



ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE
FAKULTA DOPRAVNÍ

Bc. Hana Gurková

DOPADY PŘI ZAVEDENÍ PREFERENCE
ELEKTROMOBILITY NA VYBRANÝCH
KŘÍŽOVATKÁCH

Diplomová práce

2022



K620..... Ústav dopravní telematiky

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

Jméno a příjmení studenta (včetně titulů):

Bc. Hana Gurková

Studijní program (obor/specializace) studenta:

navazující magisterský – IS – Inteligentní dopravní systémy

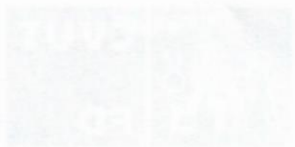
Název tématu (česky): **Dopady při zavedení preference elektromobility na vybraných křižovatkách**

Název tématu (anglicky): Impacts of Electromobility Preferences at Selected Intersection

Zásady pro vypracování

Při zpracování diplomové práce se řiďte následujícími pokyny:

- Analýza současného stavu včetně dopravního průzkumu na posuzovaných křižovatkách všech účastníků využívající elektromobilitu
- Stanovení podmínek preference a návrh různých scénářů preferenčních opatření při různé penetraci elektromobility
- Návrh doporučení pro detekci a preferenci elektromobility při optimalizaci imisní zátěže a průjezdnosti ve vybraných lokalitách
- Ověření a zhodnocení navržených opatření dopadů preference elektromobility pomocí simulace v prostředí AIMSUN



Rozsah grafických prací: dle požadavků vedoucích práce

Rozsah průvodní zprávy: minimálně 55 stran textu (včetně obrázků, grafů a tabulek, které jsou součástí průvodní zprávy)

Seznam odborné literatury: Highway Capacity Manual 2010. Washington, D.C. :
Transportation Research Board, 2010;
AIMSUN NEXT - User manual;
Svítek M., Postránecký M. a kol.: Města budoucnosti,
Nadatur, Praha 2018, ISBN 978-80-7270-058-5.

Vedoucí diplomové práce: **doc. Ing. Tomáš Tichý, Ph. D., MBA**
Ing. Jiří Růžička

Datum zadání diplomové práce: **16. července 2020**
(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: **16. května 2022**
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



doc. Ing. Pavel Hrubeš, Ph.D.
děkan fakulty

Potvrzuji převzetí zadání diplomové práce.

Bc. Hana Gurková
jméno a podpis studenta

V Praze dne 1. prosince 2021

Poděkování

Mé poděkování patří všem, kteří mi poskytli podklady k vypracování diplomové práce. Zvláště pak děkuji doc. Ing. Tomáši Tichému, Ph.D., MBA a Ing. Jiřímu Růžičkovi, Ph.D. za odborné vedení, konzultování této práce a také za cenné rady, které mi věnovali. Velmi děkuji i mým rodičům a blízkým, kteří mě podporovali po celou dobu studia.

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci vypracovala samostatně a že jsem uvedla veškeré použité informační zdroje v souladu s Metodickým pokynem o etické přípravě vysokoškolských závěrečných prací.

Nemám závažný důvod proti užití 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

.....

Podpis autora

ABSTRAKT

Předmětem této diplomové práce je ověření dopadů při zavedení preference elektromobility na vybraných křižovatkách v Praze. Práce navazuje na bakalářskou práci, ve které bylo navrženo řízení jedné ze dvou vybraných křižovatek pomocí pevného signálního plánu. Práce se zabývá novými trendy elektromobility a navrhuje nové způsoby řízení dopravních uzlů, kterými lze přispět ke zvýšení efektivity elektromobility. Ověření navrženého řešení dynamického řízení s preferencí EV probíhá v simulačním prostředí Aimsun Next.

KLÍČOVÁ SLOVA

Řízení Dopravy, Elektromobilita, Systémy V2X, Dopravní Model, Dopravní Simulace, Světelně Signalizační Zařízení, Silniční Soprava, Aimsun Next

ABSTRACT

The subject of this thesis is to verify the impacts of introducing electromobility preference at selected intersections in Prague. The thesis is a continuation of the bachelor thesis in which the control of one of the two selected intersections was proposed using a fixed signal plan. The thesis discusses new trends in electromobility and proposes new ways of controlling traffic junctions that can contribute to increasing the efficiency of electromobility. The validation of the proposed dynamic control solution with EV preference is carried out in the simulation environment Aimsun Next.

KEYWORDS

Traffic Control, Electromobility, V2X Systems, Traffic Model, Traffic Simulation, Traffic Lights, Road Transport, Aimsun Next

Obsah

Úvod	8
1 Rešerše současných trendů v dopravě.....	10
1.1 Řízení dopravních uzlů v ČR	10
1.2 Trendy preferencí.....	10
1.3 Trendy v dopravě s důrazem na životní prostředí	12
1.3.1 Řízení pomocí V2X.....	12
1.3.2 Elektromobilita.....	13
2 Analýza současného stavu dopravy v posuzované lokalitě.....	16
2.1 Křižovatka Lodžská x Mazurská.....	16
2.2 Křižovatka Čimická x K Pazderkám.....	16
2.2.1 Statistika dopravních nehod na křižovatce Čimická x K Pazderkám.....	17
2.3 Dopravní průzkum.....	17
3 Současné řízení a návrhy jeho úprav	20
3.1 Lodžská x Mazurská	20
3.2 Čimická x K Pazderkám.....	30
4 Návrh řízení s ohledem na preferenci elektromobilů	36
5 Návrh modelu v prostředí Aimsun Next	38
5.1 Tvorba modelu	40
5.2 Tvorba signálního plánu.....	40
5.3 Simulace navržených scénářů	42
5.3.1 Křižovatka Lodžská x Mazurská.....	42
5.3.2 Křižovatka Čimická x K Pazderkám.....	51
6 Návrh doporučení řešení posuzované lokality.....	59
Závěr	62
Seznam použité literatury	64
Seznam použitých zkratk	66
Seznam obrázků.....	67
Seznam Tabulek.....	68
Seznam Grafů	69

Seznam příloh	70
----------------------------	-----------

Úvod

Cílem této diplomové práce je navrhnout dynamické řízení dvou konkrétních křižovatek a následně navrhnout a porovnat různé scénáře preferenčních opatření pro elektromobily.

V první kapitole je rozebrána literatura vztahující se k účelům této práce. Jsou v ní tedy popsány současné trendy v dopravě v České republice. První z dotčených oblastí řeší náhled na současné způsoby řízení dopravních uzlů. Dalším rozebíraným tématem jsou způsoby preferencí vozidel MHD, které mohou být bez dopravní závislosti nebo ovlivňováním SSZ. U preference MHD ovlivňováním SSZ jsou popsány také typy preferencí, a detekcí. V návaznosti na tyto obecné způsoby řízení dopravy jsou následně rozebrány nové způsoby řízení systémy V2X a uvedeny příklady využití ze zahraničí, přímo testované v provozu. Další část se zabývá problematikou dopadů automobilové dopravy na životní prostředí a upozorňuje na současný problém vysokých emisí skleníkových plynů ze spalovacích motorů a trendy elektromobility, jejichž cílem je odvedení emisí především z velkých vysoce obydlených měst se značnými intenzitami dopravy. S tímto velice úzce souvisí i poslední téma, které je v této kapitole rozebráno, a to téma preference elektromobilů a možné způsoby detekce těchto vozidel.

V druhé kapitole je analyzován současný stav na zvolených křižovatkách, na kterých je navrhována preference elektromobilů. Zvolenými křižovatkami jsou křižovatky Lodžská x Mazurská a Čimická x K Pazderkám, které se nacházejí v Praze 8 v městských částech Bohnice a Troja. Tyto křižovatky se od sebe liší stavebním uspořádáním, intenzitami vozidel a chodců, a také současným způsobem řízení.

Lodžská x Mazurská je neřízená čtyřramenná křižovatka s průměrnými denními intenzitami vozidel, avšak s poměrně vysokými intenzitami chodců. Křižovatkou projíždí několik linek MHD a do budoucna je plánováno vybudovat i tramvajovou trať. Jedná se o uzel v zastavěné oblasti, v jehož bezprostřední blízkosti se nachází zdravotnické zařízení, obchodní dům a základní škola. Stavební uspořádání křižovatky je navíc neuspokojivé, takže zde řidiči často zmatkují a dochází tak ke skoronehodám. V bakalářské práci [1], „Návrh SSZ na křižovatce Lodžská x Mazurská“, na kterou tato diplomová práce navazuje, byla uvedená křižovatka rozebrána podrobněji

Naopak křižovatka Čimická x K Pazderkám je světelně řízenou, čtyřramennou křižovatkou. Intenzity vozidel jsou zde o něco vyšší než v případě křižovatky Lodžská x Mazurská, naproti tomu jsou zde intenzity chodců menší. Křižovatkou prochází cyklistická stezka, a také několik linek MHD. V minulosti zde docházelo k častým nehodám z důvodu špatného stavebního uspořádání. Nedávno však došlo k rekonstrukci křižovatky a situace se zlepšila.

Ve třetí kapitole je popsáno současné řízení na křižovatkách a návrhy jeho úprav. Křižovatka Lodžská x Mazurská je neřízená, ale v Bakalářské práci z [1] je pro ni navrženo řízení pevným signálním plánem, které je v rámci této kapitoly popsáno a výstupy z tohoto zdroje jsou následně použity

k rozšíření na řízení dynamickým signálním plánem včetně preference MHD. Křižovatka Čimická x K Pazderkám je již v reálné situaci řízená dynamickým signálním plánem. Pro další zpracování bylo proto společností TSK a.s. poskytnuto dopravní řešení pro tuto křižovatku, nejdůležitější výstupy z něj jsou rovněž popsány ve třetí kapitole. [2]

Čtvrtá kapitola se zabývá návrhem řízení s ohledem na preferenci elektromobilů pro obě předmětné křižovatky. V kapitole je navržen vhodný způsob detekce elektromobilů pro účely této práce, včetně umístění přihlašovacích a odhlašovacích míst a také vysvětlení důvodu volby dané technologie. Dále jsou navrženy nové logické podmínky a popsán způsob preference EV v dynamickém plánu.

Pátá kapitola se zabývá návrhem modelu v prostředí Aimsun Next. Nejprve je popsán samotný software Aimsun Next a jeho modul Aimsun API, který je v rámci této práce využíván pro mikroskopický model. V návaznosti na to, je popsána architektura modelu Aimsun API. Dále následuje samotná tvorba modelu a signálního plánu v prostředí Aimsun Next. V poslední části této kapitoly jsou navrženy scénáře pro simulace, které jsou následně vyhodnoceny.

Výsledkem diplomové práce je návrh doporučení optimálního způsobu preference EV ve vybraných lokalitách a s ním zjištění dopadů zavedení preference EV. Optimalizace probíhá v závislosti na poměrech elektrických vozidel oproti vozidlům s jinými druhy pohonu a také na základě nejmenší emisní zátěže.

Diplomová práce byla vypracována během koronavirové pandemie, a proto některá data mohou být touto situací ovlivněna.

1 Rešerše současných trendů v dopravě

Tato kapitola pojednává o současných trendech v řízení dopravy ale i v dopravě obecně. Jsou v ní popsány současné způsoby řízení dopravních uzlů, dále velmi diskutované téma elektromobility a v neposlední řadě potenciální budoucnost v řízení dopravy, konkrétně řízení pomocí systémů V2X. Poznátky z rešerše aktuálních trendů v dopravě budou zohledněny pro konkrétní návrh doporučení v posuzované lokalitě.

1.1 Řízení dopravních uzlů v ČR

Nejčastějším způsobem řízení dopravních uzlů v České republice je pomocí SSZ, konkrétně buď řízení pevnými, nebo dynamickými signálními plány, přičemž metodika je závislá na TP 81 – „Navrhování světelných signalizačních zařízení pro řízení provozu na pozemních komunikacích“ a na dalších normách a předpisech, které jsou v tomto zdroji jmenovány. [3]

Pevné řízení

Principem je řízení nastavené vždy pro určité časové období, na základě naměřených intenzit pro toto období. Např. pevný signální plán pro špičkovou hodinu bude různý od signálního plánu v noci, jelikož intenzity v těchto obdobích jsou velmi odlišné. Pevné řízení je vhodné pro několik křižovatek, které jsou navzájem koordinované. Výhodou pevného řízení je relativně nízká cena jak instalace a provozu SSZ, nevýhodou je, že při tomto způsobu řízení není reagováno na krátkodobé výkyvy intenzit provozu, což může vést ke zdržení vozidel na křižovatce.

Dynamické řízení

Dynamickým řízením dochází oproti pevným signálním plánům dochází k přímému přizpůsobování se provozu v reálném čase reakcí na základě aktuální intenzity dopravy. Přizpůsobování provozu probíhá pomocí detekce vozidla nebo chodce a následné úpravě signálního plánu např. prodloužením/zkrácením fáze, nebo zavoláním jiné než následující fáze. Dynamické řízení ale vyžaduje o něco vyšší technické náklady, mimo jiné proto, že k detekci vozidel a chodců je nutné osazení křižovatky detektory.

1.2 Trendy preferencí

Smyslem preference určitých vozidel je zajištění plynulejšího provozu a snížení jízdní doby těchto vozidel. Toho se využívá hlavně pro zatraktivnění městské hromadné dopravy. V České republice lze MHD preferovat dvěma způsoby, kterými jsou preference bez dopravní závislosti nebo ovlivňováním řízení SSZ. Nejefektivnějším způsobem je kombinace obou typů preference. [3][4]

Preference bez dopravní závislosti

Tento typ preference nerozlišuje aktuální pozici vozidla. Způsobů preference bez dopravní závislosti existuje více. Mohou mít podobu například:

- systémové přednosti v jízdě, tak, že je vyznačena hlavní pozemní komunikace ve směru jízdy MHD,
- zřízení vyhrazení jízdní dráhy v podobě odděleného drážního tělesa pro tramvaje nebo vyhrazení jízdního pruhu pro autobusy,
- omezení vjezdu ostatních vozidel na určitý úsek komunikace,
- povolení jízdy v jízdním pruhu pro vozidla MHD v určitém časovém období např. během dopravní špičky apod.

Preference ovlivňováním řízení SSZ

Preference ovlivňováním řízení SSZ se využívá nejčastěji na křižovatkách vybavených dynamickým řízením. Typy preference jsou:

- Pasivní

Pasivní preferenci závisí pouze na detekci průjezdu vozidla a nerozlišuje stupeň preference. Pro detekci autobusů je nezbytné mít vyhrazený samostatný jízdní pruh se senzory, které umí rozeznat autobus. Vhodné je použít dvě indukční smyčky (nebo video detektor) umístěné ve vozovce dostatečně daleko od sebe tak, aby byla rozpoznána pouze dlouhá vozidla.

Zatímco pasivní preference autobusů se používá spíše výjimečně, u tramvají je pasivní preferencí nejčastějším používaným způsobem preference. Pro pasivní preferenci jsou využívány trolejové kontakty a snímání postavení výhybek.

- Aktivní

Při aktivní preferenci dochází k aktivní komunikaci vozidla a řadiče, díky čemuž lze rozlišit i stupeň preference, číslo linky nebo směr jízdy vozidla. Princip spočívá v detekci vozidla a jeho přihlášení do systému preference v momentě, kdy se vozidlo blíží ke křižovatce. Při přihlášení je odeslána informace o požadovaném směru průjezdu křižovatkou a další parametry jako je např. zpoždění oproti jízdnímu řádu. Po průjezdu křižovatkou se vozidlo ze systému odhlásí. Pro detekci vozidla a pro komunikaci vozidla s řadičem slouží nejčastěji inframajáky. Novější varianta využívá GNSS technologie, díky kterým lze sledovat polohu vozidla a polohu přihlašovacích a odhlašovacích bodů vytvářet virtuálně.

- Absolutní

V ideálním případě má být při absolutní preferenci udělena okamžitá priorita a má být umožněn zcela plynulý průjezd vozidla MHD křižovatkou bez jakéhokoliv zastavení či zdržení. Přesto se i při absolutní preferenci v některých případech stane, že je vozidlo při průjezdu křižovatkou zdrženo. V takovém případě musí být toto zdržení minimální. Absolutní preferenci je vhodné aplikovat na křižovatkách s jednoduššími dopravními poměry, např. tam, kde je křižovatkou veden jeden směr MHD.

- Podmíněná

U podmíněné preference není zaručen plynulý průjezd na křižovatce se SSZ, nicméně v porovnání s řízením bez preference vždy zajistí alespoň výrazný pokles zdržení a počtu zastavení. Při rozhodování o udělení priority se zohledňuje i aktuální dopravní situace na křižovatce nebo aktuální fáze signálního plánu. Podmíněná preference je vhodná na křižovatkách u složitých SSZ s vícefázovým řízením. [3][4]

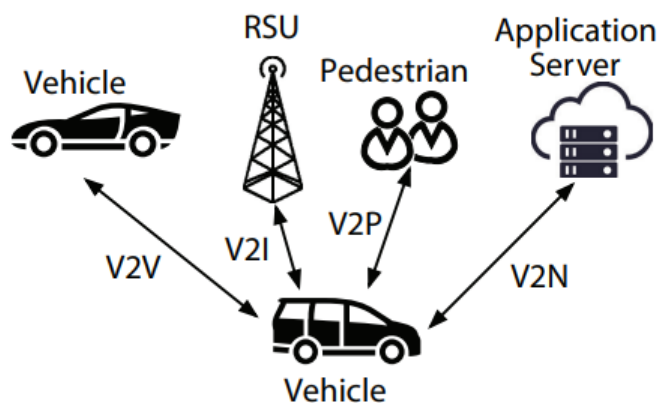
1.3 Trendy v dopravě s důrazem na životní prostředí

Globální oteplování se dá nepopíratelně považovat za nejvíce diskutované téma tohoto století. Je veřejně známo, že největším z původců způsobujícím globální oteplování je skleníkový plyn CO₂. Navíc je téměř čtvrtina celosvětových emisí CO₂ vyprodukována v důsledku dopravy a z toho až 75 % vyprodukuje doprava silniční. Znečištěné ovzduší je také celosvětově hlavním rizikovým faktorem pro zdraví, který mělo v roce 2017 za následek téměř 3,5 milionu předčasných úmrtí. Evropská unie a její členské státy proto přijímají řadu opatření s cílem snížit negativní dopad dopravy na zdraví a životní prostředí. Evropský dopravní sektor, zejména díky zavedení emisních norem, finančních opatření, alternativních paliv a dalších opatření, tak dosáhl významného snížení emisí některých hlavních látek znečišťujících ovzduší. Emise z odvětví dopravy v EU se však nesnižují natolik, aby omezily jeho dopady na životní prostředí a klima v Evropě. [5][6]

V příslušné části Kapitoly 1 jsou proto popsány další zkoumané způsoby ke snížení negativních dopadů z dopravy.

1.3.1 Řízení pomocí V2X

V2X neboli vehicle-to-everything, nazývané také kooperativní systémy jsou nové technologie, které umožňují komunikaci vozidla s okolím, tedy např. komunikaci s ostatními vozidly v okolí nebo s infrastrukturou. Všechny typy kooperativních systémů jsou uvedeny na Obrázek 1. Aby mohla komunikace V2X fungovat, musejí být vozidla vybavena vozidlovou palubní jednotkou OBU (On-board unit) a dopravní infrastruktura jednotkou RSU (Road-side unit).[8]



Obrázek 1 - Typy V2X systémů [8]

Několik různých zahraničních zdrojů zkoumá možnosti využití V2X systémů pro redukci emisí z dopravy v různých dopravních odvětvích, jako např. využití při parkování, využití pro VMS nebo pro řízení na křižovatkách se SSZ.

Jedna z metod provádí výpočet optimálního časování příjezdu vozidel podle aktuálního stavu každého vozidla (rychlost, poloha, stav nádrže apod.) Poté je nejvhodnější čas příjezdu odeslán odpovídajícímu vozidlu. Při ideálním ovládní vozidla jsou výkon motoru a brzdná síla optimalizovány s ohledem na omezení dynamiky vozidla, dodržení bezpečných odstupů a navržený čas příjezdu. Výsledky simulace ukázaly, že navrhovaný algoritmus může zlepšit efektivitu dopravy a spotřebu paliva o 19,7 %. [9]

Řízení pomocí V2X (v tomto případě jde pouze o systém V2V) lze aplikovat také u nesignalizovaných křižovatek na základě konceptu tzv. virtuálních SSZ (VTL – Virtual Traffic Lights) využívajícím síť VANET. Každé vozidlo, které se blíží ke křižovatce, pravidelně vysílá informace o své poloze. Pomocí dat o poloze se určí, zda je nutné vytvořit VTL, nebo zda už vytvořeno je, a to tak, že místo řadiče je zvoleno vozidlo, které je odpovědné za řízení VTL. Ostatní vozidla, blížící se ke křižovatce se takto vytvořenému VTL musejí podřídit. Výsledky simulací ukázaly téměř 20% snížení emisí CO₂ při použití VTL za hustého provozu. [10]

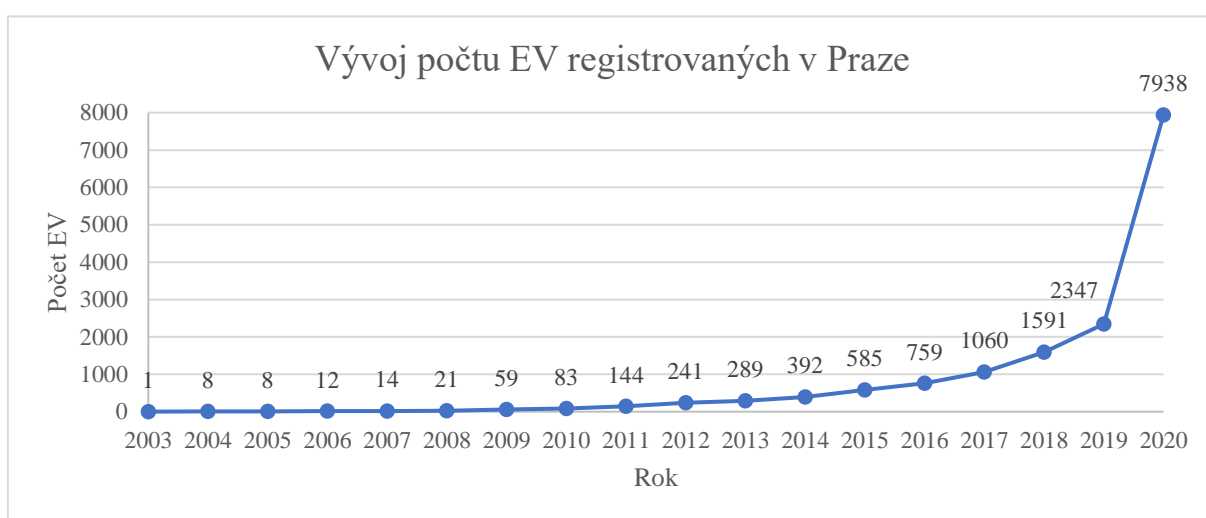
1.3.2 Elektromobilita

Elektromobilita se stává důležitým řešením pro budování udržitelných dopravních systémů v městských oblastech. V dopravní politice EU a jednotlivých členských zemí se vyskytuje stále častěji a je považována za jeden z nejdůležitějších nástrojů pro omezování negativních vlivů dopravy na životní prostředí.

Fakt, že elektromobily lokálně nevytvářejí emise znečišťující ovzduší je zvláště důležitý v městských oblastech, protože tyto oblasti se vyznačují vysokou hustotou obyvatelstva a dopravy.

