

**ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE**

Fakulta dopravní

Ústav dopravní telematiky



**Dynamická obsluha oblasti veřejnou hromadnou dopravou**

Disertační práce

Praha únor 2021

Patrik Horažďovský

---

**Autor práce:** Ing. Patrik Horažďovský  
**Studijní program:** Inženýrská informatika  
**Studijní obor:** Inženýrská informatika v dopravě a spojích  
**Kontakt:** Fakulta dopravní  
Ústav dopravní telematiky  
České vysoké učení technické v Praze  
Konviktská 20  
110 00 Praha 1  
**Emailová adresa:** horazpat@fd.cvut.cz

**Školitel** prof. Dr. Ing. Miroslav Svítek, dr. h. c.  
**Kontakt:** Fakulta dopravní  
Ústav dopravní telematiky  
České vysoké učení technické v Praze  
Konviktská 20  
110 00 Praha 1

## Čestné prohlášení

Prohlašuji, že předložená disertační práce je původní a zpracoval jsem ji samostatně. Prohlašuji, že citace použitých pramenů je úplná, že jsem ve své práci neporušil autorská práva a nemám závažný důvod proti užívání tohoto školní díla (ve smyslu Zákona č. 121/2000 Sb., o právu autorském a o právech souvisejících s právem autorským).

V Praze dne 25.2. 2021

.....  
Ing. Patrik Horažďovský

## Poděkování

Na tomto místě bych rád velmi poděkoval všem zúčastněným při tvorbě této disertační práce, hlavně své rodině a nejbližším, kteří mě po celou dobu podporovali a pomáhali mi i morálně tuto práci tvořit. Tato podpora se vztahovala i k průběhu celého studia, o to větší a významnější je proto mé poděkování.

Dále bych chtěl velmi poděkovat školiteli prof. Dr. Ing. Miroslavu Svítkovi, Dr. h. c za jeho ochotné vedení a podporu spolu s důležitými radami, které byly do práce zakomponovány a to v průběhu celé tvorby této disertační práce.

Jistě nesmím svým poděkováním zapomenout také na své kolegy na ústavu K620 i K612 Fakulty dopravní, za jejich ochotnou podporu, rady a předání velmi důležitých zkušeností.

Do poděkování bych také rád zahrnul kolegy z organizace ROPID a IDSK, kterým bych rád velmi poděkoval a vyjádřil vděčnost za důležité rady a předání zkušeností z reálného provozu a fungování integrovaných dopravních systémů.

## Abstrakt

Současný trend stěhování obyvatelstva do měst a jejich okolí s sebou přináší výraznou potřebu na mobilitu obyvatel. Veřejná hromadná doprava je velmi dobrý nástroj pro převoz těchto cestujících vzhledem k ekologickému hledisku, ale také vzhledem k obsazenosti měst individuální automobilovou dopravou. Integrované dopravní systémy výrazně pomohly v této otázce, přesto existují oblasti, kdy i tyto systémy veřejné dopravy selhávají a nedokážou adekvátně a atraktivně oblasti obsloužit. Jedná se hlavně o oblasti regionální s roztroušenou zástavbou. O způsob, jak tato území efektivněji obsloužit pojednává a řeší tato disertační práce.

Disertační práce přesně popisuje problematické body v obsluze oblasti, rozděluje území a linkové vedení na něm. Logickým rozdělením jsou určeny dynamické postupy obsluhy, které kombinují způsob obsluhy na objednání s dynamickým jízdním řádem. Výsledkem je systém dopravy, který na základě aktuální poptávky a aktuálních parametrů provozu generuje trasu linky a polohu spojů v charakteristické dynamické oblasti v regionu. Je opuštěno od řešení klasické dopravy na zavolání s pevným jízdním řádem, pouze s možností nevypravit spoj v případě chybějící poptávky. V dané oblasti je trasa i poloha spojů proměnná.

Disertační práce přináší nový náhled na dopravní obsluhu a popisuje potřebné úpravy, stanovená pravidla a konkrétní procesy, aby takový systém byl realizovatelný. Vytvoření systému a důkladné stanovení podmínek a parametrů je hlavní náplní práce, podpořenou teoretickou implementací do reálné oblasti pomocí expertních metod hodnocení a také modelovou ukázkou pomocí multiagentních systémů.

Přínosem je vytvoření zcela nového přístupu k obsluze oblastí, který není dosud nikde implementován. Důležitost a význam je podpořen zájmem reálných dopravních systémů o tento způsob řešení. Je tedy možné, že výstup bude relevantním podkladem pro skutečnou realizaci v reálném provozu.

### **Klíčová slova:**

Veřejná hromadná doprava, regionální doprava, integrovaný tarif, dynamická obsluha, Smart City, poslední míle, doprava na zavolání

## Abstract

The current trend of population migration to cities and their surroundings, brings with it a significant need for population mobility. Public transport is a very good tool for transporting these passengers due to the ecological aspect, but also due to the occupancy of cities by individual car transport. Integrated transport systems have significantly helped in this issue, but there are still areas where even these public transport systems fail and are unable to serve these areas adequately and attractively. These are mainly regional areas with scattered buildings. This dissertation discusses and addresses the way to serve these areas by public transport more effectively.

Dissertation work accurately describes the problematic points in the operating area, divides the territory, and line management on it. The logical division determines the dynamic operating procedures, which combine the method of operation to order with a dynamic line timetable. The result is a dynamic transport system which, based on current demand and current traffic parameters, generates the route and the time of connections in a characteristic dynamic area in the region. It is abandoned from the solution of classic requested connection with a fixed timetable, only with the option not to send in case of missing demand. In the given area, the route and the position of the connections are variable.

The dissertation work brings a new perspective on transport service and describes the necessary adjustments, established rules, and specific processes to make the system feasible. Creating system and thorough determination of conditions and parameters is the main scope of work, supported by theoretical implementation in the real environment, using expert evaluation methods and a model demonstration using multiagent systems.

The benefit is the creation of a completely new approach to public transport area operation, which has not yet been implemented anywhere. The importance and significance are supported by the interest of real transport systems in this way of solution. It is therefore possible that the output will be a relevant basis for the implementation in real operation.

### **Keywords:**

Public transport, regional transport, integrated tariff, dynamic public transport, Smart City, Last Mile, requested transport

## Seznam zkratek

Zkratka	Význam zkratky
IAD	Individuální automobilová doprava
Industry 4.0	Čtvrtá průmyslová revoluce
ePaper	Nízkoenergetická zobrazovací jednotka
PID	Pražská integrovaná doprava
VHD	Veřejná hromadná doprava
IAD	Individuální automobilová doprava
IDSK	Integrovaná doprava střečeského kraje
DO	Dopravní obslužnost
ZDO	Základní dopravní obslužnost
ODO	Ostatní dopravní obslužnost
SDO	Standard dopravní obslužnosti
CIS JŘ	Celostátní informační systém – databáze jízdních řádů
MaaS	Mobility as a service
MAS	Multi-agent System
APC	Automatic passenger counting – Automatické počítání cestujících
MaaS	Mobility as a service
OIS	Odbavovací a informační systém
LCD	Liquid crystal display – typ zobrazovacího displeje
XML	Extensible Markup Language – značkovací jazyk

---

## Obsah

Čestné prohlášení .....	3
Poděkování.....	4
Abstrakt.....	5
Abstract .....	6
Seznam zkratk .....	7
Obsah .....	8
1 Cíle disertační práce a úvod do dopravní problematiky .....	11
1.1 Dopravní problematika.....	11
1.2 Udržitelná mobilita.....	12
1.2.1 Integrované dopravní systémy .....	12
1.3 Přístupná a atraktivní veřejná doprava – Smart City a Industry 4.0.....	14
1.3.1 Mobility as a service a sdílená doprava .....	15
1.3.2 Osvěta obyvatelstva .....	15
1.4 Dopravní problematika ve vztahu k disertační práci.....	16
2 Obsluha území veřejnou hromadnou dopravou.....	17
2.1 Dopravní obslužnost a dopravní plánování.....	17
2.1.1 Neintegrovaný model dopravní obslužnosti.....	18
2.1.2 Upravený model dopravní obslužnosti – integrovaný dopravní systém .....	19
2.1.3 Rozdíly a příklady mezi přístupy k dopravní obslužnosti.....	19
2.1.4 Standard dopravní obslužnosti .....	21
2.2 Zdroj dat – manuální průzkumy, systémy automatického počítání.....	22
2.2.1 Automatické počítání cestujících ve vozidlech.....	24
2.2.2 Sledování pohybu mobilních zařízení.....	24
2.3 Vytvářené JŘ.....	25
2.4 Mimořádné situace .....	25
2.5 Současné nové přístupy pro obsluhu oblastí .....	26
2.5.1 Doprava na zavolání.....	27
2.5.2 Zahraniční zkušenosti s poptávkovou dopravou .....	28



---

3	Struktura problematiky a cíle řešené disertační práce .....	29
3.1	Vymezení problematiky a definování problému obsluhy území.....	29
3.1.1	Rozsah dopravní obsluhy .....	30
3.1.2	Způsob provedení dopravní obsluhy regionu.....	30
3.1.3	Jízdní řády .....	32
3.2	Shrnutí problému.....	33
3.3	Struktura cílů disertační práce.....	35
4	Definice dynamického prvku v dopravní obsluze území .....	37
4.1	Náhled na řešení obsluhy dynamickým způsobem .....	38
4.1.1	Statický a dynamický prvek v obsluze území .....	39
4.2	Provozní charakteristika dynamického přístupu .....	46
4.2.1	Charakteristiky a definice linek veřejné hromadné dopravy .....	46
4.2.2	Parametry pro definici linek k zařazení dynamického přístupu .....	47
4.2.2.1	Závleky linek.....	48
4.2.2.2	Křivolakost linky.....	57
4.3	Definice linek pro dynamickou obsluhu oblasti.....	60
4.3.1	Páteřní linky .....	60
4.3.2	Obslužné, návazné regionální linky .....	62
4.3.3	Dynamické linky .....	63
4.3.4	Zasazení definovaných linek do reálného provozu .....	65
4.3.5	Definice a určení dynamické oblasti veřejné hromadné dopravy .....	69
5	Parametrizace dynamického dopravního systému.....	70
5.1	Klíčové prvky systému v rámci dynamické obsluhy území.....	70
5.2	Skupiny ovlivňujících parametrů dynamického dopravního systému .....	73
5.2.1	Shrnutí parametrizace.....	77
6	Procesy a výsledné chování dynamického dopravního systému .....	79
6.1	Procesy dynamického systému .....	81
6.1.1	Poptávka po dynamické přepravě .....	82
6.1.2	Provozní potřeby dopravního systému.....	86

---

---

6.1.3	Mimořádné situace .....	90
6.2	Ohodnocení dopravní obsluhy .....	91
6.3	Definice výsledného fungování dynamické obsluhy .....	94
7	Implementace nové metody dynamické obsluhy území.....	99
7.1	Posouzení Efektivity dynamické obsluhy v reálné oblasti.....	101
7.1.1	Varianty dopravní situace dynamické obsluhy .....	103
7.1.2	Oblast relevantnosti hodnot parametrů (oblast přijatelnosti) .....	108
7.1.3	Shrnutí navrženého přístupu posouzení efektivity a vytvoření adaptivního indikátoru dynamického modelu obsluhy .....	113
7.2	Implementace nové dynamické metody pomocí matematického modelu.....	116
7.2.1	Nástroj pro modelování dynamického dopravního systému .....	116
7.2.2	Zasazení a propojení dynamické obsluhy s agentním modelováním .....	117
7.2.2.1	Typizace agentů a jejich prostředí pro účely dynamické obsluhy.....	118
7.2.3	Model dynamické obsluhy území .....	120
7.2.3.1	Agenty použité v modelu dynamické dopravní obsluhy .....	122
8	Závěr.....	132
A.	Seznam použitých zdrojů .....	136
B.	Seznam tabulek.....	139
C.	Seznam obrázků .....	140
D.	Seznam příloh.....	142

---

# 1 Cíle disertační práce a úvod do dopravní problematiky

Cílem této disertační práce je definování systému dopravní obsluhy veřejnou hromadnou dopravou, která bude respektovat proměnné požadavky cestujících a zároveň bude ekonomicky udržitelná a celkově konkurenceschopná. Obecně lze navrhovanou dopravní obsluhu nazvat obsluhou oblasti pomocí spojů s proměnnou časovou polohou a zároveň proměnnou trasou jednotlivých spojů, a to na základě požadavku cestujícího. Tento přístup není v současnosti nikde v provozu aplikován. Důvody pro zavedení tohoto způsobu dopravní obsluhy vycházejí ze známého problému Poslední míle, kdy tento návrh může napomoci k jeho řešení. Aby bylo možné cílový návrh vhodně definovat a ukotvit, je nutností popsat současné funkční přístupy, definovat jejich nedostatky a na základě těchto znalostí implementovat navrhované řešení disertační práce, které bude podpořeno modelovým příkladem.

Úvod a vysvětlení související dopravní problematiky je shrnut v úvodních kapitolách této disertační práce. Z těchto vysvětlení dále vyplývají cíle disertační práce, které vysvětlenou problematiku pomáhají řešit. Pro splnění cílů budou definovány jednotlivé prvky nového systému spolu s okolím systému, které jsou nezbytné pro jeho fungování. Na základě prvků systému a jeho okolí bude systém podrobně definován a vysvětlen. V dalších částech budou definovány jednotlivé ovlivňující parametry, požadavky a vztahy mezi prvky systému a jednotlivé procesy v systému. Funkčnost systému bude prezentována pomocí teoretické implementace do zvolené oblasti a také pomocí modelového příkladu.

## 1.1 Dopravní problematika

Současným celosvětovým trendem, a dalo by se říct také problémem, je stěhování světové populace do měst, a tedy vyliďňování menších obcí, které nejsou v přímém dosahu těchto měst. Ve spojení s ekonomickou situací, která nedovoluje velké části obyvatelstva pořídit si vlastní bydlení přímo v oblasti města, dochází k efektu, kdy příměstské obce a oblasti začínají být díky zmíněným skutečnostem výrazně více obydlovány. Díky tomu vznikají nové velmi vysoké nároky na dopravu a dopravní obslužnost těchto oblastí, jelikož s takto velkým nárůstem obyvatelstva nebylo v rámci předpokladů rozvoje takto ovlivněných obcí a oblastí počítáno.

Nově vytvořeným požadavkem z takto jednoduše popsané situace vzniká nutnost vytvořit velmi kvalitní příměstskou hromadnou dopravu, obecně kvalitní hromadnou dopravu na území celého kraje. Příměstská doprava jistě není novým druhem veřejné dopravy, pouze v současné době začíná výrazným tempem stoupat její významnost, a proto je nutné tento druh dopravy zdůraznit a využít její potenciál pro dopravní obsluhu obyvatelstva.

Regionální příměstská hromadná doprava má proto velmi důležitý úkol, a to nejen přepravu cestujících v rámci daného regionu, ale také přepravu cestujících z aglomerací velkých měst a přilehlých obcí do centra větší spádové obce. Kvalita, a z toho vycházející atraktivita, této regionální dopravy má poté za následek intenzitu používání, respektive poptávku cestujících po této dopravě. Poptávka po tomto druhu dopravy poté dále ovlivňuje nejen tuto dopravu samotnou, ale rovněž dopravu individuální automobilovou, spolu s dopravní infrastrukturou. Výsledkem jsou velmi časté kongesce a další dopravní excesy na dopravní infrastruktuře, způsobené vysokou intenzitou hlavně individuální dopravy, nemluvě o dalších závažných problémech, jako je například znečišťování životního prostředí, zvýšení hlukové zátěže a podobně. Tyto problémy jsou všeobecně známé, obzvláště významně jsou pozorovatelné na příjezdových komunikacích do větších obytných celků, tedy ve vztahu právě s regionální dopravou. Na základě toho je nutnost veřejnou příměstskou dopravu podporovat a vytvářet ji udržitelnou a konkurenceschopnou.

## **1.2 Udržitelná mobilita**

Popisovaný úkol obsluhy území shrnuje požadavek na aplikaci udržitelné mobility v regionu. Udržitelná mobilita má za úkol na základě ekonomických, sociálních i environmentálních předpokladů řešit dopravní situaci za současných, ale hlavně i budoucích potřeb obyvatelstva. [1] Vývoj dopravy je přímo závislý na udržitelném plánování dopravy. Právě plánování dopravy je základním stavebním kamenem kvalitního dopravního systému hromadné dopravy. Pro splnění podmínek udržitelné mobility ve veřejné hromadné dopravě je vytvoření a zavedení integrovaných dopravních systémů výrazným posunem od tradičního, často nekoordinovaného modelu dopravní obsluhy.

### **1.2.1 Integrované dopravní systémy**

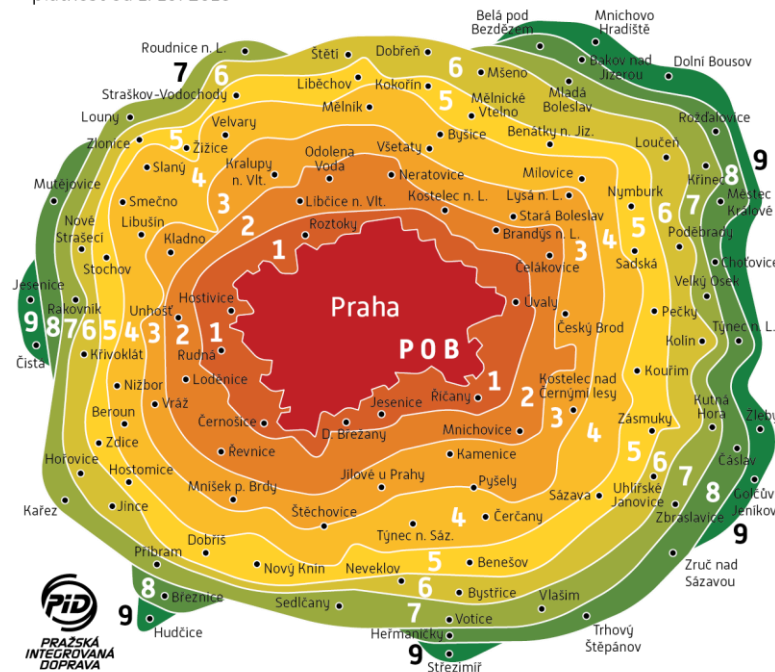
Oproti standardním způsobům obsluhy území veřejnou hromadnou dopravou definují integrované dopravní systémy striktní pravidla provozu, která jsou stejná a vynucovaná pro celý dopravní systém. Na území integrovaného systému jsou definovány standardy kvality pro funkční části celého systému, do kterých může spadat nejen vybavení vozidel, ale také infrastruktury. V rámci integrovaného systému jsou kromě standardů kvality definovány smluvní přepravní podmínky, a hlavně jednotný dopravní tarif.

Dopravní plánování je díky této možnosti využít jednotný systém výrazně jednodušší, linky mohou být vytvářeny se vzájemnými návaznostmi, a to bez ohledu na dopravce jednotlivých linek. Jízdní řády jsou tedy koordinované a linkové vedení i časové polohy jednotlivých spojů jsou vytvářeny logicky a dle předem stanovených pravidel. Jízdní řády mohou být díky tomu vytvořeny intervalově, přehledně a v návaznostech. Kromě výhody možnosti využití více

dopravců, je možné využít také více druhů dopravních módů. I proto je možné využívat také například železniční dopravu v rámci jednoho dopravního systému.

## Zjednodušené schéma tarifních pásem PID

platnost od 1. 10. 2018



Obr. 1: Příklad integrovaného dopravního tarifu, zdroj PID

Ve vztahu k obsluze regionu je proto integrovaný dopravní systém velkou výhodou, jelikož je dosaženo zlepšení dopravní obsluhy. V regionu je možné nabídnout nová spojení, více druhů dopravy a lépe identifikovat souběhy linek. Díky koordinacím může docházet k eliminaci zbytečných linek, které se díky sjednocení dají sloučit nebo provozovat ve svazku linek. Největší výhodou je však pravidelnost a zlepšení spojení městských a mimoměstských částí, čímž je dosaženo větší atraktivity a konkurenci individuální automobilové dopravě.

Integrovaný dopravní systém je možné nazvat prvním mezikrokem k optimální dopravní obsluze území. Stručné shrnutí skutečnosti v předchozích odstavcích této kapitoly tomu velmi nahrává. Je však nutné si položit otázku, je-li skutečně tento dopravní systém ideálním řešením ve všech oblastech regionu.

*Existují situace, kdy integrovaný dopravní systém ve své podstatě selhává? Jestliže ano, jakým způsobem je možné toto selhání vyřešit?*

V oblastech s vysokou hustotou osídlení tento systém bezchybně funguje díky vysoké poptávce a v reakci také vysoké nabídce spojení. Je tomu tak také v oblastech s nízkou poptávkou, respektive nízkým potenciálem poptávky? V oblastech s nízkým potenciálem poptávky, navíc v

kombinaci s roztroušenými malými obcemi? V těchto oblastech tento systém naráží na svá univerzální nastavení. Pravidelné intervaly linek obsluhují oblasti bez poptávky, kapacitní vozidla, která jsou využívána v těchto oblastech, převážejí nízké jednotky cestujících nebo díky sdružování linek jsou vytvářeny dlouhé a časté závleky linek, které prodlužují cestovní dobu, velmi často bezdůvodně. Dochází k vytváření výjimek v jízdních řádech, aby největší excesy byly eliminovány, dochází proto k degradaci a nepřehlednosti jízdních řádů.

Touto podstatnou problematikou se zabývá tato disertační práce a jejím cílem je navržení způsobu obsluhy, která může napomoci vyřešit tento dopravní problém týkající se obsluhy malých obytných celků roztroušených po dané oblasti, a to nejen v integrovaných dopravních systémech.

Ve vztahu k této práci je nejdůležitějším parametrem dostatečná obsluha území, kdy cestující získává pocit, že v jakémkoliv čase se pomocí veřejné hromadné dopravy dokáže dostat z jakékoliv malé obce nebo oblasti do svého cíle. [2] Obecným cílem je však oslovit a nalákat cestující do veřejné hromadné dopravy. Možným řešením je využití nových možností ve spojitosti se strategií Smart City, ve které je schován koncept Mobility as a service nebo implementace Industry 4.0.

### **1.3 Přístupná a atraktivní veřejná doprava – Smart City a Industry 4.0**

Přístupnost a atraktivita veřejné hromadné dopravy je závislá na její kvalitě a rozsahu. Integrovaný dopravní systém je jednou z možností, v současnosti je však stále více na vzestupu přístup Smart City provázaný s Industry 4.0. Tento přístup má za pomoci nových technologií a nových přístupů k nim vytvořit nové způsoby fungování systémů a zefektivnit fungování existujících systémů všech odvětví. [13] Tato myšlenka a způsob uvažování se silně dotýká také dopravy. Je však nutné si uvědomit, že se nejedná pouze o přístup ze strany nových technologií, ale také ze stránky organizační. Základní dělení tohoto přístupu je proto hledisko

- Organizační
- Technické

Pro veřejnou hromadnou dopravu jsou tyto prvky velmi důležité a výrazným způsobem ovlivňují přístup k cestujícímu, a tedy i samotné atraktivitě dopravy. Je však nutné dodržovat základní myšlenku Smart City, a to zmíněnou provázanost těchto řešení, čímž dojde k synergickému efektu a zhodnocení navrhovaných dopravních opatření. Naopak není možné vytrhnout z kontextu a aplikovat jednotlivá řešení, jelikož nejenže dochází k odstranění synergického efektu, ale také může dojít i ke znehodnocení jednotlivých vytvořených řešení. Příkladem může být aplikace nového moderního přístupu z města Písek, kdy na zastávkový označnický je instalováno

nízkoenergetické tablo, například ePaper nebo Cholesterický displej. Tento displej slouží jako náhražka standardního papíru, avšak s možností průběžné změny zobrazovaných informací. Pokud bude však tento displej umístěn na označnicku zastávky, kterou bude obsluhovat pouze jeden spoj týdně, a to ve středu (konkrétním příkladem může být linka 365304), přidaná hodnota a investice do tohoto zařízení je díky špatné organizaci provozu degradována. Naopak může dojít k situaci, kdy cestující bude odrazen od užívání celého systému hromadné dopravy, jelikož získá informaci, že příští spoj jede až za týden.

Ve vztahu ke návrhům disertační práce bude tento přístup velmi důležitý, jelikož cestující pomocí nových přístupů a technologií bude ovlivňovat fungování dopravního systému a bude o jeho fungování také zpětně informován. Pro oblasti v regionu, kde jsou jednotlivé obce roztroušeny je získání aktuální informace nutností.

### **1.3.1 Mobility as a service a sdílená doprava**

Nový přístup řešení dopravní obsluhy opět spadá do myšlenek mobility dle konceptu Smart City. Problematika obsluhy lze řešit využitím jiných módů dopravy. Mnoho soukromých společností již nabízí služby přepravy pomocí sdílených vozidel nebo jiných dopravních prostředků a cestujícími jsou velmi oblíbené. Na druhou stranu tyto služby jsou vytvářeny výhradně pro zisk z této služby, a tedy nenabízí možnost přepravy v některých oblastech. Tyto služby jsou totiž dostupné hlavně v městských oblastech, v oblastech s nízkou poptávkou jsou tyto služby až na výjimky nedostatečné. Tato mobility je ve většině případů řešena nikoliv jako doplněk veřejné hromadné dopravy, ale její konkurence. Příkladem může být sdílená cyklistika. Na území České republiky neexistují systémy, které obsluhují malé obce v regionu. Existují systémy, ale které alespoň na území města doplňují MHD a jsou tedy doplnkem této části městské mobility. Tímto směrem je potenciál využití a nabídka řešení ve spojitosti i s problematikou této disertační práce.

### **1.3.2 Osvěta obyvatelstva**

Mezi organizační přístupy myšlenky Smart City je nezbytné zařadit komunikaci s obyvatelstvem a ovlivnění jeho myšlení. Vhodným příkladem může být domluva obyvatelům jedné ulice, aby se pro odvoz dětí do téže školy domluvili a nemusel každý z nich pro tuto činnost využít osobní automobil. Obdobně je tomu při převozu do práce, kdy soused převezve jiného souseda vlastním vozem. Díky tomu nebude využito tolik vozidel pro stejný cíl, velmi často pak pouze sloužící pro jednu osobu - řidiče. Tato myšlenka je samozřejmě vzhledem k nastavení současné společnosti utopická, tímto směrem je ale alespoň v určité míře potřeba vytvářet dopravní řešení a na tento stav upozorňovat.

---

## 1.4 Dopravní problematika ve vztahu k disertační práci

Cílem této disertační práce je navrhnout dopravní systém, který umožní cestujícímu vytvořit dopravní spojení tvořené spoji linek veřejné hromadné dopravy na základě jeho požadavku. Je potřeba vhodnou motivací cestujícího přesvědčit, aby tento způsob využil. Systém musí proto pracovat kvalitně a musí nabídnout dostatečný komfort a spolehlivost. S tímto předpokladem je v rámci disertační práce počítáno.

Řešení těchto dopravních přístupů jsou součástí a předpokladem pro atraktivní dopravu a podporují jako celek základní dopravní stavební prvek, kterým je optimální dopravní plánování. To musí být založeno na aktuálních i na dlouhodobých statistických datech a hlavně znalosti potřeb obyvatel. Dopravní plánování je proto přímo spojeno s problematikou řešení dynamické obsluhy území, které je cílem této disertační práce. Díky dopravním znalostem a novým navrhovaným dopravním přístupům bude nově možné řešit nejenom standardní dopravní obsluhu dotčeného území, ale také obtížné problémy dopravní obsluhy spojené s nedostupnými oblastmi a nízkou poptávkou po dopravě. Vzniká tím možnost řešit podstatné problémy v dopravní obsluze, které s sebou přináší nepříjemné závleky spojů, zpomalování hlavních linek i neekonomický provoz, spojený také s vlivem na životní prostředí. Se snahou řešit tento problém vzniká základní otázka:

*Jakým způsobem je možné vytvořit dopravní obsluhu veřejnou dopravou tak, aby byla udržitelná, ekonomicky únosná, dostatečně atraktivní pro cestující a zároveň tyto předpoklady byli splněny i pro problematiku malých obcí roztroušených po oblasti, tedy velmi malých obcí s nízkou poptávkou?*

Mnohé návrhy řešení již existují, příkladem může být MaaS, multimodální vyhledávače a podobné projekty, ve velké míře se řešení stáčí k myšlence kombinací módů doprav, jejich návazností, jednotného zaplacení a jednoduchého multimodálního vyhledávání existujícího spojení. Přínosem této práce je navržení způsobu dopravní obsluhy, která nebude nabízet cestujícím možnosti přepravy pouze dle existujících přepravních možností, ale přepravní možnosti bude dle poptávky vytvářet. Díky tomu budou dynamicky vytvářena nová dopravní spojení, zapadající do již stávajících dopravních konceptů a budou je vhodně doplňovat.

Tato práce využívá zkušeností z provozu příměstské veřejné dopravy na území Pražského a Středočeského regionu. Díky těmto zkušenostem bude v rámci příkladů poukazováno na problematiku primárně v těchto oblastech.



## 2 Obsluha území veřejnou hromadnou dopravou

Tato kapitola má za cíl navázat na předchozí konstatování vytvořit konkurenceschopnou, atraktivní a udržitelnou veřejnou hromadnou dopravu. Základní stavební prvek dopravního systému je dopravní plánování a návrh dopravní obsluhy území. Aby bylo možné vytvořit nový nástroj pro dopravní obsluhu špatně obslužitelných oblastí, je nutné představit a zhodnotit současný stav plánování a objednávání veřejné hromadné dopravy, ze kterého se bude vycházet.

### 2.1 Dopravní obslužnost a dopravní plánování

Veřejná hromadná doprava by měla být nastavena tak, aby umožnila přepravu cestujících mezi jednotlivými body zájmu tak, aby cestující nemusel využívat vlastních dopravních prostředků. Tímto je vytvořena základní dopravní síť, která je garantována státem, respektive jednotlivými kraji. Obecně je vycházeno z předpokladu, že nikoliv všichni občané mohou využívat individuální automobilovou dopravu nebo alternativní dopravu jako je pěší nebo cyklistická. Zároveň se však ukazuje, že tento způsob dopravy není určen pouze pro tyto obyvatele, ale tento způsob dopravy kladně působí na dopravní stav ve městech, který by byl jinak i vzhledem k současnému stavu motorizace neúnosný. Je tedy v zájmu státu podporovat tento druh dopravy a definovat dopravní obslužnost na svém území.

Definování dopravní obslužnosti vychází ze zákona 194/2010 Sb. Zákon o veřejných službách v přepravě cestujících, který definuje dopravní obslužnost jako zabezpečení dopravy pro všechny dny v týdnu do škol a školských zařízení, k orgánům veřejné moci, do zaměstnání, do zdravotnických zařízení a k uspokojení kulturních, rekreačních a společenských potřeb, a to včetně dopravy zpět, přispívající k trvale udržitelnému rozvoji územního obvodu. [1]

Do tohoto zákona z roku 2010 byla již implementována nařízení Evropské unie č. 1370/2007. Zákon spolu s nařízením, mimo jiné nově nedefinovaly dopravní obslužnost, umožnily vznik organizátora dopravy integrovaného dopravního systému či stanovily podmínky, za kterých je povinnost vypsat veřejné soutěže na autobusové dopravce, kteří budou zajišťovat dopravní výkon na soutěžených linkách. [2] Právě tímto zákonem byla také ukončena platnost pojmů Základní dopravní obslužnost a Ostatní dopravní obslužnost. Toto původní rozdělení rozdělovalo náklady na financování veřejné dopravy mezi krajem a jednotlivými obcemi v závislosti na jednotlivých spojích linky. Je však potřeba upozornit, že k původnímu dopravnímu nastavení stále v praxi dochází.

V rámci tohoto zákona 194/2010 Sb., Zákona o veřejných službách v přepravě cestujících, je také zmíněna povinnost kraje a jednotlivých obcí stanovit rozsah dopravní obslužnosti a zajištění

dopravní obslužnosti veřejnou osobní drážní dopravou a veřejnou linkovou dopravou a jejím propojením [1]. Tato povinnost však není nijak přesně definována a aplikace tohoto nařízení může být v rámci jednotlivých krajů, oblastí nebo dopravních systémů velmi rozdílná.

### **2.1.1 Neintegrováný model dopravní obslužnosti**

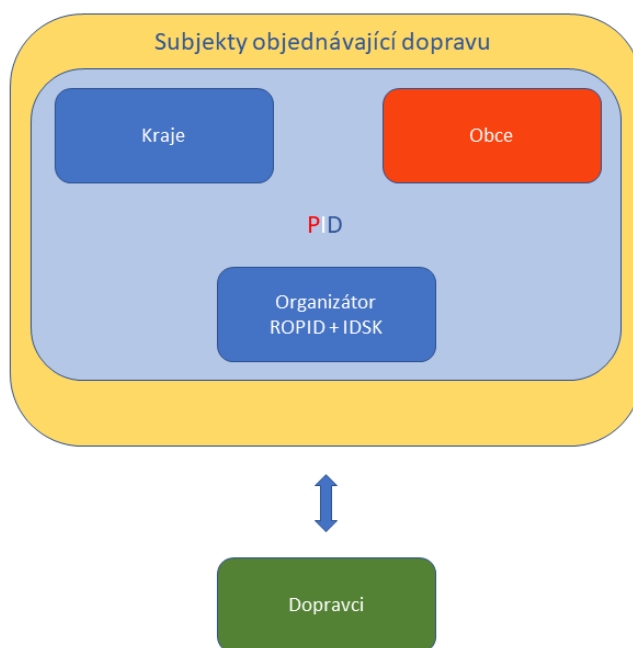
V základním modelu neintegrovaného dopravního systému může v závislosti na jednotlivých krajích docházet k mnoha různým situacím, kdy kraj striktně nastaví obsluhu území i jednotlivých obcí a jednotlivé obce na toto rozhodnutí nemohou adekvátně reagovat. Opačným extrémem je poté absence definice dopravní obsluhy krajem a jednotlivé obce musejí dopravní obsluhu (nebo její většinu) objednávat sami.

Historicky docházelo, a stále v krajích bez integrovaného dopravního systému standardně dochází, k objednávání dopravy přímo u dopravce, kdy si sám dopravce řídí smluvní proces s příslušným krajem a s příslušnými obcemi tohoto kraje. Vzhledem k chybějícímu definování přesného rozdělení objednávané dopravy dochází často k efektu, kdy kraj zaslavní dopravní obsluhu s dopravcem, ale se stejným dopravcem podepíše smlouvu také obec, do které tato vytvořená linka zajíždí. Častým jevem je však rozdílná cena, která bývá pro obce vyšší. Rozdílem jsou totiž jednotlivé spoje linky. Ve výsledném efektu je možné stanovit, který spoj v rámci jednotlivé linky financuje kraj, a který financuje příslušná obec.

Výsledkem je poté stav, kdy kraj objednává spoje, které jsou špičkové a dle názoru důležité pro základní obsluhu, obec objednává spoje sedlové a doplňkové pro obsluhu obce. Špičkové spoje jsou výdělečné, respektive málo ztrátové, sedlové spoje jsou pouze ztrátové. Proto kraj s výhodnější smlouvou dopláci výrazně méně než obec, která s horšími podmínkami smlouvy dopláci sedlové spoje. Může poté docházet ke stavu, kdy obce ztratí o spoje zájem díky tomuto způsobu financování, a i přes relativní vytížení tyto spoje zruší. Může dojít k efektu zrušení všech spojů financovaných obcí a zbydou pouze špičkové spoje. Tímto efektem může dojít výrazným způsobem ke snížení efektivity a atraktivity dopravní obslužnosti. Cestující se přesouvají do osobních vozidel – veřejná hromadná doprava je degradována, což je přesně opačný efekt oproti chtěnému stavu.

### 2.1.2 Upravený model dopravní obslužnosti – integrovaný dopravní systém

Tento systém charakterizuje dopravní systém, kde základní smluvní subjekty, které se podílí na vytváření dopravní obsluhy, jsou oproti předchozímu modelu na stejné úrovni. Všechny obce na dané lince, kraj nebo kraje a dopravce se podílejí na tvorbě dopravní obslužnosti jednotlivých linek, a to za pomoci koordinátora objednávky - organizátora. Na následujícím schématu je zobrazeno jednotlivé spojení objednávacích subjektů. Příkladem je integrovaný systém PID, jelikož integruje zástupce dvou krajů.



**Obr. 2:** Schéma smluvních subjektů v rámci integrovaného systému PID

V rámci jedné linky proto nenastává situace, kdy jednotlivé spoje jsou financovány jinými subjekty. Díky tomu také nedochází k vybírání financování konkrétních spojů linky jednotlivými subjekty (výběr lukrativních spojů), ale dělení plateb je rozděleno procentuálně. Nejsou řešeny jednotlivé spoje, ale pouze finanční náročnost dané linky jako celek. Přesto toto procentuální rozdělení může být chaotické a bez striktního definování může docházet ke změně výše procentuálního rozdělení financování v různých oblastech dopravního systému.

### 2.1.3 Rozdíly a příklady mezi přístupy k dopravní obslužnosti

Velkou výhodou je zastoupení všech smluvních subjektů organizátorem, kteří společně mohou určovat, jakým způsobem budou jednotlivé linky, respektive dopravní obsluha definována. Pokud nejsou zastoupeny všechny subjekty do vytváření dopravní obsluhy, může nastat opět nekoordinace spojů nebo nemožnost ovlivnit již existující dopravní spojení.

## Dopravní obsluha objednávaná bez účasti jednoho z krajů

Příkladem z prostředí PID je původní linka mezi městem Mělník a Prahou. Tuto linku objednával Středočeský kraj v celé své trase, tedy i na území hl. m. Prahy. Středočeský kraj dopravci odsouhlasil trasování linky až do zastávky Praha,, Holešovice. Hlavní město Praha jako chybějící subjekt objednávky nemělo právo zasahovat do trasování této linky, a také nemohlo ovlivnit zastávky, které tato linka obsluhovala. Díky tomu docházelo k nekoordinaci linek na území hl. m. Prahy a nesystémové obsluze několika území. Po integraci oblasti, díky které se hl. m. Praha stalo smluvním partnerem objednávané dopravy, vznikla nová linka, respektive svazek linek, které jsou objednávány oběma kraji, a proto je možné ovlivnit směrovost linek, obsluhu zastávek, frekvenci spojů atd. na území obou krajů. Díky tomu vznikla koordinace linek v oblasti Březiněvsi a Ládví a v hlavní míře linkami 348, 369 a 103 (100348, 100369 a 100103).

Dalším podobným příkladem je oblast Příbramska, odkud do Prahy vedou autobusové linky, které končí na autobusovém nádraží Praha,, Na Knížecí. Opět je linka objednána pouze Středočeským krajem a linka je proto s ostatními linkami nekoordinována. Změnou je připravovaná integrace do systému PID od 29. června 2019.

## Dopravní obsluha objednávaná výhradně obcemi

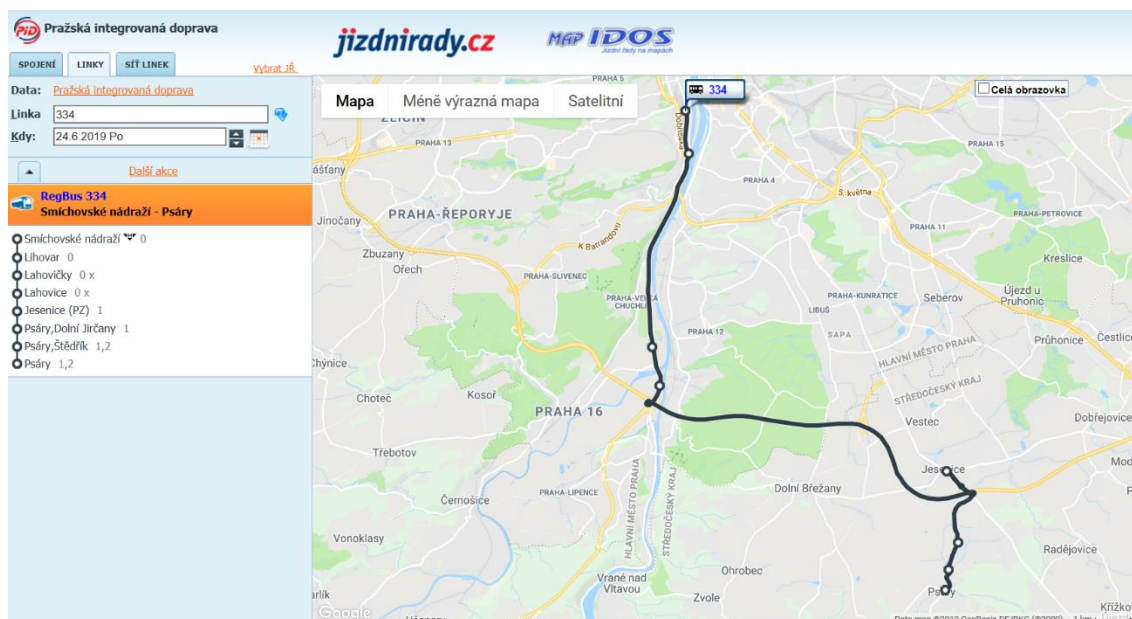
Opačným příkladem ve způsobu objednávání dopravní obslužnosti je linka PID 334 (100334). Tato linka slouží pro přepravu cestujících z oblasti Jesenice do oblasti Smíchovského nádraží a vznikla na základě požadavku příslušných obcí na přímé spojení na území městské části Prahy 5.

100334 <b>334</b>		Praha, Smíchovské nádraží - Psáry		Martin UHER, spol. s r.o., Revnická 605, 252 10 Mníšek pod Brdy		Platí od: 9.12.2018			
501	503	505	507	tarifní pásmo	502	504	506	508	
✖	✖	✖	✖	PID	✖	✖	✖	✖	
6:10	7:30	15:52	17:22	SMÍCHOVSKÉ NÁDRAŽÍ	0	5:57	7:18	8:23	17:05
6:12	7:32	15:54	17:24	Lihovar	0	5:55	7:16	8:21	17:03
6:17	7:37	15:59	17:29	x Lahovčický	0	5:50	7:10	8:15	16:58
6:19	7:39	16:01	17:31	x Lahovice	0	5:48	7:08	8:13	16:56
6:31	7:51	16:13	17:43	JESENICE	1	5:36	6:55	8:00	16:44
6:35		16:17	17:47	Psáry, Dolní Jirčany	1	5:31	6:50		16:39
6:37		16:19	17:49	Psáry, Středík	1,2	5:29	6:48		16:37
6:39		16:21	17:51	PSÁRY	1,2	5:27	6:46		16:35

**JÍZDNÍ ŘÁD MÁ POUZE INFORMATIVNÍ CHARAKTER**  
 Výsvětlivky:  
 x - na znamení  
 ✖ - jede v pracovních dnech

**Obr. 3:** Linka 100334 financována pouze obcemi; zdroj PID

Tato linka je cestujícími oblíbená, jelikož se jedná o rychlé spojení pomocí dálničního úseku D0 okolo hl. m. Prahy. Přesto je tato linka tvořena pouze 4 páry spojů v pracovní den. Hlavním důvodem je právě financování této linky. Středočeský kraj odmítl financovat tuto linku, linka je proto financována na území Středočeského kraje výhradně obcemi, kterým zajišťuje dopravní obsluhu, na území Prahy je samozřejmě jako integrovaná linka PID financována hl. m. Prahou. Dosud však toto jednostranné financování na území Středočeského kraje nebylo narovnáno.



Obr. 4: Trasa Linky 344 (100344); zdroj PID, CHAPS

Na Obr. 4 je jasně viditelné ovlivnění dopravní obsluhy díky rozdílným objednavatelům dopravy. Tato linka má potenciál obsloužit větší území a převést více cestujících. Díky omezené frekvenci spojů, která je způsobena nutností financovat spoje na území Středočeského kraje pouze ze strany svazku obcí, nenabízí tato linka takovou frekvenci, aby ji cestující nebrali pouze jako doplňkovou linku, na kterou se nelze v rámci celého dne spolehnout. Díky tomu cestující z obcí Psáry a Jesenice využívají primárně jiné spoje linek (například linky 332, 335, 337 nebo 339). Nedochází tím k rozdělení cestovních směrů a cestující jsou nuceni cestovat nejčastěji v tomto případě do přestupního bodu Praha,, Budějovická. Zmíněné linky do zastávky Praha,, Budějovická zároveň musejí projet úseky se zvýšeným rizikem kongescí. Ulice Vídeňská a okružní křižovatka u obce Vestec jsou díky vysoké intenzitě častým důvodem i několika desítek minutových zpoždění. Pokud by byla nabídnuta lepší možnost rozdělit příjezdové směry do Prahy mohlo by to kladně ovlivnit celkovou přepravu cestujících.

Ze shrnutí těchto názorných příkladů je snahou poukázat na skutečnost, že plánování a tvorba dopravní obsluhy organizátorem dopravy mohou pozitivně ovlivnit nejen daná území, pro která je dopravní obsluha vytvářena, ale také i navazující území nebo dokonce území a trasy linek na území jiného kraje. Plánování dopravní obsluhy a její následná kvalita proto může mít mimooblastní nebo i mimokrajské dopady.

### 2.1.4 Standard dopravní obslužnosti

V předchozích kapitolách byly popsány současné hlavní rozdíly mezi přístupy k vytváření dopravní obsluhy. Byla definována DO (Dopravní obslužnost) a zároveň bylo upozorněno na zrušení pojmů ZDO (Základní dopravní obslužnost) a ODO (Ostatní dopravní obslužnost). Nový

přístup procentuálního rozdělení financování dopravní obsluhy, posunul vytváření dopravní obsluhy koordinovanějším a spravedlivějším směrem. Přesto i v rámci jednoho systému dochází k diverzifikaci výše procentuální platby za dopravní obsluhu.

V reakci na tuto situaci je na základě odsouhlasení Zastupitelstva Středočeského kraje vytvářen externím dodavatelem návrh Standardu dopravní obslužnosti, který by narovnal extrémní finanční podíly ve financování autobusových linek (tzn. linku hradí výhradně kraj a obce se na financování nepodílí nebo linku hradí výhradně obce a kraje se na financování nepodílí).

Cílem tohoto standardu je vytvoření jednotného modelu, který bude využíván pro finanční rozdělení společné objednávky dopravní obslužnosti v rámci celého integrovaného systému na území Středočeského kraje. Díky standardu by měla být definována „minimální dopravní obslužnost“, která bude stanovovat minimální rozsah dopravy, která bude hrazena pouze ze strany Středočeského kraje. Díky tomu se eliminuje nutnost financovat dopravu u ze strany velmi malých obcí, kde je požadavek na dopravu minimální. Zároveň bude stanoven procentní podíl na všechny další spoje přesahující „minimální dopravní obslužnost“ tak, aby procentní podíl Středočeského kraje a obcí na financování všech dalších spojů zůstal vždy na stejné úrovni.

## 2.2 Zdroj dat – manuální průzkumy, systémy automatického počítání

Základním předpokladem pro vytvoření dopravní obsluhy je znalost poptávky po dopravě v rámci daného území. Standardními způsoby, jakým lze získat informace o poptávce ve veřejné hromadné dopravě, respektive využívání veřejné dopravy jsou dopravní průzkumy. Dopravní průzkumy se provádějí v terénu, standardně pomocí lidských měřičů, kteří zapisují aktuální výsledky. Vzhledem k tomu, že velmi často je pohyb cestujících v rámci vozidla nebo na zastávce značně chaotický a obtížně měřitelný, chybovost těchto měření může dosáhnout vysokých hodnot.

Tyto průzkumy můžeme dělit dle jejich způsobu provádění i dle jejich zaměření výstupů na průzkumy:

- Profilové
- Vozové
- Směrové
- Anketa

Profilové průzkumy mají za cíl monitorovat obrat cestujících v dané zastávce nebo přestupním uzlu. Je proto zaznamenáván pohyb cestujících vně a dovnitř vozidla VHD pro všechny projíždějící linky. V rámci tohoto průzkumu je také možné zjistit výpadek některého z pořadí



linky, jelikož průzkum standardně probíhá dlouhém časovém intervalu. Ke značné chybovosti dochází při současném příjezdu více vozidel nebo v případě osazení zastávky více označníky.

Vozové průzkumy jsou prováděny v prostorech vozidla, kdy jsou měřičem zaznamenávány všechny vstupy a výstupy cestujících všemi dveřmi. Tento průzkum má za cíl monitorovat obsazenost konkrétní linky, často se průzkum provádí v daný čas měření na všech vypravených pořadích linky. K chybovosti dochází při současné velké výměně cestujících a je silně závislá na délce vozidla, respektive na počtu dveří, kterými mohou cestující procházet.

