snímek z vizualizace hook turn na křižovatce Černokostelecká x Limuzská x Úvalská



Jako hodnotící kritérium bylo zvoleno průměrné časové zdržení jednotlivých dopravních proudů. Naměřené hodnoty jsou pak porovnávány s hodnotami pro určení úrovně kvality dopravy dle ČSN 736102 [13], které jsou uvedeny v následující tabulce 17.

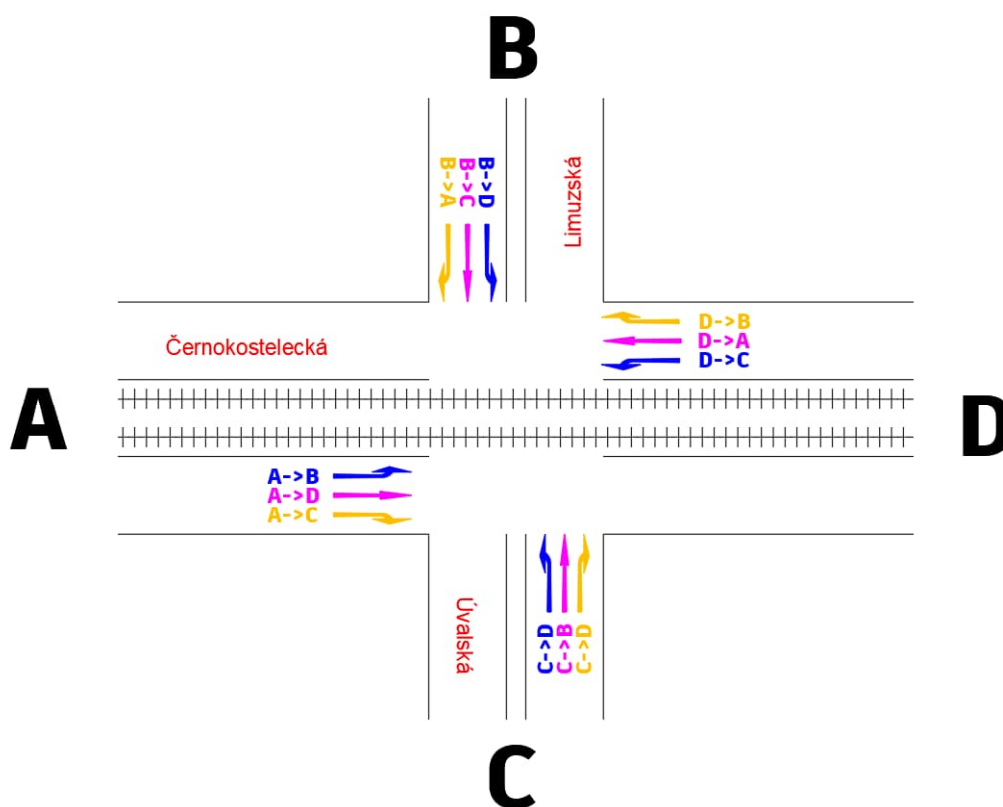
Tabulka 17 - Mezní hodnoty střední doby zdržení na vjezdu do světelně řízené křižovatky [13]

Úroveň kvality dopravy		Střední doba zdržení [s]
Označení	Charakteristika	
A	Velmi dobrá	≤ 20
B	Dobrá	≤ 35
C	Uspokojivá	≤ 50
D	Dostatečná	≤ 70
E	Nestabilní	> 70
F	Nevyhovující	–

UKD na stupni F je dosaženo při překročení kapacity, tj. při rezervě kapacity vjezdu  $Rez \leq 0$

Na následujícím obrázku 25 je znázorněno označení jednotlivých dopravních proudů na této křižovatce pro účely této práce. V tabulce 18 je přehled naměřených hodnot pro oba sledované modely a hodnota ÚKD pro každý sledovaný dopravní proud.

Obrázek 25 – Schéma jednotlivých dopravních proudů na křižovatce Černokostecká x Limuzská/Úvalská



Tabulka 18 - Průměrné časové zdržení jednotlivých dopravních proudů v křižovatce

Průměrné časové zdržení jednotlivých dopravních proudů v křižovatce				
	Křižovatka s HT odbočením		Konvenční křižovatka	
Křižovatkový pohyb	Průměrné časové zdržení [s]	ÚKD	Průměrné časové zdržení [s]	ÚKD
B->A pravé	57,69	D	42,74	C
B->D levé	63	D	61,37	D
B->C rovně	61,2	D	56,2	D
A->D rovně	14,45	A	33,6	B
A->C pravé	27,05	B	36,2	C
A->B levé (HT/K)	52,37	D	37,36	C
D->A rovně	18,72	A	13,73	A
D->C levé (HT/K)	52,2	D	36,52	C
D->B pravé	36,15	C	10,76	A
C->D pravé	29,78	B	31,86	B
C->A levé	62,04	D	44,09	C
C->B rovně	45,91	C	30,86	B

Pro každý dopravní proud je červeně zvýrazněný ten, který měl větší průměrné zdržení z obou modelů a zeleně ten s kratším časovým zdržením. Z tabulky 18 je patrné, že pro 9 dopravních proudů vykazuje kratší časové zdržení konvenční křižovatka a pro 3 dopravní proudy křižovatka s hook turn odbočením.

Skalárním součinem zaznamenaného počtu vozidel a průměrných časových zdržení byly získány hodnoty celkových časových zdržení v křižovatce.

