

České vysoké učení technické v Praze
Fakulta dopravní
Ústav logistiky a managementu dopravy



DISERTAČNÍ PRÁCE

Návrh identifikace faktorů ovlivňujících objemy
dopravy

Ing. Ladislav Bartuška

Doktorský studijní program: Logistika

Studijní obor: Dopravní logistika

Praha, 2021

Disertační práce byla vypracována v kombinované formě doktorského studia na ČVUT v Praze, na Ústavu logistiky a managementu dopravy Fakulty dopravní.

Uchazeč: Ing. Ladislav Bartuška
Fakulta dopravní, Ústav logistiky a managementu dopravy
Horská 3, 128 03 Praha

Školitel: prof. Ing. Ivan Gross, CSc.
Fakulta dopravní, Ústav logistiky a managementu dopravy
Horská 3, 128 03 Praha

Oponenti: prof. Ing. Václav Cempírek, Ph.D.
Vysoká škola logistiky, o.p.s.
Palackého 1381/25, 750 02 Přerov

doc. Ing. Pavel Drdla, Ph.D.
Univerzita Pardubice, DFJP, Katedra technologie a řízení dopravy
Studentská 95, 532 10 Pardubice

Čestné prohlášení

Předkládám tímto k posouzení a obhajobě disertační práci, vypracovanou v průběhu svého doktorského studia na Ústavu logistiky a managementu dopravy, Fakultě dopravní na ČVUT v Praze.

Prohlašuji, že jsem disertační práci vypracoval samostatně a použil jsem k tomu pouze zdroje uvedené v této práci, a to v souladu s Metodickým pokynem o etické přípravě vysokoškolských závěrečných prací.

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

V Praze dne 30.6.2021

.....

Ing. Ladislav Bartuška

Poděkování

Děkuji svému školiteli prof. Ivanu Grosovi za cenné rady a za profesionální systematický přístup k motivování při psaní této práce.

Děkuji svým kolegům z pracovišť na VŠTE v Českých Budějovicích za zajímavé a inspirativní debaty nad výstupy z této práce. Zejména děkuji dr. Stopkovi za předané zkušenosti a cenné rady. Rovněž bych rád poděkoval kolegům z Žilinské univerzity v Žilině za poskytnutí zázemí a další inspirace v rámci mnoha studijních pobytů.

Závěrem děkuji své ženě Pavlíně za shovívavost, toleranci, trpělivost a podporu při psaní této práce. Svým dětem Elence a Ládíkovi se tímto velmi omlouvám za všechny ten čas, který jsem jim nemohl věnovat v souvislosti se svým studiem. Vynahradím vám to, děti moje!

Abstrakt

Název práce: Návrh identifikace faktorů ovlivňujících objemy dopravy

Abstrakt: Tato disertační práce se zabývá problematikou dopravního plánování ve vztahu k udržitelnému rozvoji měst. V rámci práce byla provedena analýza faktorů ovlivňující intenzity dopravy na dopravní síti na území měst a obcí a v jejich přílehlém okolí, a to zejména v návaznosti na návrh identifikace významnosti faktorů ovlivňující dopravní provoz pro potřeby případného využití v dopravním plánování v rámci zvyšování udržitelnosti mobility. Návrh spočívá ve stanovení indikátorů udržitelné mobility a v aplikaci metod multikriteriální rozhodovací analýzy pro identifikaci významnosti těchto indikátorů pro potřeby dopravního a územního plánování měst. Práce se dále zabývá změnami v dopravním chování obyvatel České republiky způsobené mimořádnou událostí v podobě vládních plošných opatření nařízených v březnu roku 2020 z důvodu zamezení šíření nákazy nemoci COVID-19.

Klíč. slova: Intenzity dopravy, udržitelný rozvoj, dopravní plánování, dopravní chování obyvatel, multikriteriální rozhodovací analýza, indikátory udržitelné mobility

Abstract

Title: Identifying factors influencing traffic volumes

Abstract: The dissertation deals with the issue of transport planning in relation to sustainable urban development. The work includes an analysis of factors affecting the traffic volumes on the transport network in cities and municipalities and in their vicinity, especially in connection with the proposal for identification of the importance of factors affecting traffic for possible use in transport planning to increase mobility sustainability. The proposal consists in setting indicators of sustainable mobility and in the application of methods of multicriteria decision analysis to identify the significance of these indicators for the needs of transport and urban planning. The thesis also deals with changes in travel behavior of the Czech population caused by an emergency in the form of government area measures ordered in March 2020 to prevent the spread of COVID-19 disease.

Key words: Traffic volumes, sustainable development, transport planning, travel behaviour, multiple-criteria decision analysis, sustainable mobility indicators

Obsah

1.	Úvod	1
1.1	Vymezení pojmu „objem dopravy“	1
2.	Stávající praxe a nástroje používané pro dopravní plánování	3
2.1.	Modelování a simulace dopravních systémů	3
2.1.1.	Čtyř-úrovňový makroskopický dopravní model	5
2.1.2.	Modelování vzniku cest	5
2.1.3.	Modely pro distribuci cest	7
2.1.4.	Modely pro volbu druhu dopravního prostředku	8
2.1.5.	Modely pro přidělení cest na dopravní síť	9
2.1.6.	Ostatní druhy modelů používané v dopravním plánování	11
2.2.	Nástroje pro modelování intenzit dopravy v ČR	12
2.2.1.	Stanovení intenzit dopravy na městských komunikacích	13
2.3.	Způsoby získávání dat pro potřeby dopravního plánování	17
2.3.1.	Aktivitně-cestovní průzkumy	18
2.3.2.	Dopravně-inženýrské průzkumy	20
2.4.	Plány udržitelné městské mobility (PUMM)	21
2.4.1.	Přístup k tvorbě PUMM v České republice	21
2.4.2.	Indikátory pro sledování vývoje udržitelné mobility	22
2.4.3.	Analýza vybraných statistických údajů o dopravě v ČR pro možné zahrnutí do souboru indikátorů udržitelné mobility	23
3.	Formulace výzkumného problému a metodika práce	28
4.	Komplexita dopravního systému a identifikace vlivů na dopravu	30
4.1.	Využití systémové dynamiky v oblasti dopravního plánování a modelování	30
4.1.1.	Diagramy kauzálních smyček	31
4.1.2.	Diagramy toků a stavů	32
4.1.3.	Použité modelovací nástroje a metodika	33
4.1.4.	Základní vztahy mezi růstem objemů dopravy a ekonomickým rozvojem ve městech a aglomeracích	33
4.1.5.	Indukce silniční dopravy s teoretickým přístupem systémové dynamiky	37
4.1.6.	Vliv průmyslové produkce na objemy dopravy v území	39
4.1.7.	Vliv denních aktivit obyvatel	43

4.1.8.	Vliv funkčního využití území a podíl suburbanizace na změně dopravních výkonů	47
4.1.9.	Technologické výzvy pro udržitelnou mobilitu.....	50
4.2.	Praktická ukázka aplikace diagramu toků a stavů na modelu odhadu poměru nabídky a poptávky po přepravě.....	52
4.2.1.	Teoretický základ modelu	52
4.2.2.	Shrnutí nastavení modelu a provedení simulace	59
4.3.	Identifikace faktorů ve vztahu k udržitelnosti dopravy	64
4.3.1.	Návrh indikátorů k hodnocení udržitelnosti mobility.....	65
4.4.	Návrh obecné procedury pro identifikaci klíčových faktorů ovlivňujících objemy dopravy ve vztahu k udržitelné mobilitě.....	72
4.4.1.	Analýza metod multikriteriální rozhodovací analýzy pro stanovení vah posuzovaných kritérií (faktorů) a výběr adekvátních metod	76
4.4.2.	Praktická aplikace Saatyho metody párového srovnávání v kontextu stanovení relativních vah významnosti indikátorů udržitelné mobility	78
4.4.3.	Praktická aplikace metody Fullerova trojúhelníku v kontextu stanovení relativních vah významnosti indikátorů udržitelné mobility	82
4.4.4.	Srovnání výsledků stanovení relativních vah významnosti indikátorů udržitelné mobility	85
4.5.	Využití výsledků multikriteriální analýzy pro stanovení indexu udržitelné mobility měst...	94
4.6.	Aplikace metodiky pro stanovení indexu udržitelné mobility na příkladu města České Budějovice	96
4.6.1.	Implementace výsledků do GIS.....	100
5.	Vliv mimořádné situace na dopravní chování obyvatel.....	102
5.1.	Stanovení intenzit dopravy za mimořádné situace – případová studie změny rozložení dopravy na silnicích I. třídy	103
5.1.1.	Analýza změny intenzit dopravy za specifické mimořádné situace	104
5.2.	Průzkum změny dopravního chování obyvatel spojené s mimořádnou situací.....	110
5.2.1.	Základní vyhodnocení dotazníku a změna v dojíždění obyvatel.....	111
5.2.2.	Změna v užívání druhu dopravy	115
5.2.3.	Nákupní zvyklosti obyvatel.....	120
5.2.4.	Využití osobního automobilu pro cesty v rámci dopravy dětí do školských zařízení .	124
5.2.5.	Vliv mimořádné situace na pozici VHD v dopravním systému regionu.....	125
6.	Zhodnocení výsledků dosažených v disertační práci	127
7.	Přínosy disertační práce pro rozvoj vědního oboru a praxi.....	131
8.	Možnosti dalšího rozvoje řešené problematiky.....	133
9.	Závěr.....	134

Citovaná literatura	137
Seznam publikačních výsledků doktoranda	144
Seznam obrázků	146
Seznam tabulek	148
PŘÍLOHY	Chyba! Záložka není definována.

Seznam použitých zkratek

CLD	Diagram kauzálních smyček (anglická zkratka výrazu Causal Loops Diagram)
ČR	Česká republika
ČSN	České technické normy
ČSÚ	Český statistický úřad
EU	Evropská unie
FCD	Plovoucí mobilní data
GIS	Geografický informační systém
HDP	Hrubý domácí produkt
IAD	Individuální automobilová doprava
MCA	Multikriteriální analýza
MDČR	Ministerstvo dopravy České republiky
MHD	Městská hromadná doprava
MK	Místní komunikace
ORP	Obec s rozšířenou působností
OČR	Ošetřování člena rodiny
P+R	Park nad Ride (záchytné parkoviště)
PČR	Policie České republiky
PK	Pozemní komunikace
POI	Points of interest
PPP	Public Private Partnership
PUMM	Plán udržitelné městské mobility
ŘSD	Ředitelství silnic a dálnic
SD	Systémová dynamika
SUMP	Sustainable Urban Mobility Plan (anglický výraz pro plán udržitelné městské mobility)
SÚS	Správa a údržba silnic
SWOT	SWOT analýza pro určení silných a slabých stránek, příležitostí a ohrožení subjektu
TP	Technické podmínky
UM	Udržitelná mobilita
USA	Spojené státy americké
ÚAP	Územně-analytické podklady
VHD	Veřejná hromadná doprava

1. Úvod

Doprava není doménou výhradně jednoho vědního oboru, věnují se jí v určitých pohledech především geografické, ekonomické, technické a historické vědní obory, ale i další. Technické vědy se zabývají technickou stránkou dopravy, jakou je konstrukce a výroba dopravních prostředků, budování dopravní infrastruktury nebo dopravně-inženýrské pojetí.

Vývoj dopravy je spojen s mnoha ovlivňujícími faktory, které v čase mění svoji váhu. V minulosti mezi ty nejzákladnější prvky vývoje patřilo zdokonalování dopravních prostředků a dopravních cest. Klíčovou roli, se kterou se úzce pojí rozvoj dopravy, hraje rozvoj obchodu nejen na regionální, ale i na globální úrovni. Rozvoj dopravy je obecně sekundárním jevem vývoje sídelního systému a ekonomického rozvoje, ale může to fungovat i naopak, kdy rozvoj dopravy povede k proměně sídelního systému (Marada, 2003).

Během posledních 20 let docházelo ke značnému růstu intenzit silniční dopravy na našem území. Tento růst byl spojen s mnoha spolupůsobícími faktory. Na jedné straně růst intenzit dopravy souvisel se změnou charakteru hospodářství, která představovala otevření domácího trhu zahraničnímu obchodu. Vznikla možnost exportu zboží a popřípadě služeb na západní trhy. Automobily se staly dostupnějším zbožím a mnohonásobně se zvětšila možnost jejich výběru, s čímž je spojen i růst jejich soukromého vlastnictví. Na straně druhé byl růst intenzit zatížení spojen se změnami v systému osídlení, které se ovšem také vážou na změnu hospodářského a politického režimu. Jako základní prvky lze vymezit koncentraci ekonomických aktivit, rozvoj vztahů středisek od mikroregionální až po makroregionální úroveň, zintenzivňování vztahů mezi jádrem a jeho zázemím, či rozvoj suburbanizace.

Oproti makroskopickému pojetí faktorů ovlivňující výslednou dopravu na dopravní síti jsou zde i mikroskopické vlivy, které mají výrazný vliv na lokální zatížení silniční sítě, a v praxi je potřeba je zohlednit například při rozhodování o umístění dopravních staveb tak, aby území nebylo výrazným způsobem zatíženo negativním působením dopravy.

Cílem disertační práce je nalézt faktory, které významně ovlivňují objemy dopravy na silniční síti, zejména ve vztahu k udržitelnému rozvoji měst, a navrhnout proceduru pro identifikaci významnosti těchto faktorů pro potřeby dopravního plánování s akcentem na zvyšování míry mobility směrem k udržitelnému rozvoji. Výsledný nástroj pro hodnocení a identifikaci takovýchto faktorů udržitelné mobility ve městech může posloužit při územně-rozhodovacích a dopravně-rozhodovacích procesech na různých úrovních vlád nebo komerčních struktur.

1.1 Vymezení pojmu „objem dopravy“

Termín „objem dopravy“ není v oblasti dopravy ustáleným odborným termínem jako takovým. Často se za objem dopravy považují různé dopravní výkony, např. počet vozo-kilometrů (vozokm/čas). Mnohdy je ale laickou veřejností pod pojmem „objem dopravy“ považován některý z přepravních výkonů, např. počet osobo-kilometrů (oskm/čas), tuno-kilometrů (tkm/čas). Ačkoliv samotným pojmem „objem“ lze tvrdit, že se jedná o rozsah (množství), v případě přepravního výkonu se tedy používá výstižnějšího pojmu „objem přepravy“. Toto vše vychází ze základní definice pojmů „doprava“ a „přeprava“.

V případě přepravních objemů (přepravních výkonů) lze tvrdit, že výsledný počet tuno-kilometrů závisí zejména na poptávce po dopravě (z velké části determinované ekonomickou aktivitou obyvatel daného území a cenami dopravních služeb, popř. pohonných hmot) a na nabídce dopravy (dopravní infrastruktura, stupni motorizace, apod.). Obdobné to bude i v případě definice objemu vztaženého na dopravu obecně. Mnoho dalších faktorů zde však výsledné „objemy dopravy“ ovlivňují.

Vycházíme-li z definice pojmu „doprava“, kdy za dopravu považujeme účelný a zamýšlený pohyb dopravních prostředků po dopravních cestách, lze potom výstižněji specifikovat objem dopravy jako množství dopravních prostředků pohybujících se po pozemních komunikacích v rámci dopravní sítě. Pro užší zaměření disertační práce je dále uvažováno s odborným termínem intenzita dopravy (anglický výraz „traffic volumes“), která je definována jako počet dopravních prostředků (kompletů), které projedou sledovaným profilem pozemní komunikace za jednotku času. Z teorie dopravního proudu dále vycházejí další základní charakteristiky dopravního proudu, kterými jsou například hustota dopravy (počet vozidel na sledovaném úseku pozemní komunikace) nebo rychlost dopravního proudu. Zatímco intenzita dopravy se vztahuje k profilu pozemní komunikace, objem dopravy je možné považovat za množství dopravních prostředků v trojrozměrném prostoru (na dané části dopravní sítě).

Z uvedeného vyplývá, že obecný pojem v podobě objemu dopravy lze vztahovat jak na osobní individuální dopravu, osobní hromadnou dopravu nebo na dopravu nákladní. Zároveň lze v základu rozlišovat objemy dopravy podle jednotlivých druhů dopravy, popřípadě na objemy motorové dopravy a nemotorové dopravy.

Objemem dopravy v kontextu cíle disertační práce je myšleno množství dopravních prostředků na dopravní síti, přičemž je potřeba v rámci městského prostředí studovat možnosti, jak efektivně preferovat způsoby dopravy šetrné k životnímu prostředí před individuální motorovou dopravou ve smyslu udržitelného rozvoje měst.

2. Stávající praxe a nástroje používané pro dopravní plánování

Předpokladem pro úspěšné řešení cíle výzkumu v rámci disertační práce je úplné pochopení souvislostí a dosavadních poznatků v oblasti plánování dopravy, modelování dopravní infrastruktury a simulace dopravy, s uvážením socio-ekonomických a socio-demografických aspektů, které úzce souvisejí s dopravou jako takovou.

Na následujících řádcích čtenář nalezne výzkumnou rešerši dosavadních výstupů souvisejících s výzkumem faktorů ovlivňujících objemy dopravy zejména na silniční síti, jak v automobilové individuální dopravě, tak ve veřejné hromadné dopravě, s pochopením základních zákonitostí a zejména v návaznosti na aplikaci metodických nástrojů v další výzkumné části práce. Dále se jedná o rozbor vybraných nástrojů, které slouží pro modelování či predikci dopravních charakteristik používaných v České republice.

2.1. Modelování a simulace dopravních systémů

Dopravní modely lze obecně chápat jako analytické nástroje, pomocí nichž je možné provádět kvantitativní a kvalitativní výstupy na základě analýz hypotetických vstupů z dopravy. Jedná se o simulační modely – lze na nich simulovat výhledové dopravní a přepravní vztahy (popřípadě jiné atributy). Používají se zejména v rámci modelování změn na dopravní síti, často pro predikci (simulaci) dopravního vývoje, pro různé potřeby rozhodování o dopravních aspektech na různých úrovních (Orava, 2000). Mezi vstupy je dle Ondráčkové (2017) možné řadit zejména ukazatele dopravní poptávky (např. počet obyvatel a jiné socio-demografické a socio-ekonomické údaje, zdroje a cíle cest, stupeň automobilizace, aj.) a dopravní nabídky (infrastruktura, kapacita pozemní komunikace, linky VHD, dostupnost záchytných parkovišť, finanční náklady jednotlivých druhů dopravy apod.).

Modely lze vztáhnout na jednotlivé druhy dopravy (uni-modální modely), popřípadě vytvořit tzv. multi-modální model zahrnující komplexní systém dopravy na určitém území se specifickými vstupy z jednotlivých dopravních modů převážně založené na podílech jednotlivých druhů dopravy na celkovém objemu dopravy. Modely lze rozlišovat podle rozsahu modelovaného území na (Ondráčková a kol., 2017):

- Makroskopické modely – využívány převážně pro rozsáhlejší územní celky s komplexní dopravní sítí. Na těchto modelech je možné modelovat dopravní nebo přepravní poptávky (intenzity dopravy na silniční síti, počty přepravených cestujících mezi jednotlivými okrsky řešeného území, apod.). V rámci makroskopických modelů se jedná o určité zjednodušení systému, ve většině případů se jedná o deterministické modely.
- Mikroskopické modely – s jejich pomocí je možné modelovat chování vozidel na dopravní síti (respektive úseku silnice) a jejich vzájemné ovlivňování. Jedná se v převážné míře o modely stochastické zohledňující náhodné jevy. Typickým příkladem jsou modely založené na teorii dopravního proudu, kdy je možné například na křižovatkách, popřípadě jiných silničních úsecích, stanovit kapacitu, propustnost a jiné charakteristiky sítě, či dopravního proudu.

- Mesoskopické modely – jedná se o jakousi meziúroveň mezi makroskopickým a mikroskopickými modely, které kombinuje a čímž je možné využít výhody obou dvou výše uvedených druhů modelů.
- Nanoskopické modely – jsou specifitější druhem mikroskopických modelů, kde je kladen důraz na vyšší míru přesnosti (tedy i na detailnější atributy modelu).
- Hybridní modely – jedná se o kombinaci výše uvedených modelů tak, aby bylo docíleno simulace vybraných atributů dopravy v území s detailnějšími výstupy.

Dopravní modely je možné rozlišovat dále podle vlivu časového hlediska, tedy na modely statické a dynamické. Statické modely nezohledňují vývoj v čase, zatímco dynamické modely jsou vyloženě založeny na dynamice v čase. Příkladem dynamického modelu může být model, který zohledňuje variace dopravy v rámci dne, týdne popřípadě v průběhu celého roku (Ondráčková a kol., 2017). V České republice se pro výpočet odhadu intenzit dopravy a prognózy intenzit dopravy založených na dynamickém modelu zabývají technické podmínky č. 189 a č. 225 (viz část 2.2.).

Dalším možným členěním dle Ondráčkové a kol. (2017) je rozdělení dopravních modelů podle přístupu k modelování denních aktivit uživatelů dopravního systému. Při modelování každodenních aktivit obyvatel v rámci území se rozlišují tyto základní přístupy (Bowman a Ben-Akiva, 1996):

- Modely založené na jednotlivých cestách (trip-based) – základní analytickou jednotkou je zde cesta (trip), která vstupuje do modelu jako aktivita uživatele sítě v průběhu dne (popřípadě týdne, měsíce či roku) v podobě jednosměrné cesty mezi zdrojem a cílem.
- Modely založené na řetězcích cest (tour-based) – základní analytickou jednotkou tohoto přístupu je zde řetězec cest – jízd (tour), které na sebe navazují mezi zdrojem a jednotlivými cíli cesty uživatele sítě.
- Modely založené na rozvrhu denních aktivit uživatelů sítě (activity-based) – jedná se o komplexnější modely, ve kterých je zohledněn řetězec denních aktivit a s tím spojený časový údaj a doba, lokalizace, ale i použitý dopravní prostředek. Tvorba modelu klade vysoké nároky na kvalitu a podrobnost vstupních dat zejména v oblasti dopravního chování obyvatel v modelovaném území.

Tvorba dopravního modelu se skládá z následujících na sebe navazujících kroků (Ondráčková a kol., 2017):

- 1) Definice účelu dopravního modelu - povaha, rozsah, komplexnost dopravního modelu má odpovídat účelu použití modelu.
- 2) Struktura modelu (rozsah modelovaného území, počet a druhy dopravy, zohlednění času, způsob modelování cest, aj) - podle účelu modelu se odvozuje detailnost modelu s parametry a způsob modelování dopravy.
- 3) Vstupní údaje - struktura modelu definuje rozsah a charakter potřebných vstupních údajů. Sběr je prováděn opět dle účelu využití modelu a jeho struktury pomocí celé řady dopravních či dotazníkových průzkumů, popřípadě s využitím statistických databází.
- 4) Tvorba modelu a jeho kalibrace (zpřesňování) - kalibrace modelu je specializovaná činnost během tvorby dopravního modelu. Vytvořený dopravní model je kalibrován podle empiricky získaných údajů.
- 5) Validace (ověření) - je proces testování přesnosti kalibrovaného modelu porovnáním jeho výstupů s výsledky získanými sběrem dat z terénu. Testování se provádí na nezávislém vzorku dat, přičemž údaje použité na validaci mají být jiné, než údaje využité na kalibraci.

- 6) Predikce (předpoklad) - základním předpokladem pro tvorbu predikce vývoje dopravy v nulovém (vývoj situace bez opatření) nebo návrhovém scénáři je platnost (validita) modelu ohledem na současný stav.

2.1.1. Čtyř-úrovňový makroskopický dopravní model

V rámci modelování a simulace vlivů v dopravě a dopadů dopravy na řadu aspektů se v současné době využívá tzv. „čtyř-úrovňový dopravní model“, který lze obecně vyjádřit matematickým vztahem reflektujícím parametry jednotlivých kroků modelu (Buliček a kol., 2011):

$$T(k, i, j, m, r) = G_i^k \times T_{ij}^k \times M_{ij}^{km} \times R_{ij}^{kmr}, \quad (1)$$

kde:

$T(k, i, j, m, r)$ – celkový počet cest vykonaných osobami skupiny k mezi oblastmi i a j druhem dopravy m po trase r ;

G_i^k – počet cest vykonaných osobami skupiny k a vznikajících v oblasti i ;

T_{ij}^k – podíl cest odpovídající disponibilítě oblasti i a atraktivitě oblasti j ;

M_{ij}^{km} – podíl T_{ij}^k přiřazený k určitému druhu dopravy;

R_{ij}^{kmr} – podíl cest přidělených na konkrétní trasu.



Obrázek 1 - Struktura čtyř-úrovňového dopravního modelu (zdroj: Jaspers, 2014, vlastní zpracování)

2.1.2. Modelování vzniku cest

Cílem je pro každou územně-dopravní oblast a každé modelované časové období určit samostatně počet začínajících a končících cest v dané oblasti (bez ohledu na směřování těchto cest). Počet

začínajících cest v dané oblasti (míru poptávky) představuje disponibilitu oblasti. Počet končících silnic v dané oblasti (míra přitažlivosti) představuje atraktivitu zóny. Atraktivity a disponibility by měly být v závislosti na struktuře modelu segmentovány podle vrstev poptávky.

Disponibilitu je možné segmentovat podle ekonomické aktivity (výše příjmu), dostupnosti automobilu, příp. také typu a polohy místa bydliště (region, vybavenost obce), např. na tyto demografické skupiny (Orava, 2000):

- ekonomicky aktivní obyvatelstvo s dostupností automobilu v domácnosti;
- ekonomicky aktivní obyvatelstvo bez dostupnosti automobilu v domácnosti;
- ekonomicky neaktivní obyvatelstvo s dostupností automobilu v domácnosti;
- ekonomicky neaktivní obyvatelstvo bez dostupnosti automobilu v domácnosti;
- žáci a studenti (v strategických modelech se doporučuje uvést samostatně na základní, střední a vysoké školy).

V makroskopických modelech se disponibilita dané oblasti se určí jako násobek hybnosti dané demografické skupiny (počet cest za pracovní den nebo rok) zjištěné z průzkumu mobility a počtu obyvatel dané demografické skupiny v dané oblasti. Velmi hodnotným nástrojem pro účely dopravního plánování jsou dopravní deníky, které na základě principu dobrovolnosti ze strany účastníka průzkumu dopravního chování, slouží jako cenný zdroj dat o frekvenci a účelu vykonaných cest, využití dopravních prostředků aj. Takto získaná data lze rovněž využít pro stanovení vzniku cest – za pomoci socioekonomických proměnných je na teoretickém modelu kalibrovat pomocí metod statistické analýzy se skutečnými nebo odvozenými údaji o počtech cest z/do dané oblasti (Ondráčková a kol., 2017). Pro stanovení odhadu (dopočtu) hodnot ze vzorku dat od respondentů z průzkumů je možné využít metod (Bulíček a kol., 2011):

- metoda růstového faktoru;
- vícenásobná lineární regresní analýza;
- teorie volby při stanovení počtu zdrojových a cílových cest.

Při tom je důležité rozlišovat druhy poptávky - tzv. apriorní (poptávka neovlivněná existující nabídkou) a aposteriorní (poptávka ovlivněná existující nabídkou. Dle Ondráčkové (2017) je dále při určování zdrojových a cílových cest potřebné se zabývat zejména poptávkou apriorní, na jejímž základě je možná racionalizace modelovaného dopravního systému.

Atraktivita dané oblasti představuje počet cest za konkrétním účelem ukončených v dané oblasti. V případě nedostupnosti těchto údajů, je třeba určit zjednodušené odhady založené na vhodných datových zdrojích a celkovém počtu cest. Pro jednotlivé účely cest je možné uvažovat s hodnotami (Orava, 2000):

- docházka do práce - počet pracovních příležitostí;
- docházka do školy - počet žáků, resp. míst ve školách;
- docházku za službami - počet návštěv zdravotnických zařízení, úřadů, maloobchodních provozů, resp. jejich počet nebo kapacita;
- zpáteční cesty domů.

Atraktivity se doporučuje segmentovat podle účelu cesty, frekvence opakování cesty (denní / týdenní / občasná) nebo délky cesty. Celková atraktivita všech oblastí pro daný účel cesty musí být shodná s celkovým počtem cest daného účelu, které provedou obyvatelé oblasti. Celkový počet cest je možné získat jako násobek hybnosti dané demografické skupiny podle účelu cesty (počet cest za den) zjištěné z průzkumu mobility a počtu obyvatel dané demografické skupiny. Alternativně lze přistoupit k

odhadu na základě specifických dopravních nebo sociologických průzkumů s pomocí výše uvedených metod (obdobně jako stanovení disponibility oblasti).

2.1.3. Modely pro distribuci cest

Cílem je vytvořit pro každou dvojici dopravních zón (se zohledněním směru jízdy), poptávkovou vrstvu a modelované časové období matici přepravních vztahů – stanovení počtu cest mezi těmito oblastmi. Obecně objem přepravních vztahů mezi dvojicí zón závisí na:

- hodnotě disponibility ve zdrojové zóně;
- hodnotě atraktivity v cílové zóně;
- cestovních nákladech mezi zdrojem a cílem;
- specifičnosti vztahu mezi zdrojem a cílem (např. spádovost);
- limitu příležitostí k uskutečnění cesty mezi zdrojem a cílem.

Obecně platí, že se vzrůstající vzdáleností, cestovními náklady nebo cestovní dobou (tzv. generalizované náklady) mezi potenciálním zdrojem a cílem cesty klesá pravděpodobnost vzniku cesty – zvyšuje se míra impedance mezi danými oblastmi.