Předpokládá se tedy, že elektromobilita se může stát dominantní technologií právě v městských aglomeracích. Navíc použití elektrické energie jako alternativního zdroje energie pro vozidla umožňuje rozvoj konceptu udržitelné mobility. Cílem této koncepce je snížit počet vozidel se spalovacím motorem, zejména v městských aglomeracích, a snížit tak jejich negativní vliv na životní prostředí a lidské zdraví. Implementace elektromobility má však v současnosti řadu překážek a omezení. Patří mezi ně omezená nabídka vozidel dostupných na trhu a jejich vysoká pořizovací cena, špatná infrastruktura elektrické sítě, omezená síť dobíjecích stanic pro vozidla, omezený dojezd EV nebo stále neexistující možnost ekologické recyklace baterií. [6]

Rozvoj elektromobility v ČR/Praze:



Graf 1 - Vývoj počtu EV registrovaných v Praze [12]

Z Grafu 1 je patrný trend vývoje v počtu registrovaných elektromobilů v Praze. Dle něj se počet EV mezi lety 2018 a 2019 zvýšil téměř dvojnásobně a mezi lety 2019 a 2020 dokonce více než trojnásobně. Z tohoto příkladu je zcela zřejmá zvyšující se poptávka po vozidlech s elektrickým pohonem. Počet osobních automobilů s jiným druhem pohonu registrovaných na území Prahy je ale stále mnohonásobně vyšší. Dle statistik z ročenky dopravy za rok 2020 je v Praze registrováno 955 415 osobních automobilů (se všemi druhy pohonu). Poměr elektromobilů oproti automobilům s jiným druhem pohonu tak vychází na zhruba 1 %. Výhledově lze nicméně očekávat, že se poměr elektromobilů bude dále zvyšovat a postupně zcela nahradí automobily s jiným druhem pohonu. [12][13]

Preference elektromobilů

V tuto chvíli již existuje celá řada různých zvýhodnění pro uživatele elektromobilů. Nejčastěji se jedná o parkování v zónách pro rezidenty bez poplatku nebo bezplatnou možnost vjezdu do zpoplatněných zón ve špičkových hodinách. Některé subjekty také nabízejí dobíjení elektromobilů zcela zdarma.

Preference elektromobilů může být další účinnou metodou ke zvýhodnění elektromobility, avšak také ke zlepšení dopravy obecně. Hlavním důvodem je, že preference elektromobilů je zároveň způsobem, kterým lze zajistit plynulý průjezd křižovatkami s minimální dobou zdržení, optimalizovat spotřebu energie, případně snížit hluk a emise v určitých lokalitách. Preference elektromobility je proto účelná především v hustě obydlených oblastech.

Způsob, kterým lze preferovat elektromobily je obdobný jako pro vozidla MHD, tedy preferencí bez dopravní závislosti nebo ovlivňováním řízení SSZ. Nutnou podmínkou preference elektromobilů je spolehlivá detekce těchto vozidel. Způsobů, jakými lze elektromobily detekovat, existuje více.

Prvním z nich je **detekce registrační značky** vozidla. V současné době mají elektrická vozidla ve znacích registrační značky obsaženo písmeno E. Tento způsob je však možný použít pouze pro omezený počet elektromobilů. Při vyšším počtu elektromobilů již nebude možné kvůli nedostatku kombinací písmeno E do registrační značky obsáhnout.

Dalším způsobem je použití **detekce termální charakteristikou** vozidla. Bylo zjištěno, že vozidla se spalovacím motorem oproti vozidlům s elektrickým motorem vykazují významný rozdíl v teplotním vzorci. Při termální charakteristice elektromobilu při měření zepředu je mírně ovlivněná karoserie vozidla, přičemž největším zdrojem tepla je chladič a mřížka. Při měření z boku jsou největším zdrojem tepla brzdy. Naproti tomu vozidla se spalovacím motorem vykazují při měření zepředu mnohem vyšší teploty než u elektromobilu, a to především v oblasti kapoty vozidla a mřížky, při měření z boku, jsou teploty v oblasti blatníku také vyšší, zatímco teploty pneumatik jsou oproti elektromobilům nižší. [14]

Dalším způsobem je **detekce využitím systémů V2X**. Tento způsob se pro účely této práce jeví jako nejvhodnější, jelikož při něm dochází ke komunikaci mezi vozidly a infrastrukturou např. řadičem a tato komunikace navíc probíhá obousměrně. Při využití pro preferenci na SSZ vozidla odesílají řadiči informace o své poloze, směru, rychlosti a třeba i aktuální úrovni nabití baterie a dle těchto údajů může řadič přiřadit preferenci. Na druhé straně vozidla okamžitě ví, za jak dlouho jim bude uděleno volno, a mohou tak přizpůsobit rychlost dojezdu. Díky tomu pak pokračují plynule bez zastavení, čímž ovlivní celý dopravní proud. Informaci mohou vozidla odesílat i ostatním vozidlům v okolí. [15]

2 Analýza současného stavu dopravy v posuzované lokalitě

Tato kapitola se zabývá analýzou současného stavu dvou křižovatek v lokalitě na hranicích městských částí Bohnice a Troja v Praze. Popis obou lokalit je podrobně uveden v bakalářské práci, na níž tato diplomová práce navazuje. Zmíněný zdroj obsahuje i obsáhlý popis křižovatky Lodžská x Mazurská, proto zde bude popsána pouze velmi stručně. Kapitola zahrnuje popis stavebního uspořádání křižovatek, dále objasňuje způsob provedení dopravního průzkumu a jeho vyhodnocení. [1]

Pro další zpracování návrhu řízení na křižovatce Čimická x K Pazderkám byly společností TSK a.s. poskytnuty dopravně-inženýrské podklady obsahující situační výkres křižovatky Čimická x K Pazderkám v měřítku 1:250 a dále signální plán včetně logiky řízení a preferenčních opatření. [2]

2.1 Křižovatka Lodžská x Mazurská

Jedná se o neřízenou, čtyřramennou, úrovnňovou křižovatku. Dvě ramena, severní a jižní, tvoří hlavní ulice Lodžská a zbylá ramena tvoří ulice Hnězdenská na východní straně a ulice Mazurská na západní straně. Ulice Lodžská je čtyřpruhová směrově rozdělená komunikace se středním dělicím pásem a na obou ramenech má funkci hlavní komunikace. Na severním rameni je umožněno parkování v pravém jízdním pruhu. Ulice Hnězdenská a Mazurská jsou dvoupruhové směrově rozdělené komunikace, ulice Hnězdenská je navíc se středním dělicím pásem a s jedním odbočujícím pruhem na vjezdu do křižovatky. V tomto uzlu mají funkci vedlejší komunikace.

Křižovatkou jsou vedeny linky MHD číslo 102, 144, 177, 200, 235 a 236. Linka 236 byla zavedena až od 6. listopadu 2021, tedy až po provedení dopravního průzkumu a z toho důvodu nebude do úvah v této práci zahrnuta.

2.2 Křižovatka Čimická x K Pazderkám

Čimická x K Pazderkám je světelně řízená úrovnňová křižovatka, tvořená čtyřmi rameny. Severní a východní rameno tvoří komunikace Čimická a na ni se napojuje na jižním rameni komunikace Velká skála. Zbývající západní rameno tvoří hlavní komunikace K Pazderkám. Ulice Čimická je čtyřpruhová směrově rozdělená komunikace se středním dělicím pásem. Na východním rameni má funkci hlavní komunikace, na severním rameni vedlejší. Křižovatkou jsou vedeny linky MHD číslo 102, 144, 152, 177, 200 a na křižovatce je instalována preference linek MHD pomocí inframajáků.

2.2.1 Statistika dopravních nehod na křižovatce Čimická x K Pazderkám

Křižovatka Čimická x K Pazderkám patří mezi nejvíce nehodové uzly v lokalitě. Nehody byly vyhodnoceny za poslední 3 roky, tedy mezi lety 2019 a 2021. Během této doby bylo na křižovatce zaznamenáno 34 nehod. Z větší části šlo o nehody bez zranění, v 10 případech došlo k lehkým zraněním, ve kterých bylo zraněno dohromady 17 osob. Nehody s těžkým zraněním nebo usmrcením nebyly žádné. V převážné většině, tedy v 32 případech, se jednalo o srážku s jedoucím nekolejovým vozidlem. Všechny nehody byly zaviněny řidičem motorového vozidla, z nichž u žádného nebyla zjištěna přítomnost alkoholu nebo drog. Nejčastější příčinou nehod bylo nedodržení přednosti protijedoucím vozidlům při odbočování vlevo. K více nehodám docházelo ve dne za dobré viditelnosti a na suchém neznečištěném povrchu vozovky. [16]

2.3 Dopravní průzkum

Dopravní průzkum pro křižovatku Lodžská x Mazurská byl proveden pro BP dne 7. 11. 2018 od 7:30 do 8:30 hodin. Dopravní průzkum pro křižovatku Čimická x K Pazderkám byl proveden 7. 9. 2021 od 7:15 do 8:15 hodin. Termín obou průzkumů byl dle TP 189 vyhodnocen jako vhodný. [1][17]

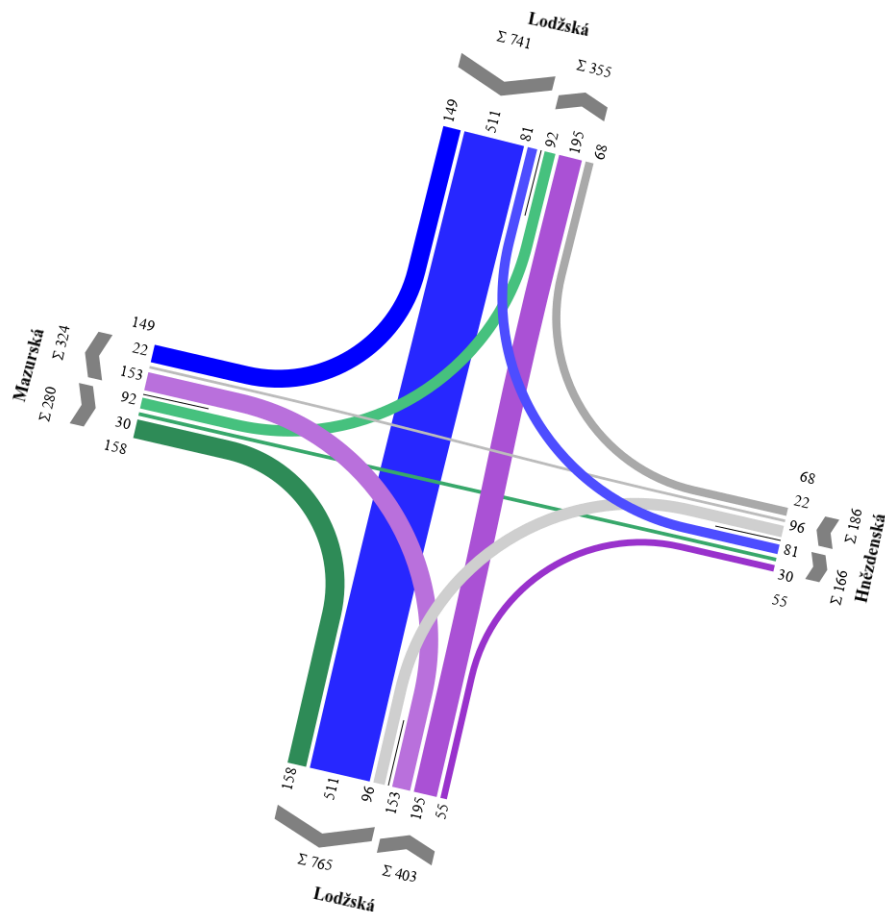
Způsob průzkumu proběhl pro obě křižovatky obdobně, tedy tak, že na některé z ramen křižovatky byla umístěna kamera tím způsobem, aby byly viditelné všechny vjezdy i výjezdy do/z křižovatky. U křižovatky Lodžská x Mazurská se konkrétně jednalo o severní rameno Lodžská a u křižovatky Čimická x K Pazderkám o rameno K Pazderkám. Měření probíhalo po dobu jedné hodiny a vzniklý záznam byl následně manuálně vyhodnocen.

V rámci průzkumu byla vyhodnocena vozidla, rozdělená do skupin na osobní automobily, nákladní vozidla a autobusy, nákladní soupravy a kloubové autobusy, motocykly a cyklisty, dále bylo vyhodnoceno i využití přechodů pro chodce.

Vyhodnocení dopravního průzkumu

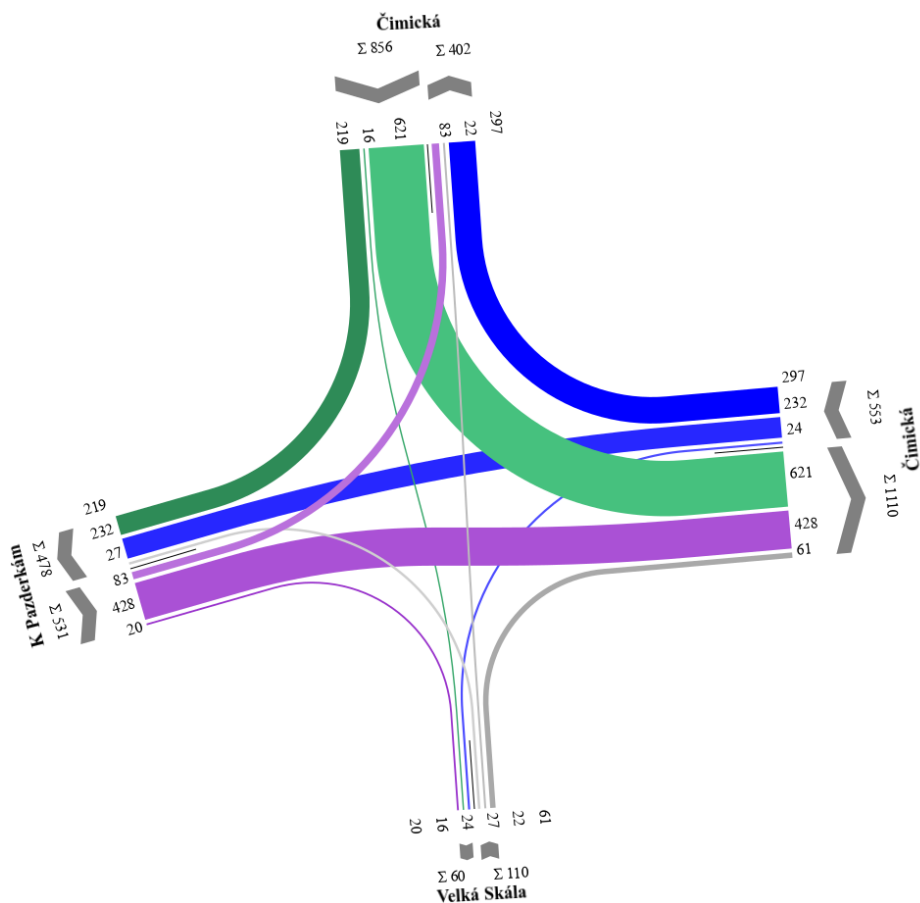
Vozidla

Intenzity dopravy ranní špičky na křižovatce **Lodžská x Mazurská** jsou znázorněny v pentlogramu viz Obrázek 2. Z něj jsou zřejmé vysoké intenzity vozidel na komunikaci Lodžská v hlavních směrech, z nichž vyšší je ve směru z Bohnic do centra. I u ostatních ramen jsou dominantní proudy odbočení ústící do jižního výjezdu ramene Lodžská. Jelikož se jedná o naměřené intenzity během ranní špičky, tato situace odpovídá pohybu obyvatel cestujících do zaměstnání. Zajímavým jevem je poměrně vysoká intenzita levého odbočení z jižního ramene Lodžská, což odpovídá cestě dětí do školy, jelikož na konci ulice Mazurská se nachází základní škola Mazurská.



Obrázek 2 - Pentlogram ranní špičky na křižovatce Lodžská x Mazurská [zdroj: vlastní]

Na křižovatce **Čimická x K Pazderkám** jsou v porovnání s druhou předmětnou křižovatkou intenzity vozidel značně vyšší, patrně proto, že tato křižovatka slouží i jako jakási spojka cest mezi Čimicemi, Bohnicemi, Trojou a Kobylisy. Velmi silné intenzity se objevují u levého odbočení na severním rameni Čimická a také v přímém směru ramene K Pazderkám. Naopak téměř nevyužitě je rameno Velká Skála, a to jak na vjezdu, tak na výjezdu. Stejně jako tomu bylo i v případě křižovatky Lodžská x Mazurská, i zde se opět objevuje trend toho, jak obyvatelé cestují z domova do práce.



Obrázek 3 - Pentlogram ranní špičky na křižovatce Čimická x K Pazderkám [zdroj: vlastní]

Přechody pro chodce

Na křižovatce **Čimická x K Pazderkám** během měření využilo přechody 169 chodců, ale i 23 cyklistů. Nejvíce využívaným přechodem byl přechod na vjezdu na severním rameni Čimická. Cyklisté nejvíce projížděli přes přechody přes komunikaci Čimická na severním i východním rameno, a to zřejmě z toho důvodu, že těmito přechody vede cyklostezka A270, navazující na cyklostezky A28, A273 a A274.

Oproti tomu, využití křižovatky **Lodžská x Mazurská** bylo mnohonásobně vyšší a to proto, že v přímé blízkosti se nachází zdravotnické zařízení, obchodní centrum a základní škola. Během měření bylo na zmíněné křižovatce evidováno 537 chodců. Nejvíce chodců, celkem 205, zvolilo přechod přes rameno Mazurská a nejméně pak na sebe navazující přechody přes rameno Hnězdenská, celkem 38 chodců. Chodci, kteří přecházeli mimo jim určené přechody, což je na této křižovatce běžným prohrěškem, do průzkumu chodců na této křižovatce nebyli zahrnuti.

3 Současné řízení a návrhy jeho úprav

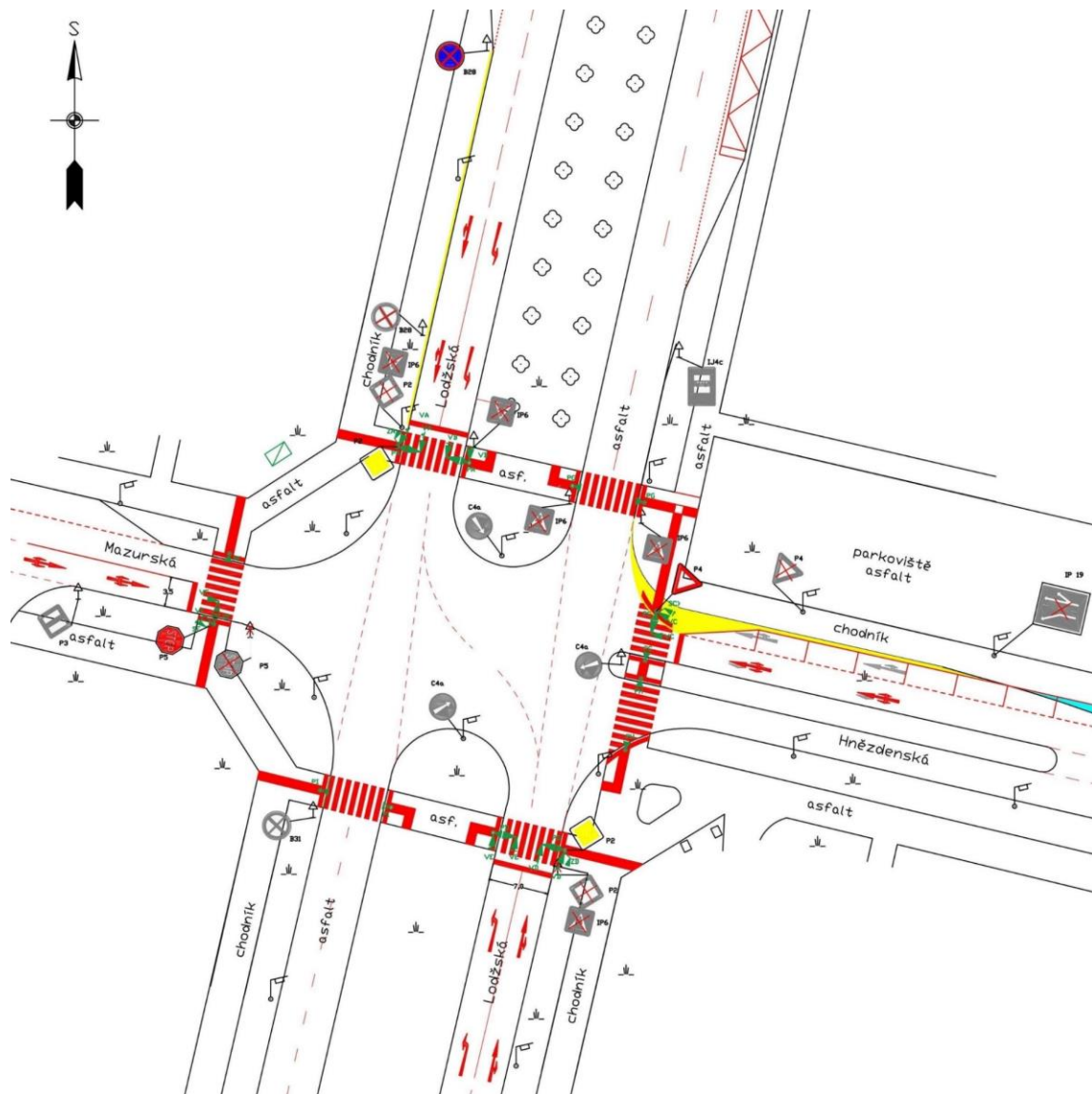
Tato kapitola se zaměřuje na popis současného řízení v lokalitách včetně způsobů preferování MHD. V případě křižovatky Lodžská x Mazurská, která je v současnosti neřízenou křižovatkou a v bakalářské práci z [1] pro ni bylo navrženo řízení pevnými signálními plány, je v této práci rozšířeno o dynamický signální plán s vlastní logikou řízení. Podkladem pro řízení na křižovatce Čimická x K Pazderkám v této kapitole je dokument obsahující kompletní dopravní řešení této křižovatky z [2].