Tabulka 19 - Součet časových zdržení v křižovatce všech dopravních proudů za hodinu

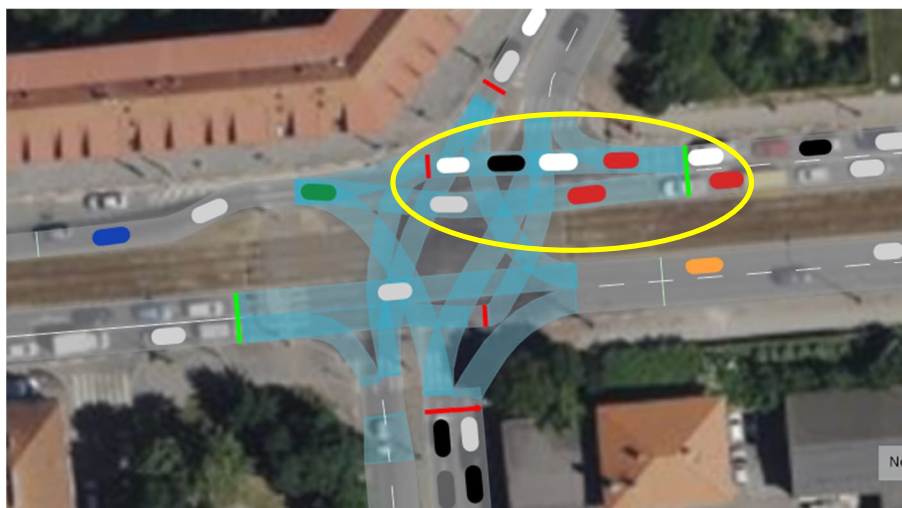
Součet časových zdržení v křižovatce všech dopravních proudů za hodinu [s]	
Křižovatka s HT odbočením	Konvenční křižovatka
92218,16	84884,92

V následujících odstavcích budou rozebrány vybrané skutečnosti vyplývající z výsledků měření.

### 5.1 Dopravní proud D->B

Největší zaznamenaný rozdíl v průměrném časovém zdržení (25,39s) je v dopravním proudu D->B tj. pravé odbočení z ulice Černokostelecká do ulice Limuzská. To lze připisovat zejména tomu, že v konvenční křižovatce existuje pro tento křižovatkový pohyb společný řadící pruh s proudem D->A (rovně) a ani jeden z těchto proudů není podřazen jinému, tj. po celou dobu signálu „volno“ může za normálních okolností volně proudit. Zatímco v křižovatce s hook turn odbočení tento proud sdílí řadící pruh s proudem D->C tj. vozidla provádějící hook turn levé odbočení. V případě, že dojde k zaplnění prostoru křižovatky vozidly provádějící hook turn do takové míry, že již vozidla z tohoto řadícího pruhu nemůžou dále do křižovatky najíždět, vzniká podstatné časové zdržení pro oba dotčené proudy. Viz. příkladová situace vyobrazená na následujícím obrázku 26.

Obrázek 26 – zablokování proudu D->B (odbočení vpravo) vozidly čekajícími na hook turn odbočení



Tento efekt byl předpokládán již v kapitole 4.2.2 na základě výsledků zpracování dat z dopravního průzkumu. Je totiž přímo svázán s příliš velkým poměrem odbočujících vozidel z ramene D (34,9%)

## 5.2 Dopravní proud A->D

Druhý největší zaznamenaný rozdíl v průměrném časovém zdržení (19,15s) je v dopravním proudu A->D (rovně) ve prospěch křižovatky s hook turn odbočením. Nastává tak ze dvou důvodů:

- a) v trojfázovém signálním plánu konvenční křižovatky má fáze ve které tento proud má signál „volno“ kratší trvání než ostatní fáze a společně s celkovou délkou cyklu principiálně vzniká delší zdržení.
- b) V konvenční křižovatce tento proud sdílí oba řadící pruhy s odbočujícími proudy A->B a A->C. Nemá tak žádný samostatný řadící pruh a je tak v levém řadícím pruhu ovlivněn vozidly zastavenými v křižovatce, které provádějí levé odbočení a dávají přednost protijedoucímu dopravnímu proudu. Pravý řadící pruh pak je ovlivněn zpomalením vozidel odbočujících vpravo. Oproti tomu v křižovatce s hook turn odbočením není proud A->D ovlivněn žádným jiným dopravním proudem.

## 5.3 Dopravní proudy A->B a D->C

Dále je nutné zmínit přímé porovnání levých odbočení A->B a D->C, které jsou alternativně navrženy konvenčním nebo hook turn způsobem. V obou případech má hook turn odbočení o cca 15 sekund delší časové zdržení, což vychází z principu toho, že vozidlo musí čekat v křižovatce na změnu fáze a dokončí odbočení až ve fázi následující oproti té, ve které do křižovatky najede.

## 5.4 Souhrn zjištěných poznatků

V celkovém výsledku křižovatka s hook turn odbočeními vykazovala součet časových zdržení o 8,6% vyšší než křižovatka s konvenčními odbočeními (viz. Tabulka 19). Lze tedy konstatovat, že na reálném příkladu vytipované křižovatky v Praze nebylo potvrzeno, že by v případě návrhu hook turn odbočení mohla vykazovat lepší výsledky