Směrový průzkum je vhodný pro zjištění pohybu obyvatelstva v rámci oblasti a zjištění cílů cestování. Častým způsobem provádění tohoto průzkumu je předání jasně označeného lístku cestujícímu v nástupní stanici, který následně odevzdá ve své cílové stanici. Přesnost tohoto měření je vysoká, nedochází k častým výměnám lístků mezi cestujícími, problematikou je nezájem cestujících a zahazování lístků do košů v průběhu cestování.

Anketní průzkum je často vytvářen otázkami na spokojenost a představy cestujících v rámci organizace a plánování veřejné dopravy. Tento nástroj má značný potenciál pro znalost možných přání a poptávky cestujících. Bohužel výsledky jsou často zkresleny velkým nezájmem cestujících odpovídat na jakékoliv dotazy. Druhým problémem těchto průzkumů je nepravdivá nebo značně zkreslená odpověď, která často reprezentuje nereálné představy o dopravě, které navíc daný cestující často ani nepotřebuje.

Všechny tyto průzkumy mohou sloužit pro získání dlouhodobých statistických dat nebo v případě potřeby také aktuálně řešených problémů dopravy v dané oblasti. Vzhledem ke své náročnosti vyhodnocení, a hlavně potřebě obrovského počtu měřičů v terénu, jsou tyto průzkumy prováděny v dané oblasti jednorázově a pouze ve vybraných časech, nedochází ke kontinuálnímu vyhodnocování. Výsledky proto mají vypovídací schopnosti, přesto nemusí dojít k přesné a správné reprezentaci skutečného stavu využívání dopravy.

Velkou nevýhodou standardních průzkumů sledující pohyb cestujících je skutečnost: *V neobsložené oblasti je nulová poptávka po dopravě, není zde žádný pohyb cestujících.*

Problematiku standardního získávání dopravních dat není potřeba dlouze a podrobně rozepisovat a definovat, tato problematika je známá, v praxi využívaná a v mnoha dokumentech podrobně popsána. [12],[14],[15],[18]

Data pro dopravní plánování je možné získat i jinými způsoby, pomocí nových technologií. Rozvoj těchto technologií přináší možnost získávat informace o využívání veřejné hromadné

dopravy v reálném čase. Pro zamýšlený model mohou být aktuální data z dopravy podstatným ovlivňujícím parametrem, a je proto nutné je zmínit. [4]

### **2.2.1 Automatické počítání cestujících ve vozidlech**

Novým trendem je příchod nových detektorů, které jsou umístěné ve vozidle, nejčastěji nad každými dveřmi. Tyto detektory vyhodnocují pohyb cestujících a zaznamenávají tyto údaje do databáze. Velkou výhodou těchto systémů je nepřestávající záznam dat, a tedy dlouhodobý statistický záznam obsazenosti vozidel VHD. [4],[17]

Součástí výzkumu, který je popsán v této disertační práci, je také spolupráce na výzkumu spolehlivosti a přesnosti těchto automatických systémů. Tento výzkum probíhal ve spolupráci autora s příspěvkovou organizací ROPID a byl uplatněn nejen pro vytváření této práce, ale také pro vytváření standardu, dle kterého dochází k certifikaci zařízení pro provoz v PID. Přesnost aktuálních dat je jedním ze vstupních parametrů i v rámci cíle disertační práce, proto kvalita těchto dat musí být reflektována.

### **2.2.2 Sledování pohybu mobilních zařízení**

Velmi podstatným zdrojem dat pro popis znalosti pohybu cestujících ve veřejné hromadné dopravě je sledování pohybu mobilních signálů mobilních operátorů. Tento zdroj čerpá informace z připojení mobilního zařízení k telekomunikační síti, je tedy známa jeho poloha. Na základě výpočtů značně složitých algoritmů je poté možné určit nejen zdroj a cíl přepravy, ale také jeho trasu. Všechny tyto údaje jsou samozřejmě anonymní. Díky znalosti trasy mobilního signálu je možné sledovat průběh trasy cestujícího, lze zjistit potřeby přestupů daných cestujících a lze proto odvodit atraktivnost trasy. Linkové vedení linek může být tímto upraveno dle potřeb většiny cestujících. Standardní průzkumy tento přístup nedokážou zastoupit. I v případě směrového průzkumu je znám pouze zdroj a cíl poptávky, nikoliv jeho trasa.

Kromě použití dat pro směrovost cestování, je možné tato data využít pro statistický výpočet obsazenosti vozidel nebo dopravní infrastruktury. Tato data mohou být dlouhodobá a zachycovat skutečnou situaci využívání prostředků veřejné hromadné dopravy. Právě z tohoto hlediska může být tento zdroj dat využitelný pro obsluhu území, kde je možné implementovat dynamický přístup. Dojde tím ke zjištění, kde je vhodné právě tento přístup vytvořit.

Tento zdroj dat má přesto svá úskalí. Mobilní data pro kompletnost vzorku je nutné odebírat od všech mobilních operátorů. Pokud jsou sbírána pouze od vybraných operátorů, je nutné dopočítat datový pohyb na základě koeficientů a tím se přesnost výsledných hodnot značně snižuje. Data operátorů jsou navíc velmi finančně náročná a při kontinuálním sběru těchto dat se celý provoz veřejné hromadné dopravy velmi prodražuje. Dalším nedostatkem je přesnost dat a také využití



dat. Pokud uživatel přímo mobilní zařízení nevyužívá, dochází k přenosu dat pouze na základě přenosu servisních dat operátora, tedy pouze ve velmi omezeném množství. Pohyb zařízení proto není možné sledovat a nejsou proto informace o přepravě definovatelné. Omezením je také umístění pohybujících se signálů do systému zón jednotlivých BTS rozmístěných na území. Čím větší je proto území, tím více obtížné je definovat správnou polohu mobilního zařízení, jelikož jsou oblasti pro BTS výrazně větší. Možným řešením je vytvoření sítě mini BTS, které lze umístit i do prostor zastávek a podobně. Díky tomu se zvětší přesnost například právě nastupujících cestujících na dané zastávce.

Obecně je tato problematika řešena a bylo vytvořeno množství odborných publikací. V rámci projektu bylo spolupracováno se soukromou společností, která tato data zpracovává a byla vytvořena studie, ve které jsou popisovány konkrétní možnosti využití. [20] Zároveň je pro tuto popis této problematiky vytvořen odborný článek autora této práce. [17]

### 2.3 Vytvářené JŘ

Pro doplnění potřebných skutečností potřebných pro dopravní obsluhu území je nutné zmínit také jízdní řády. Již způsob vytvoření, použití typu jízdního řádu i vysvětlivek je značným způsobem rozhodující při volbě dopravního prostředku cestujícím. Pro vytvoření konkurenceschopné a atraktivní dopravy je proto tento prvek podstatný. Z hlediska cestujících jsou vyhledávány hlavně tyto skutečnosti – existence JŘ a jeho přehlednost, s čímž souvisí i správné určení jeho typu. [7] V některých provozech městské hromadné dopravy je typ jízdního řádu použit nevhodně a dle reakcí obyvatelstva je tato skutečnost vnímána velmi negativně. [8] Při vytváření jízdních řádů je proto nutné dbát zvýšené pozornosti již při vytváření licencí jednotlivých linek. I tento drobný nedostatek může mít zásadní vliv na konkurenceschopnost veřejné dopravy. Problematika jízdních řádů je řešena v legislativních dokumentech, které byly pro účely této práce použity. [6], [[7]

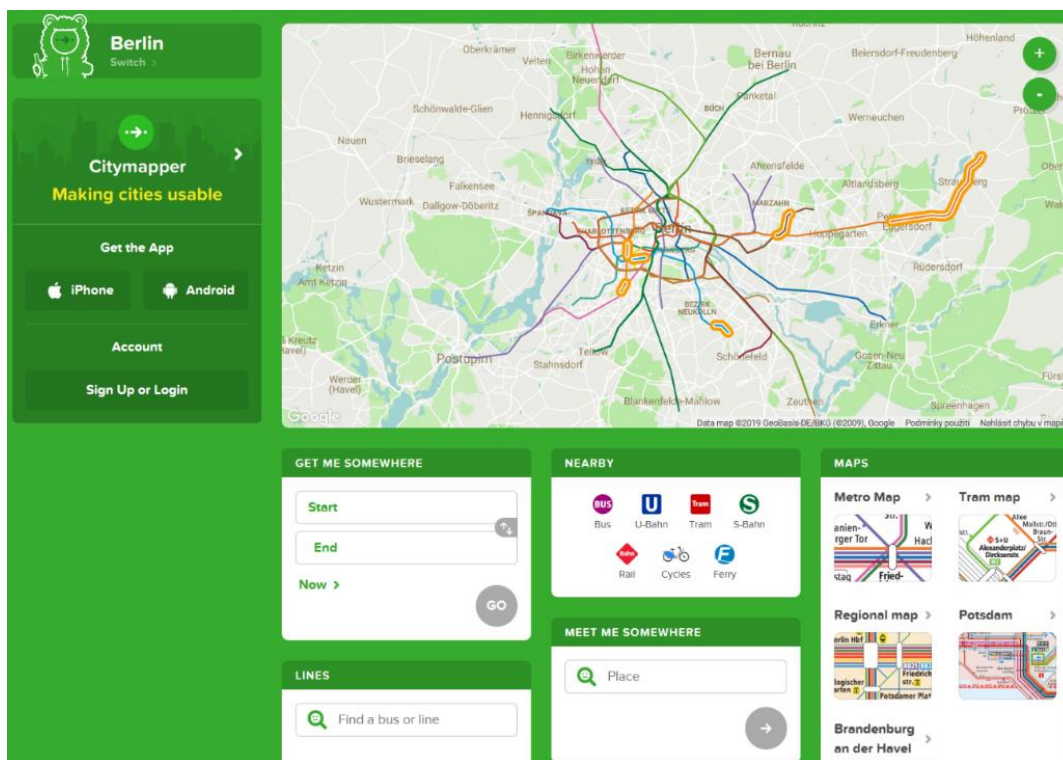
### 2.4 Mimořádné situace

Informace o dopravě, které je nutné také zmínit, a které mohou být následně využity i pro nově navrhovaný systém, jsou informace o mimořádnostech v provozu. Standardní průběh ovlivnění jízdy spoje je možný pouze na základě pokynu dispečera, který informaci o mimořádné události musí převzít a vyhodnotit. Informace jsou následně předávány cestujícím, a také řidičům jednotlivých spojů pomocí zpráv do palubních počítačů. Aktuálnost těchto informací a možnost na tyto situace adekvátně reagovat, může výrazně přispět k přesnosti provozu. Opět toto může mít kladný účinek na cestující. Pro nově navrhovaná řešení je příjem aktuálních informací o provozu podstatnou informací.

## 2.5 Současné nové přístupy pro obsluhu oblastí

Pro obsluhu území je již přístupováno některými novými způsoby obsluhy, vždy však výrazně záleží na legislativě daného státu, jestli jsou možné výjimky obsluhy, které nejsou zahrnuty v jízdním řádu. Jako alternativou standardní linkové dopravy je snahou nasadit alternativní způsoby dopravy, které mohou veřejnou hromadnou dopravu podpořit. Vzhledem k častému podnikatelskému záměru těchto alternativních doprav dochází však spíše ke konkurenčnímu vztahu. Přesto je pro obsluhu zaváděna stále častěji multimodální doprava, kde jsou kombinovány různé typy dopravních prostředků. V České republice jsou často využívány cyklistické sdílené systémy, které jsou však většinou provozovány spíše jako turistická záležitost. Je možné ale nalézt výjimky a sdílená cyklistika je brána i ze strany objednavatele jako doplněk stávající městské hromadné dopravy. [8] Obecně je však stále častěji k těmto způsobům dopravní obsluhy přístupováno, nejčastěji však na území obcí.

Podporou multimodální dopravy je možnost díky novým webovým rozhraním a aplikacím možnost nalézat dopravní spojení, která kombinuje typy dopravních prostředků. Stále jde však pouze o vyhledávač existujících spojení.



Obr. 5: Příklad webové aplikace multimodální dopravy, zdroj CityMapper

## 2.5.1 Doprava na zavolání

V některých dopravních systémech je pro oblasti s nízkou poptávkou používán způsob obsluhy pomocí spojů na zavolání. Tento systém je založen na standardním jízdním řádu, pouze se v něm nacházejí spoje nebo jednotlivé zastávky, které jsou v provozu pouze v případě výzvy cestujícího. Výhodou je nevypravení spojů zbytečně, nevýhodou může být nepřehlednost daného způsobu obsluhy, a hlavně rozdílné časové polohy a nutnost vyčkávat nebo dohánět zpoždění.

### 380550 Vodňany-Písek

Platí od 1.12.2019 do 12.12.2020

Přepřevu zajišťuje: ČSAD AUTOBUSY České Budějovice a.s., Žižkova tř. 1914/1a, 370 01 České Budějovice, provozovna Vodňany, tel. 386 100 170, www.busem.cz, info@busem.cz

opacný směr	km	Tč	2	4	6	46	8	44	10	12	18	34	16	20	14	22	36	26	30	32	38	40	42
0 0 0 0	0	020	od Písek, aut.nádr. .... MHD	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
1 1 1 1	1	119	Písek, Budějovická .... MHD	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
2 2 2 2	2	218	Písek, U Hřebčince .... MHD	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
4 4 4 4	4	417	Písek, Semice sil.č.20 ....	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
6 6 6 6	6	616	Písek, Nový Dvůr, rozc.1.0 ....	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
8 8 8 8	8	814	Protivín, Selibov ....	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
10 10 10 10	10	1013	Protivín, Maletice, rozc. ....	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
11 11 11 11	11	1112	Protivín, Maletice, rozc. ....	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
12 12 12 12	12	1211	Protivín, Mysenec, rozc. ....	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
14 14 14 14	14	1410	Protivín, Mysenec, rozc. ....	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
15 15 15 15	15	1519	Žďár ....	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
17 17 17 17	17	1718	Protivín, Mysenec obec ....	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
19 19 19 19	19	1917	Protivín, rozc.K nádr. ....	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
21 21 21 21	21	2115	Protivín, nám. ....	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
23 23 23 23	23	2315	Protivín, Milenovice, rozc. ....	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
25 25 25 25	25	2514	Vodňany, Radčice ....	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
27 27 27 27	27	2713	Vodňany, Radčice, rozc.0.5 ....	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
29 29 29 29	29	2912	Vodňany, rybářská škola ....	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
31 31 31 31	31	3111	Vodňany, aut.nádr. ....	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...

Na lince platí tarifní a smluvní přepravní podmínky vyhlášené dopravcem ČSAD AUTOBUSY České Budějovice a.s. Informace jsou zveřejněny ve vozidle této linky. Jízdní karta a velmi rozměrné předstírnky se nepřevážují.

Obr. 6: Příklad zastávky na zavolání, zdroj CIS JŘ

Dle obrázku zmíněný dopravce ČSAD České Budějovice je v tomto přístupu k dopravě na zavolání je jedním z inovátorů, jelikož jeho působením je nyní dle platné legislativy a výjimkám v ní, možné řešit celý spoj zavoláním, zároveň ale je umožněno, aby daný spoj jel pouze v trase, která ale začíná až zastávkou, ze které vzešel požadavek. Díky tomu je umožněno začít trasu spoje později na trase a nemusí být spoj obslužen celý i v částech trasy bez poptávky. Tím je poptávkový systém drobně upraven, přesto rozhodně nepřináší podobné řešení, jako navrhovaný dynamický systém. Stále je vše dopředu definováno jízdním řádem, který je však možné nerespektovat kompletně, pouze v jeho části. Toto řešení je aplikováno hlavně v okolí města Milevsko. Dalšími možnostmi jsou soukromé jízdy, například do zaměstnání, oproti navrhovanému je ale obsluha řešena soukromě a není proto potřeba splnit podmínky veřejné dopravy. Dynamický režim přináší nový systém, který není závislý na přesných časech a polohách spojů, nebo i trase spoje, je to proto přístup inovativní oproti současným způsobům obsluhy.

V České republice a nejen zde je potřeba poté rozlišit přístup k obsluze veřejnou hromadnou dopravou a k taxislužbě. V extrémních případech je tuto službu snahou zaměňovat a zvlášť provozovatelé taxislužeb se snaží podobné myšlenky pro obsluhu území zneužívat. Legislativní opatření, [6] ale stále řeší aby byla veřejná hromadná doprava oddělena, bohužel to ale také ztěžuje implementaci nových způsobů obsluhy veřejnou hromadnou dopravou.

Inovátorský přístup je zaveden také například v oblasti Žďáru nad Sázavou, kde jsou vytvořeny spádové oblasti obsluhy a vytvoření dopravy na zavolání, stále je však obsluha řešena přes pevné trasy a zastávky, ale s variabilními časy obsluhy. V tomto případě se přístupy od navrhovaného liší. Podobně tomu bylo s nápady poptávkové dopravy například v Týništi nad Orlicí, respektive Rychnova nad Kněžnou, vznik takzvaného radiobusu. [9] Opět se jedná vlastně o standardní dopravu na zavolání se stejným principem objednávky, v tomto případě byl ještě doplněn o nutnost příplatku za doplňkovou službu, což jistě poptávkové dopravě příliš v atraktivitě nepomůže a nezvýší její konkurenceschopnost.

### **2.5.2 Zahraniční zkušenosti s poptávkovou dopravou**

Poptávková doprava je samozřejmě známa i v zahraničí, v oblastech s obrovskými územními plochami, jako je například USA nebo Kanada, případně také Rusko nebo Ukrajina. Vždy se ale jedná o podobný způsob dopravy jako je popsán v České republice, případně se jedná o kapacitní taxislužbu. Krásným příkladem může být oblíbený způsob dopravy pomocí Maršrutek, které ale je podobou sdíleného taxi. Tento způsob dopravy je však spíše důsledkem degenerace standardní veřejné hromadné dopravy.

Vhodným příkladem mohou být také systémy v hornatých oblastech, pro tento příklad je vhodné uvést příklad z Německa, Rakouska nebo Švýcarska. V těchto oblastech se jedná o takzvaný Rufbus. Opět se jedná o dopravu na zavolání, kdy jednotlivé spoje jsou v provozu pouze na výzvu. Tento způsob dopravy je možný nalézt například v oblasti Vorarlber nebo v oblasti Rhein – Neckar. Příklad z městské oblasti může být Rufbus v okolí města Trier. [10], [11]. Na základě poptávky je možné nasadit velikost vozidla, přizpůsobeném aktuální poptávce. Obecně je tento způsob dopravy v oblasti západní Evropy více rozšířen a koordinován a lidé jsou na tento způsob přepravy více zvyklí. I proto vznikají nové projekty, které jsou i mezinárodní, v rámci sdružených horských oblastí.

---

### 3 Struktura problematiky a cíle řešené disertační práce

V předchozí kapitole byly řešeny obecné způsoby současného stavu dopravní obsluhy. Tato část práce má nejen obecný informační charakter, ale také charakter definování důvodu, proč řešit takto nastavené dopravní problémy. V předchozí kapitole byl popsán základní přístup k dopravnímu plánování a přístup k dopravní obsluze. Tento přístup se liší v závislosti na jednotlivých krajích, oblastech i typech dopravního systému. Právě nejednotnost, rozdíly v přístupech k řešení problematiky obsluhy území ze strany objednavatelů i totožný přístup k vytváření linek VHD bez rozlišení druhu oblasti jsou značným problémem a výrazně ovlivňují poptávku po dopravě. Hraniční oblasti s jinými přístupy obsluhy nebo roztroušené malé obce v oblasti jsou ovlivněny nejvíce a mohou sloužit jako vhodný příklad pro popis problému dopravní obsluhy. V důsledku rozdílného přístupu k dopravní obsluze a v tuto chvíli definovaným způsobům obsluhy i dle současné legislativy, je možné nalézt závažné nedostatky.

Tuto důvodovou část je nutné konfrontovat se skutečností, jak by veřejná hromadná doprava měla pro cestující vypadat. Aby mohla být veřejná doprava konkurenceschopná. Pro cestujícího musí být zajištěna rychlá, pravidelná, přehledná a pohodlná přeprava. Čím více se budou tyto parametry snižovat, tím dochází ke snižování zájmu o tuto přepravu. Vyjmenované základní parametry ovlivňují problémy, které se v dopravní obsluze vyskytují, proto v rámci struktury práce je nutné navázat na definování možných konkrétních problémů, na které je poté možné hledat odpovídající řešení.

#### 3.1 Vymezení problematiky a definování problému obsluhy území

Základním problematickým bodem je samotná dopravní obsluha a její rozsah. Právě rozsah obsluhy je ovlivněn i poptávkou po přepravě. Jistě nedává smysl vypravovat velké množství spojů do oblasti, kde po veřejné dopravě není zájem. Problém však nastává v okamžiku, kdy jsou spoje skutečně redukovány a cestující se dostává do situace, kdy uvažuje, jestli má možnost se díky zrušení několika spojů dostat zpět do místa bydliště. Velmi často se stává, že v takové situaci raději volí individuální automobilovou dopravu. Tím je poptávka po VHD ještě nižší, opět nemá cenu vypravovat takové množství spojů a dochází k další redukci dopravního spojení. Tento fenomén lze pojmenovat jako Spirála smrti pro veřejnou dopravu (Vicious Circle) – postupné omezování, vedoucí až ke kompletnímu zrušení.



### 3.1.1 Rozsah dopravní obsluhy

Když se tento fenomén spojí s popisovanými způsoby vytváření dopravní obsluhy v regionu, a ne vždy jasným způsobem objednávání dopravy, viz kapitola 2.1.3, dochází k situacím, kdy některé obce jsou obsluhovány pouze zcela minimálním počtem spojů. Cestující proto nemá prakticky jinou možnost než využít individuální automobilovou dopravu. Velmi vhodným příkladem jsou dojížděky cestujících za prací z přilehlých obcí velkých měst. Problematika chybějící kvalitní obsluhy v regionu proto nejen přímo ovlivňuje menší obce v regionu, ale také velká města, která trpí vysokým dopravním zatížením, a z toho vyplývajícím nedostatkem parkovacích míst.

290446		Mníšek pod Brdy - Kytín - Voznice, Chouzavá		
446		Martin UHER, spol. s r.o., Řevnická 605, 252 10 Mníšek pod Brdy		
		Plati od: 9.12.2018		
tarifní pásmo	501 503 505 507 509 511 513 515 517 519 521 523 525 527 529 531 533 535 537 539 541 543 545 547 549 551			
PID	×	×	×	
MNÍŠEK P. BRDY, PRAŽSKA	3,4		10:50	
Mníšek p. Brdy, náměstí	3,4		10:51	
Mníšek p. Brdy, Nad Špejcharem	3,4		10:54	
Mníšek p. Brdy, U Sibence	3,4		10:55	
MNÍŠEK P. BRDY, KAPLE	3,4	5:40 5:52 6:11 6:40 6:52 7:11 8:11 9:11 9:52 10:57 11:11 11:52 12:52 13:11 13:52 13:52 13:52 14:10 14:22 14:40 14:52 15:11 15:52 16:11 16:52 17:11		
Kytín, U Hřbitova	4	5:43 5:55 6:14 6:43 6:55 7:14 8:14 9:14 9:55 11:00 11:14 11:55 12:55 13:14 13:55 13:55 13:55 14:13 14:25 14:43 14:55 15:14 15:55 16:14 16:55 17:14		
Voznice, Chouzavá	4		13:58	
KYTÍN, NAVĚS	4	5:45 5:57 6:16 6:45 6:57 7:16 8:16 9:16 9:57 11:02 11:16 11:57 12:57 13:16 13:57 13:57 14:02 14:15 14:27 14:45 14:57 15:16 15:57 16:16 16:57 17:16		
tarifní pásmo	553 555 557 559 561 563 565 567 571			
PID	×	×	×	
MNÍŠEK P. BRDY, PRAŽSKA	3,4		8:1	
Mníšek p. Brdy, náměstí	3,4			
Mníšek p. Brdy, Nad Špejcharem	3,4			
Mníšek p. Brdy, U Sibence	3,4			
MNÍŠEK P. BRDY, KAPLE	3,4	17:52 18:11 18:52 19:11 19:52 20:10 21:10 22:07 23:09 23:09		
Kytín, U Hřbitova	4	17:55 18:14 18:55 19:14 19:55 20:13 21:13 22:10 23:12 23:12		
Voznice, Chouzavá	4			
KYTÍN, NAVĚS	4	17:57 18:16 18:57 19:16 19:57 20:15 21:15 22:12 23:14 23:14		
tarifní pásmo	502 504 506 508 510 512 514 516 518 520 522 524 526 528 530 532 534 536 538 540 542 544 546 548 550 552			
PID	×	×	×	
VOZNICE, CHOZAVÁ	4		7:12	
KYTÍN, NAVĚS	4	5:06 5:33 5:45 6:04 6:25 6:45 6:58 7:04 7:15 7:23 7:45 8:04 9:04 9:45 10:00 11:04 11:45 12:45 13:04 13:45 14:04 14:15 14:34 14:45		
Kytín, U Hřbitova	4	5:08 5:35 5:47 6:06 6:27 6:47 7:00 7:06 7:17 7:25 7:47 8:06 9:06 9:47 10:02 11:06 11:47 12:47 13:06 13:47 14:06 14:17 14:36 14:47		
MNÍŠEK P. BRDY, HOZCESTI KYTÍN	4		7:27	
MNÍŠEK P. BRDY, KAPLE	3,4	5:11 5:38 5:50 6:09 6:30 6:50 7:03 7:09 7:20 7:22 7:50 8:09 9:09 9:50 10:05 11:09 11:50 12:50 13:09 13:50 14:09 14:20 14:39 14:50		
Mníšek p. Brdy, U Sibence	3,4		10:07	
Mníšek p. Brdy, Nad Špejcharem	3,4		10:08	
MNÍŠEK P. BRDY, NÁMĚSTÍ	3,4		10:10	
MNÍŠEK P. BRDY, PRAŽSKA	3,4		10:11	
MNÍŠEK P. BRDY, ZÁKLADNÍ ŠKOLA	3		7:28	

Obr. 7: Linka 290446 - Minimální rozsah dopravní obsluhy, zdroj PID

Na jízdním řádu na Obr. 7 je jasně vidět minimální obsluha obce Chouzavá. I přesto, že tato obec může být označena za obec obslouženou veřejnou dopravou, skutečnost je však značně rozdílná. Vzhledem k umístění obce vedle dálnice D4, je pro cestující cestování individuální automobilovou dopravou jasná prioritní volba. Problém nastává obecně pro cestující, kteří nemohou individuální automobilovou dopravu využít. Podobných obcí s minimálním rozsahem dopravy je velké množství. Situace okolo obce Chouzavá, respektive Mníšek pod Brdy je zpracována v příspěvcích autora, které s touto problematikou souvisí. [4], [5].

### 3.1.2 Způsob provedení dopravní obsluhy regionu

Dalším prvkem ovlivňující obsluhu je způsob dopravní obsluhy. Jelikož jsou některé obce obsluhovány pouze malým množstvím spojů, nevyplatí se vytvářet speciální nové linky, které by tyto obce obsluhovaly. Dochází tím k efektu, kdy hlavní linky zajíždějí i do obcí, respektive oblastí, které nejsou přímo na hlavní trase linky. Tento způsob obsluhy má za následek:

- Prodlužování cestovní doby hlavních linek
- Vytváření zázleků a najíždění kilometrů, v roztroušených oblastech snaha obsloužit jednou linkou celé území
- Využívání kapacitních vozidel hlavních linek pro velmi malou poptávku
- Obecně dochází k výraznému zneprůhlednění jízdních řádů (zajíždění pouze vybraných spojů)

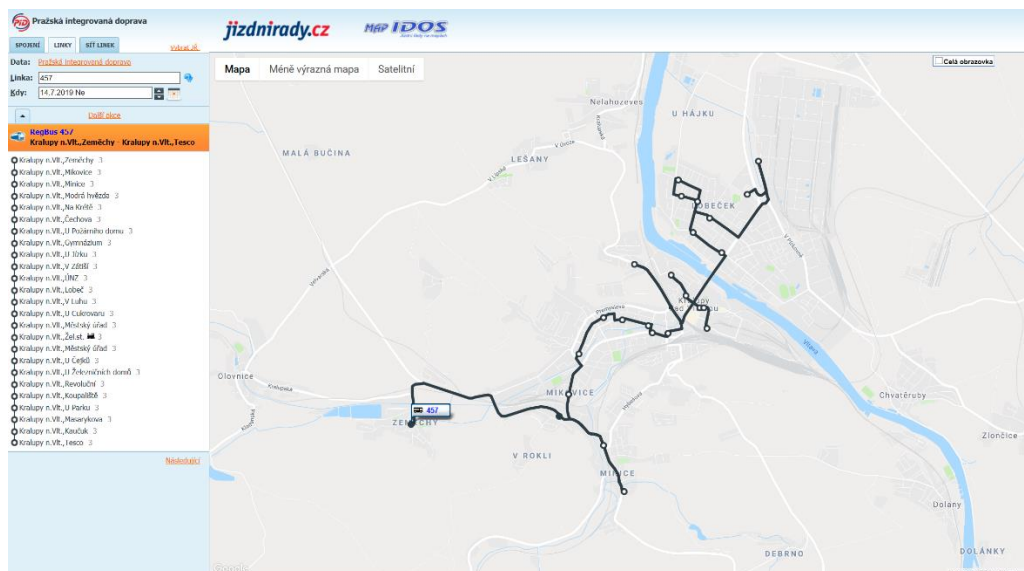
100335		PRAHA		PRAHA, BUDĚJOVICKÁ - KAMENICE, KULT. DŮM		Platí od: 8.12.2018	
335		ARRIVA CITY s.r.o.		U Slavovské 682/1b, 108 00 Praha 10			
Směr	Číslo spoje	001	002	003	004	005	006
BUDĚJOVICKÁ	0	6:05	6:15	6:30	6:35	6:20	6:15
Nemoučice Kůč	0	6:11	6:21	6:36	6:41	6:26	6:21
Ústavní aletství	0	6:13	6:23	6:38	6:43	6:28	6:23
IKEM	0	6:14	6:24	6:39	6:44	6:29	6:24
x Zelené domky	0	6:16	6:26	6:41	6:46	6:31	6:26
x U Trávníčků	0	6:17	6:27	6:42	6:47	6:32	6:27
x Betán	0	6:18	6:28	6:43	6:48	6:33	6:28
x Prameněná	0	6:20	6:30	6:45	6:50	6:35	6:30
Vesec, Safna	1	6:22	6:32	6:47	6:52	6:37	6:32
Vesec, Obodní centrum	1	6:23	6:33	6:48	6:53	6:38	6:33
Vesec, Šátka	1	6:24	6:34	6:49	6:54	6:39	6:34
Jesenice, Byňovky	1	6:26	6:36	6:51	6:56	6:41	6:36
JESENICE	1	6:28	6:38	6:53	6:58	6:43	6:38
Jesenice, Horní Jirčany	1	6:31	6:41	6:56	7:01	6:46	6:41
Jesenice, Horní Jirčany, Vodárna	1	6:33	6:43	6:58	7:03	6:48	6:43
Sulice, Hubočínka, Obodní centrum	2	6:34	6:44	7:04	6:49	6:44	6:44
Sulice, Hubočínka, Obodní centrum	2	6:34	6:59	7:04	6:49	6:44	6:44
RADEJVICE	2	6:48	6:58	7:06	6:51	6:46	6:46
x Radějovice, Otavky	2	6:47	7:07	6:52	6:47	6:47	6:47
Křibovický Újezd, Děčín	2	6:48	6:49	7:09	6:54	6:49	6:49
Křibovický Újezd	2	6:51	6:51	7:11	6:56	6:51	6:51
Sulice, Hubočínka	2	6:36	7:00				
Sulice, Na Křibkách	2	6:37	7:13				
Sulice	2	6:39	7:15				
x Sulice, Nechánice	2	6:42	7:16				
Sulice	2	6:45	7:21				
Sulice, Na Křibkách	2	6:47	6:53	7:02	7:23	6:58	6:53
x Sulice, Želivce, Mladá	2	6:48	6:54	7:02	7:24	6:59	6:54
Sulice, Želivce	2,3	6:48	6:48	6:55	7:04	7:25	6:55
Kostelec u Křibův, Štola	3	6:50	6:51	6:57	7:06	7:27	6:57
Kostelec u Křibův	3	6:51	6:52	6:58	7:07	7:28	6:58
Kamenice, Štáň	3	6:53	6:54	7:00	7:09	7:30	6:53
Kamenice, U Dvora	3	6:55	6:56	7:02	7:11	7:32	6:55
KAMENICE, KULT. DŮM	3	6:57	6:58	7:04	7:13	7:34	6:57

Obr. 8: Linka 100335 – Závleky a prodlužování cestovní doby, zdroj PID

Linka 100335 je přesným příkladem linky, která je v části trasy objednána jako linka páteřní, spojující hlavní body zájmu cestujících. V tomto případě Hlavní město Prahu s obcí Jesenice. Linka je pravidelná bez zázleků, bez odchylek trasy, a také využívá nejprímější, nejrychlejší cestu. Linku lze přesto využít na spojení také s dalším významným bodem, obcí Kamenice. V tomto případě opět linka využívá nejprímější a nejrychlejší cestu, ale pouze však některými spoji. Některé spoje sjíždějí z trasy a obsluhují další malé obce. Pravidelnost a přímost trasy tedy není dodržena, a navíc jen vybranými spoji. Linka se proto stává pro cestujícího nepřehledná. Navíc jsou na vybraných spojích výrazné zázleky do obce Nechánice. Ztráta na cestovní době pro cestujícího, který cestuje z Jesenice do Kamenice, je obrovská, a opět jen na některých spojích. Tato linka splňuje většinu definovaných problémů při způsobu provedení dopravní obsluhy.

Velmi dobrým příkladem pro snahu vyřešit dopravním plánování v definované oblasti za pomoci jedné linky je linka 250457 v systému PID. Tato linka má na své krátké trase 6 zázleků, díky čemuž cestovní doba velmi narůstá spolu s najetými kilometry. Opět má tento způsob vedení linek neblahý vliv na poptávku cestujících. Ve snaze obsloužit jednou linkou všechny oblasti a vyhovět tím všem potenciálním cestujícím, je paradoxně dosaženo opačného výsledku a snížení poptávky. Dalším velmi dobrým příkladem je provoz linek MHD v Mladé Boleslavi, kde byly linky tímto

způsobem vytvořeny. Cestující, a hlavně dojíždějící zaměstnanci do závodu Škoda auto pro dlouhou jízdní dobu začali využívat v hojnější míře IAD i pro velmi krátkou vzdálenost. Tuto problematiku řeší autorem vytvářená studie pro závod Škoda Auto a.s. [20]



Obr. 9: Linka 250457 - Závleky linky; zdroj PID, CHAPS

### 3.1.3 Jízdní řády

Aby mohla veřejná doprava adekvátně sloužit cestujícím, je nutné zajistit předání informací o dopravě, kdy a jakým způsobem je doprava provozována. Dopravní obsluha je striktně definována a zapsána pomocí jízdních řádů, které jsou publikovány cestujícím. Velkou výhodou pro informační systém pro cestující na území České republiky je nástroj národní databáze jízdních řádů, neboli Celostátní informační systém [6], který byl již zmiňován již v kapitole 2.3. Jízdní řády jsou jednotně tvořené dle vzorů, jsou jasně definované, obecně jsou tvořeny podle definované metodiky, která dbá na dodržení všech náležitostí pro zobrazení všech nezbytných informací pro cestující. [7]

Velmi vhodně vytvořená databáze spolu s jasně definovanými způsoby zobrazení informací je základem předpokladu o optimálním řešení předání informací cestujícím. Přesto problém spojený s obsluhou území může nastat velmi jednoduše. Již na předchozím Obr. 8 je možné pozorovat nepravidelnosti a nesrozumitelnost jízdního řádu. Je tedy potřeba vhodně zvolit druh jízdního řádu. Zároveň je potřeba vytvářet dopravní obsluhu takovým způsobem, aby jízdní řád nebyl příliš zmatený a nepřehledný pro cestujícího. Je proto vhodné nevytvářet velké množství tras a alternativ, poznámek na spojích a další nepravidelností jednotlivých linek.



Velmi vhodným příkladem nevhodného použití jízdních řádů je městská hromadná doprava ve městě Písek. Jízdní řády jsou využity z důvodu chaotického dopravního plánování založeného na jednorázových a nesystémových přání jednotlivých obyvatel. [8]

**365311 Strakonická-Dvořákova-Smetanovo nám.-Žižkova-Šrámkův most-Nádraží ČD** Platí od 30.6.2019 do 4.7.2020

Přepravu zajišťuje: ČSAD AUTOBUSY České Budějovice a.s., Žižkova tř. 1914/1a, 370 01 České Budějovice, provozovna Písek, tel. 386 100 167, www.busem.cz, info@busem.cz

km	Tr	2	4	8	20
0 0 0 0	1	0	0	0	0
0 0 0 0	2	0	0	0	0
0 0 0 0	3	0	0	0	0
0 0 0 0	4	0	0	0	0
0 0 0 0	5	0	0	0	0
0 0 0 0	6	0	0	0	0
0 0 0 0	7	0	0	0	0
0 0 0 0	8	0	0	0	0
0 0 0 0	9	0	0	0	0
0 0 0 0	10	0	0	0	0
0 0 0 0	11	0	0	0	0
0 0 0 0	12	0	0	0	0
0 0 0 0	13	0	0	0	0
0 0 0 0	14	0	0	0	0
0 0 0 0	15	0	0	0	0
0 0 0 0	16	0	0	0	0
0 0 0 0	17	0	0	0	0
0 0 0 0	18	0	0	0	0
0 0 0 0	19	0	0	0	0
0 0 0 0	20	0	0	0	0
0 0 0 0	21	0	0	0	0
0 0 0 0	22	0	0	0	0
0 0 0 0	23	0	0	0	0
0 0 0 0	24	0	0	0	0
0 0 0 0	25	0	0	0	0
0 0 0 0	26	0	0	0	0
0 0 0 0	27	0	0	0	0
0 0 0 0	28	0	0	0	0
0 0 0 0	29	0	0	0	0
0 0 0 0	30	0	0	0	0
0 0 0 0	31	0	0	0	0
0 0 0 0	32	0	0	0	0
0 0 0 0	33	0	0	0	0
0 0 0 0	34	0	0	0	0
0 0 0 0	35	0	0	0	0
0 0 0 0	36	0	0	0	0
0 0 0 0	37	0	0	0	0
0 0 0 0	38	0	0	0	0
0 0 0 0	39	0	0	0	0
0 0 0 0	40	0	0	0	0
0 0 0 0	41	0	0	0	0
0 0 0 0	42	0	0	0	0
0 0 0 0	43	0	0	0	0
0 0 0 0	44	0	0	0	0
0 0 0 0	45	0	0	0	0
0 0 0 0	46	0	0	0	0
0 0 0 0	47	0	0	0	0
0 0 0 0	48	0	0	0	0
0 0 0 0	49	0	0	0	0
0 0 0 0	50	0	0	0	0
0 0 0 0	51	0	0	0	0
0 0 0 0	52	0	0	0	0
0 0 0 0	53	0	0	0	0
0 0 0 0	54	0	0	0	0
0 0 0 0	55	0	0	0	0
0 0 0 0	56	0	0	0	0
0 0 0 0	57	0	0	0	0
0 0 0 0	58	0	0	0	0
0 0 0 0	59	0	0	0	0
0 0 0 0	60	0	0	0	0
0 0 0 0	61	0	0	0	0
0 0 0 0	62	0	0	0	0
0 0 0 0	63	0	0	0	0
0 0 0 0	64	0	0	0	0
0 0 0 0	65	0	0	0	0
0 0 0 0	66	0	0	0	0
0 0 0 0	67	0	0	0	0
0 0 0 0	68	0	0	0	0
0 0 0 0	69	0	0	0	0
0 0 0 0	70	0	0	0	0
0 0 0 0	71	0	0	0	0
0 0 0 0	72	0	0	0	0
0 0 0 0	73	0	0	0	0
0 0 0 0	74	0	0	0	0
0 0 0 0	75	0	0	0	0
0 0 0 0	76	0	0	0	0
0 0 0 0	77	0	0	0	0
0 0 0 0	78	0	0	0	0
0 0 0 0	79	0	0	0	0
0 0 0 0	80	0	0	0	0
0 0 0 0	81	0	0	0	0
0 0 0 0	82	0	0	0	0
0 0 0 0	83	0	0	0	0
0 0 0 0	84	0	0	0	0
0 0 0 0	85	0	0	0	0
0 0 0 0	86	0	0	0	0
0 0 0 0	87	0	0	0	0
0 0 0 0	88	0	0	0	0
0 0 0 0	89	0	0	0	0
0 0 0 0	90	0	0	0	0
0 0 0 0	91	0	0	0	0
0 0 0 0	92	0	0	0	0
0 0 0 0	93	0	0	0	0
0 0 0 0	94	0	0	0	0
0 0 0 0	95	0	0	0	0
0 0 0 0	96	0	0	0	0
0 0 0 0	97	0	0	0	0
0 0 0 0	98	0	0	0	0
0 0 0 0	99	0	0	0	0
0 0 0 0	100	0	0	0	0

☞ jede v pracovních dnech  
 ☞ spoj jede po jiné trase  
 ☞ MHD zastávka s možností přestupu na městskou hromadnou dopravu

Nástup cestujících do vozidel MHD v Písku je dovolen jen předními dveřmi.

Obr. 10: Linka 365311 - Vhodnost použití jízdních řádů, zdroj CIS JŘ; [8]

Linka 365311 je tvořena pěti možnými trasami linky. Vzhledem k tomu, že linka je obsluhována pouze pěti spoji, znamená to, že každý spoj má jiné linkové vedení, respektive ani jeden spoj není stejný jako ostatní. Pro městské prostředí je navíc použit nevhodný typ jízdního řádu. Z hlediska dopravního plánování i z hlediska legislativy je toto řešení zcela v pořádku, ve skutečnosti pro dopravní využití je řešení nevhodné. Odraz způsobu dopravního plánování je tedy důležitý i v tomto ohledu.

### 3.2 Shrnutí problému

Pro zajištění konkurenceschopné a udržitelné mobility jsou vytvářeny integrované dopravní systémy, které jsou založené na sjednocení smluvních podmínek, tarifu a způsobu fungování dopravního systému. V tomto systému jsou integrováni jednotliví dopravci i druhy doprav a utvářejí jeden dopravní systém na stanoveném území. Dopravní systém má snahu nabídnout kapacitní a pravidelnou dopravu s možností prokladů. I přes to vnikají dopravní problémy, které snižují atraktivnost veřejné hromadné dopravy a přednosti systému se stávají jeho nevýhodou.

Obsluha roztroušených obcí a oblastí v regionu – vzniká problém dovozu cestujících do finálních destinací

- snižuje přímost hlavních spojení
- prodlužují se jízdní doby linek
- spoje najíždějí kilometry

- 
- najíždění kilometrů spojené s vyšší spotřebou pohonných hmot a zátěže životního prostředí kapacitní vozidla obsluhují oblasti s minimální poptávkou
  - malý počet spojů v oblasti nenabízí atraktivní spojení
  - nevyužití potenciálu sdílených doprav v rámci integrovaného systému VHD
  - nepřehlednost spojení a jízdních řádů

Pokud je dopravní obsluha tvořena neintegrováním systémem, může docházet k dalším problémům s financováním dopravy, konkurenčním bojem dopravců i jejich ziskovost spojená se způsobem objednávání dopravy – rušení nerentabilních spojů a podobně.

Multimodální doprava je v současnosti využívána hlavně pro městské prostředí, v regionálním měřítku na území České republiky neexistuje nebo je neefektivní. Tento způsob se využívá ve větším měřítku v zemích zaměřených na cyklistickou dopravu. Z těchto zemí je možné získat zkušenosti pro tento provoz.

V rámci popisu dopravní problematiky jsou stále zmiňovány dopravní systémy a definovaná území. Území, která jsou definována jsou často ohraničena územím krajů nebo menších územních celků, kde jsou rozdílné přístupy k obsluze území. Spoje propojující tato území jsou redukovány z důvodu financování, proto obsluha oblastí na hranicích těchto území jsou velmi problematické, spoje na sebe nenavazují nebo neexistují. Častým příkladem je ukončení i kapacitních železničních spojení na hranici krajů bez návaznosti. Obecně lze tento problém definovat jako nespolečné sousedních oblastí. V těchto oblastech je dynamické objednání spoje vhodnou alternativou k chybějícím spojení.

Tato kapitola shrnuje problematiku obsluhy území stávajících systémů a vyzdvihla jednotlivé problémy. Na tyto problémy je snaha vytvářet nová řešení, dynamická obsluha území s proměnnou časovou polohou i trasou spojů však není doposud řešena. I doprava na zavolání, která je známa je vždy řízena striktním jízdním řádem bez možností změny. Jeden z možných způsobů, jak pomoci vyřešit problematiku obsluhy, je cílem této disertační práce.

### 3.3 Struktura cílů disertační práce

Kapitola 3 shrnuje nalezené nedostatky a problémy v obsluze regionu. Hlavním cílem této disertační práce je proto vytvoření nového systému obsluhy veřejnou hromadnou obsluhou, který tyto problémy pomůže odstranit nebo alespoň omezit. Cílem je kompletní popis procesů parametrů a podmínek, který takový systém musí splňovat.

Úvodními východisky disertační práce je představit současný stav fungování dopravní obsluhy, tedy provést analýzu současného stavu a v tomto stavu identifikovat dopravní problémy, na které bude následně vytvořeno řešení. V tomto východisku jsou podrobně popsány přístupy k vytváření dopravní obsluhy a také předpoklady pro udržitelnost a konkurenceschopnost veřejné hromadné dopravy, jelikož to jsou základní předpoklady pro to, aby mohl tento druh dopravy v budoucnu existovat. Toto východisko je popsáno v počátečních kapitolách disertační práce spolu s autorovou dokumentací, která pro tento účel vznikala. [4],[5], [17], [21].

Dalším východiskem je na základě znalosti o dopravní obsluze definování problémů a nedostatků, které výrazně ovlivňují současné fungování dopravní obsluhy a přístupu k ní ze stran všech zúčastněných subjektů, hlavně cestujících. Tímto východiskem je dokončena část disertační práce, která má za cíl vysvětlit motivace výzkumu nových přístupů ve veřejné hromadné dopravě. [4] [8], [21].

Z nastíněných východisek a úvodních nutných předpokladů jsou definovány hlavní následující cíle. Prvním cílem je definice a návrh podrobného smyslu fungování nového způsobu dynamické obsluhy a definování podmínek, které jsou pro zavedení dynamického prvku do systému veřejné hromadné dopravy nezbytné, obecně definování dynamického prvku. Tento cíl obsahově podporují předchozí východiska.

Pro tento první cíl je nutné stanovit následující kroky, které definují, jakým způsobem může být tento nový způsob obsluhy uplatněn.

- Definování oblastí vhodných pro dynamickou obsluhu území
- Definování a rozdělení druhů linek VHD, které mohou splňovat dynamický provoz
- Nalezení a definování parametrů, které mohou ovlivňovat fungování dynamického dopravního systému

Následujícím cílem, po určení, jak může být dynamický systém ukotven, je velmi důležité definování procesů a chování, které musí nebo mohou při řešení dynamické oblasti nastat, tedy jak se bude navrhovaný nový dynamický systém v reálném provozu chovat. Tento cíl musí řešit obecně poptávku a řešení situace ze strany cestujících. Rovněž musí být součástí tohoto cíle

---

definování provozních potřeb a fungování systému z pohledu dopravního systému, tedy objednavatele, organizátora, správce infrastruktury, dopravců a podobně.

Při znalosti hraničních podmínek, možného rozsahu procesů a znalosti smyslu fungování dynamického systému je nutné doplnit tyto znalosti o definici, jak bude tento systém řízen a jak budou popsány procesy realizované. S tímto se pojí další důležitý cíl disertační práce, na základě kterého musí být vytvořen nový vhodný rozhodovací nástroj, který bude vyhodnocovat a řídit dynamickou obsluhu území. Konkrétně by měl již rozhodovat a řídit časové polohy jednotlivých spojů, trasování a rozhodnutí o obslužení nebo neobslužení cestujících a podobně.