3.1 Lodžská x Mazurská

Křižovatka Lodžská x Mazurská je nyní stále neřízená. V roce 2019 byl vytvořen návrh pevného řízení SSZ. V rámci tohoto návrhu proběhlo posouzení kritérií účelnosti implementace SSZ. Bylo splněno pouze kritérium bezpečnosti z hlediska míst zvláštního zřetele. Další kritérium z hlediska nehodovosti nebylo sice splněno, ale to pravděpodobně z důvodu, že výpočet kritéria nebere v potaz skoronehody, ke kterým zde dochází velmi často a které vycházejí především ze špatného stavebního uspořádání. Na základě toho bylo vyhodnoceno, že je vhodné SSZ implementovat a současně byl vytvořen i návrh nového stavebního uspořádání viz následující Obrázek 4. Nové stavební uspořádání, které zahrnovalo zrušení parkování v pravém pruhu hlavní komunikace na severním rameni Lodžská. Dále došlo ke zrušení pravého odbočovacího pruhu na rameni Hnězdenské a namísto něj zde došlo k vytvoření nových parkovacích míst jako náhrada za zrušené parkování na již zmíněném severním rameni Lodžská. Další změnou byla rekonstrukce a doplnění prvků pro osoby nevidomé a slabozraké, dle současných norem.[1]

Popis signálních skupin

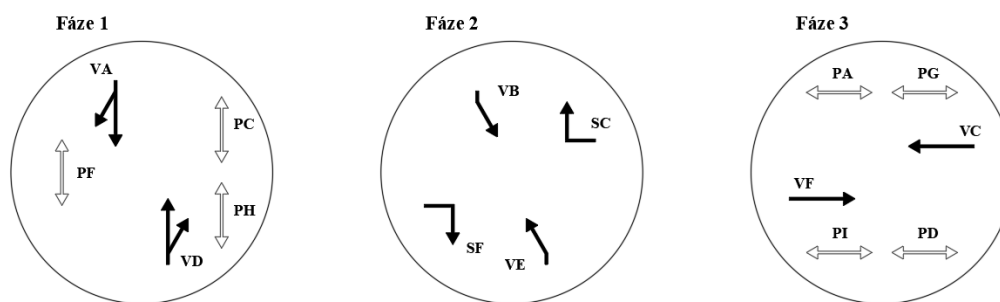
Uspořádání signálních skupin je patrné na Obrázek 4. Signální skupiny křižovatky jsou označeny dle skupin V – vozidel a P – chodců. Na severním rameni Lodžská se nachází signální skupiny VA a VB. Signální skupina VA zahrnuje směr rovně a vpravo, signální skupina VB směr vlevo. Přes toto rameno vedou i signální skupiny chodců. Na vjezdu do křižovatky se jedná o signální skupinu PA a na výjezdu o signální skupinu PG. Na jižním rameni Lodžská se nachází signální skupiny VD a VE. Signální skupina VD zahrnuje směr rovně a vpravo, signální skupina VE směr vlevo. Přes toto rameno vedou signální skupiny chodců PD na vjezdu do křižovatky a PI na výjezdu. Na rameni Hnězdenská se nachází signální skupina VC, která zahrnuje směr rovně, vlevo i vpravo. Přes toto rameno vedou signální skupiny chodců PC na vjezdu do křižovatky a PH na výjezdu. Na rameni Mazurská se nachází signální skupina VF, která zahrnuje směr rovně vlevo i vpravo. Přes toto rameno vede signální skupina chodců PF.



Obrázek 4 - Situační výkres křižovatky Lodžská x Mazurská [1]

Shrnutí řízení pevným SSZ

Pro křižovatku Lodžská x Mazurská bylo navrženo pevné řízení SSZ o třech fázích viz Obrázek 5, které probíhají v pořadí Fáze 1 → Fáze 2 → Fáze 3. Ve fázi 1 jsou spuštěny signální skupiny vozidel VA a VD, na obou ramenech Lodžská ve směru rovně a vpravo a s nimi skupiny chodců PC, PF a PH. Jelikož skupiny VA a VD jsou řízeny směrovými signály a zmíněné skupiny chodců jsou s nimi vzájemně v kolizi, je nutné současné doplnění o žluté světlo ve tvaru chodce, tedy o signální skupiny ZA a ZD. Ve fázi 2 jsou spuštěny směrové signální skupiny vozidel VB a VE na téže ramenech, ve směru vlevo a zároveň doplňkové směrové šipky SC na rameni Hnězdenská a SF na rameni Mazurská obě ve směru vpravo. Ve 3. fázi probíhá volno ve všech směrech pro vozidlové skupiny VC na rameni Hnězdenská a VF na rameni Mazurská. Tyto signály jsou navrženy jako pevné, a proto již nemusejí být doplněné o žluté světlo ve tvaru chodce.



Obrázek 5 - Fázové schéma pevného řízení - Lodžská x Mazurská [1]

Délka cyklu při pevném řízení byla na základě kapacitního posouzení v Tabulka 1¹ stanovena na 85 s pro řízení v rámci ranní špičky. Kapacitní posouzení slouží k výpočtu hodnoty střední doby zdržení, ze které se dále určuje hodnocení úrovně kvality dopravy.

Tabulka 1 - Posouzení kapacity vjezdů - Lodžská x Mazurská

Posouzení kapacity vjezdů dle TP 188 [18]								
Papírek	Název komunikace	Vjezd (signální skupina)	Rez [pvoz/h]	a_v [-]	t_w [s]	L_F [m]	ÚKD	
							Dosažená	Požadovaná
1	Lodžská – Sever	VB	76	0,24	28	9	B	E
		VA	20	0,8	27	63	B	
2	Hnězdenská	VC	28	0,72	46	28	C	
3	Lodžská – Jih	VE	56	0,44	31	31	B	
		VD	66	0,34	18	22	A	
4	Mazurská	VF	12	0,77	67	51	D	

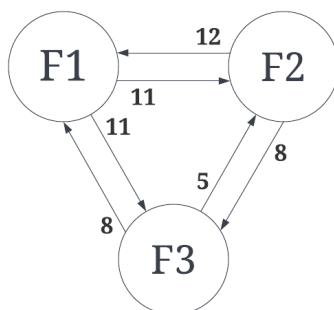
Ačkoliv je úroveň kvality dopravy pro křižovatku splněná, nejedná se o ideální stav, a to zejména u proudů VC a VF. V tomto ohledu je rozšíření na dynamické řízení vhodnější.

Dynamické řízení

Při dynamickém řízení jsou zachovány stejné fáze jako při pevném řízení, ale pořadí je určováno dle požadavků dopravy. Tzn. mohou být volány jiné fáze dle obsazenosti detektoru, přičemž pokud existuje výzva na více fázích, bude vždy upřednostněna fáze s kratším fázovým přechodem. Všechny možnosti pořadí fází jsou uvedeny na Obrázek 6. Fázové přechody, vycházejí z tabulky mezičasů uvedené ve zdroji [1].

¹ V kapacitním posouzení v bakalářské práci z [1] došlo k chybnému výpočtu kapacit signálních skupin VB a VE. Tato chyba byla pro tuto diplomovou práci opravena a v Tabulka 1 se již nevyskytuje.

V každé fázi jsou splněny bezpečnostní podmínky z [3] – tzn. minimální délka zelené 5 s pro vozidla, chodce a cyklisty, červenožlutá minimálně 2 s a žlutá minimálně 3 s. Maximální délky fází jsou navrženy dle délek fází z pevného signálního plánu.



Obrázek 6 - Sled fází při dynamickém řízení - Lodžská x Mazurská [Zdroj: vlastní]

Pro správnou funkci dynamického řízení musí být všechna ramena křižovatky osazena detektory. Pro detekci vozidel je vhodné použít indukční smyčky nebo kamery video detekce. Pro případ křižovatky Lodžská x Mazurská je navrženo použití výzvoových a prodlužovacích detektorů. Výzvoové detektory se umísťují těsně před stopčáru. Prodlužovací detektory jsou umísťovány dle požadované délky časové mezery a jízdní rychlosti. Délka časové mezery pro dynamické řízení na této křižovatce je navržena na 2 s. Jízdní rychlost je na všech ramenech křižovatky $50 \text{ km} \cdot \text{s}^{-1}$. Prodlužovací detektory proto budou umístěny 30 m před stopčárou. Označení detektorů je uvedeno v následující Tabulka 2.

Tabulka 2 - Označení vozidlových detektorů – Lodžská x Mazurská

Signální skupina	Výzvoové detektory		Prodlužovací detektory	
	Označení detektoru	Vzdálenost od křižovatky	Označení detektoru	Vzdálenost od křižovatky
VA	DVA1	0 m	DVA2	30 m
VB	DVB1		DVB2	
VC	DVC1		DVC2	
VD	DVD1		DVD2	
VE	DVE1		DVE2	
VF	DVF1		DVF2	

Další změnou je signalizace pro chodce. V dynamickém řízení je signál volno pro chodce zařazen pouze na základě výzvy ze strany chodců, tedy při stisknutí chodeckého tlačítka. Pokud jsou společně spuštěny signální skupiny vozidel současně s kolizní skupinou chodců, jako tomu je v případě signálních skupin VA, VD spuštěných společně s PC, PH a PF ve Fázi 1, jsou současně spuštěné i varovné žluté přerušované signály ve tvaru chodce.

Preference MHD

Křižovatkou Lodžská x Mazurská projíždějí linky MHD na signálních skupinách VA, VD, VE a VF.

Preference je navržena podmíněná, jelikož křižovatkou je vedeno více linek MHD na téměř všech ramenech a nelze zajistit plynulý průjezd křižovatkou bez zastavení. Místa pro přihlášení vozidel MHD je vhodné umístit 150 až 350 m před stopčárou. Pokud se ale ve vzdálenosti 150 m před křižovatkou nachází zastávka, je výhodné místo přihlášení situovat před zastávkou. Odhlašovací místa je vhodné umístit těsně před stopčáry. [3]

Umístění detektorů je uvedeno v následující tabulce:

Tabulka 3 - Umístění detektorů vozidel MHD – Lodžská x Mazurská

Signální skupina	Označení přihlašovacího detektoru	Vzdálenost místa přihlášení od křižovatky	Označení odhlašovacího detektoru	Vzdálenost místa odhlášení od křižovatky
VA	DBA1	110 m	DBA2	0 m
	DBA1'	55 m		
VD	DBD1	170 m	DBD2	
VE	DBE1	170 m	DBE2	
VF	DBF1	165 m	DBF2	

Vzdálenost místa přihlášení VA je těsně před vjezdem do zastávky, tedy ve vzdálenosti 110 m před křižovatkou. Přihlašovací místa pro VD a VE jsou umístěna na výjezdu z křižovatky Lodžská x K Pazderkám ve vzdálenosti 170 m před křižovatkou. Přihlašovací místa pro signální skupinu VF jsou umístěna za výjezdem ze zastávky ve vzdálenosti 165 m.

Metody řízení při preferenci MHD jsou:

- Prodlužování vlastní fáze

Tato metoda prodlužuje délku fáze, v případě, že se vozidlo MHD přihlásí v takovém okamžiku vůči právě probíhajícímu cyklu řízení, že doba jízdy vozidla MHD od místa přihlášení ke stopčáře není delší než doba od okamžiku přihlášení do okamžiku maximálního možného prodloužení fáze.

Preferenci prodlužování vlastní fáze je v dynamickém signálním plánu použita pro vozidla MHD v signálních skupinách VD, VE a VF. Použití pro signální skupinu VA je prodlužování použito, jen pokud se vozidlo nachází za zastávkou. Pokud by přihlášení vozidla MHD proběhlo před příjezdem na zastávku a je potřebný k jízdě vozidla MHD od místa přihlášení ke stopčáře včetně pobytu v zastávce větší než maximální možné prodloužení fáze.

- Zkracování vlastní fáze

Při této metodě dochází k předčasnému ukončení právě probíhající fáze v případě, že se vozidlo MHD přihlásí v momentě, kdy je doba jízdy vozidla MHD od místa přihlášení ke stopčáře delší než doba od okamžiku přihlášení do okamžiku maximálního možného prodloužení fáze. Po ukončení fáze následuje výběr jiné fáze tak, aby mohla co nejdříve nastat vlastní fáze s volnem pro vozidlo MHD.

Tato metoda je v dynamickém signálním plánu využita pro všechny signální skupiny s MHD.

- Zkracování jiné fáze

Metoda zkracování jiné fáze nastává při nároku vozidla při jiné než probíhající fázi, tím způsobem, že dojde k okamžitému nebo alespoň k co nejdřívejšímu ukončení právě probíhající fáze, tak, aby vlastní fáze nastala v optimálním okamžiku.

Tato metoda není vzhledem k navržené logice řízení nutná, a proto není použita.

- Změna pořadí fází

Ke změně pořadí fází dochází při nároku v zadaných časových intervalech cyklu řízení. Tímto způsobem by mělo dojít k zařazení fáze v optimálním okamžiku.

Tato metoda je vhodná pro tří a vícefázových cyklů a v dynamickém plánu pro tuto křižovatku není využita.

- Vložení fáze navíc při výzvě

Tento způsob je vhodný především pro signální skupiny, u nichž se nárok neobjevuje v každém cyklu. Vzhledem k tomu, že se linky MHD dotýkají téměř všech signálních skupin a intervaly mezi vozidly MHD na jednotlivých linkách jsou velmi krátké, dá se očekávat, že tato metoda není pro dynamické řízení na této křižovatce vhodná, a proto není použita.

- Okamžité doplnění nekolizního volna do probíhající fáze

Tato metoda se využívá zejména pro skupiny vozidel např. tramvaje, které mají velký vyklizovací mezičas a kdy je právě probíhající fáze vzhledem k této skupině nekolizní. Je vhodné pro tuto skupinu okamžitě zařadit signál volno, aby vozidlo nemuselo čekat až na opětovné zařazení této fáze.

Na této křižovatce se nevyskytují vozidla, pro která by bylo vhodné tuto metodu zavádět, proto není použita.

- Volná tvorba signálního plánu

Tato metoda představuje nejvyšší stupeň dynamiky řízení. Používají se při ní všechny zmíněné metody preferencí a lze ji zavádět pouze u křižovatek s izolovaným řízením SSZ. Vzhledem ke složitosti této metody není pro účely této práce použita.

Popis dynamického řízení

V rámci zpracování diplomové práce je navrženo dynamické řízení křižovatky včetně vstupních parametrů, logických podmínek a samotné logiky řízení

Parametry délek jsou uvedeny v následující Tabulka 4.

Tabulka 4 – Parametry délek – Lodžská x Mazurská

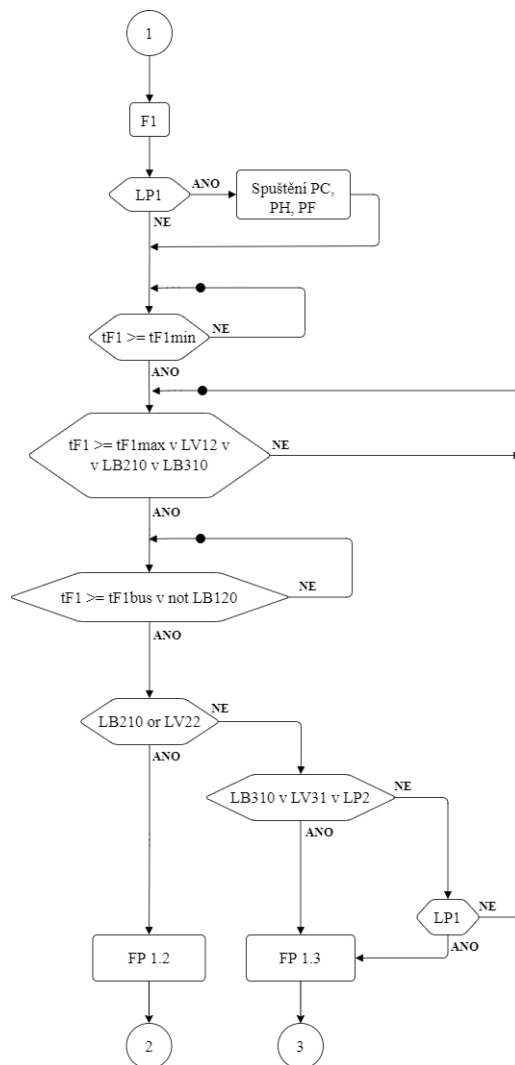
Označení	Délka [s]	Popis
tF1	-	Aktuální čas fáze 1
tF1min	8	Minimální délka fáze 1
tF1max	29	Maximální délka fáze 1
tF1bus	47	Maximální délka fáze 1 pro BUS
tF2	-	Aktuální čas fáze 2
tF2min	5	Minimální délka fáze 2
tF2max	12	Maximální délka fáze 2
tF2bus	30	Maximální délka fáze 2 pro BUS
tF3	-	Aktuální čas fáze 3
tF3min	8	Minimální délka fáze 3
tF3max	13	Maximální délka fáze 3
tF3bus	30	Maximální délka fáze 3 pro BUS
tCM	2	Délka časové mezery

Dynamické řízení se řídí logickými podmínkami uvedenými v následující Tabulka 5.

Tabulka 5 - Logické podmínky - Lodžská x Mazurská

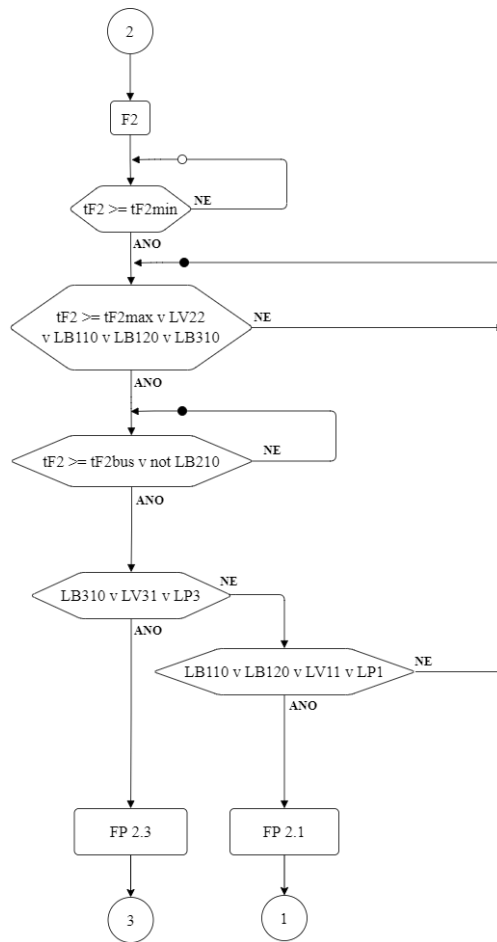
Označení logické podmínky	Podmínka	Popis podmínky
LP1	V(PC v PH v PF)	Nárok PC, PH nebo PF
LP3	V(PA v PD v PG v PI)	Nárok PA, PD, PG nebo PI
LB110	V(DBA)	Preferenční nárok BUS VA
LB120	V(DBD)	Preferenční nárok BUS VD
LB210	V(DBE)	Preferenční nárok BUS VE
LB310	V(DBF)	Preferenční nárok BUS VF
LV11	V(DVA1 v DVD1)	Výzva VA nebo VD
LV21	V(DVB1 v DVE1)	Výzva VB nebo VE
LV31	V(DVC1 v DVF1)	Výzva VC nebo VF
LV12	ČM(DVA2 & DVD2) >= tCM	Ukončení prodlužování VA a VD
LV22	ČM(DVB2 & DVE2) >= tCM	Ukončení prodlužování VB a VE
LV12	ČM(DVC2 & DVF2) >= tCM	Ukončení prodlužování VC a VF

Základní algoritmus dynamického řízení je uveden na Obrázek 7.



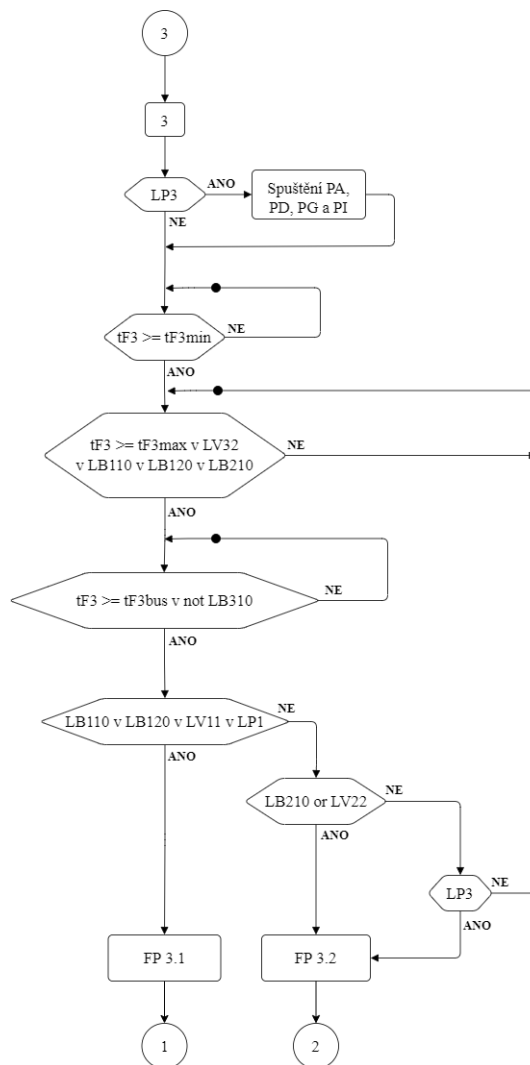
Obrázek 7 – Algoritmus fáze 1 dynamického řízení - Lodžská x Mazurská [zdroj: vlastní]

V **první fázi** je nejprve ověřena podmínka výzvy na přechodech PC, PH nebo PF. V případě splnění jsou tyto signální skupiny spuštěny. V opačném případě nebo po spuštění přechodů je ověřena podmínka minimální délky fáze 1, která se opakuje až do splnění. Dalším krokem je podmínka, která ověřuje, zda existuje nárok na ukončení fáze 1, to znamená, zda je splněna maximální délka fáze 1 nebo zda existuje preferenční nárok autobusů na VE nebo VF. Dokud takový nárok neexistuje, je stále spuštěno volno pro signální skupiny fáze 1. Pokud existuje nárok, je následně ověřeno splnění maximální délky 1. fáze pro autobus a zároveň zda není preferenční nárok autobusů na VD. Podmínka je ukončena až v případě splnění, v opačném případě se stále opakuje. Po splnění podmínky jsou ověřovány nároky na fáze 2 a 3. Pokud existuje preferenční nárok autobusů na VE nebo výzva ze strany vozidel na VB nebo VE, pak nastává přechod do fáze 2, Pokud tyto nároky neexistují, ale existuje preferenční nárok autobusů nebo výzva ze strany vozidel na VC nebo VF nebo výzva ze strany chodců na PA, PD, PG nebo PI, pak nastává přechod do fáze 3. V případě, že ani tyto nároky nejsou splněny, ale existuje nárok ze strany chodců na PC, PF nebo PH, pak nastává přechod do fáze 3. Pokud ani tento nárok neexistuje, je znovu ověřován krok ověřující nároky na ukončení 1. fáze.



Obrázek 8 - Algoritmus fáze 2 dynamického řízení - Lodžská x Mazurská [zdroj: vlastní]

V **druhé fázi** je nejprve ověřena podmínka minimální délky fáze 2, která se opakuje až do splnění. Dalším krokem je podmínka, která ověřuje, zda existuje nárok na ukončení fáze 2, to znamená, zda je splněna maximální délka fáze 2 nebo zda existuje preferenční nárok autobusů na VA, VD nebo VF. Dokud takový nárok neexistuje, je stále spuštěno volno pro signální skupiny fáze 2. Pokud existuje nárok, je následně ověřeno splnění maximální délky 2. fáze pro autobus a zároveň zda není preferenční nárok autobusů na VE. Podmínka je ukončena až v případě splnění, v opačném případě se stále opakuje. Po splnění podmínky jsou ověřovány nároky na fáze 1 a 3. Pokud existuje preferenční nárok autobusů na VF nebo výzva ze strany vozidel na VC nebo VF nebo výzva ze strany chodců na PA, PD, PG nebo PI, pak nastává přechod do fáze 3, Pokud tyto nároky neexistují, ale existuje preferenční nárok autobusů nebo výzva ze strany vozidel na VA nebo VD nebo výzva ze strany chodců na PC, PF nebo PH, pak nastává přechod do fáze 1. Pokud ani tento nárok neexistuje, je znovu ověřován krok ověřující nároky na ukončení 2. fáze.