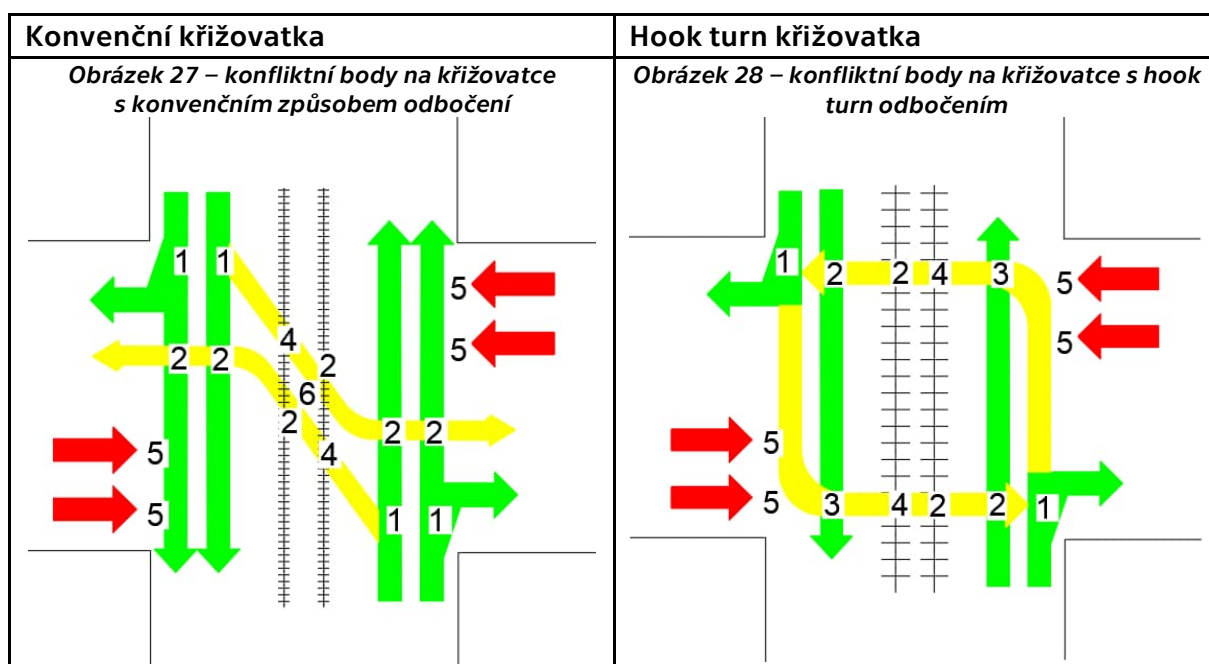
**z pohledu kapacity, než ve stávajícím stavu se zavedeným konvečním odbočením. Avšak dalším podstatným zjištěním z tohoto porovnání výsledků je fakt, že všechny dopravní proudy u obou typů křižovatek vyhovují dle kritérií o časových zdrženích úrovni kvality dopravy (ÚKD) podle ČSN 736102 nejhůře na stupeň D. V případě prokázání jiných provozních výhod a vyloučení potenciálních nevýhod má hook turn odbočení na základě výsledků této analýzy potenciál být navrženo na této křižovatce a být z kapacitního hlediska dostačujícím řešením. V následující kapitole bude, z motivace k nalezení jiných provozních výhod navrženého řešení na této křižovatce, provedena analýza hook turn odbočení z pohledu bezpečnosti silniční dopravy.**

## 6. Hook turn z pohledu bezpečnosti silniční dopravy

Hook turn jako alternativní způsob odbočení lze analyzovat také z pohledu bezpečnosti silniční dopravy. Nalezená studie [7] věnující se využití virtuální reality pro analýzu nehodovosti v metropolitní oblasti Melbourne nepřímo naznačuje, že realizace hook turn opatření může vést k nižšímu počtu nehod, avšak toto tvrzení nelze přímo podložit daty o nehodovosti. Analýza reálných dat o nehodovosti z Melbourne, která jsou dostupná jen v omezené míře, není součástí této práce, avšak v této kapitole bylo provedeno porovnání obou variant křižovatek (konvenční x hook turn odbočení) z pohledu tzv. konfliktních bodů a jejich rizikovosti. Tato analýza je teoretická a tudíž nezávislá na reálných datech o nehodovosti

Pro každý dopravní proud byl na schématu fiktivní křižovatky zakreslen pohyb vozidla, klíčovým kritériem této analýzy pak bude počet potenciálních konfliktních bodů vznikajících mezi jednotlivými dopravními pohyby. S větším počtem konfliktních bodů se zvyšuje riziko kolizí. Podobné analýzy jsou mnohdy používány také v teoretické rovině například pro demonstraci rozdílů v bezpečnosti mezi okružní a světelně řízenou průsečnou křižovatkou.

Konfliktní body byly v této analýze hledány pro relevantní dopravní proudy od začátku jedné fáze po dokončení odbočení všech vozidel z této fáze.



Č.KONFLIKTU	Konvenční křižovatka	Počet konfliktních bodů	Hook turn křižovatka	Počet konfliktních bodů
1	zezadu, v levém i pravém pruhu v případě fronty odbočujících vozidel	4	zezadu, v pravém pruhu mezi odbočujícími vozidly. V levém pruhu jsou nárazy zezadu nepravděpodobné a	2



			nebudou způsobeny odbočujícími vozidly	
2	čelní(boční), přednost protijedoucích vozidel i tramvají, vozidlo se musí vejít do mezery mezi po sobě následujícími protijedoucími vozidly	6	tento potenciální konflikt je na HT křižovatce výrazně časově oddělen fázemi signálního plánu, velmi nepravděpodobný	0
3	náraz z boku mezi vozidly ze stejného směru, velmi nepravděpodobný	0	náraz z boku mezi vozidly ze stejného směru (přímý směr a provádějící HT) hrozí zejména v momentě změny fází (brzké HT odbočení; pozdní projetí přímého směru	2
4	auto x tramvaj, odbočující vozidlo narazí do tramvaje nebo naopak	2	tento potenciální konflikt je na HT křižovatce výrazně časově oddělen fázemi signálního plánu, velmi nepravděpodobný	0
5	tento potenciální konflikt je na konvenční křižovatce výrazně časově oddělen fázemi signálního plánu, velmi nepravděpodobný	0	Do vozidlo dokončující HT může narazit vozidlo z boku zejména pokud se HT provádějící vozidlo významně zdrží.	4
6	obě vozidla provádějící levé odbočení z opačných směrů, konfliktní bod uprostřed křižovatky	1	tento potenciální konflikt je na HT křižovatce výrazně prostorově oddělen, velmi nepravděpodobný	0
	<b>CELKEM KONFLIKTNÍCH BODŮ</b>	<b>13</b>	<b>CELKEM KONFLIKTNÍCH BODŮ</b>	<b>8</b>

Provedená analýza dokazuje, že hook turn odbočení má menší počet konfliktních bodů než konvenční odbočení. Hlavní výhodou hook turn odbočení je odstranění konfliktních bodů uprostřed křižovatky. Zejména pak body č. 2 a 4, jelikož kolize osobních aut s tramvají jsou jedním z častých typů vážných nehod na křižovatkách s tramvajovou dopravou. Vzhledem k nepoměru hmotnosti a hybnosti tramvaje vůči osobnímu autu bývají tyto nehody často fatální nebo s vážnými následky na zdraví a majetku. (viz ilustrativní fotografie reálné dopravní nehody na obrázku 29)

Obrázek 29 – ilustrativní foto nehody OA s tramvají, zdroj: blesk.cz



Odklínění odbočujících (vpravo i vlevo) vozidel do levého řadícího pruhu snižuje riziko pro srážky vozidel zezadu, jelikož vozidla jedoucí přímo nejsou blokovány odbočujícími a nevznikají tak v přímém směru fronty. Tyto benefity jsou však částečně vykompenzovány zvýšeným rizikem bočních nárazů (konfliktní body č. 3,5). Případné dopravní nehody v těchto konfliktních bodech by se však pravděpodobně vzhledem k jejich povaze staly při menších rychlostech a tím pádem s pravděpodobně menšími následky.