Pro kompletnost problematiky dynamické obsluhy je potřeba vytvořit posouzení a vyhodnocení nového navrženého rozhodovacího nástroje, aby byla zajištěna jeho správná funkčnost. Tohoto bude dosaženo standardními metodami a také ověřením a zasazením do reálné oblasti. Posledním cílem této disertační práce je proto ověření nejen funkčnosti rozhodovacího nástroje, ale také komplexně ověření fungování dynamické obsluhy.

Celkovým cílem této disertační práce je proto vytvoření nového přístupu k dopravní obsluze, který bude plně implementovatelný do obecné oblasti. Tento přístup bude definován nalezenými ovlivňujícími parametry a bude řízen novým rozhodovacím nástrojem. Cílem je nalézt řešení pro obsluhu regionu a napomoci vyřešit nebo alespoň snížit problémy definované problémem poslední míle v regionu. Tento navržený nástroj může díky plánované podrobné definici možnosti implementace sloužit již k prvotnímu posouzení, zda je tento způsob obsluhy pro danou oblast vhodný.

Doplňkovým výstupem je zasazení této dynamické obsluhy do simulačního nástroje, který může vytvořit model dopravní obsluhy. Tento prezentační model může být ukázkovým zjednodušeným nástrojem obsluhy oblasti.

Pokud budou cíle splněny, je vysoké reálné využití tohoto způsobu obsluhy v reálného provozu. Tento předpoklad vychází z průběžných intenzivních konzultací a řešení problému s organizátory dopravy a dalšími zájmovými subjekty již při tvorbě této práce a jejich zájmem se na této problematice podílet a rozvíjet.

Pro shrnutí jsou definovány tyto hlavní cíle disertační práce:

- Definice a návrh podrobného smyslu fungování nového způsobu dynamické obsluhy
- Oblastní ukotvení a definování procesů a chování navrženého dopravního systému
- Vytvoření rozhodovacího nástroje, optimalizace a vyhodnocení a ověření funkčnosti

---

## 4 Definice dynamického prvku v dopravní obsluze území

V předchozích kapitolách bylo upozorněno na konkrétní nedostatky v dopravní obsluze území. Pro zlepšení dopravní obslužnosti a tím redukce daných nedostatků je snahou o zavedení dynamické obsluhy a doplnit tím stávající dopravní systémy. Co je však míněno pod pojmem dynamická obsluha? Vysvětlení je možné za pomoci porovnání současně zavedených opatření a vyzdvižení rozdílů, tedy metodou analogií.

Tato kapitola přináší podrobný popis nového přístupu obsluhy území veřejnou dopravou. Kapitola má popisný charakter skutečností, které musí být definovány a splněny, aby tento nový přístup k obsluze mohl být implementován do reálného provozu.

Výrazným posunem pro řešení dopravní obsluhy v regionu je vytvoření integrovaného dopravního systému, který kombinuje systém více dopravců i módů dopravy. V návaznosti na tento druh dopravního systému vznikají, většinou soukromé, dopravní možnosti, které přidávají nové využití dopravních prostředků, jako například využití jízdních kol, sdílených osobních vozidel a podobně. Tyto módy dopravy však nejsou zatím ve velké míře smluvně integrovány do integrovaného dopravního systému, i přes to, že některé z nich mají plnit účel veřejné hromadné dopravy. Toto může být jedním z problémů související s touto problematikou. Z tohoto důvodu byly vytvořeny nové možnosti, jak kombinovat nabízené dopravní módy a pro cestující vznikají nové aplikace a vyhledávací algoritmy, které nabízejí vyhledávání nových spojení s integrovanými intermodálními dopravními prostředky.

Současné vnímání dopravní obsluhy území vzhledem k řešení dopravy cestujících do finálních destinací v roztroušených oblastech (problematika Poslední/První míle):

- Nabídnutí sloučení/integrovaní módů doprav cestujícímu, kdy i například pěší doprava je možným výsledkem
- Doprava na zavlání cestujícím
  - o taxislužba
  - o služby typu ÜBER
  - o sdílená vozidla
  - o vybrané spoje VHD, které jsou vypraveny pouze dle objednávky vždy s respektováním jízdního řádu
  - o speciální objednané komerční spojení (doprava dětí, starých osob, ...)
  - o a další

- Vznik nových algoritmů a vyhledávacích portálů dopravního vyhledávání spojení, které zvýší povědomí cestujících o existujícím spojení a zvýší tím jeho konkurenceschopnost.

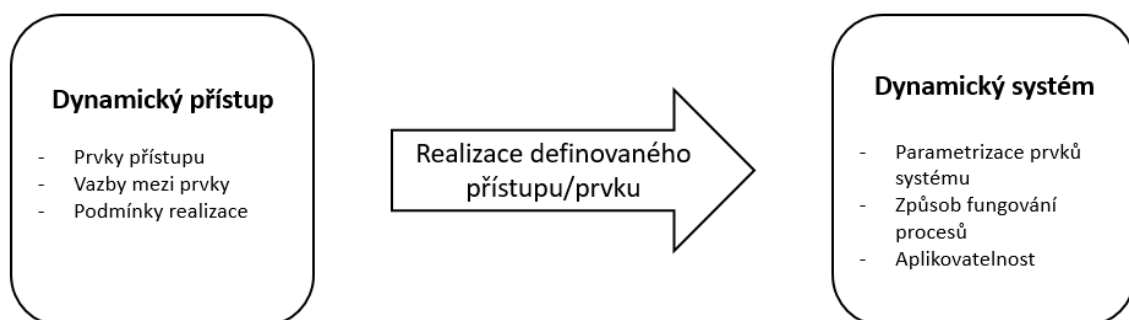
Již s těmito řešeními se dá hovořit a zdynamičtění striktně dané „statické“ veřejné dopravy. Nedochází tím ale k odstranění všech nalezených nedostatků. Stále bude docházet k vypravování spojů, které jsou nedostatečně zaplněné cestujícími, díky nevhodně nastavené kapacitě vozidla případně i k obsluze obcí závleky, kde není aktuální poptávka, čímž navíc bude docházet ke zdržování ostatních cestujících a k dalším nedostatkům.

Definovaný problém je zřejmý, jak dynamicky měnit obsluhu oblasti veřejnou hromadnou dopravou, která je již definována v jízdních řádech? Je vytvoření jízdních řádů linek v souladu s potřebami většiny cestujících nebo jsou již vytvořeny tak, aby byla nastavená plošná obsluha za každou cenu? Již příkladů z kapitoly Obsluha území veřejnou hromadnou dopravou je zřejmé, že v mnoha případech je linková obsluha ohýbána právě pouze z těchto důvodů.

#### 4.1 Náhled na řešení obsluhy dynamickým způsobem

Dynamický způsob obsluhy území přináší nový náhled a přístup k fungování dopravního systému. Aby tento způsob obsluhy mohl být exaktně definován, je vhodným nástrojem využití znalostí systémové analýzy, díky kterým je tento náhled systémově rozebrán a popsán. Pro definování smyslu a podmínek fungování lze hovořit o Dynamickém přístupu/prvku v dopravě. Následně již samotné zavedení a parametrizování dynamiky je možné nazvat jako Dynamický systém v obsluze území. Proto tedy základní přístupy, které budou pro popis dynamické obsluhy území využity jsou:

- Dynamický přístup/prvek v obsluze území
- Dynamický systém



Obr. 11: Dynamický prvek a dynamický systém

#### 4.1.1 Statický a dynamický prvek v obsluze území

Dynamický přístup řešení dopravní obsluhy lze velmi dobře popsat analogickou metodou, kdy jsou porovnány vlastnosti statického a dynamického přístupu.

##### Statický přístup

Statický přístup k řešení dopravní obsluhy v území je v současné dopravě využíván jako jediný možný. V tomto přístupu jsou jasně definovány jízdní řády, ve kterých jsou zachyceny jednotlivé spoje linek. Rovněž jsou v jízdním řádu přesně definovány zastávky, jejich polohy a díky tomu jsou známy přesné vzdálenosti, které jsou využity pro výpočet tras jednotlivých linek a spojů.

Jízdní řády vznikají vytvářením grafů – grafikonů linek, které jsou závislé na definování jednotlivých chronometrů. Mezi chronometry jsou zakomponovány zastávkové označení, sdružené do zastávkových uzlů. Mezi těmito uzly jsou dále definovány vzdálenosti a také jednotlivé časové sféry, které se mohou s denní dobou měnit. Grafy linek jsou základní skladební jednotkou, které lze využít pro generování všech druhů jízdních řádů. Tyto trasy jsou neměnné, trasy linek schvalují jednotlivé dopravní úřady a jsou přímo spojené s financováním veřejné dopravy. Z důvodu takto staticky definovanému dopravnímu systému není možné vyjet spoji z definované trasy bez oficiálního zásahu dispečera, který toto rozhodnutí musí také konzultovat. Dochází proto k situacím, kdy jednotlivé spoje jsou výrazně ovlivněny aktuální dopravní situací bez možnosti dynamické reakce na aktuální dopravní situaci. Vedení linek při dlouhodobé výluce je opět nutné schvalovat příslušným dopravním úřadem. Celá tato problematika je vázána na současnou platnou legislativu, která tyto požadavky definuje. [1]

Statický přístup je charakteristický svou předem jasně a neměnně danou strukturou místní i časovou polohou spojů. Trasy linek jsou předem určené a schválené odpovědným dopravním úřadem, hlavně ve spojitosti s následným výpočtem ujetých kilometrů, a tedy nákladů na dopravu. Zastávky jsou rovněž přesně stanovené a je známá jejich přesná pozice, spoje linek nesmí umožnit výměnu cestujících mimo tato vyznačená místa.

Na základě rešerše a konzultace této práce s dopravci a dopravními organizacemi byly nalezeny další možnosti dopravy, jako je například doprava na zavolání, která je zmíněna v předchozích kapitolách. Tento způsob dopravy je přesto opět závislý na přesné definici trasy a polohy spojů, rozdílem je vypravení spoje pouze v závislosti na definovaném podnět, kterým může být objednávka spoje cestujícím. Jiný způsob dynamiky není pro tyto spoje možný. Statickým způsobem se přistupuje také k typu vozidla, respektive dopravního prostředku, které je určeno



grafikonem. Pro daný spoj je definován konkrétní typ vozidla, například nízkopodlažní a podobně.

Tento přístup je jasně definovaný, a proto jednoduše měřitelný a zapamatovatelný. Tento přístup je velmi vhodný pro použití ve veřejné hromadné dopravě. Přesto v některých oblastech se výhody pevně stanoveného přístupu ztrácejí, a naopak se stávají nevýhodou. Vysvětlení a poukázání na tyto nevýhodné situace se nachází v předchozích kapitolách. Právě z důvodu těchto výjimek a excesů je navržen nový přístup k dopravní obsluze, a to dynamický přístup.

### **Dynamický přístup**

Tento navrhovaný nový přístup není v běžném provozu v době tvorby práce dosud známý a realizovaný. Stejně jako statický přístup i tento dynamický přístup je založen na obsluze území pomocí spojů linek, které projíždějí trasou s definovanými zastávkami. Jednotlivé spoje obsluhují jednotlivé zastávky s tím, že nástupní prostor zastávky je jediným místem na trase linky, kde je možné provádět výměnu cestujících.

Podobně jako statický přístup i zde je provoz zajištěn linkami, které mají svůj vytvořený grafikon linky v závislosti na chronometráži dopravního systému. Tento grafikon však zahrnuje pouze některé reálně vypravené spoje linky, případně žádné v závislosti na potřebách linky. Takto vytvořená linka je určena pouze pro danou obsluhovanou oblast. V grafikonu takových linek je vytvořen časový interval, ve kterém je možné vypravit spoj na tuto linku, spoj však není předem definovaný pro konkrétní čas. Obdobně není definována trasa linek, proto grafikon využívá pouze znalosti z mezistaničních úseků pro vypočítání reálné trasy linky. Díky možnostem měnit časovou polohu spojů i trasu jednotlivých spojů linky získává tento přístup název dynamický. Změna trasy linky není závislá na rozhodnutí dispečera a je proto možné dle aktuální potřeby měnit trasu linky. Do linkového vedení proto mohou dynamicky zasahovat také aktuální data z provozu.

Jízdní řády pro tento přístup jsou velmi specifické díky své proměnné složce. Na základě grafikonu, který může obsahovat některé spoje dle statického přístupu – standardně jasně dané školní nebo pracovní spoje – je vytvořen jízdní řád, kde jsou vyznačeny časové oblasti, kdy jsou spoje linky v provozu a kdy je potřeba vytvořit požadavek na dopravní obsluhu.

Grafikon linky a od toho závislý jízdní řád může obsahovat tyto části:

- Jízdní řád pouze s dynamickým provozem
- Jízdní řád s kombinovaným statickým a dynamickým provozem v rámci dne
- Jízdní řád s kombinovaným statickým a dynamickým provozem v rámci jednotlivých dnů v týdnu



V závislosti na druhu jízdního řádu dynamického přístupu jsou informace předávány cestujícím. Způsob předání informace je řešen v dalších částech práce.

Hlavním předpokladem pro fungování dynamického přístupu je možnost vnějším požadavkem ovlivnit trasu i čas spoje dané linky. Díky vnějším požadavkům může linka obsloužit oblasti pouze s daným požadavkem nebo se některým úsekům může cíleně vyhnout, díky čemuž zkrátí cestovní dobu spoje a sníží počet najetých kilometrů, což má za následek snížení finančních nákladů i vlivu na životní prostředí. Dynamický přístup také umožňuje, aby každý spoj byl veden dynamicky rozdílnou trasou v rámci jednotlivých dní i dnů v týdnu, a to vždy v respektování vnějších požadavků. Dynamický přístup je implementován také na typ dopravního prostředku. V závislosti na vnějších požadavcích je vypravováno odpovídající vozidlo z hlediska kapacity nebo bezbariérovosti, může dojít k navrhnutí využití i jiného módu dopravy pro dané spojení.

V rámci výzkumu problematiky jízdních řádů a informačních systémů bylo využito zázemí a spolupráce s laboratoří OIS – Odbavovacích a informačních systémů na Ústavu dopravní telematiky ČVUT FD. Pro tuto konkrétní problematiku bylo využito zkušební verze softwaru ASW JŘ pro vytváření jízdních řádů, který v reálném provozu využívá například systém Pražské integrované dopravy. Na následujících obrázcích je zobrazen tímto softwarem vygenerovaný zkušební ilustrativní jízdní řád s naznačeným obdobím s respektováním kombinovaného dynamického přístupu. Takto jednoduše zobrazen je možný návrh zobrazení a předání informace cestujícím, s využitím šablony PID.

335		PID		PRAŽSKÁ INTEGROVANÁ DOPRAVA (PID) - Městská doprava Praha		Dopravce: ARRIVA PRAHA s.r.o., U Seřadště 9, 101 40 Praha 10		ARRIVA Informace o provozu PID na tel.: 296 191 817, na internetu: WWW.DPP.CZ		Platí od: 2.9.2013		
Tarifní pásmo		1	3	5	7	11						
BUDĚJOVICKÁ	0	6:10	6:20	6:35		13:35	14:05					
Nemocnice Krč	0	6:16	6:26	6:41		13:41	14:11					
IKEM	B	6:19	6:29	6:44		13:44	14:14					
x Zelené domky	B	6:21	6:31	6:46		13:46	14:16					
x U Tří svatých	B	6:22	6:32	6:47		13:47	14:17					
x Betáň	B	6:23	6:33	6:48		13:48	14:18					
x U Studánky	B	6:25	6:35	6:50		13:50	14:20					
Vestec, Safina	1	6:27	6:37	6:52		13:52	14:22					
Vestec, Šátalka	1	6:29	6:39	6:54		13:54	14:24					
Jesenice, bytovky	1	6:31	6:41	6:56		13:56	14:26					
Jesenice	1	6:33	6:43	6:58		13:58	14:28					
Jesenice, Homí Jirčany	1	6:36	6:46	7:01		14:01	14:31					
Jesenice, Homí Jirčany, vodárna	1	6:38	6:48	7:03		14:03	14:33					
Sulice, rozc. Radějovice	2	6:39	6:49	7:04		14:04	14:34					
Radějovice	2		6:51			14:06		Odpolední dyn. okno				
x Radějovice, Olešky	2		6:52			14:07						
x Křížkový Újezdec, Čenětice	2		6:54			14:09						
x Křížkový Újezdec	2		6:56			14:11						
Sulice, Hlubočinka	2	6:40		7:05			14:35					
x Sulice, Na Křížkách	2	6:42	6:58	7:07		14:13	14:37					
Sulice	2	6:44	7:00				14:39					
Sulice, rozc. Nechánice	2	6:46	7:02				14:41					
x Sulice, Biopharm-VÚ	2	6:48	7:04				14:43					
x Sulice, Želivec, Mandava	2			7:08		14:14						
Sulice, Želivec	2,3			7:09		14:15						
Kostelec u Křížků, škola	3			7:11		14:17						
Kostelec u Křížků	3	6:54	7:10	7:12		14:18	14:49					
Kamenice, Skuheř	3	6:56	7:12	7:14		14:20	14:51					
Kamenice, U dvora	3	6:58	7:14	7:16		14:22	14:53					
KAMENICE, KULT. DŮM	3	7:00	7:16	7:18		14:24	14:55					

Zastávky v tarifních pásmech 0 a B jsou na území hl.m. Prahy.

Soft. CHAPS spol. s r.o.

Obr. 12: Kombinovaný dynamický přístup, zdroj CHAPS; software ASW JŘ

Takto vytvořený jízdní řád je nutné doplnit o další náležitosti, které mohou vysvětlit cestujícím smysl takto rozděleného jízdního řádu. Pro dynamický přístup je dále nutné definovat a do jízdního řádu doplnit informaci, co znamená dynamické okno a jakým způsobem postupovat v případě požadavku o přepravu. Konkrétní potřeby a fungování se však již netýkají dynamického přístupu, ale až následně vytvořeného dynamického systému.

V příkladu jízdního řádu na **Obr. 12** jsou využity existující spoje dle reálného jízdního řádu. Na tomto příkladu je stále možné velmi dobře pozorovat nedostatky v dopravní obsluze, které tato práce zmiňuje. V zobrazených 5 spojích jsou 4 druhy linkového vedení spoje, i když se jedná o tutéž linku, dochází k závlakům a prodlužování jízdní doby. Dynamický režim by proto měl řešit také samotné linkové vedení a přímosti spojů, které jsou definované. Na následujícím **Obr. 13** je upravený již dynamický jízdní řád, který však respektuje přímost a pravidelnost definovaných spojů linky. Díky této úpravě byly odstraněny některé oblasti, které linka obsluhovala. Tímto zásahem se tedy zvýšila přehlednost a přímost spojení, některé oblasti však ztratili obsluhu touto linkou.

335		PID		PRAŽSKÁ INTEGROVANÁ DOPRAVA (PID) - Městská doprava Praha		Plati od: 2.9.2013	
Tarifní pásmo		1	3	5	7	11	
BUDEJOVICKA	0	6:10	6:20	6:35		13:35	14:05
Nemocnice Krč	0	6:16	6:26	6:41		13:41	14:11
IKEM	B	6:19	6:29	6:44		13:44	14:14
x Zelené domky	B	6:21	6:31	6:46		13:46	14:16
x U Tří svatých	B	6:22	6:32	6:47		13:47	14:17
x Betáň	B	6:23	6:33	6:48		13:48	14:18
x U Studánky	B	6:25	6:35	6:50		13:50	14:20
Vestec, Safína	1	6:27	6:37	6:52		13:52	14:22
Vestec, Šátalka	1	6:29	6:39	6:54		13:54	14:24
Jesenice, bytovky	1	6:31	6:41	6:56		13:56	14:26
Jesenice	1	6:33	6:43	6:58		13:58	14:28
Jesenice, Horní Jirčany	1	6:36	6:46	7:01		14:01	14:31
Jesenice, Horní Jirčany, vodárna	1	6:38	6:48	7:03		14:03	14:33
Sulice, rozc. Radějovice	2	6:39	6:49	7:04		14:04	14:34
Sulice, Hlubočinka	2	6:40	6:50	7:05		14:05	14:35
x Sulice, Na Křížkách	2	6:42	6:52	7:07		14:07	14:37
Sulice	2	6:44	6:54	7:09		14:09	14:39
Sulice, rozc. Nechánice	2	6:46	6:56	7:11		14:11	14:41
x Sulice, Biopharm-VÚ	2	6:48	6:58	7:13		14:13	14:43
Kostelec u Křížků	3	6:54	7:04	7:19		14:19	14:49
Kamenice, Skuheř	3	6:56	7:06	7:21		14:21	14:51
Kamenice, U dvora	3	6:58	7:08	7:23		14:23	14:53
KAMENICE, KULT. DŮM	3	7:00	7:10	7:25		14:25	14:55

Zastávky v tarifních pásmech 0 a B jsou na území hl.m. Prahy.

Soft. CHAPS spol. s r.o.

**Obr. 13:** Upravený jízdní řád pro kombinovaný dynamický přístup, zdroj CHAPS; software ASW JŘ

Upravený jízdní řád definuje spojení mezi městem Praha a městem Kamenice. Dle definice jsou v jízdním řádu obsaženy časové sféry, kdy jsou spoje vypraveny statickým přístupem oproti přístupu dynamickému. Po úpravách linkového vedení bylo dosaženo přímosti a přehlednosti spojů linky. Dynamický přístup umožňuje upravovat počty a trasy spojů na základě vnějšího požadavku. Přesto při pohledu na spojení takto významných bodů je důležité odpovědět na otázku, je-li vhodné na této relaci vytvářet jízdní řád dynamickým způsobem. Na této relaci je

---

poptávka po přepravě velkého množství cestujících a vnější požadavky na přepravu mohou být početné a velmi rozdílné, čímž by nemuselo dojít k obslužení všech požadavků.

Při pohledu na takto vytvořený jízdní řád linky je možné dojít k závěru, zda je obecně vůbec možné na území města Prahy objednávat jakákoliv spojení ve vztahu k praktickým i provozním otázkám. Kupříkladu objednávání spojů páteřní dopravy, například metra cestujícím je zcela nereálná představa. Tato otázka není aktuální pouze pro město Praha, ale i další města i oblasti. Ve kterých oblastech je proto možné využít tento způsob dopravní obsluhy a pro které linky je tento dynamický přístup vhodný? Díky požadavkům určit vhodnost linky i oblasti vyvstává nutnost dynamické oblasti a linky rozdělit a definovat. Z tohoto důvodu musí být definován dynamický přístup nejen způsobem fungování, ale také definováním charakteristiky dopravních linek veřejné dopravy a oblastí, kde je možné takto charakteristické linky provozovat.

Pro kompletnost definování a vysvětlení dynamického přístupu ve veřejné hromadné dopravě je využít prvek vyhledávání dopravního spojení pomocí porovnání principů vyhledávání spojení vyhledávacích algoritmů.

Současný stav a fungování dopravní obsluhy VHD je založen na nabídnutí dopravní obsluhy cestujícímu, která je daná a definovaná jízdním řádem - statickým přístupem. Od toho se odvíjí také zmiňované moderní vyhledávací algoritmy, které jsou schopné naplánovat trasu cestujícího, a to i s využitím doplňkové intermodální dopravy. Tedy:

**Cestující dle jeho požadavků získává informaci o optimálně nalezeném dopravním spojení, které je definované jízdním řádem, s možností doplnění dalších navazujících módů dopravy pro dosažení jeho cíle.**

Rozdíl k tomuto řešení a přínosem přístupu dynamické obsluhy této práce je následující:

**Dopravní spojení veřejnou hromadnou dopravou je pro cestujícího VYGENEROVÁNO nezávisle na jízdním řádu a kombinováno s ostatními módy dopravy tak, aby byly optimálně splněny požadavky cestujícího. O tomto spojení následně získává cestující informaci.**

### **Shrnutí dynamického a statického přístupu**

Pro kompletní shrnutí statického a dynamického je vytvořena následující tabulka, která přehledně zobrazuje v jednotlivých bodech rozdíly mezi jednotlivými přístupy.

Statický přístup	Dopravní veličiny a charakteristiky	Dynamický přístup
<p>Využití jednotlivých součástí číselníku a chronometráže pro tvorbu grafikonu a definování obsluhované oblasti</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- definování zastávek/označníků</li> <li>- mezistaniční úseky a vzdálenosti</li> <li>- typy linek a další</li> </ul>	Číselníky a Chronometráže	<p>Využití jednotlivých součástí číselníku a chronometráže pro tvorbu grafikonu a definování obsluhované oblasti</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- definování zastávek/označníků</li> <li>- mezistaniční úseky a vzdálenosti</li> <li>- typy linek a další</li> </ul>
Přesně definované narýsované spoje propojené s trasou a časovou polohou jednotlivých spojů	Grafikon linky	<p>Grafikon přizpůsobený pro přesně definované narýsované spoje propojené s trasou a časovou polohou jednotlivých spojů</p> <p>Grafikon umožňuje v závislosti na rozsahu dynamického přístupu vkládání spojů, které jsou generovány až na základě vnějších požadavků. Tyto spoje nejsou předem do grafikonu začleněny</p>
Zastávkové uzly jsou jasně definované a přiřazené jedné neměnné poloze. Výměna cestujících je umožněna pouze v těchto uzlech	Zastávkové uzly (zastávky stejného názvu pro všechny směry)	Zastávkové uzly jsou jasně definované a přiřazené jedné neměnné poloze. Výměna cestujících je umožněna pouze v těchto uzlech
Trasa spojů je definována dle grafikonu linky a je neměnná. Změnu trasy linky musí schválit zúčastněné subjekty a příslušný dopravní úřad	Trasa spoje linky	Trasa spojů není definována, definována je pouze oblast, kde je možné trasu spoje vygenerovat. Trasa spojů je generována na základě vnějších požadavků
Časová poloha spojů je definována dle grafikonu linky a je neměnná. Změna časové polohy spojů musí schválit zúčastněné subjekty a příslušný dopravní úřad	Časová poloha spoje linky	Časová poloha spojů není exaktně definována, časové polohy spojů jsou proměnné v závislosti na vnějších požadavcích
Spoje linky jsou dány grafikonem, jejich počet je neměnný	Spoj linky	V závislosti na typu dynamického přístupu jsou spoje vypravovány na základě vnějšího požadavku, jejich počet není pevně definovaný

Statický přístup	Dopravní veličiny a charakteristiky	Dynamický přístup
Jízdní řády jsou generované dle grafikonu. Typ jízdního řádu, jeho vysvětlení a vyvěšení je řízeno legislativou a daným dopravním systémem	Jízdní řád	Jízdní řád je proměnný v závislosti na vnějších požadavcích spojené s proměnným grafikonem
Typ dopravního prostředku je dán grafikonem linky pro každý spoj a je neměnný	Typ dopravního prostředku	Přiřazení typu dopravního prostředku na spoj je proměnný na základě vnějších požadavků. Je umožněno využít jiný mód dopravy pro definované spojení
Trasa spojů je neměnná i v případě mimořádných událostí. Změnu trasy musí povolit dispečer provozu po interním schválení. Dlouhodobé výluky schvalují zúčastněné subjekty a dopravní úřad	Mimořádné situace	Na základě vnějších požadavků, v tomto případě aktuálních dopravních dat, je dynamicky měněna trasa spoje
Vyhledané spojení je vyhledáno, respektive definováno ze spojů VHD definovaných v databázi CIS, respektive dle jízdního řádu	Vyhledávací algoritmus spojení	Spojení je vygenerováno na základě hledaného požadavku spojení

**Tab. 1:** Diverzifikování statického a dynamického přístupu k dopravní obsluze

## 4.2 Provozní charakteristika dynamického přístupu

Dle definice popsané a shrnuté v kapitole Statický a dynamický prvek v obsluze území, je dynamickým prvkem myšleno dopravní spojení veřejnou dopravou vypravené nezávisle na jízdním řádu, tedy s proměnou časovou polohou a trasou spoje. Při definování tohoto dynamického prvku v dopravě byly nalezeny nedostatky, které značně ovlivnily, respektive znehodnotily jeho využití v reálném provozu. Těmito hlavními nedostatky byly určeny:

- vhodnost implementace dynamického přístupu v závislosti na typu linky
- vhodnost implementace dynamického přístupu dle charakteristického území

Právě tyto skutečnosti přímo ovlivňují možnost implementace dynamického prvku do veřejné dopravy. Obecně lze tento problém charakterizovat otázkami, kde a na kterých linkách je možné tento dynamický prvek implementovat a má reálný přínos.

### 4.2.1 Charakteristiky a definice linek veřejné hromadné dopravy

Současné dopravní systémy nedefinují přesné označení druhů linek veřejné hromadné dopravy, navíc každý dopravní systém k pojmenování druhu přistupuje individuálně. Při pohledu do oblasti legislativy je dle Zákona 111/1994 Sb. Zákona o silniční dopravě [6] definována veřejná doprava dle linek na linky:

- Veřejná linková doprava
- Zvláštní linková doprava
- Kyvadlová linková doprava
- Náhradní linková doprava

Toto definované rozdělení je zastaralé a v současné legislativě řešené samozřejmě „statickým přístupem“, proto toto rozdělení není přizpůsobeno možnosti implementace dynamiky do dopravní obsluhy. Navíc zákon toto rozdělení definuje hlavně pro účely udělování licencí pro dopravce, nemá tedy přímý vliv na cestující. Dynamický režim dle tohoto rozdělení přichází v úvahu implementovat pod skupinu linek Zvláštní linková doprava, přesto navrhované řešení nemá být řešeno zvláštní linkou, ale linkou standardní, tedy dle rozdělení ve skupině Veřejná linková doprava. Toto rozdělení je pro dynamický přístup svým nastavením velmi obtížně využitelné.

Dalším zákonem, respektive vyhláškou zabývající se linkami veřejné hromadné dopravy je Vyhláška č. 122/2014 Sb. Vyhláška o jízdních řádech veřejné linkové dopravy [7]. Tato vyhláška, podobně jako Zákona 111/1994 Sb. Zákona o silniční dopravě [6] rozděluje linkovou dopravu na:

- 
- Vnitrostátní linky
  - Mezinárodní linky

I toto rozdělení již z podstaty nemá vhodné využití pro definování využití dynamického přístupu ve veřejné dopravě. Cílem možného rozdělení mohou proto být přímo dopravní systémy, které využívají pro své linky jiné názvy a definice. Příkladem dopravních systémů mohou být Pražská integrovaná doprava[14] nebo Integrovaný dopravní systém Jihomoravského kraje[16], které pro svůj popis linek využívají například kategorie:

- Páteřní linky
- Obslužné linky
- Rychlíkové linky
- Dálkové linky

Toto rozdělení je již pro popis dynamického přístupu vhodnější, jelikož rozděluje veřejnou linkovou dopravu dle účelu a charakteristiky pro cestující na konkrétním území. Díky tomuto pojmenování již cestující může určit vlastnosti linky a může se již rozhodnout, jestli linku pro svou charakteristiku využít. Právě účel a charakteristika linky jsou jedny z hlavních parametrů, který může definovat vhodnost nebo nevhodnost použití dynamického přístupu.

#### 4.2.2 Parametry pro definici linek k zařazení dynamického přístupu

Aby bylo možné definovat vhodného rozdělení linek pro dynamický přístup, musí být určeny vlastnosti linky, které mohou ovlivnit její účel a využití. Bude využito charakteristik a přístupu rozdělení již vybraných definovaných skupin linek existujících dopravních systémů, které budou upraveny pro účely dynamiky. Tímto bude pro dopravní systém definována skupina linek, na které bude možné implementovat dynamický přístup a naopak, na které linky tento přístup vhodný není.

Základní charakteristiky linek a spojů veřejné hromadné dopravy jsou známé a jsou již dostatečně popsány v odborné literatuře [18],[19], proto není potřeba tyto parametry zde podrobně popisovat. Pro ucelenost dokumentu a vyzdvíhnutí nejdůležitějších parametrů jsou tyto parametry pouze vyjmenovány a vztaheny k problematice rozdělení linek ve vztahu k dynamickému přístupu.

**Cestovní rychlost linky** je důležitým parametrem při definici linky veřejné hromadné dopravy. Právě rychlost přepravy je nejčastějším důvodem pro cestující, proč veřejnou hromadnou dopravu využívají nebo naopak nevyžívají. Ovlivňujícím faktorem zmíněné cestovní rychlosti linky je poté **počet zastávek na trase linky**. Tento parametr může být dále vztahen k problematice, v jakém místě se dané zastávky nacházejí. Pokud se nenacházejí na přímé trase linky spojující

hlavní body poptávky, může docházet k opuštění hlavní přirozené trasy linky, a tedy k výraznému ovlivnění **Přímosti trasy linky**. Dochází tím k teoretickému zvýšení nabízené obsluhy v přílehlých obcích, ale velmi tím trpí cestovní rychlost linky a právě přímost. Obecně zajíždění linky pro obsluhu oblastí a vytváření takzvaných zázleků linky, je základním problémem celé řešené problematiky dynamické obsluhy.

Z hlediska cestujícího může zajíždění spojů do konkrétních oblastí způsobit snížení **Srozumitelnosti linky**, jelikož zajíždění je velmi často nepravidelné a jízdní řád obsahuje výjimky. Charakteristiku a účel linky ovlivňuje ve vztahu k cestujícímu také **Přepravní kapacita vozidla** i **Hustota intervalu**, obecně nabízená kapacita přepravy pro dané dopravní spojení. Doplňkovým parametrem může být také **Pohodlnost vozidla**, která ale nemusí být nutně rozdílná v závislosti na rozdělení linek.

#### 4.2.2.1 Zázleky linek

Parametry cestovní rychlosti a přímosti trasy přímo souvisí s problematikou zajíždění spojů linky do oblastí mimo přirozenou přímou trasu linky. V rámci dopravní terminologie jde o zázleky na lince veřejné hromadné dopravy. Zázlek na lince je uplatňován v případech, kdy je možné obsloužit oblasti v blízkosti hlavních tras linek. V oblasti s roztroušenými oblastmi jsou však zázleky využívány ve velkém množství, a to i na dlouhé vzdálenosti. Díky tomu v regionální dopravě stoupá diverzita spojů a snižuje se srozumitelnost linek. Spolu s tím dochází k prodlužování cestovních dob. Tento dopravní problém byl podrobně popsán v úvodních kapitolách tohoto dokumentu. Důležité je si uvědomit, že právě množství zázleků a jejich charakteristiky mohou ovlivnit vlastnosti linek a jejich účel. Pro definování skupin linek je proto nutné v první řadě definovat a popsat zázleky linek veřejné hromadné dopravy.

Pro účely nalezení, popisu a definice zázlekových situací na linkách veřejné hromadné dopravy byl analyzován dopravní systém Pražské integrované dopravy. V rámci tohoto systému byly postupně podrobně rozebrány současné příměstské linky a byly zaznamenány existující zázleky. Na základě této analýzy je možné pozorovat různé způsoby vytváření zázleků, respektive různé způsoby opuštění přirozené trasy danou linkou. Tyto způsoby je možné zhodnotit a definovat tímto kategoriemi typů zázleků. Kategorie byly pro účely této práce vytvořeny vhodností použití ze zkušeností z reálného provozu. Tyto typy zázleků slouží následně jako důležitý prvek při klasifikaci linek veřejné hromadné dopravy.

Na následujícím obrázku **Obr. 14**: Výřez kategorizace zázleků PID je zobrazen výřez databáze analyzovaných linek PID a jejich přiřazených typů zázleků.



Linka PID	Trasa linky	Délka dráhy bez závleku [km]	Délka závleku [km]	Ztrátová délka závleku [km]	Čas trasy bez závleku [min]	Čas závleku [min]	Ztrátový čas závleku [min]
300	Nádraží Veleslavín - Kladno, U Kostela	1,70	2,30	0,60	1	4	3
303	Černý Most - Říčany, Wolkerova	0,00	1,10	1,10	0	3	3
		0,00	0,50	0,50	0	2	2
		0,00	0,56	0,56	0	2	2
		0,00	0,32	0,32	0	2	2
		0,00	3,00	3,00	0	4	4
		0,00	0,79	0,79	0	2	2
309	Zličín - Nádraží Radotín	0,00	0,34	0,34	0	2	2
		1,70	4,50	2,80	2	8	6
		2,20	3,60	1,40	2	7	5
310	Zličín - Rudná, zdrav.stř	0,00	0,34	0,34	0	2	2
		1,40	2,70	1,30	2	6	4
		0,00	0,92	0,92	1	3	2
311	Zličín - Řevnice,nám.	1,80	2,60	0,80	3	8	5

Obr. 14: Výřez kategorizace závleků PID

Pro takto zvolené závleky, které byly nalezeny a vypočítány dle trasování linek, byly vytvořeny kategorie, do kterých lze zpětně takto nalezené závleky přiřadit. Cílem analýzy nebylo zjistit pouze druhy závleků, ale také vliv závleku na standardní provoz, respektive najíždění kilometrů a také ztrátové časy. V závislosti na počtu spojů a hodnotách závleků byly tyto hodnoty stanoveny. Na následujícím obrázku je možné vidět výřez dalších parametrů linek a nalezených závleků.

Linka PID	Trasa linky	Počet spojů směr 1 [Po - Pá]	Počet spojů směr 2 [Po - Pá]	Počet spojů směr 1 [So - Ne]	Počet spojů směr 2 [So - Ne]	Najetých ztrátových Km v závleku/den [Po - Pá]	Najetých ztrátových Km v závleku/den [So - Ne]	Čas závleků [min] [Po - Pá]	Čas závleků [min] [So - Ne]
300	Nádraží Veleslavín - Kladno, U Kostela	41	41	19	19	49,2	22,8	328	152
303	Černý Most - Říčany, Wolkerova	27	0	18	0	29,7	19,8	81	54
		0	31	0	18	15,5	9	62	36
		7	29	0	0	20,16	0	72	0
		7	7	0	0	4,48	0	28	0
		2	1	0	0	9	0	12	0
		7	7	0	0	11,06	0	28	0
309	Zličín - Nádraží Radotín	9	9	0	0	6,12	0	36	0
		10	9	0	0	53,2	0	152	0
		10	9	0	0	26,6	0	133	0
310	Zličín - Rudná, zdrav.stř	17	19	10	10	12,24	6,8	72	40
		17	19	10	10	46,8	26	216	120
		7	19	0	10	23,92	9,2	78	30
311	Zličín - Řevnice,nám.	22	22	6	5	35,2	8,8	352	88

Obr. 15: Výřez hodnocení závleků PID

Jak je možné pozorovat na výřezech hodnocení závleků, pro klasifikaci závleků byly v souhrnu definovány a měřeny parametry, které jsou provozně podstatné nejen pro cestujícího, ale také pro provozovatele dopravy.

Parametry závlaků	
Závlak od zastávky	Informace, od které zastávky je závlak započítán. V závislosti na síti komunikaci i umístění zastávky nemusí být možné tento parametr definovat
Závlak do zastávky	Informace, do které zastávky je závlak započítán. V závislosti na síti komunikaci i umístění zastávky nemusí být možné tento parametr definovat
Počet zastávek v závlak	Informace o počtu cílových zastávek na trase závlak
Délka dráhy bez závlak [km]	Hodnota vzdálenosti, kterou vozidlo urazí na své trase, pokud by neopustilo svou přirozenou přímou trasu
Délka závlak [km]	Hodnota vzdálenosti, kterou vozidlo urazí na trase závlak při opuštění své přirozené přímé trasy
Ztrátová délka závlak [km]	Hodnota rozdílu vzdálenosti mezi přímou trasou a trasou závlak
Čas trasy bez závlak [min]	Hodnota času, kterou vozidlo pojede po své přirozené přímé trase
Čas závlak [min]	Hodnota času, kterou vozidlo pojede na trase závlak
Ztrátový čas závlak [min]	Hodnota rozdílu času mezi přímou trasou a trasou závlak
Počet spojů směr 1	Počty spojů v jednom ze směrů linky, které zajíždějí do úseku závlak (s rozdělením pracovních dnů a víkendu)
Počet spojů směr 2	Počty spojů ve druhém směru linky, které zajíždějí do úseku závlak (s rozdělením pracovních dnů a víkendu)
Najetých ztrátových Km v závlak/den	Hodnota ztrátových kilometrů získaná v závislosti na délce závlak a počtu spojů
Čas závlaků [min]	Celková hodnota času závlaků, v závislosti na délce závlak a počtu spojů

Tab. 2: Parametry závlaků linek

Díky naměřeným hodnotám je možné určit zdržení na lince, kolik kilometrů vozidlo najezdilo z důvodu závlaků, a tedy je možné současný stav linkového vedení linek opět klasifikovat. Zároveň tyto hodnoty mohou složit pro zhodnocení efektivnosti provozu a mohou být zdrojem dat pro budoucí trasování linek veřejné hromadné dopravy. Na základě těchto znalostí byly definovány klasifikace závlaků i jejich hodnocení ve vztahu k provozu.

Kategorie a klasifikace závlaků z analyzovaných podkladů pro účely této práce, jsou shrnuty v následující tabulce **Tab. 3**: Klasifikace závlaků linek veřejné hromadné dopravy. Jako hlavní dvě kategorie závlaků lze definovat závleky se stejnou zpáteční trasou nebo závleky objížděné.

Klasifikace závků	Vysvětlení
Stejná zpáteční trasa závleku – <b>Krátký</b> – Do místních částí obce	Závlek v rámci obce, který celkovou délkou nepřesáhne 1000 m. Linka se vrací po stejné trase.
Stejná zpáteční trasa závleku – <b>Dlouhý</b> – Do místních částí obce	Závlek v rámci obce, který celkovou délkou přesáhne 1000 m. Linka se vrací po stejné trase.
Stejná zpáteční trasa závleku – Do samostatných malých obcí	Závlek do obce/obcí, kdy každá obec má méně než 500 obyvatel. Linka se vrací po stejné trase.
Stejná zpáteční trasa závleku – Do samostatných větších obcí	Závlek do obce/obcí, kdy alespoň jedna obec má více než 500 obyvatel. Linka se vrací po stejné trase.
Krátký objízdny závlek odchýlený od hlavní trasy	Závlek je tvořen trasou, která je odchýlena od hlavní trasy, s délkou závleku kratší než 500 m
Objízdny závlek do sídel do 500 obyvatel	Závlek je tvořen trasou, která je odchýlena od hlavní trasy, obsluhující obce s maximálně 500 obyvateli
Objízdny závlek do sídel nad 500 obyvatel	Závlek je tvořen trasou, která je odchýlena od hlavní trasy, obsluhující obce s minimálně 500 obyvateli

**Tab. 3:** Klasifikace závků linek veřejné hromadné dopravy

Ve výrezích nalezených dat jsou pro jednotlivé linky již přiřazeny nalezené závleky. Na základě definovaných klasifikací závků jsou konkrétní již nalezené závleky PID klasifikovány a přesně vysvětleny na základě zasazení do reálného stavu provozu.

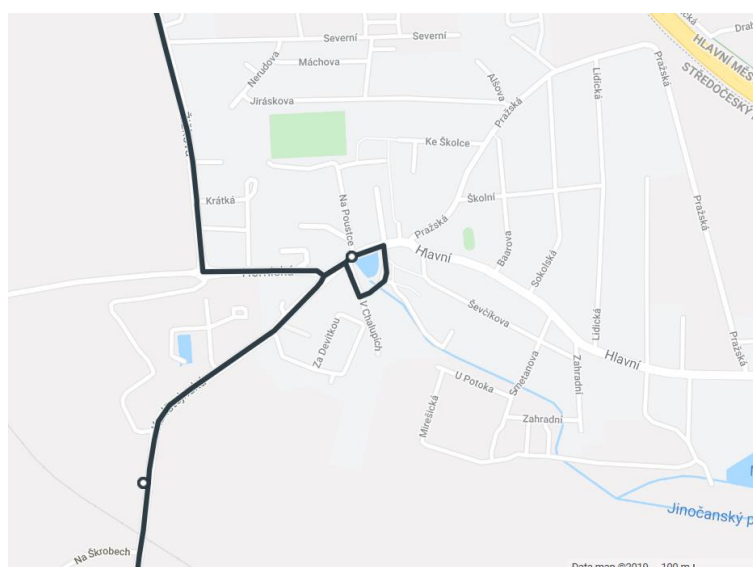
### Úprava parametru počtu obyvatel v dané obci

Při posouzení zadaného parametru počtu obyvatel v obci je tento parametr dostatečný. Je možné předpokládat logickou úvahou, že čím více obyvatelstva bydlí v dané obci, tím je větší teoretická poptávka po přepravě. Ne vždy však toto tvrzení platí a je vhodné rozšířit parametr počet obyvatel o doplňující proměnnou. Touto proměnnou je skladba obyvatelstva, která velmi ovlivňuje nejenom poptávku po přepravě, ale také velikost poptávky v závislosti na denní době. Pokud je skladba obyvatelstva převážně tvořena bohatými obyvateli, je pravděpodobné, že i v případě vyššího počtu obyvatelstva, nebude dosahovat poptávka předpokládaných hodnot. Podobně, pokud bude skladba obyvatelstva tvořena spíše obyvateli důchodového věku, nemusí docházet k vysoké poptávce po přepravě ve standardním špičkovém období.

Při vyvážení posouzení vhodnosti určení dynamické linky pomocí parametru závleku je tedy nutné přihlížet na doplňující proměnnou, a to složení typu obyvatelstva.

**Krátký závlek se stejnou zpáteční trasou závleku – místní části obce**

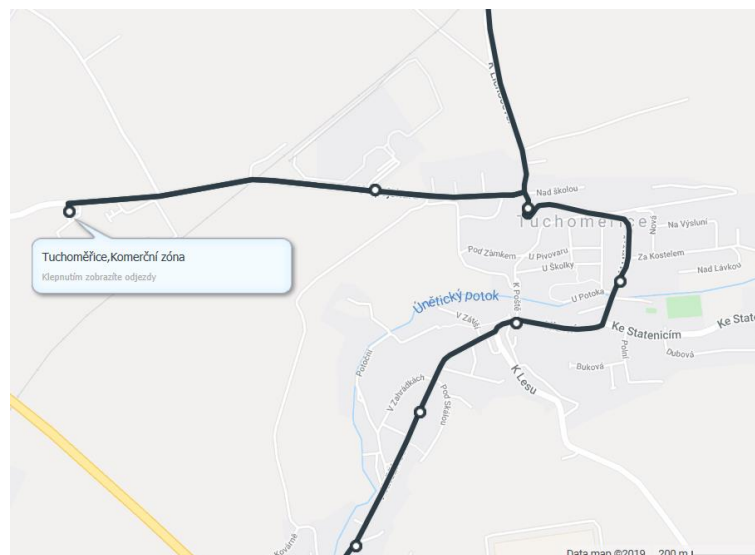
Tento závlek je charakterizován trasou linky na území obce. V rámci této obce nepřesáhne délka závleku v celkové délce 1000 m. Tento závlek je častým jevem s přestupními uzly nebo s pouze jednou zastávkou na území obce, kam je nutností zajet, aby byla dodržen smysl obsluhy. Často je tento závlek nutným prvkem dopravní obsluhy a není vhodné ho vypustit. Na následujícím obrázku je uveden krátký závlek na lince PID 100310, která obsluhuje obec Jinočany. Linka sjíždí z hlavní trasy a objíždí náves, poté se vrací zpět na svou trasu. Svou trasou závlek nepřekročil stanovenou délku 1000 m. Tato hodnota byla stanovena na základě odborných konzultací a zkušeností z provozu ve vztahu k vlivu časového zdržování spojů veřejné hromadné dopravy.



**Obr. 16:** Krátký závlek se stejnou zpáteční trasou závleku – místní části obce Jinočany, Linka 310; zdroj PID, CHAPS

### Dlouhý závlek se stejnou zpáteční trasou závleku – místní části obce

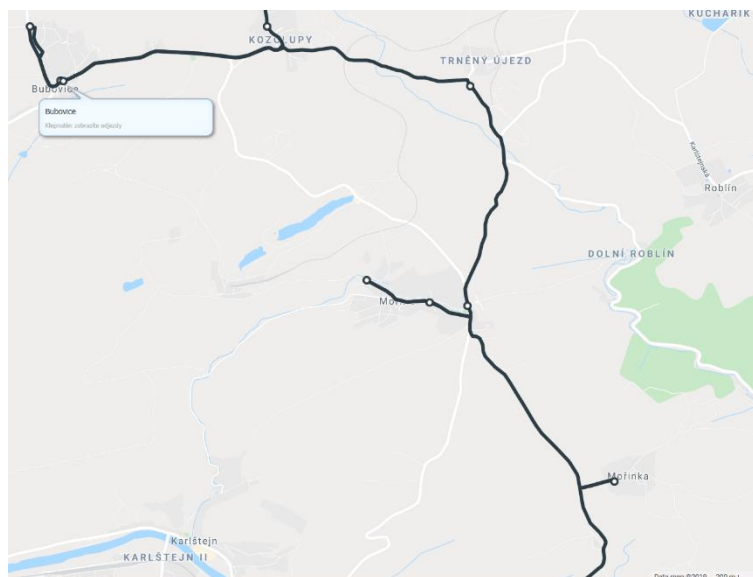
Stejně jako krátký závlek je i tento závlek tvořen na území obce. Rozdílem je poté jeho délka a s tím i zdržení spoje na závlekové trase. Trasa závleku je vedena po stejné zpáteční trase. Příkladem tohoto závleku je trasa linky PID 100312, která svou trasou zajíždí do zastávky Tuchoměřice, Komerční zóna a poté se vrací do přirozené trasy.