Celkový objem takto vypočtených cest začínajících nebo končících v dané oblasti (celkový součet v řádku, resp. sloupci pro danou oblast) by měl odpovídat počtu určenému během vzniku cest (kapitola 2.1.2). Toho lze dosáhnout iteračním opakováním modelových procedur, až do doby dosažení požadované míry konvergence (Kočárková a kol., 2004).

Pro stanovení výhledových přepravních vztahů se používá řada metod. V základu je můžeme členit do dvou skupin (Ondráčková a kol., 2017) – Analogické metody (metody růstových faktorů) a syntetické metody (gravitační metody).

Metody růstových faktorů jsou založeny na předpokladu, že budoucí počty mezioblastních (např. přepravních) vztahů budou v určitém poměru k současným hodnotám, proto je možné využít k jejich stanovení koeficientů růstu- např. metoda jednotného součinitele růstu, metoda průměrného součinitele růstu, metoda Fratarova nebo metoda Detroitská. Koeficienty růstu lze získat např. statistickou analýzou časových řad. Vzhledem k rostoucí složitosti dopravního systému se míra využitelnosti pro modelování dopravního systému snižuje.

Gravitační metody jsou založeny na předpokladu, že ke stanovení budoucího objemu mezioblastních vztahů je zapotřebí studovat a definovat příčiny jejich vzniku a veškeré další příčiny, které způsobují růst objemu přepravních vztahů. Vychází se z poznatku, že objem dopravy mezi dvěma oblastmi je přímo úměrný atraktivitě cílové oblasti a nepřímo úměrný vzdálenosti mezi danými oblastmi. Kromě vzdálenosti je možné uvažovat jiné hodnoty impedance (např. cestovní doba nebo náklady na dopravu). Pomocí syntetických metod lze výhledově vyjádřit přemístovací vztahy i v těch případech, kdy je nutné počítat s podstatnými změnami ve struktuře oblasti, ve struktuře sítě dopravních komunikací i se vznikem nových oblastí.

Gravitační model lze obecně vyjádřit vztahem (Ondráčková a kol., 2017):

$$T_{ij} = A_i \times O_i \times B_j \times D_j \times f(U_{ij}), \quad (2)$$

kde:

T_{ij} – počet cest mezi oblastmi i a j ;

A_i – balanční faktor pro zdrojové cesty;

O_i – počet zdrojových cest (disponibilita oblasti i);

B_j – balanční faktor pro cílové cesty;

D_j – počet cílových cest (atraktivita oblasti j);

$f(U_{ij})$ – funkce generalizovaných nákladů cest mezi oblastmi i a j .

V případě potřeby stanovení prognózy mezioblastních vztahů (výhledová OD matice) je možné na základě znalosti stávajících dat (časových řad) využít těchto skupin metod:

- Metody regresní a korelační analýzy
- Metody specifických hybností (např. obyvatel či domácností)

2.1.4. Modely pro volbu druhu dopravního prostředku

Cílem je rozdělit matice přepravních vztahů vytvořené v rámci distribuce cest na samostatné matice pro jednotlivé druhy dopravy zahrnuté v dopravním modelu, nejlépe pro jednotlivé poptávkové vrstvy a modelované časové období (Baudyš a kol., 2008). Tedy jaké cesty kterých obyvatel budou vykonány kterými dopravními prostředky. Mezi nejvýznamnější faktory ovlivňující výběr dopravního prostředku lze řadit dostupnost veřejné dopravy (akcesibilita), vlastnictví automobilu, náklady na použití daného druhu dopravy, průměrné parkovací náklady, mýtné, cestovní doba aj. (Orava, 2000). Volba dopravního prostředku rovněž závisí na časovém období dne, aktuálního stavu počasí, dopravní vybavenosti území, typu zástavby a jiných územně-stavebních faktorech nebo globálně-politických či regionálně-politických vlivech. (Kočárková a kol., 2004).

Při volbě druhu dopravního prostředku v rámci modelu se ve většině případů vychází z empirického poznání na základě již získaných dat o přepravním chování obyvatel (např. dotazníkové šetření nebo jiná statistická data). Je možné využít pravděpodobnostní analýzu pro stanovení odhadu modal splitu na základě teorie volby (Orava, 2000). Často využívanou pravděpodobnostní funkcí pro stanovení odhadu volby druhu dopravního prostředku mezi zdrojovou a cílovou oblastí je LOGIT funkce (logistické rozdělení odhadu užítku). Mezi další modely v rámci „Mode Share“ se řadí model PROBIT, který je založen na normálním rozdělení odhadu užítku nebo lineární pravděpodobnostní model s rovnoměrným rozdělením veličin užítku (Ortúzar a Willumsen, 2006). Užítková funkce zde vyjadřuje míru atraktivity daného dopravního modu (dopravního prostředku) a je zejména založena na zohlednění generalizovaných nákladů.

Generalizované náklady jsou stanoveny samostatně pro různé demografické skupiny, účely cesty, druhy dopravy a časové období. V případě omezení kapacity jednotlivých druhů dopravy je třeba tuto skutečnost zohlednit v užítkové funkci. Užítkové funkce s aplikací generalizovaných nákladů zohledňují zejména tyto proměnné:

- celkové trvání cesty včetně doby přesunu k dopravnímu prostředku, celkového času stráveného ve vozidle a času přesunu od dopravního prostředku do cíle cesty;
- celkové peněžní náklady spojené s uskutečněním cesty (provozní náklady, poplatky za vjezd, parkovné, mýtné, dálniční poplatky, náklady na jízdné ve veřejné dopravě apod.);
- vnímanou míru diskomfortu (např. penalizace přestupů ve veřejné dopravě nebo penalizace méně komfortních druhů dopravy), jejíž hodnota by měla být určena na základě průzkumu;
- v nákladní dopravě také časové ztráty a finanční náklady spojené s nakládkou, vykládkou, překládkou a shromažďováním zboží;
- V případě IAD je možné dále zohlednit průměrnou dobu přejezdu, popřípadě zdržení na určitém úseku pozemní komunikace (obecně na prvcích dopravní sítě), průměrnou obsazenost osobního automobilu, popřípadě v nákladní dopravě kapacitu nákladních vozidel a jejich skutečné vytížení.

Rozdělení matice přepravních vztahů mezi jednotlivé druhy dopravy je tedy možné provést na základě tzv. lineární užitkové funkce v závislosti na generalizovaných nákladech, která popisuje atraktivitu dopravního prostředku - modu (Ondráčková a kol., 2017). Podobu lineární užitkové funkce lze vyjádřit takto:

$$U(m) = a_m + b_m + IVTT_m + c_m \times OVTT_m + d_m \times COST_m, \quad (3)$$

kde:

$IVTT_m$ – čas strávený ve vozidle pro dopravní prostředek m ;

$OVTT_m$ – soubor cestovních časů mimo dopravní prostředek (součet doby chůze k dopravnímu prostředku, dob čekání na přestup a doby odchodu z konečné zastávky do cíle cesty);

$COST_m$ – náklady na jízdu v dopravním prostředku m ;

a_m, b_m, c_m, d_m – specifické koeficienty.

Parametry užitkové funkce by měly být určeny tak, aby modelovaná dělba přepravní práce odpovídala empirickým zjištěním z průzkumů, příp. jiných zdrojů. Podoba LOGIT funkce s uvážením užitkové funkce je dále následující (Ondráčková a kol., 2017):

$$P(m) = \frac{e^{U(m)}}{\sum_{m=1}^n e^{U(m)}}, \quad (4)$$

kde:

$P(m)$ – pravděpodobnost, že cestující zvolí dopravní prostředek m ;

$U(m)$ – lineární užitková funkce popisující atraktivitu dopravního prostředku m ;

$\sum_{m=1}^n e^{U(m)}$ – suma lineárních užitkových funkcí popisující atraktivitu dopravních prostředků alternativních oproti dopravnímu prostředku m .

V strategických modelech dopravního plánování se zpravidla provádí dělba přepravní práce ve dvou krocích (MDV SR, 2019):

- v prvním kroku se rozdělí matice přepravních vztahů mezi IAD a veřejnou dopravu;
- ve druhém kroku se rozdělí individuální doprava mezi silniční a nemotorizovanou (s možným rozdělením na cyklistickou a pěší), a veřejná doprava mezi příměstskou železniční dopravu, autobusovou, železniční, městskou hromadnou dopravu (obecně)příp. Další relevantní druhy. Alternativně lze druhý krok provést až během přidělení dopravy. Popřípadě se zahrnou další druhy dopravy, pokud to účel modelu vyžaduje, resp. se v modelovaném území vyskytují.

V multimodálních makroskopických modelech nákladní dopravy, které se zabývají rozsáhlejšími územími (např. státu) se zahrnují obecně druhy dopravy jako silniční, železniční či letecká doprava (kromě jiných specifických druhů dopravy v rámci daného území).

2.1.5. Modely pro přidělení cest na dopravní síť

V závěrečném kroku čtyř-úrovňového modelu je nutné zjištěné počty cest mezi jednotlivými oblastmi spolu se zjištěným modal splitem přiřadit na konkrétní úseky dopravní sítě (určení zatížení sítě dopravních komunikací). Přidělováním výhledových vztahů na současnou dopravní síť při znalosti limitů kapacity úseků pozemních komunikací je možné docílit zjištění, zdali bude mít současná síť komunikací v budoucnosti dostatečnou kapacitu nebo zda nebude přetížena (Kočárková a kol., 2004).

Pro přiřazování zjištěných (respektive výhledových) cest na dopravní síť (trasy) dle jednotlivých dopravních modů se používají zejména tři zásady (Bulíček a kol., 2011) a jejich vzájemné kombinace při tvorbě přiřazovacích modelů (Assignment models):

- **Zásada nejkratší cesty** je založena na předpokladu, že každá cesta z OD matice je přiřazena na nejkratší (nebo nejlevnější) trasu, ostatní trasy nejsou uvažovány, dokud dopravní tok není saturován (dosaženo kapacity komunikace). Trasa může být ohodnocena samotnou vzdáleností, cestovním časem na trase, nebo v nákladech vynaložených na dopravu po této trase.
- **Zásada přerozdělení cest na více tras** vychází z poznatku, že část řidičů volí jiné, než časově nejvýhodnější trasy nebo zvolí jinou trasu pro cestu tam a jinou pro cestu zpět. Důvodů pro volbu jiné trasy může být celá řada (Meyer, 2016) – mohou to být atributy samotné trasy (kapacita úseku silnice, rychlostní omezení na trase, dopravní omezení na trase, aj.) nebo psychologické faktory jedinců (např. že řidiči raději využijí méně frekventovanou trasu).
- **Zásada omezené kapacity** přihlíží ke kapacitě komunikace. Trasa nejvýhodnější je dle první zásady nejčastěji využívána, což v době dopravních špiček vede ke zpomalení dopravního proudu a řidiči volí alternativní trasy, které jsou sice vzdálenostně delší, ale v dané situaci časově výhodnější. S uvážením této zásady se přidělují mezioblastní vztahy na síť po krocích a po každém iteraci se posuzuje intenzita dopravy a propustné kapacity a upravuje se čas potřebný na průjezd komunikací (Bulíček a kol. 2011) – jedná se o smyčky se zpětnou vazbou.

Z výše uvedeného je zřejmé, že se pro přiřazování jednotlivých cest na dopravní síť uvažuje s kalkulací generalizovaných nákladů pro jednotlivé trasy. Zásady nejkratší cesty a omezené kapacity je využívána např. v rámci modelování tzv. „přírůstkového zatížení sítě“ (Incremental Assignment), kdy pomocí iterací zohledňujeme v poptávkových dílčích maticích zvyšující se míru impedance na saturovaných trasách (Ondráčková a kol., 2017). Postupnými iteračními kroky dosáhneme bodu, kdy rozdíl mezi následnými kroky (přiřazeními) je pod určitou prahovou hodnotou (konvergence).

Velmi využívaným modelem přiřazování cest na dopravní síť je rovnovážný model (Equilibrium Assignment) založený na stochastickém „user-equilibrium“ algoritmu (Meyer, 2016). Rovnovážný stav dopravního systému nastává v momentě, kdy pro žádného uživatele dopravní síť neexistuje žádná výhodnější alternativa (tj. s nižšími generalizovanými náklady). Rovnováhu můžeme uvažovat jako celospolečenské optimum nebo jako uživatelské optimum podle Wardropa, podle něhož si "každý uživatel vybírá trasu, pro kterou jsou náklady na cestu mezi zdrojem a cílem minimální, a jakákoli změna této trasy by mu přinesla stejné nebo vyšší náklady" – první Wardropova věta (Wardrop, 1952). V případě systémového optima je uvažováno s průměrnou cestovní dobou všech uživatelů dopravní sítě jako s minimální (druhá Wardropova věta). Zatížení sítě je ukončeno tehdy, když jsou všechny trasy v relacích zdroj – cíl v rovnovážném stavu (Ondráčková a kol., 2017).

Vycházíme-li z teorie grafu, kdy je dána dopravní síť $G(N,A)$ - kde N je množina uzlů a A je množina úseků, potom je uživatelsky rovnovážného stavu dosaženo tehdy, pokud pro všechny relace (p, q) platí (Slivoně, 2009):

$$f_{pqr} > 0 \Rightarrow t_{pqr} = t_{pq}^* \quad \forall r \in R_{pq}, \quad (5)$$

$$f_{pqr} = 0 \Rightarrow t_{pqr} \geq t_{pq}^* \quad \forall r \in R_{pq}, \quad (6)$$

Při zahrnutí všech podmínek přípustnosti řešení platí:

$$f_{pqr}(t_{pqr} - t_{pq}^*) = 0 \quad \forall r \in R_{pq}, \forall (p, q) \in D, \quad (7)$$

$$t_{pqr} - t_{pq}^* \geq 0 \quad \forall r \in R_{pq}, \forall (p, q) \in D, \quad (8)$$

$$\sum_{r \in R_{pq}} f_{pqr} = d_{pq} \quad \forall (p, q) \in D, \quad (9)$$

$$f_{pqr} \geq 0 \quad \forall r \in R_{pq}, \forall (p, q) \in D, \quad (10)$$

$$t_{pq}^* \geq 0 \quad \forall (p, q) \in D \quad (11)$$

kde:

D – množina všech přepravních proudů směřujících z $p \in N$ do $q \in N$;

d_{pq} – velikost přepravního proudu z p do q , $d_{pq} \in D$;

R_{pq} – množina všech neopakujících se tras mezi p a q ;

f_{pqr} – velikost dopravního proudu na trase $r \in R_{pq}$;

F_a – celkový dopravní proud přiřazený na úsek $a \in A$;

t_a – cestovní čas potřebný pro průjezd úseku a ;

t_{pqr} – čas potřebný na cestu z místa p do místa q při použití trasy r ;

t_{pq}^* – minimální čas potřebný na cestu z místa p do místa q .

Při přidělování dopravy se na základě stochastické uživatelské rovnováhy zohledňují různé vnímání generalizovaných nákladů různými demografickými skupinami pro různé účely a časy cest (segmentace podle poptávkových vrstev).

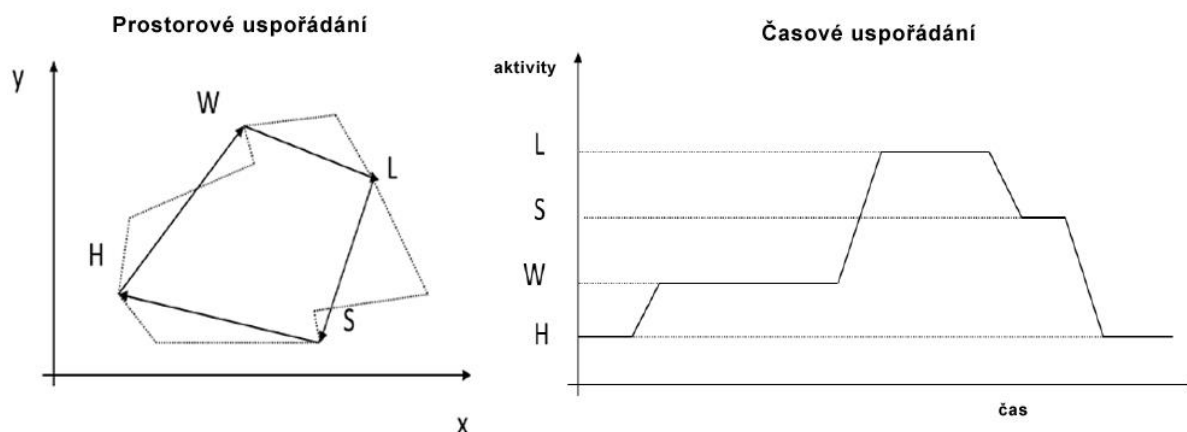
Oproti výše uvedenému statickému modelu přiřezování cest je dynamický model, který zohledňuje kolísání přepravní poptávky v čase ale i změnu parametrů sítě v čase (např. proměnné dopravní značení, změna signálních plánů, aj.).

Mezi další modely přiřazování cest na dopravní síť je možné řadit statické zatížení metodou ICA (Impedance calculation), které je založeno na stanovení odporové funkce v jednotlivých křižovatkách (uzlech) na dopravní síti. Tato metoda však klade důraz na větší detailnost dopravní sítě, např. na přesné umístění jízdních pruhů v křižovatkách (Ondráčková a kol., 2017).

2.1.6. Ostatní druhy modelů používané v dopravním plánování

Jedním z modelů zabývajících se příčinným vznikem cest (tedy i jednotlivými faktory, které vedou k cestám) je model založený na aktivitách uživatele dopravní sítě (activity-based model). Tyto modely získávají uplatnění při rozsáhlých průzkumech dopravního chování obyvatel.

Hlavním předpokladem **modelů založených na aktivitách obyvatel** je to, že cestovní poptávka je odvozena od činností, které lidé musejí nebo chtějí v rámci svých aktivit vykonat, přičemž rozhodnutí jednotlivců o jednotlivých cestách jsou součástí plánu aktivit v daném dni – posloupnost těchto činností definuje cestu v prostoru a čase. Cestování je pak považováno za jeden z atributů systému.



Obrázek 2 - Příklad prostorové a časového uspořádání rozvrhu aktivit uživatele dopravní sítě (Zdroj: Příbyl, 2003). Legenda: W – práce, H – domov, L – zábava, S – nákupy.

Při modelování na základě principu časoprostorového omezení by se měla brát v potaz další omezení nesouvisící přímo s dopravou, ale zejména s aktivitami uživatelů dopravní sítě (Hägerstrand, 1970): např. fakt, že není možné být na dvou místech zároveň, otevírací doby obchodů a institucí, omezení určitých typů domácností, prostorové (určité aktivity mají vyhrazený prostor), časové (aktivity mohou mít minimální či maximální trvání), aj.

Modely založené na aktivitách jednotlivců (skupin obyvatel) nabízejí jiné možnosti než čtyř-úrovňové modely, např. lze jimi modelovat environmentální problémy spojené s dopravou, jako jsou emise a expozice obyvatel znečištění ovzduší. Tyto modely publikoval Shiftan (2000) s detailním posouzením jejich výhod pro environmentální účely v dopravním plánování již před více jak dvaceti lety. Kolektiv autorů kolem Beckxe (2009) publikoval model založený na aktivitách obyvatel pro predikci objemu emisí z dopravy a různé další modely na kvalitu ovzduší následovaly. Tvůrci dopravních strategií mohou pomocí modelů založených na aktivitách obyvatel navrhnout takové strategie, které snižují produkci emisí nebo expozici těmto emisím změnou vzorců chování obyvatel (popřípadě konkrétní skupiny obyvatel) v čase.

Integrované dopravně-územní modely (Integrated Transport-Land Use Models) – integrují výhody dopravních modelů a modelů využití území do jednoho. Účelem těchto modelů je předpovídat dopad změn v dopravní síti a provozu na budoucí umístění služeb (funkce území) na základě znalosti o socio-ekonomickém využití území a poté předpovídat dopad těchto nových umístění na poptávku po dopravě.

Modely založené na multi-agentním přístupu využívají principu autonomních agentů, které v modelu fungují jako proměnné s celou řadou atributů. Výhodou multi-agentního modelu je, že každému agentu lze přiřadit v rámci simulace atributy pro libovolnou poptávkovou vrstvu a je možné využít pro všechny rozhodovací procesy v každém kroku čtyř-úrovňového modelu, v makroskopických dynamických, ale i mikroskopických modelech.

2.2. Nástroje pro modelování intenzit dopravy v ČR

Intenzita dopravy na pozemní komunikaci je primárním údajem pro řadu rozhodovacích procesů v silničním hospodářství a oblast projektování pozemních komunikací. Intenzita dopravy charakterizuje do jisté míry účel využití pozemní komunikace a charakter provozu na pozemní komunikaci (Martolos, 2016). V rámci silničního hospodářství je kromě jiného intenzita dopravy brána mnohdy

jako důležitý údaj pro stanovení míry vytížení pozemní komunikace (a určení kapacity pozemní komunikace) a jako návrhová intenzita dopravy ve smyslu stanovení návrhové kategorie novostavby pozemní komunikace nebo zefektivnění organizace dopravy na příslušném křížení nebo úseku PK. Ve většině případů jsou tyto návrhové intenzity zjišťovány za pomoci krátkodobých dopravních průzkumů, a stanoveny dále postupným vyhodnocením za pomoci příslušných nástrojů. Od správného stanovení celodenní intenzity dopravy z krátkodobého měření se odvíjejí další dopravně-inženýrské ukazatele a nástroje, např. roční průměr denních intenzit (RPDI) nebo padesátirázová intenzita dopravy.

Metodika pro stanovení intenzit dopravy z krátkodobých dopravních průzkumů vychází částečně z anglické monografie HCM (anglicky Highway Capacity Manual) z roku 2000 a z německé příručky HBS (německy Handbuch für die Bemessung von Strassenverkehrsanlagen) z roku 2001. Stanovením intenzit dopravy z krátkodobých dopravních průzkumů se zabývá dokument TP 189 (Martolos, 2016), stanovením prognóz intenzit dopravy potom technické podmínky TP 225 (Richtř a Bartoš, 2018). Dále existují TP 135, 188, 234, 235, 236, dle kterých se navrhuje a posuzují jednotlivé typy křižovatek (z těchto TP se rovněž vychází při modelování dopravy na pozemních komunikacích. Technické podmínky doplňují a rozpracovávají příslušná ustanovení norem ČSN 73 6101, ČSN 73 6102 a ČSN 73 6110. Požadavky na podobu a výstupy dopravního modelu upravuje například i zákon č. 100/2001 Sb.: posuzování vlivů na životní prostředí – specifické požadavky pro vstup do studie EIA (Ondráčková a kol., 2017). Dopravní modely se vytvářejí s ohledem na tyto (a další s dopravou související) zákony, technické podmínky a normy.

2.2.1. Stanovení intenzit dopravy na městských komunikacích

Autor této práce se v letech 2014–2016 podílel na řešení výzkumného projektu v rámci Technologické agentury ČR s označením TA04031723 „Metodika stanovení intenzit dopravy na městských komunikacích“. Cílem projektu bylo sestavit metodiku pro výpočet ročního průměru intenzit dopravy (RPDI) z dat získaných krátkodobým dopravním průzkumem na pozemních komunikacích ve městech a obcích. Jednalo se o provedení dlouhodobého měření intenzit dopravy na vybraných komunikacích v různých městech v ČR, ze kterých byly získány sady koeficientů pro výpočty výsledného RPDI.

Řešitelé projektu v jeho průběhu zrealizovali velké množství dopravních průzkumů ve 14 krajských městech a jiných městech v ČR ke zjištění intenzit dopravy na vytipovaných pozemních komunikacích na území měst a obcí tak, aby byly determinovány na těchto komunikacích různé charakteristiky dopravy. V každém z těchto měst bylo provedeno měření intenzit dopravy na různých silnicích městského typu po dobu 7 dní v týdnu opakovaně v každém z ročních období (jaro, léto, podzim, zima). Takto organizované průzkumy pokryly kategorie silnic městského typu, které korespondovaly s kategorizací uvedenou v minulosti platné verzi ČSN 73 6110 v podobě funkčních tříd městských komunikací A1, A2, B1, B2, C1, C2, C3 – viz tabulka č. 1.

Tabulka 1 - Stručná charakteristika pozemních komunikací (zdroj: Beneš a kol., 2016)

Funkční třída	Charakteristické použití	Poloha v sídelním útvaru	Typické požadavky
A1 - (rychlostní s funkcí dopravní)	rychlostní komunikace ve městech nad 250 tisíc obyvatel, průtah dálnic a rychlostních silnic ve městech nad 100 tisíc obyvatel, vazba na dálnice	na hranici vyšších urbanistických útvarů	vyloučení přímého styku s okolním územím
A2 - (rychlostní s funkcí dopravní)	rychlostní komunikace ve městech nad 50 tisíc obyvatel, průtah rychlostních silnic ve městech nad 20 tisíc obyvatel	na hranici vyšších urbanistických útvarů	omezení přímého styku s okolním územím

B1 - (sběrné s funkcí dopravně obslužnou)	sběrné komunikace ve městech nad 20 tisíc obyvatel, průtah ve městech a významných střediskových obcích, navazují na silnice I. a II. tř.	na hranici nižších urbanistických útvarů	převážně dopravní význam, důraz na požadovanou rychlost a omezení přímé obsluhy
B2 - (sběrné s funkcí dopravně obslužnou)	sběrné komunikace nižších obytných útvarů pro jejich obsluhu a průtahy silnic III. Tř., spojení nestřediskových obcí navazující na silnice III. Tř.	mezi nižšími obytnými útvary	dopravní význam s částečnou přímou obsluhou
C1 - (Obslužné s funkcí obslužnou)	městské třídy převážně společenského významu ve stávající zástavbě	obslužné osy městských útvarů	umožnění přímé obsluhy všech objektů
C2 - (Obslužné s funkcí obslužnou)	obslužné komunikace doplňující spojení sběrných komunikací ve stávající i nové zástavbě	mezi nižšími obytnými útvary nebo uvnitř obytných útvarů	
C3 - (Obslužné s funkcí obslužnou)	obslužné komunikace zpřístupňující objekty a území	uvnitř obytných útvarů	

Průjezd vozidel všech kategorií byl zaznamenáván pomocí automatických detektorů (sčítačů) na ultrazvukové bázi v celodenním časovém rozmezí. Tyto přístroje zaznamenávají četnosti, ale i kategorie vozidel. Délka přerušení signálu v závislosti na čase a rychlosti vozidla znamená příslušnou kategorii vozidla (osobní automobily, motocykly, nákladní vozidla a autobusy, návěsové soupravy).

Stanovení homogenních souborů dat pro výpočet intenzity dopravy

Ze získaných dat o celodenních intenzitách dopravy byly vytvořeny soubory dat příslušející k jednotlivým typům městských komunikací. Data byla sestavena jak pro jednotlivé typy městských komunikací, tak i pro jednotlivé dny v týdnu, období roku a jednotlivé kategorie vozidel. Pro tyto jednotlivé kategorie byla data ze všech dopravních průzkumů převedena do podoby hodinových intenzit dopravy v rámci 24 hodin (denní variace intenzit dopravy) – četnosti v rámci jednotlivých hodinových intervalů.

Při zobecnění celého souboru zjištěných hodinových intenzit a nahrazením střední hodnotou a rozptylem byly získány průměrné hodnoty ze všech měření (v rámci dané kategorie městské komunikace). K posouzení variability hodinových intenzit dopravy byla využita výběrová směrodatná odchylka s a variační koeficient V . Variační koeficient je podílem směrodatné odchylky a aritmetického průměru intenzit dopravy v danou hodinu $V = s/\bar{x}$.

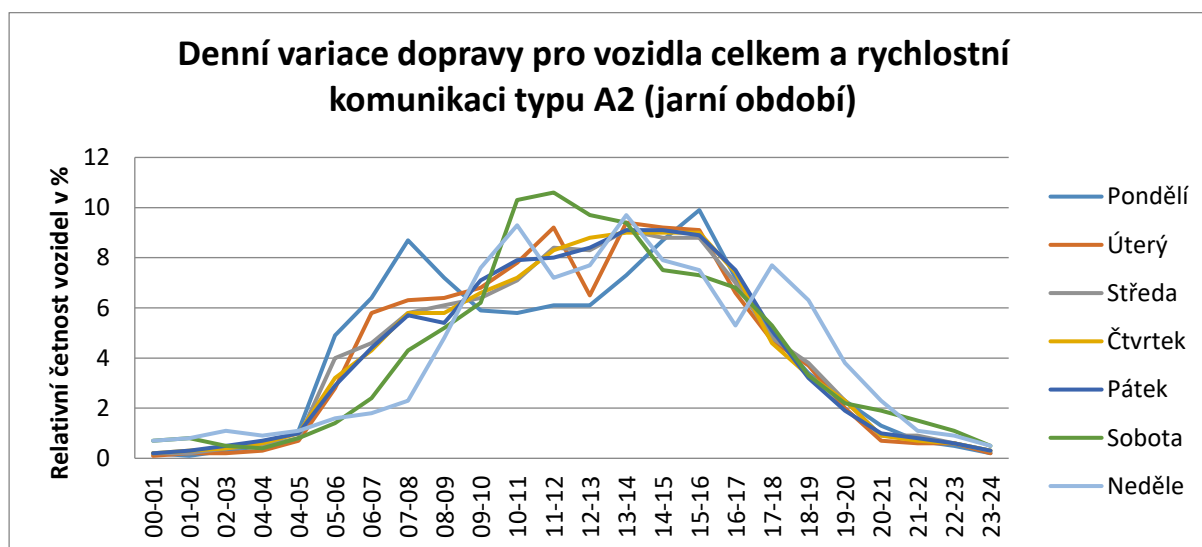
Touto statistickou metodou bylo docíleno zjištění v podobě nízkých hodnot variačního koeficientu hodinových intenzit dopravy (více než 60% hodnot variačního koeficientu bylo na úrovni méně jak 20%) pro jednotlivé sledované kategorie, čímž byly získány téměř homogenní soubory intenzit dopravy. Tato skutečnost umožnila použít zjištěné průměrné hodnoty hodinových intenzit dopravy jako základ pro výpočet přepočtových koeficientů pro odhad denní intenzity dopravy jen na základě výsledků krátkodobého dopravního průzkumu.