Analýza konfliktních bodů tak prokázala, že hook turn má o pět konfliktních bodů méně než klasické konvenční odbočení a vozidla jsou tak z tohoto pohledu vystavena menšímu riziku dopravní nehody. Je však nutné počítat i s ostatními aspekty, které jsou mimo rozsah této práce, ale zákonitě budou do problematiky vstupovat, jako je například chování řidiče. Např. blízkost vozidel stojících vlevo od řidiče provádějící hook turn může způsobit zvýšené vnímání rizika konfliktu. To může vést k tomu, že řidiči provádějící hook turn odbočení se budou ve druhé fázi rozjíždět agresivněji, aby si byli jistí, že budou schopni dokončit odbočení a vyklidit křižovatku včas. Tento efekt byl však pouze zaznamenán pozorováním autora a k jeho potvrzení či vyvrácení by musel být podroben detailnější studii.

### **6.1 Analýza nehodovosti na konkrétní sledované křižovatce**

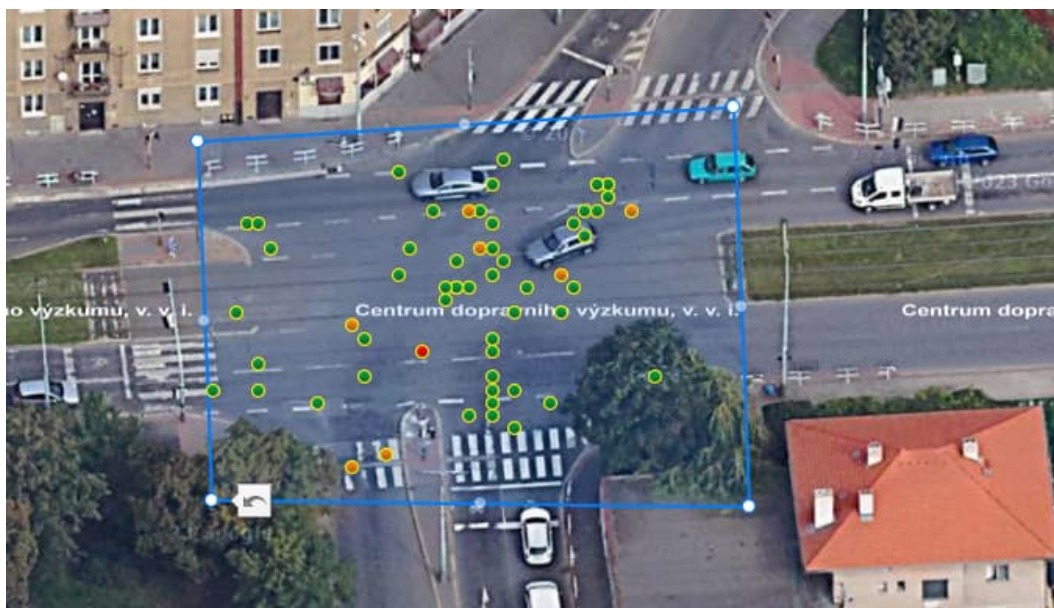
V předchozích částech této práce byla analyzována křižovatka Černokostelecká x Limuzská/Úvalská z pohledu kapacity a byla prověřena možnost zavést hook turn odbočení právě z tohoto pohledu. V této kapitole je křižovatka prověřena z pohledu dopravní nehodovosti a analyzovány nehody, kterým by případně mohlo být zabráněno, v kontextu redukce kolizních bodů identifikovaných v minulé kapitole, zavedením hook turn odbočení na této křižovatce.

Jako vzorek dat o nehodovosti na křižovatce ulic Černokostelecká x Limuzská/Úvalská bylo vzato období za uplynulých deset let (09/2013-09/2023 včetně). Tato data byla získána z portálu Centra dopravního výzkumu, kde jsou volně ke stažení.

(nehody.cdv.cz)[8]. Aplikace umožňuje analyzovat data dopravních nehod v České republice. Uživatel definuje požadované parametry a aplikace zobrazí data v podobě mapy, grafu nebo tabulky. Aplikace využívá data dopravních nehod, která poskytuje Policie ČR (pozn. Centrum dopravního výzkumu je veřejnou výzkumnou institucí v působnosti Ministerstva dopravy) [8]

Kompletní vygenerovaný report nehodovosti na sledované křižovatce je samostatnou přílohou č.2 této práce.

Obrázek 30 - Schéma dopravních nehod na křižovatce Černokostelecká x Limuzská/Úvalská za období 09/2013-09/2023



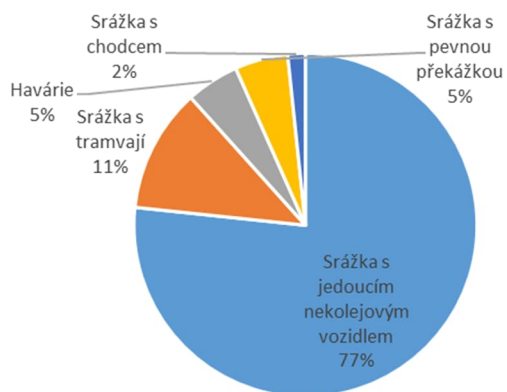
\*zelená= DN bez zranění, žlutá= DN s lehkým zraněním, červená = DN s těžkým zraněním

Za sledované období došlo na křižovatce k celkem 60 dopravním nehodám z čehož 1 byla s těžkým zraněním, 8 s lehkým zraněním a 51 bez zranění. Následující tabulka obsahuje informace o různých druzích dopravních nehod, počtu těžce zraněných osob a lehce zraněných osob v daném období