**Obr. 17:** Krátký závlek se stejnou zpáteční trasou závleku – místní části obce Tuchoměřice, Linka 312; zdroj PID, CHAPS

### Závlek se stejnou zpáteční trasou závleku – samostatné malé obce

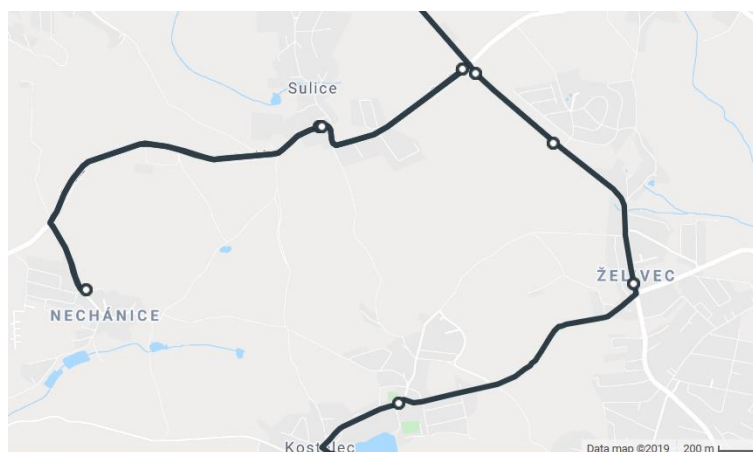
Dalším klasifikačním stupněm je již závlek v extravilánu. Účelem tohoto závleku je vytvořit obsluhu obce, která se přímo nenachází na trase spoje a zároveň nemá více než 500 obyvatel. Tato hodnota je stanovena předpokládanou poptávkou po přepravě pro daný počet obyvatel. Často je tento závlek zdrojem prodlužování cestovních dob spoje, který je na základě malé předpokládané poptávky cestujících zbytečný. Dochází tím ke snížení atraktivnosti spojení pro již přepravované cestující. Příkladem takového závleku je opakovaný závlek tohoto typu na trase linky PID 100311. Závleky jsou do obcí Bubovice a Mořinka. Do obce Mořina je závlek klasifikovaný jako větší obec nad 500 obyvatel, závlek je však jasně viditelný.



**Obr. 18:** Závlek se stejnou zpáteční trasou závleku – Samostatné malé obce Bubovice a Mořinka, Linka 312; zdroj PID, CHAPS

### **Závlek se stejnou zpáteční trasou závleku – samostatné větší obce**

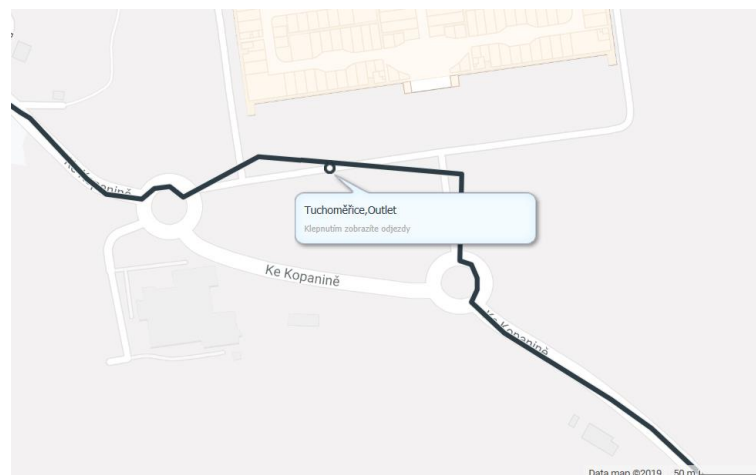
V tomto případě závleku se opět jedná o závlek do samostatné obce, tato obec již dosahuje počtu alespoň 500 obyvatel, čímž zvyšuje pravděpodobnost poptávky po přepravě cestujících. Závlek linky je opět tvořen stejnou zpáteční trasou. Příkladem pro tento závlek může být linka PID 100335, která svým závlekem obsluhuje obec Sulice. Součástí závleku je také menší obec Nechánice.



**Obr. 19:** Závlek se stejnou zpáteční trasou závleku – Samostatné velké obce Sulice, Linka 335; zdroj PID, CHAPS

### Krátký objízdny závlak odchýlený od hlavní trasy

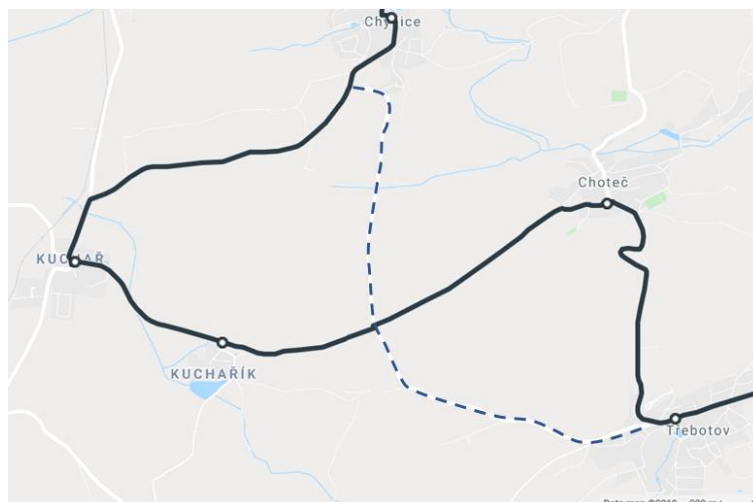
Druhou skupinou závlaků je objízdny závlak. Oproti předchozí skupině nevyužívá, pro obsluhu částí mimo přirozenou trasu, sejnou trasu pro návrat. Pro návrat na svou přirozenou trasu je využito jiných komunikací. Díky tomu je ušetřena najetá vzdálenost spoje a je umožněno obsloužit další oblast. Oproti původní přirozené trase však stále dochází k najíždění většího počtu kilometrů. Často tento závlak bývá pouze sjetí z obchvatu obce a týká se tedy i hlavních linek. Definice pro tento závlak stanovuje délku závlaku maximálně 500 metrů. Příkladem tohoto závlaků je linka PID 100312, která opouští svou trasu z důvodu obsluhy obchodního centra.



**Obr. 20:** Objízdny závlak do délky 500 m, Tuchoměřice, Outlet, Linka 312; zdroj PID, CHAPS

### Objízdny závlak do sídel do 500 obyvatel

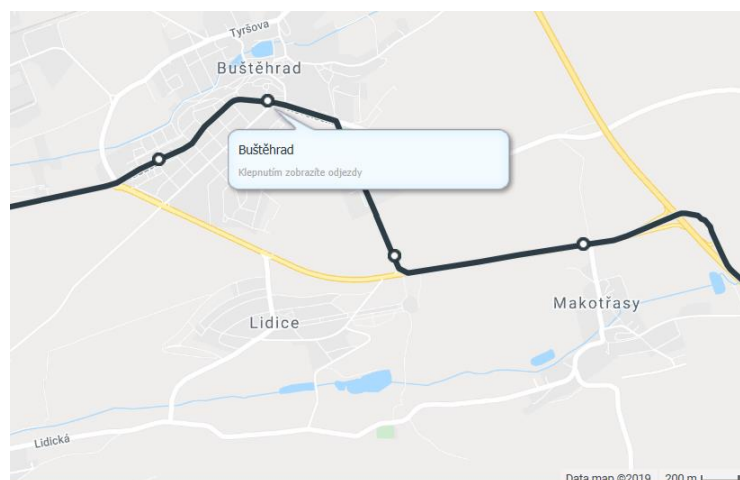
Objízdny závlak dalšího typu je definovatelný na základě poptávky po přepravě, tedy počtu obyvatel v dané oblasti, kde je tento závlak implementován. Stejně jako závlak po stejné trase, i zde je rozhodující hodnota 500 obyvatel. Přesným příkladem tohoto závlaků je trasa linky PID 100309 do obcí Kuchařík a Kuchař a také Choteč. Linku je možné vést po ideální trase po hlavní komunikaci II/101 mezi Chýnicí a Třebotovem.



**Obr. 21:** Objízdny závlek do sídel do 500 obyvatel, Kuchařík, Kuchař, Linka 309; zdroj PID, CHAPS

### Objízdny závlek do sídel nad 500 obyvatel

Poslední kategorií závleku je objízdny závlek do sídel nad 500 obyvatel. Poptávka obyvatel je opět hlavním měřítkem pro kategorizování závleku. Vhodným příkladem tohoto závleku je trasa linky PID 100300, která je hlavní linkou pro spojení obcí Praha a Kladno. V závlekovém úseku je obec Buštěhrad.



**Obr. 22:** Objízdny závlek do sídel nad 500 obyv., Buštěhrad, Linka 300; zdroj PID, CHAPS

Pro popis linky a jejích závleků bylo nalezeno a definováno 7 typů závleků. Všechny tyto závleky lze pozorovat na současných trasách linek VHD. Při samotné definici závleků je podstatné určit nejen typ závleku, ale je také potřeba ještě určit a rozlišit jejich smysl. Dochází k situacím, kdy je vytvořen závlek, přesto je zcela účelný a v případě, že by na trase linky chyběl, došlo by k výraznému degradování účelnosti linky. Často je tento závlek do částí obce, kde je možné vytvořit přestupní vazby nebo je díky závleku obsluhována důležitá obytná oblast s vysokou poptávkou po přepravě. Nelze proto jednoduše generalizovat význam a užitek závleku, i když se



jedná o jeho stejný typ. Předchozí typové rozdělení tedy nestačí pro kompletní popis a definici závlaků tak, aby ho bylo možné využít pro popis a definování dynamické obsluhy.

Pro kompletnost popisu závlakových situací je nutné přidat proměnný parametr jednotlivým typům závleku, který se může dle parametrů nastávajících v reálném provozu měnit. Důležitost závlaků lze parametry v provozu měnit. Například díky vybudované infrastruktuře je nutné vytvořit závlek do železniční zastávky pro přestup cestujících. V případě, že by byla provedena stavební úprava stávající infrastruktury, například vytvoření nové zastávky, nemuselo by k závlakům docházet. Příkladem může být oblast zastávek Nádraží Klánovice (Sever).

Závleky ale mohou mít standardní význam, kdy je snahou obsloužit co největší oblast, ale dochází tím ke všem dříve zmiňovaným problémům, například zdržování spojů, nevyužití nabízené kapacity a podobně. Mohou ale nastat opačné situace, kdy závlek je neoddelitelnou součástí linky a bez něho by daná linka přestala mít smysl nebo by její význam pro cestující výrazně klesl. V následující tabulce jsou popsány základní doplňující parametry typů závlaků veřejné hromadné dopravy, které je také nutné při posuzování účelnosti zavedení dynamické složky dopravy posoudit.

Hodnocení závleku	Vysvětlení
Standardní závlek	Standardně vytvořený závlek
Nutný závlek ve vztahu k obslužnosti území	Nutný závlek, který je velmi obtížné z dopravního hlediska odstranit. (Velké obce, ...)
Závlek možné odstranit stavební nebo organizační úpravou	Standardní závlek, který je možné odstranit zásahem do stávající infrastruktury nebo organizace provozu
Nutný závlek/možné odstranit stavební úpravou	Nutný závlek, který ale lze odstranit zásahem do stávající infrastruktury nebo organizace provozu

**Tab. 4:** Hodnocení závlaků

#### 4.2.2.2 Křivolakost linky

Definice závlaků přímo souvisí s novým pojmem, spojenou s klasifikací linek pro dynamickou obsluhu, kterým je křivolakost linky. Křivolakost linky je definována přímo pro potřeby této práce a problematiky dynamického provozu. Tento pojem již svým názvem přímo naznačuje, že se jedná o zakřivení trasy linky. Často je tento pojem využíván pro popis silnic a komunikací, určující množství a úhlové zakřivení oblouků na určité délce trasy. Čím větší je křivolakost této silnice, tím více obsahuje popisovaný úsek oblouků na dané trase. Tento pojem je pro účely definování problematiky dynamické obsluhy převzatý, respektující jeho smysl a význam. Křivolakost linky je určena počtem závlaků ve vztahu k délce závleku a také k počtu zastávek na daném úseku. K tomu je využito definic závlaků z předchozích částí této kapitoly.

Pro získání vypovídajících a určujících hodnot křivolakosti musí být definovány koeficienty závleků.

### **Koeficient ztrátového času**

Tento koeficient vychází z poměru ztrátového času závleku, tedy závislost, kolik času je potřeba pro obslužení závlekového úseku ve vztahu k počtu cestujících, které tento závlek obsluhuje. Počet cestujících je brán jako poptávka po přepravě, tedy průměrný počet nastupujících i vystupujících. Tento údaj lze získat pro konkrétní zastávky nebo zastávkové úseky dle statistik dopravních průzkumů. Koeficient  $k_t$  lze získat vztahem:

$$k_t = \frac{(T_z + T_c)}{(N_n + N_v)}$$

Kde celková hodnota čitatele  $T$  vyjadřuje čas, který je nutný pro obsluhu daného závleku dle jeho kategorie. Tato hodnota času je získána součtem ztrátového času jízdy vozidla v daném závlekovém úseku dle jeho druhu  $T_z$  a časem potřebným pro výměnu cestujících v zastávkách  $T_c$ . Hodnota jmenovatele  $N$  udává počet cestujících dle poptávky po přepravě. Tato hodnota tvořena součtem hodnot  $N_n$ , udávající počet nastupujících a hodnota  $N_v$ , počet cestujících vystupujících v závlekovém úseku. Hodnota koeficientu je v jednotkách [min].

V případě neznalosti údajů o aktuální poptávce cestujících lze výpočet koeficientu zjednodušit a použít namísto hodnot  $N_n$  a  $N_v$  hodnoty počtu zastávek  $N_z$ . Tento koeficient má nižší vypovídací schopnost, přesto může sloužit jako doplňkový zdroj informací o dané lince ve vztahu k závlekovému úseku. Tento koeficient je možné označit  $k'_t$

$$k'_t = \frac{(T_z + T_c)}{N_z}$$

### **Koeficient ztrátové vzdálenosti**

Pro tento koeficient je podstatným hlediskem ztrátová vzdálenost na závlekovém úseku. Hodnota koeficientu udává vztah potřebné ujeté vzdálenosti k průměrnému počtu cestujících, kteří poptávají spojení v daném úseku. Celková dráha závleku  $\Delta X$  je dána rozdílem délky závleku  $X_z$  a délkou dráhy bez závleku  $X_b$ . Díky rozdílu těchto hodnot je získána hodnota, odpovídající přesné vzdálenosti, která je vozidly v závleku najížděna. Tento rozdíl hodnot má smysl pouze při objížděném závleku.

$$k_s = \frac{(X_z - X_b)}{(N_n + N_v)}$$

Hodnoty  $N_n$  udává počet nastupujících a hodnota  $N_v$  počet cestujících vystupujících v závlekovém úseku stejně jako v koeficientu ztrátového času. Hodnota koeficientu je v jednotkách [km].

Obdobně je možné vypočítat koeficient, který udává ztrátovou vzdálenost, je však oproti poptávce cestujících založen na počtu zastávek na závlekovém úseku. Přesnost je zde opět nižší, pro získání vypovídající hodnoty lze vak zadat i bez dopravních průzkumů.

$$k'_s = \frac{(X_z + X_b)}{N_z}$$

Na základě výpočtů jednotlivých parametrů je možné ohodnotit stávající linkové vedení v oblasti. Toto ohodnocení určuje, jakým způsobem linka prochází skrz dané území. Ve vztahu k dynamickému provozu je popis průchodu oblastí indikátorem o struktuře oblasti a zároveň o možnostech kategorizace jednotlivých linek v území. Křivolakost linky lze také ve vztahu k dynamickému provozu nazvat symptomem, kde lze tento dopravní systém nasadit.

V následující tabulce jsou uvedeny hodnoty, které odpovídají jednotlivým stupňům křivolakosti. Vyšší hodnoty křivolakosti signalizují větší potenciál pro implementaci dynamického provozu.

	Nízká křivolakost	Střední křivolakost	Vysoká křivolakost
Ztrátová dráha závleku/Počet cestujících [km]	$\leq 0,5$	0,5 - 2	2 >
Ztrátová dráha závleku/Počet zastávek v závleku [km]	$\leq 1$	1 - 3	3 >
Ztrátový čas závleku/Počet zastávek v závleku [min]	$\leq 2$	2 - 5	5 >
Ztrátový čas závleku/Počet cestujících [min]	$\leq 2$	2 - 5	5 >

**Tab. 5:** Křivolakost linky

V případě hodnot pro nízkou křivolakost je předpokladem, že linka splňuje požadavky na rychlou a přímou obsluhu území, zdržení na lince je minimální, respektive účelné vzhledem k poptávce cestujících.

V případě hodnot pro střední křivolakost je předpokladem, že již linka nespĺňuje požadavky na rychlou a přímou obsluhu území. V tomto případě je nutné hodnotit a porovnat více parametrů. Zdržení na lince je střední, může být stále účelné vzhledem k poptávce cestujících.

V případě hodnot pro vysokou křivolakost je předpokladem, že linka již nespĺňuje požadavky na rychlou a přímou obsluhu území, linka je tvořena výraznými závleky a nalézá se v území, kde je potřeba obsloužit roztroušené obce, které se nenacházejí na hlavních trasách. Zdržení je již výraznější, poptávka cestujících je minimální. Linky mají účel zajištění alespoň minimálního počtu spojů do daných obcí. Tento typ linky má vysoký potenciál pro dynamickou obsluhu území.

### 4.3 Definice linek pro dynamickou obsluhu oblasti

V předchozí části této kapitoly byly definovány parametry, které ovlivňují vlastnosti linek veřejné hromadné dopravy. Tyto vlastnosti jsou rozhodující pro rozdělení linek tak, aby mohly být implementovány do dynamického provozu obsluhy území. Pro dynamický režim je oproti současným vlastnostem linky podstatná skutečnost, je-li možné měnit svou trasu. Aby dopravní systém zůstal pro cestujícího přehledný, je nezbytné definovat přesné vlastnosti linky, kterou je možné provozovat pouze za účelem dynamického provozu. Již bylo při popisu systému zmíněno, že některé linky určitých kategorií nelze na dynamickou oblast implementovat, a to hlavně z funkčního hlediska. Příkladem byla obsluha linky 355 v zastávce Praha,, Budějovická (**Obr. 12**), kdy není reálné, aby provoz v takto velmi vytížené zastávce fungoval dynamicky, tedy pouze na objednávku cestujících.

Pro účely dynamické obsluhy byly definovány na základě vlastností následující typy linek:

- Páteřní linky
- Obslužné linky
- Dynamické linky

Tyto linky lze přirovnat k oběhové soustavě dopravního systému – tepny – žíly – vlásečnice. Posuzovat dopravní systém lze z více rovina a rozlišovacích úrovní. Pro popis definice linek je volena základní rozlišovací úroveň pro popis obcí a spojení mezi nimi. Nejedná se o popis na úrovni samotných obcí.

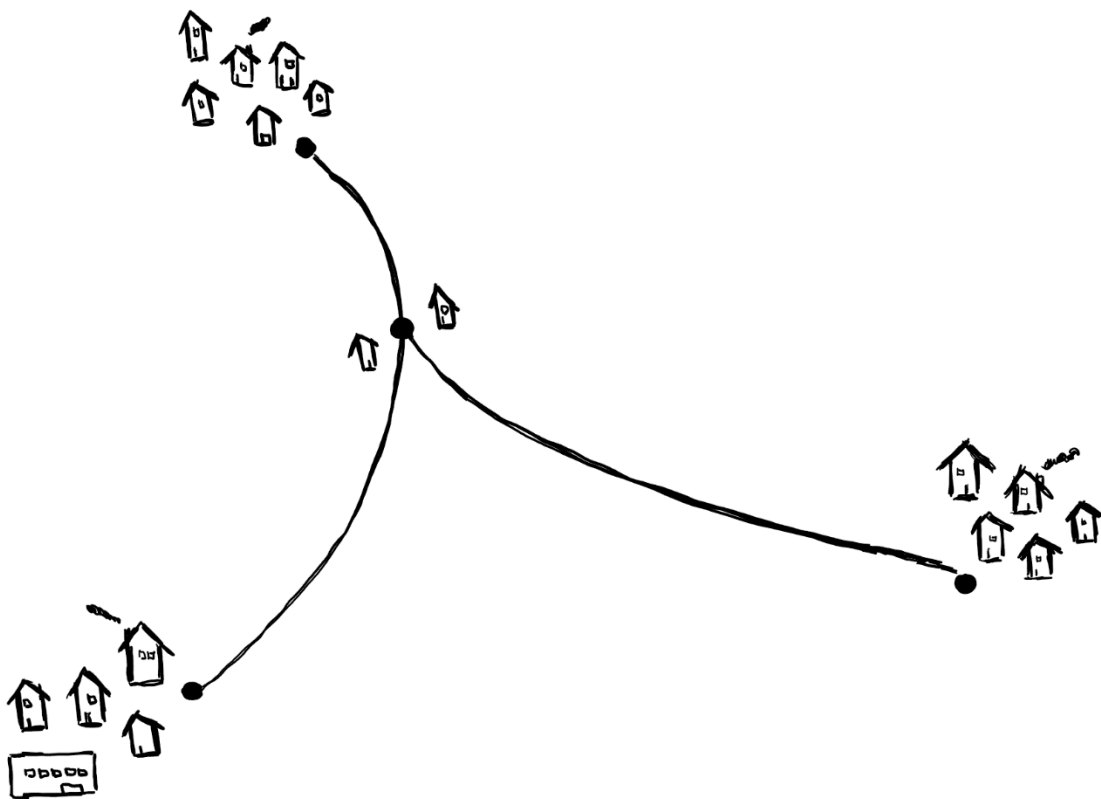
Pro použití nového rozdělení linek je předpokladem, že současné linky budou pro tyto účely svým typem upraveny.

#### 4.3.1 Páteřní linky

Vlastnosti páteřních linek se příliš neliší od vlastností současných hlavních páteřních linek. Tyto vlastnosti jsou pouze zvýrazněny pro potřeby dynamické obsluhy, jelikož mohou být cílem přestupu cestujících právě z dynamických linek. Cílem těchto linek je převoz cestujících přímou trasou mezi hlavními obytnými celky. Tyto linky jsou trasově přímé a jsou tvořeny často kapacitními dopravními prostředky, mezi které je možné zařadit standardní železniční dopravu, kapacitní příměstskou tramvajovou dopravu nebo významné autobusové linky. Účelem těchto linek je kapacitní obsluha oblasti, na kterou jsou cestující převedeni i z ostatních oblastí konkrétního území linkami nižšího významu.

Páteřní linky musejí splňovat následující předpoklady:

- Přímost spojení linky mezi hlavními body zájmu (města, větší obce, spádové oblasti)
- Linka spojuje obce s vyšší poptávkou po přepravě, s vyšším významem v daném území
- Krátké cestovní doby linky ve spojitosti s trasou
- Trasa linky není tvořena výraznými závleky
  - Koeficienty pro ztrátové časy a ztrátovou vzdálenost spadají do hodnot nízké křivolakost
- Trasa linky je stálá, není proměnná v čase
- Spoje linky mají krátký a pravidelný interval, četnost spojů nabízí vysokou kapacitu přepravy pro danou oblast obsluhy
- Na linku jsou vypravována kapacitní vozidla, pro dosažení nabídky komfortní kapacity přepravy
- Na linku jsou vypravována kvalitativně i kapacitně stejná vozidla v průběhu celého času fungování linky
- Možnost vyšší docházkové vzdálenosti
- **Všechny vypravené spoje jsou vázány na jízdní řád**



Obr. 23: Schéma páteřních linek dynamického systému obsluhy

### 4.3.2 Obslužné, návazné regionální linky

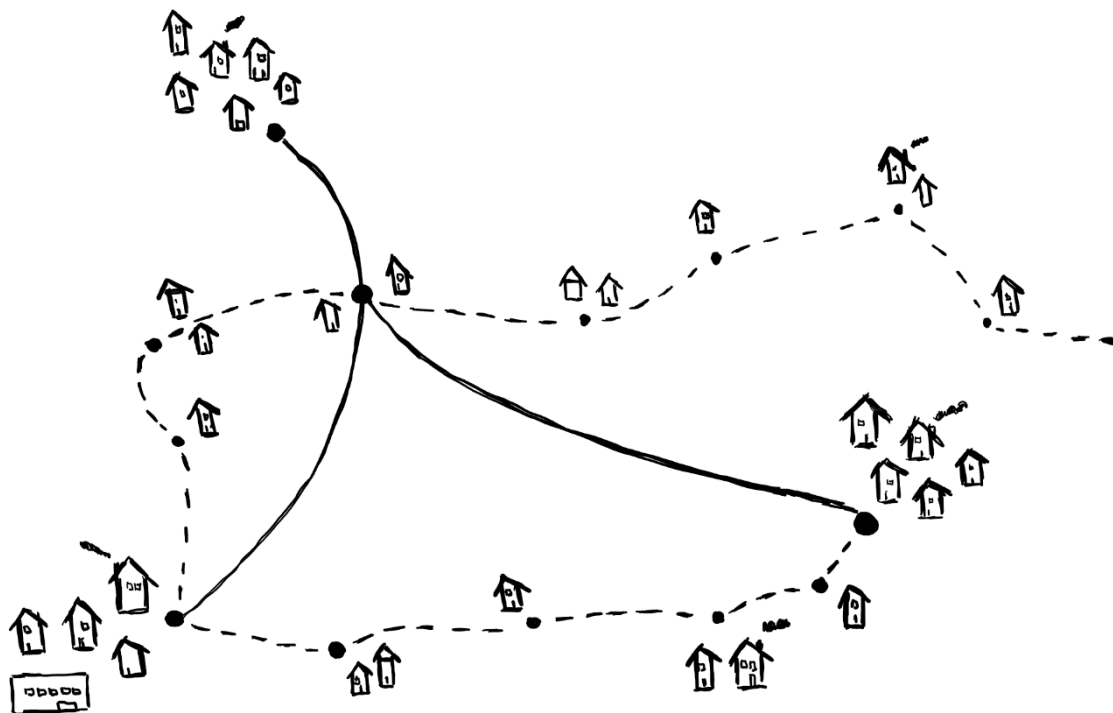
Obslužné linky mají za cíl obsloužit území a jednotlivé obytné celky s pravidelnou poptávkou po přepravě. Tato poptávka může být generována menšími obcemi, významnějších zájmových oblastí nebo spádovou oblastí v regionu. Tento druh linky vytváří pro regiony, neležící na hlavních trasách, spádovou linku nižšího významu než linky páteřní. V regionálním území však mají vyšší obslužnou hodnotu a mají parametr významného spojení, které pro toto území vytváří základní obslužnost. Linkové vedení v daném regionu je většinou přímé, oproti páteřním linkám se zde již mohou objevovat závleky do obcí v blízkosti hlavní trasy linky. Vzhledem k hodnotám křivolakosti mohou tyto linky spadat do hodnot střední křivolakosti.

Tyto linky tvoří spojení, které může být nezávislé, tedy cestující využijí tuto linku pro celou trasu své přepravy, většinou jsou však tyto linky závislé na ostatních linkách a na přestupu na ně. Pro tyto linky tedy vzniká potřeba návaznosti, nejčastěji na páteřní linky, které nabídnou návaznou dopravu do cíle cestujícího. V opačném směru cestování jsou to právě obslužné linky, které vyčkávají na příjezdy spojů páteřních linek. Na těchto linkách se objevuje stálá poptávka po přepravě, je však oproti páteřním linkám nižší, a proto jsou na tyto linky nasazována vozidla s nižší kapacitou. Nižší poptávce je přizpůsoben také interval vypravených spojů linky. Spoje tohoto druhu linky jsou stále pevně vázány na jízdní řád.

Obslužné linky musejí splňovat tyto parametry:

- Linka spojující menší regionální body, které vykazují pravidelnou poptávku po přepravě. Trasa obsluhuje i malé obce
- Linka tvoří v regionu spádovou linku, oproti páteřním linkám ale nižšího významu
  - Tvoří přímé spojení sídel s nižší poptávkou
- Linka je charakterem provozu většinou závislá na ostatních linkách
  - Návaznost na páteřní linky pomocí přestupních bodů
- Trasa linky může obsahovat kratší závleky, a tedy větší ztrátové časy
  - Křivolakost linky může dosahovat hodnot střední křivolakosti
- Na linku jsou vypravována vozidla s nižší kapacitou
- Prodloužený, v některých časech i nepravidelný interval spojů linky
- **Všechny vypravené spoje jsou vázány na jízdní řád**

Na následujícím schématu jsou obslužné linky zobrazeny pomocí přerušované linie a jsou zobrazeny v teoretickém vztahu k páteřním linkám dopravního systému.



Obr. 24: Schéma obslužných linek dynamického systému obsluhy

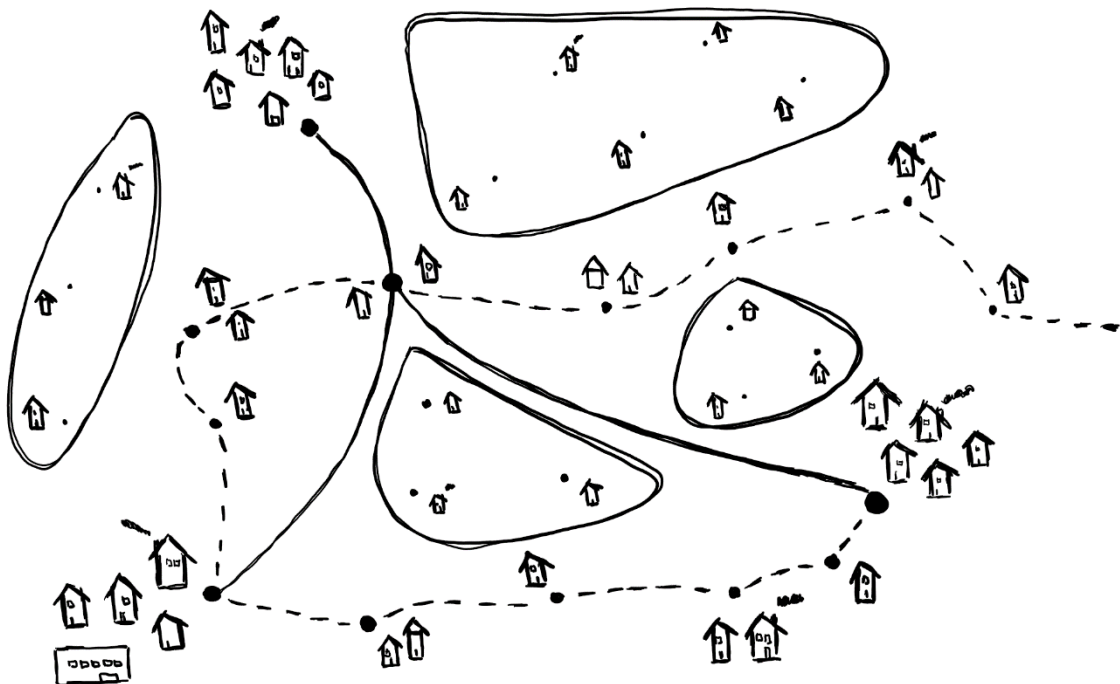
### 4.3.3 Dynamické linky

Dynamické linky slouží pro obsluhu zbytkového území, které je obtížně obslužitelné pro ostatními typy linek. Nejčastěji se jedná o území s velmi malými a roztroušenými obcemi s nízkou a hlavně proměnlivou poptávkou po přepravě. Linky jsou velmi závislé na navazujících spojeních, tedy na vyšších úrovních linek. Principem je obslužení oblasti a odvezení cestujících na přestupní bod v závislosti na čase přestupu. Navazný přestupní bod může být proměnně volený ve vztahu k vnějším parametrům. Na linky jsou nasazována primárně malá vozidla, respektive určení kapacity vozidla může být dynamické v závislosti na aktuálních ovlivňujících parametrech. Vozidlo je možné vybrat i nejen dle kapacity, ale také typu. Pro dopravní obsluhu může být určeno například jízdní kolo, nebo bude cestující odvezen pomocí taxislužby. Dynamické linky mohou tyto dopravní prostředky také kombinovat, kdy cestující část trasy využije jízdní kolo a část vytvořený spoj dynamické linky. Vytvořené spojení musí být optimální ve vztahu ke všem cestujícím i vzhledem k dopravci a objednateli dopravy. Standardní obsluha však probíhá vozidly autobusů. Délka trasy i časové polohy spoje nejsou pevně definovány. Linky tedy nejsou vázány jízdním řádem, respektive mohou být zvoleny vybrané spoje vázané k jízdnímu řádu, standardem je plná dynamika provozu.

Dynamické linky musejí splňovat tyto parametry:

- Linka propojuje malé roztroušené obce na daném území
- Linka obecně obsluhuje oblasti s nízkou poptávkou po přepravě
- Trasa linky se může na základě proměnných parametrů dynamicky měnit
- Na linku jsou nasazována primárně malá vozidla, která se mohou v závislosti na poptávce měnit
  - Mohou být nasazeny i jiné typy dopravních prostředků, zastupující standardní obsluhu pomocí autobusů
- Linky jsou závislé na navazujícím spojení vyšších úrovní linek
- Trasa linky i časové polohy spojů musí být optimálně definovány ve vztahu ke všem účastníkům dopravy
- **Vypravené spoje nemusí být vázány na jízdní řád**

Na následujícím schématu jsou vyznačeny oblasti, kde je vhodné provozovat dynamické linky, nejsou vyznačeny konkrétní linky vzhledem k dynamické povaze tvorby trasy. Pro kompletní popis dynamického systému je proto nutné definovat také oblast, kde mohou být dynamické linky nasazeny.



Obr. 25: Schéma obslužných linek dynamického systému obsluhy



#### 4.3.4 Zasazení definovaných linek do reálného provozu

Obdobně jako byly definovány a následně zaneseny závleky do reálného provozu, jsou vztaženy do reálného provozu také navrhované rozdělené linky pro dynamickou obsluhu. Jako vzorové oblasti byly zvoleny oblasti obce Černošice a také obce Mníšek pod Brdy. Tyto oblasti byly vybrány, jelikož obsahují vhodné příklady pro vysvětlení definovaného přístupu rozdělení linek.

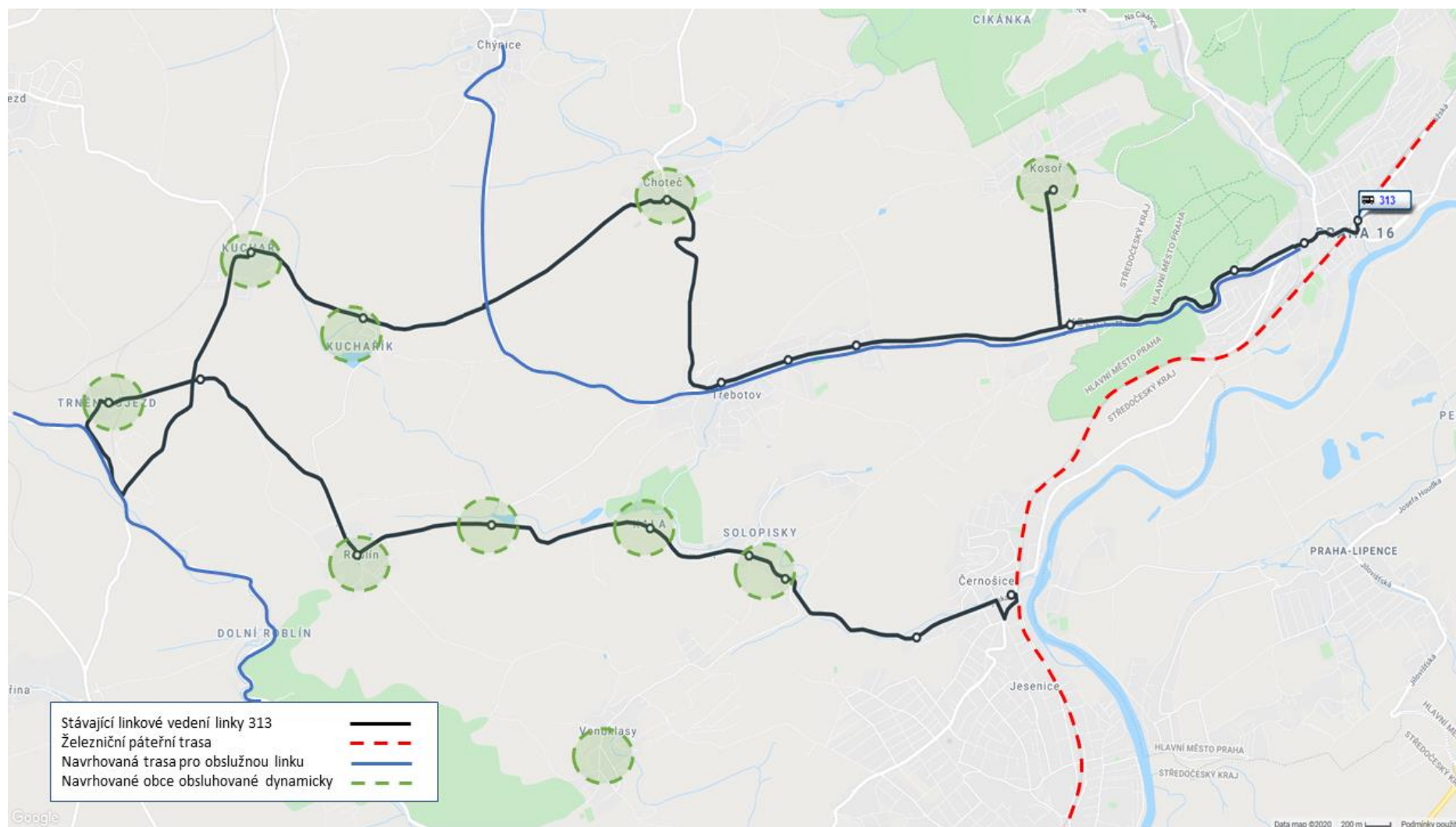
##### **Oblast Černošice**

Tato oblast se nachází na jihozápad od Hlavního města Prahy. Hlavní páteřní linkou zde tvoří železnice, konkrétně trať 171 Praha – Beroun. Pro převoz cestujících je tato tepna velmi důležitá, jelikož neexistuje mnoho jiných páteřních spojení ani komunikací, což je způsobeno hlavně místním terénem. Tato trať je tedy řazena do linek páteřních.

Do linek obslužných je zařazena linka PID 100313, která je tvořena trasou, která má za cíl odvézt cestující na zmíněné železniční spojení. Celá trasa linky je tvořena dvěma rameny. Tato ramena z jedné linky teoreticky vytváří dvě linky spojené do jediné. Smyslem linky je skutečně pouze svoz cestujících na páteřní železniční spojení. V jiném případě by linkové vedení bylo velmi nelogické a nesystémové. Linka v obci Trněný újezd navíc vytváří výrazný závlek, a to pouze z důvodu, aby mohly spoje linky bez nutnosti otáčení vytvořit spojení právě pro své druhé rameno. V současném stavu tvoří tato linka kombinaci linky obslužné, tak linky dynamické.

Popisovanému provozu linky přímo odpovídá její jízdní řád. Linka je obsluhována pouze malým počtem spojů, čímž sama odráží nastavenou poptávku cestujících. Zároveň obsahuje pro tyto spoje velmi velké množství výjimek v provozu, což opět spadá do definice pro dynamickou obsluhu ve spojitosti s nepřehledností provozu linky a nedostatečnou potřebou obsluhovat všechny oblasti, které linka obsluhuje. Dochází tedy k nepravidelnému obsluhování některých obcí nebo jsou některé části linky daným spojem zcela neobsluhovány. Tato linka přesně splňuje předpoklady pro implementaci dynamického provozu.

Pro fungování dynamického systému je potřeba upravit linkové vedení této linky a definovat obce, které budou obsluhovány dynamickými linkami. Do této obsluhy zapadá i současná linka PID 290664, která slouží pouze jako krátký návoz cestujících na páteřní linku. Dohromady s linkou 100313 dokresluje stav dopravní obsluhy, která by mohla být řešena dynamicky. Na následujících vyobrazeních je stav provozu linky 100313 dle jízdního řádu a také současné linkové vedení spolu s navrhovanou trasou a obcemi spadající pro dynamickou obsluhu území.



**Obr. 26:** Možnost rozdělení linek dle kategorií v oblasti Černošice

313		PRAŽSKÁ INTEGROVANÁ DOPRAVA (PID)		Platnost:	
změna trasy / diversion		Dopravce: ARRIVA STŘEDNÍ ČECHY s.r.o. Pod Hájem 97, 26701 Kralupy Dvůr, tel. 420 725 100 725		od 15.12.2019	
Informace o provozu PID na tel. 234 704 560, na internetu: WWW.PID.CZ		PRACOVNÍ DEN (☆)		SOBOTA (⊗) a NEDĚLE (†)	
číslo zastávky	Tarifní pásma	PRACOVNÍ DEN (☆)	SOBOTA (⊗) a NEDĚLE (†)	čas	čas
• NÁDRAŽÍ RADOTÍN	B	4 <sup>A</sup>			4
2 x Otínská	B	5 <sup>C</sup>		RB	5
4 x Zderazská	B	6 <sup>C</sup>		C	6
7 x Kosoř, Rozc.	1	7 <sup>C</sup>		C	7
9 Kosoř	1	8 <sup>C</sup>		RB	8
13 Třebotov, Pomník	1	9 <sup>B</sup>		C	9
14 Třebotov, Sanatorium	1	10		C	10
15 Třebotov	1	11 <sup>B</sup>		RB	11
18 CHOTEČ	1	12 <sup>B</sup>		C	12
24 x Roblín, Kuchařik	1	13 <sup>C</sup>		RB	13
26 Vysoký Újezd, Kuchař, I	1,2	14 <sup>C</sup>		C	14
36 Mořina, Trněný Újezd	1,2	15 <sup>C</sup>		RB	15
37 x Mořina, Trněný Újezd, Rozc.	1	16 <sup>C</sup>		C	16
40 ROBLÍN	1	17 <sup>C</sup>		RB	17
41 Roblín, Hájovna	1	18 <sup>C</sup>		C	18
44 Třebotov, Kala	1	19 <sup>C</sup>		RB	19
46 Třebotov, Solopisky, ZD	1	20 <sup>C</sup>		C	20
47 Třebotov, Solopisky	1	21 <sup>C</sup>		RB	21
49 Černošice, Karlístejnská	1	22 <sup>C</sup>		C	22
51 ČERNOŠICE, ŽEL. ZAST.	1	23 <sup>C</sup>		RB	23
Zastávky v tarifních pásmech 0 a B jsou na území hl.m. Prahy.		0			0
x - na znamení		1			1
š - <b>Zvýrazněné spoje</b> zajišťuje nízkopodlažní vozidlo.		2			2
A - nejede přes zastávky <b>Choteč</b> a <b>Mořina, Trněný Újezd</b>		3			3
C - jede jen do zastávky <b>Choteč</b>					
B - nejede přes zastávku <b>Mořina, Trněný Újezd</b>					
R - jede jen do zastávky <b>Roblín</b>					
31 - nejede 31.12.					
24 - nejede 24.12.					
☒ - zastávka s možností přestupu na železniční dopravu					

Plati Smluvní přepravní podmínky PID a Tarif PID.  
Jízda s předem zakoupenou jízdenkou.  
Doplňkový prodej jízdenek bez přírážky u řidiče.  
Území hl. m. Prahy se počítá jako 4 tarifní pásma.

O svátcích jede jako v neděli (†)

Soft. CHAPS spol. s r.o. A

**Obr. 27:** Současný rozsah provozu linky 100313 s příklady diferencování obsluhy spojů – vhodnost dynamického provozu

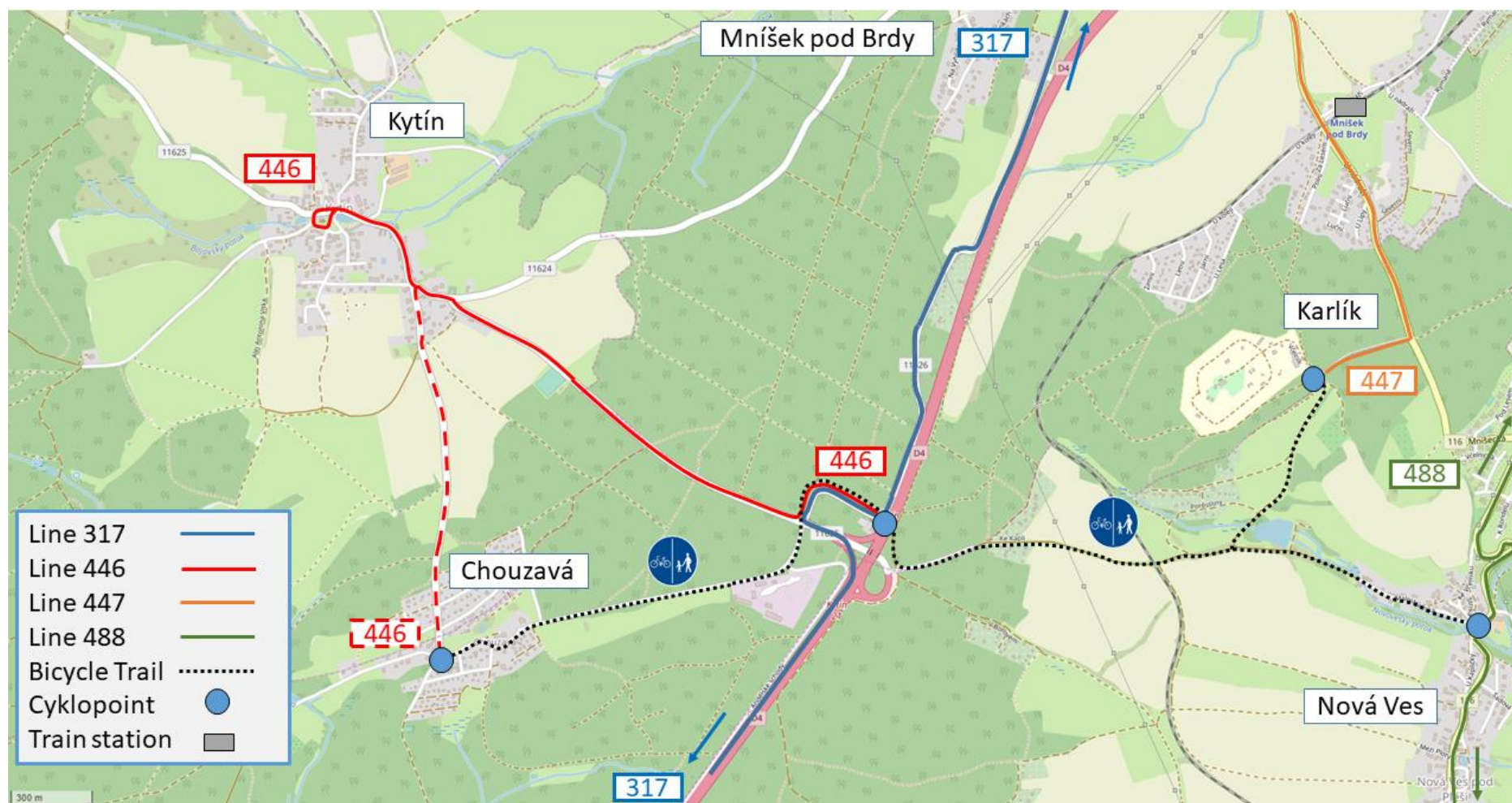
Pro linku 100313 byla vytvořena nová trasa, která vede po hlavní komunikaci a spojuje větší obce v oblasti. Stále zůstala zachována možnost spojení s páteřní železniční dopravou. Linka již neobsahuje závleky a tvoří hlavní spádovou linku pro dopravní obslužnost konkrétního území. Cestující z vyznačených dynamických obcí budou obsluženi dynamickou linkou, která může mít cíl:

- přímý přestupní bod v obci Černošice
- přestup na upravenou linku 100313 v jakémkoliv přestupní zastávce
- přestup na další obslužné linky v daném území (jako příklad uvedena linka přes obec Dolní Roblín)

### Oblast Mníšek pod Brdy

Oblast Mníšku pod Brdy je uváděna jako příklad, jelikož vykazuje podobné chování, je však možné na této oblasti poukázat na rozdíly oproti původnímu příkladu. Páteřní linkou není železniční spojení, ale linka 100317, tedy linka autobusová. Není proto nutné, aby páteřní linku tvořily železniční linky. Pro tuto oblast je možné poukázat také na rozdíl ve využití, respektive kombinace typu vozidla, kterým může být pro zkrácení trasy i jízdní doby například jízdní kolo. Pro tento příklad je využita linka 290446, která je již v současném stavu striktně návazná, navíc obsluhuje některé oblasti pouze velmi malým počtem spojů.