Obrázek 9 - Algoritmus fáze 3 dynamického řízení - Lodžská x Mazurská [zdroj: vlastní]

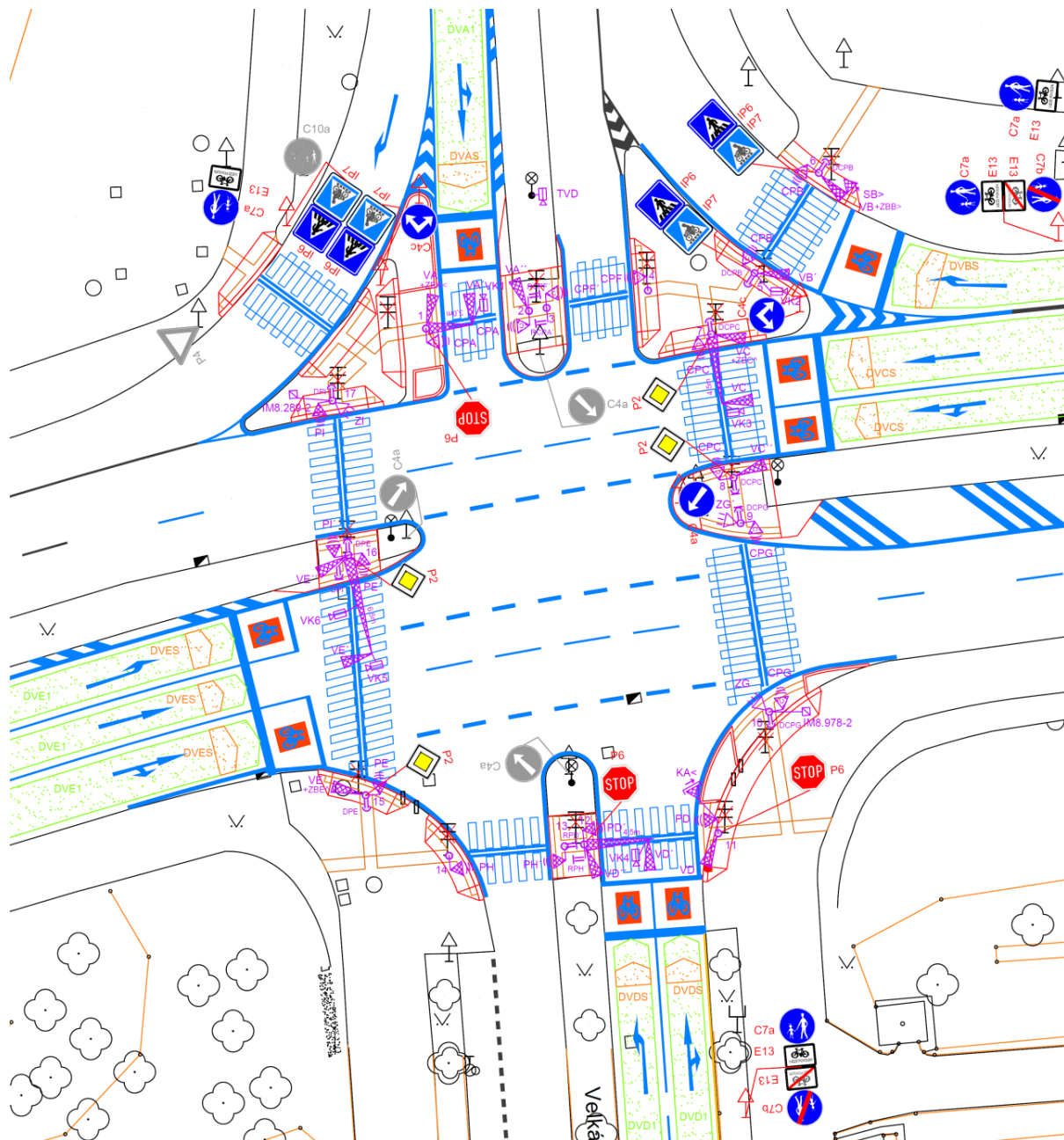
Ve **třetí fázi** je nejprve ověřena podmínka výzvy na přechodech PA, PD, PG nebo PI. V případě splnění jsou tyto signální skupiny spuštěny. V opačném případě nebo po spuštění přechodů je ověřena podmínka minimální délky fáze 3, která se opakuje až do splnění. Dalším krokem je podmínka, která ověřuje, zda existuje nárok na ukončení fáze 3, to znamená, zda je splněna maximální délka fáze 3 nebo zda existuje preferenční nárok autobusů na VA, VD nebo VE. Dokud takový nárok neexistuje, je stále spuštěno volno pro signální skupiny fáze 3. Pokud existuje nárok, je následně ověřeno splnění maximální délky 3. fáze pro autobus a zároveň zda není preferenční nárok autobusů na VF. Podmínka je ukončena až v případě splnění, v opačném případě se stále opakuje. Po splnění podmínky jsou ověřovány nároky na fáze 1 a 2. Pokud existuje preferenční nárok autobusů nebo výzva ze strany vozidel na VA nebo VD, nebo výzva ze strany chodců na PC, PF nebo PH, pak nastává přechod do fáze 1, Pokud tyto nároky neexistují, ale existuje preferenční nárok autobusů na VE nebo výzva ze strany vozidel na VB nebo VE, pak nastává přechod do fáze 2. V případě, že ani tyto nároky nejsou splněny, ale existuje nárok ze strany chodců na PA, PD, PG nebo PI, pak nastává přechod do fáze 2. Pokud ani tento nárok neexistuje, je znovu ověřován krok ověřující nároky na ukončení 3. fáze.

3.2 Čimická x K Pazderkám

Na rozdíl od křižovatky Lodžská x Mazurská, pro kterou byl vlastní návrh dynamického řízení v předchozí podkapitole 3.1 vytvořen, pro křižovatku Čimická x K Pazderkám již existuje reálné řešení izolovaného dynamického řízení bez koordinace. V roce 2020 také křižovatka prošla rekonstrukcí, při které došlo především k bezbariérovým úpravám přechodu, úpravám pro nevidomé a slabozraké a úpravám spojeným s osazením zařízení a výstroje SSZ. Stavební uspořádání a uspořádání signálních skupin je uvedeno na Obrázek 10.

Popis signálních skupin:

Signální skupiny křižovatky jsou označeny dle skupin V – vozidel a P – chodců. Na severním rameni Čimická se nachází signální skupina VA, která zahrnuje směr rovně a vlevo. Přes toto rameno vedou i signální skupiny chodců. Na vjezdu do křižovatky se jedná o signální skupinu PA a na výjezdu o signální skupinu PF. Na východním rameni Lodžská se nachází signální skupiny VB a VC. Signální skupina VB zahrnuje pouze směr vpravo, signální skupina VC zahrnuje směr vlevo a rovně. Přes toto rameno vedou i signální skupiny chodců. Přes jízdní pruh pravého odbočení vede signální skupina PB. Na vjezdu do křižovatky ostatních směrů se jedná o signální skupinu PC a na výjezdu o signální skupinu PG. Na rameni K Pazderkám se nachází signální skupina VE, která zahrnuje směr rovně, vlevo i vpravo. Přes toto rameno vedou signální skupiny chodců PE na vjezdu do křižovatky a PI na výjezdu. Na rameni Velká Skála se nachází signální skupina VD, která zahrnuje směr rovně vlevo i vpravo. Na vjezdu do křižovatky přes toto rameno vede signální skupina chodců PD a na výjezdu PH.



Obrázek 10 – Situační výkres křižovatky Čimická x K Pazderkám [2]

Základní funkcí řízení na křižovatce Čimická x K Pazderkám je časově závislá volba programů (pro další zpracování v této práci je použit program P1 – izolované dynamické řízení, běžný provoz, ráno, dopoledne). Dynamika řízení probíhá na základě algoritmu s trvalou zelenou v hlavním směru ve fázi 1, tedy pro signální skupiny VE, VC a VB. Boční vjezdy a přechody pro chodce jsou spuštěny pouze na výzvu.

Pro detekci vozidel slouží kamery video detekce a pro chodce s cyklisty výzvoňová chodecká tlačítka.

Na křižovatce je zavedena preference MHD, detekce je zajištěna přihlašovacími a odhlašovacími inframajáky. Způsob řízení při preferenci MHD je buď prodlužováním a krácením vlastní fáze nebo

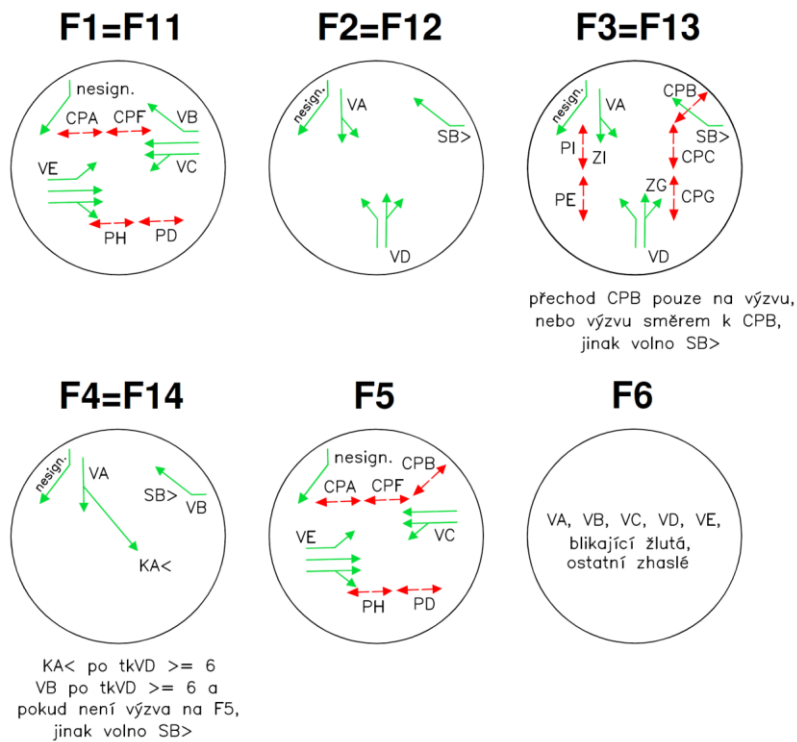
krácením kolizních fází dle metod uvedených výše v kapitole 3.1. Umístění detekčních míst je uvedeno v následující Tabulka 6.

Tabulka 6 - Umístění detektorů vozidel MHD – Čimická x K Pazderkám

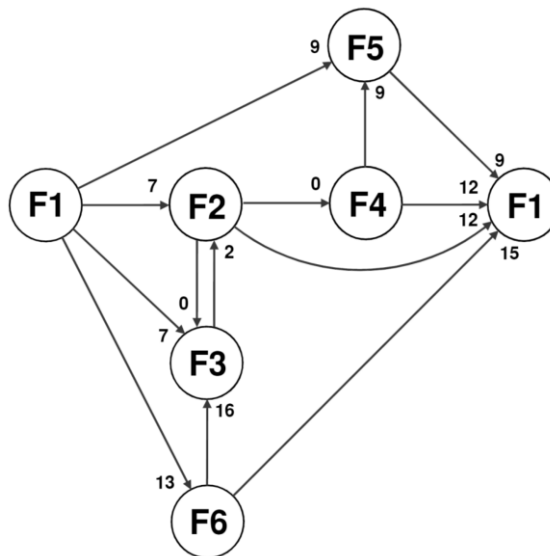
Signální skupina	Označení přihlašovacího detektoru	Vzdálenost místa přihlášení od křižovatky	Označení přihlašovacího detektoru před stopčárou	Vzdálenost místa přihlášení od křižovatky	Označení odhlašovacího detektoru	Vzdálenost místa odhlášení od křižovatky
VA	DBA1Lx	155 m	DBAL	50 m	DBA2L	0 m
VB	DBB1Rx	229 m	DBBR		DBB2R	
VC	DBC1Mx	229 m	DBCM		DBC2M	
VE	DBE1Mx	250 m	DBEM		DBE2M	

Popis fází:

V dynamickém řízení je navrženo 6 fází viz Obrázek 11. Ve fázi F1 jsou spuštěny signální skupiny na hlavních komunikacích K Pazderkám a x Čimická. Jde o signální skupiny VC a VE ve směru rovně a vlevo a VB ve směru vpravo a s nimi signální skupiny chodců CPA, CPF, PH a PD. Skupiny chodců jsou spouštěny na výzvu. Stejně signální skupiny mají volno ve fázi F5 jen s tím rozdílem, že je zastavena signální skupina VB a namísto ní je spuštěna signální skupina chodců CPB. Fáze 2 má spuštěné signální skupiny VA na severním rameni Čimická ve směru rovně a vpravo, VD na rameni Velká skála ve směru vlevo, rovně i vpravo a k nim je přisvícena doplňková šipka na východním rameni Čimická ve směru vpravo. Ve fázi 3 jsou spuštěny stejné signální skupiny jako ve fázi 2 a navíc signální skupiny chodců CPB CPC, CPG, CPE a CPI, které jsou opět pouze na výzvu. Při výzvě na signální skupinu CPB je zastavena signální skupina SB. Ve fázi 4 jsou spuštěny signální skupiny VA a VB/ SB a k nim přisvícena vyklizovací šipka signální skupiny VA ve směru vlevo. Fáze F6 je s blikavou žlutou a v současném řešení se používá pro noční provoz. Návrh řízení v této práci je pro ranní špičku, tudíž tato fáze nebude dále v práci dále uvažována. Sled fází je uveden na Obrázek 12.



Obrázek 11 - Fázové schéma [2]



Obrázek 12 - Sled fází [2]

Popis algoritmu řízení

V prvním kroku **1. fáze** řídicího algoritmu probíhá ověření minimální délky fáze, při splnění je následně ověřována první podmínka, ve které je zjišťováno, zda existuje výzva ze strany vozidel na fázi 2 nebo výzva ze strany chodců PB, PC, PE, PG nebo PI, anebo zda existuje preferenční nárok autobusů pro

signální skupinu VA. Pokud žádná z výzev na jinou fázi neexistuje, zůstává volno v hlavním směru a probíhá znovu 1. krok. Naproti tomu, pokud existuje některá z uvedených výzev, následuje další, druhá podmínka, ve které je ověřeno, zda je splněna střední délka fáze 1 a zároveň zda existuje preferenční nárok autobusů pro signální skupinu VA do fáze 2 a dále, zda je ukončeno prodlužování autobusů signálních skupin VB, VC a VE. Při nesplnění druhé podmínky následuje třetí podmínka. Při ní je znovu ověřováno ukončení prodlužování autobusů signálních skupin VB, VC a VE a zároveň s tím je zjišťováno, zda je buď nárok na preferenční ukončení fáze 1 od skupiny autobusů některé ze signálních skupin VB, VC nebo VE nebo zda je ukončeno prodlužování signálních skupin VB nebo VC pro vozidla, tzn. zda je časová mezera na obou těchto skupinách větší nebo rovna maximální povolené délce, které je stanovena na 0,5s. Při nesplnění následuje čtvrtá podmínka. V té je znovu ověřováno ukončení prodlužování autobusů signálních skupin VB, VC a VE a zároveň probíhá ověření maximální délky fáze 1. Při nesplnění čtvrté podmínky následuje pátá. Pátá podmínka ověřuje, zda je ukončeno prodlužování autobusů některé ze signálních skupin VB, VC nebo VE před SSZ a zda je splněna maximální délka 1. fáze pro autobus nebo maximální délka 1. fáze pro autobus před stopčárou. Pokud je podmínka nesplněna, probíhá znovu ověření druhé podmínky.

Při splnění jedné z podmínek 2 až 5, dochází k přechodu na jednu z fází 2, 3, 5 nebo 6. Volba následující fáze je závislá na nárocích autobusů, vozidel nebo chodců z těchto fází.

Fáze 2 je rozdělena na dvě větve označené 2 a 2a, přičemž větev 2a probíhá pouze z fáze 3, v ostatních případech následuje větev 2. V prvním kroku **větvě 2a** je uvolněna signální skupina SB>. Dále je ověřeno splnění první podmínky minimální délky fáze 2. Tato podmínka se opakuje tak dlouho, dokud není splněna. Při jejím splnění následuje ověření další podmínky, při které je kontrolován preferenční nárok autobusů některé ze signálních skupin VC a VE a splnění střední délky fáze 2. Společně s tím je také ověřeno ukončení prodlužování signálních skupin VA nebo zda existuje nárok na preferenční ukončení fáze 2 ze strany autobusů signální skupiny VA. Zároveň s těmito 3 částmi podmínky je ověřeno že neexistuje nárok ze strany chodců na PB na fázi 3 a 5. Při splnění této podmínky následuje přechod do fáze 1. Naopak při nesplnění je ověřována další podmínka. Při této podmínce je zjišťováno, zda je ukončeno prodlužování signálních skupin VA a VD pro vozidla nebo zda je splněna střední délka fáze 2. Společně s tím je ověřováno, zda je ukončeno prodlužování signální skupiny VA pro vozidla nebo zda je splněna maximální délka fáze 2 nebo zda existuje preferenční nárok autobusů signálních skupin VC nebo VE. Při nesplnění této podmínky je znovu ověřována první podmínka. Při splnění je ověřováno ukončení prodlužování signálních skupiny VA pro vozidla a autobusy a také zda neexistuje nárok ze strany chodců na PB na fázi 3 a 5. Pokud je podmínka splněna, následuje přechod do fáze 1. Při nesplnění následuje fáze 4.

Větev 2 nejprve ověřuje nárok na přechod CPB ve fázi 3. Pokud nárok existuje je zastavena signální skupina SB> a uvolněna signální skupina CPB. V následujícím kroku nebo pokud nárok není, dochází

k ověření toho, zda existuje nárok na fázi 3 a pokud ano, pak následuje přechod do 3. fáze. Pokud ne, následuje vstup do prvního kroku větve 2a.

Fáze 3 nejprve ověřuje splnění základní délky fáze 3. Při splnění je nastaven časový parametr délky na základní délku fáze 3.

V prvním kroku **fáze 4** probíhá podmínka, která ověřuje, zda je zastavena signální skupina KA< a zároveň zda je čas od ukončení signálové skupiny VD a CPG větší nebo roven 6s . Pokud ano, nastává volno pro signální skupinu KA<. Pokud ne nebo po spuštění signální skupiny KA<, nastává ověření toho, zda je čas od ukončení signálové skupiny VD větší nebo roven 4 s a je čas od ukončení signálové skupiny CPG větší nebo roven 2 s. Dále zda je délka od spuštění signální skupiny SB větší nebo rovna 3 s současně s tím, že signální skupina SB> má signál stůj. A také, že neexistuje nárok na fázi 3 a 5. Při splnění následuje spuštění signálové skupiny VB. Při nesplnění nebo po spuštění signální skupiny VB je ověřováno splnění minimální délky fáze 4. Při nesplnění nastává znovu 1. krok. Při splnění jsou ověřovány 4 podmínky, které na sebe navazují kaskádově při nesplnění. Pokud žádná z těchto podmínek není splněna následuje opět 1. krok fáze 4. První podmínkou je ověření toho, zda existuje preferenční nárok autobusů jedné ze signálních skupin VC nebo VE a rovněž zda je splněna střední délka fáze 4 a zda je ukončeno prodlužování signální skupiny VA pro autobusy. Druhá podmínka ověřuje, zda je ukončeno prodlužování signální skupiny VA pro autobusy a zda je buď ukončeno prodlužování signální skupiny VA nebo existuje nárok na preferenční ukončení fáze ze strany autobusů signální skupiny VB. Třetí podmínka opět ověřuje, zda je ukončeno prodlužování signální skupiny VA pro autobusy a zda je splněna maximální délka fáze 4. Čtvrtá podmínka ověřuje, zda je ukončeno prodlužování signální skupiny VA pro autobusy a zda je splněna maximální délka fáze 4 pro autobusy nebo maximální délka fáze 4 pro autobus před stopčárou. Při splnění některé z těchto čtyř podmínek probíhá ověření toho, zda je zastavena signální skupina KA< nebo zda je čas od ukončení signálové skupiny VA větší nebo roven 4 s. Pokud ne, nastává opět první krok. Pokud ano, je zjišťováno, zda existuje nárok na fázi 3 nebo 5. Pokud nárok existuje, nastává přechod na fázi 1. V opačném případě je ověřeno, zda je zastavena fáze SB nebo zda je délka od spuštění signální skupiny SB větší nebo rovna 5 s a zda je zastavena fáze VB nebo zda je délka od spuštění signální skupiny VB větší nebo rovna 5 s. Jestliže ano, nastává přechod do fáze 5. V opačném případě nastává opět první krok fáze 4.

Fáze 5 obsahuje pouze jednu podmínku, která ověřuje konkrétní délku volna. Podmínka se opakuje do splnění. Poté nastává přechod do fáze 1.

4 Návrh řízení s ohledem na preferenci elektromobilů

Pro preferenci elektromobilů na vybraných křižovatkách je vybrán pouze způsob prodlužování vlastní fáze. Ostatní způsoby preference nemají v pro tento konkrétní případ smysl, jelikož zkracováním fází dochází ke snižování kapacity křižovatek a vložení fáze na výzvu má smysl jen tehdy, kdy jsou intenzity elektromobilů menší než intenzity autobusů.

Jsou navrženy nové logické podmínky. Preference elektromobilů je použita současně při preferenčním prodlužování fáze ze strany autobusů za účelem zvýšení penetrace preferovaných vozidel a zvýšení plynulosti preferovaných proudů. Délky fází včetně prodloužení při preferenci zůstávají stejné.

Pro detekci elektromobilů slouží systémy V2X, jelikož je jimi možné vozidla spolehlivě detekovat ve větší vzdálenosti, než při detekci jiným způsobem a také proto, že lze zjistit informaci o směru jízdy vozidla. Na ramenech, po kterých vedou linky MHD jsou místa přihlašování stejná jako při detekci autobusů. Označení detektorů a vzdáleností na všech ramenech jsou označena v následující Tabulka 7.

Tabulka 7 - Označení V2X detektorů pro detekci elektromobilů – Lodžská x Mazurská

Signální skupina	Označení přihlašovacího detektoru	Vzdálenost místa přihlášení od křižovatky	Označení odhlašovacího detektoru	Vzdálenost místa odhlášení od křižovatky
VA	DEA1	110 m	DEA2	0 m
VB	DEB1	110 m	DEB2	
VC	DEC1	150 m	DEC2	
VD	DED1	170 m	DED2	
VE	DEE1	170 m	DEE2	
VF	DEF1	165 m	DEF2	

Tabulka 8 - Logické podmínky pro preferenci elektromobilů – Lodžská x Mazurská

Označení logické podmínky	Podmínka	Popis podmínky
LE11	V(DEA1)	Preferenční nárok elektromobilů VA
LE12	V(DED1)	Preferenční nárok elektromobilů VD
LE10	LE11 & LE12	Preferenční nárok elektromobilů VA, VD v F1
LE21	V(DEB1)	Preferenční nárok elektromobilů VB
LE22	V(DEE1)	Preferenční nárok elektromobilů VE
LE20	LE21 & LE22	Preferenční nárok elektromobilů VB, VE v F2
LE31	V(DEC1)	Preferenční nárok elektromobilů VC
LE32	V(DEF1)	Preferenční nárok elektromobilů VF
LE30	LE32 & LE32	Preferenční nárok elektromobilů VC, VF v F2

Tabulka 9 - Označení V2X detektorů pro detekci elektromobilů – Čimická x K Pazderkám

Signální skupina	Označení přihlašovacího detektoru	Vzdálenost místa přihlášení od křižovatky	Označení odhlašovacího detektoru	Vzdálenost místa odhlášení od křižovatky
VA	DEA1	155 m	DEA2	0 m
VB	DEB1	229 m	DEB2	
VC	DEC1	229 m	DEC2	
VE	DEE1	250 m	DEE2	

Tabulka 10 - Logické podmínky pro preferenci elektromobilů – Čimická x K Pazderkám

Označení logické podmínky	Podmínka	Popis podmínky
LE10	V(DEB1)	Preferenční nárok elektromobilů VB
LE11	V(DEC1)	Preferenční nárok elektromobilů VC
LE12	V(DEE1)	Preferenční nárok elektromobilů VE
LE40	V(DEA1)	Preferenční nárok elektromobilů VA
LE41	V(DED1)	Preferenční nárok elektromobilů VD

Příklad použití prodlužování fáze 1 při preferenci EV v algoritmu řízení pro křižovatku Lodžská x Mazurská je uveden na následujícím Obrázek 13. Použití pro všechny ostatní fáze i křižovatku Čimická x Mazurská probíhá obdobně.

$$tF1 \geq tF1_{bus} \text{ v not (LB120 \& LE10)}$$

Obrázek 13 - Ukázka použití logické podmínky prodlužování fáze při preferenci EV [zdroj: vlastní]

5 Návrh modelu v prostředí Aimsun Next

Aimsun Next je multimodální modelovací software, který nabízí mnoho různých nástrojů pro dopravní analýzu jako je vytváření modelů dopravní sítě, odhad a úpravy dopravní poptávky, simulace dopravního proudu na mikroskopické, makroskopické nebo mezoskopické úrovni, ale i různé druhy dopravních problémů. Dále poskytuje výstupy od 3D animace po podrobnou dopravní analýzu. Všechny nástroje jsou obsaženy v jednom softwaru v jediném projektovém dokumentu. Prostředí Aimsun Next se stále vyvíjí a rozšiřuje své funkce, je proto pravděpodobné, že si tento nástroj bude získávat čím dál větší oblibu mezi dopravními odborníky a nahradí současné běžně používané nástroje pro dopravní simulace.