Stanovení přepočtových koeficientů intenzity dopravy - Převedením zprůměrovaných hodnot hodinových intenzit dopravy (pro jednotlivé sledované kategorie) na relativní četnosti získáme soubor hodinových podílů intenzit dopravy na celkové celodenní intenzitě dopravy. Ty představují tzv. přepočtové koeficienty na denní intenzity dopravy k_d , které lze použít k přepočtu intenzity dopravy zjištěné z provedeného krátkodobého průzkumu (za určitou dobu v rámci dne) na odhad denní intenzity dopravy. Soubory přepočtových koeficientů tedy byly vytvořeny z výše uvedených souborů dat, a to pro jednotlivé kategorie vozidel, typy městských komunikací, jednotlivé dny v týdnu a období

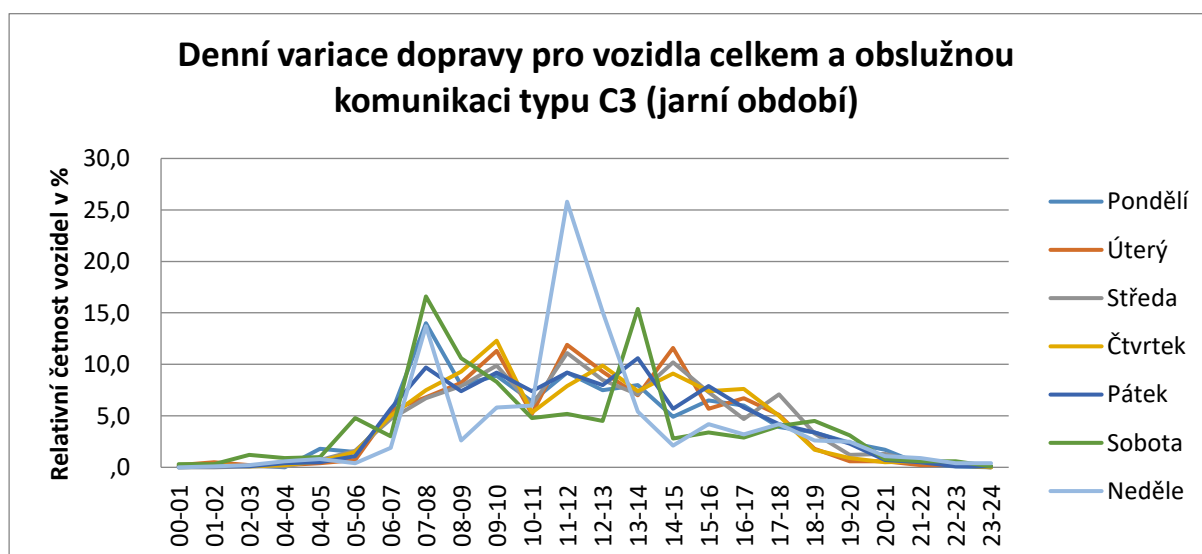
v roce. V případě několikahodinového měření intenzit dopravy v rámci dne se příslušné hodnoty přepočtových koeficientů odpovídající jednotlivým hodinovým intervalům dopravního průzkumu sečtou a dále se celkový koeficient intenzity dopravy použije pro výpočet odhadu denní intenzity dopravy v den průzkumu dle vztahu (20).

Obdobným způsobem byl získán přepočtový koeficient pro přepočet na týdenní průměr denních intenzit dopravy k_t , k jehož stanovení je využito podílů celodenní intenzity dopravy v rámci daného dne v týdnu vůči celkové intenzitě dopravy zjištěné během celého týdne v daném období v roce, a rovněž přepočtový koeficient pro přepočet na výsledný odhad hodnoty ročního průměru intenzity dopravy k_{RPDI} , což je aritmetický průměr přepočtových koeficientů pro týdenní průměr intenzit dopravy za všechna roční období.

Následující grafy (obrázek č. 3 a 4) znázorňují relativní četnosti (procentuální hodinové podíly na celkové intenzitě dopravy zaznamenané za dobu 24 hodin) pro vybrané typy městských komunikací, pro vozidla bez rozlišení kategorií a vybrané období (jaro).



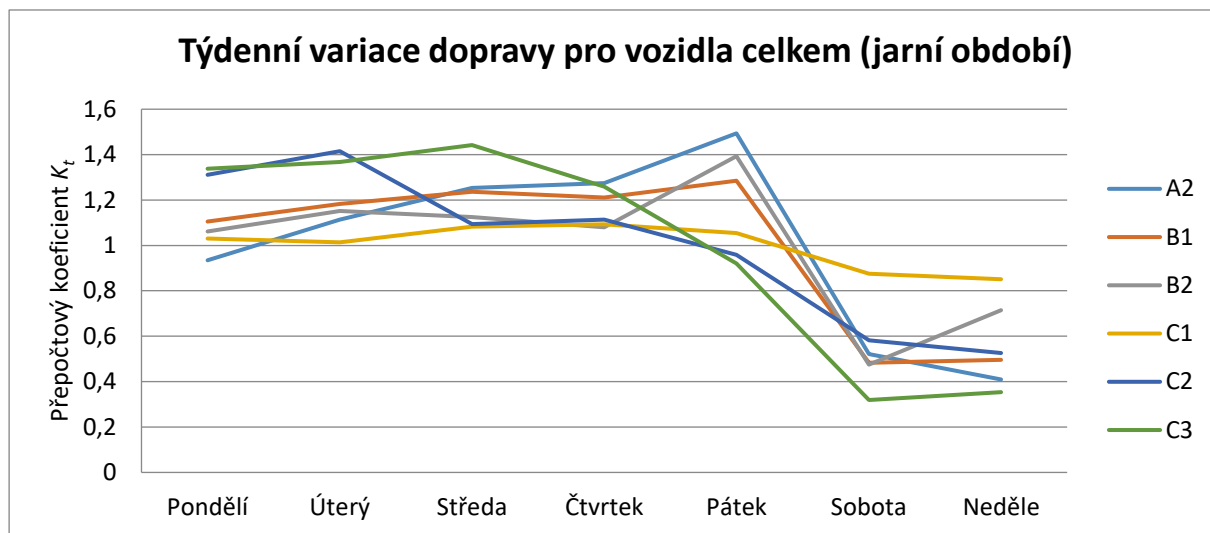
Obrázek 3 – Hodinové relativní četnosti vozidel rozlišené podle dní v týdnu - MK A2 (zdroj: Beneš a kol., 2016, vlastní zpracování)



Obrázek 4 – Hodinové relativní četnosti vozidel rozlišené podle dní v týdnu - MK C3 (zdroj: Beneš a kol., 2016, vlastní zpracování).

Podobně byly stanoveny koeficienty pro výpočet denní intenzity dopravy (z krátkodobého dopravního průzkumu v daném dni v týdnu) pro zbylé kategorie místních komunikací, zbylá tři období roku a jednotlivé kategorie vozidel – byly tedy vytvořeny rozsáhlé soubory koeficientů.

Následující graf (obrázek č. 5) vyjadřuje změnu celkové celodenní intenzity dopravy v průběhu týdne (týdenní variace dopravy – vyjádřeno v hodnotách přepočtových koeficientů k_t) pro jednotlivé funkční třídy městských komunikací.



Obrázek 5 – Přepočtové koeficienty k_t v jednotlivých dnech v týdnu rozlišené podle kategorií místních komunikací (Zdroj: Beneš a kol., 2016, vlastní zpracování).

Odhady hodnot výsledných intenzit dopravy

Odhad intenzity dopravy se provádí za pomoci výše uvedených přepočtových koeficientů a dat o intenzitě dopravy získaných z krátkodobého sčítání dopravy. Následující vztahy se používají pro potřeby výpočtu odhadu denní intenzity dopravy v den provedení průzkumu, odhadu týdenního průměru denních intenzit dopravy, a nakonec pro výpočet odhadu ročního průměru intenzit dopravy (RPDI).

Odhad denní intenzity dopravy se na základě intenzit dopravy z krátkodobého dopravního průzkumu stanoví dle vztahu (Beneš a kol., 2016):

$$I_d = \frac{I_p}{k_d}, \quad (12)$$

kde:

I_d – denní intenzita dopravy v den průzkumu (voz./24 hod.);

I_p – intenzita dopravy v době průzkumu (voz./doba průzkumu);

K_d – přepočtový koeficient intenzity dopravy v době průzkumu na denní intenzitu dopravy (-).

Týdenní průměr denních intenzit dopravy představuje průměr denních intenzit dopravy za příslušné dny v týdnu a jeho odhad se stanoví pro jednotlivé druhy vozidel a typy městských komunikací dle vztahu (Beneš a kol., 2016):

$$I_t = \frac{I_d}{k_t}, \quad (13)$$

kde:

I_t – týdenní průměr denních intenzit dopravy v ročním období, kdy se průzkum provedl (voz./24 hod.);

I_d – denní intenzita dopravy pro den, kdy probíhal průzkum (voz./24 hod.);

K_t – přepočtový koeficient denní intenzity dopravy v den průzkumu na týdenní průměr denních intenzit dopravy (-).

Roční průměr denních intenzit dopravy (RPDI) se stanoví pro jednotlivé druhy vozidel a typy městských komunikací dle vztahu (Beneš a kol., 2016):

$$RPDI = \frac{I_d}{k_{RPDI}}, \quad (14)$$

kde:

$RPDI$ – roční průměr denních intenzit dopravy (voz./24 hod.);

I_d – denní intenzita dopravy v den průzkumu (voz./24 hod.);

k_{RPDI} – přepočtový koeficient denní intenzity dopravy dne průzkumu na roční průměr intenzity dopravy (-).

Výsledný odhad hodnoty RPDI je proveden s uvážením určité odchylky, která vyjadřuje míru nejistoty v měření intenzity dopravy. V míře nejistoty jsou zohledněny faktory, které mohly mít vliv na výsledek odhadu. Míra nejistoty se snižuje se zvyšující se dobou realizace měření intenzit dopravy.

2.3. Způsoby získávání dat pro potřeby dopravního plánování

V předchozích kapitolách byly popsány základní přístupy při modelování dopravy v území. Proces vytváření dopravního modelu je rozsáhlý proces, který zahrnuje sběr a využití dat různého charakteru v téměř všech článcích procesního řetězce. Pro vytváření dopravního modelu je potřeba disponovat zejména těmito datovými podklady (Ondráčková a kol., 2017):

- **Údaje o produkci dopravy** (disponibilita oblasti) – K těmto účelům slouží zejména statistické databáze s údaji o počtu obyvatel v území v členění na požadované demografické skupiny, údaji o objemu výroby v případě nákladní dopravy, údaji o počtu registrovaných vozidel dle jednotlivých kategorií, údajích o ekonomické aktivitě obyvatel, popřípadě jinými socio-ekonomickými a socio-demografickými údaji. Zdrojem informací je v tomto případě např. databáze vytvořená na základě celostátního Sčítání lidu, domů, bytů (realizováno jednou za 10 let), popřípadě další data Českého statistického úřadu v ČR (ČSÚ) a jiné zdroje v podobě lokálních statistických databází na místních úřadech. Specifická data o populaci a jejich aktivitě lze získat i specializovanými metodami průzkumu. Dále je potřebná analýza dopravní infrastruktury v území a získání údajů o stavebně-technickém uspořádání pozemních komunikací, jejich kapacitě a dalších např. provozních údajů o infrastruktuře jednotlivých dopravních modů. Tato data lze získat od správců jednotlivých kategorií pozemních komunikací, např. ŘSD v případě dálnic a silnic I. tříd (ŘSD, 2018) nebo odborů dopravy a pro správu silničního hospodářství příslušející jednotlivým krajům nebo obcím. Dále je možné tato data získat z databank různých komerčních subjektů, které se věnují jak dopravně-plánovacím aplikacím, ale i správou digitálních map ve formátu kompatibilním s GIS. U modelování veřejné hromadné dopravy se využívají údaje o jednotlivých linkách, jízdních řádech nebo polohách zastávek VHD.
- **Údaje o poptávce po dopravě** (resp. přepravě), které vycházejí z již provedených dopravních (přepravních) průzkumů nebo se pro zjištění aktuálních dat z dopravy provedou nové. Jedním z cenných zdrojů informací jsou průzkumy mobility a průzkumy dopravního chování obyvatel

(na bázi deníku cest). Údaje z těchto průzkumů jsou např. v podobě hybnosti obyvatel (průměrný počet cest vykonaný 1 osobou za 24 hod.), průměrné délce cesty a průměrné cestovní době (se statistickými rozděleními dat), volbě a míře využití dopravního prostředku v čase, aj. Jiné druhy průzkumů jsou dopravní a přepravní průzkumy pro stanovení velikosti a směru dopravních proudů (jednak směr dopravních proudů v jednotlivých uzlech sítě, ale i vazba mezi jednotlivými oblastmi modelovaného území), respektive přepravních proudů. Tato data jsou v podobě počtu vozidel rozlišovaných podle kategorií vozidel, popřípadě počty cestujících nebo objem přepraveného nákladu v případě nákladní dopravy (přepravní průzkumy).

- **Údaje o spotřebě dopravy** (atraktivita daného území) - Rovněž je využito statistických dat, která lze nalézt v databázích různých institucí (Úřad práce, obecní úřady, statistický úřad ČR, apod.). Údaje se vztahují se např. k počtu pracovních příležitostí generující jednotlivé komerční a jiné instituce v území, počty žáků (studentů), počty návštěvníků zdravotnických zařízení, úřadů, obchodů, sportovních areálů apod. Dále lze získat údaje o využití území (jednotlivých funkčních ploch a oblastí) z územně-analytických podkladů ORP a krajů (ÚRP), územně-plánovací dokumentace (zásady územního rozvoje, územní plány obcí a územní studie, regulační plány obcí). Údaje o objektech cílů cest lze získat z databáze soukromých subjektů nebo z otevřené databáze o tzv. zájmových bodech POI (z anglického výrazu „Points of Interests“) kupříkladu z mapových serverů Google maps nebo Open Street Map (OpenStreetMap, 2018).
- **Údaje pro vytváření predikce** – Predikce je vytvářena na základě scénářů dopravního modelu (k relevantnímu časovému období). V případě scénáře založeného na současné poptávce po dopravě se nepředpokládá změna v čase, zatímco scénáře založené na budoucí poptávce po dopravě (přepravě) je potřeba podpořit sub-modelem (maticemi budoucích přepravních vztahů spolu s výší generalizovaných nákladů) na základě dat ovlivňující tento vývoj (Ondráčková a kol., 2017).

2.3.1. Aktivitně-cestovní průzkumy

Pro potřeby vytváření modelů, kde je možné simulovat dopravní procesy a stanovovat scénáře, a pro potřeby získání určitého statistického vzorku (stanovení vzorce dopravního chování) se realizují specifické průzkumy dopravního chování mezi obyvateli daného území. V dnešní době je pro dopravní plánování v územních celcích toto sledování dopravního chování obyvatel účinným a efektivním nástrojem. Modely založené na dopravním chování (modely s diskretní volbou) se zakládají zejména na klasifikaci uživatelů dopravního systému na jednotlivé skupiny s téměř homogenním chováním a důkladného poznání rozhodovacího procesu a jeho parametrů.

Počátek analytických prací uceleného vzorku dat o dopravním chování obyvatel lze datovat od 30. let 20. století, kdy Liepmann (1945) analyzoval údaje o cestování pracovníků v Anglii ve 30. letech 20. století. Mnoho současných aktuálních témat a pojmů bylo popsáno právě Liepmannem ve své práci – analýzou dat sledoval např. čas strávený cestováním do práce, sdílení jízd (ride-share) apod. Od 50. let 20. století se sledování dopravního chování obyvatel stává mezi vědeckou obcí stále aktuálnějším tématem, jak se rozrůstají možnosti v oblasti výběru dopravního modu, zrychlování dopravy, používání silničních dopravních prostředků apod. V 70. letech vznikla dokonce i mezinárodní asociace pro výzkum dopravního chování (International Association for Travel Behaviour Research). Data sbírána pro účely dopravního plánování ale sloužila i pro analýzy v jiných oborech, jako je ekonomika, regionální rozvoj, sociálně – demografické vědy aj. Torsten Hagerstrand (1970) vyvinul analýzu času a prostoru (Time space prism) a zásadně ovlivnil behaviorální geografii – struktura

regionu je utvářena pravidelností kroků jednotlivých aktérů v prostoru a čase. Další zásadní metodou pro analýzu výběru dopravního modu (Mode choice analysis) přispěli autoři Ben-Akiva a Lerman (1985) k lepšímu pochopení dopravního chování obyvatel. Jiná vědecká studie Kockelmana (1997) byla zase zaměřena na determinaci a kvantifikaci vlivu území na dopravní chování obyvatel. Ačkoliv se nejedná o zdaleka úplný seznam studií o cestovním (dopravním) chování, demonstruje rozmanitost disciplín, které využívají dat dopravního chování obyvatel.

Základním nástrojem pro sběr dat o dopravním chování obyvatel jsou zejména celostátní průzkumy (např. celostátní sčítání obyvatel), různé druhy dotazníkových šetření založených na dotazování se respondentů přímou ústní formou a zápisem do papírových formulářů, telefonickým dotazováním, poštovní formou, elektronickou formou (Biler a kol., 2014) nebo různé projekty používající tzv. „deník cest“ (popřípadě cestovní deník). Respondenti spolupracují na dobrovolnické bázi tak, že si zapisují pravidelně sledovaná data. Cílem deníku je získat od respondentů (dobrovolníků) data převážně o tom, co v daném časovém úseku používají za dopravní prostředek, jak často využívají svých cest (periodicita), jak dlouho jejich cesta trvá, kam a za jakým účelem jejich cesty směřují, jaké jsou náklady na jejich cestu, aj. V dnešní době se objevují nové trendy, které je vhodné sledovat pomocí těchto deníků, jako je sdílení vozidel se spolupracovníky nebo s rodinou (car sharing, ride sharing), využívání dopravních prostředků s alternativními druhy pohonu, či dokonce míru využívání autonomních vozidel.

S rozvojem komunikačních technologií v dnešní době se deníky (a sběr dat) dokáží automatizovat či dokonce technologicky rozvíjet. S pomocí aplikací v mobilních telefonech jsou respondenti dokonce sledováni při svých cestách (dobrovolně) pomocí GPS, kdy je tímto způsobem získán záznam jejich pohybu – tzv. „GPS“ deník. Uživatel následně vyplní další důležité informace o své cestě (Wolf, 2000). Ve specifických případech se při aktivně-cestovním průzkumu využívá GPS data logger pro potřeby zjištění trasy uživatele (dobrovolníka), popřípadě se využívá celá řada online systémů pro mobilní zařízení se systémy Android nebo iOS. Technologie v současnosti umožňují i automatické zjišťování použití dopravního prostředku na cestě při používání online systémů (aplikací). Nakolik nutnost zadávání celé řady údajů do cestovních deníků starších verzí do jisté míry snižovala atraktivnost této metody, tedy i kvalitu zadaných údajů, trend u těchto online systémů směřuje spíše k minimálním úkonům, nejlépe pouze na nutnost nainstalování aplikace a zadání základních demografických údajů uživatele.

Příkladem těchto online systémů pro sledování aktivně-cestovního chování uživatele dopravního systému je švédský open-source systém MEILI, který má ovšem nevýhodu v tom, že pro jeho použití je potřeba opětovně spuštění před každou nově započatou cestou (Rasouli a Timmermans, 2014).

V Německu již 25 let funguje tzv. „panel mobility“ při Technickém institutu v Karlsruhe, který má za cíl studovat dopravní chování obyvatel, změny dopravního chování obyvatel v čase a přicházet s návrhy pro udržitelný rozvoj dopravy a dopravní infrastruktury. Sběr dat je rovněž založen převážně na formě on-line deníku cest spolu s dalšími dotazníkovými průzkumy. Pravidelně jsou vydávány zprávy, kde jsou přehledným způsobem analyzována rozsáhlá statistická data (Deutsches Mobilitätspanel, 2019).

Na jaře roku 2019 proběhl první rozsáhlý celostátní průzkum dopravního chování obyvatel České republiky (Česko v pohybu, 2019). V České republice se průzkumy dopravního chování obyvatel realizují převážně podle certifikované metodiky „Metodika aktivně-cestovního průzkumu“ (Biler a kol., 2014), která je kompatibilní s rakouskou metodikou KOMOD. Metodika uvádí některé doporučené ukazatele, které je vhodné sledovat pro zjištění relevantního vzorku dat o dopravním chování obyvatel.

Pro vyhodnocování výsledků dopravních průzkumů a na nich založených aktivně-cestovních modelech se v posledních letech využívají zejména nástroje z oblasti umělé inteligence (neuronové sítě a rozhodovací stromy). Při modelování a predikování změn v dopravním chování je možné využít modelu založeném na multi-agentním chování. Pomocí tohoto přístupu se simulují interakce mezi jednotlivými uživateli dopravní sítě (agenty) a mezi nimi a systémem samotným (Čertický, 2015). Náročnou úlohou je validace takového komplexního systému.

Oproti průzkumům sledování dopravního chování obyvatel existují také „průzkumy vyjádřených preferencí“, založené na zjištění hypotetického chování respondenta, kdy respondent v rámci průzkumu uvádí, do jaké míry je ochotný využívat alternativu v dopravní infrastruktuře (vyjádření preferencí respondenta pro různé hypotetické situace v dopravě). Tyto průzkumy se užívají zejména pro potřeby zjištění zpětné vazby od respondentů v rámci zavádění nového dopravního prostředku, služby nebo dopravního opatření – např. zavedení služeb carsharingu nebo bikesharingu, budování zachytných parkovišť, zavádění nízkoemisních nebo zpoplatněných parkovacích zón (Ondráčková a kol., 2017).

2.3.2. Dopravně-inženýrské průzkumy

Zjišťování aktuálního stavu dopravního silničního provozu na pozemních komunikacích byla vždy nezbytná věc v rámci dopravního plánování, pro případy modelování slouží data pro kalibraci a validaci modelu. S propojením údajů o aktuálních charakteristikách dopravního proudu s aplikacemi inteligentních dopravních systémů (ITS) důležitost jejich získávání narůstá. Zejména v rámci současného trendu aplikace prvků a technologií prostřednictvím “Smart-city” projektů se data o silničním provozu na úsecích městských silnic mohou kombinovat s aplikacemi systému sledování provozu, sdílení dopravních prostředků, inteligentního řízení dopravy, aj. (Sladkowski a Pamula, 2015).

V současnosti se sběr dat o dopravních proudech na silniční síti používá stále k dalším dopravně-inženýrským analýzám, zejména potom pro modelování dopravních sítí a následnou simulaci dopravních či přepravních toků. Z tohoto důvodu můžeme rozlišovat průzkumy podle účelu využití dat (Ondráčková a kol., 2017):

- Sčítání dopravy – V případě IAD se jedná zejména o intenzity dopravy v profilu pozemní komunikace rozlišené podle sledovaných kategorií vozidel a změn v čase (variace v čase). Sčítání může probíhat v cyklistické nebo pěší dopravě. Metodika pro provádění těchto průzkumů na silnicích v ČR je obsažena v technických podmínkách č. 189 – Stanovení intenzit dopravy na pozemních komunikacích (TP 189, 2018), které zároveň uvádějí postup výpočtu směrodatné hodnoty RPDÍ (roční průměr intenzit dopravy) z dat o intenzitách dopravy získaných z krátkodobých průzkumů. V případě VHD se provádějí průzkumy obsazenosti ve vozidle a sčítání počtu nastupujících a vystupujících v jednotlivých zastávkách, popřípadě se využívají data z prodeje jízdenek.
- Směrové dopravní (přepravní) průzkumy – průzkumy probíhají dotazníkovým šetřením (v IAD i ve VHD), zápisem registračních značek na vstupech a výstupech do a ze sledovaného území nebo v případě křižovatkových průzkumů zápisem průjezdu vozidla do příslušného dopravního proudu. Při využití video-detekčních zařízení sledující RZ vozidla je možné sledovat pohyb vozidel na dopravní síti. V případě VHD se provádějí dotazníková šetření mezi cestujícími na zastávkách, ve vozidlech, prostřednictvím internetu, popřípadě se využijí data o cíli cest z prodeje jízdenek (pokud zařízení zaznamenává destinace).

- Sčítání statické dopravy – Průzkumy parkování a odstavování vozidel poskytují data v podobě využití stávajících kapacit parkování, délky parkování (obrátkovost), vyřízení parkovacích ploch v čase, apod.
- Průzkum kvality dopravy – převážně pro potřeby sledování dalších charakteristik dopravního proudu, jako je bodová (úseková) rychlost, či stanovení cestovního času se využívá metody plovoucího vozidla. Naměřená data z opakovaných měření se posléze statisticky vyhodnotí. Pro potřeby modelování dopravního proudu, ale i pro získání dat v reálném čase, se využívají technologie v podobě automatických detektorů (senzorů), popřípadě jiné technologie – např. GSM signál z mobilních telefonů (Holcner, 2012).

2.4. Plány udržitelné městské mobility (PUMM)

Udržitelný rozvoj ve městech je obvykle vztahován ke třem základním pilířům: životní prostředí, společnost a ekonomika. Tyto oblasti jsou navzájem provázané, přičemž doprava hraje významnou roli ve všech aspektech udržitelného rozvoje. Proto je z tohoto pohledu na úrovni výzkumných týmů i jednotlivců, vlád a mezinárodní kooperace v dnešní době prioritou nalézt takové řešení v oblasti udržitelnosti mobility ve městech nebo regionech, které by vedlo kromě jiného ke zlepšení životního prostředí, života obyvatel nebo efektivnímu využití dopravního systému a přírodních zdrojů. Tento přístup je však velmi náročný vzhledem ke komplexnosti a propojenosti jednotlivých systémů a subsystémů. Pokud bychom cílili pouze na opatření ke snížení dopadu z dopravy na životní prostředí, musíme dále uvažovat i s efekty v dalších oblastech udržitelného rozvoje – jak moc jsou tato opatření omezující pro obyvatele a zda se jedná o opatření ekonomicky efektivní.

Plán udržitelné městské mobility je možné definovat jako strategický dokument určený k uspokojování potřeb mobility osob a firem ve městech a jejich okolí za účelem zlepšování kvality života, který náležitě zohledňuje zásady **integrace, participace a evaluace** (Jordová a kol., 2015). Mnohdy se v souvislosti s plány udržitelné mobility měst můžete setkat se zkratkou „SUMP“, což je zkratka anglického výrazu Sustainable Urban Mobility Plan.

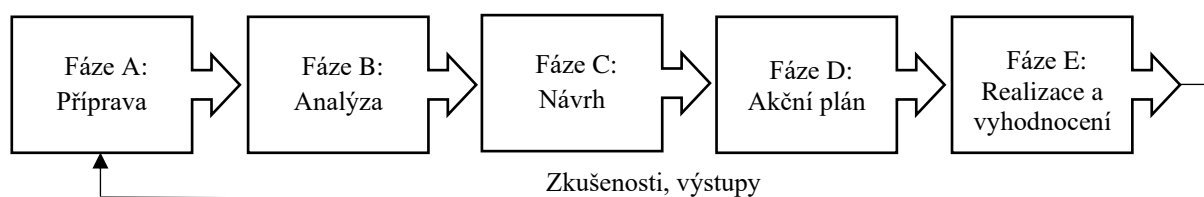
2.4.1. Přístup k tvorbě PUMM v České republice

Centrem dopravního výzkumu v Brně byla v roce 2015 vypracována metodika pro přípravu plánů udržitelné mobility měst v České republice (Jordová a kol., 2015), která integruje metody a postupy v oblasti dopravně-inženýrského plánování, územního plánování, postupy v komunikaci mezi zúčastněnými subjekty s cílem vytvořit plán udržitelné mobility města (PUMM) v souladu s udržitelným rozvojem.

Základní principy úspěšného plánování udržitelné mobility zahrnují zapojení veřejnosti a zúčastněných stran do procesu plánování a implementace PUMM, podpory institucionální spolupráce při řešení dopravních interakcí s dalšími aspekty městského života, výběr nejúčinnějších opatření městské mobility; monitorování a hodnocení opatření a procesu implementace PUMM. Proces monitorování a hodnocení nebyl prozatím dostatečně analyzován a v praxi se zřídka uplatňuje, což je výzvou pro města při úspěšné implementaci PUMM.