Obr. 28: Možnost řešení linek dle kategorií v oblasti Mníšek pod Brdy [21]

#### 4.3.5 Definice a určení dynamické oblasti veřejné hromadné dopravy

V předchozích kapitolách bylo detailně popsáno rozdělení linek, které mohou spadat do systému dynamické dopravy. Díky tomuto rozdělení je možné určit, které linky je možné využít pro dynamickou obsluhu, případně které linky je vhodné upravit tak, aby novému režimu dopravy odpovídaly. Při definici dynamických linek byla podstatným parametrem oblast, kde mohou být tyto linky v provozu. Pro tyto linky nebyly vytvořeny žádné příklady vedení trasy, jelikož je jejich trasa proměnná dle ovlivňujících parametrů, jediným vodítkem byla právě oblast provozu. Dynamická oblast vychází ze současného stavu obsluhy oblasti.

Pro popis dynamické oblasti je velmi vhodné využít schéma pro popis dynamických linek **Obr. 25**: Schéma obslužných linek dynamického systému obsluhy. I přesto, že jde o popis dynamických linek, jsou na tomto schématu zobrazeny oblasti vhodné pro dynamickou obsluhu. Pro nalezení dynamické oblasti mohou být použity následující aspekty a charakteristiky. Pokud dojde ve zkoumané oblasti k naplnění následujících charakteristik nebo jejich kombinací, je možné tuto oblast nazvat jako dynamickou nebo jako vhodnou pro zavedení dynamického režimu:

- Oblast s malými roztroušenými obcemi
- Oblast s nízkou nebo velmi proměnou poptávkou (také samotným potenciálem nabídky)
- Oblast ohraničena páteřními nebo obslužnými linkami
- Oblast se nenachází na hlavních přepravních osách
- Oblast se statickou obsluhou spojí dle jízdního řádu, ale s proměnnou trasou nebo výjimkami v linkovém vedení
- Oblast s výskytem závlaků s vyšším koeficientem zdržení (vysoká křivolakost)
- Oblast bez efektního (přímého) spojení ve vztahu k síti komunikací
- Oblast s možnou nekvalitní infrastrukturou
- Oblast ohraničená přírodními i umělými bariérami (řeky, pohoří, obytná zástavba, ...)
- Oblast musí umožňovat propojitelnost všech bodů zájmu v dané oblasti
- Oblast musí odkazovat alespoň na jednu možnost přestupu na jinou úroveň linek
- Smysl fungování oblasti musí splnit časové předpoklady (max. cestovní doba) a předpoklad maximálních najetých kilometrů, respektive zastávek v oblasti

Pokud se tyto charakteristiky v oblasti objevují, jsou předpokladem pro vytvoření dynamické oblasti. Dynamická oblast nemůže být definována striktně, jelikož je každá oblast specifická a charakteristiky mohou být dle toho specifika ohýbány. Tyto charakteristiky jsou proto spíše doporučením, respektive symptomem, který značí vhodnost zavedení než striktním pravidlem.

## 5 Parametrizace dynamického dopravního systému

Předchozí kapitola představila základní prvky smyslu fungování vytvářeného dopravního systému v reakci na nalezené nedostatky v současné dopravní obsluze. Toto fungování bylo popsáno za pomoci dynamického přístupu, kdy byly definovány rozdíly mezi dynamickými parametry linek a oblasti vhodné pro využití pro dynamickou dopravu. Tyto parametry vycházely z analýzy současných parametrů linek a byly zasazeny do existujících oblastí. Cílem této kapitoly je pro tyto oblasti a linky popsat fungování dynamického dopravního systému, nikoliv pouze dynamického přístupu, viz rozdělení dle schématu **Obr. 11**: Dynamický prvek a dynamický systém.

Pro popis systému jsou nejprve definovány jednotlivé prvky systému se základní rozlišovací úrovní všech subjektů zasahujících do dopravní obsluhy. Dalším krokem je nalezení parametrů jednotlivých prvků systému, ze kterých je možné definovat vzájemné vazby a určit jejich regularitu. Podobně také parametry okolí systému. Takto nalezený systém je zasazen do prostředí, které je definováno popisem dynamického přístupu. Předpokladem pro efektivní fungování systému je správné určení environmentu v rámci řešeného území. Následným krokem je popis chování daného systému, i za pomoci vývojových diagramů a příkladů z reálného prostředí.

### 5.1 Klíčové prvky systému v rámci dynamické obsluhy území

Prvky popisovaného systému lze rozdělit do více funkčních skupin. Toto rozdělení je definováno charakteristickým chováním prvků v rámci dopravního systému. Prvky systému lze na nejvyšší rozlišovací úrovni popsat a rozdělit těmito skupinami:

- Dopravní infrastruktura
- Zastávky, přestupní body a jejich zázemí
- Dopravní prostředky
- Cestující
- Informační a odbavovací systém
- Prostředí ovlivňující chování dopravního systému

Tyto skupiny prvků jsou v rámci systému jsou vzájemně propojeny. Aby bylo možné dynamicky upravovat provoz musí dojít k definování jednotlivých součástí skupin a také jejich parametrů. Díky tomu nemůže docházet ke generování nereálných nebo nevýhodných řešení. Vzhledem k obecné dynamické povaze dopravního systému (NP-Hard) bude na základě těchto definic hledáno nikoliv optimální řešení, ale co nejvýhodnější pro všechny skupiny definovaných prvků.

---

## **Dopravní infrastruktura**

Do této skupiny prvků jsou začleněny prvky dopravní infrastruktury, které ovlivňují provoz v dopravním systému a určují, kudy se mohou dopravní prostředky v dané oblasti pohybovat. Do dopravní infrastruktury je začleněna síť dopravních komunikací, které mohou dopravní prostředky v rámci dopravního systému využívat. Je proto brána jako základní kostrou dopravního systému, kterou lze zapsat a prezentovat jako směrově ohodnocený graf. Mezi komunikace dopravní infrastruktury patří kromě standardních silničních komunikací také železnice, komunikace pro pěší nebo pro jiný typ dopravy například cyklostezky a podobně. Díky tomu se dopravní síť stává velmi rozsáhlá a nabízí možnosti kombinací více druhů doprav, spojenou s kapacitou dopravních prostředků, a tedy novým potenciálem pro všechny oblasti určené oblasti.

## **Zastávky, přestupní body a jejich zázemí**

Tato skupina prvků rozšiřuje skupinu prvků dopravní infrastruktury. Oddělením od standardní dopravní infrastruktury je řešeno vlastnictví a možnosti spravování těchto prvků rozdílnými subjekty. Tyto prvky definují místa, kde je možné provádět výměnu cestujících dopravního systému. Zmíněné prvky jsou proto standardní zastávky/stanice veřejné dopravy, ale také přestupní body, záchytné body pro sdílenou dopravu a podobně. Umístění, vybavení a význam těchto bodů v oblasti má velkou důležitost nejenom pro funkčnost dopravního systému, ale také jeho atraktivitu. Nabídnutí nejen možnosti výměny cestujících, ale také vhodné zázemí, možnost úschovy zavazadel nebo využití jiných dopravních prostředků doplňuje nové možnosti fungování dopravního systému a kombinace dopravních módů. Cestující může využít parkoviště B+R vybudované u přestupního uzlu mezi železniční a autobusovou dopravou. Dochází tím k možnosti kombinace nabídky doprav pro cestujícího. Pro dynamický režim dopravy má kombinace dopravních možností přínos ve zvýšení alternativ přepravy cestujících i ve vztahu k nabízené kapacitě nebo časové poloze spoje.

## **Dopravní prostředky**

Do této skupiny prvků jsou zařazeny všechny dopravní prostředky, které může cestující pro pohyb v dopravním systému využít. Vzhledem k funkčnosti dynamického dopravního systému je kromě standardních vozidel veřejné hromadné dopravy možné do této skupiny začlenit například sdílené dopravní prostředky, taxislužbu nebo dopravu pěší, která může být také součástí obsluhy území. Součástí dopravních prostředků je brána také samotná obsluha dopravních prostředků, jako jsou kupříkladu řidiči. Tato skutečnost ovlivňuje parametry chování této skupiny prvků. Důležitými vlastnostmi pro tuto skupinu prvků je velikost, kapacita i rychlost dopravních prostředků.

## **Cestující**

Tato skupina prvků zahrnuje skupinu subjektů, která využívá dopravní systém za účelem své přepravy. Pro tuto skupinu prvků je dynamická dopravní obsluha vytvářena. Tato skupina generuje požadavky na přepravu pro dynamický systém, které přímo ovlivňují způsob dopravní obsluhy.

## **Informační a odbavovací systém**

Pod informační systém lze zařadit prvky, které informují cestující a další subjekty zařazené do dopravního systému. Prvky informačního odbavovacího systému musí předat informace o stavu dopravního systému, tedy hlavně aktuální nastavení vygenerovaných dopravních spojení v oblasti dynamického provozu a možnosti odbavení pro tato spojení. Poskytované informace jsou vzhledem k myšlence dynamicky měnit parametry přepravy velmi podstatnou součástí dynamického dopravního systému. Za prvek informačního a odbavovacího systému je možné uvažovat mobilní aplikace cestujících, informační systémy dopravce nebo informační systémy na zastávkách, obecně dopravní infrastrukturu a podobně.

## **Prostředí ovlivňující chování dopravního systému**

Pro dynamický režim bylo popsáno vhodné prostředí, kde je tento systém efektivní a může fungovat. Toto fungování však může být ovlivněno skutečnostmi nastávajících v dopravním systému. Na základě standardních požadavků cestujících je vygenerováno dopravní spojení aktuálně danými dopravními prostředky s cílem dosáhnout požadovaného cíle přepravy. Mezi prvky prostředí jsou zařazeny skutečnosti, které toto spojení může výrazně ovlivnit a dynamicky změnit. Tyto prvky výrazně zvyšují potenciál využití dynamického řízení dopravní obsluhy. Prvkem této skupiny mohou být nové skutečnosti v dopravní síti, například kongesce nebo další dopravní excesy. Díky těmto prvkům a jejich ovlivnění dokáže dopravní systém autonomně vyhodnotit nové možnosti dopravního spojení, čímž bude ovlivněn aktuální plán přepravy. Může dojít k posunu časové polohy spojů, změně nebo rozdělení tras nebo volby jiných dopravních prostředků.

Prvkem této skupiny může být také mimořádná událost v dopravní síti, kdy si jednotlivé dopravní prostředky pro dynamickou obsluhu mohou vzájemně vypomáhat na základě změny parametrů spojení. Výsledkem může být odklon trasy a nabídnutí kapacity jinému spojení s například technickými problémy.

Do této skupiny prvků lze zařadit také samotné počasí, kdy systém se znalostí aktuálních dat vyhodnotí vhodnost využití některých komunikací a tím úpravu trasy dynamického spoje.



---

## 5.2 Skupiny ovlivňujících parametrů dynamického dopravního systému

Pro dopravní dynamický systém obsluhy jsou definovány parametry, které popisují vhodné území, kde je tento systém doporučené a účelné implementovat. Pro takto doporučená území jsou definovány jednotlivé skupiny prvků, které tento dopravní systém tvoří. Pro popis fungování dynamického dopravního systému musí být ještě doplněny parametry těchto prvků, aby bylo možné popsat jeho fungování.

Parametry dynamického dopravního systému jsou rozděleny do jednotlivých kategorií na základě prvků systému i způsobu jeho fungování.

### Parametry dopravní infrastruktury

Proto, aby mohlo být vytvořeno dopravní spojení, musí být využity prvky dopravní infrastruktury. Pro dopravní infrastrukturu jsou potřebné brát v potaz parametry:

- Účel komunikace pro dopravní prostředek (v závislosti na typu dopravního prostředku; železnice, komunikace pro silniční dopravu, cyklostezky, komunikace pro pěší a další) ovlivňuje možné trasy dle typu dopravního prostředku
- Šířkové a délkové poměry komunikace, rozhledové poměry a dostatečné úhly pro odbočení – zajištění průjezdnosti komunikace vzhledem k délce a šířce vozidla
- Výšková průjezdnost a maximální nosnost komunikace – určení maximální výšky vozidla pro průjezd daným profilem komunikace
- Nebezpečná místa – znalost nebezpečných míst na trasách vygenerovaných spojení, která by mohla způsobit ohrožení cestujících (neuspokojivý stav povrchu komunikace, velmi silný provoz ovlivňující cyklistickou nebo pěší dopravu a podobně

Obecně mohou být tyto parametry definovány jako parametry určující průjezdnost vozidel daným úsekem komunikace. Není možné vygenerovat dopravní spojení pro vozidlo, které nemůže daným úsekem bezpečně projet. Trasa musí být na základě těchto druhů parametru předělána. Příkladem může být vypravení kloubového vozidla do velmi úzkých ulic nebo na mostní konstrukci s nízkou nosností. Vygenerovaná trasa nesmí ohrozit bezpečnost daného spojení.

---

## Parametry zastávek a přestupních bodů

Další skupinou parametrů jsou parametry zastávek a přestupních bodů, které opět rozhodují o možnosti nasazení vhodných vozidel na spoj, případně určující, kde je možné zajistit mezi jednotlivými spoji přestup cestujících. Doplňkové parametry mohou určit vhodnost zastávky, a tedy celé generované trasy pro cestující (bezbariérovost, ...atp.).

- Bezbariérovost – zhodnocení možnosti výstupu a nástupu hendikepovaných cestujících
- Délka nástupní hrany – určení možnosti nasazení vozidla dle jeho délky, zároveň zhodnocení možnosti přestupu, respektive zastavení nebo více vozidel za sebou v zastávkovém prostoru
- Vybavení zastávky – informační systémy, sociální vybavení zastávky (lavička, přístřešek, odpadkový koš a další
- Existence zázemí pro sdílenou dopravu – cyklostojany, B+R parkoviště, P+R parkoviště nebo podobná zařízení
- Umístění zastávky/přestupního bodu vzhledem k infrastruktuře – informace o infrastruktuře, kterou je možné využít pro návaznou dopravu
- Umístění zastávky ve vztahu k danému území – určení docházkové vzdálenosti dané zastávky, určuje vhodnost cílové zastávky cestujícího dle jeho požadavku po přepravě

## Parametry cestujících

Tyto parametry jsou jedny z nejdůležitějších pro vytvoření dynamické trasy obsluhy. Cestující totiž vytvářejí objednávku samotné přepravy a zanášejí do generovaného spojení požadavky, respektive parametry, které musí dané spojení splňovat. Parametry lze definovat jako parametry poptávky po dopravě. Některé parametry jsou tvořeny pouze je-li taková možnost pro cestujícího akceptovatelná v rámci dynamické přepravy.

- Čas odjezdu – požadavek cestujícího na čas odjezdu
- Čas příjezdu do destinace – požadavek cestujícího na čas příjezdu do chtěného cíle
- Cestovní čas – požadavek cestujícího a maximální dobu spojení
- Cílová destinace – definice cíle přepravy. Cíl přepravy se může nacházet v dynamické oblasti nebo v jiné oblasti. Dynamické vytvoření trasy nalezne vhodný přestup na vyšší úroveň linek, které umožňuje dosažení chtěné destinace
- Typ dopravního prostředku – určení všech možných dopravních prostředků, které je pro přepravu možné využít
- Speciální parametry dopravního prostředku – požadavek na nízkopodlažnost, přeprava dětských kočárků, jízdních kol a podobně
- Kolik času je cestující ochotný čekat do času vygenerovaného spojení

- 
- Čas odjezdu generovaného spojení v průběhu času se může měnit
  - V případě změny času odjezdu již objednaného spoje, z důvodu potřeby obsloužit generovaným spojem více oblastí, jakou změnu času odjezdu spoje je cestující ochotný akceptovat
  - Jakou vzdálenost je cestující ochoten dojít pěšky
  - Preference ekologického vozidla cestujícím
  - Jaká je maximální cena za přepravu, kterou je cestující ochoten zaplatit (případně nad rámec tarifu)
  - Je cestující ochoten připlatit nad rámec tarifu pro urychlení přepravy, případně kolik
  - Preference cestujícího na komfort dopravy, je cestující ochoten ve vozidle cestovat vestoje

Při tvorbě dopravního spojení jsou tyto vyjmenované parametry podstatné. Na základě jejich kombinací vzniká spojení, které je cestujícím následně nabízeno. Může však nastat situace, kdy jsou splněny všechny parametry, a přesto spojení nelze generovat nebo není pro cestujícího zcela vhodné nebo uspokojivé. Pro cestujícího je z tohoto důvodu předávána informace, že v případě zmírnění některých požadavků by dané spojení bylo možné vygenerovat. Záleží poté na cestujícím, zdali je ochoten upravit a snížit požadavky/parametry na dopravní spojení, ale spojení díky tomu bude vygenerováno.

### **Parametry dopravních prostředků**

Dopravní prostředky, podobně jako cestující, jsou základní skladební jednotkou dynamického dopravního systému. Parametry charakterizující dopravní prostředky lze rozdělit dle účelu na parametry poptávky a parametry nabídky dopravní obsluhy. Parametry dopravních prostředků jsou spojeny také s problematikou řidičů, kteří jsou nezbytní pro řízení vybraných dopravních prostředků a obecně s provozními potřebami. Vyjmenovanými parametry lze charakterizovat potřeby a následné chování dopravních prostředků v rámci dynamické obsluhy území. Toto chování přímo ovlivňuje vytvoření možných dopravních spojení.

Parametry pro poptávku dopravních prostředků v rámci dynamické obsluhy jsou následující:

- Kde se nacházejí zastávky s vygenerovanou poptávkou cestujících po přepravě – definice cílů dopravní obsluhy
- Kde se nachází cestující
- Jak je tvořen sled zastávek vygenerované trasy linky; jaká je počáteční a koncová zastávka; kde se nachází body pro přestup

- 
- Jaká je aktuální poloha (zpoždění) návazného spoje – pro eliminaci zpoždění je možné posouvat odjezdy spoje v závislosti na aktuálních datech o zpoždění
  - Požadavky na přestup v rámci dynamické oblasti

Parametry pro nabídku dopravních prostředků v rámci dynamické obsluhy jsou následující:

- Možný nabízený čas spojení – čas odjezdu spoje, který je možné dopravním prostředkem garantovat
- Čas příjezdu spoje do cílové destinace – čas příjezdu, který je možné dopravním prostředkem garantovat
- Interval mezi jednotlivými spoji – stanovení minimálního intervalu mezi jednotlivými spoji. Zamezení generování velkého množství spojů pro malý počet cestujících. V závislosti na objednavce spojů objednavatelem
- Čas potřebný pro přestup na návazné spojení – definovaný čas příjezdu dynamického spoje do přestupního bodu, aby bylo možné zajistit přestup cestujících. Od tohoto času se odvíjí časová poloha celého spoje
- Maximální čas zpoždění, které je možné tolerovat při přidání nových požadavků do již vygenerovaného dopravního spojení

Kromě parametrů poptávky a nabídky dopravních spojení je pro dopravní prostředky nezbytné definovat parametry provozní.

- Aktuální pozice vozidla – Potřeby spojené s přesunem vozidla do počáteční zastávky generovaného spojení; započítání vzdálenosti a času nutných pro přesun vozidla
- Typ nabízeného vozidla pro poptávanou přepravu – použitelná vozidla; kapacita a další speciální parametry nabízených vozidel
- Přestávky řidičů vozidel – Požadavky na povinné přestávky řidičů vozidel, které mohou ovlivnit časové polohy generovaných spojení
- Dostatečné množství energie a pohonných hmot dopravních prostředků

### **Parametry aktuálních dat**

Pro dynamický dopravní systém jsou podstatným ovlivňujícím prvkem aktuální data z prostředí. Díky těmto datům může systém aktivně upravovat nabízené spojení, aby bylo časově i provozně co nejvíce výhodné. Toto prostředí nemusí být vztaženo pouze k dopravě (kongesce, dopravní excesy atp.), může jít například také o data o počasí nebo mimořádné situace, závady a podobně.

[17]

- Aktuální stav dopravy na trase generovaného spoje – aktuální informace o možných dopravních excesech na generované trase, případně jiných mimořádných událostech

- 
- Aktuální stav dopravní infrastruktury – aktuální informace o uzavírkách dopravních komunikací, objízdných trasách, případně informace o stavu zastávek a přestupních bodů
  - Aktuální informace o poloze spojů – informace o poloze spoje dynamického systému a také informace o spoji navazujícím; eliminace zpoždění
  - Aktuální informace o obsazenosti spoje [3] – informace získaná ze systému APC instalovaná ve vozidle; informace o komfortu pro cestujícího nebo nutnosti vypravení nového spoje
  - Dispečerská rozhodnutí – generování dopravního spojení může být ovlivněno rozhodnutím dispečinku

### Environmentální parametry

Environmentálními parametry jsou myšleny skutečnosti ovlivňující životní prostředí a obecně charakteristiky území, ve kterém je dynamická obsluha provozována.

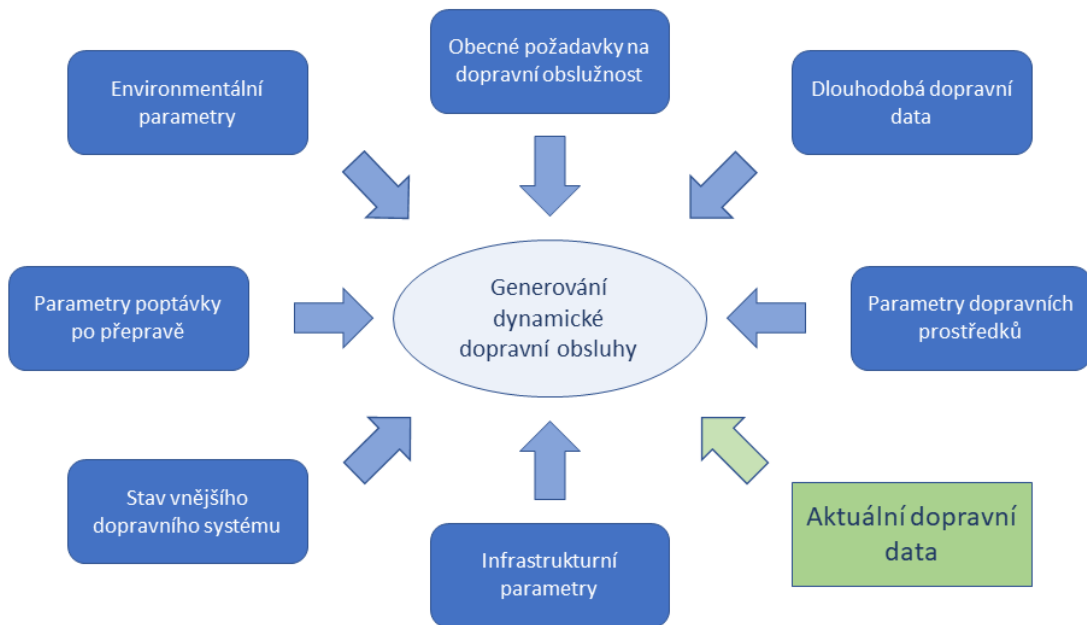
- Členitost a tvar reliéfu území – popis daného území, které svým reliéfem může ovlivnit využití dopravních prostředků. Podélné sklony komunikací mohou zapříčinit nemožnost využití některých dopravních prostředků nebo jeho použití bude výrazně nevhodné
- Počasí – tento parametr se prolíná s parametrem aktuálních dat, obecně počasí může výrazně ovlivnit trasy a cestovní doby generovaných spojení. Ve spojitosti s členitostí reliéfu může dojít k nemožnosti využít některých typů dopravních prostředků
- Uhlíková stopa – v případě zadání požadavků vztažených k ekologické dopravě může být parametrem pro generované spojení také znečištění životního prostředí. Tento parametr může ovlivnit výběr vypraveného dopravního prostředku

#### 5.2.1 Shrnutí parametrizace

Pro dynamický dopravní systém jsou definovány a popsány ovlivňující parametry, které musejí být pro výpočet vhodné trasy spoje reflektovány. Záleží vždy na aktuální dopravní situaci, požadavcích cestujících, ale také možné nabídce dopravní kapacity ze strany dopravního systému, jaké bude mít vygenerované spojení parametry. Celý koncept dopravní obsluhy vždy musí splňovat obecné požadavky na dopravní obsluhu veřejnou hromadnou dopravou, tedy vnější parametry a skutečnosti, které zasahují do tvoření obsluhy, jsou velmi podstatné.

Na následujícím schématu **Obr. 29**: Parametrizace dynamického dopravního systému jsou graficky zobrazeny skupiny vstupů, které charakterizují popsané druhy parametrů a ovlivnění dopravní obsluhy. Právě na základě řízeného upravování parametrů nebo upravování dat dle

aktuálních požadavků a situace v dopravním systému, je systém ohýbán pro optimální výsledek. Proto je možné tento způsob obsluhy nazývat jako dynamický.



**Obr. 29:** Parametrizace dynamického dopravního systému

---

## 6 Procesy a výsledné chování dynamického dopravního systému

V předchozích kapitolách je vytvořena jasně daná struktura jednotlivých částí dopravního systému tak, aby bylo možné vytvořit dynamickou dopravní obsluhu. Struktura je tvořena logickou posloupností stavů prostředí, jednotlivých prvků a jejich parametrů.

- Definice dopravního chování, při kterém je vhodné uvažovat o dynamickém způsobu obsluhy
- Definice prostředí/environmentu, kde lze dynamický způsob obsluhy implementovat
  - Parametry území, kde je tento způsob obsluhy účelný
- Definování linek veřejné hromadné dopravy a jejich parametrů
  - Parametry a způsob chování linek určující implementaci do dynamické oblasti
  - Ve spojitosti s parametry prostředí je možné účelněji určit rozsah dynamické obsluhy v oblasti
- Definice prvků dynamického systému
- Definice parametrů jednotlivých prvků nebo skupin prvků v rámci dynamického dopravního systému

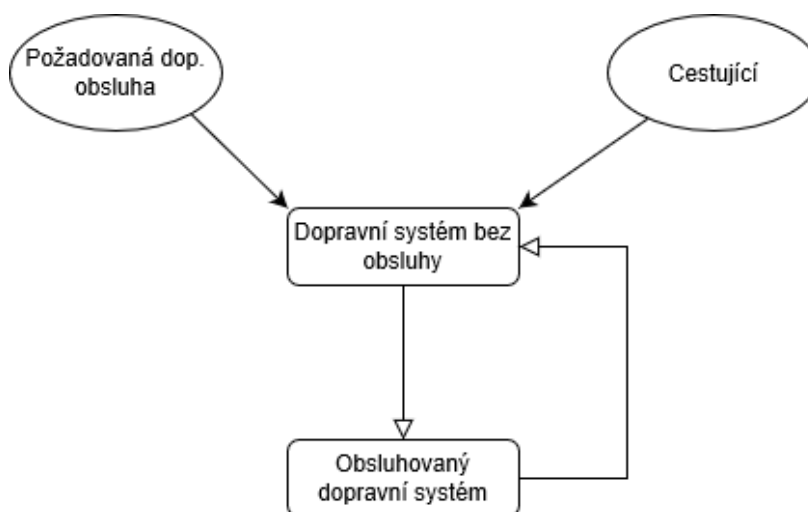
Pro popis procesů v rámci dynamického systému je předpokládáno splnění předchozích definic a předpokladů pro fungování dynamického systému. Navrhované procesy a jejich stavy jsou textově popsány, zároveň jsou vybrané procesy popsány pomocí grafických vývojových diagramů. Těmito diagramy jsou popsány posloupnosti jednotlivých stavů v závislosti na zvolené rozlišovací úrovni systému a dle definované funkční části systému. Jednotlivé stavy procesu mohou mít své dílčí podprocesy, které jsou popsány a definovány. Celý systém je snahou popsat na nízké rozlišovací úrovni (vycházet z vyšší rozlišovací úrovně), která je dostatečným popisem pro získání základní znalosti fungování dynamického dopravního systému.

Pro celý dopravní systém je nezbytnou součástí výpočetní algoritmus, který aktuální situaci a nastavené parametry prvků systému vyhodnocuje a určuje optimální výsledek nastavení dopravní obsluhy. Tento výpočetní algoritmus je pro zjednodušení popisu procesů a fungování systému Black boxem.

## Základní fungování dynamické dopravní obsluhy

Na následujícím jednoduchém vývojovém diagramu, který vychází z popisu systému využívající prvky systému a okolí, je systém zachycen na nejvyšší rozlišovací úrovni. Schéma zobrazuje základní dva stavy dopravního systému ve vztahu k okolí systému. Okolím systému jsou definovány hlavní dva zdroje poptávky, a to Poptávka ze strany cestujícího a ze strany Potřeb dopravního systému. Hlavní stavy, které okolí systému ovlivňuje jsou tyto dva základní:

- Dopravní systém s obsluhou oblasti – obsluha probíhá
- Dopravní systém bez obsluhy – obsluha neprobíhá



**Obr. 30:** Vývojový diagram základních stavů fungování dynamické obsluhy území

Je nutné si uvědomit, že obsluha území není v tomto případě zajištěna dle předem stanovaných jízdních řádů. Obsluha území probíhá pouze při existenci vnějšího požadavku na dopravu, dle schématu je systém ovlivněn okolím, kterým je cestující a jeho požadavky a také vnější požadavky dopravního systému. Výsledným možným jevem je v konkrétním časovém intervalu oblast zcela bez obsluhy.

Linkové vedení spojů i jejich časová poloha je závislá pouze na požadavcích na přepravu. Tyto požadavky mohou být dlouhodobé, ale také aktuální v daném čase. Je proto možné dosáhnout značné diverzifikace spojení v čase v rámci území. Zároveň pod pojem dopravní obsluha lze zařadit všechny druhy dopravní obsluhy, nejen standardní spoje veřejné hromadné dopravy. Obsluhu lze proto zajistit sdílenými dopravními prostředky, smluvní taxislužbou nebo například v definovaném rozsahu také dopravou pěší.

Dle jednoduchého schématu je zřejmé, že okolím systému, kterým jsou cestující nebo vně řízená požadovaná dopravní obsluha (dispečerské řízení, mimořádné akce v oblasti, krizová řízení a podobně), jsou hlavními iniciátory procesu dopravní obsluhy. Cestující tedy ovlivňují chování



---

dopravního systému svými požadavky, stejně tak je dynamický systém možné řídit dispečersky nebo jiným vnějším zásahem.

V případě zaznamenání pravidelné a dostatečné poptávky po přepravě v rámci dynamického režimu je po vyhodnocení nastalé situace správcem systému možné vytvořit pravidelnou přepravu. Tato možnost je zobrazena již na obrázku jízdního řádu, který kombinuje možnosti pravidelných spojů v území a dynamického provozu viz **Obr. 13**: Upravený jízdní řád pro kombinovaný dynamický přístup, zdroj CHAPS; software ASW JŘ. Dynamický režim, je však primárně uvažován výhradně částí systému závislého na poptávce cestujících.

## 6.1 Procesy dynamického systému

Popis procesů dynamického systému jsou rozděleny dle logických celků fungování dopravního systému. Jedním z logických celků je poptávka po přepravě. Tato poptávka se dotýká dle předchozích popisů cestujícího, případně dispečerského nebo jiného vnějšího zásahu. Další částí je vyhodnocení poptávky po přepravě dopravním systémem. V rámci tohoto vyhodnocení není bráno v potaz konkrétní vytvoření provozních parametrů, stále je vycházeno z předpokladu Black boxu vyhodnocovacího algoritmu. Cíl procesu je definován jako vytvoření dopravní obsluhy.

Doplňující částí, související s vytvořením poptávky, je definování zadání poptávky ze strany cestujícího. Tato část je podmnožinou obecného poptávání dopravy cestujícím. Cílem je popis teoretických úkonů, které musí cestující udělat pro objednávku dopravy. Tyto úkony jsou silně provázané s parametry pro cestujícího, definované v kapitole 5.2 Skupiny ovlivňujících parametrů dynamického dopravního systému. V tomto popisu procesu je definována zpětná komunikace s cestujícím a potvrzení dynamické obsluhy.

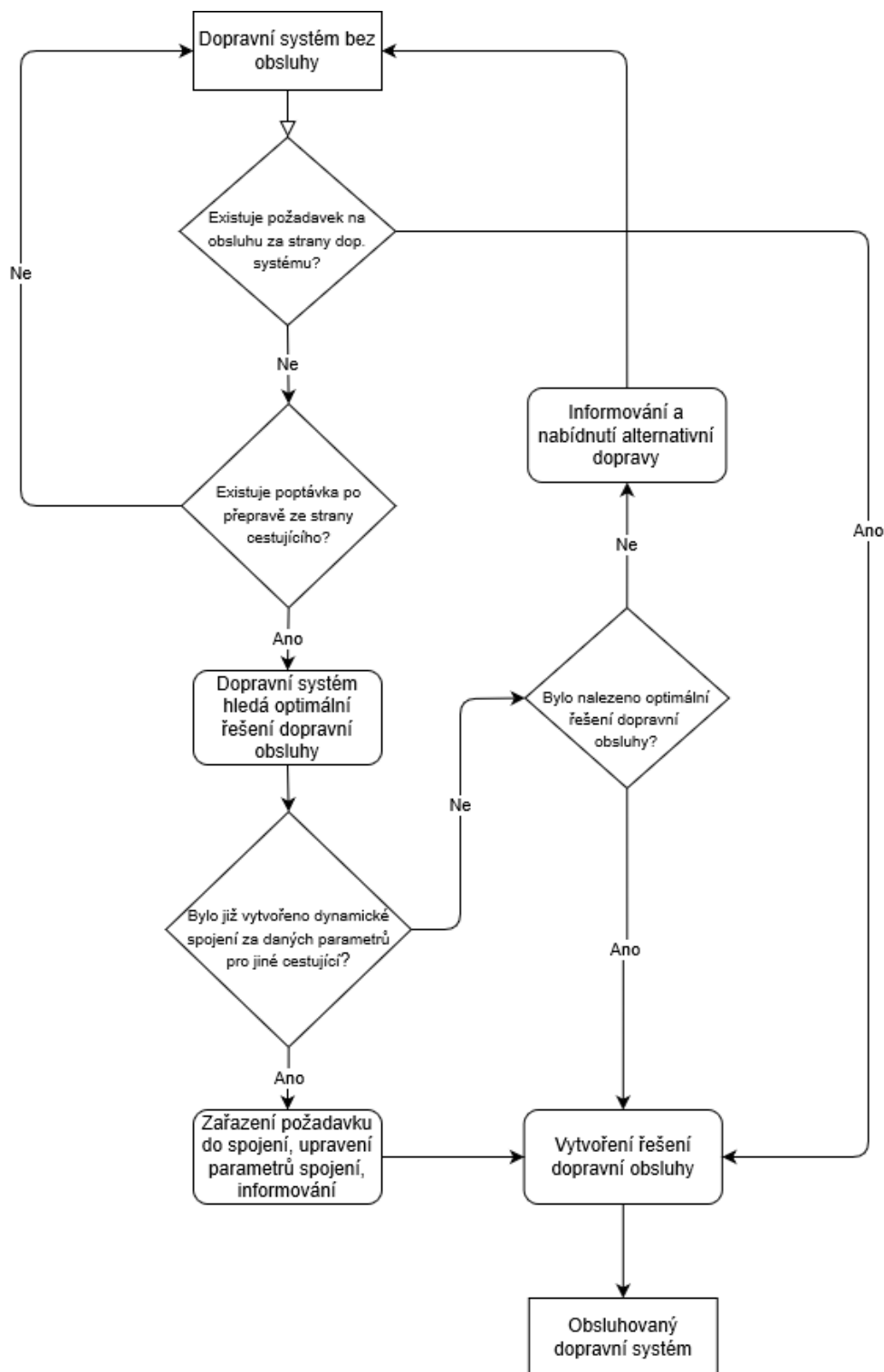
Následující částí jsou procesy vztažené k potřebám dopravního systému, volbě dopravního prostředku a dalších provozních charakteristik, které mají vliv na výsledné řešení dopravní obsluhy.

Proces, který je možný využít na základě fungování dynamického systému, je řešení mimořádných událostí v dopravním provozu nebo vyhodnocení a řešení jiných specifických událostí založených na aktuálních datech/požadavcích. Pro shrnutí, jedná se o tyto procesy:

- Poptávka po dynamické přepravě a jejího vyhodnocení
- Úkony spojené s objednáním dopravy ze strany cestujícího
- Provozní potřeby dopravního systému
- Řešení mimořádných situací a specifických událostí v závislosti na aktuálních datech/požadavcích

### 6.1.1 Poptávka po dynamické přepravě

V podrobnějším náhledu na probíhající proces obecného dopravního systému je důležitou součástí samotný proces poptávky po přepravě. Rozšířený vývojový diagram, popisující základní proces poptávky po přepravě, je na následujícím vyobrazení **Obr. 31**.



**Obr. 31:** Diagram poptávky po přepravě v rámci dynamického systému

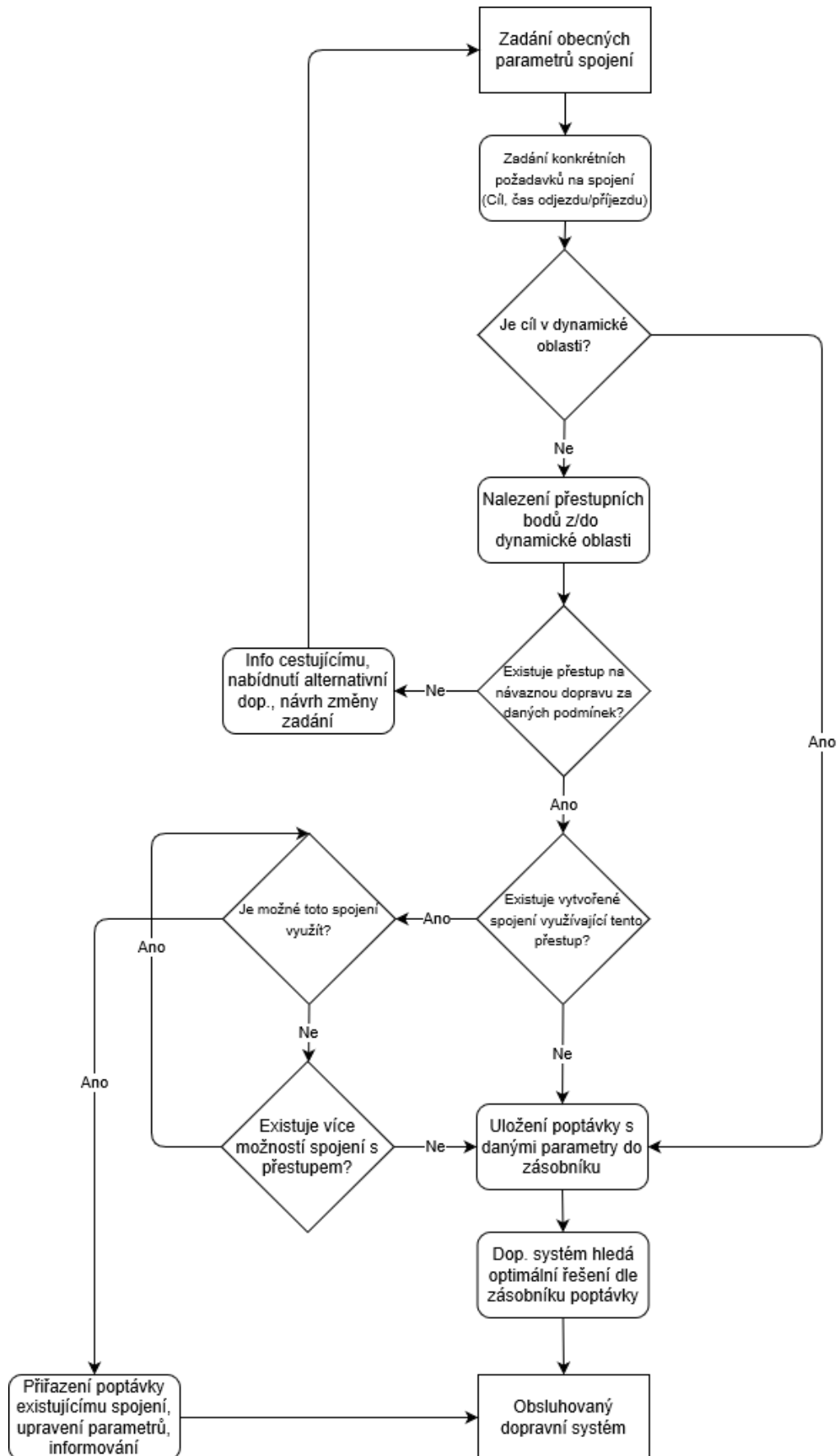
Dotazováním systému na aktuální poptávku je zajištěno, že dané území nebude obsluhováno bezúčelně. Poptávkou v dynamickém systému dle stanovené definice nemusí být pouze poptávka cestujícího, může jí být požadavek systému, který přepravu může nařídít z definovaných důvodů. Navíc se může jednat o zmíněné hybridní spojení, které je v definované době standardním spojení dle jízdního řádu i v oblasti dynamické obsluhy. Tento typ spojení může vzniknout pravidelností v generovaném spojení v rámci fungování dynamického systému. Dokonce je možné předpokládat zrušení dynamické oblasti a zavedení pravidelné dopravy, a to v návaznosti na poznatky získané dynamickým provozem. Cestující takto vlastně sami definují optimální jízdní řád v dané oblasti. Pokud existuje taková vnější poptávka, je spojení dle této poptávky automaticky vygenerováno.

Hlavní složkou poptávky je samotný cestující. V případě, že v systému neexistuje poptávka po dopravě, systém zůstává nečinný, bez dopravní obsluhy. V případě poptávky cestujícího je podstatné pro dynamický systém zajistit informaci ze zásobníku dat, jestli již byla nějaká obdobná poptávka po přepravě zaznamenána, případně, bylo-li již spojení v obdobných parametrech generováno. Pokud spojení generováno bylo, je možné připojit tuto poptávku danému generovanému spojení. Pokud ne, systém vypočítává optimální řešení dopravní obsluhy ve vztahu k daným parametrům. V případě nenalezení optimálního spojení, z důvodu neplnění parametrů přepravy (ekonomická náročnost, neexistence vhodného vozidla a podobně), je nabídnuta cestujícímu alternativa, například převoz taxislužbou nebo odkázání na další časový interval, kdy může být spojení generováno. Cestující je zároveň přiřazen do databáze poptávky. Pokud dojde k další podobné poptávce, je zpětně upozorněn a je mu nabídnuta přeprava, jelikož může dojít ke změně parametrů (například změna ekonomické náročnosti).

Pokud dojde k přiřazení cestujícího nebo nalezení optimálního řešení dopravy je spojení vygenerováno dle zadaných parametrů. Toto spojení je následně nabízeno pro další případnou poptávku ostatních cestujících. Diagram **Obr. 31**: Diagram poptávky po přepravě v rámci dynamického systému popisuje proces obecné poptávky po dopravě. V rámci tohoto procesu vznikají podprocesy související se zadáním požadavku na přepravu ze strany cestujícího.

### **Poptávání přepravy a jejího vyhodnocení**

Rozšířením předchozího vývojového diagramu je vyhodnocení poptávky za strany cestujícího. Pro vyhodnocení je podstatná znalost parametrů, které cestující zadává pro svou chtěnou přepravu, nejlépe vytvořením svého profilu. Jedním z parametrů, důležitým pro vytvoření trasy, je znalost cíle přepravy a rozdíl, je-li tento cíl v dynamické nebo nedynamické oblasti dopravního systému. V závislosti na tomto parametru je nutné brát v potaz otázku garantovaných přestupů z/na vyšší úroveň dopravy, tedy definovaný čas odjezdů spojů. Viz následující schéma **Obr. 32**.

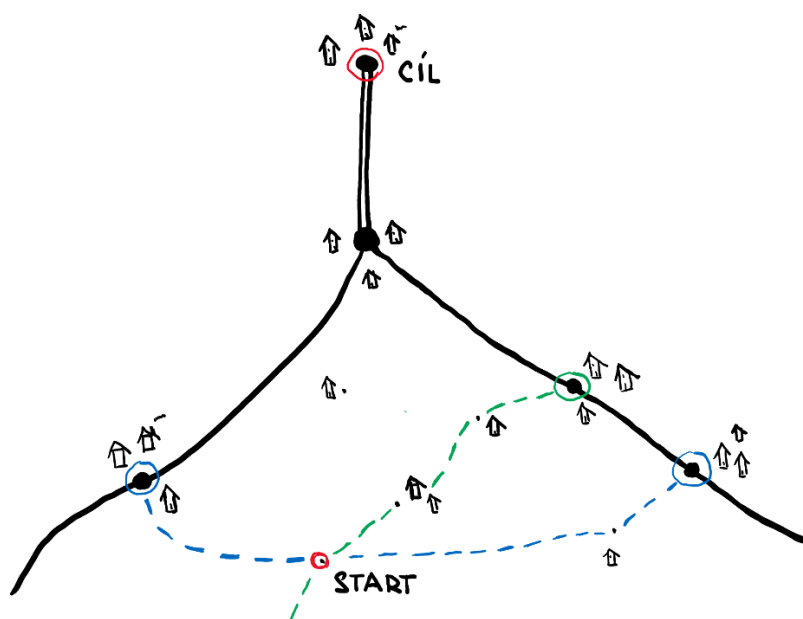


Obr. 32: Diagram vyhodnocení poptávky ze strany cestujícího

Pro vytvoření spojení jsou nezbytné další znalosti o přepravě v závislosti na definovaných parametrech (viz. 5.2 Skupiny ovlivňujících parametrů dynamického dopravního systému). Na jejich základě jsou vytvořena konkrétní spojení v definované kombinaci dopravních prostředků a také v závislosti na časových požadavcích.

Pokud se cestující nachází uvnitř dynamické oblasti a jeho cílem je zastávka ve stejné dynamické oblasti, dopravní systém nemusí vyhledávat návaznou dopravu, pouze porovnává aktuální požadavky na přepravu v území. Pokud se cestující nachází uvnitř dynamické oblasti a jeho cílem je zastávka vně, tedy v ostatních oblastech, musí dynamický systém posoudit možná řešení vytvoření obsluhy s přestupy. Podstatnou podmínkou je nalezení přestupu, který umožní cestujícímu se do chtěné lokality dostat. Ve skutečnosti může existovat více možností přestupů se stejným cílem. Linka proto může být průběžně tvořena se svým zcela jiným cílem, přesto cíl cestujícího zůstává zachován. S přibývajícím poptávkou se dokonce přestupní body mohou měnit, dosažení cílů se však měnit nemůže. Cestující ve výsledku může jet v rámci finálně vygenerovaného spojení do jiného přestupního bodu, než bylo v původním návrhu. O všech těchto změnách musí být cestující zpětně informován. Obdobná situace nastává i v opačném směru cestování.

Na následujícím schématu je vyznačen start a cíl požadované přepravy cestujícího. Na základě porovnání cestovních dob a poptávky cestujících v zásobníku, jsou posouzeny varianty vedení trasy s možnými přestupy. Černě jsou znázorněny trasy páteřních linek, na které je možné přestoupit. Ostatními barvami jsou zobrazeny návrhy možných spojení. Existuje proto více variant vedení linek, ale také variant využití zastávek jako přestupního bodu.



**Obr. 33:** Schéma přestupů pro dynamický režim obsluhy

Pokud není možné za zvolených parametrů spojení vygenerovat, je cestující upozorněn. Zároveň je mu uveden důvod, proč je spojení nemožné vygenerovat. S touto informací je cestujícímu předána také informace, které jím zadané parametry by se museli změnit, aby spojení mohlo být generováno. Výsledkem může být změna parametrů cestujícím tak, že spojení generovat bude možné. Pokud cestující nebude se změnou souhlasit nebo nebude ani se změnou parametrů možné dopravní spojení generovat, je cestujícímu nabídnuta alternativa. Touto alternativou je nabídnutí například spojení pomocí taxislužby nebo jinou kooperující přepravní službou. Již nyní existují reálné plány dopravních systémů na systematické začlenění těchto alternativních druhů přeprav do VHD, je tedy tuto myšlenku možné využít a realizovat v rámci tohoto způsobu dopravní obsluhy [8].