Pro tuto diplomovou práci byla společností Aimsun poskytnuta licence v edici Expert. Tato licence je nejkomplexnějším dostupným řešením v rámci Aimsun Next a obsahuje více modulů a rozšíření než jiné edice. Obsahuje také programovací prostředí API. Jedná se o kolekci funkcí v Pythonu nebo C++, které umožňují provádět určité akce během mezoskopické, mikroskopické nebo hybridní mezoskopicko-mikroskopické simulace. V této práci byly využity funkce modulu Aimsun API v mikroskopické simulaci pro účely implementace dynamického řízení. Modul Aimsun API v makroskopické simulaci je podrobněji popsán níže.

Aimsun API

Funkce, které API poskytuje, závisí na úrovni simulace. V mikroskopické simulaci (nebo v mikroskopické oblasti hybridní mezoskopicko-mikroskopické simulace) lze v každém kroku simulace číst data z virtuálních senzorů, informace o vozidlech v modelu (start, cíl, parametry chování, aktuální dráhu, polohu, rychlost, zrychlení), přidávat nová vozidla, převzít kontrolu nad vozidly (změnit jejich polohu nebo rychlost či změnit jejich cíle nebo cesty) a upravovat řízení dopravy. V mezoskopické simulaci lze kdykoli číst informace o vozidlech v modelu (start, cíl, aktuální úsek nebo směr odbočení) a přidávat nová vozidla. V mezo i micro simulaci lze číst výstupní statistiky nebo stav signálů a měnit je.

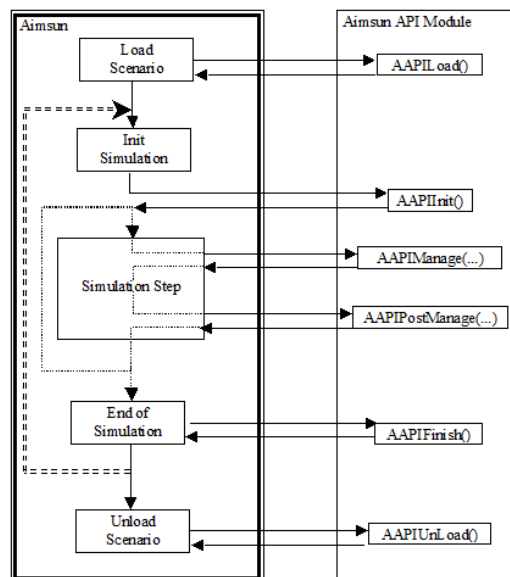
Přístup použitý v programu Aimsun Next spočívá v tom, že pokročilá telematická aplikace, která má být testována pomocí modelu, je považována za externí aplikaci a může komunikovat se simulací. Pomocí funkcí rozhraní Aimsun Next API jsou data ze simulace přenášena do externí aplikace. Aplikace použije vlastní algoritmy k vyhodnocení situace v simulaci a reaguje vhodnými dynamickými akcemi, které se implementují do simulace. Modul je logicky umístěn mezi simulační model a externí aplikaci. Interně, v rámci Aimsun Next, může API komunikovat se simulačním modulem, externě, s externí aplikací.

Aimsun Next API v mikroskopickém modelu:

Modul Aimsun Next API má šest základních funkcí, které komunikují mezi modulem Aimsun Next API a simulačním modelem. Jedná se o tyto funkce:

- Inicializační – AAPILoad, AAPInit a AAPISimulationReady
AAPILoad je voláno při načtení modulu. AAPInit je voláno při spuštění simulace a může být použita pro inicializaci modulu AAPISimulationReady je voláno, je vše inicializováno a vozidla jsou připravena k zahájení pohybu.
- Časové – AAPIManage a AAPPostManage.
Funkce AAPIManage je volána předtím, než simulátor provede jakoukoli akci, simulátor poté provede své výpočty a aktualizuje vozidla a signály. Nakonec se na konci časového kroku zavolá funkce AAPPostManage.
- Ukončovací – AAPIFinish a AAPUnLoad
AAPIFinish se volá, když je ukončena simulace. Lze ji použít k ukončení operací modulu, zápisu souhrnných informací, uzavření souborů atd. AAPUnLoad se volá, když je modul Aimsun Next uvolněn.

Následující Obrázek 14 graficky znázorňuje použití výše zmíněných funkcí používaných pro komunikaci Aimsun Next s modulem API.



Obrázek 14 - Architektura komunikace Aimsun s API [19]

5.1 Tvorba modelu

Prvním krokem práce v prostředí Aimsun Next je vytvoření modelu infrastruktury, které vychází především z [19]. Prostředí Aimsun Next disponuje možností exportu infrastruktury z OpenStreetMap. Tato funkce však vždy nevytvoří odpovídající model, proto byla tvorba modelu infrastruktury pro případ této DP provedena na základě podkladu ortofoto snímků a situace AutoCAD.

Tvorba infrastruktury je velice jednoduchou úlohu a tvorba základního modelu, tj. těleso komunikace, stopčáry, dělicí pruhy, přechody pro chodce atd. probíhá využitím nástrojů v grafickém prostředí. V případě, že nelze nějaký objekt modelu vytvořit v grafickém prostředí, lze využít nástroje scripting a vytvořit příkaz pro vytvoření objektu v python editoru. Toho bylo využito i v tomto případě, viz podkapitola 5.2 níže.

Pro vložení intenzit dopravy se musí nejprve vytvořit centroidy, které se napojí na vjezdy a výjezdy všech ramen. Intenzity se následně vkládají do O/D matic daných centroidů. Obdobně je tomu při vkládání intenzit chodců. Nejprve je nutné vytvořit oblast pro chodce a do ní umístit centroidy vstupů a výstupů. Intenzity se následně opět vkládají do O/D matic daných centroidů. Kompletní soubor intenzit je vložen do položky pro dopravní poptávku.

5.2 Tvorba signálního plánu

K vytvořenému modelu jsou vytvořeny signální skupiny. V grafickém prostředí nelze vytvořit více signálních skupin pro jedno odbočení, proto byly chybějící signální skupiny dodatečně vytvořeny pomocí python editoru.

Příklad vytvoření signálních skupin SC> a SF> pro simulaci křižovatky Lodžská x Mazurská:

```
def findNode( model, entry ):
    node = model.getCatalog().find( int(entry) )
    if node != None:
        if node.isA( "GKNode" ) == False:
            node = None
    return node

def findTurn( model, entry ):
    turn = model.getCatalog().find( int(entry) )
    if turn != None :
        if turn.isA( "GKTurning" ) == False:
            turn = None
    return turn

def createSignals( model, node ):
    signals = []
    signal = GKSystem.getSystem().newObject( "GKControlPlanSignal", model )
    signal.addTurning( findTurn( model, 418 ) )
    signal.setName( "SC" )
```



```

node.addSignal( signal )
signals.append( signal )

signal = GKSystem.getSystem().newObject( "GKControlPlanSignal", model )
signal.addTurning( findTurn( model, 426 ) )
signal.setName( "SF" )
node.addSignal( signal )
signals.append( signal )

return signals

node = findNode( model, 414 )
if node != None:
    signals = createSignals( model, node )

model.getCommander().addCommand( None )

```

Dále jsou pomocí grafického prostředí vytvořeny detektory pro všechny skupiny vozidel. V případě detektorů pro preferenci BUS a elektromobilů je nutné ve vytvořeném detektoru zaškrtnout položku „Equipped,“ aby bylo rozpoznáno obsazené vozidlo. Funkce obsazeného vozidla je využívána, při zjišťování směru vozidla.

Na rozdíl od detekce vozidel, Aimsun Next nedisponuje funkcí, která by zjišťovala, zda existuje výzva ze strany chodců, respektive detekce chodců probíhá interně a simulátor chodců automaticky přidá chování tlačítka k signalizovaným přechodům pro chodce, když chodci dorazí do čekací zóny a signál volno je součástí fáze v rámci „actuated“ (dynamického) signálního plánu. Jelikož v dynamických signálních plánech obou křižovatek existují fáze chodců pouze na výzvu, bylo nutné vytvořit způsob, kterým lze chodce detekovat. Tento způsob probíhal následovně:

V modelu křižovatky byly vytvořeny nové objekty – kružnice, které protínají oblast čekací zóny a následně byly zapsány souřadnice středů těchto kružnic. V modulu Aimsun API existuje funkce AKIPedestrianGetInf, která zjistí souřadnice x a y chodce. Pomocí středové rovnice kružnice: $(x - n)^2 + (y - m)^2 \leq r^2$ bylo dále zjištěno, zda se chodec nachází v kruhu a na základě toho byla vytvořena výzva.

Nastavení linek MHD probíhá v samostatném nástroji „Transit plan,“ do kterého je vždy vybrán směr jízdy dané linky a příslušný jízdní řád. V některých případech je nutné zjistit směr jízdy vozidla MHD, které lze provést zjištěním koncového Centroidu z O/D matic a tento nástroj v takových případech nelze použít. Nástroj byl proto použit pouze pro křižovatku Lodžská x Mazurská pro linky na rameni VA, kde detekce probíhá při příjezdu na zastávku a je potřebné simulovat i zastavení vozidla v zastávce. U těchto linek navíc není potřeba zjišťovat směr.

Dále následuje vytvoření signálního plánu. To probíhá v grafickém prostředí v nástroji „Control Plan“ zvolením příslušných signálních skupin. Kromě fází byly vytvořeny i mezifáze. Těch bylo vytvořeno více, aby bylo možné přepínat mezi fázemi i v jiném než nastaveném pořadí. Délka fází byla nastavena o 1 s větší, aby bylo možné ověřit maximální délku fáze a provést volbu další fáze a nedošlo k přeskočení tohoto kroku. Vytvořený signální plán je následně nutné vložit do položky „Master Control Plan.“ Typ signálního plánu je nastaven na „external“ (tedy externí) a přepínání fází dle logiky řízení probíhá použitím modulu Aimsun API, které je obsahem Příloha 1: pro křižovatku Lodžská x Mazurská a Příloha 2: pro křižovatku Čimická x K Pazderkám.

5.3 Simulace navržených scénářů

Pro simulaci scénářů je vytvořeno „Dynamic Scenario“ do kterého je vložen signální plán v podobě „Master Control Plan“, kompletní souhrn O/D matic (tzn. intenzity dopravy naměřené při dopravním průzkumu) a pokud existuje, tak i plán linek MHD v podobě „Transit plan.“

Pro každý scénář je provedeno 10 replikací, jejichž výstupem je souhrnná databáze obsahující soubory hodnot naměřených v intervalech po 10 minutách, které jsou mezi scénáři porovnávány. Prvním souborem hodnot jsou hodnoty dopravního charakteru. Vyhodnocovaným parametrem je časové zpoždění měřené v sekundách. Druhý soubor hodnot obsahuje data emisí z dopravy, z nichž je vyhodnocena a porovnána hodnota CO₂ v [g].

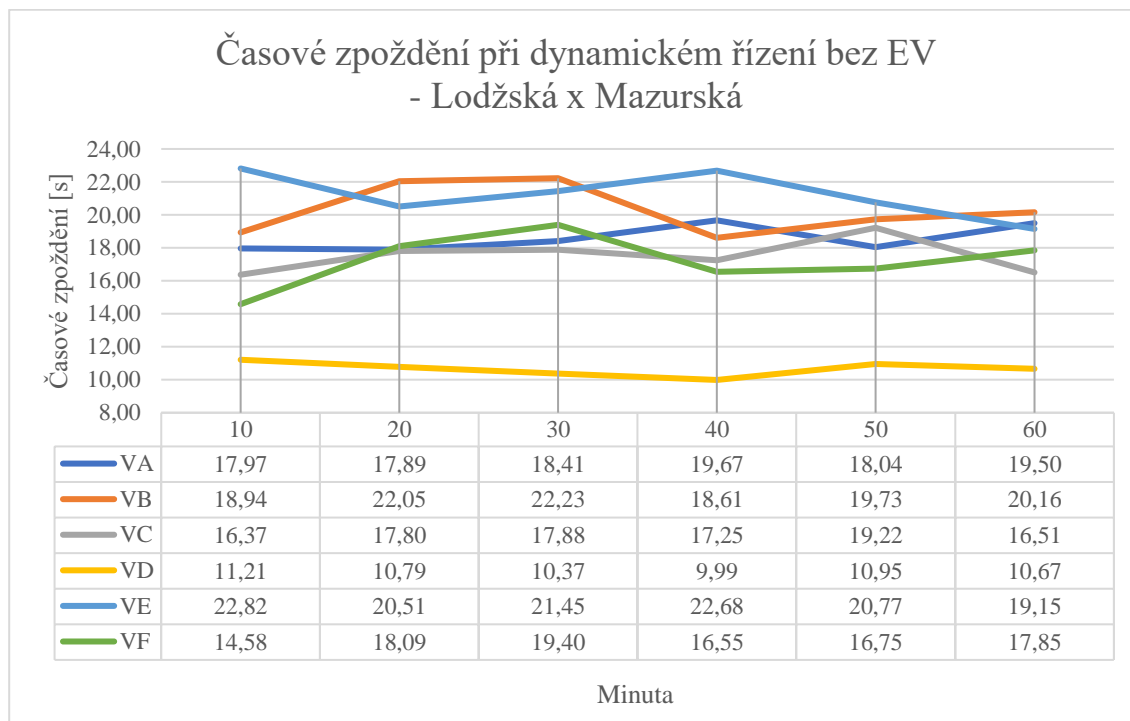
V rámci scénářů jsou navyšovány podíly EV vůči ostatním vozidlům v poměrech 0 %, 5 %, 10 %, 15 %, 30 %, 50 % a 70 % EV.

5.3.1 Křižovatka Lodžská x Mazurská

Pro křižovatku Lodžská x Mazurská byly vytvořeny 4 Scénáře. Prvním scénářem je dynamické řízení s nulovými intenzitami EV. Druhý scénář obsahuje dynamické řízení s preferencí EV, přičemž jsou měněny procentuální poměry EV pro všechny směry, vůči osobním automobilům. Třetím scénářem je dynamické řízení s preferencí EV, přičemž jsou měněny procentuální poměry EV vůči osobním automobilům v hlavních směrech (tedy u signálních skupin VA, VB, VD a VE). Poslední, čtvrtý scénář obsahuje dynamické řízení s preferencí EV, přičemž jsou měněny procentuální poměry EV vůči osobním automobilům ve vedlejších směrech (tedy u signálních skupin VC a VF).

Scénář 1: Dynamické řízení bez EV

Prvním provedeným scénářem je simulace základního dynamického řízení bez EV. Vyhodnocením časového zpoždění v rámci jedné hodiny v intervalech po 10 minutách vzniknul následující Graf 2.



Graf 2 - Časové zpoždění při dynamickém řízení bez EV - Lodžská x Mazurská

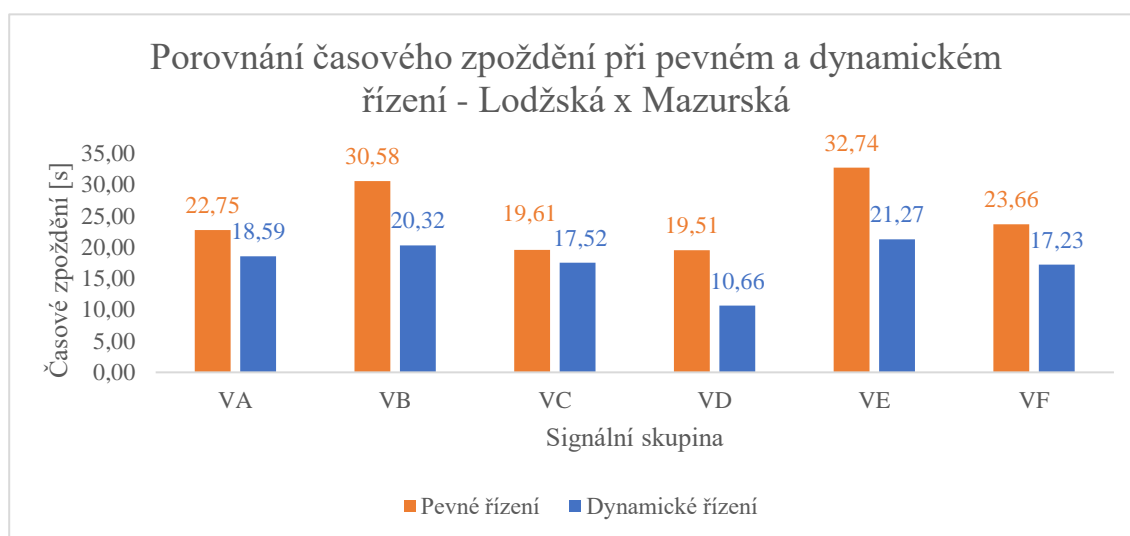
Výsledné hodnoty z Graf 2 byly dále zprůměrovány. Průměrné hodnoty časového zpoždění jsou uvedeny v následující Tabulka 11:

Tabulka 11 - Hodnoty časového zpoždění při dynamickém řízení - Lodžská x Mazurská

Signální skupina	VA	VB	VC	VD	VE	VF
Časové zpoždění [s]	20,16	18,63	16,77	11,22	19,82	16,56

Nejvyšších hodnot časového zpoždění nabývá signální skupina VA o délce 20,16 s. Nejkratší časové zpoždění naopak vzniká pro signální skupinu VD o délce 11,22 s. Obě tyto signální skupiny patří do 1. fáze a výsledné zpoždění je dáno intenzitami těchto signálních skupin. Během ranní špičky byla u signální skupiny VA naměřena celková intenzita 660 voz/h a u skupiny VD téměř třikrát méně, dohromady 250 voz/h. Při dynamickém řízení fáze 1 je důsledkem vysokých intenzit signální skupiny VA fáze maximálně prodlužována, přičemž není jisté, že křižovatku vyklidí všechna vozidla této signální skupiny, zatímco signální skupina VD křižovatku téměř jistě bez problému vyklidí.

Vzhledem k tomu, že pro tuto křižovatku bylo dynamické řízení navrženo v rámci této práce, je vhodné také porovnat hodnoty časového zpoždění oproti pevnému řízení.

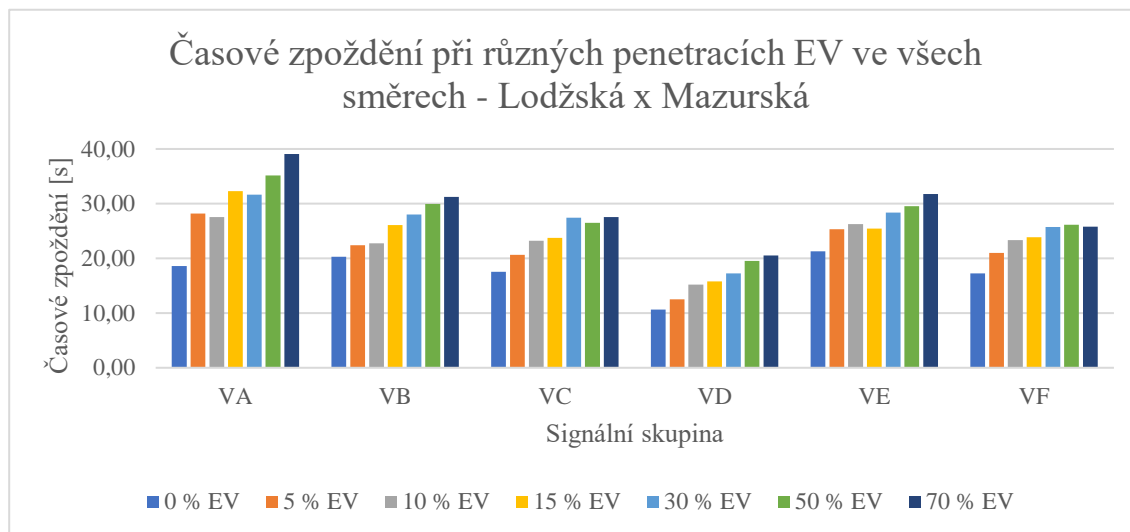


Graf 3 – Porovnání časového zpoždění při pevném a dynamickém řízení - Lodžská x Mazurská

Graf 3 dokazuje, že dynamické řízení je efektivnějším řešením oproti pevnému řízení, tzn., že došlo ke snížení délek časového zpoždění na všech signálních skupinách. Největší rozdíl hodnot vzniká pro signální skupinu VE, nejmenší naopak pro signální skupinu VA. U signální skupiny VA je to pravděpodobně dané intenzitami. Při pevném řízení má skupina VA signál volno nejdéle ze všech signálních skupin. Při dynamickém řízení je důsledkem vysokých intenzit a také i přítomností vozidel MHD fáze této signální skupiny prodlužována do maximálních délek, proto nevzniká velký rozdíl časových zpoždění mezi pevným a dynamickým řízením. Naopak signální skupina VE má při pevném řízení poměrně krátkou délku signálu volno a poměrně vysoké intenzity, celkem 153 voz/h. Při dynamickém řízení je fáze se signální skupinou VE prodlužována a dochází tak ke zkracování časového zpoždění.

Scénář 2: Dynamické řízení s různými penetracemi EV ve všech směrech

V druhém scénáři jsou porovnávány hodnoty časového zpoždění při různých poměrech EV ve všech směrech.