Metodika je obecným návodem pro tvorbu PUMM, upřesňuje jeho obsah, procesy jeho přípravy i realizace. Poskytuje i informace k souvisejícím procesům před zpracováním PUMM (přípravná fáze) a jeho naplňováním: monitorování a evaluace všech aktivit. Celá paleta prací na plánu mobility je rozdělena do pěti fází, které na sebe postupně navazují (Jordová a kol., 2015):

- A. **Příprava.** V počáteční fázi je třeba vypracovat plán přípravy PUMM, který nastaví organizační a koordinační kroky, ale i nástroje vhodné pro tvorbu dílčích částí PUMM a podporující proces tvorby PUMM zejména v dalších fázích. V této fázi je také vhodné nastavit participaci partnerů (koordinační výbor a odborné skupiny, zástupci veřejnosti atd.).
- B. **Analýza.** Tato fáze uvažuje se zjištěním referenčního stavu, protože se k němu budou vztahovat návrhy řešení: analýza současné situace, založená na multimodální analýze a výhledových trendech v plánování dopravního systému. V této části je provedena identifikace hlavních problémů a jejich příčin i potenciál pro řešení a metodika navrhuje v této souvislosti aplikaci SWOT analýzy.
- C. **Návrh.** V této fázi se formuluje strategická vize mobility, kde jsou identifikovány měřitelné strategické a specifické cíle PUMM. Následuje identifikace aktivit nutných k dosažení zvolených cílů, tj. návrh a výběr opatření k realizaci a určení aktivit v souvisejících sektorech, kde jsou zohledňovány dopady i v ostatních oblastech udržitelného rozvoje měst.
- D. **Akční plán.** Čtvrtá fáze zahrnuje formulaci akčního plánu s harmonogramem aktivit, náklady a možnými zdroji financování a přidělením odpovědných partnerů na jeden rok s výhledem na 5 let. Nezbytným krokem je příprava monitorovacího a evaluačního plánu PUMM.
- E. **Realizace a vyhodnocení.** Závěrečná fáze je zaměřena především na realizaci a její průběžný monitoring a evaluaci včetně vyhodnocování zkušeností s PUMM.



Obrázek 6 – Fáze přípravy a realizace PUMM (zdroj: Jordová a kol., 2015; vlastní zpracování)

PUMM přináší pro společnost jakousi přidanou hodnotu, kdy cílem plánování není uspokojit dopravní potřeby, ale přispět obecně ke kvalitě života ve městě. Zároveň je jednou z výhod těchto plánů to, že mohou nabídnout integrovaný mechanismus pro dlouhodobé sledování a kvantitativní vyhodnocování dopadů investic a dopravních opatření (Jordová a kol., 2015). Tím, že se do procesu tvorby PUMM již v samých počátcích zapojuje i veřejnost a jiní aktéři, se docílí dalších efektů: zejména větší spokojenost občanů s dopravním plánováním ve svém městě. Přitom metodika v oblasti komunikace s aktéry vyzdvihuje nutnost zavedení „měkkých nástrojů“ do procesu tvorby PUMM (Jordová a kol., 2015), které slouží pro přenos důležitých informací a rozhodování o dopravních plánech z řad veřejnosti a zapojených aktérů.

Celý proces tvorby PUMM pak nekončí tím, že bude dokument vyhotoven, ale nejdůležitější je jeho realizace a monitorování dosažení stanovených cílů, obvykle spojených se změnou dopravního chování obyvatel i organizací směrem k udržitelným druhům dopravy – veřejné dopravě, chůzi a cyklistice (Jordová a kol., 2015).

2.4.2. Indikátory pro sledování vývoje udržitelné mobility

Aby bylo možné sledovat pokrok v udržitelnosti dopravy, musí být stanoveny nejen vize, cíle a cílové skupiny stanovené pro města (Munier, 2005), ale je zapotřebí vytvořit i nástroj založený na hodnocení udržitelnosti poskytující zpětnou vazbu. K hodnocení se nejčastěji využívá indikátorů. Indikátory jsou

předem definované údaje (zpravidla kvantitativní), s jejichž pomocí se monitoruje pokrok v dosahování konkrétního cíle nebo cílové hodnoty (Jordová a kol., 2015).

V tomto směru vzniklo mnoho studií a výsledků z výzkumných projektů, které se zabývají návrhem procesu hodnocení udržitelné mobility převážně na základě různých metod hodnocení tzv. indikátorů udržitelné mobility. Tyto indikátory by měly napomáhat v rozhodovacích procesech při plánování dopravy ve městech směrem k udržitelnosti. S velmi kvalitní studií porovnávající různé indikátory udržitelné mobility z realizovaných evropských i jiných světových výzkumných projektů s vytvořením vlastní sady indikátorů přišla výzkumnice Toth-Szabo a kol. (2012). Autorský kolektiv si při realizaci svého výzkumu položil jednoduchou otázku: Je možné, aby město expandovalo v duchu udržitelného rozvoje, zatímco jeho dopravní systém nikoliv?

Indikátory udržitelné dopravy se převážně v zahraničí staly běžnými prvky plánování dopravy a rozhodování v oblasti strategií a dopravních politik (Gudmundsson a Sorensen, 2013). V rámci výzkumného projektu EU s označením „ASSESS“ vznikl návrh na indikátory pro vyhodnocení dopravní politiky Evropské unie pro období 2010-2020 (De Ceuster a kol., 2005). Tyto indikátory tvoří dobrý základ pro hodnocení udržitelné mobility ve městě, jejich velikou výhodou je, že jsou dobře měřitelné (data lze získat převážně ze statistických databází).

V rámci evropského projektu „SUMMA“ (Sustainable Mobility, policy Measures and Assessment) byl vytvořen soubor indikátorů pro tvůrce dopravních politik (Rand a kol., 2004). Tento přístup byl postaven na integrálním popisu systému oblasti politiky a přispěl k pochopení toho, jak může dopravní systém reagovat na změny politiky a změny vnějších faktorů.

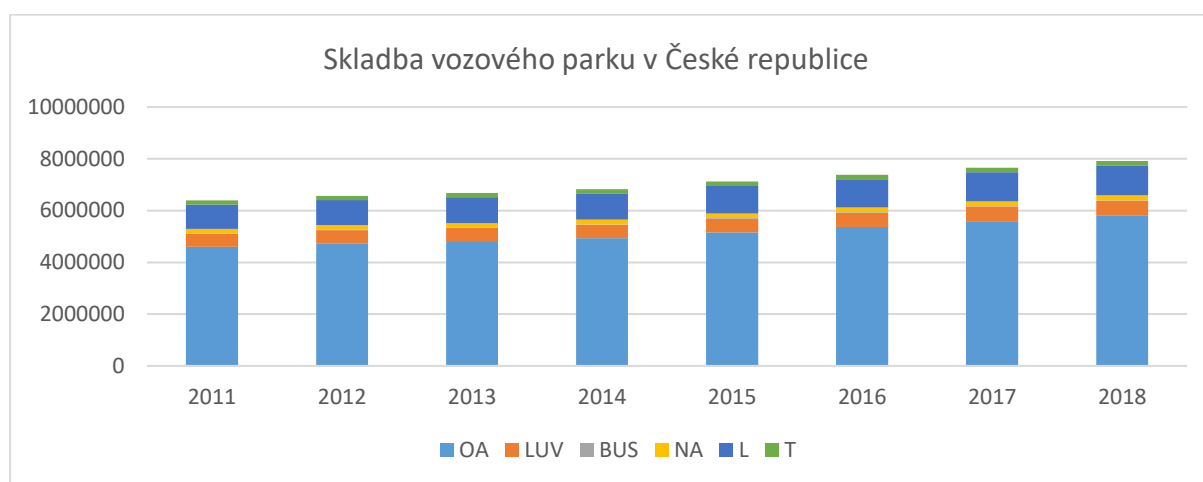
Dokument „Dopravní politika ČR pro období 2014-2020 s výhledem do roku 2050“ vydaný MDČR (Ministerstvo dopravy ČR, 2013) uvažuje s indikátory pro hodnocení cílů vytyčených v dokumentu, např. počet vybudovaných železničních tratí rychlého spojení, napojení všech krajů na síť dálnic apod. Ve vztahu k udržitelné mobilitě ve městech dokument předkládá dva indikátory pro hodnocení splnění cíle. Jedním indikátorem je počet vytvořených plánů udržitelné mobility měst (PUMM), druhým indikátorem je podíl přepravních výkonů ve VHD a přepravních výkonů v IAD ve městech nad 100 tis. obyvatel. Český autorský kolektiv Kubáňková a kol. (2015) vybrané indikátory pro vyhodnocování cílů dopravní politiky České republiky úspěšně komparoval s indikátory získanými v rámci projektu „ASSESS“. Tyto obecné indikátory ale bez dalšího rozšíření nejsou vhodné (z velké části) pro použití vyhodnocování městské politiky v oblasti udržitelné městské mobility.

2.4.3. Analýza vybraných statistických údajů o dopravě v ČR pro možné zahrnutí do souboru indikátorů udržitelné mobility

Vývoj počtu registrovaných vozidel a úrovně automobilizace - Počet registrovaných vozidel v jednotlivých krajích České republiky vytváří do velké míry výsledné intenzity dopravy na silnicích v daném území (i mimo něj). Trend vývoje růstu intenzit dopravy na silnicích je tedy přímo spojený s počtem registrovaných vozidel a s růstem úrovně automobilizace (počet vozidel/1000 obyvatel). Ovšem v případě počtu registrovaných vozidel je potřeba brát v úvahu fakt, že se jedná o počítání s vozidly registrovanými – ne všechna vozidla registrovaná jsou trvale provozována. I když po roce 2006 byl proveden do velké míry výmaz vozidel z registru řidičů, kteří svá vozidla již neprovozovali, stále se může jednat o jednotky procent. Dalším významným faktorem je vliv vozidel registrovaných v zahraničí, které rovněž tvoří podstatnou část intenzit dopravy na silnicích. Do velké míry se jedná hlavně o mezinárodní nákladní dopravu. Uvážíme-li i faktor významné tranzitní trasy, některé silnice většího významu pro mezinárodní dopravu budou mít poměr mezinárodní dopravy vůči vnitrostátní

dopravě signifikantní povahu. Nepřesnosti těchto dat a jejich použití napomáhá i to, že v současné době se mezikrajské převody ojetých vozidel registrace nemění. Proto je potřeba následující údaje brát pouze jako informativní. Data, co do objemu, mají stále velmi dobrou vypovídací hodnotu, a lze očekávat, pokud budou vyjádřena v relativních číslech, že valná část nepřesností bude tímto snížena na minimum.

K 31. 12. 2018 bylo v České republice celkově registrováno na 7 915 701 vozidel, z toho bylo 5 747 913 osobních automobilů. Následující graf znázorňuje vývoj počtu registrovaných vozidel dle kategorií za období let 2011-2018, ze kterého je patrný trend růstu. Jednalo se o nárůst počtu vozidel ve všech sledovaných kategoriích vozidel: Osobní automobily (OA), lehká užitková vozidla do 3,5t užitné hmotnosti (LUV), autobusy (BUS), nákladní vozidla (NA), motocykly a čtyřkolky (L) a traktory a speciální vozidla (T). Přičemž nejvyšší nárůst v absolutním i relativním pojetí v porovnání s rokem 2011 byl v kategorii osobních automobilů (relativní změna 26,2%). Významné nárůsty jsou i v kategorii L (o 21,4%) a kategorii LUV (o 16%).



Obrázek 7 - graf vývoje počtu registrovaných vozidel v ČR (zdroj: Svaz dovozců automobilů, vlastní zpracování)

Data o počtech registrovaných vozidel byla získána z databáze Českého statistického úřadu a Centrálního registru vozidel spravovaného Ministerstvem dopravy ČR prostřednictvím jednotlivých ORP. Tímto způsobem je možné získat i absolutní počty registrovaných motorových silničních vozidel v jednotlivých krajích ČR. Porovnáním filtrovaného dopravního parku s absolutními počty vozidel v roce 2011 a 2018 v jednotlivých krajích v ČR a jejich relativním vyjádřením můžeme stanovit vývojové trendy v daném období. Ačkoliv je na první pohled z dostupných dat patrný výrazný nárůst počtu vozidel (v případě Hlavního města Prahy se jedná o nejvyšší relativní změnu 33,6 %), tak v relativním vyjádření počtu jednotlivých kategorií nedochází k výrazným změnám v průběhu času. Výjimkou je opět hlavní město Praha, kde v případě osobních vozidel došlo ke změně v podobě nárůstu poměru osobních vozidel o 2,5 procentních bodů a v případě nákladních vozidel k poklesu o 2,3 procentních bodů.

V ostatních krajích se poměr jednotlivých kategorií vozidel v relativním vyjádření příliš neměnil - změny se pohybovaly v pozitivním či negativním směru řádově v desetinách procenta. Největší změna v kategorii osobních vozidel v pozitivním směru je v případě Karlovarského kraje (poměr vzrostl o 0,9 %), následovaný Jihomoravským krajem, kde poměr vzrostl o 0,7 %. Změny v opačném směru nastaly v případě osobních vozidel v Královéhradeckém, Olomouckém, Moravskoslezském kraji a v kraji Vysočina – v těchto případech nastal pokles v poměru osobních vozidel shodně o 0,3 %.

Obdobné změny v řádech desetin procenta nastaly i v případě podílu nákladních vozidel. V případě poměru nákladních vozidel v jednotlivých krajích ČR (vyjma Hlavního města Prahy) největšího nárůstu dosáhl kraj Pardubický (o 0,5%), naopak největší pokles tohoto poměru nastal v případě Jihomoravského kraje (o 0,6 %). Podíly registrovaných autobusů na celkových počtech vozidel, dá se říci, dlouhodobě stagnuje.

Co se úrovně automobilizace týče, nejvyšší hodnotu mělo v roce 2018 Hlavní město Praha, a to 703 vozidel/1000 obyvatel. Celostátní průměr dosahoval hodnoty 540 vozidel/1000 obyvatel, přičemž hodnota v krajích vyjma Hlavního města Prahy se pohybovala na úrovni okolo 500 vozidel a průměr z těchto krajů byl 521 vozidel/1000 obyvatel.

Úroveň automobilizace v jednotlivých krajích roste v návaznosti na vývoj motorizace v absolutních číslech v průběhu let, je však potřeba pohlédnout na danou věc i v relativním pojetí. V rámci analýz úrovně automobilizace byly počty registrovaných osobních automobilů v kraji vztaženy na počet obyvatel daného kraje a následně vyjádřeny v relativní úrovni vůči celostátnímu stupni automobilizace (ČR = 100%). Výsledky výpočtu jsou uvedeny v tabulce č. 2, která dokládá jejich vývoj mezi lety 2011-2018.

Tabulka 2 - Relativní změna stupně automobilizace oproti celostátnímu průměru=100% (Zdroj: ČSÚ, vlastní výpočty).

	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
PHA	123,8	124,8	125,5	125,2	128,1	129,3	130,5	130,3
JČK	107,2	107,4	107,4	107,3	106,5	106,1	105,6	105,3
JHM	93,7	93,4	93,4	93,7	93,1	93,0	92,9	92,8
KVK	95,1	95,5	96,0	97,0	98,0	98,3	98,9	99,1
HKK	102,2	101,6	101,4	101,2	101,0	101,2	100,9	100,9
LBK	97,8	97,5	97,1	97,1	96,7	96,5	96,1	96,0
MSK	85,7	85,3	85,4	85,2	84,7	84,4	84,4	84,7
OLK	87,0	86,8	87,0	87,1	87,1	87,2	87,2	87,3
PAK	98,0	97,6	97,5	97,8	97,8	97,5	97,2	97,2
PLK	109,7	109,9	109,8	109,9	109,1	108,9	109,1	109,1
STČ	106,0	105,8	105,2	104,4	103,8	103,3	102,5	101,9
ULK	95,4	94,5	94,4	94,1	94,0	93,9	93,7	94,2
VYS	97,7	98,4	98,4	99,0	98,2	98,1	97,9	97,8
ZLK	88,8	89,1	89,2	89,5	88,6	88,3	88,1	88,2

Tempo růstu úrovně automobilizace se v posledních letech zvyšuje v případě Hlavního města Prahy (o 6,5% oproti roku 2011) a Karlovarském kraji (o 4%). Ostatní kraje vykazují sestupnou tendenci, přičemž nejvýraznější zpomalení tempa růstu je v případě Středočeského kraje (o 4,1%). Dále se ve většině krajů prohlubuje zpomalení tempa růstu v případech, kde je relativní úroveň automobilizace nižší jak celostátní průměrná hodnota. V některých případech dochází ke stagnaci s mírnými výkyvy v průběhu sledovaného období (Olomoucký kraj a kraj Vysočina).

Úroveň automobilizace je důležitý směrodatný údaj, který je využíván pro různé aplikace v rámci dopravního inženýrství (zejména projektování PK – návrh počtu parkovacích stání nebo predikce vývoje intenzit dopravy dle TP 225).

Silniční síť

Pohlédneme-li na celkové počty vybudovaných kilometrů silnic, nemá takováto informace přílišnou vypovídací hodnotu. Proto je vhodné vztáhnout délku silniční sítě k určité jednotce (například eliminovat vliv velikosti krajů), popřípadě opět použít relativní vyjádření. Na tomto základě je možné

provádět alespoň základní komparaci, například při porovnávání jednotlivých krajů a tamějším stavu silniční sítě.

Autor tímto porovnáváním krajů hledá rozdíly v základních dopravních statistikách, aby bylo možné určit, do jaké míry se aplikace různých dopravních modelů založených na těchto údajích liší region od regionu. Samozřejmě mnohem zajímavější by bylo porovnání jednotlivých obcí, avšak k tomuto autor nemá dostatek údajů.

V následujících řádcích bude autor srovnávat pouze 13 krajů České republiky kromě Hlavního města Prahy, a to z důvodů faktu, že se jedná v případě Hlavního města Prahy o specifické území - značnou část silniční sítě na tomto území tvoří místní komunikace a poměry vůči ostatním krajům by byly značně zkreslené. Autor se rozhodl v těchto výpočtech tedy nezohledňovat území obcí (tedy místní komunikace), byly brány v potaz pozemní komunikaci regionálního a nadregionálního významu. Dle Zákona č. 13/1997, Sb. o pozemních komunikacích (silniční z.), a jeho změnou dotýkající se zejména kategorizace pozemních komunikací s účinností od 1. 1. 2016 bylo uvažováno při výpočtech s následujícími kategoriemi:

- Dálnice – sloužící převážně k rychlému přemístění, pro vnitrostátní a mezinárodní dopravu. Od 1. 1. 2016 se rozlišuje na dálnice I. třídy a dálnice II. třídy - do kategorie s tímto označením byla v roce 2016 přeřazena většina tzv. „rychlostních silnic“, které byly původně vedeny v kategorii silnic I. třídy. Tímto krokem ze strany MD ČR a postupnou výstavbou je celková délka dálnic v České republice 1 276 km (ke dni 1. 1. 2020 - ČSÚ).
- Silnice I. třídy – kategorie pozemních komunikací, které slouží rovněž zejména pro dálkovou meziregionální a mezistátní dopravu. Je potřeba rozlišovat v rámci této kategorie i silnice (či úseky), které tvoří zároveň i síť evropských mezinárodních silnic, a které mohou přitahovat mezinárodní dopravu více než ostatní silnice této kategorie.
- Silnice II. třídy – Silnice určené pro dopravu mezi okresy, mají spíše regionální význam. V oblastech vyššího turistického ruchu v rámci regionu je však nutné uvažovat s vlivem rekreační dopravy.
- Silnice III. Třídy – Silnice opět určené pro regionální dopravu, propojují jednotlivá sídla v regionu. Opět v obdobích rekreací je potřeba v místech vyššího turistického ruchu uvažovat se zvýšením intenzit dopravy.

Dálnice a silnice I. třídy jsou majetkem ČR a jsou spravovány prostřednictvím Ředitelství silnic a dálnic (ŘSD). Silnice II. a III. třídy jsou majetkem jednotlivých krajů a správa je v kompetenci tamějších odborů, úřadů a Správy a údržby silnic (SÚS). „Silniční zákon“ dále definuje dvě kategorie pozemních komunikací – kategorii místních komunikací a kategorii účelových komunikací. Jak je uvedeno výše, autor statistiky nezohledňuje ve svých výpočtech.

V rámci komparace silniční sítě jednotlivých krajů autor zvolil dva relativní indikátory, které jsou uvedeny v tabulkách č. 3 a 4 na následující straně:

- Relativní délka silnic vztahovaná na jednoho obyvatele kraje.
- Hustota silnic a dálnic, kde se délka silnic vztahuje na jednotku rozlohy (km²).

Tabulka 3 - Hustota silnic a dálnic v jednotkách m/km² (Zdroj: ČSÚ, vlastní výpočty).

	JHČ	JHM	KVK	HKK	LBK	MSK	OLK	PAK	PLK	STČ	ULK	VYS	ZLK
Dálnice	7,4	22,3	11,3	4,4	1,5	18,5	26,5	3,0	14,3	32,1	17,8	13,6	8,4
Silnice I. třídy	64,4	59,5	55,4	92,2	110,1	116,1	66,6	101,5	54,3	60,7	91,7	63,0	84,2
Silnice II. třídy	161,7	204,2	142,9	187,9	152,7	156,0	177,7	201,9	195,4	218,2	168,0	239,3	129,0
Silnice III. třídy	378,5	332,6	412,1	501,8	499,9	350,2	412,0	488,1	406,3	570,4	514,6	430,2	317,6
Celkově	612,0	618,6	621,7	786,3	764,1	640,8	682,8	794,5	670,2	881,5	792,1	746,1	539,1

Tabulka 4 - Relativní délka silnic a dálnic v jednotkách m/obyv. (Zdroj: ČSÚ, vlastní výpočty).

	JHČ	JHM	KVK	HKK	LBK	MSK	OLK	PAK	PLK	STČ	ULK	VYS	ZLK
Dálnice	0,12	0,13	0,13	0,04	0,01	0,08	0,22	0,03	0,19	0,25	0,12	0,18	0,06
Silnice I. třídy	1,01	0,36	0,62	0,80	0,79	0,53	0,56	0,88	0,70	0,48	0,60	0,84	0,57
Silnice II. třídy	2,53	1,23	1,61	1,62	1,09	0,71	1,48	1,75	2,53	1,72	1,09	3,19	0,88
Silnice III. třídy	5,91	2,01	4,63	4,33	3,56	1,58	3,44	4,22	5,27	4,50	3,35	5,73	2,16
Celkově	9,56	3,73	6,98	6,78	5,45	2,90	5,70	6,87	8,69	6,95	5,15	9,95	3,67

Relativní délka silnic a dálnic je poměr hustoty silnic a dálnic v kraji [m/km²] a hustoty osídlení [obyv./km²]. Tento indikátor lze považovat za faktor charakterizující vybavenost regionu pozemními komunikacemi pro motorovou dopravu. Obecně se dá říci, že čím vyšší hodnota indikátoru, tím více podporuje atraktivitu zejména individuální motorové dopravy, ale i nákladní dopravy.

Mezi kraje s nejvyšší hodnotou relativní délky silnic a dálnic patří kraj Vysočina, Jihočeský kraj a Plzeňský kraj. Na druhou stranu v těchto krajích nepanují příliš dobré morfologické podmínky terénu a například Jihočeský kraj je jedním z krajů, ve kterých je průměrná vzdálenost mezi jednotlivými sídly největší (Index blízkosti obcí - ČSÚ). Pokud bychom brali v potaz index hustoty obcí, což je faktor značně ovlivňující síť pozemních komunikací, tak naopak kraj Vysočina patří k nejhustěji osídleným krajům (co do počtu obcí) a Jihočeský kraj je na žebříčku krajů pod celostátním průměrem.

Dalším vhodným indikátorem by mohl být některý z indikátorů charakterizujících vytížení silnic, např. střední hodnota registrovaných vozidel ve sledovaném kraji nacházející se na tamější silniční síti. To ovšem není zcela směrodatný údaj, bereme-li v potaz fakt, že intenzity dopravy na silnicích nejsou tvořeny pouze vozidly registrovanými v daném kraji (jak je uvedeno v části o úrovni automobilizace).

3. Formulace výzkumného problému a metodika práce

Cílem disertační práce je nalézt faktory, které významně ovlivňují objemy dopravy na silniční síti, zejména ve vztahu k udržitelnému rozvoji měst, a navrhnout proceduru pro identifikaci významnosti těchto faktorů pro potřeby dopravního plánování s akcentem na zvyšování míry mobility směrem k udržitelnému rozvoji.

Udržitelný rozvoj ve městech je obvykle vztahován ke třem základním pilířům: životní prostředí, společnost a ekonomika. Tyto oblasti jsou navzájem provázané, přičemž doprava hraje významnou roli ve všech aspektech udržitelného rozvoje. Proto je z tohoto pohledu na úrovni výzkumných týmů i jednotlivců, vlád a mezinárodní kooperace v dnešní době prioritou nalézt takové řešení v oblasti udržitelné mobility ve městech nebo regionech, které by vedlo kromě jiného ke zlepšení životního prostředí, života obyvatel nebo efektivního využití dopravního systému a přírodních zdrojů. Tento přístup je však velmi náročný vzhledem ke komplexnosti a propojenosti jednotlivých systémů a subsystémů. Pokud bychom cílili pouze na opatření ke snížení dopadu z dopravy na životní prostředí, musíme dále uvažovat i s efekty v dalších oblastech udržitelného rozvoje – jak moc jsou tato opatření omezující pro obyvatele a zda se jedná o opatření ekonomicky efektivní. Autor se v této disertační práci zabývá udržitelnou mobilitou ve smyslu snižování podílu individuální automobilové dopravy na celkové dělbě přepravní práce na území měst v České republice.

K dosažení cíle práce je nezbytné pochopit problematiku dopravního systému v širším kontextu a přiblížit čtenářům dosavadní vědecké přístupy v této oblasti. Pro identifikaci významných faktorů, které ovlivňují dopravní objemy a zároveň mají výrazný vliv na udržitelný rozvoj města, je potřeba zvolit vhodné nástroje a metody, jakož i zvolit vhodnou metodiku pro vyhodnocení, do jaké míry jsou nalezené faktory ovlivňující objemy dopravy pro udržitelný rozvoj měst signifikantní.

Pro dosažení cíle disertační práce jsou využity různé metody a realizovány různé úkony, které lze stručně shrnout následovně:

- Popis nástrojů pro modelování dopravy a nástrojů pro výpočet odhadů intenzit dopravy;
- Rozbor vazeb mezi prvky dílčích dopravních systémů s využitím nástrojů systémové dynamiky;
- Provedení dopravních průzkumů na vybraných silničních komunikacích a analýza dat;
- Provedení průzkumu dopravního chování obyvatel;
- Návrh nástroje pro identifikaci významnosti faktorů ovlivňujících objemy dopravy na území měst ve vztahu k udržitelnému rozvoji.

Metodika práce

Úvodní část se vztahuje k úvodu do problematiky dopravního plánování ve smyslu uvážení všech vlivů na velikost dopravy v území. Deskriptivní metodou jsou zde popsány přístupy k modelování dopravních vztahů v území, přístupy k modelování dopravní poptávky, metody sběru dat pro potřeby dopravního plánování a nástroje pro výpočet odhadu intenzit dopravy na silničních komunikacích.

Pro rozbor **vazeb mezi prvky dílčích dopravních systémů** je využito metody řešerše odborné literatury, která obsahuje argumentaci postavenou na logických pravidlech a detailním porozumění

současného stavu poznání v oblastech souvisejících s dopravním plánováním a s vlivy na dopravní poptávku v území. Autor zvolil systematickou rešerši pro identifikaci, ohodnocení a syntézu výsledků vytvořených tuzemskými a zahraničními výzkumníky, akademiky a praktiky v dané oblasti (Machi a McEvoy, 2012).

Výsledky odborné literární rešerše jsou dále využity pro grafické znázornění komplexity dopravního systému a vztahů mezi jednotlivými navzájem se ovlivňujícími prvky dílčích systémů a systémů přímo spojených s dopravním sektorem. Ke grafickému znázornění těchto kauzálních vztahů je využito jednoho z nástrojů systémové dynamiky, konkrétně se jedná o diagramy kauzálních smyček. Autor dále na dalším z nástrojů systémové dynamiky (diagram toků a stavů) demonstruje aplikaci vytvořeného modelu pro stanovení poměru nabídky a poptávky po přepravě ve dvou dominantních druzích dopravy na konkrétním území.

Metody rešerše odborné literatury je dále využito k sestavení souboru indikátorů udržitelné mobility, které jsou autorem modifikovány pro potřeby disertační práce tak, aby zohledňovaly nalezené faktory ovlivňující objemy dopravy na silniční síti. Soubor indikátorů udržitelné mobility je dále využit pro **identifikaci významnosti jednotlivých indikátorů udržitelné mobility** ve vztahu k jednotlivým strategiím udržitelného rozvoje měst.

Pro nalezení hierarchie významnosti indikátorů je v práci využito metod multikriteriální rozhodovací analýzy, konkrétně metody kvantitativního párového srovnání vah přiřazených indikátorům udržitelné mobility (Saatyho metoda) a metody párového srovnání rozhodovacích faktorů (metoda Fullerova trojúhelníku). Tyto metody vzešly z provedené analýzy dostupných metod multikriteriální rozhodovací analýzy jako nejvhodnější pro cíl disertační práce. K účelům aplikace Saatyho metody a metody Fullerova trojúhelníku byly získány preference posuzovaných indikátorů od jednotlivých hodnotitelů pomocí jednoduchého dotazníkového šetření, v rámci něhož každý z hodnotitelů poskytl kardinální (respektive ordinální) informaci o svých preferencích.

Výsledné významné indikátory udržitelné mobility ve vztahu k faktorům ovlivňující intenzity dopravy na silniční síti jsou dále pomocí metody lineární agregace zahrnuty do navrženého indexu udržitelné mobility. Index udržitelné mobility je dále praktickou aplikací stanoven na vybrané oblastmi města České Budějovice, přičemž pro grafické znázornění indexu udržitelné mobility byly využity nástroje používané v rámci GIS.