### 6.1.2 Provozní potřeby dopravního systému

Poptávka po dopravě je základním hlediskem pro vytvoření dynamické obsluhy. Při výpočtu optimální trasy jsou brány v potaz nejen zadané parametry poptávky, ale také možné kombinace přepravy s vyššími úrovněmi (jízdni řádem definované) nebo i jinými druhy dopravy. Do tohoto výpočtu optimální trasy je ale nezbytné zakomponovat provozní potřeby systému. Tyto potřeby jsou popsány parametry, které se nalézají v kapitole 5.2 Skupiny ovlivňujících parametrů dynamického dopravního systému. Pro dopravní systém je nezbytné nabídnout cestujícímu spojení, které je dopravními prostředky obslužitelné. Není možné nabídnout spojení, které je matematicky správné, nelze ale z provozního hlediska realizovat.

#### Vozový park

Pro tuto část potřeb je nezbytné specifikovat chování použitého vozového parku. Pro standardní provoz jsou definovány následující jednoduché předpoklady, které je snahou vzhledem k ekonomické i provozní stránce dopravy dodržovat.

- Definovaný pohyb vozidla během směny
  - vytvoření oběhů, přejezdů, pauz a dalších provozních úkonů v rámci pevného grafikonu – vozového jízdniho řádu
- Minimalizování doby odstavení vozidla, snaha o co nejvyšší vytíženost vozidla
- Vytvoření směn řidičů s co nejmenšími časovými prostoji, zároveň s dostatečnými přestávkami v řízení

K těmto provozním předpokladům je nahlíženo i v rámci dynamické obsluhy. Výrazným rozdílem je nedefinovaný pohyb vozidla v závislosti na grafikonu. Proto je potřeba zajistit vozidla pro obsluhu území jiným způsobem tak, aby byly stále dodrženy optimální ekonomické i provozní podmínky.

---

Vzhledem k daným charakteristikám dynamické obsluhy území lze vozový park pro obsluhu dynamické oblasti dopravci zajistit více způsoby:

- Vyčlenění vozila a řidiče výhradně pro obsluhu dynamické oblasti
- Vyčlenění vozidla a řidiče pro obsluhu dynamických oblastí, které jsou v přilehlém regionu (sdílení vozidla)
- Využití vozidel z linek vyšší úrovně
  - Vytipování časových slotů dle jízdního řádu, ve kterém lze vůz daného pořadí linky vyčlenit pro dynamickou oblast. Tyto sloty jsou pevně zaneseny do vozového jízdního řádu.
- Kombinované využití vozidel
  - Vyčleněné vozidlo pro dynamickou oblast v provozu pouze ve zvolené časy. Zbylá časová okna jsou obsluhována vozidly z linek vyšší úrovně.
- Dispečersky volané vozidlo pro obsluhu dynamické oblasti
- Využití vozidel jiných dopravních módů, případně kombinace nebo doplnění standardních vozidel

Vyčlenění vozidla výhradně pro dynamickou oblast má výraznou výhodu v operabilitě řešení. V případě potřeby je vozidlo k dispozici pro obsluhu dané oblasti. Je tedy pravděpodobné, že nabízená obsluha bude možná v přesně chtěném časovém intervalu. Nevýhodou tohoto řešení je nesplnění daných ekonomických a provozních předpokladů. Vozidlo bude odstaveno a bude čekat na poptávku, která nemusí být vygenerována. Vozidlo a přidělený řidič jsou nevyužiti, což je spojeno s vysokou finanční a personální náročností. Další nevýhodou je nemožnost měnit kapacitu, a také další parametry vozidla. V případě vyčleněných vozidel pro více oblastí je výhodou navíc nižší požadavek na počet vyčleněných vozidel, oproti tomu nevýhodou jsou vyšší vyčkávací časy na uskutečnění přepravy z důvodu větší oblasti obsluhy.

Pro obsluhu dynamické oblasti lze také využít vozidel vyšší úrovně linek. Tato vozidla se mohou v čase měnit, je proto možné pro dopravní obsluhu oblasti diverzifikovat vozidla a jejich parametry. Nevýhodou je možná nekompatibilita požadavku parametrů vozidla v daném čase, kdy je k dispozici pouze charakteristické vozidlo. Tato vozidla přidělená jednotlivým pořadím linky musí mít ve svém vozovém jízdním řádu přesně definované časové okno, kdy musejí být připraveni získat povel k obsluze území. Tato časová okna snižují výkonnost vozidla, přesto nedosahují takových ztrát jako při zcela vyčleněném vozidle. Díky těmto časovým oknům se však může zvýšit počet potřebných pořadí na lince.



---

Kombinací obou předešlých přístupů je vhodnějším řešením, které dokáže stírat některé nevýhody obou řešení. Vozidla nemusí být vyčleněna celodenně a v daných časových intervalech jsou prokládána vozidly z linek vyšší kategorie. Vyvážení tohoto řešení je závislé na zkušenosti s danou oblastí i fungování celého dopravního systému.

Dispečersky volané vozidlo je velmi nevhodné, krajní řešení obsluhy oblasti. Toto řešení je předpokládáno v případě velmi nízké poptávky, kdy ze zkušenosti nedochází k poptávce po přepravě a nevyplatí se provozovat předchozí možnosti. I přes to je nutné mít v záloze vozidlo, kterým bude často provozní záloha, která může být zapotřebí v jiném místě dopravního systému. Výhodou je vyslání vozidla skutečně pouze v případě potřeby a není nutné mít přiřazené vozidlo pro danou oblast nebo doplnění nabízené přepravní kapacity v případě vysoké poptávky.

Přístupem pro obsluhu nejvhodnějším je doplnění kombinaci předchozích přístupů s více módy doprav zastoupených v oblasti. Díky tomu je možné rozšířit možnosti obsluhy a nalézt alternativní přepravy v případech, kdy nebude možné vytvořit dopravní obsluhu. Obsluha oblasti bude rozšířena například o sdílenou dopravu, podporovanou taxislužbu nebo bude doplnění dalšího módu dopravy založené na podpoře infrastruktury a zázemí. Tím jsou myšleny bezpečné a kvalitní přístupové cesty nebo zázemí pro odstavení soukromých nebo sdílených jízdních kol a podobně. Díky tomu bude dosaženo řešení na bázi MaaS [13] a toto standardní řešení doplní o dynamiku v rámci VHD, která v tomto systému doposud chybí.

### **Obdržení informace o poptávce**

Po vygenerování aktuálního optimálního výsledku dopravní obsluhy musí být přiřazena tato informace aktuálně nejvhodnějšímu vozidlu, na základě aktuálního stavu dopravního systému i stanovených požadavků na přepravu. Tato informace je poskytnuta v dostatečném předstihu, aby vozidlo mohlo takto stanovený požadavek obsloužit.

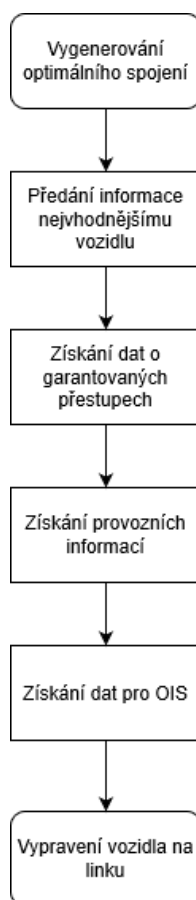
Pro tuto skutečnost vzniká požadavek na nutnost definování časového intervalu, který je nutný garantovat od požadavku na přepravu po její realizaci. Tento interval je nastavený konkrétním dopravním systémem a je vztažen také k cestujícím. Řešením může být stanovený termín 24 hodin, tento způsob je však velmi nepohodlný pro cestující, jelikož je zcela nemožné reagovat na aktuálně vygenerovanou poptávku, přesto je možný. Optimálním intervalem se po diskuzi s dopravními odborníky jeví alespoň hodinový interval, nejméně však půlhodina. Tento časový interval je vyčleněn nejen pro vyhodnocení požadavku, ale také právě na provozní hlediska dopravního systému a dopravců.

Pro řidiče, který zprávu pro dopravní obsluhu je podstatnou informací znalost parametrů trasy.

- Trasa vygenerovaného spojení
- Časová poloha jednotlivých zastávek
- Informace o garantovaných přestupech a dalších specifikaci na trase

Díky těmto informacím získává řidič aktuální vozový jízdní řád, který je pro něho závazný. Tento vozový jízdní řád řidič získává v předstihu v závislosti na časovém intervalu stanoveným pravidly dopravního systému. Pro správné zobrazení získaných informací je předpokladem vybavení vozidla, které tuto komunikaci umožňuje. Palubní počítač musí umožnit nejen data přijmout, ale také vyhodnotit a zobrazit. Doplnkovou možností je zobrazení trasy na mapovém podkladu. V případě výjimečných situací lze tento jízdní řád předat dispečersky, tento přístup je však z dlouhodobého hlediska neudržitelný a velmi špatně reaguje na průběžné změny v poptávce.

Daty, která jsou palubnímu počítači předána obsahují také informace o garantovaných přestupech. Tato informace je velmi důležitá ve vztahu ke smyslu fungování dynamické obsluhy, kdy je řešen přestup na vyšší úrovni linek dopravního systému pro dosažení požadovaného cíle přepravy. Na následujícím vývojovém diagramu **Obr. 34** je zobrazen sled získaných provozních informací.



**Obr. 34:** Vývojový diagram pro získání provozních informací

### 6.1.3 Mimořádné situace

Velkým potenciálem pro takto navržený dopravní systém je reakce na mimořádné situace. Mimořádnou situací je možné uvažovat dopravní excesy, ať už dopravní nehodu kongesce nebo další nepředvídatelné události. Vzhledem k možnosti dynamické změny trasy je možné tyto mimořádnosti, a tedy zdržení na trase eliminovat včasnou změnou trasy daného spoje. Tato změna se promítne také do informačního a odbavovacího systému. Podstatným vstupem do tohoto dynamického systému jsou proto aktuální Open Big Data. Další možnostmi jsou provozní výpadky a další mimořádnosti v zajištění dopravní obsluhy. Výsledkem jsou proto dva možné případy mimořádnosti:

- Dopravní excesy
- Provozní mimořádnosti

Provozní mimořádnosti mohou být způsobeny výpadky provozu vozidel nebo závadami na vozidle během vygenerované přepravy. Pokud dojde k závadě během vypraveného spoje, systém automaticky může ovlivnit trasu jiného spoje tak, že obslouží místo nepojízdného spoje a převezme cestující daného spoje. Díky nově převzatým parametrům je případně vygenerována nová trasa.

Za dopravní excesy jsou považovány standardní dopravní nehody nebo jiné kongesce, které ovlivní plynulost provozu a možnost dosáhnout požadovaných časů přepravy. Z dat o predikci zpoždění a znalostí objízdných tras je možné automaticky navrhnout novou změnu trasy.

Navrhovaná změna trasy i časové polohy spoje by měly být vždy v souladu s parametry dané objednávkou spoje. Vygenerovaná změna nesmí způsobit nemožnost přepravy cestujícího, pokud je tomu provozně možné, může však dojít ke změně trasy a jejích parametrů, například změnou přestupního bodu a návazného spoje. Ne vždy však díky vzniklým mimořádným situacím je možné dosáhnout slíbených cílů, přesto dopravní systém musí vygenerovat takové řešení, které bude co nejvíce splňovat slíbenou přepravu a možnost dosáhnout chtěného cíle. S tím souvisí ohodnocení dopravní obsluhy, které porovnává uživatelské potřeby a preference s provozními potřebami, definujeme si takzvanou „Efektivita dynamického spojení“, tedy spokojenost cestujícího s přepravou a s provozními potřebami.

## 6.2 Ohodnocení dopravní obsluhy

Ve vztahu k provozním potřebám, ale také potřebám cestujících se nabízí otázka na časový interval mezi poptávkou a skutečným vysláním spoje na linku. Je možné, aby již při vypraveném spoji došlo ke změně a úpravě trasy, na základě nové poptávky cestujících v blízké vzdálenosti od generované trasy? Podobnou otázkou je řešení mimořádných situací, které vznikají neplánovaně v průběhu času. Tato otázka odporuje systémovému nastavení požadavku na časový interval garantovaný před vypravením vozidla. Přesto lze o této možnosti uvažovat, pokud jsou definována dodatečná pravidla provozu. Tato dodatečná pravidla stanovuje individuálně dopravní systém a určuje váhu pro jednotlivé možnosti.

Do generovaného spoje lze přiřadit obsluhu další poptávané zastávky nebo využití jiné trasy pokud:

- Je garantován čas příjezdu dle původně generované časové polohy spoje v souladu s definovanými parametry cestujících o možném zpoždění spoje (viz parametry cestujících)
- Je garantován přestup na plánovanou návaznou linku
- Poptávka negativně neovlivňuje Efektivita spojení

Efektivnost spojení je možné dle praxe ovlivnit přesností a spolehlivostí provozu. Pro případ dynamického systému je právě na Efektivita možné nahlížet z těchto hlavních hledisek:

- Nespolehlivost již vytvořeného spoje
- Neobsloužení poptávky cestujících v závislosti na optimální trase
- Prodlužování trasy spoje
- Prodlužování cestovní doby

Řešení pro nespolehlivost již vytvořeného spojení je standardním řešením, jaké by bylo použito pro jakýkoliv dopravní systém. Tato nespolehlivost může mít na dopravní systém výrazný vliv, vzhledem k jejímu obtížnému predikování, však není mnoho možností, jak mu předcházet.

Aby nedocházelo k nespolehlivosti dynamického systému a zároveň aby bylo docíleno vhodného určení optimální trasy spojů, ať už s mimořádnými úpravami trasy nebo bez těchto úprav, je nezbytné zavést zmíněný parametr, který byl nazván Efektivita dynamického dopravního spojení. Tento parametr určuje hodnotu efektivnosti dopravního spojení a na základě porovnání existujících možností je rozhodnuto o trase daného spoje.

## Efektivita dynamického dopravního spojení

Principem dynamického systému je zvolit optimální trasu spoje tak, aby co nejvíce respektovala parametry poptávky a dosáhla spokojenosti cestujících. Trasu i časovou polohu spoje ovlivňují neměnné parametry, které slouží jako pevné mantinely pro výběr trasy. Některé tyto parametry jsou popsány v kapitole 5.2 Skupiny ovlivňujících parametrů dynamického dopravního systému. Příkladem mohou být infrastrukturní omezení, při neexistující spojující komunikaci logicky není možné trasu vytvořit. Trasu a časovou polohu spoje ale ovlivňují také, dříve popsané, proměnné parametry. Pro rozhodnutí, která trasa spoje je dle zadaných parametrů optimální, je potřeba zavést pojem Efektivita dynamického dopravního spojení -  $E$ . Tato Efektivita posuzuje vztah mezi parametry cestujících a provozními parametry na základě jejich vah a určuje její finální hodnotu. Tyto hodnoty jsou následně porovnány, kdy trasa s nejvyšší hodnotou Efektivit je zvolena jako optimální.

$$E = \sum_{i=1}^n (x_i \cdot w_i)$$

Kde

$E$  = Efektivita dynamického dopravního spojení

$x_i$  = parametr poptávky a provozní parametry

$w_i$  = váhové ohodnocení dané poptávky

Tento výpočet je založen na součtu všech součinů hodnot parametru a jeho váhy. Výsledkem je získání jedné číselné hodnoty Efektivit. Pro výpočet je podstatnou podmínkou skutečnost, že v případě, kdy parametr zvyšuje spokojenost cestujícího s přepravou, je hodnota  $x_i$  dosazována s kladným ohodnocením. Pokud naopak parametr snižuje spokojenost a kvalitu přepravy, je dosazována hodnota  $x_i$  záporná. Tímto rozdílným dosazením je docíleno zvyšování nebo naopak snižování efektivnosti v rámci výpočtu.

Příkladem tohoto dosazení je parametr přesného příjezdu do zastávky dle požadavku cestujícího. Pokud cestující přijede do své cílové zastávky v definovaný čas, je parametr kladný a zvyšuje efektivnost. Pokud je více cestujících, kteří přijedou daným spojem v definovaný čas, je efektivita zvyšována s každým takovým cestujícím. Pokud by nastavená trasa měla způsobit dlouhé zajiždění a prodloužení cestovní doby, je spokojenost nižší, proto za parametr cestovní doba, najeté kilometry a další jsou dosazeny záporné hodnoty. Efektivita tím klesá. Ve výsledku dochází k situacím, kdy bude posuzováno, zdali se vyplatí zajiždět pro cestujícího, který je však vzdálen od ostatních poptávek, a tím získat kladné ohodnocení tohoto cestujícího, ale riskovat snížení

spokojenosti všech ostatních cestujících. V součtu může dojít ke snížení spokojenosti více cestujících. Efektivita bude nižší, a proto tento jednotlivý cestující bude „obětován“ v zájmu jiných cestujících. V tomto případě bude cestující dle definice osloven a bude nabádán ke změně parametrů. Například pokud se cestující na kole dostane do bližší vzdálenosti k plánované trase, Efektivita neklesne a tento cestující bude obslužen, musí však dojít k tomuto ústupku. Váhové ohodnocení je  $w_i$  je definováno jednotlivými dopravními systémy. Předpokladem je vytvořit váhové ohodnocení preferující zájmy cestujících před zájmy dopravce. Spokojenost cestujících proto bude mít větší váhové ohodnocení než například počet najetých kilometrů dopravce. Není možné, aby cestující byl vyjmut z možnosti přepravy, jelikož by dopravce musel najet více kilometrů a podobně.

Parametry, které mohou ovlivnit chování dynamického dopravního systému jsou popsány v kapitole 5.2 Skupiny ovlivňujících parametrů dynamického dopravního systému. V následující tabulce jsou vybrány základní skupiny parametrů, které z definovaných parametrů vycházejí. Tyto parametry mohou přímo ovlivnit generovanou optimální trasu.

Cestující		Doprovce	
Parametr	Specifikace	Parametr	Specifikace
Příjezd v chtěný čas	Dosažení cíle dle zadaných parametrů	Najeté kilometry	Posouzení délky trasy ve vztahu k převezeným cestujícím
Příjezd dříve než v chtěný čas	Možné kladné hodnocení i záporné z důvodu zbytečně dlouhého čekání na přípoj	Čas strávený na trase	Posouzení času strávený na trase ve vztahu k převezeným cestujícím
Příjezd se zpožděním	Negativní ohodnocení + výrazně negativní hodnocení v případě ujetí přípoje	Spotřeba paliva	Volba trasy, která není náročná na spotřebu paliva (kopcovité terény, ...)
Cestující dojel do cíle	Kladné hodnocení, případně velmi záporné hodnocení, pokud je cestující dovezen do jiného cíle	Vypravení speciálního vozu	Hodnocení účelnosti nasazení nevyčleněného vozidla
Cestující je převezen vozidlem s jinými parametry	Hodnocení v závislosti na použitém vozidle (nizkopodlažnost, ...)	Mimořádné situace	Hodnocení smysluplnosti změny trasy
Cestovní rychlost	Ovlivnění kvality cestování pomocí posouzení vzdálenosti a času, který je pro cestu nutné vynaložit		

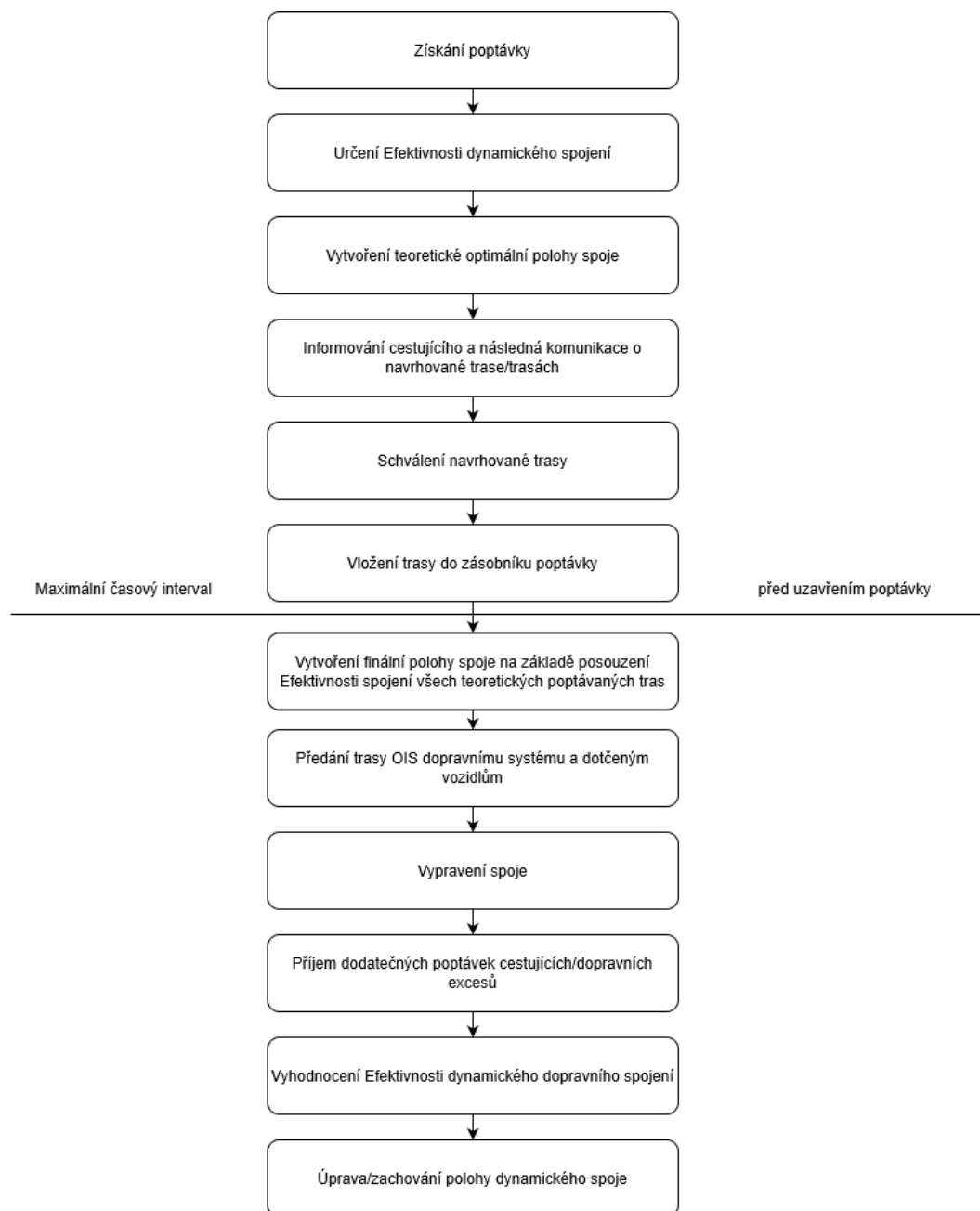
**Tab. 6:** Základní okruhy parametrů Efektivity dynamické obsluhy

Dle tabulky je jasné pozorovatelné, že na finální trasu mohou mít vliv nejen požadavky cestujících, ale také infrastruktura. V rámci zjednodušení je možné tvrdit, že přidaná hodnota

parametru jednoho cestujícího nemusí vykompenzovat náklady na přepravu. Proto nemusí být spoj vygenerován. Toto odpovídá problematice ekonomické efektivity a podobně.

### 6.3 Definice výsledného fungování dynamické obsluhy

V předchozích kapitolách byly definovány procesy pro jednotlivé části systému. Vzhledem k vysoké komplexitě dynamického systému je velmi obtížné zachytit všechny možné varianty procesů. Pospojením jednotlivých procesů však může vzniknout univerzální posloupnost událostí zahrnující všechny části dynamického systému. Tato posloupnost je zachycena na následujícím schématu **Obr. 35**: Schéma výsledného fungování dynamické obsluhy.



**Obr. 35:** Schéma výsledného fungování dynamické obsluhy



## Získání poptávky

Cestující zažádá o přepravu s parametry, které ovlivňují dané spojení. Základem jsou data o čase, cílové a koncové zastávce, volba dopravního prostředku, a to také ve smyslu využití sdílené dopravy, případně pěší nebo požadavek na nízkopodlažnost vozidla a další údaje, odpovídající důležitým parametrům, které jsou popsány v kapitole 5.2. Skupiny ovlivňujících parametrů dynamického dopravního systému. Tato objednávka je však třeba vytvořit tak, aby její vytvoření bylo umožněno jakémukoliv cestujícím. Požadované údaje a parametry spojení proto musí být možné zadat:

- telefonicky (pravděpodobně časté využití cestujícími bez přístupu a znalosti k moderním technologiím)
- osobně (předpokladem osobní přepážky ve větších přepravních uzlech)
- pomocí webového rozhraní (vytvořené prostředí na webovém portálu dopravního systému)
- pomocí mobilní aplikace (předpokládané nejvyšší využití cestujícími)

Předpokladem pro současnou dobu je využití mobilní aplikace, ve které cestující vyplní své požadavky a parametry přepravy, které je možné uložit jako profil cestujícího a není nutné tyto údaje vyplňovat při každé objednávce. Zastávkové označnické budou vybaveny informacemi o možnosti stahovat tuto aplikaci. Ideálním řešením je využití již existující mobilní aplikace dopravního systému.

Obdobným způsobem musí fungovat také ostatní způsoby objednávání dopravy. Ideálním případem je ukládání parametrů do databáze a jejich opětovné použití. Všechny přístupy také musí umožnit také zpětnou interakci, kdy je cestující zpětně informován o posunech časů poloh spojů a také o finálních parametrech přepravy. Všechny způsoby objednání musí také umožnit stornování navolených spojení. Na zastávkových označnicích musí být také informace o ostatních způsobech objednání přepravy.

Pokud je již existuje aktivní spojení, je toto spojení cestujícímu ihned nabídnuto.

## Určení Efektivnosti dynamického spojení

Tento proces vychází z popisu rozhodovacího nástroje a parametru efektivnosti. V tomto parametru je posuzována přidaná hodnota spojení ve spojitosti s počty převezených cestujících, přesností provozu a také provozních potřeb. Jednotlivé parametry jsou váhově ohodnoceny a přímo rozhodují a volbě trasy, a tedy i počtu cestujících a počtu najetých kilometrů v rámci objednané trasy.

### **Vytvoření teoretické optimální polohy spoje**

Na základě zadaných údajů a posouzení Efektivnosti vytváří vhodný algoritmus návrh trasy, která je zaznamenávána do zásobníku všech požadavků a poptávky na přepravu jako optimální. Pokud již zásobník poptávky obsahuje, poptávky jsou kombinovány a na základě přepočítané optimální Efektivnosti je vytvořen nový návrh trasy spoje.

### **Informování cestujícího a následná komunikace o navrhované trase/trasách**

Po definování optimální trasy stanoveným algoritmem je tato trasa předána cestujícímu jako návrh. Je možné, že trasa nebude dle zadaných parametrů možné generovat, nebo s návrhem nebude souhlasit, cestujícímu jsou poté navrhovány další možnosti nebo návrh změny parametrů, aby spojení mohlo být vytvořeno. Pokud nově vygenerovaná trasa ovlivňuje již předem generované trasy jiných cestujících, i tito cestující musí být o této změně informováni. Vždy platí, že generovaná trasa musí odpovídat zadaným parametrům cestujících.

V této fázi vytváření trasy existuje možnost, že původně odsouhlasené parametry spoje budou neefektivní vzhledem ke kompletní poptávce. Cestující jsou proto upozorněni a je jim nabídnut alternativní způsob dopravy nebo požadavek na změnu parametrů. Ke zrušení přepravy by však mělo v zájmu udržitelnosti tohoto způsobu dopravy docházet co nejméně, s touto možností je ale nutné počítat.

### **Odsouhlasení navržené trasy a vložení do zásobníku poptávky**

Po oznámení vygenerované trasy, je trasa a další parametry spojení cestujícím odsouhlasena. Trasa je vložena do zásobníku parametrů a tras. V tomto zásobníku jsou následně trasy a parametry spojení dále posuzovány v případě nových žádostí o přepravu.

### **Vytvoření finálního spojení**

Tato fáze procesu již musí respektovat časový interval, do kdy je možné zadávat požadavky na přepravu před vygenerováním spojení. Tento časový interval je definovaný dopravním systémem, standardně je vhodným intervalem 1 hodina. Tato hodnota vychází z předpokladu nutnosti zajistit provozní potřeby dopravce a zafixování časové polohy vygenerovaného spoje pro cestujícího.

V této fázi je vygenerováno finální spojení, které je předáno cestujícím a je zaneseno do informačního systému dopravního systému. Tato trasa a časová poloha spoje se stává závaznou.

## **Předání trasy do OIS dopravního systému a do dotčených vozidel**

Vygenerovaná závazná optimální trasa je předána do informačního systému dopravního systému. Při použití vyhledávacího algoritmu spojení cestujícím je mu dle této závazné trasy předána informace o odjezdu spoje. Tato informace je předávána ve stejném informačním charakteru jako informace o standardním spoji linek vyšší úrovně. Cestující má plnohodnotnou informaci o vytvořené trase i časové poloze spoje.

V případě vybavení zastávek informačním systémem pro cestující, jakým je například informační LCD nebo ePaper panel, je informace o závazně vygenerovaném spojení na těchto informačních tablech zobrazena. Díky tomu mohou spojení využít také cestující, kteří toto spojení nijak předem nepoptávali.

Vygenerovaná trasa je předána do palubního počítače dopravního prostředku pomocí datového balíčku, který rozšíří současně nahraná data. Vzhledem k současné struktuře dat, ve které jsou pro odbavovací a informační systém do vozidla vytvářena, je nutné upravit přístup k datové struktuře nahraných dat tak, aby bylo možné vkládat pouze vybrané jednotlivé části (v tomto případě jednotlivé vygenerované spoje) do současné struktury. Není žádoucí vzhledem k množství přenesených dat i nutného času, aby se musela data posílat a přehrávat vždy kompletně celá, jako je tomu při současném nahrávání dat. Tento problém souvisí také s informačním systémem ve vozidle nejen pro řidiče, ale také pro cestující. Nově přijatá data, musejí být vhodně zobrazena na informačních prvcích vozidla.

Tato problematika struktury a přenosu dat je značně složitá a rozsáhlá a je nad rámec rozsahu této práce. Předpokladem je však využití značkovacího jazyka XML, který je čitelný a vhodně strukturovaný. Na tento formát dat je snahou v současných dopravních systémech také přestoupit. Na základě konzultace se zástupci Pražské integrované dopravy by bylo možné také využít prostředí aplikace, která informuje cestující o trase a čase spojení pro účely informování ve vozidle, kdy by toto prostředí bylo promítáno na zařízení ve vozidle.

## **Vypravení spoje**

Po obdržení všech dat pro odbavovací a informační systém je vypraveno určené vozidlo na dráhu spoje. Sled zastávek a časová poloha je daná vygenerovanou trasou dle parametrů. Pro manipulační a další potřeby je uvažováno s vytvořením trasy 1 hodinu před samotným vypravením spoje. Tento interval je možné měnit v závislosti na požadavcích jednotlivých dopravních systémů.

### **Příjem dodatečných poptávek cestujících/dopravních excesů**

Jelikož byla vygenerována závazná trasa, je obtížné implementovat nové požadavky na přepravu. Pokud se nová poptávka cestujícího shoduje s již vytvořenou trasou není problémem informovat ho o již existujícím spojení, které může využít. Pokud není nová poptávka na trase vygenerované trase, není možné ji upravovat a je cestujícímu nabízeno další časové období, kdy může být nové spojení vygenerováno. Existuje však možnost, kdy poptávka po přepravě ovlivňuje současně stanovenou trasu jen velmi málo. Příkladem může být dodatečná poptávka z obce, která je v blízkosti komunikace, po které spoj jede, přesto do obce nezajíždí. Šlo by tedy pouze o krátký závlek. Je na škodu, pokud by tento závlek nebyl proveden, za předpokladu, že nedojde k ovlivnění žádného z předchozích parametrů poptávky.

Zároveň je možné uvažovat o ovlivnění trasy z dispečerských, případně provozních důvodů. Důvodem může být nutnost vyzvednout cestující z vozidla, které je v poruše nebo jiný dispečerský zásah.

### **Vyhodnocení efektivity dynamického dopravního spojení**

Pro tyto případy je nutné stanovit přesná pravidla, kdy k ovlivnění závazné trasy může dojít. Tato pravidla jsou přímo závislá na definované Efektivitě přepravy. Tuto trasu je možné ovlivnit, pokud tato Efektivita nebude nižší oproti původní Efektivitě. Díky obslužení nového cestujícího dojde k navýšení efektivity, tedy pokud by došlo z důvodu zpoždění ke snížení spokojenosti ostatních cestujících, tato hodnota s vykompenzuje. Pokud dojde k například nestihnutí návazného spoje, parametr, který ovlivňuje celkovou efektivitu výrazně klesne, a tím nedokáže kompenzovat přínos nového cestujícího. V takovém případě se nevyplatí pro takového cestujícího zajíždět. Totožným přístupem s ovlivňováním parametrů výpočtu Efektivnosti je získána odpověď na vhodnost obsluhovat novou poptávku po přepravě a drobně tím pění trasu. V rámci dispečerského řízení, je možné tuto podmínku ohýbat.

### **Úprava/zanechání dynamického spojení**

Na základě výpočtu a posouzení efektivity bude rozhodnuto o úpravě závazné trasy dle nových parametrů. Tato trasa musí být sdílena se všemi informačními a odbavovacími periferiemi.

## 7 Implementace nové metody dynamické obsluhy území

V předchozích kapitolách byl navržen dynamický přístup a dynamický systém obsluhy území za pomoci prostředků veřejné hromadné dopravy a dalších druhů doprav. Pro tento systém je uvažováno využití proměnného dynamického jízdního řádu, trasa spoje i jeho časová poloha bude v závislosti na ovlivňujících parametrech dynamicky upravována. Dynamický systém je tímto detailně popsán.

Cílem této kapitoly je prokázání použitelnosti v reálném provozu. Cílem je nejen představit praktické využití definovaného způsobu obsluhy za pomoci modelového příkladu, ale hlavně vytvořit variantní řešení možných situací v provozu, a na základě těchto variant vhodnou metodou určit váhové ohodnocení parametrů pro všechny reálné situace. Modelový příklad vychází z posuzovaných variant řešení a využívá nově vytvořené metody modelování dynamické obsluhy a zároveň dokáže poukázat na dopady nasazení dynamického prvku do veřejné dopravy, respektive poukáže na praktickou využitelnost tohoto způsobu obsluhy v reálném prostředí. Vzhledem k velmi vysoké komplexnosti řešené problematiky je modelový přístup zaměřen na základní fungování dynamické obsluhy a je vycházeno z jeho základních vlastností. Hlavním cílem je proto poukázat na správnost volby trasy jednotlivých dynamických spojů v závislosti na požadavech cestujících nebo nákladech za přepravu. Nejdůležitější z parametrů pro určování optimální trasy dynamického spojení představují následující 3 hlediska:

- Poptávaný čas přepravy, přesnost provozu – obecné požadavky na přepravu
- Náklady za přepravu – součet všech nákladů spojených s přepravou
- Ekologické hledisko – efektivní optimalizace provozu

Vyjmenované základní hlediska/funkční celky ovlivňují pro tento modelový příklad úroveň Efektivity a s tím spojenou spokojenost cestujících při vypořádání jejich poptávky. Zároveň jsou hlavními z parametrů, které dokážou popsat schopnost navrhovaného dopravního systému uspokojit obecnou poptávku po přepravě. Pokud dojde k nespolehlivosti dopravního systému z hledisek, jejíž druhy ve vztahu k dynamice byly v rámci definice popisovány, je tato Efektivita také snižována. Při velmi malé Efektivitě může dojít k celkové nefunkčnosti nastaveného dopravního systému.

Kompletní modelové posouzení může nalézt nedostatek při definování dynamické oblasti nebo dynamických linek ve vztahu k celému dopravnímu systému. Následně může být tento nedostatek odstraněn. Pomocí modelové situace musí dojít ke zpřesnění parametrů pro určení vhodnosti nasazení dynamické linky nebo definování samotné oblasti ve vztahu k charakteristickému území.

---

Závěrem musí být reálná oprava definované oblasti nebo předělání některých jejích prvků vycházející z provedeného posouzení. Toto posouzení je vhodné provést pro každé nově definované dynamické území.

Tato kapitola je rozdělena na dvě části. První částí je zasazení teoretické poptávky v dynamickém systému do skutečné oblasti. Toto zasazení je účelové a modelově vytvořené tak, aby každá z variant dopravní obsluhy vyjadřovala možnou nastalou situaci v dopravní obsluze (Variantu). Tyto varianty a jejich hodnoty parametrů jsou posuzovány a cíleně upravovány, aby bylo možné porovnávat rozdílné Efektivity spojení a následné rozhodnutí o finální trase. Tato část je vytvořena odborným iteračním procesem váhového ohodnocení parametrů pro každou z variant tak, aby váhové ohodnocení bylo univerzální a mohlo být využito pro jakoukoliv dopravní situaci a kombinaci jejích parametrů. V této praktické části jsou experimentálně získány hodnoty parametrů výpočtu Efektivity spojení, které jsou použitelné pro všechny navržené varianty.

Ve druhé části kapitoly je popsána nová metoda modelování dynamické obsluhy pomocí matematického algoritmu, který čerpá z poznatků iteračního procesu získaných parametrů a vybrané parametry využívá. Struktura této druhé části kapitoly je určena na základě logické posloupnosti při řešení modelové situace:

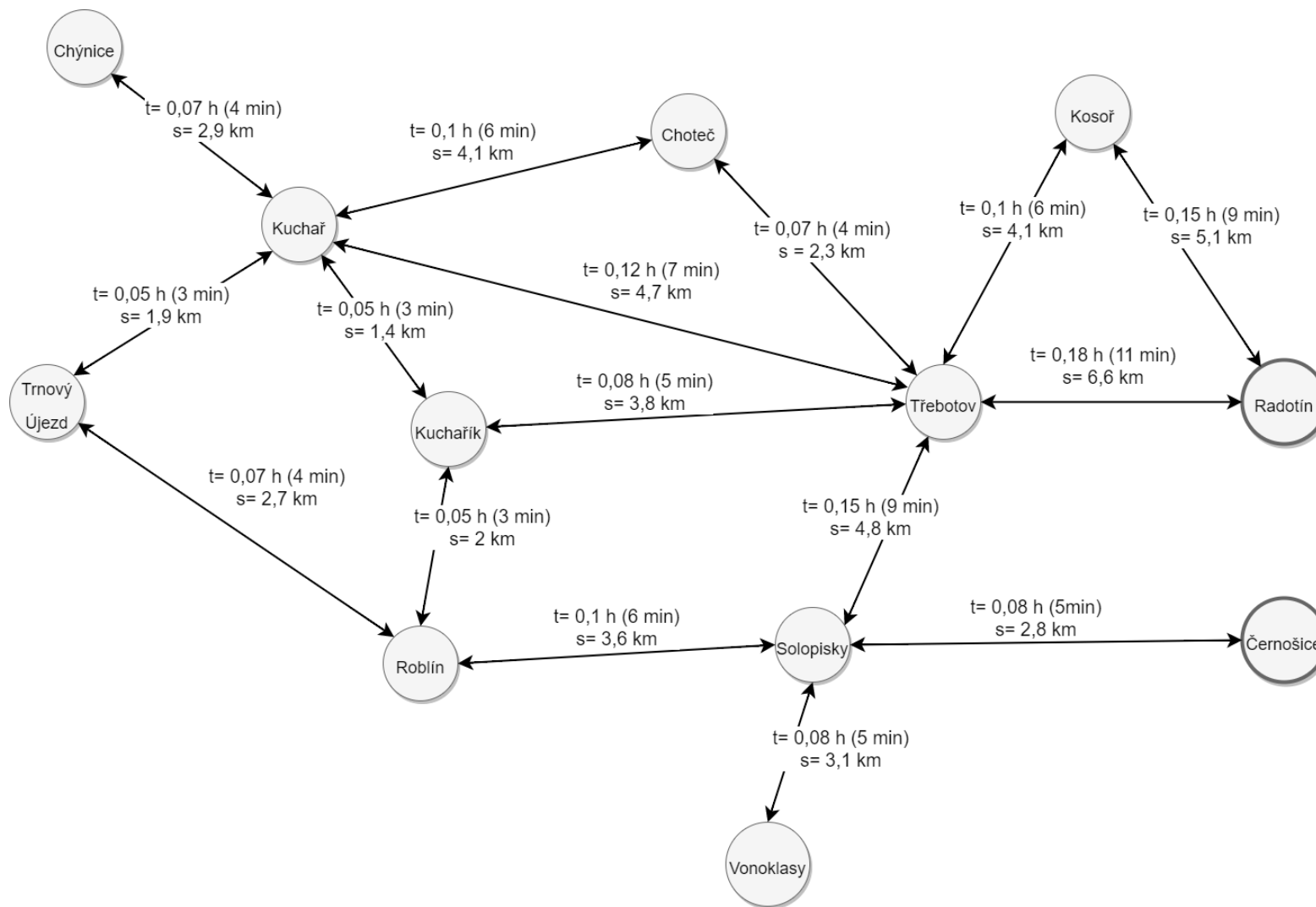
- Určení vhodného nástroje pro modelování dynamického systému
  - Popis fungování modelového nástroje
- Implementace modelového nástroje a použití základního tvaru nové modelovací metody pro problematiku dynamické obsluhy
  - Popis implementace, vlastností a funkčnost modelu
- Zasazení modelu do reálné oblasti
  - Pozorování chování výsledků modelů v reálné oblasti

## 7.1 Posouzení Efektivity dynamické obsluhy v reálné oblasti

Pro toto posouzení je zvolena oblast v těsné blízkosti obce Černošice ve Středočeském kraji, v těsné blízkosti Prahy. Hlavní obsluhu této oblasti zajišťuje vybraná linka 100313, která obsluhuje oblast s výraznými výjimkami v jízdním řádu a svou charakteristikou provozu přímo vybízí k zavedení dynamického provozu. Tato oblast s obsluhou linky 100313 byla uváděna také jako příklad v kapitole 4.3.4 Zasazení definovaných linek do reálného provozu. Reálná mapa oblasti je na obrázku **Obr. 26**: Možnost rozdělení linek dle kategorií v oblasti Černošice. Tato oblast je popsána směrově ohodnoceným grafem, kde vrcholy vyjadřují jednotlivé obce v posuzované oblasti a hrany reprezentují reálné komunikace mezi nimi. Tento graf je zobrazen na následující straně **Obr. 36**: Směrově ohodnocený graf posuzované oblasti Radotín – Černošice.

Pro určení vhodné trasy je pro dynamický přístup použit vytvořený parametr Efektivita spojení, který posouzením jednotlivých parametrů určuje nejvhodnější trasu vzhledem k zadaným parametrům. Je potřeba si uvědomit, že nemusí jít o trasu optimální, ale o trasu nejvhodnější vzhledem k aktuálně vytvořeným parametrům a aktuálním dopravním požadavkům. Optimem je totiž výsledek s obsluhou všech cestujících bez zpoždění. Nejvhodnějším řešením ale může být dojezd se zpožděním, ale obsluha více cestujících, nebo naopak neobsloužení cestujícího při výrazném negativním ovlivnění ostatních cestujících (nestihnutí přípoje, malá cestovní rychlost a podobně). Pro modelový případ jsou použity právě parametry cestujícího Čas odjezdu a příjezdu, respektive zpoždění, cestovní rychlost a obsloužení cestujícího. Jako parametr související s provozem bude posuzován parametr ujetá vzdálenost a čas strávený na trase. Pro skutečný provoz a skutečné posouzení Efektivity spojení dynamického provozu je samozřejmě vhodné rozhodnout a posouzení případně více parametrů popisovaných v této práci, a to v závislosti na požadavcích objednavatele. Pro vysvětlení tvorby trasy a posouzení váhového ohodnocení parametrů jsou tyto parametry dostačující.





Obr. 36: Směrově ohodnocený graf posuzované oblasti Radotín – Černošice

Parametry použité pro zhodnocení váhového ohodnocení parametrů, budou dosazovány do vzorce pro výpočet Efektivity ( $E$ ) dynamického spojení za hodnoty  $x_i$ , dle vzorce Efektivity spojení.

$$E_{cesta} = x_1 \cdot w_1 + x_2 \cdot w_2 + x_3 \cdot w_3 + x_4 \cdot w_4 + \dots + x_n \cdot w_n$$

Hodnota pro klasifikaci váhy parametru je vždy definována jednotlivými dopravními systémy individuálně. Pro tento experiment posouzení jsou definovány variantní řešení chování dopravního systému při dynamické obsluze. Jedná se o varianty A až I a tyto varianty jsou podrobně rozpracovány a ohodnoceny konkrétními hodnotami v **Seznam příloh** této práce. Pro tyto varianty jsou jednotlivými iteracemi a heuristické metody posuzování vytvářena taková váhová ohodnocení parametrů dopravní obsluhy, aby ohodnocení bylo univerzální a mohlo být využito ve všech případech posuzujících dynamický dopravní systém. Pro každou z variant je uvažována také testovací úloha, kde je posuzován přínos a definován cíl dopravního chování za podmínek dané varianty.

### 7.1.1 Varianty dopravní situace dynamické obsluhy

Varianty byly vytvořeny cíleně s požadavkem na vytvoření znalosti o váhovém ohodnocení parametrů. Variantní posouzení má za cíl definovat možné nastalé situace v dopravní obsluze a z nich definovat zmíněné rozhodovací parametry a jejich váhy tak, aby odpovídaly požadovanému výsledku. Jde tedy zároveň o ověření a kalibraci jednotlivých vah parametrů. Při řešení testovacích úloh je vždy vhodný výsledek vyznačen tučně.

#### **Varianta A - Standardní situace bez definovaných časů**

Varianta A vychází z jednoduché a základní situace, kdy cestující zadají požadavek na přepravu, ale nemají definovaný žádný konkrétní čas odjezdu ani konkrétní čas příjezdu do svého cíle. Požadavkem proto může být „Dovezte mě odtud do tohoto místa co nejdříve“, konkrétní čas ale není stanoven.

Při tako nastavené variantě je řešena následující testovací úloha, respektive požadavek na posouzení dvou přístupů k dopravní obsluze:

**Cestovní rychlost cestujících**

Nejkratší trasa (nejmenší provozní náklady)

Při rozhodování, která z variant je vhodným řešením dopravní obsluhy, je přikloněno k variantě podporujícího cestujícího. Je vhodné podporovat cestujícího i při vyšších než minimálních provozních nákladech. Nemůže proto nastat situace, kdy nebude cestující obsloužen, jen protože by spoj musel vytvořit krátký závlek, což by ale znamenalo vyšší než minimální náklady.

---

**Varianta B – Definovaný čas příjezdu jednoho z cestujících**

Varianta B popisuje dopravní situaci, kdy jeden z cestujících (část cestujících) má definovaný čas příjezdu do cílové zastávky. Cílem je proto nalezení nejvhodnější trasy tak, aby byli obslouženi všichni cestující, ale s doprovodným požadavkem jednoho z nich. Vychází se dále z předpokladu, že cestující vyjíždějí společně z jednoho bodu a jsou rozvezeni po celém obsluhovaném území.

Při tako nastavené variantě je řešena následující testovací úloha, respektive požadavek na posouzení dvou přístupů k dopravní obsluze:

<b>Splnění požadavku na čas příjezdu, ale nízká cestovní rychlost ostatních cestujících</b>	<b>Příjezd se zpožděním, ale je dosaženo vyšší cestovní rychlosti ostatních cestujících</b>
---	---

Rozhodnutí správného výsledku této varianty je ovlivněna ohraničujícími pravidly dopravního systému, který může stanovit, jak velké je únosné zpoždění. Přesto je pro tuto variantu uvažováno o vhodnějším výsledku zpoždění jednotlivce oproti výraznému prodloužení cestovní doby ostatních cestujících. Smyslem je zamezení dlouhého a zbytečného vození cestujících po dané oblasti, kdy se může ze standardní délky cesty, která může trvat 10 minut stát cesta i několikanásobně delší.

**Varianta C - Definovaný čas příjezdu cestujícího s následným přestupem**

Tato varianta C je podobná předchozí variantě. Jde zde o posouzení a nalezení nejvhodnější trasy s jedním časovým požadavkem na příjezd, avšak rozdílem je důvod tohoto požadavku, a to čas přestupu na návazná spojení. Tímto se stává tento požadavek významným.