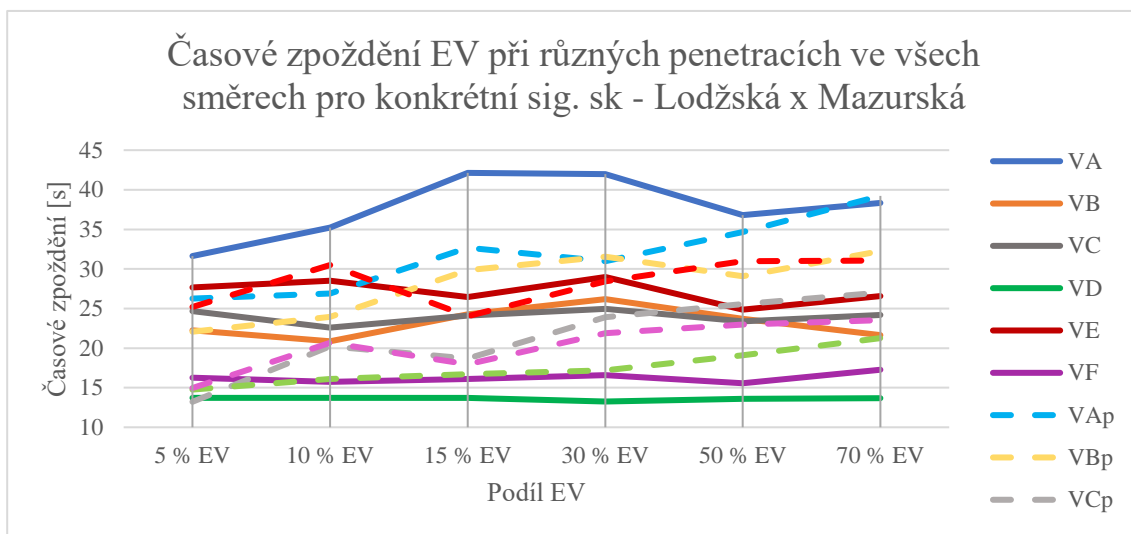
Graf 4 - Časové zpoždění při různých penetracích EV ve všech směrech - Lodžská x Mazurská

Z vyhodnoceného Graf 4 je patrné, že při vyšší penetraci EV narůstá i délka časového zpoždění, a to především u signálních skupin s vyššími intenzitami, zřejmě proto, že při vyšší penetraci EV ve všech směrech bude častěji docházet k prodlužování příslušné fáze, na které se EV nachází. Nejvyšších hodnot zpoždění dosahuje signální skupina VA. Při zprůměrování hodnot časových zpoždění všech signálních skupin je zjištěno, že hodnota zpoždění pro různé penetrace EV narůstá úměrně podílu elektromobilů, viz následující Tabulka 12.

Tabulka 12 - Průměrné časové zpoždění při různých penetracích EV pro celou křižovatku - Lodžská x Mazurská

Podíl elektromobilů	0 % EV	5 % EV	10 % EV	15 % EV	30 % EV	50 % EV	70 % EV
Časové zpoždění [s]	17,6	21,7	23,1	24,5	26,4	27,8	29,3

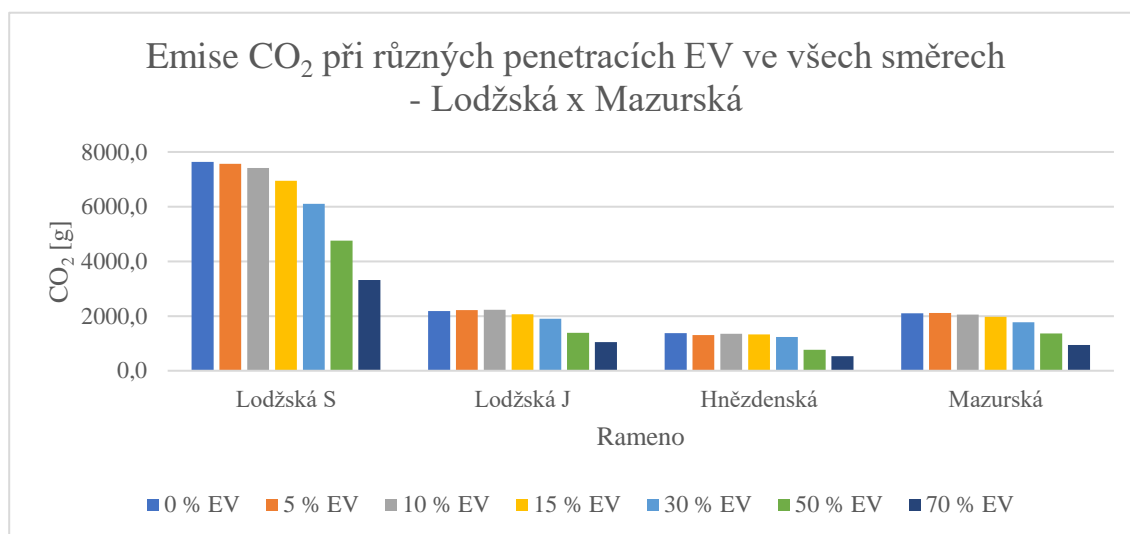
Dále je vyhodnoceno časové zpoždění při různých penetracích ve všech směrech pro konkrétní signální skupiny. Označení signálních skupin v Graf 5 s písmenem p značí řízení s preferencí EV, označení bez p značí řízení bez preference EV.



Graf 5 - Časové zpoždění EV při různých penetracích EV ve všech směrech pro konkrétní sig. sk. - Lodžská x Mazurská

Zavedení preference EV se jeví být efektivní u signálních skupin VA a VC. Časové zpoždění EV při zavedení jejich preference u ostatních signální skupiny spíše vzrostlo. Při vyšších penetracích EV při dynamickém řízení s preferencí EV narůstá úměrně i délka zpoždění. Při dynamickém řízení bez preference je časové zpoždění poměrně proměnlivé. Při penetracích EV do 15 % se téměř nemění, poté až do penetrace 30 % narůstá a následně opět klesá. Časové zpoždění při dynamickém řízení s preferencí oproti řízení bez preference je tedy nižší do 15 % podílu EV, následně stagnuje a od 30 % nabývá vyšších hodnot než řízení bez preference.

Dalším vyhodnocovaným parametrem je výše emisí CO₂.

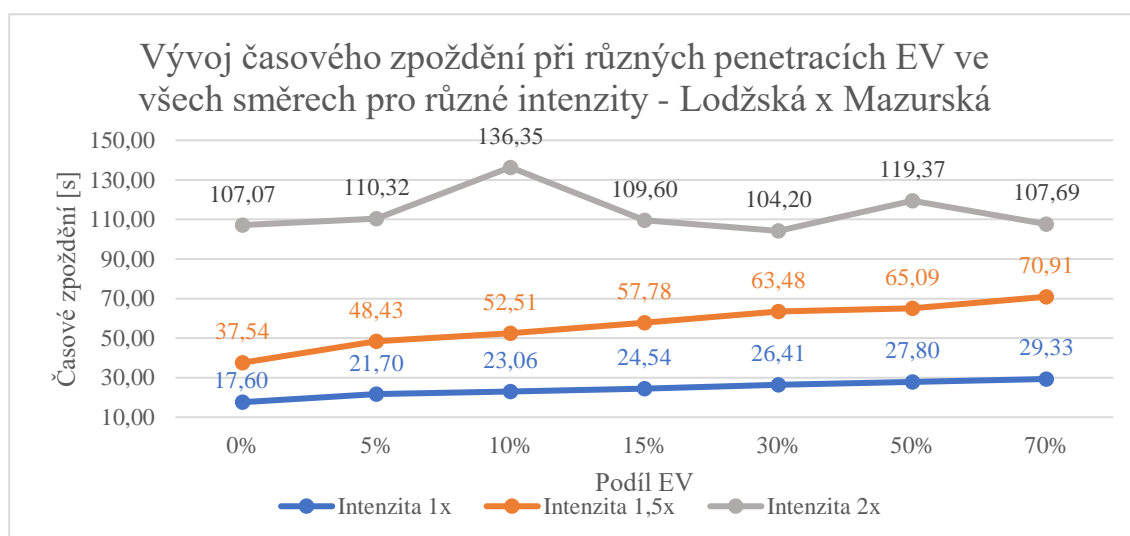


Graf 6 - Emise CO₂ při různých penetracích EV ve všech směrech - Lodžská x Mazurská

Graf 6 potvrzuje předpoklad, kterým je snižování lokálních emisí CO₂ úměrně ke zvyšování podílu EV. Při podílu 70 % EV lze na severním rameni Lodžská, kde je zlepšení nejvýraznější, dosáhnout snížení více než 4 kg emisí CO₂. U ostatních ramen se snížení při tomto poměru EV pohybují cca 1 kg emisí CO₂.

Výše emisí bude i pro jiné scénáře vycházet vždy závisle k poměru intenzit EV na konkrétním rameni, tzn. zvyšováním poměru EV klesá gramáž emisí CO₂. Z toho důvodu není nutné provádět vyhodnocení pro zbylé scénáře křižovatky Lodžská x Mazurská.

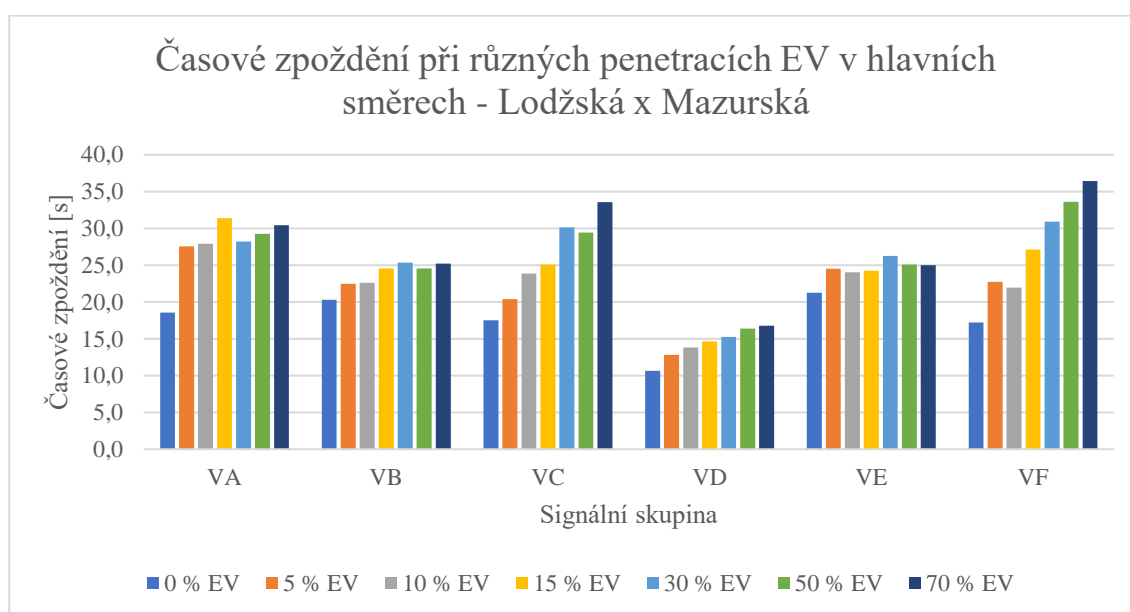
Dále je provedena analýza vývoje časového zpoždění v závislosti na zvýšení intenzit dopravy.



Graf 7 - Vývoj časového zpoždění při různých penetracích EV ve všech směrech pro různé intenzity - Lodžská x Mazurská

Graf 7 zobrazuje vývoj časového zpoždění při naměřených intenzitách ku intenzitám 1,5 a 2 x větším. Z grafu lze pozorovat, že zvýšením intenzit 1,5 x, se zpoždění zvýší více než dvojnásobně, nicméně průběh zůstává stejný, tedy takový, že časové zpoždění se zvyšuje úměrně navýšení poměru EV. Při těchto intenzitách kvalita dopravy dle [18] není ideální, avšak k nestabilnímu stavu dochází až při 70% podílu EV. Při zdvojnásobení intenzit je však situace poměrně odlišná. Průběh vývoje časového zpoždění velmi kolísá. K největšímu výkyvu dochází při 10% podílu EV, kdy časové zpoždění vzrostlo oproti nulovému podílu EV o téměř 30 s, avšak následně klesá. Zmíněné kolísání je pravděpodobně způsobené tím, že se některá vozidla do simulace nestačí načíst a tím pádem se za celé vyhodnocení generuje z méně vozidel, tzn. není možné tyto výsledky považovat za relevantní. Při těchto intenzitách je navíc kompletně překročena kapacita křižovatky již při dynamickém řízení bez EV.

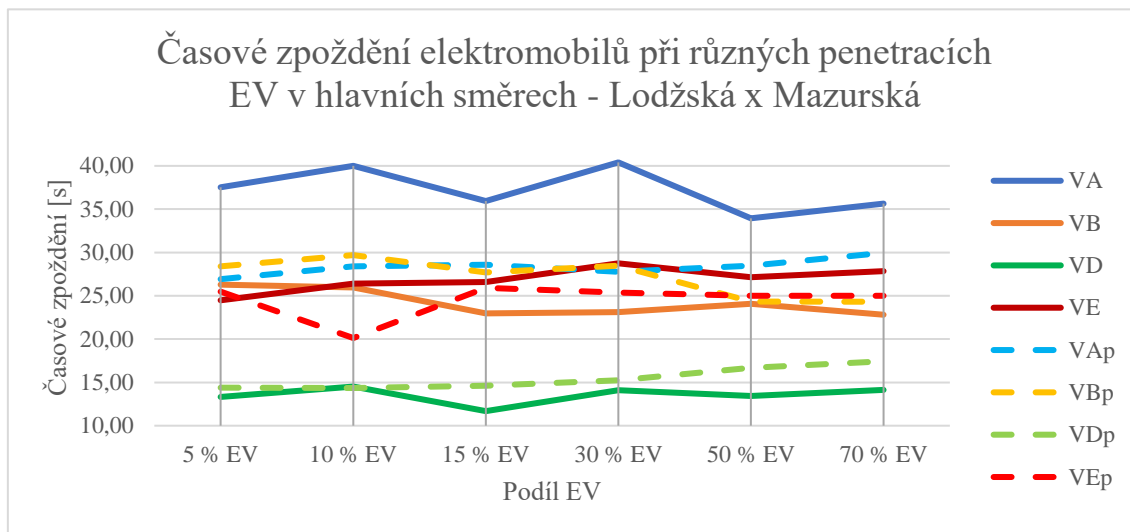
Scénář 3: Dynamické řízení s různými penetracemi EV v hlavních směrech



Graf 8 - Časové zpoždění při různých penetracích EV v hlavních směrech - Lodžská x Mazurská

Při scénáři preference s různými penetracemi EV v hlavních směrech dle Graf 8 se při vyšších penetracích zvyšuje časové zpoždění především u vedlejších směrů. Nejvyšších hodnot nabývá signální skupina VF. Časové zpoždění ostatních signálních skupin také narůstá, především do 15% podílu EV, avšak u vyšších podílů intenzit EV je nárůst zmírněn.

Dále proběhlo porovnání vývoje časového zpoždění EV při různých penetracích EV v hlavních směrech při dynamickém řízení s a bez preference EV na jednotlivých signálních skupinách.

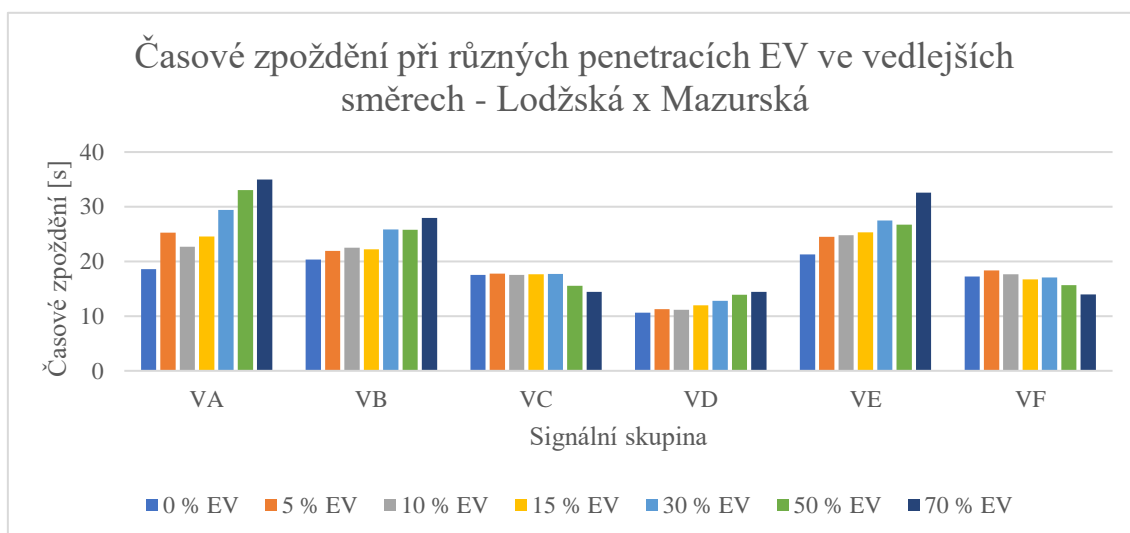


Graf 9 - Časové zpoždění elektromobilů při různých penetracích EV v hlavních směrech - Lodžská x Mazurská

Z Graf 9 je patrné, že při preferenci (Signální skupiny s příznakem p) dochází ke snížení časového zpoždění elektromobilů u signálních skupin VA a VE. U ostatních skupin došlo ke zhoršení. Celková efektivita preference EV v tomto případě vychází spíše záporně.

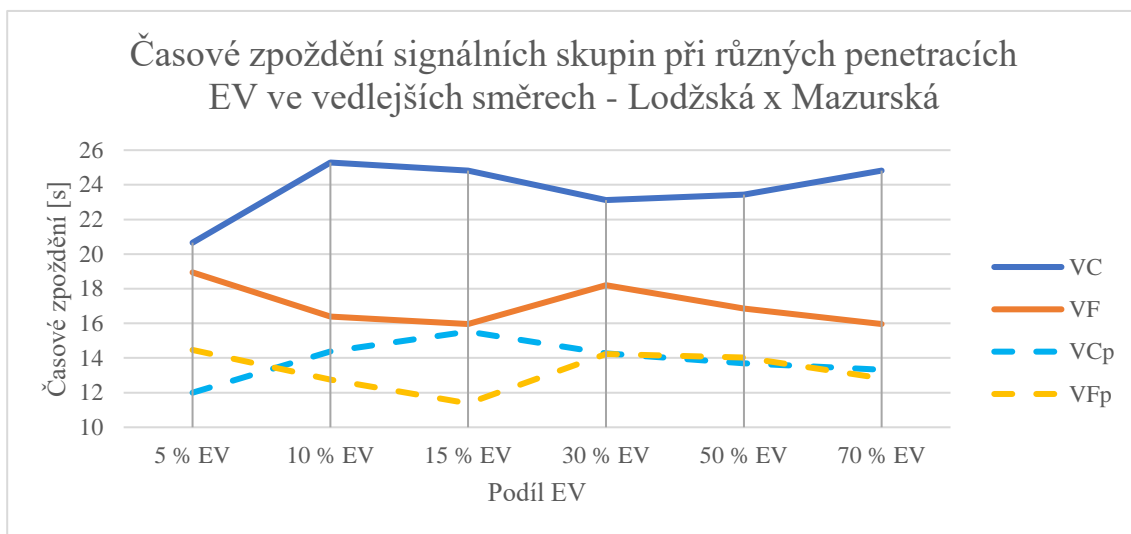
Scénář 4: Dynamické řízení s různými penetracemi EV ve vedlejších směrech

Čtvrtý scénář se zabývá dynamickým řízením s různými penetracemi EV ve vedlejších směrech.



Graf 10 - Časové zpoždění při různých penetracích EV ve vedlejších směrech - Lodžská x Mazurská

Při tomto scénáři vzrůstá časové zpoždění signálních skupin VA, VB, VD a VE úměrně zvyšování podílu EV. Naopak časové zpoždění signálních skupin VC a VF má sestupný trend, především od 30% podílu EV.



Graf 11 - Časové zpoždění signálních skupin při různých penetracích EV ve vedlejších směrech - Lodžská x Mazurská

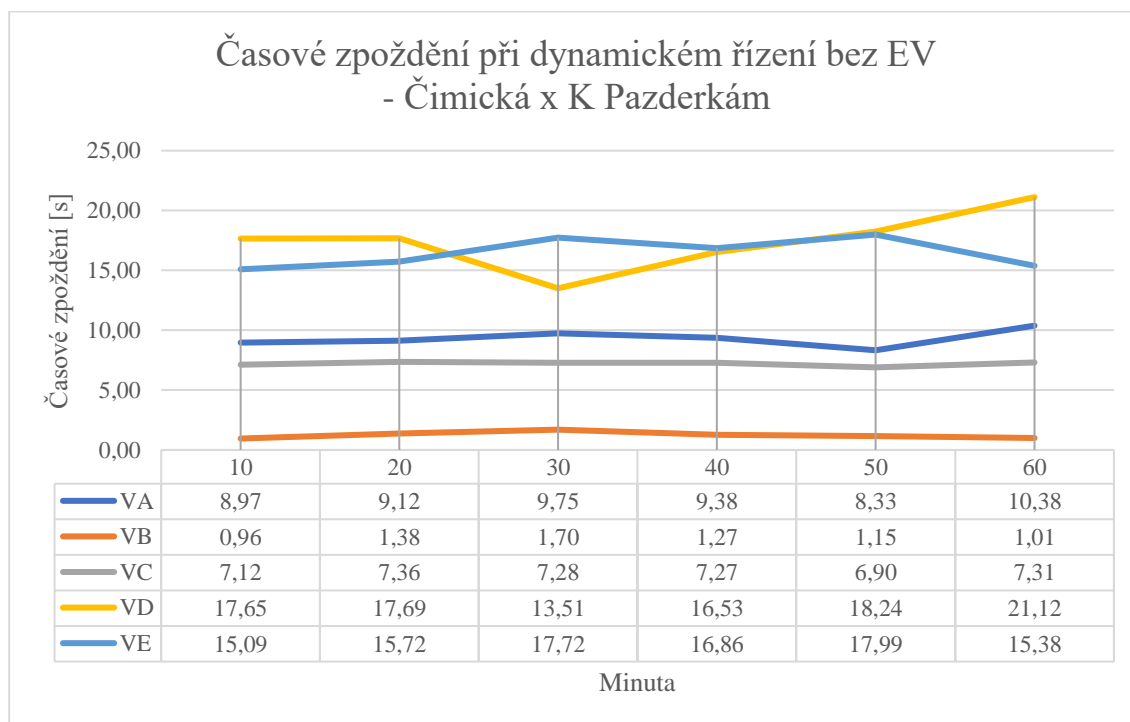
Zavedení preference EV v tomto případě se jeví být efektivní u obou signálních skupin VC a VF. Výraznější efektivity dosahují elektromobily signální skupiny VC. Průběh časového zpoždění při navyšování penetrace EV signálních skupin vedlejších směrů je vůči sobě zrcadlový. Z toho lze vyvodit, že při každém úbytku zpoždění signální skupiny VF naroste o stejný poměr časové zpoždění signální skupiny VC.

5.3.2 Křižovatka Čimická x K Pazderkám

Pro křižovatku Čimická x K Pazderkám byly vytvořeny 3 scénáře. První scénář obsahuje dynamické řízení s preferencí EV, přičemž jsou měněny procentuální poměry EV pro všechny směry, vůči osobním automobilům. Třetím scénářem je dynamické řízení s preferencí EV, přičemž jsou měněny procentuální poměry EV vůči osobním automobilům v hlavních směrech (tedy u signálních skupin VB, VC a VE). Poslední, čtvrtý scénář obsahuje dynamické řízení s preferencí EV, přičemž jsou měněny procentuální poměry EV vůči osobním automobilům ve vedlejších směrech (tedy u signálních skupin VA a VD).

Scénář 1: Dynamické řízení s různými penetracemi EV ve všech směrech

Prvním scénářem je dynamické řízení s různými penetracemi EV ve všech směrech. Nejprve je vyhodnoceno časové zpoždění při dynamickém řízení s nulovým podílem EV. Data byla měřena pro délku jedné hodiny v intervalech po 10 minutách.