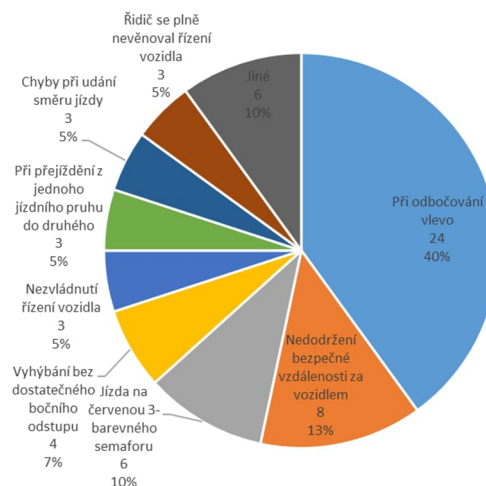
Tabulka 20 - Druhy nehod a jejich následky na křižovatce Černokostelecká x Limuzská/Úvalská za období 09/2013-09/2023

Druh nehod	Počet nehod	Těžce zraněné osoby	Lehce zraněné osoby
Srážka s jedoucím nekolejovým vozidlem	46	0	9
Srážka s tramvají	7	1	1
Havárie	3	0	0
Srážka s pevnou překážkou	3	0	0
Srážka s chodcem	1	0	1

**Graf 7 – Druhy nehod na křižovatce Černokostelecká x Limuzská/Úvalská za období 09/2013-09/2023**



**Graf 8 - Příčiny nehod křižovatce Černokostelecká x Limuzská/Úvalská za období 09/2013-09/2023**



Z grafu druhů nehod (Graf 7) je patrné, že srážky s tramvají jsou druhým nejčastějším druhem dopravní nehody na této křižovatce tvořící 11% z celkového počtu dopravních nehod. Zároveň z grafu příčin nehod (Graf 8) lze vyčíst, že 40% nehod na této křižovatce se stane při odbočování vlevo.

Z předchozí analýzy konfliktních bodů vyplynulo, že hook turn odstraňuje rizikové konfliktní body s tramvajovou tratí stejně tak jako konfliktní body vozidla odbočujícího vlevo s protijedoucím dopravním proudem. (konfliktní body č.2 a 4 na obrázcích 27 a 28). Z analýzy příčin a druhů nehodovosti na této konkrétní křižovatce vyplývá, že právě tyto nehody mají to nejčastější zastoupení a mají tak potenciál být redukovány zavedením hook turn odbočení.

Nejenom z pohledu četnosti nehod, ale i z pohledu následků nehod se nejzávažnější dopravní nehoda za sledované období se stala 28.7.2015 (ID nehody na portálu CDV: 3100151639), kdy nastala srážka s tramvají právě při odbočování vlevo. Automobil typu „multicar“ byl sražen tramvají, 33 letá spolujezdkyně v automobilu byla odvezena vozidlem záchranné služby s těžkými zraněními.



Obrázek 31 - Dopravní nehoda 28.7.2015 (zdroj foto: idnes.cz)



Z dostupných informací lze usoudit, že se jednalo o nehodu automobilu s tramvají z důvodu nedání přednosti v jízdě při odbočování vlevo. Toto je typický příklad nehody, jejíž riziko by bylo zavedením hook turn odbočení silně redukováno - jak vyplývá z předchozí analýzy konfliktních bodů. Je tak možné tvrdit že zavedení hook turn odbočení má potenciál pro zlepšení bezpečnostní situace na křižovatkách s tramvajovou dopravou, avšak aby bylo možné toto tvrzení potvrdit, je zapotřebí podrobit důkladnější analýze a zkoumání, jelikož analýza konfliktních bodů v předchozí kapitole probíhala pouze v teoretické rovině bez podložení reálnými daty o nehodovosti na křižovatkách s již zavedeným hook turn odbočením. Takové prověření je však mimo rozsah a zadání této práce.

## **7. Souhrn zjištěných výsledků, popis potenciálních benefitů a překážek k zavedení hook turn v českých podmínkách**

V této kapitole bude provedeno shrnutí poznatků o hook turn odbočení získaných vypracováním této diplomové práce. Nejprve budou diskutovány benefity hook turn odbočení a překážky k jeho zavedení v českých podmínkách, následně bude poukázáno na limitující aspekty této práce a budou nastíněny možnosti pro práci budoucí k provedení hlubšího prověření všech aspektů hook turn odbočení.

### **7.1 Benefity hook turn odbočení**

V průběhu mapování dostupných poznatků o hook turn (kapitola 2) bylo zjištěno, že hook turn odbočení přináší benefity jakožto preferenční opatření pro tramvajovou dopravu a redukuje zdržení tramvají v křižovatce.

V průběhu analýzy pomocí mikroskopických simulací (kapitola 3) bylo zjištěno, že za určitých okolností může křižovatka s hook turn odbočeními vykazovat lepší výsledky z pohledu kapacity než křižovatka s konvenčními odbočeními. A to konkrétně jeho zavedení na křižovatce s dostatečným stupněm saturace ve špičkové hodině, za předpokladu identifikovaného ideálního poměru odbočujících vozidel a dostatečné intenzitě protijedoucího dopravním proudů.

Analýza hook turn z pohledu bezpečnosti silniční dopravy došla k závěru, že hook turn odbočení vykazuje menší počet konfliktních bodů v křižovatce a má potenciál zvýšit dopravně bezpečnostní situaci oproti konvenčnímu způsobu odbočení.

V kapitole 7.3 o limitech této práce je zdůvodněno, proč výše uvedená tvrzení nelze brát dogmaticky a všechna by měla být podrobena dalšímu zkoumání.