Při tako nastavené variantě je řešena následující testovací úloha, respektive požadavek na posouzení dvou přístupů k dopravní obsluze:

<b>Splnění požadavku na čas příjezdu, ale nízká cestovní rychlost ostatních cestujících</b>	<b>Příjezd se zpožděním, ale je dosaženo vyšší cestovní rychlosti ostatních cestujících</b>
---	---

V tomto případě je chtěný výsledek opačný, jelikož je důležité, aby cestujícímu bylo umožněno přestoupit na návaznou dopravu. Není možné vytvořit „uvíznutí“ cestujícího na trase jeho cesty.

---

**Varianta D - Stanovený čas příjezdu více cestujících, jeden návazný přestup**

Varianta D posuzuje možnosti rozhodování ve vztahu se zpožděním spoje. Cestujícími jsou definovány časy příjezdů do cílových zastávek, jeden z požadavků je ale definován jako čas potřebný pro přestup na návaznou dopravu. V této variantě je také uvažováno se zadaným časem odjezdu (například návazný spoj na předchozí spojení). Není proto možné vypravit daný spoj dříve, aby byly splněny všechny požadavky na přepravu. Pokud by nebyly definované časy na odjezd, výpočet efektivity počítá s dřívějším odjezdem spoje, a tedy splněním požadavků všech cestujících.

Při tako nastavené variantě je řešena následující testovací úloha, respektive požadavek na posouzení dvou přístupů k dopravní obsluze:

Splnění časových požadavků více cestujících na příjezd	<b>Splnění časového požadavku na přestup jednoho cestujícího</b>
---	--

I v této variantě hraje podstatnou roli požadavek na přestup na návaznou dopravu. Tento předpoklad vychází ze základní myšlenky umožnit všem cestujícím dostat se do svého cíle. Opět záleží na dopravním systému, jaké okrajové podmínky pro dopravní obsluhu zvolí a tento předpoklad může ohýbat. Při posuzování Efektivity spojení může dojít k závěru, kdy vyšší počet cestujících bude mít i přes původní záměr přednost (jsou tedy definovány počty cestujících). Je totiž vycházeno z logiky, kdy parametr příjezdu v chtěný čas bude dosahovat i s nižším váhovým ohodnocením vyšších výsledků Efektivity spojení. Zároveň je potom důležité v reálném provozu posuzovat možnosti přestupu. Je-li přestup realizován na přestupní vazby s intervalem 5 minut, je preference tohoto přestupu, a tedy omezování ostatních cestujících irelevantní.

**Varianta E – Neobsloužení cestujícího**

Pro variantu E je velmi důležitá místně definovaná poptávka v oblasti. Může docházet k požadavkům na přepravu, kdy jednotliví cestující mají v jeden čas diametrálně rozdílné požadavky. Tato varianta proto řeší rozhodnutí o neobsloužení některého z cestujících v daném časovém intervalu.

Při tako nastavené variantě je řešena následující testovací úloha, respektive požadavek na posouzení dvou přístupů k dopravní obsluze:

<b>Vyšší cestovní rychlost i vyšší provozní efektivita</b>	Obsloužení všichni cestující za výrazného snížení cestovní rychlosti a provozní efektivity
--	---

---

Pro tuto variantu je preferováno rozhodnutí neobsloužit jednotlivého cestujícího, pokud má výrazný vliv na přepravu ostatních cestujících a také provozní náklady. Příkladem může být obsluha 1 cestujícího, pro kterého musí být vypraveno vozidlo. V takovém případě je cestujícímu doporučena z ekonomických důvodů volba jiného módu dopravy nebo jiného časového slotu, případně taxi. Podobně může být definován případ, kdy jsou přepravováni cestující pouze v jedné části oblasti a jediný cestující poptává dopravu v části jiné, vzdálené. V takovém případě by přepravování cestující museli být přepravováni výrazně delší dobu a velmi by se jim snížila cestovní rychlost, a tedy i atraktivita tohoto způsobu dopravy.

### **Varianta F – Posouzení dřívějšího odjezdu spoje pro dosažení možnosti přestupu**

Oproti variantě E je tato varianta zaměřena na rozhodnutí vypravení spoje dříve, než je definováno cestujícím. Vstupní podmínkou je také to, že cestující mají zájem o přestup na návaznou dopravu.

Při tako nastavené variantě je řešena následující testovací úloha, respektive požadavek na posouzení dvou přístupů k dopravní obsluze:

**Zachování možnosti přestupu, ale  
nesplnění požadavku na odjezd**

Splnění požadavku na odjezd, nedodržení  
časového požadavku na přestup

Tento výstup posuzuje potřeby přestupu na návaznou dopravu. Tento přestup je konfrontován se zadaným časem odjezdu. Výsledné rozhodnutí je nastaveno tak, aby byl upřednostněn požadavek na přestup oproti času odjezdu spoje. Pokud nastavení trasy vyžaduje dřívější odjezd spoje, aby se chtěný přestup stihl, je nutné tento čas odjezdu upravit. Opět je nutné brát v potaz další okrajové podmínky, může dojít k tomu, že cestující nestíhá dřívější odjezd, tím je označen za neobslouženého, a tedy je Efektivita snížena. Vhodnou odpovědí proto pro tuto variantu nemusí být varianta zvolená, pro posouzení obecného ohodnocení parametrů byla zvolená jako vhodnější.

---

**Varianta G – Splnění podmínek odjezdu, nesplnění podmínek příjezdu**

Pro tuto variantu jsou časové požadavky cestujícími stanoveny. Jsou stanoveny časy odjezdu i příjezdu. Žádný z požadavků ale nepředpokládá následný přestup cestujících na návaznou dopravu.

Při tako nastavené variantě je řešena následující testovací úloha, respektive požadavek na posouzení dvou přístupů k dopravní obsluze:

Zachování času příjezdu (bez přestupu), ale  
nesplnění požadavku na čas odjezdu spoje

**Splnění podmínek odjezdu spoje, ale  
zpoždění při příjezdu**

Touto variantou a rozhodnutím o správnosti výsledku je snahou splnit požadavky na odjezd spojů a tedy zajistit, že všichni cestující stihnou nabízený spoj, a tedy nedojde k neobsloužení cestujících. Vzhledem k nutnosti kombinovat všechny požadavky pro nalezení nejvhodnější trasy, může dojít ke zpoždění. Vzhledem ke skutečnosti, že cestující nemusí přestupovat na navazující spojení, je drobné zpoždění, pro účely definování váhového ohodnocení, tolerováno.

**Varianta H – Posouzení překročení kapacity vozidla**

V této variantě je řešena problematika objednání spojů cestujícími za předpokladu překročení kapacity přiděleného vozidla pro obsluhu daného území. V daný časový okamžik je příliš mnoho požadavků na přepravu.

Při tako nastavené variantě je řešena následující testovací úloha, respektive požadavek na posouzení dvou přístupů k dopravní obsluze:

**Využití 1 vozidla vícekrát**

**Využití 2 vozidel najednou**

Pro řešení tohoto problému jsou definována různá řešení popsaná v kapitole 6.1.2 Provozní potřeby dopravního systému. Jako vhodnější řešení se jeví použití 1 přímo vyčleněného vozidla vícekrát a z tohoto předpokladu je vycházeno pro vytvořenou variantu H pro posouzení váhového ohodnocení parametrů. Přesto je možné zvolit i jiné možnosti, a to vždy na konkrétním rozhodnutí daného dopravního systému. V případě systému, kde vypravení vozidla představuje neúměrné náklady je rozumné nastavit negativní ohodnocení parametrů a vypravit pouze vyčleněné vozidlo. V jiných systémech s dostatečným vozovým parkem je možné nechat rozhodovat o volbě právě algoritmus Efektivity obsluhy.

---

**Varianta I – Posouzení včasného příjezdu pro možnost přestupu oproti dřívějšímu odjezdu spoje a tím nestihnutí přípoje cestujícího**

Poslední variantou I je snahou posoudit důležité cíle cestujících, a to stihnoutí návazného spojení, tedy včasný příjezd na přestup dle požadovaného času za cenu dřívějšího odjezdu nebo vyčkání na chtěný odjezd v závislosti na příjíždějícím spoji. Pokud by tedy došlo k dřívějšímu odjetí, příjíždějící cestující by již neměl možnost využít návazného dynamického spojení.

Při tako nastavené variantě je řešena následující testovací úloha, respektive požadavek na posouzení dvou přístupů k dopravní obsluze:

<b>Splnění požadavku na čas odjezdu, ale nestihnutí návazného spojení</b>	<b>Dřívější odjezd a tím ujetí dynamického návazného spojení za cenu stihnoutí návazného spojení</b>
---	--

Tato varianta je opět velmi náročná na posouzení a je zde umístěna pro popis možné situace, kterou je nutné v provozu řešit. Jakým způsobem je možné určit, kterého cestujícího je možné neobsloužit, respektive nezajistit mu návazné spojení. Jelikož není možné u jednotlivců preferovat, musí pro výpočet výsledné Efektivitu rozhodnou ostatní parametry. V tomto případě například počet cestujících, kdy vyšší počet má přirozeně přednost. V případě rovnosti potom mohou rozhodovat například provozní náklady a cestovní rychlost, které rozhodnou o cestujícím, který může být převezen. Obecně platí, že tyto parametry musí ovlivňovat konkrétní dopravní systém a případně charakteristika dopravy. Pokud není chtěný přestup možné stihnout, ale následující možné spojení jede v řádech minut, tento přestup má nižší váhu než navazující dynamické spojení, na které by cestující musel čekat v řádech hodin a podobně

**7.1.2 Oblast relevantnosti hodnot parametrů (oblast přijatelnosti)**

Předmětem těchto posouzení není hotový produkt, ale názorné ukázání a představení základních vybraných typových situací, které mohou v dynamickém systému nastat a musí být Efektivitou provozu posouzeny. Jedná se o situace, které mohou být hraniční a definováním chování systému v těchto situacích určuje způsob i rozsah provozu dynamické obsluhy. Pro reálný provoz je nutné parametry definovat s respektováním konkrétní oblasti i daného dopravního systému a jeho politiky. Proto každý dopravní systém, který obsahuje dynamický systém obsluhy musí stanovit oblasti relevantnosti hodnot ovlivňujících parametrů, které budou respektovat rozhodnutí, která byly variantně naznačeny v předchozí podkapitole. Přesně toto odpovídá nutnosti definice rozsahu hodnot.



Pro jednotlivé navržené varianty jsou v rámci této práce vytvořeny příklady konkrétních hodnot parametrů, které splňují logická rozhodnutí daná pro obsluhu území. Tyto hodnoty parametrů vycházejí, respektive jsou určeny dle nastavených logických pravidel a chtěného chování dopravní obsluhy, je určeno obecným přístupem s požadavkem na co nejlepší dopravní služby pro cestujícího. Přesto některé dopravní systémy budou tyto hodnoty ohýbat, není proto možné striktně rozhodnout a definovat konkrétní hodnotu váhy parametru.

Pro jednotlivé parametry je vytvořen definiční obor parametru, který určuje, jaké hodnoty může daný parametr nabývat. Tento definiční obor určuje rozsah hodnot, kterých může dle zmíněné logiky provozu daný parametr nabývat. Standardně pro popis hodnot parametru Efektivity je možné definovat definiční obor, který obsahuje jakoukoliv hodnotu z reálných čísel.

$$D(f) = R$$

V závislosti právě na logických podmínkách provozu je však nutné jednotlivé parametry intervalově ohraničit, aby odpovídaly podmínkám dopravní obsluhy. V následující tabulce jsou vytvořeny definiční obory pro jednotlivé parametry Efektivity. Tyto definiční obory definují rozsah hodnot váhového ohodnocení tak, aby bylo zřejmé, jakou váhu má daný parametr i ve vztahu k ostatním parametrům. Definiční obory se vzájemně mohou svým rozsahem překrývat, přesto za pomoci doplňujících logických podmínek mohou být definovány vzájemné vztahy, čímž bude daný definiční obor omezen. Přesto nelze toto omezení obecně stanovit, jelikož je opět naráženo na individuální interní politiku jednotlivých dopravních systémů.

Ovlivňujícím prvkem pro definování definičního oboru je také hlavní princip tvorby Efektivity. Efektivita rozhoduje o trase a parametrech spoje. Právě porovnáním jednotlivých hodnot Efektivity je určena vhodná trasa. Z tohoto porovnání ale nevyplývá, respektive není možné určit interval hodnot, pro jaký je hodnota Efektivity vždy určující jako ta vítězná. Ve výsledku mohou být porovnávány dokonce záporné hodnoty Efektivity.

Z určeného definičního oboru jsou následně vytvořeny pro jednotlivé parametry základní váhová ohodnocení, která vycházejí z předpokladu ideální hodnoty. V následující **Tab. 8:** Základní a navrhovaná váhová ohodnocení parametrů se nachází také Navržené váhové ohodnocení. Toto ohodnocení vychází z podrobné analýzy a reálného zasazení Variant do reálných situací dle kapitoly 7.1.1 Varianty dopravní situace dynamické obsluhy. Jednotlivé hodnoty parametrů byly nalezeny za použití heuristické metody odhadu, podložené potřebami reálného chování dopravní obsluhy a porovnáváním hodnot, vycházející z jednotlivých variant dopravních situací dynamické obsluhy. Zjištění nových navržených hodnot bylo provedeno v iteračních krocích. Toto podrobné zasazení a výpočet jednotlivých parametrů dle vytvořených Variant je součástí **Seznam příloh.**

Název parametru	Č.	Definiční obor	Doplňující logické podmínky
<b><i>Splnění požadavků cestujících</i></b>			
Příjezd do cíle v chtěný čas	1	$D(f_1) = \langle 0, \infty \rangle$	$D(f_1) > D(f_2)$
Odjezd z výchozí zastávky v chtěný čas	2	$D(f_2) = \langle 0, \infty \rangle$	Nezávislé, vychází z dopravní politiky
<b><i>Odchylka od požadavků cestujících</i></b>			
Příjezd dříve než v chtěný čas	3	$D(f_3) = \langle -\infty, \infty \rangle$	Nezávislé, vychází z dopravní politiky
Příjezd se zpožděním	4	$D(f_4) = \langle -\infty, 0 \rangle$	$D(f_4) > D(f_5) \cap$
Jiný cíl nebo neexistující návazné spojení	5	$D(f_5) = \langle -\infty, 0 \rangle$	$D(f_4) > D(f_6) \cap$
Cestující neobsloužen	6	$D(f_6) = \langle -\infty, 0 \rangle$	$D(f_5) < D(f_6)$
<b><i>Kvalita přepravy cestujících</i></b>			
Cestovní rychlost [km/h]	7	$D(f_7) = \langle 0, \infty \rangle$	Nezávislé, vychází z dopravní politiky
<b><i>Náklady dopravce</i></b>			
Ujetá vzdálenost – dopravce [km]	8	$D(f_8) = \langle -\infty, 0 \rangle$	$D(f_8) \geq D(f_{3,4,5,6})$
Doba výkonu vozidla a řidiče [min]	9	$D(f_9) = \langle -\infty, 0 \rangle$	$D(f_9) > D(f_8)$
Vypravení nového vozidla	10	$D(f_{10}) = \langle -\infty, 0 \rangle$	$D(f_{10}) < D(f_9)$

**Tab. 7:** Definiční obor parametrů Efektivity

Základní návrh váhového ohodnocení byl odvozeno dle předpokladů fungování dopravního obsluhy a také dle nastavených definičních oborů a jejich doplňujících logických podmínek. Váhové ohodnocení bylo dosazeno do předpřipravených variant možností A – H a byl určen v jednotlivých krocích optimalizace určen vhodný vzájemný vztah tak, aby výsledná Efektivita odpovídala předpokládanému chování dopravního systému. V následující tabulce je zaznamenán původní návrh parametrů a zároveň finální výsledek optimalizace po iteračním procesu dosazení hodnot parametrů. V další **Tab. 9:** Hodnoty Efektivity pro jednotlivé varianty dopravní obsluhy jsou pak zobrazeny hodnoty Efektivit pro jednotlivé varianty dopravní obsluhy.

Název parametru	Č.	Základní váhové ohodnocení	OK	Optimalizovaná váhová ohodnocení	OK
Příjezd do cíle v chtěný čas	1	10	✓	10	✓
Odjezd z výchozí zastávky v chtěný čas	2	1	×	5	✓
Příjezd dříve než v chtěný čas	3	0	×	-1	✓
Příjezd se zpožděním	4	-5	✓	-5	✓
Jiný cíl nebo neexistující návazné spojení	5	-20	×	-40	✓
Cestující neobsloužen	6	-15	×	-30	✓
Cestovní rychlost [km/h]	7	2	✓	2	✓
Ujetá vzdálenost – dopravce [km]	8	-1	✓	-1	✓
Doba výkonu vozidla a řidiče [min]	9	-0,5	✓	-0,5	✓
Vypravení nového vozidla	10	-20	✓	-20	✓

**Tab. 8:** Základní a navrhovaná váhová ohodnocení parametrů

Optimalizace váhových ohodnocení parametrů vychází z iteračního procesu dosazování hodnot parametrů a porovnávání dle připravených variant. Optimalizace parametrů probíhala ve více krocích, v **Tab. 8:** Základní a navrhovaná váhová ohodnocení parametrů jsou zobrazeny původní hodnoty parametrů a nutnost jejich úprav pro dosažení ideálního optimalizovaného řešení. V následující **Tab. 9:** Hodnoty Efektivity pro jednotlivé varianty dopravní obsluhy jsou získané hodnoty pomocí opakovaného iteračního procesu dosazeny do variant řešení a jsou zobrazeny výsledné hodnoty Efektivity. Na první pohled je vidět rozdíl oproti původně zadávaným hodnotám a nově optimalizovaným hodnotám, které následně splňují předpoklady pro správné fungování v dané charakteristické oblasti.

Varianta A - Standardní situace bez definování časů			
Možnosti	Charakteristika	EFEKTIVITA ZÁKLADNÍ	EFEKTIVITA ALTERNATIVNÍ
Možnost A	Nejkratší trasa (nejnižší provozní náklady)	96,46666667	116,46666667
Možnost B	Vyšší cestovní rychlost cestujících	99,01382114	119,0138211

Varianta B - Dosažení cíle se zpožděním			
Možnosti	Charakteristika	EFEKTIVITA ZÁKLADNÍ	EFEKTIVITA ALTERNATIVNÍ
Možnost A	Bez zpoždění, ale nižší cestovní rychlost	53,46135006	73,46135006
Možnost B	Vyšší cestovní rychlost, ale se zpožděním	66,13333333	86,13333333

Varianta C - Definovaný čas příjezdu jednoho z cestujících s následným přestupem			
Možnosti	Charakteristika	EFEKTIVITA ZÁKLADNÍ	EFEKTIVITA ALTERNATIVNÍ
Možnost A	Nízká cestovní rychlost, splnění času příjezdu na přestup	53,46135006	73,46135006
Možnost B	Příjezd se zpožděním, vyšší cestovní rychlost	51,13333333	51,13333333

Varianta D - Stanovený čas příjezdu více cestujících, jeden návazný přesup			
Možnosti	Charakteristika	EFEKTIVITA ZÁKLADNÍ	EFEKTIVITA ALTERNATIVNÍ
Možnost A	Příjezd více cestujících včas	49,47215447	45,47215447
Možnost B	Příjezd se zpožděním, umožnění přestupu	45,14314314	61,14314314

Varianta E - Neobsloužení cestujících			
Možnosti	Charakteristika	EFEKTIVITA ZÁKLADNÍ	EFEKTIVITA ALTERNATIVNÍ
Možnost A	Vyšší cestovní rychlost i vyšší provozní efektivita	87,09841897	92,09841897
Možnost B	Obsloužení všichni cestující za výrazného snížení cestovní rychlosti a provozní efektivity	67,93212081	91,93212081

Varianta F - Dřívější vypravení spoje, dosažení možnosti přestupu			
Možnosti	Charakteristika	EFEKTIVITA ZÁKLADNÍ	EFEKTIVITA ALTERNATIVNÍ
Možnost A	Zachování možnosti přestupu, ale nesplnění požadavku na odjezd	94,02105263	102,0210526
Možnost B	Splnění požadavku na odjezd, nedodržení časového požadavku na přestup	48,02105263	32,02105263

Varianta G - Splnění podmínek odjezdu, nesplnění podmínek příjezdu			
Možnosti	Charakteristika	EFEKTIVITA ZÁKLADNÍ	EFEKTIVITA ALTERNATIVNÍ
Možnost A	Zachování času příjezdu (bez přestupu), ale nesplnění požadavku na čas odjezdu spoje	49,65882353	48,65882353
Možnost B	Splnění podmínek odjezdu spoje, ale zpoždění při příjezdu do cíle	46,65882353	54,65882353

Varianta H - Posouzení překročení kapacity vozidla			
Možnosti	Charakteristika	EFEKTIVITA ZÁKLADNÍ	EFEKTIVITA ALTERNATIVNÍ
Možnost A	Využití 1 vozidla vícekrát	301,0417249	405,0417249
Možnost B	Využití 2 vozidel najednou	307,8981352	411,8981352

**Tab. 9:** Hodnoty Efektivity pro jednotlivé varianty dopravní obsluhy

V nalezených případech je možné pozorovat nutnost změnit hodnoty původně stanoveného váhového ohodnocení parametrů. Tímto odborným iteračním procesem optimalizace váhového ohodnocení parametrů vznikla Navržená váhová ohodnocení (Efektivita Alternativní), souhrnně popsané v tabulce výše. (**Tab. 8**). Po jednotlivých iteračních krocích při úpravě vah parametrů již

dochází ke chtěnému výsledku výpočtu Efektivity, který splňuje chtěné výsledky. Obecně jde o posouzení navrhovaných hodnot a kontroly, jestli v některých případech nedochází k extrémům a výraznému ovlivnění hodnot Efektivity. V některých případech je obtížné rozhodnout, je-li hodnota parametru správně v intervalu kladných nebo záporných hodnot. Příkladem je Příjezd dříve do cílové destinace. V některých případech je cestující potěšen dřívějším příjezdem, v jiném případě musí cestující přestupovat a zbytečně se mu prodlužuje doba čekání na návazný spoj. V takovém případě by hodnota měla být ohodnocena zápornou hodnotou. Z tohoto důvodu byl definiční obor pro tento parametr zvolen jako všechna reálná čísla, jelikož toto rozhodnutí opět respektuje politiku daného dopravního systému. Snahou optimalizace je nalezení všech takových diskutabilních hodnot nebo hodnot krajních. Podrobné výpočty a jednotlivá zadání dopravních situací pro jednotlivé varianty, které jsou zobrazeny v předchozích tabulkách jsou obsahem **Seznam příloh**.

### **7.1.3 Shrnutí navrženého přístupu posouzení efektivity a vytvoření adaptivního indikátoru dynamického modelu obsluhy**

Výsledkem této části práce je dodání reálného náhledu na fungování dynamické obsluhy území oproti předchozímu teoretickému popisu fungování systému. Efektivita jako navržený nástroj pro optimalizaci a výběr vhodného spojení (trasa i časová poloha) je zde vypočítána pro zvolené varianty dopravní obsluhy, které mohou nastat v reálném provozu a mohou být zdrojem obtížného rozhodování o vhodnosti trasy spoje. Pro tyto varianty je potom Efektivita vypočítávána na základě dosažení hodnot parametrů, které Efektivitu ovlivňují. Tyto hodnoty parametrů prošly optimalizací pomocí iteračního procesu. Výsledkem je náhled na volbu trasy pro konkrétní požadavky cestujících zasazených do reálné oblasti, konkrétně pro tuto práci do oblasti obce Černošice a městské části Praha, Radotín. Díky tomu může být představen návrh hodnot parametrů pro konkrétní oblast, jejich definičních oborů hodnot a jejich vzájemných doplňujících podmínek. Podrobné hodnoty výpočtů, zdrojů tabulek a dalších optimalizačních kroků jsou umístěny v **Seznam příloh** této práce.

Efektivita je nástrojem pro ohodnocení nalezených variant. Právě toto ohodnocení je velmi důležité, avšak pro každou oblast je výpočet této hodnoty rozdílný. Po dosažení optimalizovaných hodnot parametrů pro výpočet proto získáváme adaptivní indikátor, který je specifický právě svou proměnností a specifícností pro danou oblast. Tento indikátor může sloužit k definování a ohodnocení nalezených variant řešení. Lze tedy výsledek pojmenovat také jako adaptivní a dynamický KPI indikátor, který ohodnocuje kvalitu dopravního spojení pro danou oblast. Proto jedním z výsledků této práce je vytvoření ohodnocení dopravní obsluhy pomocí Efektivity, respektive dynamického adaptivního indikátoru dynamické obsluhy území.

---

Z toho však stále vychází, že podstatným předpokladem, je stále nutnost respektovat dané charakteristické prostředí a dopravní politiku dopravního systému, z toho dynamická obsluha vychází. Zároveň, aby systém výběru parametrů trasy mohl v dynamické obsluze fungovat, musí být vždy zajištěna **opakovatelnost** procesu. Právě díky opakovatelnosti je možné zanést vstupní podmínky charakteristického území a dojít k chtěným výsledkům. Je možné díky tomu zjistit případné anomálie a nutnost úpravy velikosti území, rozsahu provozu a podobně. Výsledek vyjde pro každé území hodnotami vzájemně rozdílně, tedy i k příkladové oblasti Praha – Radotín ve vztahu k jiným oblastem. Ve vztahu k opakovatelnosti však hodnoty definičních oborů a jejich vzájemným logickým podmínkám, musí vyjít vždy shodně. Vždy musí být dodržen vztah mezi veličinami i v případě rozdílných přístupů a politiky dopravního systému. Toto je důvod, proč definiční obor není striktně definován hodnotami, je tvořen obecně, ale jeho hranice musí být vždy dodrženy. Díky tomu je možná opakovatelnost a aplikovatelnost v různých oblastech, a hlavně zajištění konzistence a funkčnosti tohoto systému.

Souhrnný proces posouzení rozhodovacího nástroje a dynamického adaptivního indikátoru dynamické obsluhy území, jako jednoho z cílů disertační práce, je možné shrnout do následných několika bodů:

- Jako rozhodovací nástroj byla nově navržena a vytvořena Efektivita spojení, která je tvořena definovanými parametry a reálnými vnějšími vstupy
- Je navržen definiční obor pro jednotlivé navržené parametry Efektivity spojení. Parametry tohoto rozhodovacího nástroje se odvíjejí od dopravní politiky daného dopravního systému, přesto byl definován obecný definiční obor a jeho další logické podmínky, aby se řešení stalo univerzální a nezávislé právě na politice dopravního systému
- Odbornou znalostí dopravní obsluhy jsou vytvořeny varianty reálného stavu provozu, které mohou nastat na straně cestujících i provozovatele dopravy
- Na základě jednotlivých variant jsou jednotlivé parametry iteračním procesem o několika krocích optimalizovány a zároveň optimalizovány definiční obory hodnot i jejich doplňující logické podmínky
- Díky jasnému vztahu intervalů hodnot jednotlivých parametrů je řešení univerzální. Zároveň při zachování vztahů a hodnot parametrů je řešení opakovatelné. Při zkušebním opětovaném výpočtu je dosaženo stejných výsledků trasování spojů.
- Přínosem je také přenos obecných indikátorů a parametrů na adaptivní, které zachycují dopravní situaci v dané oblasti a dokážou se dle aktuálních podmínek měnit. Optimalizací je poté vytvořeno maximum a optimální řešení pro obsluhu konkrétní dané oblasti.

Doplňujícím přínosem je tímto navržení a vytvoření obecných podmínek, které jsou následně využitelné pro matematické a modelovací metody, kdy na základě podrobného popisu, stanovení indikátorů, hodnot parametrů a podobně, může dojít k optimalizaci dopravního systému. Je možné nalézt hodnoty maxim a minim, pro které je pro dané místo výhodné obsluhu provádět a podobně, tedy může to být nástroj, jak nalézt, co je pro daný dopravní systém ještě výhodné a co již nikoliv a nemusí to být pouze na odborném odhadu nebo rozhodnutí odpovědných dopravních odborníků. Tato práce proto může sloužit jako podklad pro případné další pokračování a na navázání hlubšího modelování konkrétních oblastí. Toto však již není cílem této práce. Pro tuto práci je pro kompletnost a doplnění, vytvořen a doplněn jednoduchý modelový příklad v modelovacím softwaru AnyLogic University, viz následující **Kapitola 7.2** Implementace nové dynamické metody pomocí matematického modelu. Pro tento software je použit zakoupený licenční klíč ze strany ČVUT v Praze FD, bez kterého tento software nelze spustit.



---

## 7.2 Implementace nové dynamické metody pomocí matematického modelu

Pro novou metodu dynamické obsluhy území jsou v rámci této práce variantně vytvořeny a posouzeny reálné situace z provozu. Na základě toho dochází k návrhu ohodnocení parametrů a jejich vah, které slouží pro následné určení vhodné varianty trasy a časové polohy spoje. Toto vychází z posouzení nově definovaného parametru Efektivita. Tato část kapitoly vychází z této nové metody, využívá jejich optimalizačních výsledků a navrhuje použití nástroje, který je pro tento typ dopravního problému vhodné využít. Pro tento účel je představen modelový příklad.

### 7.2.1 Nástroj pro modelování dynamického dopravního systému

Problematika dynamické obsluhy území je založena na kombinaci velmi velkého množství parametrů, které ovlivňují jeho fungování. Dopravní chování je obecně velmi neuspořádané a těžce exaktně definovatelné, tedy matematicky popsitelné. Matematický popis takového chování obnáší vytvoření programového kódu, který je proto značně rozsáhlý a musí obsahovat definované všechny možnosti, které mohou při dopravním chování nastat. Cílem je proto tento kód zjednodušit, respektive využít takového programovacího přístupu, který zjednoduší použití programového kódu a zároveň bude vhodný pro použití v dynamické obsluze území.

Pro toto zjednodušení je zvolen nový přístup využití multiagentního výpočtu řešení. Zjednodušení je založeno na využití jednotlivých agentů, které mohou zastupovat jednotlivé množiny prvků dopravního systému. Tyto množiny simulují chování jednotlivých dopravních částí systému, které vzájemně interagují. Pro tyto množiny je možné dosáhnout nezávislých výsledků. Řešení pak může vzejít na základě využití znalostí všech prvků systému tedy agentů. Právě kooperace, komunikace a využití znalostí okolních částí – agentů je základním smyslem fungování multiagentního systému. Díky tomuto fungování může být vysoká komplexnost dopravního systému zjednodušena a posuzováním a vzájemným vyjednáváním agentů, tedy částí dopravního systému, může být dosaženo optimálního výsledku. Pro tento konkrétní případ bude na základě parametrů jednotlivých agentů a jejich vzájemné interakce určena nejvhodnější trasa spojů pro dynamickou obsluhu, parametrem určení trasy je vytvořená Efektivita spojení.

Pro účely této práce byla provedena důkladná rešerše podkladů pro tento způsob programování, při které byl získán pozitivní náhled na řešení dynamické dopravní problematiky pomocí multiagentní systémů. Použití tohoto způsobu programování bylo využito již při vytváření článků a doprovodné dokumentace autora této práce. [4], [17], [21] a [22]. Použitý způsob řešení byl diskutován s odborníky, kteří se touto problematikou zabývají. Shodou nad tímto řešením je

---

vhodnost použití, způsob využití je však názorově rozdílný. Na základě výzkumu byl pro tuto práci zvolen simulační přístup za pomoci hlavního vyjednávacího agenta.

### **7.2.2 Zasazení a propojení dynamické obsluhy s agentním modelováním**

Základní myšlenkou dynamické obsluhy daného území je nalezení vhodné trasy i časové polohy spojů, která by respektovala požadavky dopravního systému a zároveň byla optimální ve vztahu k nákladům i spokojenosti přepravovaných cestujících. Standardních nástrojů pro nalezení optimální trasy je možné využít více a jsou předmětem Teorie grafů. Jedna ze skupin algoritmů, které řeší optimalizační problém jsou algoritmy založené na problému Obchodního cestujícího, který je zaměřen na hledání minimální trasy na ohodnoceném grafu. Zároveň je předpokladem, že tento průchod grafem protne předem definované vrcholy v grafu. Problematika řešení spočívá ve velké složitosti výpočtu, jelikož je vždy nutné projít všechny existující trasy v grafu a následně rozhodnout o optimální trase. Tuto problematiku lze řešit i dalšími způsoby jako je algoritmus postupného ochlazování nebo genetický algoritmus. [28], [29]

Dynamický systém byl popisován jako dopravní systém, ve kterém je zastoupeno velké množství subjektů, které jsou vzájemně propojeny a ovlivňovány. Na základě tohoto vzájemného ovlivňování dochází na základě výpočtu Efektivity k vytvoření dopravních spojení a přepravení cestujících. Těmito subjekty mohou být cestující, řidiči a podobně. Tyto subjekty se nacházejí v prostředí, které je možné charakterizovat, a které je obklopuje. Toto prostředí může být charakterizováno velkými oblastmi zahrnující velké obytné celky nebo i malé území s roztroušenými obcemi, vždy je ale danými subjekty využíváno a sdíleno. Dohromady zároveň tyto subjekty vzájemně interagují a tato interakce je okolím ovlivněna a ovlivňuje také samotné okolí. Dohromady toto prostředí s danými subjekty tvoří v přeneseném smyslu dopravní ekosystém. Prostředí jako takové může být charakterizováno nejen jako oblast, kde se subjekty nacházejí, ale prostředím mohou být dopravní komunikace, zastávky, přestupní body nebo vozidla určená pro přepravu cestujících. Toto prostředí je daným způsobem ohraničeno, je nabízena definovaná kapacita vozidel, komunikací nebo počet použitelných vozidel. Tato ohraničení poté ovlivňuje nejen samotné prostředí, ale hlavně subjekty v tomto dopravním systému. Nejvýznamnějším subjektem je jistě cestující, který neustále řeší kdy a kam pojede, tedy kudy a čím. Tím ovlivňuje celý nastavený dopravní systém. Kromě cestujícího ale dopravní systém obsahuje velké množství dalších subjektů a proměnných, tedy dimenze celého problému nedovoluje nalézt řešení, které je možné pojmenovat optimální. Vzhledem k tomu, že tento dopravní problém lze charakterizovat jako NP – Hard, je nutné předpokládat, že výsledné nastavení dopravní obsluhy bude řešením přijatelné pro většinu subjektů v dopravním systému.

Toto popisované dopravní chování systému i cestujících lze velmi dobře popsat agentním chováním, jelikož je mu velmi podobné. Jednotlivé subjekty mohou být definované agenty, které jsou v agentních systémech zastoupeny ve velkém počtu. Agenty jednájí ve svém zájmu a chtějí striktně dosáhnout svého cíle, stejně jako subjekty v dynamickém dopravním systému. Cestující má za cíl dosáhnout co nejrychleji své chtěné destinace. Přesto jsou tyto cíle ovlivňovány jinými agenty, které je mohou výrazně ovlivnit. Pokud není možné nasadit vozidlo v chtěné relaci, musí být původní cíl cestujícího přehodnocen. V tomto případě došlo ke konfrontaci agentů vozidla a cestujícího. Dochází k vyjednávání.

Dopravní systém je popisován jako dynamický a jednotlivé agenty musí být na vývoj dopravní situace schopni reagovat. Tato reakce opět vychází z využití z předdefinovaným cílům a vzájemné konfrontace, respektive vyjednávání. Vzájemnou dohodou/konfrontací mohou agenty vytvořit nový akceptovatelný výsledek i bez hlavní řídicí autority, a to i na základě nepředvídatelných situací v dopravním systému. Příkladem může být mimořádná událost na komunikaci. Podmínky přepravy byly změněny a jednotlivé subjekty/agenty musejí vyjednáváním dosáhnout nového přijatelného řešení. Podstatným předpokladem je automatizace a autonomie, není potřebou zásahu rozhodovacího činitele, v rámci dopravního systému například dopravního dispečera. Jednotlivé subjekty/agenty díky svým vyjednávacím schopnostem dokážou nalézt řešení bez zásahu člověka. Dopravní systém lze na základě těchto předpokladů připodobnit fungování multiagentnímu systému, je tedy výhodné pro popis tento způsob využít. [23],[26]

### 7.2.2.1 Typizace agentů a jejich prostředí pro účely dynamické obsluhy

Z celého popisu navrženého způsobu obsluhy území jasně vyplývá, že základním prvkem je dynamičnost a jednoduchá proměna v čase. Tato proměna se promítá do všech částí dopravního systému i jeho okolí. A právě proto dochází i ke změnám v požadavcích a úkolech jednotlivých agentů. Na tyto změny mohou a nemusí agenty reagovat, mohou být vyprovokovány až následnými změnami v dopravním systému, nebo jsou zcela nečinné. Pro úplnost popisu a vysvětlení jsou rozděleny agenty dle definic multiagentního programování. [23],[25],[27],[28],[29]

#### Typy agentů

- *Agent inteligentní* – Směřování agenta k cíli dle své dedukce a své znalosti, může se učit od ostatních agentů nebo reflexí na podněty
- *Agent reaktivní* – Je bez znalosti okolí a jeho chování, reaguje pouze na výzvu, respektive podnětů, není ovlivněn historií
- *Agent deliberativní* – Je bez znalosti okolí a jeho chování, ale je schopný plánovat další postup, využívá znalost prostředí pro dosažení cílů

- 
- *Agent kognitivní* – Má možnost využít umělé inteligence, která umožňuje ukládat podněty z prostředí do databáze znalostí, které jsou dále využity
  - *Agent racionální* – Agent má schopnosti a vlastnosti ostatních agentů, je schopný učit se a plánovat své akce, má schopnost pomáhat technologiím pochopit lidské chování

Kromě agentů je také podstatné popsat prostředí, ve kterém se agenty nacházejí a kde interagují nebo se učí. Toto okolí potom lze věrně spojit s prostředím dynamické obsluhy území a jejich vlastností. Stejně jako agenty, i prostředí je rozdělitelné dle definic multiagentního programování. [23],[25],[27],[28],[29]

### Typ prostředí

- *Pozorovatelné nebo částečně pozorovatelné* – Pozorovatelné prostředí je v případě, kdy agent dokáže kompletně sledovat stav prostředí v případě jiného stavu je prostředí částečně pozorovatelné nebo nepozorovatelné
- *Stochastické nebo deterministické* – Stochastické znamená náhodné, což je možné vztáhnout i k prostředí multiagentního systému (typické pro dynamickou obsluhu území), deterministické naopak je takové prostředí, které je kompletně definováno a zcela určité pro agenty
- *Statické nebo dynamické* – Dynamické prostředí umožňuje agentu reagovat i v době dynamické změny prostředí, pokud se prostředí mění jen na základě jednání agenta, je prostředím statickým
- *Diskrétní nebo spojité* – Diskrétní prostředí má jasně definovanou konečnou množinou stavů, spojité prostředí naopak tuto množinu definovanou nemá.

Dalším typem prostředí, které lze teoreticky rozlišit je prostředí známé nebo neznámé (všechny výsledky akcí v prostředí jsou agentu známy/neznámy) a na prostředí dostupné, případně nedostupné (agent dokáže získat úplnou a správnou informaci o stavu prostředí/nedokáže tuto informaci získat. Toto rozdělení je však doplňkové není pro popis zásadní.

Na základě těchto rozdělení je zřejmé, že pro dynamickou obsluhu oblasti se hodí charakteristické nastavení. Pro prostředí, ve kterém se dynamická obsluha odehrává musí rozhodně být stochastické, jelikož existuje mnoho nepředpokládaných a hlavně měnících se stavů, zároveň je pozorovatelné a logicky dynamické. Z logiky fungování dopravního systému lze definovat chtěné prostředí jako spojité. Ze stejné logiky je možné tvrdit, že daný dopravní dynamický systém, který je definovaný může obsahovat všechny typy agentů.

Pro splnění doplňkového cíle této práce a názornou ukázkou modelování dynamické obsluhy byl, po diskusi a konzultaci s odborníky, zvolen software AnyLogic University, který kombinuje

---

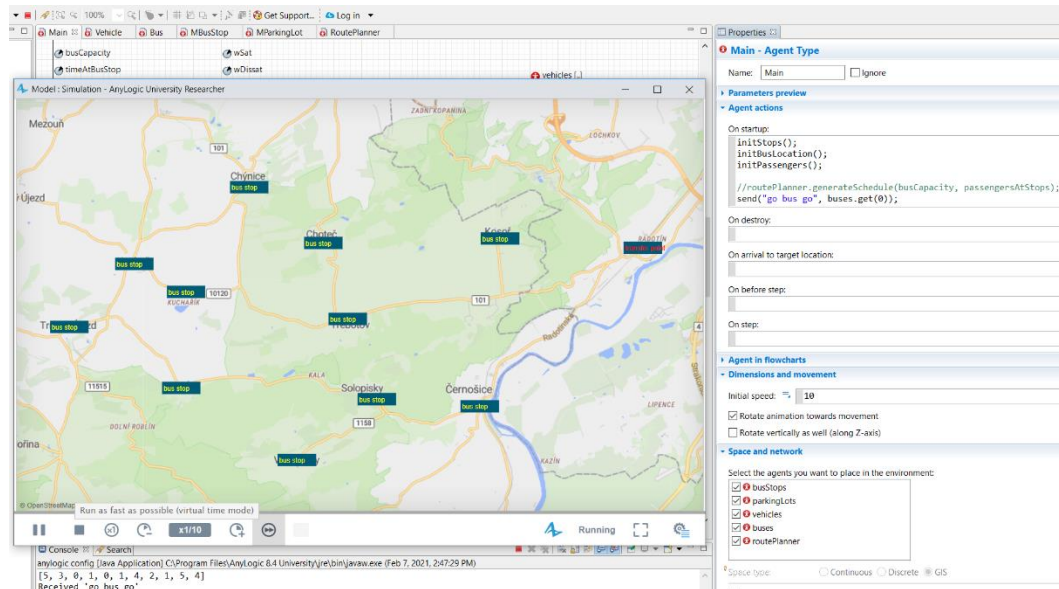
nutnost psaní programovacího kódu s grafickým prostředím znázorněním agent, jejich vzájemné interakce, Flowchartů a dalších. Software AnyLogic University je přizpůsoben modelování a hlavně vizualizaci problému. Pro optimalizaci a výpočet nových řešení je vhodné použít jiný specializovaný software. V následující kapitole je popsán model dynamické obsluhy území.

### 7.2.3 Model dynamické obsluhy území

Dynamický model využívá přístup agentního modelování a je psán v programovacím jazyce Java. Cílem modelování je zobrazit dynamickou obsluhu veřejnou hromadnou dopravu v území. Celý model je tvořen agenty, které zasazením do prostředí a vzájemnou interakcí hledají optimální trasu spojení za daných podmínek. Optimální trasa je vypočítána dle Efektivity definované touto prací. Celý tento model je prezentací příkladu fungování, neslouží jako optimalizační nástroj. Po diskusi s dotazovanými odborníky by měl být v takovém případě použit nejlépe jiný programovací nástroj, v případě tohoto prezentačního účelu je program AnyLogic University naopak vhodným nástrojem. Model je druhou přílohou této práce viz **Seznam příloh**.

#### Inicializace Prostředí

Prvotním krokem, který byl proveden je inicializace prostředí. Jedná se o jistě stochastické prostředí, jelikož poptávka se dynamicky mění, přesto infrastrukturu můžeme hodnotit jako neměnnou. Model v programu AnyLogic využívá možnosti zobrazení interaktivní mapy, která je založena na GIS mapách a využívá kompletní mapové informace. Je proto možné využít informace o vzdálenosti tras komunikací bez nutného programování, vše je řešeno podkladem GIS. Mapovým podkladem a definováním jednotlivých zastávek, přestupních bodů a odstavů vozidla, je určena oblast testovacího území, kde modelový příklad probíhá. Polohy jednotlivých zastávek jsou generovány dle reálných GPS souřadnic, které se načítají z přiložené databáze zastávek (Přiložený soubor „BusStops“). Díky tomu je možné bez problému databázi zaměnit a model bude funkční také pro jiné prostředí. Samozřejmě je nutné uvažovat o velikosti území a počtu zastávek, zaměnitelnost je však realizovatelná.



Obr. 37: Inicializace prostředí GIS

V rámci infrastruktury byly proto pro model určeny pouze zastávky, respektive přestupní body a také garáže pro autobusy. Ostatní infrastruktura byla generována automaticky pomocí Map GIS.

### Inicializace Cestujících

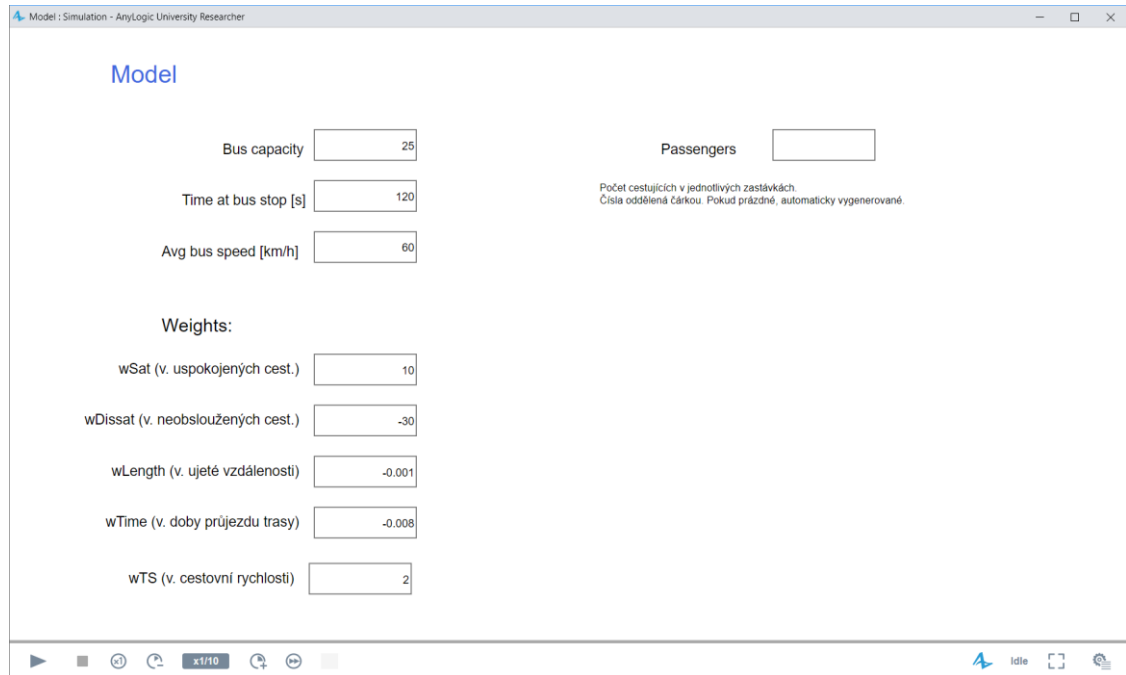
Pro vytvoření příkladu dynamické obsluhy je nutné vytvořit poptávku po přepravě. Tato poptávka je náhodně generována do vytvořených míst zastávek, kdy pro účely modelu byl stanoven interval generování cestujících  $\langle 0,5 \rangle$ . Je vycházeno z menšího počtu cestujících poptávajících dopravu v dané dynamické oblasti, zároveň jistě může dojít k nulové poptávce.

Druhou možností je zadání počtu cestujících ručně. Toto zadání slouží pro otestování, jak vypadá obsluha oblasti v případě, že definujeme přesné počty cestujících v dané oblasti.

### Inicializace Vozidlo

Pro vytvoření možného dopravního prostředku je vytvořen agent třídy „Vehicle“ a v rámci dědičnosti přebírá informaci agent „Bus“, jehož instance (jedno konkrétní vozidlo) je následně vypravována na optimální trasu. Trasa vozidla je určena dle výpočtu Efektivity, přesně dle popisu v kapitole Ohodnocení dopravní obsluhy.