Graf 12 - Časové zpoždění při dynamickém řízení bez EV – Čimická x K Pazderkám

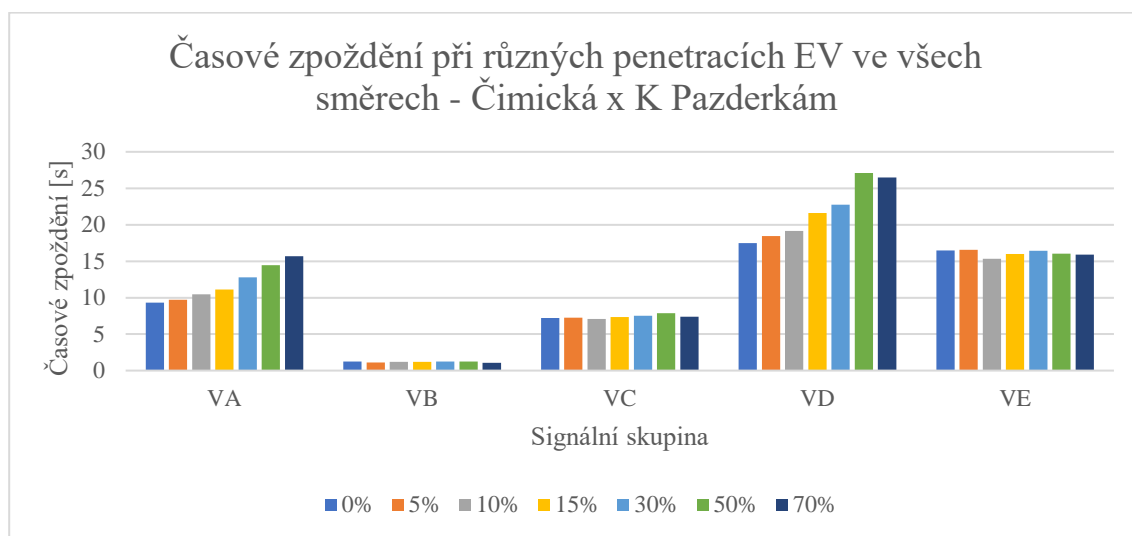
Výsledkem je Graf 12. Z něj lze pozorovat, že průběh časového zpoždění je téměř konstantní, pouze u signální skupiny VD se vyskytují větší výkyvy, konkrétně ve 30. a 60. minutě. Průměrné hodnoty jsou shrnuty do následující Tabulka 13.

Tabulka 13 - Hodnoty časového zpoždění při dynamickém řízení – Čimická x Mazurská

Signální skupina	VA	VB	VC	VD	VE
Časové zpoždění [s]	9,33	1,25	7,21	17,49	16,47

Nejvyšších hodnoty časového zpoždění bylo naměřeno u signální skupiny VD o délce 17,49 s. Nejkratší u signální skupiny VB. Signální skupina VD je spouštěna ve stejné fázi společně se signální skupinou VA. Skupina VA má mnohem vyšší intenzity dopravy než skupina VD a pokud v tomto důsledku nevyklidí skupina VA křižovatku ve společné fázi s VD, je skupina VD zastavena a skupina VA prodloužena přísivcením doplňkové šipky KA>. Pokud mezitím přijede vozidlo na VD, musí počkat na spuštění své fáze v dalším cyklu. Z tohoto důvodu nabývá VD největšího časového zpoždění.

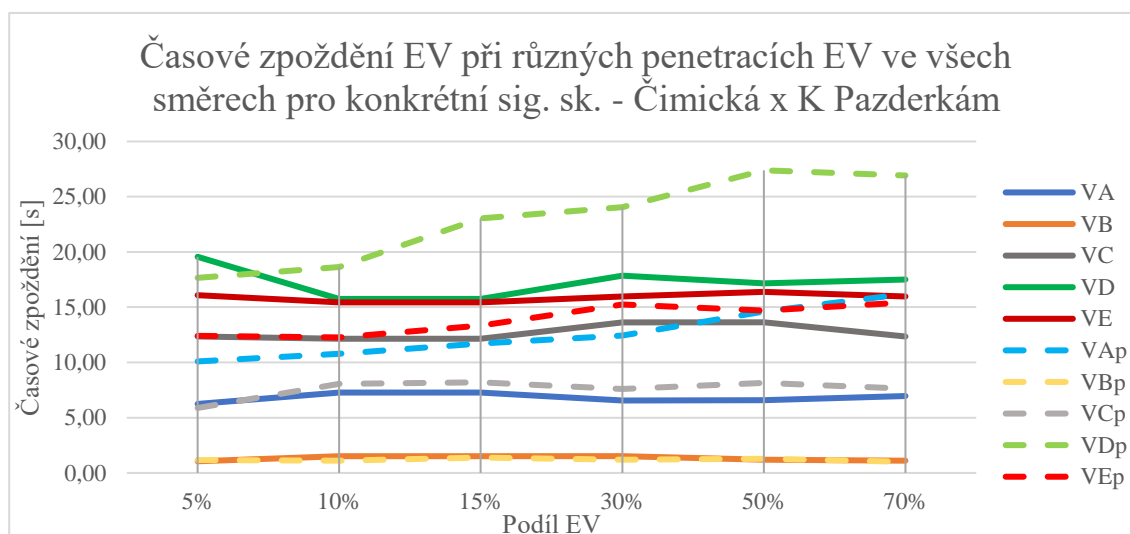
Signální skupina VB leží na samostatném odděleném odbočení a má signál volno v rámci všech fází s výjimkou situací, kdy existuje výzva na přechod PB. Proto je zpoždění na této signální skupině minimální.



Graf 13 - Časové zpoždění při různých penetracích EV ve všech směrech - Čimická x K Pazderkám

Zvyšováním penetrací EV dochází i v případě této křižovatky k nárůstu zpoždění. V tomto případě však narůstá zpoždění pouze u signálních skupin VA a VA. U ostatních signálních skupin dochází ke stagnaci nebo velmi mírnému poklesu. Největší rozdíl časových zpoždění při různých podílech EV vzniká u signální skupiny VD. Zřejmě se jedná o stejný důvod jako je již zmíněno výše.

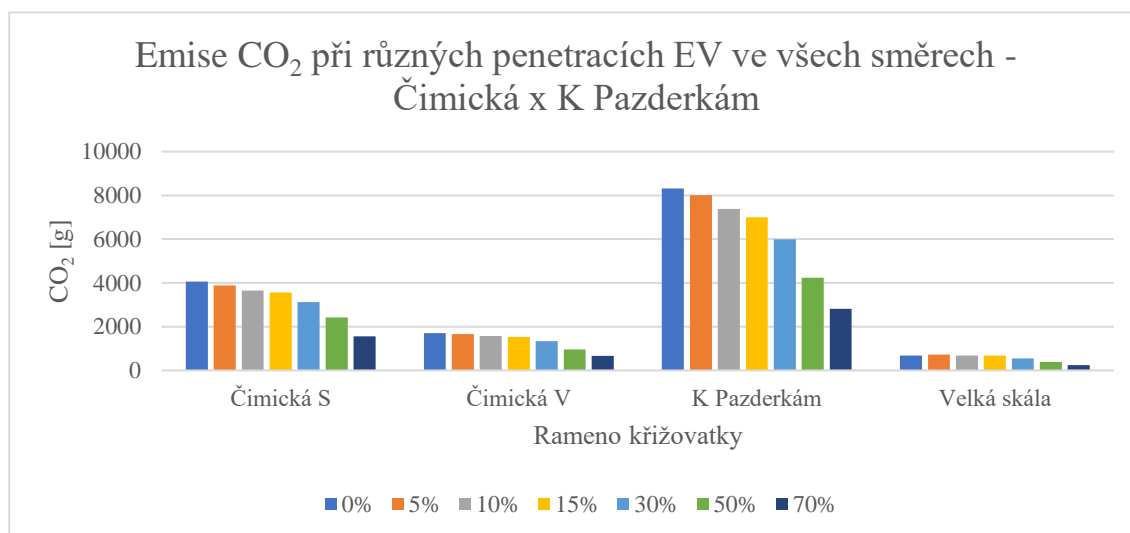
Dále je vyhodnoceno zpoždění EV při různých penetracích EV ve všech směrech pro konkrétní signální skupinu. Označení signálních skupin v Graf 14 s písmenem p značí řízení s preferencí EV, označení bez p značí řízení bez preference EV.



Graf 14 - Časové zpoždění EV při různých penetracích EV ve všech směrech pro konkrétní sig. sk. - Čimická x K Pazderkám

Při zavedení preference EV na křižovatce Čimická x K Pazderkám ve všech směrech, dochází ke zefektivnění u signálních skupin VB, VC a VE. V případě skupin VA a VD došlo ke zhoršení.

Dále jsou vyhodnoceny emise CO₂.

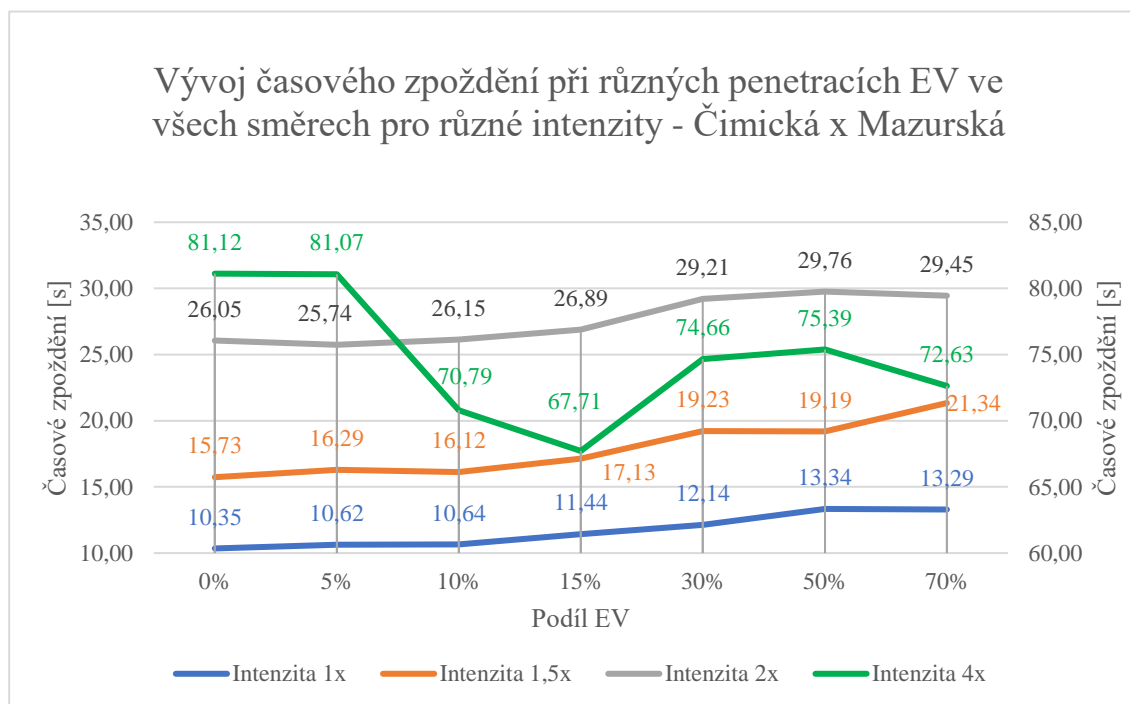


Graf 15 - Emise CO₂ při různých penetracích EV ve všech směrech - Čimická x K Pazderkám

I v tomto případě je potvrzeno snižování lokálních emisí CO₂ úměrně ke zvyšování podílu EV, stejně jako v případě křižovatky Lodžská x Mazurská. Na křižovatce Čimická x K Pazderkám došlo k největšímu zlepšení na rameni K Pazderkám, kde se podařilo snížit emise CO₂ o téměř 5 kg. Nejmenší zlepšení bylo zaznamenáno na rameni Velká skála.

Ani v tomto případě není dále nutné provádět vyhodnocení pro zbylé scénáře křižovatky Čimická x K Pazderkám, jelikož bude docházet ke snižování emisí na tom rameni kde dojde ke zvýšení poměru EV úměrně k intenzitám EV.

Následuje analýza vývoje časového zpoždění v závislosti na zvýšení intenzit dopravy.

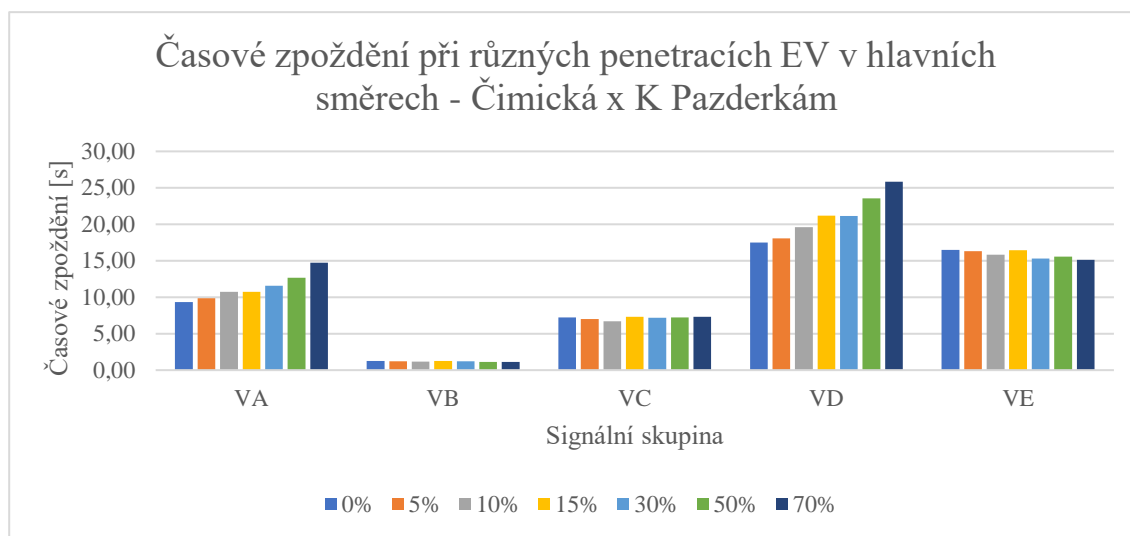


Graf 16 - Vývoj časového zpoždění při různých penetracích EV ve všech směrech pro různé intenzity – Čimická x K Pazderkám

Dle Graf 16 vzrůstá časové zpoždění úměrně intenzitám dopravy. Je patrné, že v případě této křižovatky při zdvojnásobení intenzit došlo k vysokému nárůstu časového zpoždění, přičemž ale stále nedochází k výraznému zhoršení kapacity křižovatky ani při vyšších podílech EV. K velkému rozdílu dochází při zčtyřnásobení původních intenzit. V tomto případě časové zpoždění velmi kolísá a dochází k překročení kapacity křižovatky. Stejně jako v případě křižovatky Lodžská x Mazurská kolísání pravděpodobně způsobené tím, že se některá vozidla do simulace nestačí načíst a tím pádem se celé vyhodnocení generuje z méně vozidel, tzn. není možné ho považovat za relevantní.

Scénář 2: Dynamické řízení s různými penetracemi EV v hlavních směrech

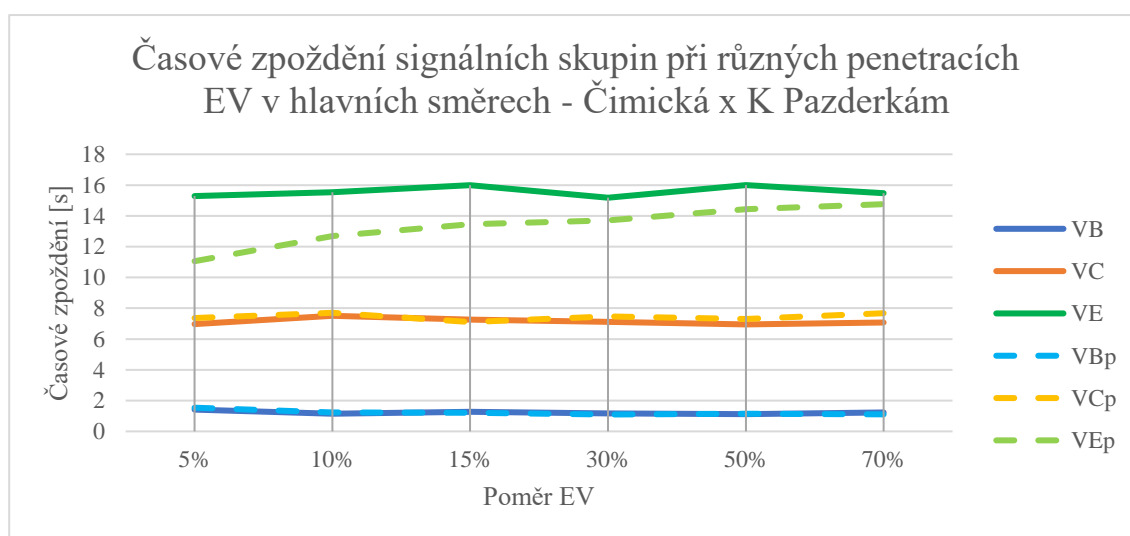
Druhý scénář se zabývá dynamickým řízením s různými penetracemi EV v hlavních směrech.



Graf 17 - Časové zpoždění při různých penetracích EV v hlavních směrech - Čimická x K Pazderkám

V tomto scénáři došlo k vysokému nárůstu časového zpoždění u signální skupiny VD, viz Graf 17. Časové zpoždění ve vedlejších směrech tzn. u signálních skupin VA a VE, narůstá úměrně zvyšování podílu EV. Naopak při zvyšování poměru EV u signálních skupin VB, VC a VE, tedy v hlavních směrech, dochází dokonce k mírnému poklesu časového zpoždění až do 15% podílu EV, dále hodnoty časového zpoždění spíše stagnují.

Následujícím vyhodnocením je analýza časového zpoždění signálních skupin při různých penetracích EV v hlavních směrech.

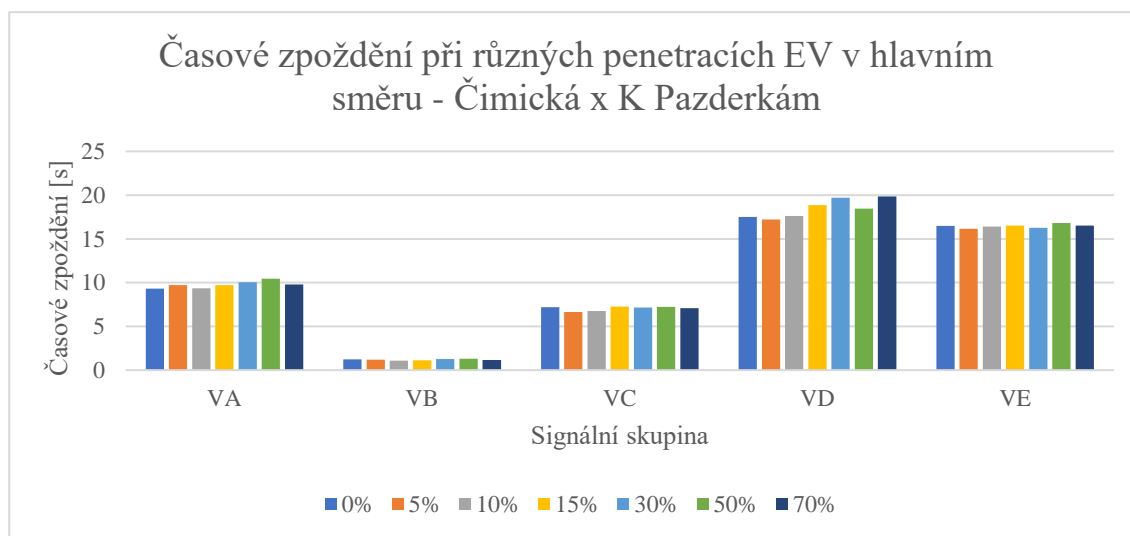


Graf 18 - Časové zpoždění signálních skupin při různých penetracích EV v hlavních směrech - Čimická x K Pazderkám

Dle Graf 18 je patrné snížení časového zpoždění signální skupiny VE při zavedení preference EV v hlavních směrech (Signální skupiny s příznakem p). U ostatních signálních skupin VB a VC nedochází k výraznému rozdílu mezi řízením s nebo bez preference EV. Výsledná efektivita elektromobility má při preferenci pozitivní charakter.

Scénář 3: Dynamické řízení s různými penetracemi EV ve vedlejších směru

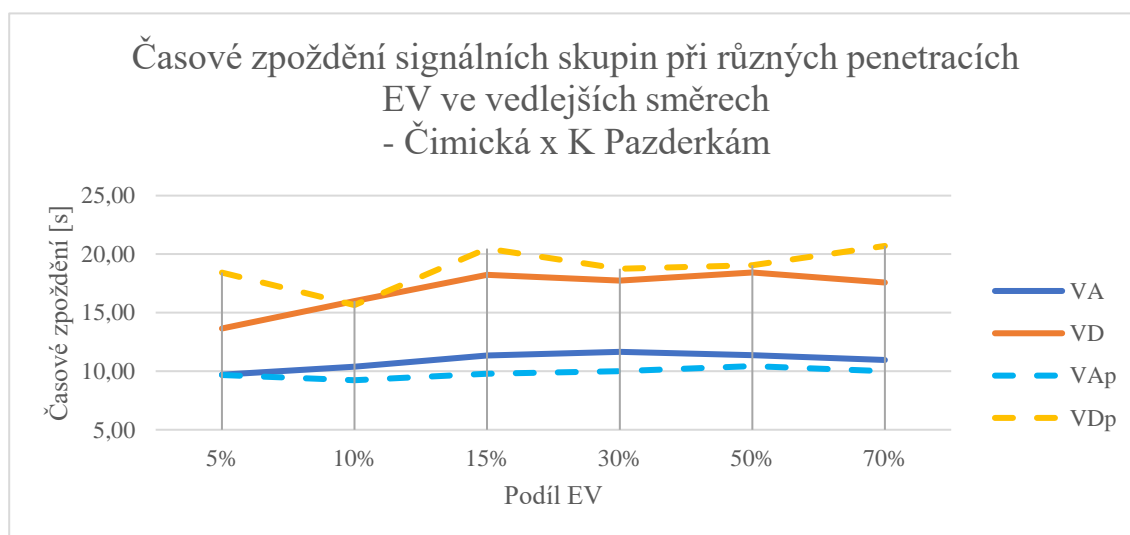
Třetí scénář se zabývá dynamickým řízením s různými penetracemi EV ve vedlejších směrech.



Graf 19 - Časové zpoždění při různých penetracích EV v hlavním směru - Čimická x K Pazderkám

Graf 19 zobrazuje, že při zvyšování preferovaných EV v hlavním směru dochází k mírnému nárůstu časového zpoždění pouze u signální skupiny VD do 30% podílu EV. U ostatních signálních skupin je změna časového zpoždění pro různé podíly EV zanedbatelná.

Dále je vyhodnoceno časové zpoždění při různých penetracích ve všech směrech pro konkrétní signální skupiny. Označení signálních skupin v Graf 20 s písmenem p značí řízení s preferencí EV, označení bez p značí řízení bez preference EV.



Graf 20 - Časové zpoždění signálních skupin při různých penetracích EV ve vedlejších směrech - Čimická x K Pazderkám

Zavedením preference EV patrně zvyšuje efektivitu elektromobilů u signální skupiny VA. Naopak u signální skupiny VD došlo k mírnému zhoršení. Do 10% podílu celkové zpoždění EV dosahuje lepších výsledků při řízení bez preference. Při vyšších podílech EV však efektivitu elektromobilů nenarušuje, ale ani výrazně nenavýšuje ani jeden z těchto dvou typů řízení.