## **7.2 Překážky k zavedení hook turn odbočení v České republice**

Ač je hook turn odbočení dlouhodobě zavedeným v Melbourne, jeho zavedení v České republice za účelem využití jeho popsaných benefitů by jistě narazilo na mnoho překážek v různých fázích procesu. Zavedení hook turn v České republice by nejprve vyžadovalo jeho podrobné prozkoumání dopravními inženýry. Následně by před jeho zavedením do praxe muselo být zaneseno do legislativy a jakékoliv změny v legislativě mohou být časově náročné a komplikované a mohou se setkat s různými názory a námitkami. Politická podpora a shoda s odbornou veřejností jsou klíčovými faktory v projednávání nových návrhů. Se změnou legislativních dokumentů se pojí i nutná změna technických předpisů, norem a technických podmínek, jakkoliv související s návrhem a provozem křižovatek v České republice. Částečnou oporu by mohlo hook turn odbočení jakožto preferenční opatření pro tramvaje hledat v již platných technických normách, které říkají například:

„Prostor místní komunikace včetně křižovatek musí být jak v návrhu nových zón, tak při rekonstrukcích současného stavu koncipován tak, aby poskytoval co nejvhodnější podmínky pro funkci tramvajové dopravy nerušenou ostatními účastníky uličního provozu (ČSN 736110 čl. 11.2.1) [14]

„Prostředkům veřejné hromadné dopravy má být v prostředí místních komunikací poskytována co nejvyšší přednost opatřeními organizačními i stavebními tak, aby jejich pohyb byl relativně rychlý, plynulý a bezpečný“ (ČSN 736110 čl. 11.1.2) [14]

Pokud by mělo být hook turn odbočení zavedeno, všichni účastníci silničního provozu by museli být řádně vyškoleni, aby byli schopni správně toto odbočení provádět. To znamená, že by bylo třeba aktualizovat výcvikové programy pro řidiče v autoškolách a zajistit, že budou mít dostatečné znalosti a dovednosti nejen řidiči motorových vozidel, ale i široká veřejnost. Osvětové kampaně by byly nezbytné k zajištění správného chování všech účastníků provozu, aby se minimalizovalo riziko zmatení a nehod v důsledku neznalosti pravidel. V neposlední řadě by na křižovatkách, kde by mělo být hook turn odbočení zavedeno bylo třeba upravit fyzickou infrastrukturu. Zejména zřízení pro hook turn nezbytných sekundárních světelných signalizačních zařízení, které nejsou v současnosti v České republice standardně osazovány a zřízení adekvátního dopravního značení. Jelikož hook turn odbočení nemůže fungovat bez existence světelného signalizačního zařízení, musel by na křižovatkách být zajištěn nepřetržitý a neporuchový systém SSZ.

Je třeba si také uvědomit, že k zavedení hook turn odbočení by byl vhodný jen omezený počet křižovatek. Hook turn křižovatky by tak zcela jistě zůstaly velmi minimálně zastoupeny oproti klasickým konvenčním křižovatkám a řidiči by tak

nemuseli být schopní se s nimi dostatečně sžít ani v průběhu dlouhého časového období. Je však třeba poznamenat, že zavedení návrhů netradičních křižovatek pro zlepšení kapacity není bezprecedentní. V českých podmínkách jsou stále více oproti minulosti zaváděny turbo-okružní křižovatky či další netradiční řešení jako je například soustava světelně řízených křižovatek v kombinaci s okružní křižovatkou ulice Brněnská a Gočárova okruhu v Hradci Králové.

Obrázek 32 - křižovatka Brněnská ul. x Gočárovův okruh v Hradci Králové (zdroj: mapy.cz)



Autorem zmíněné překážky k zavedení hook turn odbočení v České republice rozhodně nejsou jejich konečným výčtem, avšak pouze upozorněním na ty na první pohled zřejmé a je velmi pravděpodobné, že v průběhu procesu zavádění hook turn odbočení by bylo nutné čelit dalším podobným výzvám.

### 7.3 Limitující faktory práce

I přes to, že v rámci této diplomové práce bylo dosaženo určitých závěrů a stanovisek, je nutné poukázat na limitující faktory této práce.

K podstatné části této práce bylo použito mikroskopických simulací, které jsou samy o sobě pouze napodobením reálného děje a žádný model není z podstaty dokonalý. Jak bylo zmíněno v závěrech analýzy pomocí mikroskopických simulací, tato analýza byla ovlivněna zjednodušujícími podmínkami uvedenými v kapitole 3.2.2, není tedy možné tvrdit, že se křižovatky budou chovat stejně i v případě změny některých z uvedených podmínek a výsledné závěry nelze brát dogmaticky pro všechny situace. K výsledkům této analýzy bylo docházeno iterativním způsobem. Postup analýzy nelze označit za jediný možný a byl postupně navrhován v průběhu zpracování práce. Tato práce je zaměřena zejména na motorovou dopravu, ale jeví se jako velmi účelné prověřit dopady hook turn odbočení na pěší a cyklistickou dopravu.

V kapitole ověření návrhu hook turn na křižovatce Černokostelecká x Limuzská x Úvalská v Praze bylo uvažováno pouze se stávajícím stavem dopravních intenzit získaných z dopravního průzkumu. V praxi se pro návrh křižovatky využívá výhledových intenzit dopravy, které v této práci nebyly uvažovány.



#### **7.4 Budoucí práce**

Hook turn odbočení by se s konvenčním odbočením dalo porovnávat z dalších mnoha hledisek. Například, jelikož hook turn odbočení vyžaduje jedno rozjetí a zastavení vozidla navíc, dalo by se prověřit z ekologického hlediska množství emisí vyprodukovaných opakovaným rozjezdem a zastavením vozidla. Při rozjezdu vozidlo potřebuje větší množství paliva a vyprodukované emise jsou větší než při plynulém provozu. Navíc při zastavení vozidla motor často nevypíná a spaluje pohonné hmoty na volnoběh, což produkuje další emise.

Z ekonomického hlediska může mít hook turn jakožto preferenční opatření pro tramvaje pozitivní vliv na snížení doby oběhu jednoho vozidla na určité lince a tím snížení počtu potřebných vozidel veřejné dopravy, tato hypotéza by také mohla být prověřena.