Dále bylo v práci provedeno vlastní měření intenzit dopravy na vybraných silnicích v okolí města České Budějovice s využitím mobilních automatických detektorů. Data z tohoto dopravního průzkumu byla vyhodnocena statistickými nástroji a výsledné hodnoty intenzit dopravy zjištěné během dopravního průzkumu byly komparovány s relativními hodnotami uvedenými v metodice TP 189 (Stanovení intenzit dopravy na pozemních komunikacích).

Pro potřeby zjištění **dopravního chování obyvatel** je využito metody sběru dat v podobě ankety. Výsledné odpovědi od respondentů jsou dále statisticky vyhodnoceny, kde je zejména využito testu hypotézy o symetrii – McNemarova testu. Tímto testem je vyšetřeno, zda se shodují názory dotazovaných na otázky s odpověďmi ohledně volby druhu dopravního prostředku ve dvou různých obdobích (Anděl, 2011). Na vybraná data z průzkumu změny dopravního chování obyvatel byl aplikován model LOGIT pro stanovení výše ocenění VHD při takových neočekávaných situacích, jakým je nouzový stav související se snížením dopadů pandemického onemocnění.

Jednotlivé užití metody a nástroje jsou podrobněji uvedeny v příslušných kapitolách.

4. Komplexita dopravního systému a identifikace vlivů na dopravu

V předchozích kapitolách byly podrobněji popsány nástroje pro modelování dopravy v území a celkový přístup k dopravnímu plánování založený na dosavadním empirickém poznání všech vlivů na jednotlivé prvky dopravního systému. Přičemž velká část prvků systému mezi sebou interaguje. Tradiční vědecké a technické metody modelování dopravy se zabývají ucelenými částmi systému (subsystémy), popřípadě se snaží přistupovat k modelování dopravy s uvážením dalších proměnných, avšak i toto má své limity a nelze komplexně dopravní systém popsat se všemi možnými interakcemi všech prvků v systému. Autor rovněž přistupuje k tomuto úkolu tak, že různé subsystémy dopravy a vzájemné interakce jednotlivých prvků lze vyjádřit pomocí nástrojů systémové dynamiky – konkrétně diagramy kauzálních smyček, kde každý prvek v systému ovlivňuje jiný v pozitivním či negativním smyslu.

V další části této kapitoly je na základě rešerše dosavadních vědeckých poznatků vytvořen soubor indikátorů udržitelné mobility sloužící pro monitorování změn dopravního systému směrem k udržitelné mobilitě v čase a navržena identifikace významných indikátorů, které se vztahují k objemům dopravy na silniční síti ve městech.

4.1. Využití systémové dynamiky v oblasti dopravního plánování a modelování

Počátek oboru systémové dynamiky je spojován s J. Forresterem z amerického MIT, který jej představil v 50. letech 20. stol. (Forrester, 1958). Využívá standardních příčinných (kauzálních) smyček se zpětnou vazbou k vytvoření kvalitativních modelů systému, které představují hypotézu dynamiky systému. Tyto kvalitativní modely se dále ověřují při kvantitativním modelování pomocí modelu (diagramu) toků a stavů.

Prvotní využití systémové dynamiky bylo v oblasti managementu podniků, postupně se využití rozšířilo i na jiné oblasti, jako rozhodovací procesy v rámci politiky na úrovních státu, regionu nebo města, ve zdravotnictví, automobilovém průmyslu nebo urbanistickém plánování (Serman, 2000).

Pfaffenbichler a kol. (2010) představil koncept modelu MARS LUTI, který slouží ke kvantifikaci dynamiky systémů v oblasti využití území a v oblasti dopravní sítě. Model se využívá pro zpětnou vazbu při výstavbě stavebních projektů v území a při hodnocení dopadu změn v rámci územních změn. V současné době je využíván v desítkách měst po celém světě, jelikož je díky němu možné vyhodnotit kombinace politik využití území a dopravního plánování, a vyhodnotit dopady z rozhodnutí až na 30 let dopředu. Haghani a kol. (2003) vytvořil regionální model založený na analýze kauzálních vztahů a smyčkách se zpětnou vazbou propojující velký počet fyzikálních, socio-ekonomických a politicko-rozhodovacích proměnných. Wang a kol. (2008) vyvinul sofistikovaný model interakcí mezi počtem obyvatel, počtem registrovaných vozidel, životním prostředím, ukazateli hrubého národního produktu, poptávkou po přepravě a nabídkou dopravní infrastruktury. Celý model poté aplikoval na region Dalian v Čínské lidové republice v rámci případové studie.



4.1.1. Diagramy kauzálních smyček

Diagramy kauzálních smyček se používají zejména jako nástroj pro grafickou vizualizaci vzájemných vazeb ve struktuře systému a napomáhají ke zkvalitnění analýzy daného systému. Zejména se používají v oblasti hodnocení systémových procesů ekonomických společností, dají se však využít pro každou oblast systémového pojetí.

Výhodou vizualizace kauzálních smyček je lepší pochopení komplexního systému, kdy badatel dokáže vztahy v systému kvantifikovat a své hypotézy stanovené v kauzálních diagramech ověřit na modelech, na kterých je patrná dynamika systému.

Diagram kauzálních smyček sestává z množiny proměnných (uzlů) a množiny vztahů (v diagramu v podobě šipek) znázorňující kauzální vztahy mezi jednotlivými proměnnými. Proměnná u začátku vztahu je kauzální příčinnou změny proměnné na konci vztahu. Ovlivnění proměnných je buďto pozitivní nebo negativní. Pozitivní závislost je v diagramu znázorněna znaménkem „+“ u kauzálního vztahu a vyjadřuje příčinný vztah, kdy vzrůst (resp. pokles) první proměnné vyvolá vzrůst (resp. pokles) druhé proměnné. Negativní závislost je v diagramu znázorněna znaménkem „-“ a vyjadřuje vztah, kdy vzrůst (resp. pokles) první proměnné vyvolá pokles (resp. vzrůst) druhé proměnné. Každá závislost dvou proměnných je hypotézou o závislosti dvou proměnných, a jako taková by měla být objektivně ověřitelná (Sterman, 2000).

Tabulka 5 – polarita kauzálních vztahů a grafické znázornění v diagramech (Sterman, 2000).

Kauzální vztah	Grafické znázornění	Matematické vyjádření
Pozitivní (+)		$\frac{\partial Y}{\partial X} > 0$ V případě nahromadění, $Y = \int_{t_0}^t (X + \dots) ds + Y_{t_0}$
Negativní (-)		$\frac{\partial Y}{\partial X} < 0$ V případě nahromadění, $Y = \int_{t_0}^t (-X + \dots) ds + Y_{t_0}$

Polarita vztahů popisuje strukturu systému – popisuje, co může nastat, pokud by došlo ke změně. Nepopisuje chování jednotlivých proměnných, tedy co změnou ve skutečnosti nastane.

Kauzální smyčka je řetězcem kauzálních vztahů, kde jedna proměnná ovlivňuje jednu nebo více dalších proměnných a tyto zpětně ovlivní hodnotu původní proměnné. Hovoříme tedy o smyčkách se zpětnou vazbou a cyklus této smyčky bývá uzavřený. Pokud cyklus není uzavřený, hovoříme o smyčce otevřené. Polarita u smyček se určuje podobně jako u jednotlivých kauzálních vztahů a smyčky lze rozlišovat podle polarity a značit následovně:

- Posilující smyčky (Reinforcing Loops) – značí se písmenem R nebo znaménkem „+“
- Rovnovážné smyčky (Balancing Loops) – značí se písmenem B nebo znaménkem „-“

Pokud je součet negativních vztahů v uzavřené smyčce 0 nebo sudý, je smyčka posilující, a růst hodnot proměnných dané smyčky je exponenciálního charakteru. Pokud je součet negativních vztahů ve smyčce lichý, jedná se o smyčku rovnovážnou, a hodnoty proměnných dosahují rovnováhy. Je-li proměnná zároveň součástí pozitivní i negativní smyčky, může nastat situace, kdy je původní exponenciální růst hodnot proměnných ve smyčce následován hledáním rovnováhy.

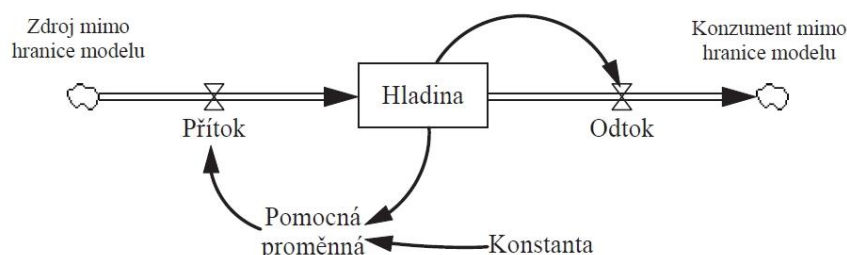
Dalším typickým vzorem chování kauzální smyčky je oscilace (v diagramech značeno dvojitým přeškrtnutím). Jedná se o chování proměnné (zejména v rovnovážných smyčkách) se zpožděním vývoje hodnot. Často se používá u některé proměnné v negativních smyčkách. V tomto případě nelze nikdy dosáhnout rovnovážné hodnoty.

Při tvorbě diagramů kauzálních smyček je vhodné dodržovat 4 základní kroky - definice řešeného problému, identifikace klíčových proměnných, získání a analýza dat a informací, tvorba modelu (Mildeová, 2011). U tvorby modelu je zapotřebí dodržovat řadu zásad. Vedle těch výše zmíněných také volbu vhodných názvů proměnných a dodržení jednoduchosti. Pokud je model složitý, je vhodné jej rozdělit na více částí.

4.1.2. Diagramy toků a stavů

Tento typ diagramu je rozšířenější verzí diagramu kauzálních smyček, kam kromě polarity zavádíme i výši stavů veličin a výši toků mezi veličinami – přesněji popisuje chování dynamického systému tím, že pracuje s matematickou definicí stavů a toků.

A právě díky možnosti kvantifikace toků a stavů je možné pracovat ještě s dalšími prvky v systému – proměnné, konstanty, výše přítoku do hladiny nebo výše odtoku z hladiny. Samozřejmostí je vstup dat do modelu z externího zdroje (mimo model – může být i submodel generující vstupní data) a výstup dat z modelu (konzument mimo hranice modelu). Tyto prvky postačují k tomu, abychom mohli popsat jakýkoliv systém, pokud správně využíváme tohoto jazyka (Forrester, 1958).



Obrázek 8 – Znázornění základních vztahů a prvků v diagramu toků a stavů (Hubík, 2012)

Stavy (hladiny) znázorňují hodnotu proměnné v konkrétním čase. Růst nebo pokles hladiny proměnné jsou determinovány mírou toku mezi hladinami, u toků se jedná o speciální případy proměnných. Obecně pro proměnné platí, že jsou vyjádřeny funkcí jiných prvků modelu, na kterých jsou závislé (Hubík, 2012). Konstanty jsou číselné hodnoty, které zůstávají neměnné, pokud není přímo ovlivňována určitou proměnnou v rámci modelu.

Stav je tedy závislý na tocích vztahujících se k danému stavu, ale i na svém předchozím stavu. Rovnice popisující stav nějaké hladiny v konkrétním čase se dá vyjádřit následovně (Hubík, 2012):

$$Stav(t) = Stav(t - 1) + (Přítok(t) - Odtok(t)) \quad (15)$$

Tento stav lze popsat i pomocí integrální rovnice, která má podobu:

$$Stav(t) = \int_{t_0}^t Přítok(x) - Odtok(x) dx + Stav(t_0) \quad (16)$$

Pomocné proměnné jsou jednoduše charakterizovány jako kombinace výše uvedených proměnných a slouží jako pomocné struktury pro korekci nebo řízení konkrétního toku.

4.1.3. Použité modelovací nástroje a metodika

Diagramy kauzálních smyček znázorněné v této disertační práci byly vytvořeny v programu Vensim PLE od společnosti Ventana Systems. Autor pro svoji práci použil verzi, která je k dispozici zdarma, a umožňuje plnohodnotnou analýzu diskrétních proměnných a použití multi-agentního modelování. Neplacená verze neobsahuje některé pokročilé simulační nástroje, avšak pro potřeby této disertační práce plně postačuje (Ventana Systems, 2019).

Další nástroj pro popis a simulaci dynamiky systému v podobě počítačového programu je například Powersim od společnosti Powersim Software, avšak na trhu je momentálně pouze jeho plnohodnotná placená forma, zkušební verze určená pro akademické prostředí neobsahovala některé klíčové funkce (Powersim Software, 2019).

Autor v rámci své disertační práce vytvoří dílčí modely (diagramy) kauzálních smyček vztahující se k jednotlivým zásadním faktorům ovlivňující výsledné objemy intenzity dopravy na silnicích. Tyto teoretické diagramy mohou sloužit jako vstupní modely pro komplexní modelování dopravního systému (např. pro modely toků a stavů), avšak autor se bude věnovat zejména analýze těchto dílčích částí na základě vytvořených diagramů kauzálních smyček. S tím je spojena i rešerše dosavadního poznání v oblasti faktorů ovlivňujících výsledné intenzity dopravy na silnicích s použitím dostupných literárních zdrojů s následnou implementací do popisu proměnných v diagramech kauzálních smyček.

4.1.4. Základní vztahy mezi růstem objemů dopravy a ekonomickým rozvojem ve městech a aglomeracích

Vzrůstající životní úroveň obyvatel, potažmo ekonomický růst regionu, můžeme vyjádřit růstem hrubého domácího produktu (HDP) generovaným určitým územím, produktivitou jeho obyvatel a výkonností ekonomiky regionu. Hrubý domácí produkt je rovněž možné vztáhnout na osobu (HDP na hlavu). Vzrůstající HDP je spojen s alokací většího finančního objemu do investic v různých odvětvích hospodářství - komerční sféra, státní sféra (popřípadě regionální vláda) a spotřebitelská sféra je úzce propojena. Nejinak je to i v sektoru dopravy, kdy ekonomický růst znamená investice do dopravní infrastruktury (diagram na obrázku č. 9 je vztažen pouze na oblast silniční infrastruktury):

1) Výstavba pozemních komunikací (nové silnice a modernizace stávajících úseků silnic) jako produkt dlouhodobého (racionálního) dopravního plánování umožňuje snížení pravděpodobnosti dopravních kongescí, zvyšuje relativní atraktivitu individuální automobilové dopravy (IAD), avšak v konečném důsledku toto vede k nárůstu intenzit dopravy na silnicích obecně. Výstavba úseků silnic přináší většinou lokální „úlevu“ dopravy, přitahuje ale nové uživatele individuální automobilové dopravy, jak atraktivně klesá cestovní doba. Proto je vhodné z hlediska dopravního plánování ve větších městech a aglomeracích uvažovat s aplikací moderních trendů ke zmírnění dopadů silniční dopravy na život obyvatel. Osvědčená je například koncepce záchytných parkovišť, která vhodným provázáním s veřejnou hromadnou dopravou přináší vhodnou alternativu pro uživatele IAD.

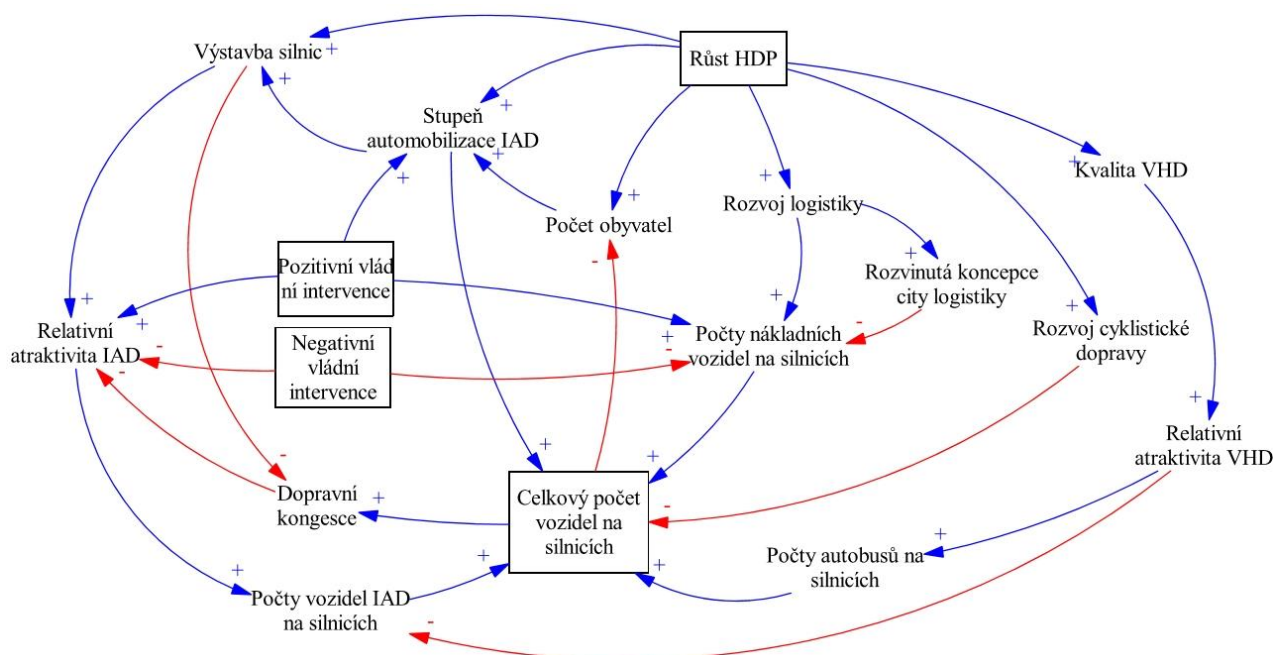
Z autorova pohledu mezi funkční řešení snížení objemů dopravy na silnicích ve městech patří i podpora konceptů jako je sdílení vozidla (car sharing) nebo sdílení jízdy (ride-sharing). Vhodnou motivací obyvatel ze strany vedení municipalit nebo přímo státní intervencí by bylo možné podpořit většího využití vozidel během jedné jízdy (např. dva či více spolupracovníků při cestě do zaměstnání). Autor se přiklání i k myšlence vnést do legislativy dopravní značení umožňující na některých úsecích městské silniční infrastruktury jízdu vozidlům, ve kterém se nachází dvě či více

osob. Obdobně jako se zavádějí nízko-emisní zóny pro zamezení dopadu dopravy na životní prostředí a tvorbu smogu ve městech, podobný návrh uvažuje s motivací obyvatel uvažovat v podobném směru (životní prostředí a snížení energetické náročnosti dopravy). Autor spatřuje i v racionálně a efektivně fungujícím systému veřejné hromadné dopravy (VHD) nástroj, jak snížit počty vozidel na silnicích.

- 2) Investice do rozvoje systému VHD zvyšují relativní atraktivitu VHD - i když se jedná o finančně náročný proces, v konečném důsledku se investice vyplácejí (jsou-li účelně vynakládány) a snižuje se podíl IAD v dělbě dopravní práce, tedy počet osobních vozidel na silnicích. Výsledky autorů Beaudoin a Lin Lawell (2016) ukazují, že v důsledku substitučního efektu vede zvýšení nabídky veřejné dopravy vlivem zvýšených investic ke snížení poptávky po cestování v rámci IAD, ale že toto snížení lze alespoň částečně kompenzovat vyvolanou poptávkou. Velikost účinku veřejné dopravy na poptávku po automobilovém cestování je navíc v městských oblastech různorodá.
- 3) Obdobně je to v případě cyklistické dopravy, která vhodnými podmínkami snižuje počty vozidel na silnicích, a příklady z evropských měst ukazují, do jaké míry je možné snížit motorovou dopravu pouhou podporou cyklistické dopravy. Cyklistická doprava je však velmi specifický druh dopravy, který je ovlivňován řadou dalších faktorů, jako je zdravotní stav uživatele, psychologie jedince z pohledu bezpečnosti na pozemních komunikacích, počasí, morfologie terénu v daném území, vzdálenost zdroje a cíle cesty, apod.
- 4) Ekonomický růst je spjat s rozvojem průmyslových odvětví v regionu, rozvojem služeb, apod. Rozvoj průmyslu, vznik nových industriálně-funkčních ploch, rozvoj služeb – to vše však indukují novou těžkou nákladní dopravu do center měst, v konečném důsledku narůstají celkové intenzity dopravy na silniční infrastrukturu. Z tohoto pohledu je nutné vytvářet vhodné řešení městské logistiky tak, aby město (respektive městské centrum) nebylo neúměrně zahlceno nákladními vozidly. Vhodným konceptem městské logistiky je totiž možné snížit objem nákladní dopravy ve městě (alespoň ve špičkových dopravních hodinách). Současný výkon nákladní dopravy by mohl být realizován s méně ujetými kilometry - tj. s menším dopadem silničního provozu - pokud by stávající přepravní kapacity byly lépe využity. Podle příručky zveřejněné Německým institutem pro urbanistiku na téma dopravy a přepravy v environmentálním managementu (Apel, 2000) by zvýšené využití přepravní kapacity nákladního vozidla a optimalizace plánování trasy nákladního vozidla mohlo snížit počet ujetých kilometrů až o 20% a 10%. Současná praxe řízení rozvoje komerčního prostředí bere v úvahu aspekty související s dopravou v souladu s územním plánováním a developeři musejí v rámci svých projektů uvažovat předem s dobrým napojením na silniční infrastrukturu (popřípadě infrastrukturu jiných dopravních modů) a doložit objem nákladní dopravy generovaný provozem plánovaného komerčního subjektu. To však neřeší zásadní věc, a tedy zřízení nejlépe centrálně řízeného systému nákladní dopravy v rámci území, který by dokázal racionalizací celého systému redukovat počty nákladní dopravy v území. Obdobný systém, i když založený na jiném principu, je v případě integrace dopravních systémů ve veřejné hromadné dopravě, kde se integrací provozovatelů dopravy, provozem celého systému a jeho řízením třetím subjektem (organizátor dopravy - koordinátor) podařilo využít synergického efektu integrace a přinést tak benefity i pro společnost. Rovněž jsou zde řešeny souběhy spojující provozovatelů dopravy (dopravních prostředků), které v lepších případech jsou centrálním řízením ze strany koordinátora eliminovány nebo upraveny.
- 5) Se zvyšující se životní a ekonomickou úrovní obyvatel roste i počet obyvatel, zároveň vyšší příjmy obyvatel umožňují pořízení dvou i více vozů do domácnosti. Rozvíjející se průmysl a služby znamenají pořizování nových nákladních vozidel. Toto vše lze vyjádřit rostoucím stupněm

automobilizace, který vyžaduje výstavbu nových silničních komunikací, aby nedocházelo ke kongescím – zvyšuje se tlak na veřejnou správu a smyčka se opakuje (více rozebráno v následující části o indukci silniční dopravy). Se zvyšujícím se příjmem obyvatel se očekává, že v příštích letech bude používání motorové dopravy nadále růst (Gwiliam a kol., 2004).

Pomocí diagramu kauzálních smyček je možné zobrazit teoretické vztahy mezi zvyšující se životní úrovní obyvatel daného regionu (uvažujeme region s městskou aglomerací) a generováním dopravy v daném území. Jednotlivé proměnné v diagramu znázorňují různé faktory, které jsou vzájemně ovlivňovány a vytváření smyčky, které se dají popsat. V následujícím diagramu (obrázek č. 9) jsou tyto základní teoretické vztahy jednotlivých proměnných pro názornost použítí diagramů kauzálních smyček znázorněny.



Obrázek 9 – Základní vztahy mezi rozvojem regionu a dopravními objemy na silnicích (Zdroj: autor)

V praxi je samozřejmě systém mnohem komplexnější a vstupují do něj různé subsystemy, které jednotlivé proměnné relativně ovlivňují. Autor se pokusí vybrané subsystemy analyzovat v následujících kapitolách.

S rozvojem ekonomiky regionu mohou být spojené i různé státní intervence, popřípadě intervence regionální veřejné správy. Můžeme je považovat za jakési „katalyzátory“ v silniční dopravě a rozlišovat je na pozitivní nebo negativní intervence (z pohledu vlivu na objemy dopravy ve městech). Za intervenci lze považovat např. vládní podporu na nákup nových vozů (tzv. „šrotovné“), popřípadě nákup vozů s alternativními druhy pohonu, podpora podnikatelům, aj. Toto vše může zvyšovat počet registrovaných vozidel v daném území, v konečném důsledku i výsledné intenzity dopravy. Za pozitivní vládní intervence v oblasti silniční dopravy je zejména považováno snižování sazeb za výkonové zpoplatnění, sazeb za parkovné, poplatků za vjezd do center měst, spotřebitelské daně z nákupu pohonných hmot, apod.

Naopak negativní vládní intervence do oblasti dopravy mohou mít za důsledek snížení atraktivity individuální automobilové dopravy (zpoplatnění parkování v centrech měst, zvýšení spotřební daně z pohonných hmot, aj.), popřípadě snížení počtu nákladních vozidel ve městech (restrikce, zákazy průjezdu, zpoplatnění vjezdu, apod.). Negativní intervence rozhodně neznamenají negativní přínos pro

společnost, jedná se pouze o autorem pojmenované skupiny intervencí – snížením výsledných intenzit dopravy ve městech je docíleno zlepšení životního ovzduší nebo zdravotního stavu obyvatel, což jsou jedny z hlavních důvodů, proč se takováto opatření zavádějí. Rovněž to může znamenat vyšší finanční příjem do rozpočtu na obnovu a rozvoj dopravní infrastruktury ve městě, tedy sekundárního efektu – opětovného zatraktivňování IAD, popřípadě zatraktivnění VHD v případě investic do infrastruktury veřejné hromadné dopravy.

Obecně nízké náklady na dopravu, jak pro jednotlivce, tak pro komerční subjekty, nebo nízké pořizovací ceny dopravních prostředků vedou ke zvyšování dopravních objemů (Apel a kol., 1995).

Vládní opatření, zákony a směrnice, které se nepřímo týkají dopravy, mohou mít stále vliv na dopravní provoz na silnicích. 80 až 90% všech rozhodnutí na úrovni evropských, národních, regionálních a místních orgánů má určitý dopad na provoz dle Bruckemanna (Bruckmann a kol., 2000). Obdobně německá studie zpracovaná autory Holz-Rau a Hessem se pokusila kvantifikovat dopady vybraných zákonů a předpisů na silniční provoz (Holz-Rau a Hesse, 2000).

Z pohledu výzkumu je doprava a její vývoj považován za proces. V důsledku toho se předpokládá interakce a vzájemná závislost s dalšími koexistujícími silami. Ústředními silami celého systému jsou prostorová organizační struktura, časová struktura, počet a způsob nabízených cestovních příležitostí a sociálně-ekonomický stav. Tyto faktory ovlivňují odvětví dopravy, aniž by byly deterministické jako příčinný důsledek. Příčinná a přímá souvislost mezi faktory z tohoto hlediska neexistuje. Přesto je to právě takové chápání mono-kauzálního propojení mezi příčinou a následkem, po kterém následuje společný výzkum o dopravě založený na statistikách, výpočtech, simulacích a modelování. Naproti tomu chápání dopravy jako jednoho z mnoha vzájemně propojených sil zdůrazňuje vzájemný vliv a závislost těchto faktorů. Modifikátory obvykle filtrují závislé efekty. Neexistují tedy stálé interakce ani význam jednoho z faktorů souvisejících s ostatními není konstantní (Holz-Rau a Hesse, 2000).

Pokud bychom prováděli mikroskopický výzkum konkrétních vlivů v provázaných strukturách, zřejmě bychom dospěli například k těmto vzájemným interakcím, viz tabulka č. 6:

Tabulka 6 – Doprava jako proces a možné vzájemné interakce mezi strukturami v systému (vlastní zpracování).

	Doprava jako důsledek	Doprava jako příčina
Rozvoj dopravních modů	Alternativa v podobě kvalitního systému VHD ovlivňuje výsledné intenzity dopravy zejména ve městech signifikantně	Adaptace na poptávku po dopravě ovlivňuje rozhodování v oblasti rozvoje dopravní infrastruktury
Socio-ekonomické podmínky ve vztahu k dopravě	Dostupnost vlastního vozidla ovlivňuje volbu dopravního prostředku	Poptávka po nákladní dopravě ovlivňuje výrobní struktury a zdroje služeb v území
Vliv spádovosti území ve vztahu k dopravě	Urbanistický rozvoj zvyšuje individuální motorovou dopravu	Vysoká míra motorizace podporuje výstavbu obchodních zón na okrajích měst – přitahují dopravu z okolí, ale i z center měst.
Vliv času ve vztahu k dopravě	Pracovní doba v obchodech a podnicích ovlivňuje intenzity dopravy v čase	„Úzká hrdla“ v dopravní síti a vznik kongescí na silnicích ovlivňují jízdní dobu (tlak na včasné zásobování)
Vliv času ve vztahu k dopravní nabídce	Otevírací doba subjektů ovlivňuje jízdní řády ve VHD	Dostupnost parkovacích ploch ovlivňuje pracovní dobu
Vliv spádovosti území ve vztahu k dopravní nabídce	Rozvoj dopravní infrastruktury je na základě rozvoje území (adaptuje se na výstavbu v ostatních sférách hospodářství)	Dopravní infrastruktura ovlivňuje rozhodování o lokaci stavebních projektů

S ohledem na jednotlivé struktury ovlivňující celý systém je doprava jak regulujícím, tak regulovaným elementem. Jedná se tedy o multi-kauzální komplexní systém, který je velmi těžké dostatečně popsat. Autor se však pokusil základní síly v systému alespoň graficky vyjádřit pomocí diagramu kauzálních smyček, přičemž vycházel z rešerše poznatků tuzemských a zahraničních autorů.