Pro možnosti inicializace a obecného nastavování parametrů je při spuštění modelu vytvořeno prostředí s možnými úpravami hodnot parametrů, respektive s možností doplnění konkrétních hodnot (například viz Inicializace cestujících). Viz **Obr. 38**: Vstupy pro model

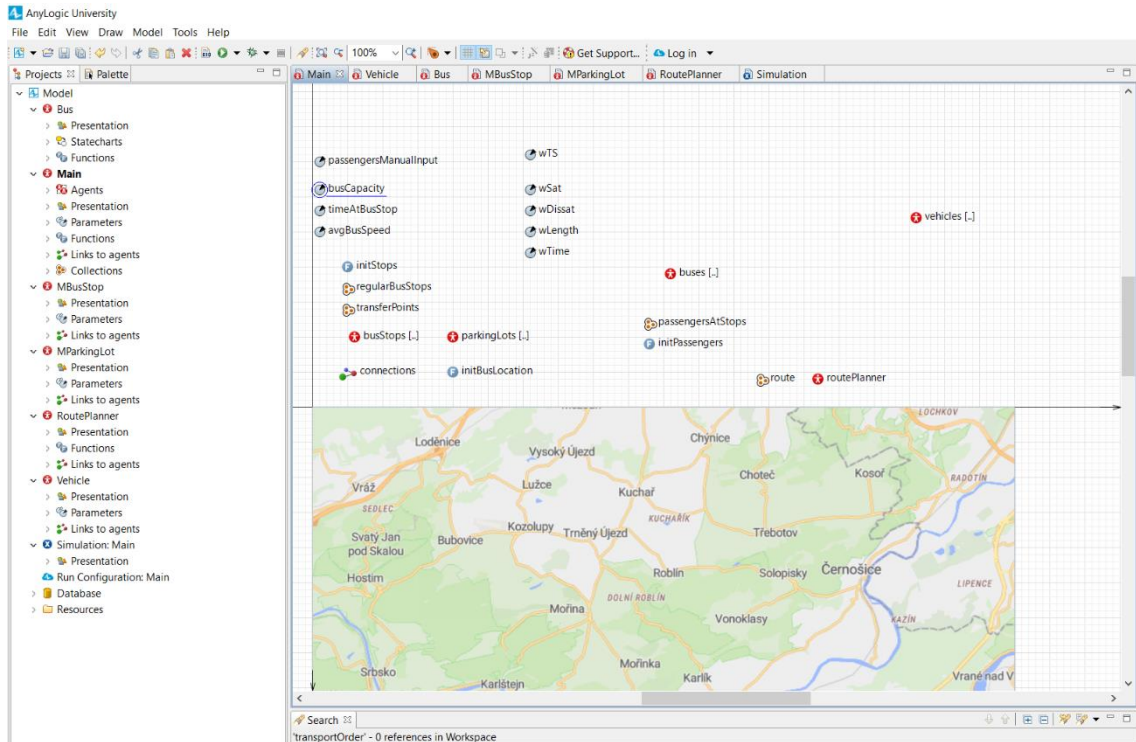


Obr. 38: Vstupy pro model

### 7.2.3.1 Agenty použité v modelu dynamické dopravní obsluhy

Pro multiagentní modelování dopravní obsluhy je nutné definovat samotné agenty. Tyto agenty mají různé úrovně důležitosti a jsou vzájemně provázány. Pro aktuálně prezentovaný model je použito celkem 6 agentů na nejvyšší úrovni. V následujícím **Obr. 39**: Agenty použité pro modelování, je zobrazená základní plocha se všemi používanými agenty.





Obr. 39: Agenty použité pro modelování

### Agent „Main“

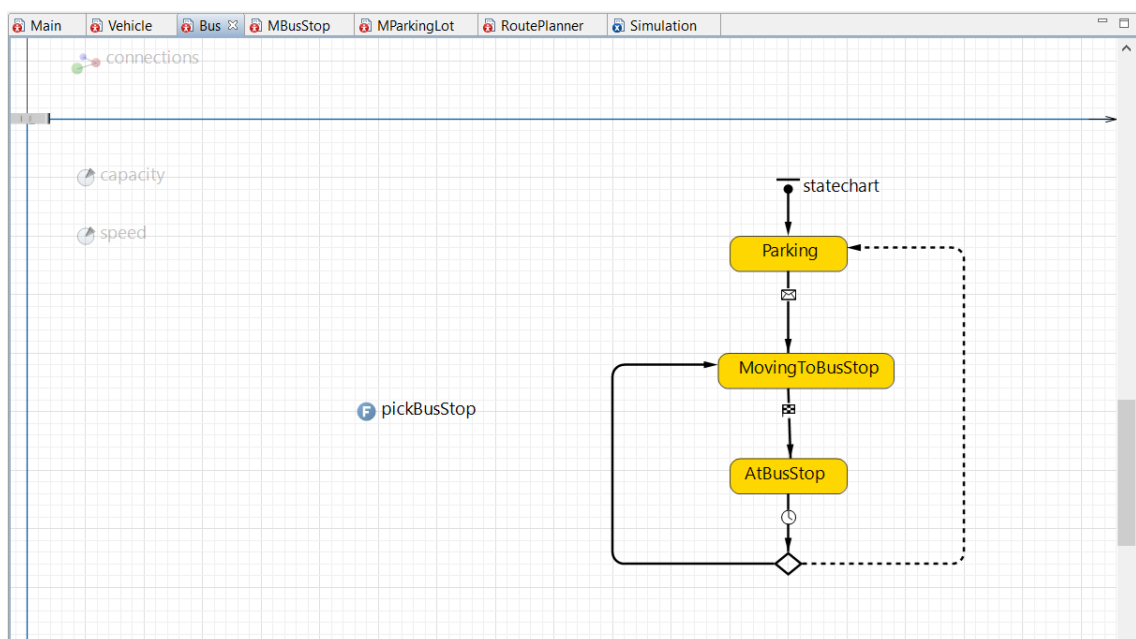
Tento agent je primárním nejdůležitějším agentem, skrze který celá simulace probíhá. Tento agent definuje primární prostředí a spouští výpočty pro získání optimální trasy daného spoje. Pro shrnutí jsou vyzdvíženy významné úkoly tohoto agenta:

- Definuje primární prostředí modelu
  - Obsahuje parametry („Parameters“) prostředí (modelu); příkladem mohou být váha parametrů, průměrná rychlost, kapacita vozidla a podobně
  - Definuje, případně upravuje váhy jednotlivých parametrů nebo vstupy pro zadání modelu
  - Definuje umístění jednotlivých součástí infrastruktury (dle agentů) do vytvořeného prostředí (zastávky, přestupní body, garáže,...)
- V tomto agentu je spuštěn celý výpočetní kód, respektive zde začíná výpočet celého algoritmu. Zde je dále vytvořena funkce pro inicializace – vytváří konkrétní instance agentů
- Zaznamenává a následně využívá, na základě zadaných hodnot v „RoutePlanner“, výsledné optimální dopravní spojení

- Po výpočtu optimální trasy, předává informaci dalším agentům, které realizují vytvořenou optimální trasu

### Agent „Bus“

Tento agent vyčkává, než obdrží informaci ohledně optimální trasy z agenta „Main“, respektive „RoutePlanner“. Tento agent zároveň dědí parametry o kapacitě vozidla a také rychlosti vozidla z agenta „Vehicle“. Po obdržení optimální trasy z agenta „RoutePlanner“, je vypraveno vozidlo (v tomto případě BUS) dle definovaného Statechart viz **Obr. 40**: Statechart Bus. Po projetí trasy se vrací do nejbližšího depa („ParkingLot“). Tento pohyb je velmi jednoduchý, přesto efektivní. Díky tomuto nastavení je možné sledovat výhody rozdělení modelu mezi jednotlivé agenty.



**Obr. 40:** Statechart Bus

### Agent „Vehicle“

Vyšší instance (rozlišovací úroveň) pro agenta „Bus“, obecně zastřešuje všechny dopravní prostředky. Pro tento model není potenciál tohoto agenta využit, jelikož obsahuje pouze BUS. Při rozšíření modelu může obsahovat také cyklo, taxi, čímž rozšíří možnosti obsluhy v dynamickém prostředí. Obsahuje společné parametry a funkce pro všechny prvky spadající do „Vehicle“.

### Agent „MBusStop“

Tento agent definuje jednotlivé zastávky v modelu, vytváří jejich ID a definuje jejich polohu a typ, jako je například přestupnost a podobně. Popisovaný model je tvořen tak, že existuje právě jedno přestupní místo v definované oblasti, kde dané vygenerované spojení má svůj cíl. V reálném provozu, respektive komplexním modelu může být těchto přestupních míst daleko

---

více. Konkrétní data zastávek jsou doplněna při inicializaci a jsou čerpána z databáze v příloženém souboru k modelu BusStops ve formátu .xls. Díky tomu je možné jednoduše měnit modelovou oblast prostou výměnou zdrojové databáze dat se souřadnicemi a rozdělením.

### Agent „MParkingLot“

Agent, který slouží k definici, parametrizaci a reprezentaci garáže vozidel, respektive místa generování vozidel, odkud vozidla vyjíždějí a kam se po projetí optimální trasy „RoutePlannerem“ následně vrací.

### Agent „RoutePlanner“

Tento velmi důležitý agent má za úkol vygenerovat dynamickou trasu spoje. Tento úkol tohoto agenta je tedy principem celé dynamické obsluhy. Na základě určení optimální trasy tento agent předává informaci do proměnné „Route“, která se pak přes hlavního agenta „Main“ předává agentu Bus, aby danou trasu obsloužil.

Výpočet trasy tohoto agenta vychází z funkce „GenerateSchedule“, který porovnává a vyhodnocuje existující trasy pro dané zadání, tedy charakteristické hodnoty parametrů a vygenerovanou poptávku cestujících. Toto porovnání je vždy řešeno pomocí parametru stanoveným touto prací a to Efektivitou dopravního spojení. Pro každou nově posuzovanou trasu je vypočítána a ukládána hodnota Efektivity, která je následně porovnána. Trasa, která je ohodnocena nevyšší hodnotou Efektivity je označena jako optimální a je předána jako výsledná pro další zpracování dalším agentům a následně k odjetí danému vozidlu (agent „Bus“).

Pro získání výsledné hodnoty Efektivity jsou pro účely tohoto modelu porovnávány parametry ujeté vzdálenosti, cestovní rychlosti, čas potřebný k ujetí dané trasy a také spokojenost a nespokojenost s dosažením cíle spoje ve vztahu k jednotlivým cestujícím. Počet převezených cestujících je dále ohraničen kapacitou autobusu, který může být v těchto charakteristických oblastech podstatným parametrem. Všechny tyto hodnoty odpovídají hodnocení a optimalizaci hodnot parametrů z kapitoly **Posouzení Efektivity dynamické obsluhy v reálné oblasti**, zároveň respektují vzájemné vztahy definičních oborů hodnot jednotlivých parametrů.

Pro lepší pochopení jsou následně zobrazeny řádky kódu algoritmu a funkce plánovacího agenta.

```
final int nrStops = passengers.size();  
//počet kroků algoritmu  
int nrSteps = (int) Math.pow(2, nrStops);  
  
// předpočítej nejkratší cestu z každé zastávky do cíle - použití vzdálenosti  
// pro cestovní rychlost  
ArrayList<Double> distancesToDestination = calculateStopDistances();
```

```
// initialization of best solution - dle Efektivnosti optimální trasa, pro
inicializaci prvotní hodnoty
int bestPassengers = 0;
int bestSolution = 0;
//použití nejhorší hodnoty efektivnosti pro následné přemazání
double bestEffectiveness = -Double.MAX_VALUE;
LinkedList<MbusStop> bestRoute = null;

//definování nových proměnných
int currentSolution, currPass, currDissatPass;

for (int i = 0; i < nrSteps; i++) {
    currentSolution = i;
    currPass = 0;
    currDissatPass = 0;

    println("current solution: " + Integer.toString(currentSolution,2));

    /*převod int hodnoty na binární reprezentaci; odpočet kolik bylo
    obslužených cestujících
    na jednotlivých zastávkách dle pozice */
    for (int j = 0; j < nrStops; j++) {
        int bit = (currentSolution >> j) & 1;
        currPass += bit * passengers.get(j);
        currDissatPass += (1-bit) * passengers.get(j);
    }

    println("dissat passengers: " + currDissatPass);
    println("satisfied passengers: " + currPass);
    //převod číselného výsledku na seznam zastávek, které má projet
    LinkedList<MbusStop> stops = getListOfStops(currentSolution,
main.regularBusStops);
    println("curr stops:" + stops);

    //-----
    //nachází pořadí, posloupnost obsluhy zastávek
    LinkedList<MbusStop> route = findBestRoute(stops);

    //výpočet hodnot pro již nalezenou posloupnost obsluhovaných zastávek
    double routeDistance = getRouteLength(route);
    println("routeDistance: " + routeDistance + " m");

    double transportSpeed = getTransportSpeed(route, passengers,
distancesToDestination);
    println("transportSpeed: "+ transportSpeed + " m/s");

    //duration in sec
    double routeDuration = routeDistance / main.avgBusSpeed +
(stops.size() * main.timeAtBusStop);
    println("routeDuration: " + routeDuration + " s");

    double effectiveness = calculateEffectiveness(currPass, currDissatPass,
routeDistance, routeDuration, transportSpeed);
    println("effectiveness: " + effectiveness);
    //-----

    if (currPass > busCapacity) {
        println("Not solution - capacity of bus exceeded");
    }
}
```

```

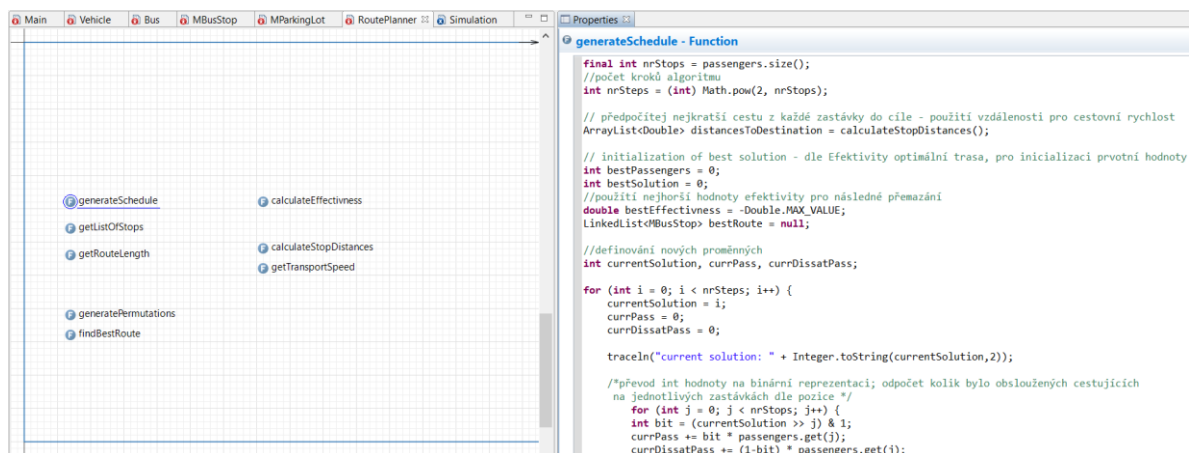
    } else {
        if (effectivness > bestEffectivness) {
            bestEffectivness = effectivness;
            bestPassengers = currPass;
            bestSolution = i;
            bestRoute = route;
        }
    }

    println("=====");
}

println("BEST SOLUTION: " + Integer.toString(bestSolution, 2));
println("-nr of passengers: " + bestPassengers);
println("-effectivness: " + bestEffectivness);
println("passengers at bus stops: " + passengers);

main.route = bestRoute;

```

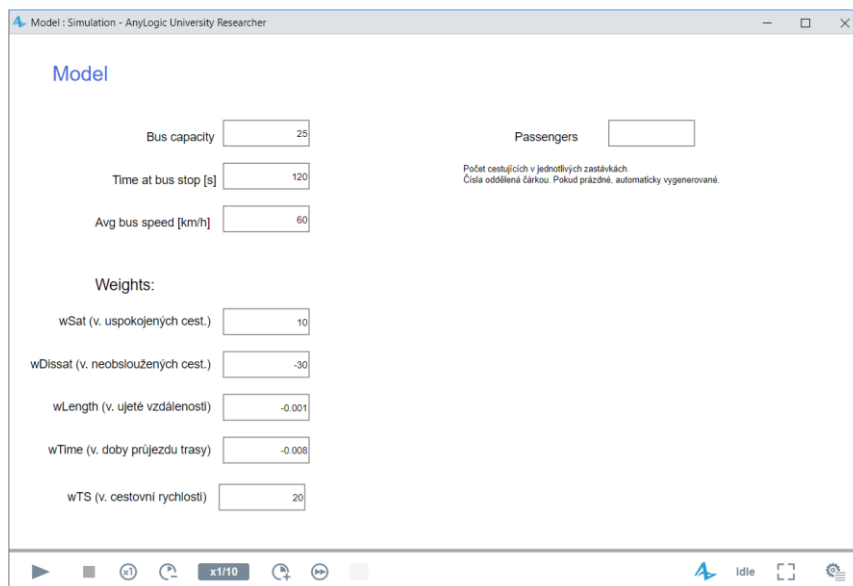


Obr. 41: Funkce agenta RoutePlanner

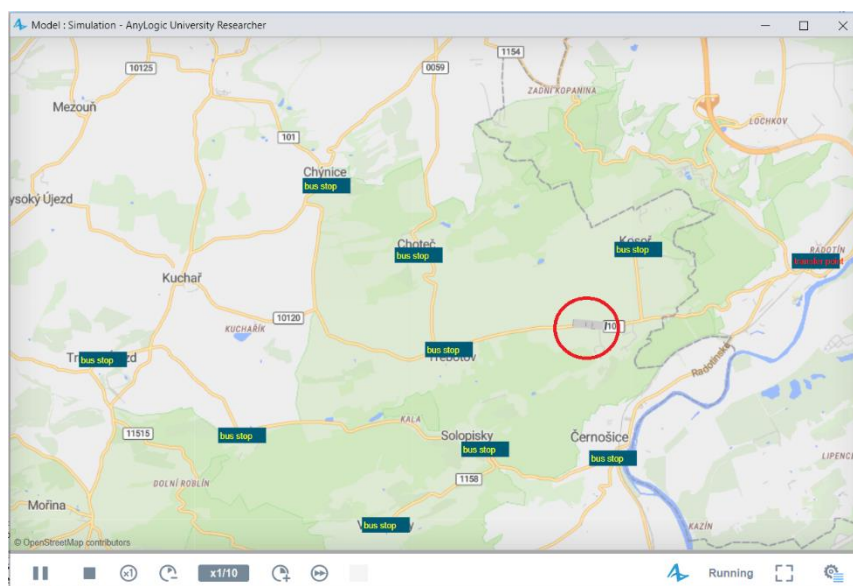
Výpis výsledků je vždy zobrazen po každém provedeném pokusu. Ve výpisu je vždy vidět informace o nejlepší nalezené trase, hodnotě Efektivity a zároveň jaká byla poptávka v jednotlivých zastávkách pro vzájemné porovnání. Součástí je také výpis finální trasy optimálního spojení.

## Výsledky a porovnání

Pro výpočet algoritmu proběhla simulace provozu, kde daný algoritmus za stále stejných zadaných počátečních hodnot parametrů zobrazuje výsledky výpočtu trasy. Zobrazení výsledků probíhá pomocí vizualizace průjezdu trasy. Program AnyLogic umožňuje výsledek převést do vizuálního průjezdu vozidla skrz zadané území. Pro každý výsledek je samozřejmě upravena trasa, respektive sled zastávek, tedy i výsledný vizuální výstup je jiný. Vždy je ale výsledek závislý na výsledcích Efektivity dopravní obsluhy. Na následujících obrázcích je zachyceno zadání hodnot parametrů pro výpočet simulace a také výsledný moment průjezdu virtuálního vozidla skrz vybranou oblast – Černošice, Praha, Radotín, po dopočítání optimálního řešení dopravní obsluhy.



Obr. 42: Zadané hodnoty parametrů pro výslednou simulaci



Obr. 43: Záznam modelového průjezdu trasy

Simulace byla provedena vícekrát pro ověření univerzálního použití a zobrazení různých výsledků za stejného zadání. Generování cestujících probíhalo náhodně, i když model je přizpůsoben možnosti manuálního vkládání počtu cestujících do jednotlivých zastávek. Na výsledcích je velmi dobře vidět výběr vhodné trasy spoje a zároveň velmi důležitý efekt, který ukazuje, že pravidelně nastává situace, kdy efektivnějším řešením je obětování jednoho cestujícího, ale ve prospěch většiny.

Výsledek modelu není pouze vizuální zobrazení projeté trasy, ale hlavně log záznamu trasy, který ukazuje nejlepší možná řešení doplněnou o hodnotu výsledné efektivity. Pro názornost jsou ukázány výstupy po sobě jdoucích simulací. Záznam a jeho jednotlivé součásti jsou popsány na následujícím obrázku

```

=====
BEST SOLUTION: 111011101
-nr of passengers: 19
-effectivness: 197.7272266327276
passengers at bus stops: [1, 0, 1, 4, 2, 0, 5, 4, 2]
Received 'go bus go'
Moving to Mořina,Trněný Újezd
Arrived
Moving to Chýnvice
Arrived
Moving to Choteč
Arrived
Moving to Vonoklasy
Arrived
Moving to Třebotov,Solopisky
Arrived
Moving to Černošice,Žel.zast.
Arrived
Moving to Kosoř
Arrived
Moving to Nádraží Radotín
Arrived

```

- > Nalezené nejlepší řešení. Hodnoty 0 znamenají neobsloužen, hodnoty 1 obsloužen
- > Informace o počtu převezených cestujících
- > Výsledná hodnota efektivity pro nalezenou optimální trasu
- > Vygenerovaný počet cestujících pro dané zastávky dle zadání

**Nalezená optimální trasa spoje (posloupnost zastávek), která je poslána agentu Bus a následně vizuálně modelem projeta**

**Obr. 44:** Popis záznamu výsledného řešení

Další záznamy jsou vyhotoveny pro ověření funkčnosti modelu a slouží jako názorná ukázka jednotlivých výsledků a také nalezeného chování. Ve výsledcích je nutné si uvědomit, že generování cestujících jsou zobrazeny oproti hodnotě BEST SOLUTION v opačném pořadí.

```

=====
BEST SOLUTION: 101101111
-nr of passengers: 25
-effectivness: 240.01751820642164
passengers at bus stops: [5, 5, 4, 3, 1, 4, 2, 0, 2]
Received 'go bus go'
Moving to Roblín
Arrived
Moving to Mořina,Trněný Újezd
Arrived
Moving to Chýnvice
Arrived
Moving to Choteč
Arrived

```



---

```
Moving to Třebotov  
Arrived  
Moving to Vonoklasy  
Arrived  
Moving to Černošice,Žel.zast.  
Arrived  
Moving to Nádraží Radotín  
Arrived
```

Předchozí výsledný výpis znamená, že byly obslouženi všichni cestující s výjimkou jednoho cestujícího, který by způsobil snížení cestovní rychlosti ostatních cestujících, a tedy efektivita byla nižší, než když by došlo k obsluze daného cestujícího. Zároveň je ve vygenerované trase rozpoznatelné správné neobsloužení zastávky, kde je nulová poptávka cestujících. Algoritmus za dané podmínky pracuje správně a vytváří relevantní výstup.

V případě dalšího pokusu za stejných zadaných parametrů je vidět rozdílný výsledek. Stále je trasa logicky směrově vypočítána. Správně nedochází k obsluze zastávky bez poptávky, oproti předchozímu výsledku však dochází k obslužení všech cestujících, jelikož výsledná efektivita není srážena snížením cestovní rychlosti. Tento výsledek je zobrazen v následujícím výpisu.

```
BEST SOLUTION: 111111011  
-nr of passengers: 21  
-effectivness: 198.75690082558347  
passengers at bus stops: [1, 1, 0, 5, 4, 2, 3, 1, 4]  
Received 'go bus go'  
Moving to Vonoklasy  
Arrived  
Moving to Třebotov,Solopisky  
Arrived  
Moving to Černošice,Žel.zast.  
Arrived  
Moving to Roblín  
Arrived  
Moving to Chýnice  
Arrived  
Moving to Choteč  
Arrived  
Moving to Třebotov  
Arrived  
Moving to Kosoř  
Arrived  
Moving to Nádraží Radotín  
Arrived
```

V následující simulaci za opět stejných podmínek a při náhodném generování umístění cestujících, došlo opět k vynechání jednoho z cestujících z důvodu porovnávání Efektivity. Jedná se o obec Roblín, která je svou polohou vzdálena od trasy a zároveň je poptávaná doprava pouze jedním cestujícím. Toto řešení tedy dává nejen matematický smysl, podporující správné fungování modelu, ale také logické řešení ve vztahu k dopravní problematice. Opět v tomto případě snížení cestovní rychlosti způsobilo neobsloužení cestujícího.



```
BEST SOLUTION: 111111011
-nr of passengers: 25
-effectivness: 232.2520687851961
passengers at bus stops: [4, 4, 1, 3, 2, 2, 4, 3, 3]
Received 'go bus go'
Moving to Vonoklasy
Arrived
Moving to Třebotov,Solopisky
Arrived
Moving to Černošice,Žel.zast.
Arrived
Moving to Roblín
Arrived
Moving to Chýnice
Arrived
Moving to Choteč
Arrived
Moving to Třebotov
Arrived
Moving to Kosoř
Arrived
Moving to Nádraží Radotín
Arrived
```

Na těchto příkladech výsledků simulace je velmi dobře vidět funkčnost navrženého modelu, který je tvořen rozhodovacím nástrojem Efektivita dynamického spojení. V rámci experimentu, byla simulace spuštěna vícekrát, kdy trasa spojů byla dynamicky měněna. Tento trend lze pozorovat i v předchozích zobrazených řešeních. Optimální trasa v oblasti ve většině případů obsloužila vygenerovaným spojením všechny cestující v daném území. V rámci těchto experimentů bylo zjištěno, že pouze okolo 4 % cestujících není obslouženo tímto způsobem obsluhy. Reálný provoz jistě bude dosahovat rozdílných hodnot, vzhledem k nutnosti implementace více druhů parametrů a také vnějších vztahů a dopravní politiky. Přesto je modelovou situací a jejími výsledky vhodně názorně ukázáno, že tento princip obsluhy území může být nástrojem pro pomoc při odstraňování problému Poslední míle. Tímto byla potvrzena správnost myšlenky obsluhy dynamického území a vhodně podporuje a potvrzuje nalezená řešení a tvrzení disertační práce.

## 8 Závěr

Tato disertační práce pojednává o problematice řízení obsluhovaných regionálních oblastí, kde je konvenční způsob obsluhy veřejnou hromadnou dopravou neefektivní a vytváří proto návrh zefektivnění této obsluhy. Problémem jsou časté a dlouhé závleky linek, výrazné výjimky v trasách linek, a tedy výrazná nepřehlednost pro cestujícího. Častým problémem je také řešení takzvaného problému poslední míle, kdy je cestující velmi těžko obsluhován, nabízených spojů je velmi málo, a tedy je doprava neatraktivní. Zároveň naopak vypravované spoje s vysokou kapacitou zbytečně zajíždějí s velmi malým počtem cestujících do odlehlých oblastí. Tím je značně ovlivněna ekonomická i časová efektivita, tedy dochází ke snižování cestovní rychlosti a ovlivnění dalších, pro cestujícího důležitých, parametrů. Aby veřejná doprava mohla být udržitelná a konkurenceschopná vůči individuální automobilové dopravě, musí i tyto zásadní problémy řešit. Pokud nebude dosažena plynulost a pravidelnost, a tedy ona atraktivita, ovlivní nezajem cestující nejen veřejnou hromadnou dopravu, ale také individuální automobilovou, a to ve vztahu ke kapacitě komunikací, saturování dopravních proudů, ale i například vzhledem k dopravě v klidu.

Tento základně shrnutý dopravní problém, který je v úvodu práce důkladně rozebrán, řeší tato disertační práce a navrhuje možné přístupy a způsoby řešení, které mohou napomoci odstranit nebo alespoň zmírnit vážnost a dopady zmíněných dopravních problémů. **Disertační práce nabízí novou možnost obsluhy regionu a nabízí nový princip jejího řešení za pomoci standardních linek veřejné hromadné dopravy, které jsou ale dynamicky ovlivňovány parametry dopravního provozu. Dynamika je řízena pomocí nově navrženého rozhodovacího nástroje, Efektivity dopravního spojení.** Oproti stávajícím řešením dopravy na zavolání nebo speciálně vytvořených linek, je navrženo koncepční řešení klasického linkového vedení s rozdílem zavedení dynamické polohy jednotlivých spojů linek, a také tras těchto spojů.

Popisovaný problém se zatím neúspěšně a neefektivně řeší mnoha objednateli dopravy nejen v České republice, ale i v zahraničí, proto tato odborná práce přináší velmi důležitý nový náhled a možnosti řešení tohoto dopravního problému. Hlavním přínosem je cestování za současné nebo lepší atraktivitu provozu, avšak s co nejvíce ekonomicky efektivním přístupem. Vzhledem ke snaze najíždět optimalizovaný počet kilometrů na základě parametrů poptávky, je efekt také environmentální. Ve spojení s ekologickým vozidlem, které může být do dynamické oblasti umístěno, dostává obsluha obtížně obslužitelných oblastí jiný rozměr a veřejná hromadná doprava zvyšuje svou atraktivitu a konkurenceschopnost.

---

Tato disertační práce v souladu se zadáním a jeho cíli přináší vhodný návrh nového koncepčního způsobu obsluhy regionu a také rozhodovací nástroj, kterým je tento způsob obsluhy řízen. Aby mohl být tento závěr splněn, muselo dojít k vytvoření posloupné struktury následujících významných kroků, které jsou v souladu s cíli práce a jsou v této disertační práci v jednotlivých kapitolách podrobně popsány.

Pro splnění prvního cíle musela být vytvořena definice a návrh podrobného smyslu fungování dynamické obsluhy a zároveň musely být definovány podmínky možné implementace systému do reálného provozu. Tento cíl byl úspěšně splněn pomocí jednotlivých úkonů popsaných v následujících bodech:

- Posouzen a porovnána stávající dopravní obsluha a způsoby jejího řešení v obtížně obslužitelných oblastech;
- Navržen nový smysl a logika dopravní obsluhy, založená na dynamické změně tras a časových poloh jednotlivých spojů;
- Stanoven, definován a vysvětlen nový navrhovaný dynamický prvek a dynamický systém v dopravní obsluze;
- Definována charakteristika regionálních oblastí a linek, kde může být dynamický způsob dopravní obsluhy aplikován;
- Vytvořeny nové parametry, popisující dynamický přístup k obsluze.

Tento první cíl byl podstatným krokem pro pokračování ve vytváření dopravního systému, jelikož přesně definoval, kde a v jakém prostředí je možné dynamický režim aplikovat, jelikož svým způsobem fungování není vhodný do všech oblastí. Společně s tím byly podrobně určeny a nalezeny charakteristiky linek a jejich parametry, které musejí být splněny, aby mohly v dynamickém provozu fungovat. Podrobným odborným zkoumáním byly vytvořeny zcela nové parametry, jako je kupříkladu křivolakost linky ve vztahu k závlekům, definice druhů závleků a podobně. Tato část byla následně diskutována s objednateli a provozovateli dopravních systémů, nevíce s ROPID a IDSK, kdy některé poznatky byly těmito organizacemi komentovány jako použitelné nejen pro dynamickou dopravu, ale i pro standardní provoz veřejné hromadné dopravy a vytváření jízdnicích řádů. Jednotlivé kroky první části jsou detailně popsány a rozebrány, často s porovnáním současného stavu dopravní obsluhy. Tento cíl byl proto úspěšně splněn, výstupy jsou popsány v kapitolách **2** a **3**, které definují a popisují nedostatky současného provozu a následně hlavně v kapitole popisující **Definice dynamického prvku v dopravní obsluze území** této práce, která z předchozích kapitol vychází a na nalezené skutečnosti reaguje.

Splněním druhého cíle práce jsou definovány procesy fungování dopravní obsluhy dle charakteristik z první části. Stanovením procesů je docíleno znalosti, jak se bude dopravní systém chovat, jak dojde k jeho ovlivňování, objednávání cestujícími nebo jakým způsobem je nutné řešit tuto dopravní obsluhu ve vztahu k dopravci. Tyto otázky a nastavené procesy jsou detailně popsány a zobrazeny pomocí vývojových digramů a schémat. Chování dopravního dynamického systému je tím definováno a popsáno. Popis parametrizace systému je popsán v kapitole **Parametrizace dynamického dopravního systému** této práce, zároveň detailní popis chování dynamického dopravního procesu se nachází v **Kapitole 6 Procesy a výsledné chování dynamického dopravního systému**.

V další navazující fázi je nezbytné definovat jak bude tento dopravní systém řízen. Jestliže jsou známé poznatky o způsobu fungování dynamického režimu, musí být vytvořen nástroj, který bude rozhodovat, jak bude konkrétně v daný čas za daných podmínek vypadat dopravní obsluha, respektive konkrétně linkové vedení a časová poloha konkrétních spojů. Pro tyto účely byl **vytvořen nový rozhodovací nástroj, nazvaný Efektivita dopravního spojení, která je adaptivním dynamickým indikátorem posouzení dopravní obsluhy**. Tímto byl splněn i další navazující cíl disertační práce.

Posledním cílem je stanovení a optimalizace rozhodovacího nástroje. Tento cíl disertační práce by rovněž splněn s tím, že je vždy potřeba tuto optimalizaci provést pro každé charakteristické území a dopravní politiku daného dopravního systému. Jako příkladem optimalizace rozhodovacího nástroje bylo použito území v rámci dopravní politiky Pražské integrované dopravy na území již zmiňované a uváděné jako příklad pro vhodné umístění tohoto dynamického způsobu odbavení. Optimalizace byla provedena optimalizováním jednotlivých hodnot parametrů odborným iteračním procesem, zasazených do jednotlivých variant rozhodnutí, které jsou pro dopravní logiku obsluhy všeobecně známá. Tato optimalizace je součástí samostatné přílohy. Pro shrnutí jsou jednotlivé body splnění cíle disertační práce vypsány:

- Stanovení a definování procesů a výsledného chování dynamického dopravního systému na základě charakteristik a navržených parametrů
- Vytvoření nového rozhodovacího nástroje (Efektivita spojení), který posuzuje aktuální možnosti dynamické obsluhy za dané poptávky a definovaných vstupních parametrů
- Posouzení nového nástroje Efektivity a jeho optimalizace odborným iteračním procesem
- Vytvoření oblastí relevantnosti optimalizovaných parametrů Efektivity
- Vytvoření variant logických dopravních řešení, implementace rozhodování Efektivity a následná optimalizace definičních oborů hodnot parametrů dynamické obsluhy
- Ověření funkčnosti na implementaci do modelové situace dopravní obsluhy PID

Všemi těmito kroky byly splněny cíle zadané pro zpracování disertační práce. Jako doplňující cíl byl v rámci představení fungování dynamické obsluhy vytvořen model na základě multiagentního modelování, který simuloval chování dopravní obsluhy za zjednodušených podmínek. Výsledkem je model, který rozhoduje o tvorbě trasy na základě definované Efektivity, a dosahuje relevantních výsledků při určení optimální trasy na základě výpočtu Efektivity. Tento model je přílohou této disertační práce.

Obecně byly všechny stanovené cíle disertační práce splněny. Byl vytvořen komplexní přístup k dopravní obsluze dynamického území, který obsahuje nově vytvořený rozhodovací nástroj, který je adaptivním indikátorem posouzení dynamické dopravní obsluhy. Výsledky cílů disertační práce byly doplněny o vizuální model popisující fungování obsluhy území. Vzhledem k průběžným konzultacím a řešení problematiky s objednavateli a organizátory veřejné hromadné dopravy bylo docíleno stavu, kdy vybrané části práce mohou být použity také pro reálné projekty ve vztahu k dopravní obsluze. Zároveň je po dohodě s organizátory a dalšími soukromými subjekty možné vytvořit spolupráci a vytvořit reálné projekty řešící tuto problematiku a rozšiřující tuto problematiku, která by následně mohla být přenesena přímo do reálného provozu. Díky tomu by mohla veřejná hromadná doprava být konkurenceschopnější a atraktivnější a přinést s tím související pozitiva. Zároveň může tento přístup pomoci řešit problém Poslední míle.

## A. Seznam použitých zdrojů

- [1] ČESKÁ REPUBLIKA. Zákon č. 194/2010 Sb.: Zákon o veřejných službách v přepravě cestujících a o změně dalších zákonů. In: Sbíрка zákonů. Praha, 2010, ročník 2010, 65/2010, číslo 194.
- [2] NAŘÍZENÍ EVROPSKÉHO PARLAMENTU A RADY (ES) č. 1370/2007
- [3] *Automatische Fahrgastzählsysteme (AFZS)*, VDV-Schrift 457-2.1. Köln: Verband Deutscher Verkehrsunternehmen e. V., 2018.
- [4] HORAŽŤDOVSKÝ, P.: *Plánování veřejné hromadné dopravy pomocí multiagentních systémů* In: Young Transportation Engineers Conference 2018. Praha: CTU. Faculty of Transportation Sciences, 2018. p. 1-12. ISBN 978-80-01-06464-1.
- [5] HORAŽŤDOVSKÝ, P.; Svítek, M.: *Dynamic Service of Public Transport in Smart City and Region* In: 2017 Smart Cities Symposium Prague (SCSP) - IEEE PROCEEDINGS. New York: IEEE Press, 2017. ISBN 978-1-5386-3825-5.
- [6] ČESKÁ REPUBLIKA. Zákon č. 111/1994 Sb.: Zákon o silniční dopravě
- [7] ČESKÁ REPUBLIKA. Vyhláška Ministerstva dopravy a spojů o jízdních řádech veřejné linkové osobní dopravy 122/2014Sb., 52/2014
- [8] HORAŽŤDOVSKÝ, P.: *Koncepce zavádění Smart city opatření v dopravě ve městě Písek* [Technická zpráva; koncepční dokumentace] Písek, 2018.
- [9] *Audisbus, MHD v Rychnově nad Kněžnou* [online]. Rychnov nad Kněžnou, 2020 [cit. 2020-01-31]. Dostupné z: <http://www.audis.cz/radiobus>
- [10] *Rufbus Oberes Rheintal* [online]. Bludenz, Lindau, 2020 [cit. 2020-01-31]. Dostupné z: <https://www.vmobil.at/bus-bahn/das-vvv-liniennetz/rufbus-oberes-rheintal>
- [11] *VRN Rufbus* [online]. 2020 [cit. 2020-01-31]. Dostupné z: [https://www.vrn.de/mobilitaet/bedarfsverkehr/Rufbus/index.html#sec\\_0\\_0](https://www.vrn.de/mobilitaet/bedarfsverkehr/Rufbus/index.html#sec_0_0)
- [12] LANGR, M.: *Fúze heterogenních dopravních dat pro odhadování směrových vazeb* Praha: Defense date 2016-01-15. PhD Thesis. České vysoké učení technické v Praze, Fakulta dopravní.
- [13] SVÍTEK, M., POSTRÁNECKÝ, M. a kolektiv. *Města Budoucnosti*. Praha: NADATUR, 2018. ISBN 978-80-7270-058-5.
- [14] HORAŽŤDOVSKÝ, P. *Veřejná doprava ve středně velkých městech se zaměřením na město Písek*. Praha, 2015

- 
- [15] Pražská integrovaná doprava [online]. Praha, 2019. Dostupné také z: <https://pid.cz/>
- [16] Integrovaný dopravní systém Jihomoravského kraje [online]. Brno, 2019. Dostupné také z: <https://www.idsjmk.cz/>
- [17] HORAŽĐOVSKÝ, P.; SVÍTEK, M.; NOVOTNÝ, V. *Data-driven management of dynamic public transport* In: 2018 Smart City Symposium Prague. New York: IEEE Press, 2018. p. 1-5. ISBN 978-1-5386-5017-2.
- [18] ROPID. *Dopravní plán hlavního města Prahy na roky 2018 až 2020 s výhledem do roku 2022* [online]. Praha, 2018 [cit. 2020-06-16]. Dostupné z: [https://pid.cz/wp-content/uploads/2018/01/DOPRAVNI\\_PLAN\\_KOMPLET.pdf](https://pid.cz/wp-content/uploads/2018/01/DOPRAVNI_PLAN_KOMPLET.pdf). Dopravní plán
- [19] JAREŠ, M. *Integrovaná doprava v praxi. Praha: Česká technika - nakladatelství ČVUT*, 2016. ISBN 978-80-01-05896-1.
- [20] HORAŽĐOVSKÝ, P. a kolektiv *Analýza dojezdů zaměstnanců do závodů automobilky ŠKODA AUTO v Mladé Boleslavi*. Mladá Boleslav, 2019
- [21] HORAŽĐOVSKÝ, P et al. *Solving last mile problem as a personal service for citizens*. In: Complex Systems: Control and Modeling Problems. CSCMP-2019 - COMPLEX SYSTEMS: CONTROL AND MODELLING PROBLEMS, Samara, 2019-09-03/2019-09-06. Samara: Institute for the Control of Complex Systems of Russian Academy of Sciences, 2019. p. 3-8. ISBN 978-5-473-01248-4. Available from: [http://www.iccs.ru/cscmp/cscmp\\_archive/cscmp\\_2019\\_v2.pdf](http://www.iccs.ru/cscmp/cscmp_archive/cscmp_2019_v2.pdf)
- [22] HORAŽĐOVSKÝ, P., et al. *Multiagentní modelování pro veřejnou dopravu*. [Research Report] 2020. Report no. 100/2020.
- [23] KUBÍK, Aleš. *Intelligentní agenty: [tvorba aplikačního software na bázi multiagentových systémů]*. Brno: Computer Press, 2004. ISBN 80-251-0323-4.
- [24] BALBO, FLAVIEN & PINSON, SUZANNE (2001). *Toward a Multi-agent Modelling Approach for Urban Public Transportation systems*. 160-174. 10.1007/3-540-45584-1\_11.
- [25] TARVER, MARK & FAÉ, MARIA (2007). *Applications of multiagents in transport and logistics*. *International Journal of Logistics Systems and Management - Int J Logist Syst Manag*. 3. 10.1504/IJLSM.2007.013210.
- [26] LHOTSKÁ, L., et al. *A Multi-Agent System in Transport Management*. In: Workshop 96. Brno, 1996-01-22/1996-01-24. Praha: Czech Technical University in Prague, 1996. p. 169-170.
-

- [27] NEILA, BHOURI & BALBO, FLAVIEN & PINSON, SUZANNE (2011). *Towards Urban Traffic Regulation Using a Multi-Agent System*. Advances in Intelligent and Soft Computing. 88. 179-188. 10.1007/978-3-642-19875-5\_23.
- [28] SHOHAM, Yoav a Kevin LEYTON-BROWN. *Multiagent systems: algorithmic, game-theoretic, and logical foundations*. Cambridge: Cambridge University Press, 2009. ISBN 9780521899437.
- [29] GANZHA, Maria, L. C. JAIN a Dennis JARVIS. *Multiagent systems and applications*. Berlin: Springer, 2013. ISBN 3642333222; ISBN 9783642333224



## B. Seznam tabulek

<b>Tab. 1:</b> Diverzifikování statického a dynamického přístupu k dopravní obsluze.....	45
<b>Tab. 2:</b> Parametry závleků linek.....	50
<b>Tab. 3:</b> Klasifikace závleků linek veřejné hromadné dopravy .....	51
<b>Tab. 4:</b> Hodnocení závleků.....	57
<b>Tab. 5:</b> Křivolakost linky.....	59
<b>Tab. 6:</b> Základní okruhy parametrů Efektivity dynamické obsluhy .....	93
<b>Tab. 7:</b> Definiční obor parametrů Efektivity .....	110
<b>Tab. 8:</b> Základní a navrhovaná váhová ohodnocení parametrů.....	111
<b>Tab. 9:</b> Hodnoty Efektivity pro jednotlivé varianty dopravní obsluhy.....	112

## C. Seznam obrázků

<b>Obr. 1:</b> Příklad integrovaného dopravního tarifu, zdroj PID.....	13
<b>Obr. 2:</b> Schéma smluvních subjektů v rámci integrovaného systému PID .....	19
<b>Obr. 3:</b> Linka 100334 financována pouze obcemi; zdroj PID.....	20
<b>Obr. 4:</b> Trasa Linky 344 (100344); zdroj PID, CHAPS .....	21
<b>Obr. 5:</b> Příklad webové aplikace multimodální dopravy, zdroj CityMapper .....	26
<b>Obr. 6:</b> Příklad zastávky na zavolání, zdroj CIS JŘ.....	27
<b>Obr. 7:</b> Linka 290446 - Minimální rozsah dopravní obsluhy, zdroj PID .....	30
<b>Obr. 8:</b> Linka 100335 – Závleky a prodlužování cestovní doby, zdroj PID .....	31
<b>Obr. 9:</b> Linka 250457 - Závleky linky; zdroj PID, CHAPS .....	32
<b>Obr. 10:</b> Linka 365311 - Vhodnost použití jízdních řádů, zdroj CIS JŘ; [8] .....	33
<b>Obr. 11:</b> Dynamický prvek a dynamický systém .....	38
<b>Obr. 12:</b> Kombinovaný dynamický přístup, zdroj CHAPS; software ASW JŘ.....	41
<b>Obr. 13:</b> Upravený jízdní řád pro kombinovaný dynamický přístup, zdroj CHAPS; software ASW JŘ .....	42
<b>Obr. 14:</b> Výřez kategorizace závleků PID.....	49
<b>Obr. 15:</b> Výřez hodnocení závleků PID .....	49
<b>Obr. 16:</b> Krátký závlek se stejnou zpáteční trasou závleku – místní části obce Jinočany, Linka 310; zdroj PID, CHAPS .....	52
<b>Obr. 17:</b> Krátký závlek se stejnou zpáteční trasou závleku – místní části obce Tuchoměřice, Linka 312; zdroj PID, CHAPS .....	53
<b>Obr. 18:</b> Závlek se stejnou zpáteční trasou závleku – Samostatné malé obce Bubovice a Mořinka, Linka 312; zdroj PID, CHAPS.....	54
<b>Obr. 19:</b> Závlek se stejnou zpáteční trasou závleku – Samostatné velké obce Sulice, Linka 335; zdroj PID, CHAPS .....	54
<b>Obr. 20:</b> Objízdný závlek do délky 500 m, Tuchoměřice, Outlet, Linka 312; zdroj PID, CHAPS .....	55
<b>Obr. 21:</b> Objízdný závlek do sídel do 500 obyvatel, Kuchařík, Kuchař, Linka 309; zdroj PID, CHAPS.....	56
<b>Obr. 22:</b> Objízdný závlek do sídel nad 500 obyv., Buštěhrad, Linka 300; zdroj PID, CHAPS .	56
<b>Obr. 23:</b> Schéma páteřních linek dynamického systému obsluhy .....	61
<b>Obr. 24:</b> Schéma obslužných linek dynamického systému obsluhy.....	63
<b>Obr. 25:</b> Schéma obslužných linek dynamického systému obsluhy.....	64
<b>Obr. 26:</b> Možnost rozdělení linek dle kategorií v oblasti Černošice .....	66
<b>Obr. 27:</b> Současný rozsah provozu linky 100313 s příklady diferencování obsluhy spojů – vhodnost dynamického provozu .....	67

---

<b>Obr. 28:</b> Možnost řešení linek dle kategorií v oblasti Mníšek pod Brdy [21].....	68
<b>Obr. 29:</b> Parametrizace dynamického dopravního systému .....	78
<b>Obr. 30:</b> Vývojový diagram základních stavů fungování dynamické obsluhy území.....	80
<b>Obr. 31:</b> Diagram poptávky po přepravě v rámci dynamického systému .....	82
<b>Obr. 32:</b> Diagram vyhodnocení poptávky ze strany cestujícího.....	84
<b>Obr. 33:</b> Schéma přestupů pro dynamický režim obsluhy .....	85
<b>Obr. 34:</b> Vývojový diagram pro získání provozních informací .....	89
<b>Obr. 35:</b> Schéma výsledného fungování dynamické obsluhy .....	94
<b>Obr. 36:</b> Směrově ohodnocený graf posuzované oblasti Radotín – Černošice .....	102
<b>Obr. 37:</b> Inicializace prostředí GIS .....	121
<b>Obr. 38:</b> Vstupy pro model.....	122
<b>Obr. 39:</b> Agenty použité pro modelování.....	123
<b>Obr. 40:</b> Statechart Bus .....	124
<b>Obr. 41:</b> Funkce agenta RoutePlanner.....	127
<b>Obr. 42:</b> Zadané hodnoty parametrů pro výslednou simulaci .....	128
<b>Obr. 43:</b> Záznam modelového průjezdu trasy .....	128
<b>Obr. 44:</b> Popis záznamu výsledného řešení .....	129

## D. Seznam příloh

**Příloha 1:** Posouzení parametrů efektivity dynamického spojení

**Příloha 2:** Model dopravní obsluhy v prostředí AnyLogic – University version (nutnost spuštění s licencovaným hardwarovým klíčem – majetek ČVUT FD)