6 Návrh doporučení řešení posuzované lokality

Výsledky práce jsou shrnuty do **doporučení** vztaheným především pro předmětnou lokalitu.

- Návrh preference elektromobilů v této práci je teoretického charakteru a v současné době není známo, že by v České republice existovalo reálné řešení využívající tohoto způsobu řízení na křižovatkách v praxi.
- Výsledky vyhodnocení jsou validní pro konkrétní křižovatky a dá se předpokládat, že navržený způsob preference bude funkční i pro další typově podobné křižovatky. (z pohledu stavebního uspořádání i intenzit dopravy).
- V rámci provedeného hodinového průzkumu všech účastníků dopravy, který byl proveden během ranní špičky na předmětných křižovatkách, nebyl zaznamenán jediný elektromobil. Povrchní analýzou okolí bylo zaznamenáno pouze několik elektromobilů. Lze tedy předpokládat že v současné situaci využívá tyto křižovatky maximálně 1 % elektromobilů. Z tohoto důvodu jsou navržená řešení pouze teoretického charakteru.
- Nejlepších výsledků zavedení preference EV na křižovatce Lodžská x Mazurská je dosaženo při preferenci EV vedlejších směrů. Preference v takovémto režimu má smysl do 30% podílu EV u signálních skupin VA a VB, přičemž se jedná o signální skupiny na nejzatíženějším rameni, a dále do 15% podílu EV u signální skupiny VE. U ostatních signálních skupin je hodnota časového zpoždění vždy lepší než u ostatních zkoumaných scénářů. V případě signálních skupin VC a VF dochází navíc při podílu EV vyšším než 30 % ke zlepšení oproti dynamickému řízení bez preference EV.
- Nejhorších výsledků na křižovatce Lodžská x Mazurská dochází primárně při zavedení preference EV ve všech směrech. Výjimku tvoří pouze signální skupiny vedlejších směru VC a VF. U těchto signálních skupin dosahuje horších výsledků zavedení preference při zavedení preference EV v hlavních směrech. U signální skupiny VC nabývá časové zpoždění při preferenci EV v hlavních směrech podobných výsledků jako při preferenci EV ve všech směrech až do 10% podílu preferovaných EV.
- Nejlepších výsledků zavedení preference EV na křižovatce Čimická x K Pazderkám je dosaženo při preferenci EV vedlejších směrů pro signální skupiny VA a VD, kdy při tomto způsobu řízení nedochází k výraznému navyšování časového zpoždění ani při zvyšování poměru preferovaných EV. U signálních skupin VB a VC dochází ke snížení časového zpoždění při preferenci EV vedlejších směrů a podílu preferovaných EV do 10 %. Pouze u signální skupiny VE dosahuje při tomto způsobu řízení časové zpoždění lepších výsledků do 5% podílu

preferovaných vozidel. Poté dochází ke zlepšení při preferenci EV v hlavních směrech, přičemž při tomto způsobu řízení má časové zpoždění sestupný trend.

- Nejhorších výsledků zavedení preference EV na křižovatce Čimická x K Pazderkám dochází u signálních skupin VA, VC a VD při preferenci EV ve všech směrech. U signálních skupin jsou výsledky časového zpoždění při zavedení preference EV velmi proměnlivé. Odchylka naměřených hodnot časového zpoždění signální skupiny VB se pohybuje řádu desetin sekundy, a proto vůči ostatním signálním skupinám není nutné volit konkrétní způsob preference pro tuto signální skupinu. U signální skupiny VE dosahuje při 5% podílu preferovaných EV nejlepších výsledků řízení s preferencí EV ve vedlejších směrech. Dále až do 15% podílu preferovaných EV dosahuje nejlepších výsledků řízení s preferencí EV všech směrech. Od hodnoty 15 % podílu preferovaných EV Dosahuje nejlepších výsledků řízení s preferencí EV v hlavních směrech.
- Obecně lze říci že z výše uvedených důvodů se patrně jako **nejlepší řešení, při současných intenzitách dopravy na obou předmětných křižovatkách**, jeví zavádět **Dynamické řízení s preferencí EV ve vedlejších směrech**, Jelikož bylo dokázáno, že při tomto způsobu řízení nedochází k významnému narušení plynulosti dopravy v hlavních směrech, přičemž ve vedlejších směrech dochází ke snížení časového zpoždění.
- Analýzou časového zpoždění při navyšování intenzit bylo zjištěno, že **hodnota časového zpoždění je úzce závislá na celkových intenzitách dopravy**.

Konkrétně pro křižovátku Lodžská x Mazurská bylo zjištěno, že při navrženém dynamickém řízení a 0% podílu preferovaných EV je celková kvalita dopravy na křižovatce velmi dobrá. Při zvyšování podílu preferovaných EV časové zpoždění narůstá, ale velmi mírně. Při navýšení intenzit 1,5. násobkem ve všech směrech již dochází k výraznějšímu snižování kapacity křižovatky a při 70% podílu preferovaných EV nastává nestabilní stav. Při navýšení na dvojnásobek původních intenzit již dochází k překročení kapacity křižovatky, a proto zavádění preference pro intenzity nad hranici 1,5násobku původních intenzit není vhodné.

V případě křižovatky Čimická x K Pazderkám je při dynamickém řízení kvalita dopravy na křižovatce velmi dobrá až do 70% podílu preferovaných EV při dvojnásobku původních intenzit. K překročení kapacity křižovatky dochází až při 4násobku původních intenzit. Důsledkem toho lze vyhodnotit, že je možné zavádět preferenci EV až do hranice 4násobku původních intenzit.

- Vyhodnocení emisí CO₂ při řízení s preferencí EV dokazuje, že **úměrně zvyšování podílu preferovaných EV dochází k poklesu lokálních emisí CO₂**. Příkladem je situace, kdy je při zvýšení podílu EV na 70 % snížena lokální emisní zátěž CO₂ až o 5 kg. Preferenci je proto vhodné zavádět tam, kde je snahou lokálně docílit zlepšení ovzduší.

Text výše lze zobecnit do doporučení pro zavádění EV na křižovatkách v českých podmínkách do následujících stěžejních bodů:

- Pro zavádění preference EV je nutné klást důraz především na zvolenou technologii detekce. Při použití systémů V2X, jako v případě této práce, musí být vozidla vybavena palubní jednotkou OBU a infrastruktura jednotkou RSU, aby mohlo docházet k vzájemné komunikaci. Místa přihlášení je nutné umísťovat dostatečně daleko od křižovatky, aby bylo možné křižovatkou plynule projet s minimálním zpožděním. Výhodou systémů V2X je také to, že nemusejí být využity pouze k detekci vozidel ale také ke zjištění směrů jízdy anebo k optimalizaci dojezdové dráhy a ušetření spotřeby energie.
- Dalším důležitým bodem je, že při zavedení preference EV je nezbytné návrh provést tak, aby nedocházelo k narušování preference MHD a překročení úměrné meze kapacity křižovatky, což se odvíjí především od intenzit dopravy a poměru preferovaných EV.
- Vhodný způsob preference EV je prodlužování vlastní fáze, jelikož zvýšením penetrace preferovaných vozidel dojde ke zvýšení plynulosti preferovaných proudů. Ostatní způsoby preference nejsou vhodné. Zkracováním fází dochází ke snižování kapacity křižovatek a vložení fáze na výzvu má smysl jen tehdy, kdy jsou intenzity elektromobilů menší než intenzity autobusů.
- Z výsledků simulace plyne, že pro křižovatky podobného typu jako Lodžská x Mazurská se vyplatí preferovat EV do maximální penetrace 30 % při režimu dynamického řízení s preferencí vedlejších směrů. Toto tvrzení je však při implementaci u jiné než řešené křižovatky vhodné ověřit.
- Pro křižovatky podobného typu jako Čimická x K Pazderkám se vyplatí preferovat EV při režimu dynamického řízení s preferencí EV vedlejších směrů. Při podobných intenzitách jako jsou naměřené u této křižovatky nezáleží na poměru preferovaných EV, nicméně lepších výsledků lze dosáhnout při poměrech do 10 % preferovaných EV. Při implementaci u jiné, než řešené křižovatky je opět toto tvrzení vhodné ověřit.
- Režim dynamického řízení s preferencí EV pro všechny směry se dle výpočtů ze simulace kvůli narůstající době zdržení u všech signálních skupin zavádět nevyplatí.
- Zavedení preference EV má jednoznačně pozitivní vliv na snížení lokálních emisí z dopravy, přičemž se výše ušetřených emisí odvíjí od intenzit elektromobilů.

Závěr

Cílem práce bylo navržení a ověření dopadů při zavedení preference elektromobilů na vybraných křižovatkách.

Vybrány byly 2 křižovatky v Praze 8, konkrétně se jedná o křižovatku Lodžská x Mazurská a o křižovatku Čimická x K Pazderkám. První z křižovatek – Lodžská x Mazurská byla již zpracována v bakalářské práci z [1], kde pro ni bylo navrženo řízení pevným signálním plánem. Tato diplomová práce ze zmíněné bakalářské práce vychází a rozšiřuje ji o návrh dynamického řízení včetně vlastního návrhu logiky řízení, která je navržena tak aby preferovala vozidlo MHD způsobem prodlužování vlastní fáze pro všechny signální skupiny, kterými linky MHD prochází a dále zkracováním vlastní fáze pro MHD signální skupiny na severním rameni Lodžská. Druhá křižovatka – Čimická x K Pazderkám již v reálném provozu dynamické řízení využívá a k dalšímu zpracování v této práci bylo použito podkladů existujícího dopravního řešení.

V rámci této práce bylo dynamické řízení obou křižovatek rozšířeno o dynamické řízení s preferencí EV prodlužováním vlastní fáze současně při preferenčním prodlužování fáze ze strany autobusů za účelem zvýšení penetrace preferovaných vozidel a zvýšení plynulosti preferovaných dopravních proudů. Pro detekci elektromobilů byly zvoleny systémy V2X, díky kterým lze kromě samotné detekce zjistit i další parametry jako je například směr jízdy vozidla.

Navržený model byl ověřen pomocí simulace několika různých scénářů v prostředí Aimsun Next. Pro nastavení řízení v prostředí Aimsun Next byl pro signální plán podle řídicího algoritmu vytvořen kód v jazyce Python a následně implementován využitím modulu Aimsun API.

Pro obě křižovatky byly vytvořeny vždy 3 simulované scénáře. Prvním společným scénářem byl zjišťován vývoj časového zpoždění při dynamickém řízení při různých penetracích EV ve všech směrech. V druhém společném scénáři jsou porovnávány hodnoty časového zpoždění při různých poměrech EV v hlavních směrech a ve třetím scénáři jsou porovnávány hodnoty časového zpoždění při různých poměrech EV ve vedlejších směrech. Pro křižovatku Lodžská x Mazurská byl navíc vytvořen scénář, který potvrzuje efektivitu zavedení dynamického řízení oproti pevnému.

V rámci simulací byly vyhodnocovány a mezi scénáři porovnávány hodnoty časového zpoždění a také hodnoty lokálních emisí CO₂. Výsledky simulací byly shrnuty do obecných doporučení pro vybranou lokalitu uvedených výše v kapitole 6.

Obecně lze konstatovat, že zavedení preference EV v některých případech opravdu vede ke snížení zdržení na křižovatkách, přičemž je ji vhodnější zavádět spíše pro méně zatížené směry, jelikož při zvyšování intenzit roste i časové zpoždění. Dále bylo dokázáno, že velmi záleží na podílu preferovaných

EV, jelikož důsledkem zvyšování podílu EV dochází k častějšímu prodlužování do maxima v každé fázi a tím dynamické řízení ztrácí efektivitu.

Přesto, že v současné době elektromobily stále tvoří jen malé procento oproti ostatním vozidlům, alternativní druhy pohonů si získávají stále větší popularitu. Do budoucna je proto vhodné dále zkoumat způsoby pro vyšší efektivitu tohoto druhu dopravy, k čemuž je tento dokument vhodným podkladem.

Seznam použité literatury

- [1] GURKOVÁ H.: Návrh světelně řízené křižovatky Lodžská – Mazurská v Praze, Bakalářská práce, České vysoké učení technické v Praze, Fakulta dopravní, Praha 2019
- [2] TSK a.s., - Dopravní řešení SSZ – Obnova technologie SSZ 8.273 Čimická – K Pazderkám, 11/2019
- [3] MARTOLOS, Jan. TP 81: Navrhování světelných signalizačních zařízení pro řízení provozu na pozemních komunikacích. 3. vyd. Praha: Ministerstvo dopravy, 2015. ISBN 80-86502-30-9.
- [4] HAVLENA O., NOVOTNÝ O.: Katalog preferenčních opatření pro veřejnou hromadnou dopravu, 2016
- [5] GRÖGER, Oliver, Hubert A. GASTEIGER a Jens-Peter SUCHSLAND. *Review — Electromobility: Batteries or Fuel Cells?*. Journal of The Electrochemical Society [online]. 2015, 162(14), A2605-A2622 [cit. 2022-03-18]. ISSN 0013-4651. Dostupné z: doi:10.1149/2.0211514jes
- [6] Pietrzak, K., & Pietrzak, O. (2020). *Environmental effects of electromobility in a sustainable urban public transport*. Sustainability, 12(3), 1052. doi:http://dx.doi.org/10.3390/su12031052
- [7] HOARAU, Quentin a Yannick PEREZ. *Network tariff design with prosumers and electromobility: Who wins, who loses?*. Energy Economics [online]. 2019, 83, 26-39 [cit. 2022-03-21]. ISSN 01409883. Dostupné z: doi:10.1016/j.eneco.2019.05.009
- [8] WANG, Xuyu, Shiwen MAO a Michelle X. GONG. An Overview of 3GPP Cellular Vehicle-to-Everything Standards. *GetMobile: Mobile Computing and Communications* [online]. 2017, 21(3), 19-25 [cit. 2022-04-03]. ISSN 2375-0529. Dostupné z: doi:10.1145/3161587.3161593
- [9] XU, Biao, Xuegang Jeff BAN, Yougang BIAN, Jianqiang WANG a Keqiang LI. *V2I based cooperation between traffic signal and approaching automated vehicles*. In: 2017 IEEE Intelligent Vehicles Symposium (IV) [online]. IEEE, 2017, 2017, s. 1658-1664 [cit. 2022-04-03]. ISBN 978-1-5090-4804-5. Dostupné z: doi:10.1109/IVS.2017.7995947
- [10] FERREIRA, Michel a Pedro M. D'OREY. *On the Impact of Virtual Traffic Lights on Carbon Emissions Mitigation*. IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems [online]. 2012, 13(1), 284-295 [cit. 2022-04-03]. ISSN 1524-9050. Dostupné z: doi:10.1109/TITS.2011.2169791
- [11] WU, Xinkai, Xiaozheng HE, Guizhen YU, Arek HARMANDAYAN a Yunpeng WANG. *Energy-Optimal Speed Control for Electric Vehicles on Signalized Arterials*. IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems [online]. 2015, 16(5), 2786-2796 [cit. 2022-04-10]. ISSN 1524-9050. Dostupné z: doi:10.1109/TITS.2015.2422778
- [12] OICT, a. s. *Smart Prague Index – Ročenka 2020* [online]. 2020 [cit. 2022-03-20]. Dostupné z: https://smartprague.eu/files/2020/SPI_ROCENKA_2020_el_verze%20CZ_NEW.pdf
- [13] MINISTERSTVO DOPRAVY. *Ročenka dopravy 2020* [Online]. 2020 [cit. 2022-03-26]. Dostupné z: https://www.sydos.cz/cs/rocenka-2020/rocenka/htm_cz/index.html
- [14] SVORC, David, Tomas TICHY a Miroslav RUZICKA. *Detection of the electric vehicle using thermal characteristics*. In: 2020 Smart City Symposium Prague (SCSP) [online]. IEEE, 2020, 2020, s. 1-5 [cit. 2022-04-23]. ISBN 978-1-7281-6821-0. Dostupné z: doi:10.1109/SCSP49987.2020.9133981

- [15] LI, Ming, Xinkai WU, Xiaozheng HE, Guizhen YU a Yunpeng WANG. *An eco-driving system for electric vehicles with signal control under V2X environment*. Transportation Research Part C: Emerging Technologies [online]. 2018, **93**, 335-350 [cit. 2022-04-10]. ISSN 0968090X. Dostupné z: doi:10.1016/j.trc.2018.06.002
- [16] Dopravní nehody v ČR [<https://nehody.cdv.cz/>]. [cit. 2022-03-24].
- [17] BARTOŠ, L. TP 189: Stanovení intenzit dopravy na pozemních komunikacích. 3. vyd. Plzeň: EDIP, 2018
- [18] BARTOŠ, L. TP 188: Posuzování kapacity křižovatek a úseků pozemních komunikací. 3. vyd. Plzeň: EDIP, 2018
- [19] Aimsun Next 22.0: User Manual

Seznam použitých zkratk

BP	Bakalářská práce
DP	Diplomová práce
SSZ	Světelné signalizační zařízení
ČR	Česká republika
TP	Technické podmínky
MHD	Městská hromadná doprava
EV	Elektrické vozidlo
VMS	„Variable message system“ – Proměnné dopravní značení
VTL	„Virtual Traffic Light“ – Virtuální světelné řízení
V2X	„Vehicle to everything“ – Kooperativní systémy
V2V	„Vehicle to vehicle“ - V2X komunikace mezi vozidly
GNSS	„Global Navigation Satellite System“ - Globální družicový polohový systém
OBU	„On-board unit“ – Vozidlová palubní jednotka
RSU	„Road-side unit“ - jednotka na straně infrastruktury
EU	Evropsá Unie
F	Fáze
FP	Fázový přechod
ÚKD	Úroveň kvality dopravy
API	„Application Programming Interface“ – rozhraní pro programování aplikací

Seznam obrázků

Obrázek 1 - Typy V2X systémů [8]	13
Obrázek 2 - Pentlogram ranní špičky na křižovatce Lodžská x Mazurská [zdroj: vlastní]	18
Obrázek 3 - Pentlogram ranní špičky na křižovatce Čimická x K Pazderkám [zdroj: vlastní]	19
Obrázek 4 - Situační výkres křižovatky Lodžská x Mazurská [1]	21
Obrázek 5 - Fázové schéma pevného řízení - Lodžská x Mazurská [1]	22
Obrázek 6 - Sled fází při dynamickém řízení - Lodžská x Mazurská [Zdroj: vlastní]	23
Obrázek 7 – Algoritmus fáze 1 dynamického řízení - Lodžská x Mazurská [zdroj: vlastní]	27
Obrázek 8 - Algoritmus fáze 2 dynamického řízení - Lodžská x Mazurská [zdroj: vlastní]	28
Obrázek 9 - Algoritmus fáze 3 dynamického řízení - Lodžská x Mazurská [zdroj: vlastní]	29
Obrázek 10 – Situační výkres křižovatky Čimická x K Pazderkám [2]	31
Obrázek 11 - Fázové schéma [2]	33
Obrázek 12 - Sled fází [2]	33
Obrázek 13 - Ukázka použití logické podmínky prodloužení fáze při preferenci EV [zdroj: vlastní]	37
Obrázek 14 - Architektura komunikace Aimsun s API [23]	39

Seznam Tabulek

Tabulka 1 - Posouzení kapacity vjezdů - Lodžská x Mazurská	22
Tabulka 2 - Označení vozidlových detektorů – Lodžská x Mazurská	23
Tabulka 3 - Umístění detektorů vozidel MHD – Lodžská x Mazurská	24
Tabulka 4 – Parametry délek – Lodžská x Mazurská	26
Tabulka 5 - Logické podmínky - Lodžská x Mazurská.....	26
Tabulka 6 - Umístění detektorů vozidel MHD – Čimická x K Pazderkám.....	32
Tabulka 7 - Označení V2X detektorů pro detekci elektromobilů – Lodžská x Mazurská	36
Tabulka 8 - Logické podmínky pro preferenci elektromobilů – Lodžská x Mazurská	36
Tabulka 9 - Označení V2X detektorů pro detekci elektromobilů – Čimická x K Pazderkám	37
Tabulka 10 - Logické podmínky pro preferenci elektromobilů – Čimická x K Pazderkám	37
Tabulka 11 - Hodnoty časového zpoždění při dynamickém řízení - Lodžská x Mazurská.....	43
Tabulka 12 - Průměrné časové zpoždění při různých penetracích EV pro celou křižovatku – Lodžská x Mazurská.....	45
Tabulka 13 - Hodnoty časového zpoždění při dynamickém řízení – Čimická x Mazurská.....	51

Seznam Grafů

Graf 1 - Vývoj počtu EV registrovaných v Praze [12].....	14
Graf 2 - Časové zpoždění při dynamickém řízení bez EV - Lodžská x Mazurská.....	43
Graf 3 – Porovnání časového zpoždění při pevném a dynamickém řízení - Lodžská x Mazurská.....	44
Graf 4 - Časové zpoždění při různých penetracích EV ve všech směrech - Lodžská x Mazurská	45
Graf 5 - Časové zpoždění EV při různých penetracích EV ve všech směrech pro konkrétní sig. sk. - Lodžská x Mazurská	46
Graf 6 - Časové zpoždění EV při různých penetracích EV ve všech směrech - Lodžská x Mazurská	Chyba! Záložka není definována.
Graf 7 - Emise CO ₂ při různých penetracích EV ve všech směrech- Lodžská x Mazurská.....	47
Graf 8 - Vývoj časového zpoždění při různých penetracích EV ve všech směrech pro různé intenzity - Lodžská x Mazurská	47
Graf 9 - Časové zpoždění při různých penetracích EV v hlavních směrech - Lodžská x Mazurská	48
Graf 10 - Časové zpoždění elektromobilů při různých penetracích EV v hlavních směrech – Lodžská x Mazurská.....	49
Graf 11 - Časové zpoždění při různých penetracích EV ve vedlejších směrech - Lodžská x Mazurská	49
Graf 12 - Časové zpoždění signálních skupin při různých penetracích EV ve vedlejších směrech - Lodžská x Mazurská	50
Graf 13 - Časové zpoždění při dynamickém řízení bez EV – Čimická x K Pazderkám	51
Graf 14 - Časové zpoždění při různých penetracích EV ve všech směrech - Čimická x K Pazderkám	52
Graf 15 - Časové zpoždění EV při různých penetracích EV ve všech směrech pro konkrétní sig. sk. - Čimická x K Pazderkám	53
Graf 16 - Emise CO ₂ při různých penetracích EV ve všech směrech - Čimická x K Pazderkám.....	53
Graf 17 - Vývoj časového zpoždění při různých penetracích EV ve všech směrech pro různé intenzity – Čimická x K Pazderkám.....	54
Graf 18 - Časové zpoždění při různých penetracích EV v hlavních směrech - Čimická x K Pazderkám	55
Graf 19 - Časové zpoždění signálních skupin při různých penetracích EV v hlavních směrech – Čimická x K Pazderkám.....	55
Graf 20 - Časové zpoždění při různých penetracích EV v hlavním směru - Čimická x K Pazderkám.	57
Graf 21 - Časové zpoždění signálních skupin při různých penetracích EV ve vedlejších směrech - Čimická x K Pazderkám	57

Seznam příloh

- Příloha 1: Kód řízení v jazyce python pro křižovatku Lodžská x Mazurská
- Příloha 2: Kód řízení v jazyce python pro křižovatku Čimická x K Pazderkám
- Příloha 3: Ukázka dynamického řízení s preferencí EV při podílu 70 % EV v hlavních směrech na křižovatce Lodžská x Mazurská