4.1.5. Indukce silniční dopravy s teoretickým přístupem systémové dynamiky

Dopravní indukce je jev v dopravě, kdy rozšíření stávající dopravní sítě (nabídka kapacity – např. vybudování nového úseku dálnice) vyvolá nárůst poptávky po dopravní infrastruktuře. Jedná se nejen o dopravu přeměrovanou z jiného úseku pozemní komunikace (trasy), jiné doby v rámci dne nebo z jiného druhu dopravy, ale o dopravu tzv. „indukovanou“, která je nově vyvolána zlepšením či zkvalitněním dopravních podmínek, které by rozšíření dopravní infrastruktury mělo přinést.

Fenoménu indukované poptávky po dopravě byla věnována odborná pozornost poprvé až v 80. letech 20. století, zejména ve Velké Británii (Goodwin, 1992). Od 90. let byla pomocí různých studií používajících ekonometrických modelů prokázána spojitost budování dopravní infrastruktury a poptávky po dopravě (Duranton a Turner, 2011; Handy, 2014; Hymel a kol., 2010; Litman, 2015).

Generování nové dopravy (navýšení intenzit dopravy) lze posuzovat ze dvou hledisek. Jednak se jedná o dopravu generovanou rozšířením silniční sítě, a tudíž lze přímo stanovit míru navýšení „generované dopravy“, studovat vliv na úroveň kvality dopravy (ÚKD) a tedy i predikovat míru kongesce na konkrétních úsecích v rámci mikrosimulací při dopravním plánování. Dále se jedná o pojetí z pohledu studování dopravního chování obyvatel ve vztahu k počtu nově vzniklých cest obyvatel (indukovaných rozvojem silniční sítě). Z tohoto pohledu lze studovat například celkové benefity a náklady indukovaných cest (Litman, 2015).

Názory na velikost indukované dopravy, stejně tak přístupy k vyjádření velikosti, se různí. Různorodost vyjádření je s ohledem na geografické území, ve kterém byly studie prokazující míru indukce vytvářeny, a také na významnost dané silniční komunikace. Autoři Noland a Lem (2002) přisuzují indukované dopravě 15% až 20% nárůst v dopravních objemech na silniční síti v USA a Spojeném Království. Obdobně i švýcarský autor Meier (1990) vyjádřil míru nárůstu dopravy na švýcarské silniční síti o 20% po rozsáhlé výstavbě nové silniční infrastruktury.

V roce 2019 vytvořilo kalifornské Národní centrum pro udržitelnou dopravu (National Center for Sustainable Transportation) kalkulátor indukované dopravy, který vytváří odhad nárůstu počtu cest vykonaných motorovou dopravou na základě elasticity v procentuální změně počtu milí (USA) uražených vozidly a změně v počtu kilometrů nově vybudovaných jízdních pruhů (NCST, 2019). Metodika je kalibrována na kapacitní silniční komunikace ve státě Kalifornie, ale je celkem dobře aplikovatelná i na jiné geografické oblasti.

Skutečností je, že všechny studie byly prováděny na dopravních sítích v ekonomicky rozvinutých zemích. Studie německého autora Lohrberga (2003) prokázala, že výstavba nové infrastruktury pro silniční dopravu má negativní efekt v podobě snížení objemů cestujících přepravených veřejnou hromadnou dopravou – bez adekvátních investic do ostatních dopravních módů šetrnějších k životnímu prostředí dochází k odlivu cestujících z VHD, zvyšuje se atraktivita IAD a generuje se nová doprava na silniční síti (Lohrberg, 2003).

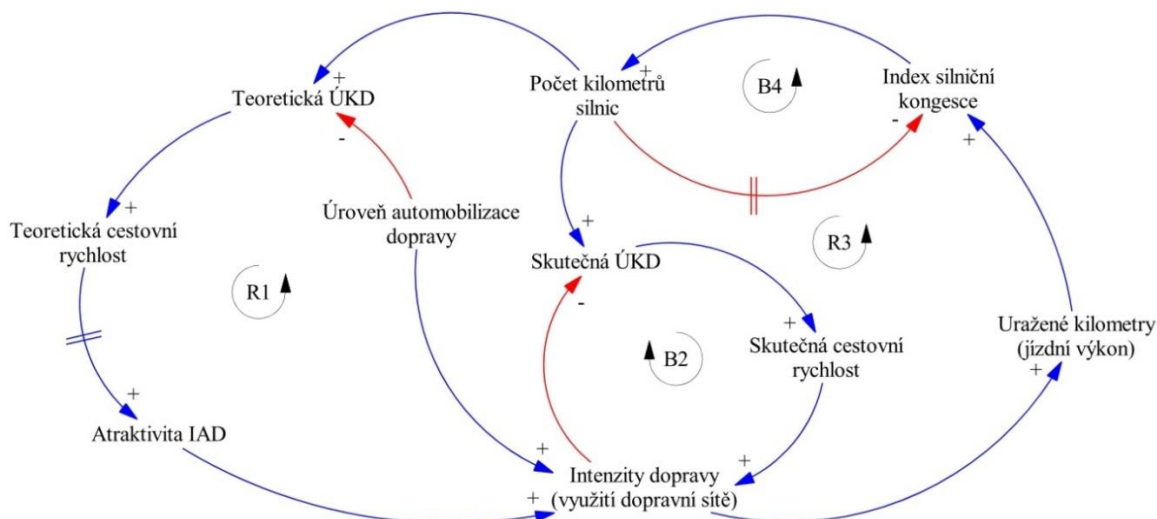
S pomocí diagramů kauzálních smyček je možné pochopit komplexnost problematiky indukované silniční dopravy. Autor se pokusil vytvořeným diagramem znázornit mechanismus zpětné vazby strukturálně popisující poptávku po dopravě vyvolanou výstavbou silniční sítě.

Diagram zahrnuje proměnné, které popisují proces výstavby silniční infrastruktury, možné faktory ovlivňující tento proces, a s tím související charakteristiky dopravního proudu jakožto indikátor pro indukování nové dopravy, a výslednou dopravu na této síti. Model kauzálních smyček je vztažen obecně k regionu České republiky a je tvořen dvěma typy dopravních podmínek na silnicích:

- Teoretické podmínky reprezentují úroveň kvality dopravy na silnicích na základě intenzity dopravy na novém úseku silnice za běžných podmínek dopravního proudu zahrnující vývoj vozového parku v daném regionu.
- Reálné podmínky reprezentující úroveň kvality dopravy na silnicích, které zahrnují skutečné cesty vozidel a kapacitu dané pozemní komunikace.

Tyto dva typy dopravních podmínek (teoretické a skutečné) jsou zahrnuty do vlastních smyček, které se však vzájemně ovlivňují. V případě aplikace diagramu toků a stavů na tento základní model kauzálních smyček by bylo potřebné určit jasné indikátory (proměnné), které výsledný proces kvantifikují. Jednotlivé proměnné v diagramu (obrázek č. 10) lze vyjádřit následovně s jasným určením typu indikátoru:

- *Teoretická úroveň kvality dopravy (ÚKD)*: znázorňuje teoretické charakteristiky dopravního proudu, které se mění v závislosti na požadované úrovni kvality dopravy. Zejména je dopravní proud vyjádřen průměrnou rychlostí, intenzitou dopravy, hustotou dopravy (teorie dopravního proudu). Na základě těchto charakteristik dopravního proudu je možné odvodit průměrnou jízdní dobu (ČSN 736101).
- *Teoretická jízdní doba*: Potenciální průměrná cestovní rychlost v závislosti na dané úrovni kvality dopravy. Zvyšuje-li se úroveň kvality dopravy (zlepšuje se kvalita dopravního proudu), zvyšuje se rychlost dopravního proudu a klesá hodnota jízdní doby.
- *Atraktivita IAD*: Tato proměnná znázorňuje podíl individuální automobilové dopravy na celkové dopravě v regionu. Může zahrnovat další vlivy, které zvyšují/snižují atraktivitu individuální automobilové dopravy, tedy i hodnotu proměnné.
- *Využití dopravní sítě*: reprezentuje počet vozidel na dopravní síti.
- *Skutečná úroveň kvality dopravy*: Tohoto je využito k posouzení skutečných charakteristik dopravního proudu na silniční infrastruktuře, které se mění v závislosti na poměru mezi počtem vozidel na síti a počtem vozidel, které může silniční síť pojmout.
- *Počet kilometrů silnic*: Počet kilometrů existující a budované silniční sítě v regionu.
- *Index silniční kongesce*: vyjadřuje stav mobility jako poměr mezi jízdním výkonem realizovaný všemi vozidly a počtem vybudovaných kilometrů silniční sítě.
- *Vývoj úrovně automobilizace*: Vyjadřuje relativní průměrný růst počtu evidovaných vozidel v regionu.
- *Skutečná cestovní rychlost*: Skutečná cestovní rychlost vozidel (rychlost dopravního proudu) v závislosti na skutečné úrovni kvality dopravy.
- *Jízdní výkon*: reprezentují celkový počet kilometrů uražených vozidly na dopravní síti za jednotku času.



Obrázek 10 – Kauzální vztahy spojené s indukcí dopravy (zdroj: autor)

Diagram (obrázek č. 10) znázorňuje čtyři kauzální smyčky. Dvě z nich jsou posilujícími smyčkami, další dvě jsou smyčkami rovnovážnými. Lze je popsat následovně:

- Rovnovážná smyčka „Intuitivní politika výstavby“ (B4) reprezentuje intuitivní procesy rozhodování ve výstavbě dopravní infrastruktury, kdy výstavba alternativních tras (úseků pozemních komunikací) přináší snížení dopravní kongesce.
- Rovnovážná smyčka „Snížování cestovní rychlosti“ (B2) znázorňuje, do jaké míry jsou benefity nově zbudovaných pozemních komunikací a vyšší cestovní rychlosti absorbovány uživateli dopravní sítě. Větší počet vozidel na silniční síti vede ke snížení rychlosti dopravního proudu, tedy i ke snížení cestovní rychlosti. Malé cestovní rychlosti vedou ke snížení využití silniční sítě, dokud nebude silniční síť rozšířena a navýšit se tím cestovní rychlost vozidel.
- Posilující smyčka „Generovaná doprava“ (R1) vyjadřuje skutečnost, kdy nárůst počtu kilometrů silniční sítě vede k nárůstu teoretické úrovně kvality dopravy. Na tomto základě poroste teoretická cestovní rychlost a atraktivita individuální automobilové dopravy, což v důsledku vede k většímu využití silniční sítě a nárůstu jízdního výkonu (uražených kilometrů). To ovšem zvyšuje opět riziko vzniku dopravní kongesce a vytváří potřebu výstavby dalších úseků pozemních komunikací.
- Posilující smyčka „Indukovaná poptávka po dopravě“ (R3) se zakládá na premise, kdy výstavba nových kilometrů silniční sítě umožňuje zkapacitnění sítě. Toto zvyšuje skutečnou úroveň kvality dopravy a skutečnou cestovní rychlost, zároveň se zvyšuje propustnost sítě. Alternativní trasy pozemních komunikací (nárůst počtu vybudovaných kilometrů) a zkvalitnění podmínek na dopravní síti může vést k navýšení počtu kilometrů uražených vozidly. V konečném důsledku větší počet uražených kilometrů zvyšuje riziko kongesce, což opět ovlivňuje otázku výstavby nových pozemních komunikací.

4.1.6. Vliv průmyslové produkce na objemy dopravy v území

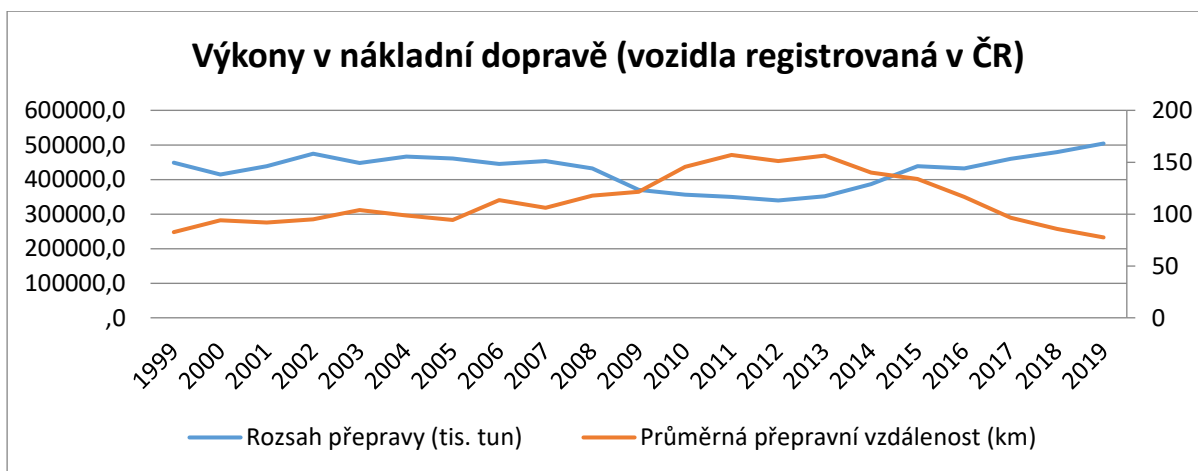
Nákladní doprava tvoří signifikantní součást dopravního procesu, tedy určitá nezanedbatelná část celkových intenzit dopravy na silnicích je tvořena nákladními silničními vozidly. Trend růstu v

nákladní dopravě je převážně popisován ukazateli ze statistických údajů o dopravě: rozsah přepravy uváděný v tunách, přepravní vzdálenosti v kilometrech a přepravní výkon jako výsledek obou hodnot, jehož jednotka se označuje jako tunokilometr (to vše za určité časové období). Poslední trendy v nákladní dopravě ale statistiky tolik nezohledňují, např. trend objednávání zboží zákazníky přes internet a dodávání menších zásilek prostřednictvím vozidel parcelových služeb (zboží z e-shopů, dovážka jídel ze stravovacích zařízení, aj.). Rovněž je dopravované zboží (zásilky) v mnoha případech lehčí v celkové průměrné hmotnosti, než tomu bylo dříve (co se týče silniční dopravy). Kromě toho výroba zboží přešla více na výrobky s vyšším poměrem hodnoty a váhy. To znamená, že více zboží vyšší hodnoty je přepravováno při stejné tonáži. Obalové materiály se staly lehčími, avšak nabyly na objemu.

S narůstající globální a mezinárodní dopravou společně s integrací nákladní dopravy v rámci jednotlivých regionů dochází k nárůstu vyšších poměrů nákladní dopravy vůči celkovým objemům dopravy na silnicích.

Statistiky nákladní silniční dopravy zohledňují pouze vozidla registrovaná v České republice, nereflktují však skutečné celkové výkony na silnicích v České republice, když velká část nákladní dopravy na českých silnicích je provozována zahraničními dopravci. Podíváme-li se na statistiky Evropského statistického úřadu, tak nárůst v případě přepravního výkonu v zemích západní Evropy je znatelný. Nutno podotknout, že zde není zohledněna přeprava nákladu jinými dopravními módy, respektive míra změny dělby přepravní práce (Modal Split) – jak se změnil objem zboží přepravovaný dříve po silnicích a nyní, např. po železnici. Tento faktor má rozhodně vliv na výsledné objemy dopravy na silnicích, není však příliš znatelný v případě českých podmínek, zejména vzhledem ke slabé podpoře výstavby technologií kombinované dopravy v ČR ve srovnání se zeměmi západní Evropy. Lze však určitým způsobem zhodnotit indikátory vztahující se k počtu přepravených výměnných nástaveb po železnici, kontejnerů, popřípadě počet přepravených silničních návěsů a přívěsů po železnici, které udává statistická ročenka Ministerstva Dopravy (MD ČR, 2019).

Podíváme-li se na roční statistiky objemu přepraveného nákladu na českých železnicích a silnicích, tak určitá srovnání zde lze aplikovat. Objem přepraveného nákladu rok od roku na českých železnicích stoupá (za rok 2018 to bylo 99 307 tis. tun), rovněž mírnějším tempem roste přepravní objem, což může indikovat zkracující se přepravní vzdálenosti (ČSÚ, 2019). Následující graf (obrázek č. 11) zobrazuje statická data v podobě jízdního výkonu a rozsahu přepravy v nákladní silniční dopravě v průběhu posledních dvaceti let v České republice.



Obrázek 11 – Statistická data vybraných ukazatelů v nákladní dopravě v ČR v letech 1999-2019 (zdroj: ČSÚ, vlastní úprava).

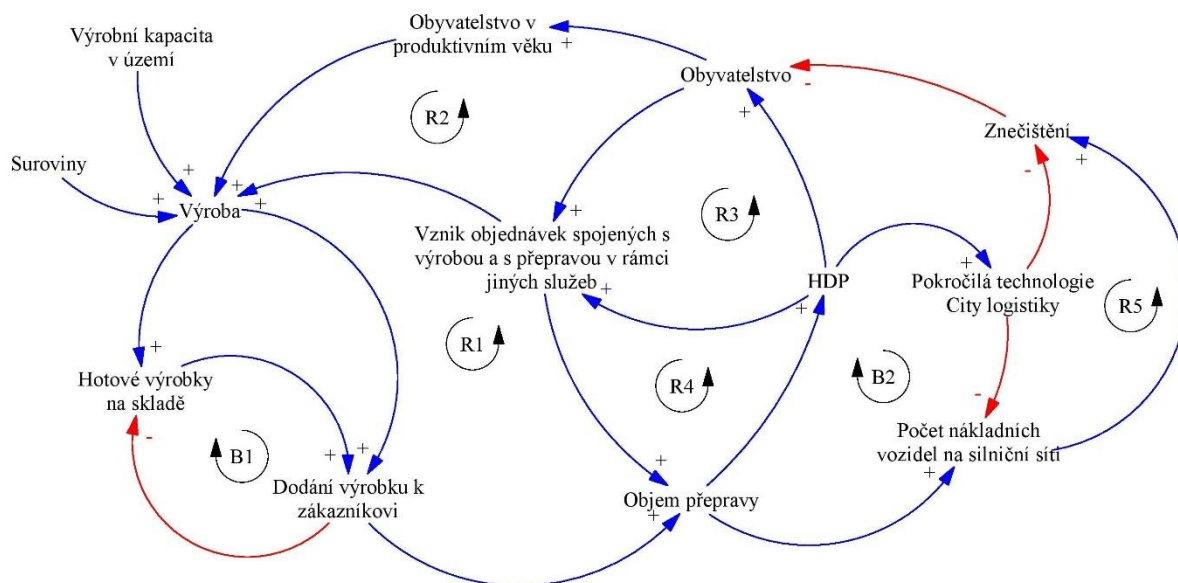
Zajímavé zjištění ze statistických dat je fakt, že mezi lety 2009–2015 byla znatelná změna v průměrné přepravní vzdálenosti v objemu přepraveného zboží. Zřejmě byla příčinou ekonomická krize v roce 2009 s doznívající tendencí v následujících letech, kdy se dopravci v „boji o přežití“ orientovali na přepravní trasy se vzdálenějšími cíli cesty. Tímto celkové přepravní výkony zůstávaly v tomto období každý rok zhruba na stejné úrovni, kdy např. v roce 2015 byla zaznamenána nejvyšší hodnota přepravního výkonu (57 200 mil. tkm). V roce 2019 došlo k poklesu ročního přepravního výkonu pro celkovou nákladní dopravu v ČR na hodnotu 48 248 mil. tkm, avšak objem přepraveného nákladu byl vůbec největší za posledních 20 let, když roční hodnota hmotnosti celkového přepraveného nákladu byla 639 872 tis. tun, což je zhruba o 160 tis. tun více než v roce 2018 (ČSÚ, 2019).

Z globálního pohledu se dá říci, že v Evropské unii vnitrostátní (jednotlivé členské země) a mezinárodní nákladní silniční přeprava rok od roku v průměru roste (Eurostat, 2019). Uvážíme-li průměrnou přepravní vzdálenost (jakožto indikátor, který lze vztáhnout určitým způsobem k výsledným intenzitám nákladní dopravy na silnicích), tak zatímco v České republice v rozmezí let 2014-2018 klesla průměrná přepravní vzdálenost o téměř 39 % na hodnotu 86 km, průměrná přepravní vzdálenost v rámci EU v roce 2018 byla 118 km na cestu (Eurostat, 2019).

Obecně z makro-ekonomického hlediska platí, že čím nižší jsou náklady na přepravu, tím více nákladní přeprava poroste do objemu. Nízké náklady na přepravu umožňují oběma stranám, jak dopravci, tak zákazníkovi dostupnější dopravu. Ekonomický růst v kombinaci se snižujícími se náklady umožňuje zvyšování přepravy i výsledný počet nákladních vozidel na silnicích. Naopak zvýšení nákladů na přepravu by změnil rostoucí a nekontrolovatelný vývoj (Apel a kol., 1995).

Nárůst silniční nákladní dopravy je úzce spojen s rozvojem sektorů hospodářství, ale i se strukturou a strategií výrobních, stavebních či jiných společností. Kupříkladu výrobní průmysl čím dál častěji pod pojmy „outsourcing“ a „štíhlá výroba“ (Lean management) umožňuje navyšování zakázek přepravním společností. Outsourcing služeb na třetí firmu a princip štíhlé výroby klade vyšší nároky na flexibilitu a operativnost, kde silniční doprava hraje zásadní roli a vede ke zvyšování výkonů v přepravě (Böge, 1993).

Trend centralizace skladových ploch a vytváření logistických center spíše může napomoci ke snížení nákladních dopravních prostředků (Technologie Hub and Spoke). Jde ovšem jen o drobný krok bez většího koncepčního řešení pro udržitelnost dopravy v území. Plánování lokace těchto center částečně zohledňuje alespoň minimální snahu o snížení nákladních vozidel, avšak není to při lokačních úlohách prioritou. Vhodným řešením integrované koncepce obsluhy území nákladní dopravou s napojením logistických center na železniční dopravu by se určitě podařilo snížit výsledné počty nákladních vozidel na silniční síti. Velkou výzvou je narůstající přeprava menších zásilek (zejména internetové obchody a parcelové společnosti) a rozvoz v rámci větších měst.



Obrázek 12 – Kauzální vztahy mezi průmyslovou výrobou, socio-ekonomickým sektorem a dopravní oblastí (zdroj: autor).

Diagram (obrázek č. 12) znázorňuje základní vztahy v relaci výroba – obyvatelstvo – růst ekonomiky – doprava (přeprava), zjednodušený systém dopravy generující počty nákladních vozidel na silniční síti je znázorněn v pravé části, vlevo je znázorněn systém průmyslové produkce. Oba systémy jsou vzájemně propojeny socio-ekonomickou sférou (opět velmi zjednodušeně). V diagramu je identifikováno pět posilujících smyček (R1 – R5) a tři smyčky rovnovážné (B1 – B2). Posloupnosti kauzálních proměnných v rámci smyček lze popsat následovně s tím, že hlavními hybateli celého systému jsou „výroba“, „vznik objednávek“ a „objem přepravy“:

R1: Výroba – dodání výrobku k zákazníkovi – objem přepravy – HDP – vznik objednávek – výroba.

R2: Výroba – hotové výrobky na skladě – dodání výrobku k zákazníkovi – objem přepravy – HDP – obyvatelstvo – Obyvatelstvo v produktivním věku – výroba.

R3: Vznik objednávek – objem přepravy – HDP – technologie City logistiky – znečištění – obyvatelstvo – vznik objednávek.

R4: Objem přepravy – HDP – obyvatelstvo – vznik objednávek.

R5: Vznik objednávek – objem přepravy – HDP – technologie City logistiky – počet nákladních vozidel na silnicích – znečištění – obyvatelstvo – vznik objednávek.

B1: Výrobky na skladě – dodání výrobku k zákazníkovi – výrobky na skladě.

B2: Vznik objednávek – objem přepravy – počet nákladních vozidel na silnicích – znečištění – obyvatelstvo – vznik objednávek.

Obyvatelstvo a ekonomické subjekty zapříčiňují průmyslovou výrobu, která rovněž absorbuje pracovní sílu, suroviny a výrobní kapacity v území (kromě jiného). Zvýšení výroby povede ke zvýšení stavu hotového zboží, a tudíž poptávka zapříčiní zvýšení objemu přepravy a následně i počtu nákladních vozidel na síti při konkrétních přepravách k zákazníkům. Obdobné je to i se sektorem služeb – se vzrůstající poptávkou (např. při nákupu zboží na internetu) se zvětšuje objem přepravy, který vynucuje potřebu většího počtu nákladních vozidel. Ať už se jedná o lehká užitková vozidla, dodávky s užitnou hmotností nad 3,5t (zejména doručování „door to door“ – např. parcelové přepravní

společnosti), středně těžké a těžké nákladní automobily nebo silniční nákladní soupravy (kyvadlová přeprava mezi „huby“, zásobování, aj.).

Dobré podmínky pro průmyslovou výrobu, zvyšování objemu výroby (následně přepravy) a spotřebitelská poptávka obyvatel vede k ekonomickému růstu (v diagramu znázorněn indikátorem HDP regionu). Ekonomický růst přináší další výzvy, jakým způsobem zefektivnit dopravní sektor tak, aby zejména v duchu udržitelné dopravy byla doprava a přeprava racionálně ekonomická a umožnila vývoj šetrný k životnímu prostředí a ke zdraví obyvatel.

Zejména v městském prostředí se jedná o racionalizaci celého systému zásobování a výstavbu dopravní infrastruktury směřující ke snížení dopadu nákladní dopravy na okolní prostředí, v konečném důsledku i ke snížení výsledného počtu vozidel na síti. V diagramu je toto pojato jako „pokročilá technologie City logistiky“, ale obecně valná většina moderních technologií těmto cílům napomáhá (např. podpora alternativních druhů pohonu nákladních vozidel, podpora kombinované dopravy, optimální utilizace vozového parku, aj.).

4.1.7. Vliv denních aktivit obyvatel

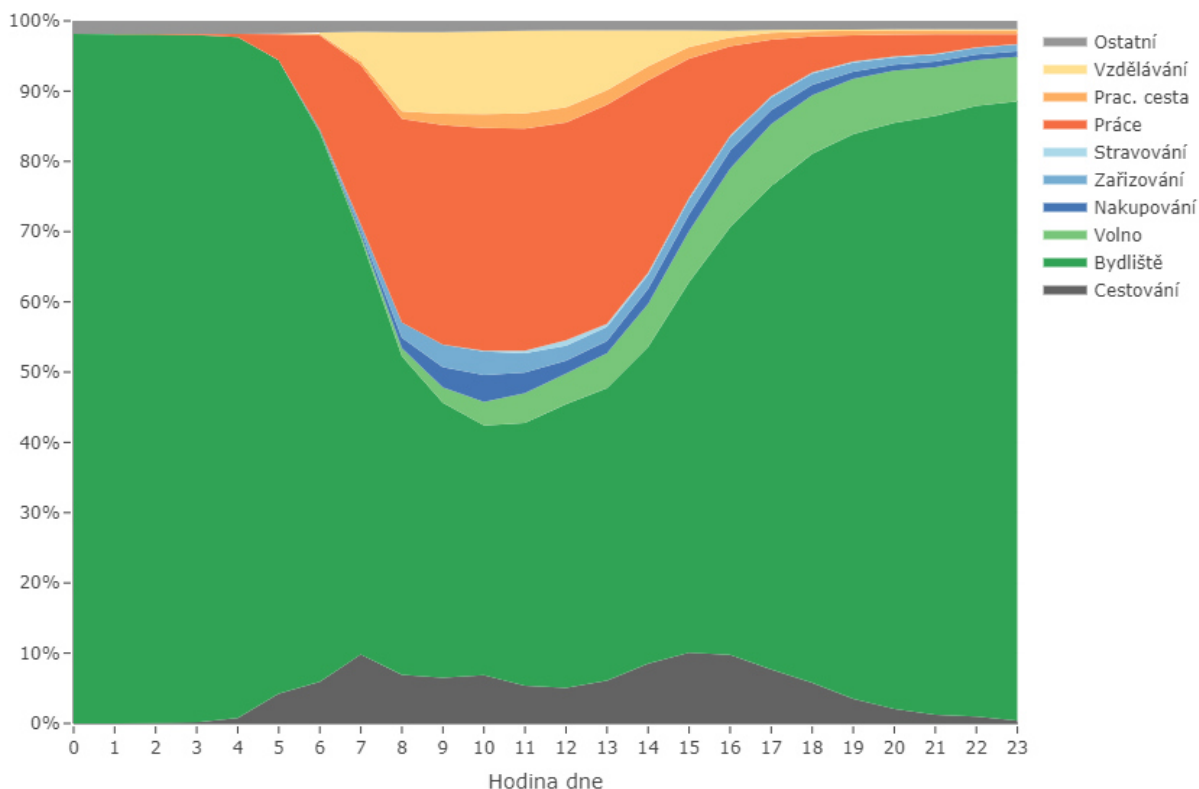
Možnosti bydliště obyvatel, životní styl, pracovní možnosti a funkční plochy území (obchodní zóny, průmyslové zóny, aj.) se v České republice v posledních desetiletích vyvíjely dosti progresivně. Osídlené oblasti se dramaticky rozšířily, přičemž rozrůstání měst stále více vymezuje krajinu (znatelný je zejména vliv suburbanizace okolo větších měst). Tento vývoj jde samozřejmě ruku v ruce s vývojem motorové dopravy. Na jedné straně by tento vývoj nebyl myslitelný bez motorové dopravy, na druhé straně značně narůstá v důsledku nutnosti flexibilní mobility zejména individuální motorová doprava.