## **8. Závěr**

V této diplomové práci bylo podrobena zkoumání hook turn odbočení z několika úhlů pohledu. Nejprve byly zmapovány dostupné poznatky o fungování a důvodů k zavedení hook turn v Melbourne v Austrálii. Následně byla provedena analýza dle autorem navrženého postupu ke zjištění provozních výhod a nevýhod hook turn vůči konvenčnímu způsobu levého odbočení za různých dopravních podmínek. Analýza pomocí mikrosimulací ukázala, že křižovatka s hook turn odbočením může být za určitých podmínek kapacitnější než s konvenčním odbočením. Následně byla na základě podmínek definovaných předchozí analýzou zvolena křižovatka ulic Černokostelecká x Limuzská x Úvalská v Praze jako potenciálně vhodná křižovatka na tramvajové síti v Praze k zavedení hook turn odbočení. Na této křižovatce byl proveden dopravní průzkum k získání dat o stávajících dopravních intenzitách a tato zjištěná data byla použita jako vstupní data do vytvořeného dopravního modelu křižovatky. Na tomto konkrétním příkladu nebyla mikrosimulací prokázána lepší výkonnost křižovatky než při stávajícím konvenčním způsobu odbočení, avšak výstupní data o časových zdrženích z modelu křižovatky s hook turn odbočením splňují podmínky pro požadovanou úroveň kvality dopravy dle ČSN 736102. Dále bylo hook turn odbočení sledováno z pohledu bezpečnosti silniční dopravy a na základě metody konfliktních bodů analýza došla k závěru, že hook turn odbočení má za určitých podmínek potenciál být bezpečnější alternativou konvenčního odbočení. Na závěr práce byly předloženy zjištěné poznatky a popsány potenciální benefity a překážky k zavedení hook turn v České republice. Závěrem lze konstatovat, že hook turn odbočení lze považovat za konkurenceschopnou alternativu konvenčního způsobu odbočení, ale jeho případné zavádění by mělo být pečlivě zvažováno na základě konkrétních místních podmínek a dopravní situace. Důkladná studie dopravních podmínek, bezpečnostních, ekonomických, ekologických a dalších hledisek by měla být provedena před jeho případnou implementací.

## 9. Seznam použitých zdrojů

- [1] VICROADS. A summary of the key road rules when turning. [online]. [cit. 2023-11-11]. Dostupné z: <https://www.vicroads.vic.gov.au/safety-and-road-rules/road-rules/a-to-z-of-road-rules/turning>
- [2] VICKERMAN, R. W., & MARCUCCI, E. (2021). Hook Turns: Implementation, Benefits, and Limitations. In International Encyclopedia of Transportation. essay, Elsevier. ISBN 9780081026717
- [3] CURRIE, G., SHALABY, A.S., 2007. Success and challenges in modernizing streetcar systems: experiences in Melbourne, Australia, and Toronto, Canada. Transp. Res. Rec. 2006 (1), 31–39
- [4] AF-CITYPLAN s. r. o. a Vysoké učení technické v Brně, „Příručka pro tvorbu hodnocení mikroskopických simulací dopravy,“ Technologická agentura ČR, Praha, 2013.
- [5] PTV GROUP. PTV VISSIM 2023 Manual [online]. 2023 [cit. 2023-11-11]. Dostupné z: <https://www.ptvgroup.com/en/products/ptv-vissim>
- [6] AFRY CZ. D0 510 Satalice – Běchovice, Kapacitní posouzení MÚK Horní Počernice dynamickou mikrosimulací. Dostupné z: [https://www.pocernice.cz/app/uploads/2022/04/2021\\_0237\\_MUK\\_H\\_Pocernice\\_simulace.pdf](https://www.pocernice.cz/app/uploads/2022/04/2021_0237_MUK_H_Pocernice_simulace.pdf)
- [7] OH T., 2019 The Use of Emerging Virtual Reality Technology in Road Safety Analysis: The Hook-Turn Case. [online]. [cit. 2023-11-11]. Dostupné z: [https://www.monash.edu/\\_data/assets/pdf\\_file/0009/2047284/TRR-S-19-05037.pdf](https://www.monash.edu/_data/assets/pdf_file/0009/2047284/TRR-S-19-05037.pdf)
- [8] CENTRUM DOPRAVNÍHO VÝZKUMU. Dopravní nehody v ČR [online]. [cit. 2023-11-11]. Dostupné z: <https://nehody.cdv.cz/>
- [9] KULESZA, K. Designing for Trams: Traffic Engineering Guidelines. VicRoads—Eastern Region, Melbourne, Australia, 1987.
- [10] AUSTRROADS. The Guide to Road Design [online]. [cit. 2023-11-12]. Dostupné z: <https://austroads.com.au/publications/road-design/agrd-set>
- [11] VICROADS. VicRoads Supplements (VRS) to the Austroads Guide to Road Design [online]. [cit. 2023-11-12]. Dostupné z: <https://www.vicroads.vic.gov.au/business-and-industry/technical-publications/road-design>
- [12] ČSN 73 6101 Projektování silnic a dálnic. Praha: Český normalizační institut, 2004. Dostupné také z: <http://csnonline.agentura-cas.cz/>.
- [13] ČSN 73 6102 Projektování křižovatek na pozemních komunikacích. Praha: Český normalizační institut, 2007. Dostupné také z: <http://csnonline.agentura-cas.cz/>.
- [14] ČSN 73 6110 Projektování místních komunikací. Praha: Český normalizační institut, 2006. Dostupné také z: <http://csnonline.agentura-cas.cz/>.
- [15] TP 189 Stanovení intenzit dopravy na pozemních komunikacích: TP 189. Dostupné také z: [www.pjpk.cz](http://www.pjpk.cz)

## **10. Seznam příloh**

- Příloha č.1 – Situace křižovatka Černokostecká x Limuzská x Úvalská – výkres dopravního značení; detail navrženého SDZ (.pdf)
- Příloha č.2 – Přehled počtu, druhů a příčin dopravních nehod na křižovatce Černokostecká x Limuzská x Úvalská za období 09/2013 až 09/2023 (.pdf)
- Příloha č.3 – Video vizualizace hook turn odbočení na křižovatce Černokostecká x Limuzská x Úvalská (.mp4)