Se zvětšující se spádovou oblastí center obchodu (měst) může docházet k nárůstu počtu potřebných kilometrů v rámci IAD k dosažení cílů obyvatel. To je rovněž důvodem pro vytváření efektivních systémů veřejné hromadné dopravy (např. IDS), popřípadě zavádění jiných opatření k zatraktivnění VHD a snížení podílu motorové individuální dopravy v centrech měst (např. systém záchytných parkovišť). Autoři Chowdhury a Ceder (2015) na příkladu modelu města Auckland na Novém Zélandě zjistili v souvislosti s provedeným dotazníkovým šetřením, že 25 % obyvatel tamějšího města by využilo namísto osobního automobilu dopravní prostředek VHD, pokud by došlo ke snížení cestovní doby a zvýšení komfortu.

Následující řádky se zabývají problematikou, která spíše spadá do oblasti zkoumání dopravního chování obyvatel, avšak úzce souvisí s výslednými počty vozidel na silniční síti (v tomto případě motorové dopravní prostředky IAD). Určitý náhled do dopravního chování obyvatel nám poskytují výsledky celostátního Sčítání lidu, domů a bytů z roku 2011 (SLDB, 2011), potažmo z předešlých sčítání opakujících se jednou za deset let. Například podíl osob využívající ke své cestě do zaměstnání vlastní automobil vzrostl a mnohde tvoří více jak 90% hodnotu (vztáhneme-li k jednotlivým okresům). Rovněž ze statistik lze říci, kolik těchto cest do zaměstnání je uskutečněno v rámci měst nebo z místa vně města. Statistiky na stránkách ČSÚ nám například udávají počty vyjížděk za prací do a z jednotlivých obcí, ale i informace o frekvenci těchto cest nebo o jízdni době (doba trvání cesty).

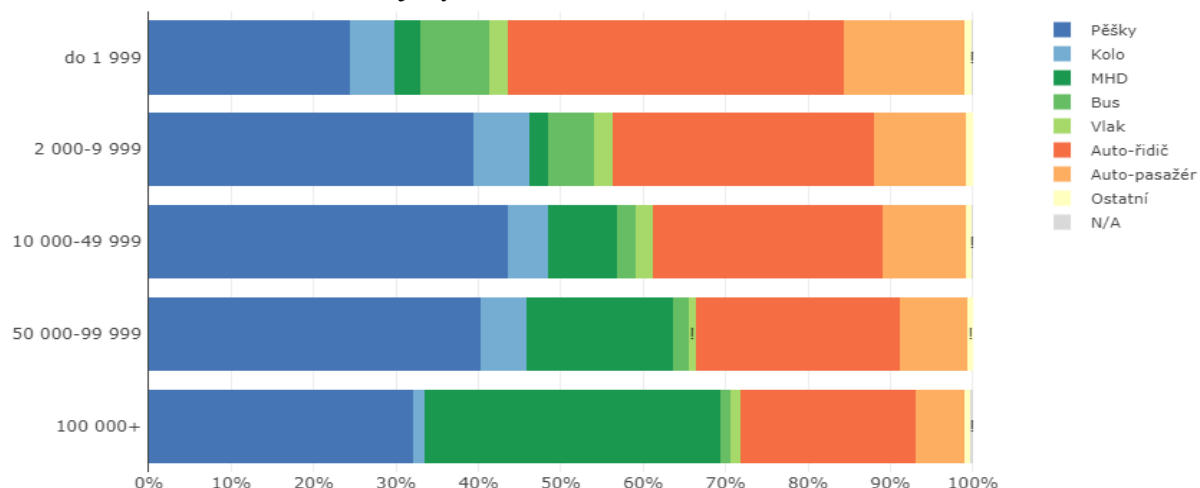
Zajímavé výsledky přinesl projekt Centra dopravního výzkumu nazvaný „Česko v pohybu“. Byl to první celostátní průzkum zaměřený čistě na dopravní chování obyvatel, který proběhl v letech 2017-2019 (CDV, 2019), a jednalo se o klasický aktivně-cestovní průzkum (viz kapitola 1.4.1). Tímto způsobem byl získán dobře vypovídající vzorek dat např. o počtu vozidel v domácnostech, četnosti

cest v rámci dne, účelu cest, velikosti času stráveného denním cestováním, vzdálenosti těchto cest nebo denní rozložení aktivit spojených s cestováním (obrázek č. 13).



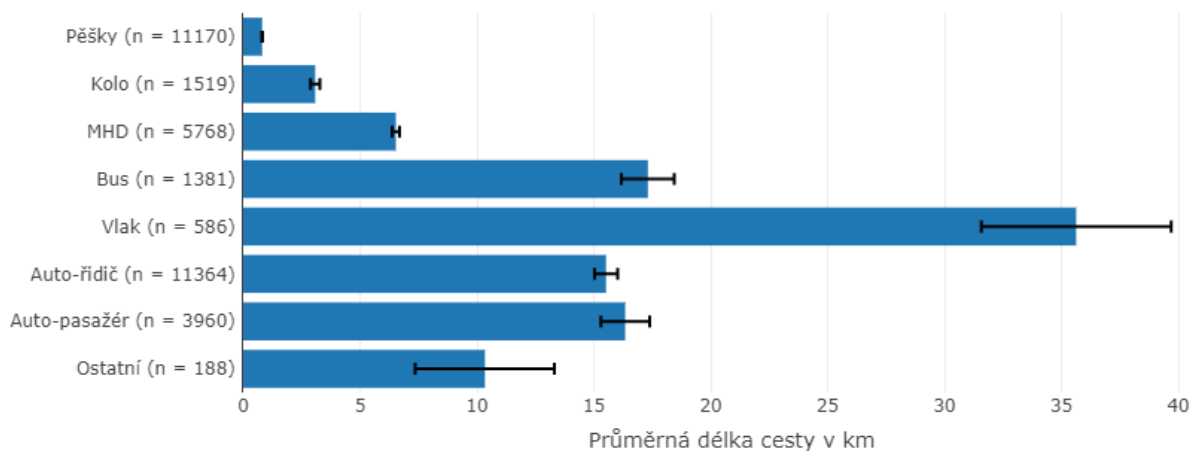
Obrázek 13 – Rozložení cest podle účelu v rámci rozhodného dne pro ČR celkem (zdroj: CDV, 2019).

Následující obrázek č. 14 udává rozdělení cest udávaných v dotaznících podle hlavního dopravního prostředku vztahované k velikostním skupinám obcí. Pro každou uskutečněnou cestu v rámci rozhodného dne byl v dotaznících respondenty zvolen vždy jeden dopravní prostředek. Z výsledků je patrný faktor urbanizace a rurálních oblastí na celkových vykonaných cestách na volbu dopravního prostředku pro uskutečnění cest tamějších obyvatel. Např. u větších měst nad 100 tis. obyvatel je míra využití VHD 38,4 %, což souvisí s mírou rozvoje systému VHD.



Obrázek 14 – Využití dopravních prostředků pro uskutečnění cest podle velikosti obce – počtu obyvatel (zdroj: CDV, 2019).

Filtrováním dat lze dojít ke zjištění, jaká je průměrná vzdálenost cest uskutečněných prostřednictvím osobních automobilů (kromě jiného). Bez rozlišování účelu cesty nám představu o počtu kilometrů jednotlivými dopravními prostředky v průměru za celou ČR udává graf na obrázku č. 15. Pro cesty uskutečněné osobními automobily to je zhruba 15-16 km na jednu cestu.

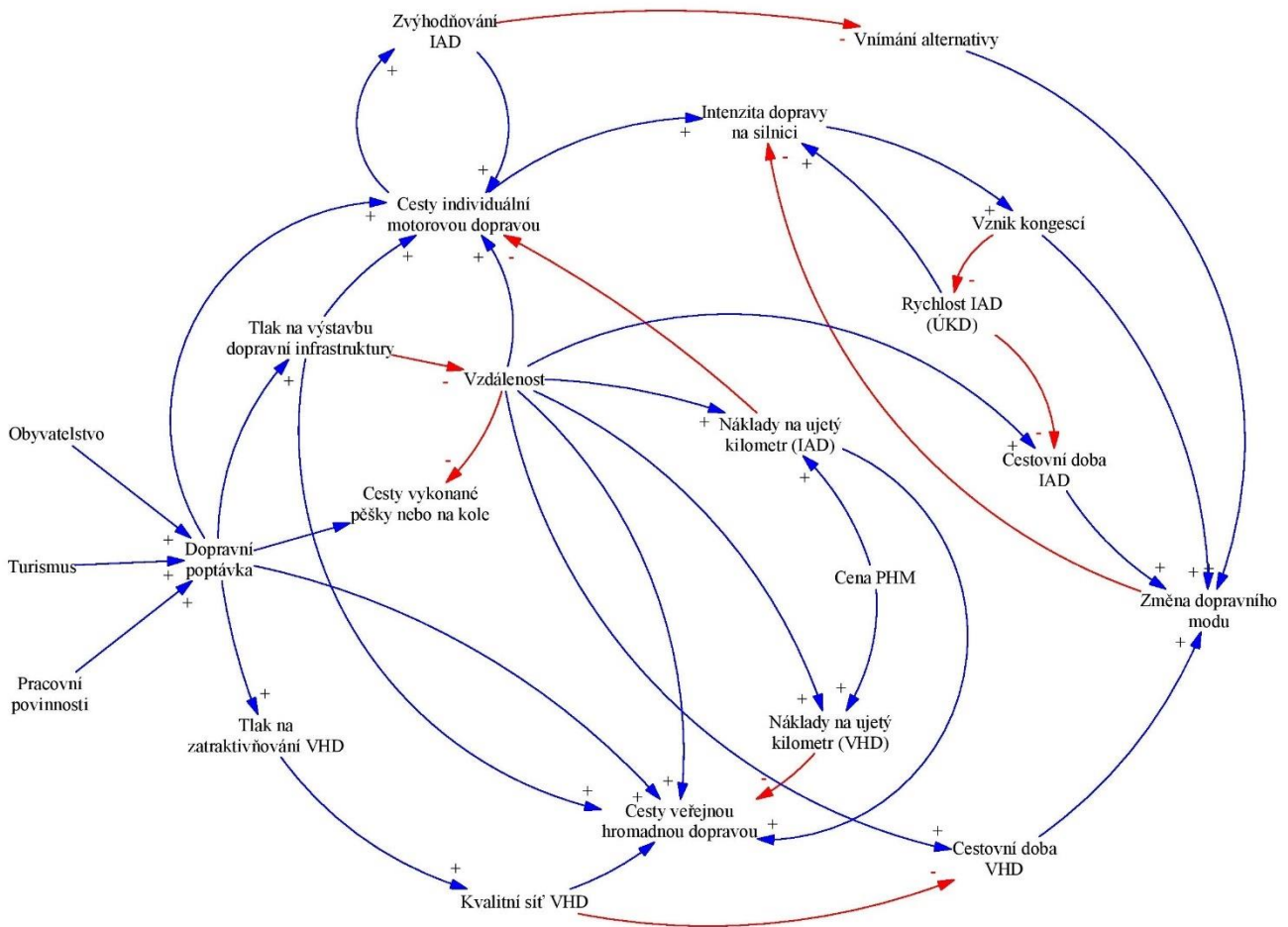


Obrázek 15 – Průměrná délka cesty podle použitého dopravního prostředku v ČR (zdroj: CDV, 2019).

V průměru vykoná dle výsledků průzkumu jeden obyvatel 2,33 cest v běžném pracovním dni. Mediánová délka cest všech cest uskutečněných automobilem je zhruba 8,4 km (polovina všech cest je do vzdálenosti 8,4 km), lze i rozlišit vzdálenosti vykonaných cest podle účelu (CDV, 2019). Výsledná data z tohoto či jiných aktivitně-cestovních průzkumů jsou cenným zdrojem informací spíše při makroskopickém modelování dopravního provozu, zejména v rámci čtyř-úrovňového modelu (kapitola 1.2.1) a následným mikrosimulacím v daném území. Obecně je delší vzdálenost cesty a lokace cíle cesty v území (s přihlédnutím dalších faktorů hovoříme o dostupnosti území) indikátorem toho, že dotyčný pro svoji cestu využije spíše prostředku v podobě individuálního motorového vozidla (uvážujeme-li ovšem i dostupnost VHD v daném území a efektivitu jejího využití). Se zvyšující se kvalitou VHD (krátké intervaly mezi spoji, možnosti přestupu na jiné prostředky VHD v rámci integrovaného dopravního systému, spolehlivost systému, zvýšení jízdní rychlosti a snížení cestovní doby aj.) se dá automobilové dopravě konkurovat i na delší vzdálenosti. Autor Brechan (2017) svým výzkumem potvrdil výstupy ostatních výzkumníků, že zvýšení frekvence dopravních prostředků na linkách VHD (v průměru) generuje více cest v rámci systému VHD. Přitom došel k závěru, že počet cest vzniklých navýšením frekvence je mnohem efektivnější než snížení ceny jízdného.

Z oblasti zkoumání volby dopravního módu u obyvatel jsou dobře známy faktory ovlivňující volbu uživatele jako je dostupnost v prostoru, faktor času (dostat se do cíle co nejrychleji), faktor ceny za dopravu (co nejlevněji), psychologické faktory (zde můžeme zahrnout například i vliv počasí v konkrétní den cesty) aj. (Kunhart, 2008). Vliv účelu cest zde hraje významnou roli – jsou tím myšleny jak každodenní cesty za prací, zaměstnáním, vzděláváním, tak i různé jednorázové cesty na úřady, do nemocničních zařízení, cesty za zábavou ve volném čase, za rekreací, ale například i pracovní cesty apod.

Následující diagram (obrázek č. 16) znázorňuje základní vztahy mezi rozhodovacími kritérii uživatele dopravní infrastruktury (cena, vzdálenost, rychlost aj.) a dalších faktorů, které mají na rozhodnutí volby dopravního prostředku vliv.



Obrázek 16 – Vztahy mezi základními faktory ovlivňujícími volbu dopravního prostředku (zdroj: autor).

Proměna životního stylu obyvatel a obchodního sektoru v posledních dekádách umožnila změnu charakteru dopravní oblasti. Zvýšily se například počty pracovních cest – v Německu od počátku 90. let do roku 2002 vzrostl celkový počet služebních cest přibližně o 7,5 % (Bracher a kol., 2002).

Vliv aktivit obyvatel v jejich volném čase na výsledné objemy dopravy je rovněž nezanedbatelný, i když je to v modelování výsledného silničního provozu hůře uchopitelné z hlediska nárazovosti (nepravidelnosti cest). Rovněž je v případě výzkumu vlivu cest uskutečněných v rámci dovolenkových aktivit na celkové počty cest obyvatel provedeno velmi málo. Se vzrůstající životní úrovní obyvatel existuje předpoklad, že se počet cest v rámci těchto rekreačních aktivit bude zvyšovat. Statistiky v ČR evidují počty cest uskutečněných v rámci tuzemských rekreačních aktivit (rekreace, volný čas, dovolená, návštěva příbuzných a známých) v rámci zahraničních rekreačních aktivit. V roce 2018 bylo uskutečněno na 26,3 milionu cest (delšího i kratšího charakteru) za účelem rekreace s cílovou destinací v tuzemsku (ČSÚ, 2019). Statistiky udávají tyto cesty i ve srovnání mezi jednotlivými kraji a podíl užitého dopravního prostředku – podíl cest vykonaných osobními vozidly a motocykly byl 86 % (ČSÚ, 2019). Podíl cest uskutečněných osobní motorovou dopravou byl u delších zahraničních cest 45 %, u kratších zahraničních cest byl podíl individuální motorové dopravy 70 % (ČSÚ, 2019).

4.1.8. Vliv funkčního využití území a podíl suburbanizace na změně dopravních výkonů

Co se volnočasových aktivit obyvatel týče (viz předešlá kapitola), čím dál více se objevuje spojení mezi lokací volnočasových cílů obyvatel a funkčního rozložení území. Adekvátní rozložení cílů cest (lokální obchody, kulturní vyžití, lékař apod.) v rámci území může vést k podpoře vykonávání krátkých cest obyvatel, které nevyžadují využití motorové dopravy (Reutter a kol., 2003).

V oblasti dopravního plánování (obecně územního plánování) je tendence k zefektivnění využití území ve vztahu k udržitelnému rozvoji, a tedy i ve vztahu k prognóze objemů dopravy v daném území. Zkracováním vzdáleností nutných pro uskutečnění cesty obyvatel se však mohou vytvářet podmínky pro snižování motorové dopravy v daném území (nemusí to být tedy zejména primárně restriktivní opatření ze strany regionální samosprávy). Ruku v ruce s rozvojem sítě veřejné hromadné dopravy a atraktivňováním celého systému VHD, tedy i jejím plánováním v rámci územního rozvoje, je možné postupně snižovat intenzity motorové dopravy. K pochopení celého problému je ovšem nutná dokonalá znalost potřeb obyvatel (minimálně co se týče základních věcí pro plánování), tedy i znalost o jejich dopravním chování.

Zároveň dochází ke zvyšování dostupnosti jednotlivých území motorovou dopravou, zkracují se vzdálenosti nutné na uskutečnění cesty a spádová oblast center se zvětšuje. Tedy zejména je to patrné na hranicích větších měst, které se pozvolna (mnohdy i rapidně) rozšiřují. Dle Taylora (2011) se zdá, že v evropských městských aglomeracích míra cest uskutečněných dojíždějícími obyvateli do center z širšího okolí není natolik výrazná jako v urbanistických celcích ve Spojených státech amerických.

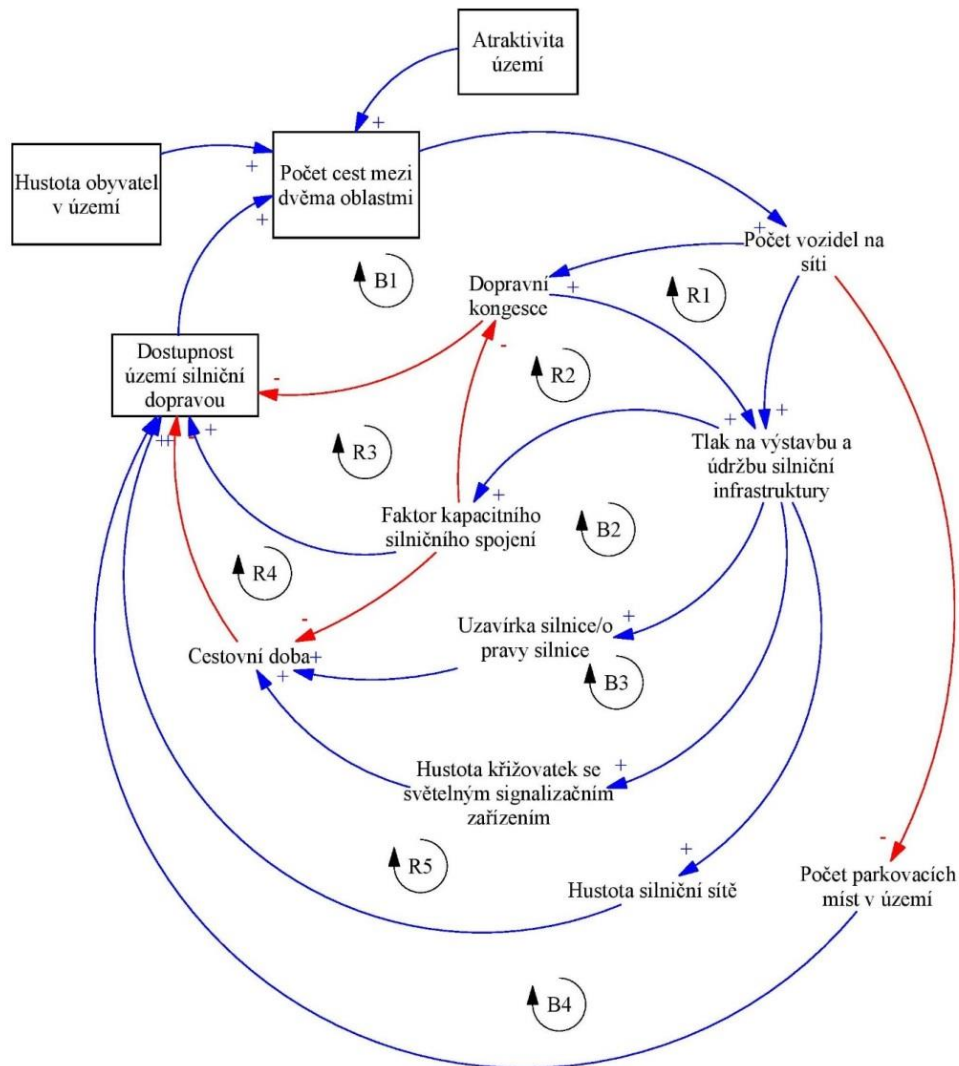
Xia a kol. (1999) vyvinuli mnohonásobný regresní model pro odhad ročního průměru denních intenzit dopravy (RPDI) na regionálních silnicích ve státě Florida a zjistili, že nejdůležitějšími přispívajícími prediktory jsou parametry vozovky spolu s typem území, zatímco socioekonomické proměnné mají nevýznamný dopad na výsledné RPDI.

Studie autora Lowryho (2014) přinesla metodu pro interpolaci RPDI s využitím nástrojů síťové analýzy a teorie grafů. Nová metoda využívala proměnné, které jsou odvozeny prostřednictvím modifikované formy centrality - metriky síťové analýzy, která kvantifikuje topologický význam spojení v síti. Ve svých výpočtech bral v potaz faktor centrality společně s hustotou obyvatel a hustotou silniční sítě v daném území, ve výpočtech byla dále zohledněna i šířková uspořádání jednotlivých silničních komunikací. Případová studie přinesla kvalitní výsledky na vysoké úrovni (Lowry, 2014).

Autoři Sarlas a Axhausen (2016) vytvořili model pro predikci ročních průměrů denních intenzit dopravy na konkrétních úsecích silniční sítě na základě dostupnosti území s využitím metody Lowryho. Svoji práci prokázali, že tato metoda je celkem dobře uchopitelná v rámci čtyř-úrovňových dopravních modelů s celkem dobrou přesností (Sarlas a Axhausen, 2016).

Je obecně známo, že silniční průtahy městy mají negativní dopad na okolní prostředí, zejména díky tomu že tranzitní doprava se v mnoha případech na celkových intenzitách dopravy podílí nemalou měrou. Neexistence obchvatů měst je v dnešní době (zejména v České republice) ožahavým tématem. Bauer a kol. (2008) svým výzkumem zjistili, že určité procento obyvatel měst žijících v těsné blízkosti silničních průtahů městem se právě z důvodu nadměrného dopadu z okolní dopravy uchyluje k cestování za relaxací a přírodou více než obyvatelé jiných částí měst. Navíc tímto psychologicko-sociologickým výzkumem bylo zjištěno, že ke svým cestám mimo město využívají rovněž automobil, což je z tohoto pohledu jistě generování nové automobilové dopravy.

Na základě rešerše výsledků z výzkumných aktivit výše uvedených autorů a z obecně známých (vědeckou komunitou přijatých) faktů, autor této práce vytvořil zjednodušený diagram kauzálních vztahů, kterým se snažil graficky vyjádřit význam atributů spojených s tzv. dostupností území na generování dopravních objemů (zejména ve vztahu k individuální automobilové dopravě). Jak již bylo uvedeno v kapitole 1.2 této práce, v oblasti čtyř-úrovňového modelování dopravy se mohou brát v potaz další faktory, které ovlivňují počet cest mezi jednotlivými oblastmi v území, popřípadě volbu dopravního prostředku. Jsou to zejména ekonomické náklady, popřípadě další generalizované náklady. Diagram kauzálních smyček (obrázek č. 17) znázorňuje vztahy mezi jednotlivými proměnnými, které ve výsledku vedou k využívání dopravní sítě obecně.



Obrázek 17 – Vliv dostupnosti území silniční dopravou na dopravní objemy (zdroj: autor).

Systém je definován proměnnými, které tvoří smyčky mající vliv na dynamiku celého systému. Základem je úvaha z oblasti dopravní obslužnosti a dostupnosti území. Čím vyšší je akcesibilita, tím roste počet cest vykonaných obyvateli. Pod pojmem akcesibilita si lze představit např. počet přímých spojení v síti, součet spojení uzlu se všemi uzly v dané síti, součet vzdáleností ke všem ostatním uzlům v síti (všechny tři hlediska z teorie grafů), hledisko generalizovaných nákladů, popřípadě je možné použít pouze hledisko času. Počty cest jsou dále generovány na základě atraktivity území – např. počet pracovních příležitostí, plocha nákupních center aj. (viz kapitola 1.2) a počtem obyvatel (lze využít i hustotu obyvatel v území, vztahujeme-li dopravní síť a území k ploše).

Generované počty cest mezi oblastmi v území vytváří výsledné počty dopravních prostředků na silniční síti (bez přihlídnutí k jiným dopravním modům segregovaným od silniční infrastruktury). Nárůst počtu dopravních prostředků na silniční síti může vést k vytváření dopravních kongescí na úsecích se saturací dopravních toků blížící se kapacitě pozemní komunikace. Dopravní kongesce zvyšují cestovní dobu a snižují dostupnost území silniční dopravou, čímž je uzavřena rovnovážná smyčka (B1).

Nárůst počtu vozidel vede k tlaku na územní samosprávu (respektive jiné správy pozemních komunikací) na výstavbu nových pozemních komunikací, zároveň k tlaku na opravy a modernizaci stávající silniční infrastruktury. Zvyšováním kvality sítě se zvětšují i parametry silnic – např. přidáním nebo rozšířením jízdních pruhů (v diagramu označeno obecně jako „faktor kapacitního silničního spojení“), což zvyšuje dostupnost území silniční dopravou (R1). Zároveň existence dopravních kongescí vytváří také tlak na rozšiřování dopravní infrastruktury, čímž se částečně eliminuje opět vznik kongescí (R2 a R3). Nutno podotknout, že zde jsou zanedbány vlivy, které primárně mohou řešit redukování silniční dopravy. Faktor kapacitního spojení má rovněž vliv na výslednou cestovní dobu. Sniží-li se cestovní doba, zvýší se z hlediska času i dostupnost území, čímž je uzavřena další posilující smyčka (R4). Rozvojem silniční infrastruktury se zvyšuje hustota silniční sítě, která zvyšuje dostupnost území silniční dopravou (R5).

Rozvoj dopravního systému vede k dopravním opatřením v podobě silničních uzavírek, dále zejména v městském prostředí k nutnosti koordinace dopravy v uzlech sítě (výstavba křižovatek pozemních komunikací se světelným signalizačním zařízením). Toto vše vede k navyšování cestovní doby a z hlediska času ke snížení dostupnosti území silniční dopravou a jsou tak vytvořeny rovnovážné smyčky (B2 a B3). Další rovnovážná smyčka (B4) byla definována na základě úvahy, že vyšší počet dopravních prostředků na silniční síti v území vede k vysoké obsazenosti parkovacích míst v daném území, tedy k možnosti zaparkování vozidla a ke snižování výsledné dostupnosti území silniční dopravou.

Na tomto základě je možné jednotlivé indikátory (proměnné) pro konkrétní území kvantifikovat a aplikovat na diagram toků a stavů, a modelovat změny v dynamice celého systému.

Současné nárůsty počtu vozidel IAD na silnicích je možné zvrátit (minimálně zvolnit růst) různými moderními trendy v oblasti dopravního-inženýrství, dopravního plánování, ale i komerčními projekty a rozhodováním samospráv na regionální nebo národní úrovni (kromě snahy o zefektivnění celého systému VHD). Je skutečností, že tímto zpoplatněním ale dochází k vyšším příjmům do rozpočtu samospráv, které je možné využít na rozvoj dopravní infrastruktury a tím pádem i zvýšení nabídky pro uživatele dopravního systému. Zvyšování nákladů na použití osobního automobilu (např. zavedení zpoplatnění parkování, zvýšení poplatků za parkování nebo zpoplatnění vjezdu do center měst apod.) je mnohdy účinné, ale bez adekvátního přístupu k úměrnému rozvoji a podpoře VHD toto není ze sociologického hlediska příliš vhodným řešením. Například systém záchytných parkovišť (P+R) na okrajích měst v kombinaci se systémem veřejné hromadné dopravy pro dojíždějící nabízí celkem pohodlnou alternativu. Řidič/cestující odstává své vozidlo na P+R ploše, odkud se prostředkem VHD dostane do místa svého cíle v rámci města. Je však nutné celý systém řešit koncepčně a podpořit tuto možnost u zákazníků (řidičů) ze strany zodpovědných orgánů – např. zvýhodněné jízdné nebo parkovné na P+R ploše zdarma.

V dnešní době je také vidět nabídka sdílení vozidel pro různé účely (carsharingu), i když zejména v rámci komerčních aktivit subjektů. Pomineme-li psychologický faktor, tak i nabídka bicyklů pro sdílení jízdy (Bikesharing) umožňuje jednorázovou i kontinuální alternativu pohybu po městě. V případě dojížděk do zaměstnání (popř. do škol) se laboruje s pojmem „sdílení jízdy“ (ridesharing),

kdy spolupracovníci sdílejí vozidlo pro cestu do zaměstnání. Nejen pro tyto účely nám v tomto napomáhá informatika – vznikají různé internetové portály, kde uživatel dohledá případného řidiče, který cestuje stejným směrem (či přímo do cíle) a domluví se s ním na spolujždě. Projekt Movecit, který se zaměřil na identifikaci opatření zvyšující podíl udržitelné mobility, přinesl zjištění, že 40-60 % cest na vzdálená pracoviště v západních zemích Evropy je uskutečňováno vozidlem s pouze jednou osobou (Šindelář, 2018).