## 11. Seznam obrázků

Obrázek 1 – Vizualizace hook turn odbočení v levostranném provozu [1].....	11
Obrázek 2 - ortofoto pohled na křižovatku Russel street x La Trobe street (zdroj:satellites.pro) .....	16
Obrázek 3 – Pohled z kamery na křižovatku Russel street x La Trobe street (poloha kamery je na předešlém obrázku znázorněna červeným symbolem).....	16
Obrázek 4 - schématické zobrazení křižovatky Russel street x La Trobe street .....	17
Obrázek 5 – Pentlogram hodinových intenzit na křižovatce Russel street x La Trobe street .....	19
Obrázek 6 - hierarchie dopravních modelů [4].....	20
Obrázek 7 – Znázornění principu car following modelu (dle Wiedermanna 1974) [5] ...	21
Obrázek 8 - Schéma relevantních sledovaných dopravních proudů a jejich umístění do řadících pruhů v hook turn variantě křižovatky.....	23
Obrázek 9 -Schéma relevantních sledovaných dopravních proudů a jejich umístění do řadících pruhů v konvenční variantě křižovatky .....	23
Obrázek 10 - Příklad nastavení jednotlivých atributů conflict areas ve Vissimu .....	24
Obrázek 11 - Screenshot z Vissimu - varianta křižovatky s konvenčním odbočením ....	25
Obrázek 12 - Screenshot z Vissimu - Hook Turn varianta křižovatky .....	25
Obrázek 13 – Znázornění měření jízdního času a časového zdržení [6].....	27
Obrázek 14 – Příkladová situace zablokování přímého směru odbočujícími vozidly ....	31
Obrázek 15 - Křižovatka Ječná x Lipová (zdroj: panorama mapy.cz).....	36
Obrázek 16 Křižovatka Veletržní x Dukelských hrdinů (zdroj: panorama mapy.cz) .....	37
Obrázek 17 - Křižovatka Rumunská x Bělehradská (zdroj: panorama mapy.cz).....	37
Obrázek 18 - ortofoto pohled na křižovatku Černokostelecká x Limuzská x Úvalská (zdroj: maps.google.com).....	38
Obrázek 19 - Pohled z chodníku na křižovatku Černokostelecká x Limuzská x Úvalská .....	38
Obrázek 20 - Pentlogram intenzit dopravy špičkové hodiny na křižovatce Černokostelecká x Limuzská/Úvalská.....	40
Obrázek 21 - Svislá dopravní značka "Right turn from left only" užívané ve státě Victoria v Austrálii .....	42
Obrázek 22 - Svislá dopravní značka "Pozor! Levé odbočení zprava" (grafický design převzat z Australské verze značky).....	42
Obrázek 23 - Výřez z přílohy č.1 - situace dopravní značení .....	42
Obrázek 24 - Snímek z vizualizace hook turn na křižovatce Černokostelecká x Limuzská x Úvalská.....	43
Obrázek 25 – Schéma jednotlivých dopravních proudů na křižovatce Černokostelecká x Limuzská/Úvalská.....	44
Obrázek 26 – zablokování proudu D->B (odbočení vpravo) vozidly čekajícími na hook turn odbočení .....	46
Obrázek 27 – konfliktní body na křižovatce s konvenčním způsobem odbočení.....	48
Obrázek 28 – konfliktní body na křižovatce s hook turn odbočením.....	48
Obrázek 29 – ilustrativní foto nehody OA s tramvají, zdroj: blesk.cz .....	50
Obrázek 30 - Schéma dopravních nehod na křižovatce Černokostelecká x Limuzská/Úvalská za období 09/2013-09/2023.....	51

Obrázek 31 - Dopravní nehoda 28.7.2015 (zdroj foto: idnes.cz) .....	53
Obrázek 32 - křižovatka Brněnská ul. x Gočárův okruh v Hradci Králové (zdroj: mapy.cz) .....	55

## 12. Seznam tabulek

Tabulka 1 – Zjištěná data o signálním plánu na sledované křižovatce Russel street x La Trobe street.....	18
Tabulka 2 - Tabulka výchozích intenzit pro vstup do obou modelů .....	24
Tabulka 3 - Intenzity na ramenech A-D [voz/h] .....	28
Tabulka 4- Celkový jízdní čas vozidel [s] strávený v křižovatce z relevantních jízdních proudů v závislosti na procentech základních intenzit.....	28
Tabulka 5 - Zkoumané kombinace intenzit v této části analýzy .....	29
Tabulka 6 - Konvenční odbočení - průměrné časové zdržení na jednotlivých dopravních proudech v závislosti na intenzitě proudu B->D .....	30
Tabulka 7 – Hook turn odbočení - průměrné časové zdržení na jednotlivých dopravních proudech v závislosti na intenzitě proudu B->D .....	30
Tabulka 8 - Zkoumané kombinace intenzit v této části analýzy .....	32
Tabulka 9 - Celkový jízdní čas vozidel z relevantních proudů strávený v křižovatce v závislosti na intenzitě na rameni D.....	32
Tabulka 10 – Konvenční odbočení -průměrné časové zdržení [s] v jednotlivých dopravních proudech v závislosti na intenzitě na rameni D .....	32
Tabulka 11 – Hook turn odbočení -průměrné časové zdržení [s] v jednotlivých dopravních proudech v závislosti na intenzitě proudu D .....	33
Tabulka 12 – Zkoumané kombinace intenzit a z nich vyplývajících poměrů odbočujících vozidel v této části analýzy .....	33
Tabulka 13 - Zkoumané kombinace intenzit v této části analýzy .....	34
Tabulka 14 - Zjištěná data o signálním plánu na sledované křižovatce .....	39
Tabulka 15 - Intenzity dopravy špičkové hodiny na křižovatce Černokostelecká x Limuzská x Úvalská.....	39
Tabulka 16 - Porovnání intenzit získaných dopravním průzkumem vůči podmínkám definovaným v kapitole 3.3.6.....	41
Tabulka 17 - Mezní hodnoty střední doby zdržení na vjezdu do světelně řízené křižovatky [13] .....	44
Tabulka 18 - Průměrné časové zdržení jednotlivých dopravních proudů v křižovatce..	45
Tabulka 19 - Součet časových zdržení v křižovatce všech dopravních proudů za hodinu .....	45
Tabulka 20 - Druhy nehod a jejich následky na křižovatce Černokostelecká x Limuzská/Úvalská za období 09/2013-09/2023.....	51