4.1.9. Technologické výzvy pro udržitelnou mobilitu

Se stále pokročilejšími technologiemi (zejména v oblasti informačních technologií) se mění i silniční doprava a mobilita jako celek. Inteligentní dopravní systémy, které jsou již nyní např. v oblasti řízení dopravního proudu zcela zásadní, byly ještě před celkem nedávnou dobou na silniční síť implementovány jen poskrovnu. Obdobné je to v automobilovém průmyslu – výrobci automobilů přicházejí se stále novými technologickými vymoženostmi, které mají řidiči ulehčit proces řízení a poskytnout jim (ale i jiným účastníkům provozu) vyšší bezpečnost. Jedná se o různé podpůrné systémy ve vozidle založené zejména na informačních a jiných elektronických technologiích (hlídání jízdy vozidla v jízdním pruhu, hlídání dostatečného odstupu od ostatních vozidel aj.).

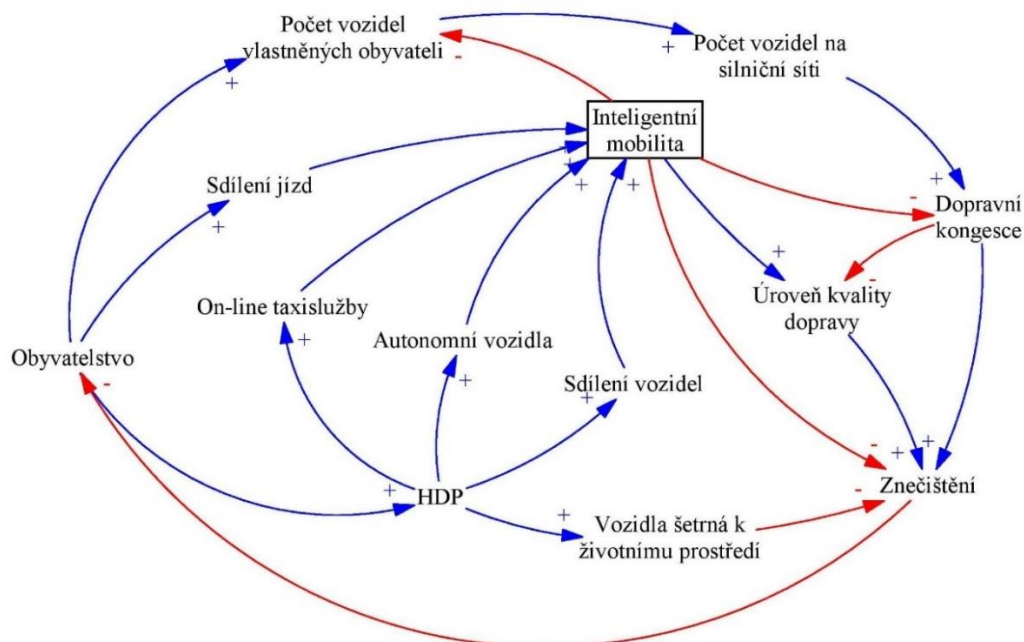
Jako „science fiction“ by se pro někoho mohlo jevit i vozidlo, které řídí samo bez zásahu řidiče a kooperuje s ostatními vozidly v provozu, avšak postupně se i toto stává realitou – jednak se do vývoje těchto automobilů vložily pod vidinou zisku komerční subjekty (automobiloví výrobci, ale i giganti v oblasti informačních technologií), ale i jednotlivé státy světa, jež tuto „vizi“ implementují do strategických plánů rozvoje tamějších dopravních systémů, a celá řada výzkumných projektů a studií na toto téma byla, je a bude zpracována. Dle mnohých studií totiž takovýto systém založený na autonomních vozidlech, která na dopravní síti navzájem kooperují (zároveň i s inteligentními dopravními systémy s propojením na internet věcí, využitím neuronových sítí, tzv. „velkých dat“ aj.) přináší benefity v mnoha oblastech. V dopravě to může přinést zkvalitnění dopravního proudu a vyšší bezpečnost dopravního provozu (obě na základě odstranění chyb způsobených lidským faktorem) a snížení dopadu dopravy na životní prostředí díky systémovému zefektivnění jízdy vozidel (Lim a Taeihagh, 2018).

Není však zcela jasné, jakým způsobem bude mít provozování systému kooperujících autonomních vozidel vliv na výsledné intenzity dopravy na silnicích. Vědeckou komunitou je obecně přijímáno, že ve výsledku bude plně integrovaný systém snižovat celkové objemy vozidel, zejména díky faktu, že tato vozidla budou komunitami lidí ve městech sdílena (Kan a kol., 2015). Ovšem mohou se očekávat i nárůsty počtu vozidel na silnicích vzhledem k faktu, že takováto vozidla budou hojně využívat starší a méně pohybliví občané (a v mnoha zemích populace stárne), ba dokonce i děti samotné (Parkin a kol., 2018). Pomineme-li ostatní benefity v sociální a ekonomické oblasti, ale i nevýhody takovéhoho systému, předpokládá se, že plnohodnotný systém (tedy i adekvátní infrastruktura) s napojením na prvky řízení dopravy bude mít v konečném důsledku efekt v podobě snížení počtu vozidel na silnicích. Vzhledem k faktu, že se uvažuje v tomto systému převážně s elektrickými vozidly, minimalizace dopadu na životní prostředí (z hlediska exhalací) bude výrazné zlepšení a jedině toto se ve studiích dokáže exaktně prokázat (Park, 2018). Dle některých studií rozvoj autonomní mobility může napomoci i výkonům ve veřejné hromadné dopravě, pokud se tyto systémy integrovaly s akcentem na preferenci VHD, což by bylo více než žádoucí v dnešní době (McChristian a Corbett, 2016).

V dnešní době je však více znatelnější, jak se propojuje doprava s internetem, vzhledem k všemožným aplikacím a projektům tzv. „on-line“ dopravy. O to více internet pak napomáhá tím, že se data z aplikací dají využít pro plánování dopravního systému v území, respektive dá se z využívání těchto

on-line systémů např. zjistit dopravní chování a otázka volby dopravního prostředku v socio-ekonomickém členění (Konečný a kol., 2019). Mobilní telefony a internet napomáhají i s monitoringem stavu dopravního provozu. Rovněž sdílení kol (komerční) v městských oblastech je myslitelné pouze s využitím on-line aplikací v mobilních telefonech. Podobně existují aplikace pro sdílení vozidel nebo pro sdílení konkrétních jízd z bodu A do bodu B. Autoři Jorge a Correia (2013) svojí studií a rozsáhlou rešerší poskytují důkazy o tom, že vyžívání služeb v oblasti sdílení vozidel má přímou souvislost se snižováním počtu vozidel na silnicích. Různé studie dále prokázaly, že modely sdílených vozidel mají vliv na redukci počtu vozidel vlastněných obyvateli území (Haefeli a kol., 2006; Martin a kol., 2010) a dále, že uživatelé systému sdílených vozidel častěji využívali alternativní druhy dopravy jako je veřejná hromadná doprava, cyklistická nebo pěší doprava (Cervero a Tsai, 2004; Katzev, 2003). Toto vše (a mnoho dalšího s využitím inteligentních dopravních systémů) bychom mohli shrnout pod pojem inteligentní mobilita.

Na následujícím obrázku je diagram kauzálních smyček, na kterém jsou patrné vztahy inteligentní mobility se zásadními aspekty, na které může mít plnohodnotný systém inteligentní mobility dopad (obrázek č. 18).



Obrázek 18 – Kauzální vztahy při zavádění prvků inteligentní mobility (zdroj: autor).

Diagram je vytvořen na základě provedené rešerše (se zdroji uvedenými výše) zejména v oblasti zavádění autonomních vozidel do silničního provozu a dopadu takového systému na výsledné počty vozidel na silnicích. Hypotetické vztahy jsou vytvořeny na základě fungování plnohodnotného systému autonomních vozidel, soužících jako sdílený systém, s naprostou většinou vozidel již kooperujících mezi sebou a s jednotlivými prvky inteligentní mobility a dopravní infrastruktury. Vzhledem k faktu, že prozatím nelze prokázat (respektive kvantifikovat) k jakým změnám přímo nastane v počtech vozidel operujících na silnicích, úvaha směřuje k tomu, že spíše dojde ke snížení počtu vozidel vlastněných obyvateli. Na základě myšlenky sdílení autonomních vozidel a provázání s prvky veřejné hromadné dopravy se dá tvrdit, že v oblasti individuální automobilové dopravy dojde minimálně k zastavení růstu úrovně automobilizace. Ovšem bude na toto potřeba pohlížet z různých úhlů pohledu, vše bude záviset na přístupu vlád jednotlivých států, propagaci takového systému, míře

integrace dopravních systémů, rychlosti výstavby související infrastruktury apod. Se zkvalitněním dopravního proudu souvisí i vyšší míra bezpečnosti silničního provozu.

Další hypotetický dopad inteligentní mobility je na kvalitu dopravního proudu díky kooperujícím vozidlům optimalizujícím charakteristiku jízdy jednotlivých vozidel. Společně s ostatními prvky inteligentní mobility (převážně informační technologie pro řízení dopravního proudu na silnicích) je možné zamezit i vzniku kongescí, pokud je ovšem dostatečná hustota silniční sítě. Zvyšující se kvalita dopravního proudu vede ke snižování objemu exhalací z dopravy a předpokládá se, že samotný systém inteligentní mobility bude snižovat dopad z dopravy na životní prostředí (nejen s vyšší mírou využití elektrických vozidel).

4.2. Praktická ukázka aplikace diagramu toků a stavů na modelu odhadu poměru nabídky a poptávky po přepravě

Pro demonstraci teorie dalšího z nástrojů systémové dynamiky – diagramu toků a stavů a jeho aplikace v dopravní oblasti je uveden autorem vytvořený model na odhad hodnoty poměru nabídky a poptávky přepravy v rámci konkrétního území v čase. Model je vztažen na každodenní cesty obyvatel daného území a propojen funkčními vazbami se socio-ekonomickou oblastí.

Obecně jsou diagramy toků a stavů vhodné pro makroskopické modelování, kde je zohledněno mnoho dalších mezioborových faktorů, které mají vliv na sledované proměnné. Tyto modely pak při správném nastavení proměnných a jejich vzájemných vztahů mohou integrovat různé subsystemy, např. environmentální-sociální-ekonomické. Dají se však využít i pro modelování specifických problémů v dopravě. Například autoři Miller a Clarke (2007) vytvořili jednoduchý model pro odhad kapacity vzletové a přistávací dráhy na letišti na základě různých vlivů, které do modelu vstupují. Je potřeba si uvědomit, že většina modelů v systémové dynamice není navržena tak, aby předpovídala budoucí vývoj zkoumaného systému, ale tak, aby zobrazovala dynamické chování daného systému.

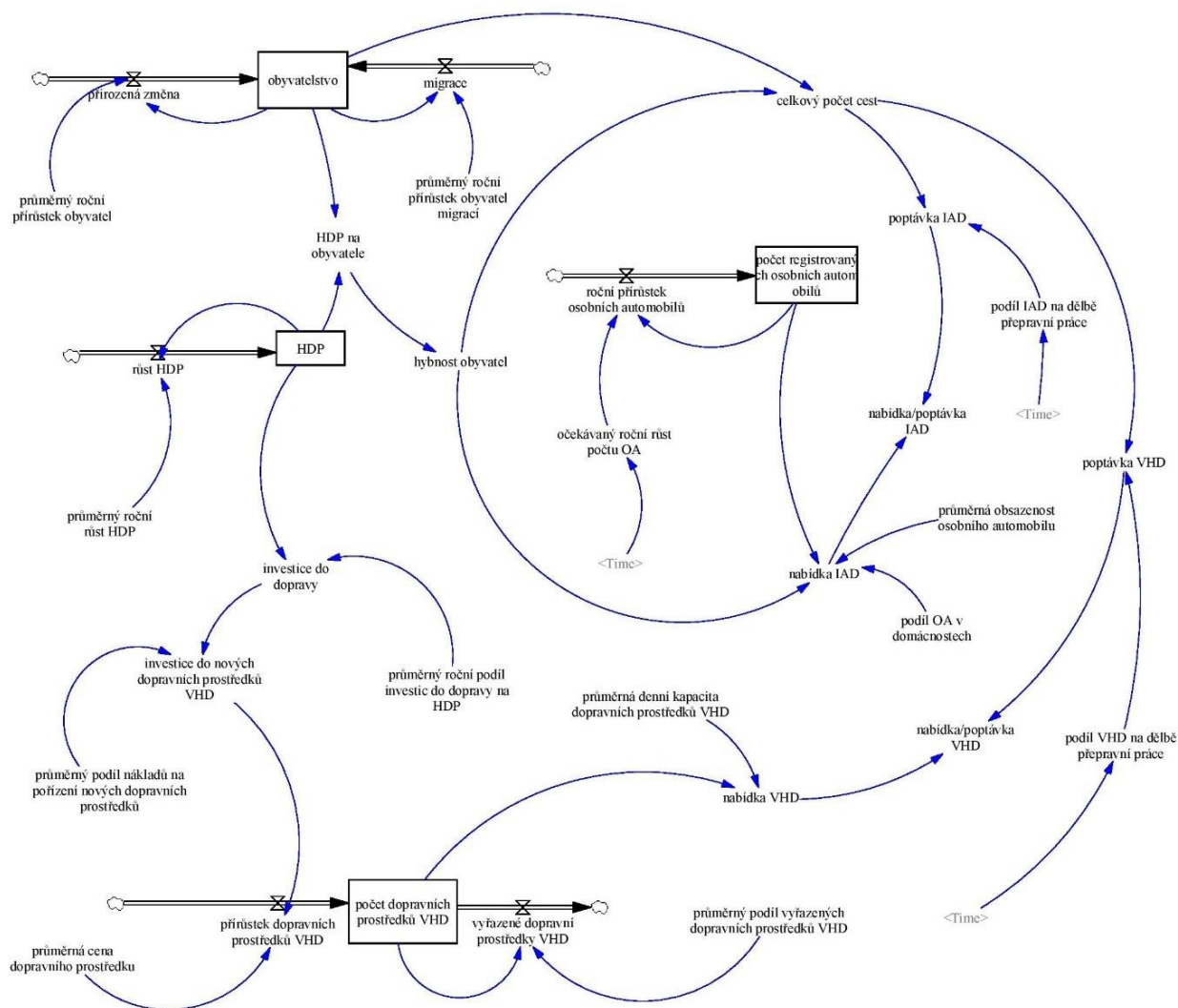
4.2.1. Teoretický základ modelu

Následující příklad je demonstrací aplikace diagramu toků a stavů pro zkoumání chování systému, kde vstupují základní proměnné, které ovlivňují poptávku a nabídku po přepravě v rámci určitého území (např. v rámci městské oblasti). Jedná se o zjednodušený model, s absencí dalších zásadních faktorů, které na generování cest v rámci území mají vliv. Důvodem pro toto zjednodušení je fakt, že se jedná pouze o názornou ukázkou aplikace základních funkcionalit diagramu toků a stavů v rámci modelu systémové dynamiky, zároveň vycházející z logického základu, a je možné jej dále rozšířit. Rovněž je model omezen pouze na dva dopravní módy – individuální automobilovou dopravu (IAD) a veřejnou hromadnou dopravu (VHD). Do takto zjednodušeného modelu je zároveň zakomponován prvek, který kvantitativně vyjadřuje stav dopravního systému v podobě poměru nabídky a poptávky cest v dopravě. Poptávka je zde vyjádřena jako teoretický počet všech možných cest, které mohou obyvatelé území uskutečnit v rámci běžného dne v roce a nabídka je teoretická okamžitá kapacita dopravních prostředků v jednotlivých druzích dopravy vztažena opět k běžnému dni v roce. Pro oba druhy dopravy je tedy možné odhad poměru nabídky těchto cest a poptávky po cestách vyjádřit takto:

$$\text{Poměr nabídky a poptávky po přepravě} = \frac{\text{Nabídka přepravní kapacity}}{\text{Poptávka po cestách}} \quad [-] \quad (17)$$

Tento poměr nabídky a poptávky po přepravě udává jakýsi stav dopravního systému v daném území a očekává se, že vyšší hodnota znamená větší flexibilitu dopravního systému a schopnost pokrývat

poptávku po přepravě bez větších obtíží. Zároveň, vztahujeme-li tento poměr na stav jednotlivých dopravních módů, lze tím vyjádřit i míru udržitelného druhu dopravy (VHD) v takto pojatém modelu a porovnat se stavem v individuální automobilové dopravě. Strukturu modelu s jednotlivými proměnnými, které jsou dále podrobněji popisovány, je znázorněna na obrázku č. 19.



Obrázek 19 – model pro stanovení nabídky a poptávky v IAD a VHD

Model je založen na základních stavech, tocích, jednotlivých proměnných a kvantifikovatelných vztazích mezi nimi. Na tomto příkladě jsou využity stavy v podobě počtu obyvatel v daném území, výše HDP daného regionu, počet dopravních prostředků ve VHD a počet registrovaných osobních automobilů. Tyto stavy jsou ovlivňovány toky a různými dalšími proměnnými, které budou podrobněji popsány dále.

Při kvantifikaci počátečních hodnot proměnných v modelu bylo částečně vycházeno ze skutečných dat, které bylo možné získat (zejména se jedná o statistická data z Jihočeského kraje) a částečně z dat stanovených odborným odhadem autora po konzultaci s odborníky v daných oblastech. Z tohoto důvodu nebylo možné dále model verifikovat a jedná se skutečně pouze o demonstraci aplikace teorie systémové dynamiky na příkladu z dopravní oblasti.

Stav obyvatel v regionu je přímo dán aktuálním počtem obyvatel, mírou přirozeného úbytku/přírůstku obyvatel a úbytku/přírůstku obyvatel migrací. Kvantifikace vztahů mezi počtem obyvatel, přirozenou změnou a mírou migrace lze provést následujícím způsobem:

$$\text{obyvatelstvo}(t_n) = \int_{t_0}^{t_n} \text{přirozená změna}(x) + \text{migrace}(x)dx + \text{obyvatelstvo}(t_0) \text{ [ob.]} \quad (18)$$

Počet obyvatel v čase t_0 představuje počáteční hodnotu počtu obyvatel v modelu, kterou lze získat ze statistických dat. V modelovém příkladu se zjednodušeně uvažuje s přírůstkem obyvatel každý rok – opět se jedná o zjednodušený sub-model popisující stav počtu obyvatel v čase. Tedy „přítok“ stavu v podobě přirozené změny počtu obyvatel je dán průměrným ročním přírůstkem obyvatel. Míru změny stavu lze v rámci modelu jednoduše vyjádřit následovně:

$$\text{přirozená změna} = \frac{\text{počet obyvatel} * \text{průměrný roční přírůstek obyvatel}}{100} \text{ [obyvatel]} \quad (19)$$

V modelu je průměrný roční přírůstek dán procentuální konstantní hodnotou, která může být zjištěna ze statistických dat v rámci zkoumaného území. Analogicky je potom změna počtu obyvatel migrací dána průměrným ročním přírůstkem migrací obyvatelstva, který je rovněž ve zjednodušeném modelu založen na základě procentuální konstantní hodnoty a vychází opět ze statistických dat.

Stav v podobě výše HDP je dán opět počáteční hodnotou HDP a mírou „přítoku“, který je vyjádřen růstem HDP v Kč/rok. Kvantifikace vztahů mezi výší HDP a růstem HDP lze provést následovně:

$$\text{HDP}(t_n) = \int_{t_0}^{t_n} \text{růst HDP}(x)dx + \text{HDP}(t_0) \text{ [Kč]} \quad (20)$$

Zjednodušený sub-model dále obsahuje procentuální konstantní hodnotu představující průměrný roční růst HDP. Opět lze vycházet ze statistických dat za určité období a roční míru růstu HDP je potom možné stanovit následovně:

$$\text{růst HDP} = \frac{\text{HDP} * \text{průměrný roční růst HDP}}{100} \text{ [Kč]} \quad (21)$$

Sub-model pro stanovení dalšího stavu v podobě **počtu dopravních prostředků ve VHD** (následně pro stanovení nabídky přepravy ve VHD) je propojen s výše uvedeným ekonomickým sub-modelem opět pro názornou ukázkou, jak lze s tímto nástrojem systémové dynamiky pracovat. Uvažujeme-li část finančních dopravních prostředků (v rámci HDP regionu), které jsou alokovány na investice do dopravy, lze je vyjádřit opět jednoduše průměrným ročním podílem investic do dopravy a aktuální výší HDP následovně:

$$\text{investice do dopravy} = \frac{\text{HDP} * \text{průměrný roční podíl investic do dopravy na HDP}}{100} \text{ [Kč]} \quad (22)$$

Z uvedeného vztahu je patrné, že průměrný roční podíl investic do dopravy je vyjádřen procentuální hodnotou z výše HDP. Z výše investic do dopravy lze obdobným způsobem stanovit množství finančních prostředků, které byly vynaloženy na nákup nových dopravních prostředků ve VHD, uvažujeme-li vztah mezi finančními prostředky investovanými celkově do dopravy a průměrným podílem nákladů na pořízení nových dopravních prostředků ve VHD následujícím způsobem:

$$\text{investice do nových DP} = \frac{\text{investice do dopravy} * \text{průměrný podíl nákladů na pořízení nových DP}}{100} \text{ [Kč]} \quad (23)$$

Výsledná hodnota finančních prostředků vynaložených na pořízení dopravních prostředků VHD potom tvoří počáteční hodnotu jedné z proměnných ovlivňující roční přírůstek dopravních prostředků VHD, která představuje změnu stavu. Kvantifikaci vztahu mezi investicemi do nových dopravních prostředků VHD a průměrnou cenou dopravního prostředku je potom možné provést následovně, čímž je získána změna stavu v podobě přírůstku dopravních prostředků:

$$\text{přírůstek dopravních prostředků} = \frac{\text{investice do nových DP}}{\text{průměrná cena dopravního prostředku}} \quad [\text{dopravní prostředky}] \quad (24)$$

Tato změna stavu vyjadřuje roční přírůstek dopravních prostředků VHD, která je zjištěna výše uvedenou strukturou, avšak je samozřejmě vhodné uvažovat s dalšími vlivy (proměnnými), kterými se bude daný sub-model přibližovat reálnému stavu více. Názorná ukázka, jak doplnit stav o úbytek v čase je přidání „odtoků“ v podobě vyřazených dopravních prostředků VHD, které jsou dány počtem dopravních prostředků VHD v daném roce a zjednodušenou procentuální konstantní hodnotou představující průměrný každoroční podíl vyřazených dopravních prostředků VHD na celkovém počtu dopravních prostředků VHD dle vztahu:

$$\text{vyřazené DP VHD} = \frac{\text{počet DP VHD} * \text{průměrný podíl vyřazených DP VHD}}{100} \quad [\text{dopravní prostředky}] \quad (25)$$

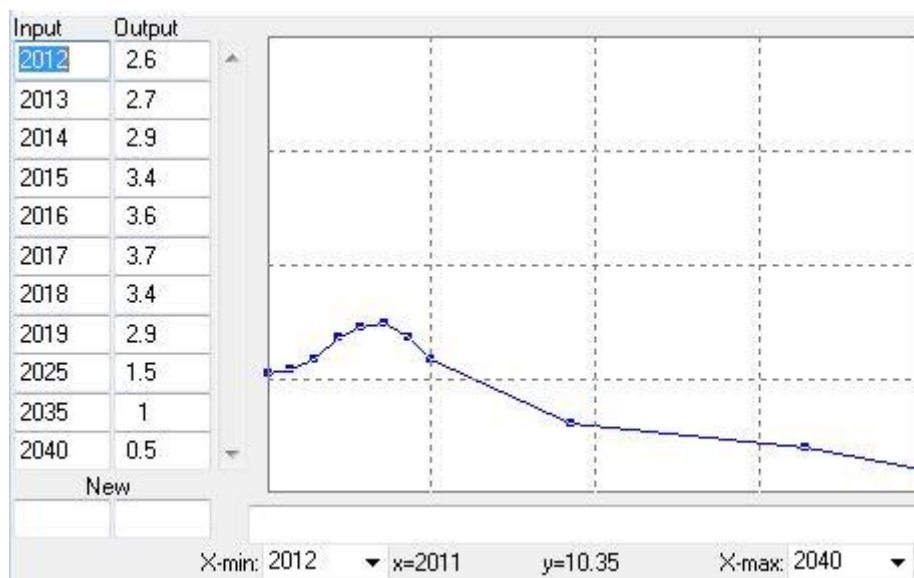
Kvantifikace vztahu mezi výslednou hodnotou ročního přírůstu dopravních prostředků VHD, počtem vyřazených dopravních prostředků VHD a stavu v podobě výsledného počtu dopravních prostředků VHD pro každý z kroků (roků) modelu lze vyjádřit následovně:

$$\text{Počet DP VHD}(t_n) = \int_{t_0}^{t_n} \text{přírůstek DP VHD}(x) - \text{vyřazené DP VHD}(x) dx + \text{počet DP VHD}(t_0) \quad (26)$$

Nutno podotknout, že se jedná o silniční dopravní prostředky v rámci VHD a není zde zohledněna železniční doprava. Toto platí pro celý model, respektive stanovení nabídky a poptávky ve VHD je vztaženo k silničním dopravním prostředkům VHD, tedy i podíl VHD na realizovaných cestách (viz dále) je brán z průzkumu dopravního chování obyvatel v souvislosti s využitím regionální autobusové dopravy a MHD, a nebyl zde započítáván podíl železniční dopravy na dělbě přepravní práce v regionu.

Dalším ze stavů, které budou následně generovat přepravní nabídku, je počet **registrovaných osobních automobilů** v daném regionu. Údaje o počtech registrovaných osobních automobilů lze získat ze statistických dat a záměrně tvoří další sub-model, který není propojený přímo se socio-ekonomickými sub-modely, i když v rámci rešerše uvedené v předešlých částech této práce byly příčinné vztahy mezi ročním přírůstkem osobních automobilů a určitými socio-ekonomickými proměnnými nalezeny. Ale například přímý příčinný vztah mezi ročním přírůstkem osobních automobilů a výší HDP dle všeho neexistuje.

V modelovém příkladě je opět pro názornost průměrný procentuální roční růst počtu osobních automobilů nahrazen očekávanými hodnotami v průběhu dalších 20 let. Toto je umožněno další funkcí tohoto nástroje, kdy se očekávaná křivka vývoje počtu osobních automobilů zadá prostřednictvím grafu. Na následujícím obrázku č. 20 je výřez z pracovního prostředí programu Vensim s grafem, kde jsou zadány pro období let 2012-2019 skutečné hodnoty ročního růstu počtu osobních automobilů a od roku 2020 je autorem očekávaná křivka s uvážením, že se tempo růstu počtu osobních automobilů bude zpomalovat. Samozřejmě, že v budoucích letech může dojít i k poklesu počtu osobních automobilů v meziročním srovnání vzhledem k technologickému vývoji v dopravě. Demonstrativní údaje o ročním růstu počtu osobních automobilů byly získány z historických dat, které jsou k dispozici na portále ČSÚ, a jsou vztažena k Jihočeskému kraji.



Obrázek 20 – Trend vývoje růstu počtu osobních automobilů pro jednotlivé roky

V modelu je proměnná „očekávaný roční růst OA“ v této souvislosti ovlivněna funkcí času, která je v diagramu znázorněna jako „stínová“ proměnná <Time>. Takto zadané hodnoty v procentech budou mít vliv na dynamiku sub-systému, který generuje každoročně počty osobních automobilů – přímo ovlivňuje „přítok“ stavu v podobě absolutní hodnoty ročního přírůstku osobních automobilů a vztah mezi počtem registrovaných osobních automobilů a očekávaného ročního růstu počtu OA lze opět zjednodušeně vyjádřit následovně:

$$\text{roční přírůstek OA} = \frac{\text{počet registrovaných OA} * \text{očekávaný roční růst počtu OA}}{100} \quad [\text{osobní automobily}] \quad (27)$$

Počet registrovaných osobních automobilů je stavová veličina a lze ji opět zapsat jako integrál ročního přírůstku osobních automobilů v čase:

$$\text{počet registrovaných OA}(t_n) = \int_{t_0}^{t_n} \text{roční přírůstek OA}(x) dx + \text{počet registrovaných OA}(t_0) \quad (28)$$

Nabídka všech možných cest s využitím VHD je v modelu dána celkovou kapacitou dopravních prostředků VHD na síti za běžný pracovní den. Stanovením kapacity dopravních prostředků VHD lze docílit zavedením proměnné v podobě průměrné denní kapacity dopravních prostředků VHD, v níž je zohledněna míra využití dopravních prostředků v dopravním systému VHD za den a jejich obsaditelnost. Průměrná denní kapacita dopravních prostředků VHD a počet dopravních prostředků VHD pak mohou tvořit vztah vyjadřující celkovou nabídku cest ve VHD:

$$\text{nabídka VHD} = \text{počet DP VHD} * \text{průměrná denní kapacita DP VHD} \quad [\text{cestující}] \quad (29)$$

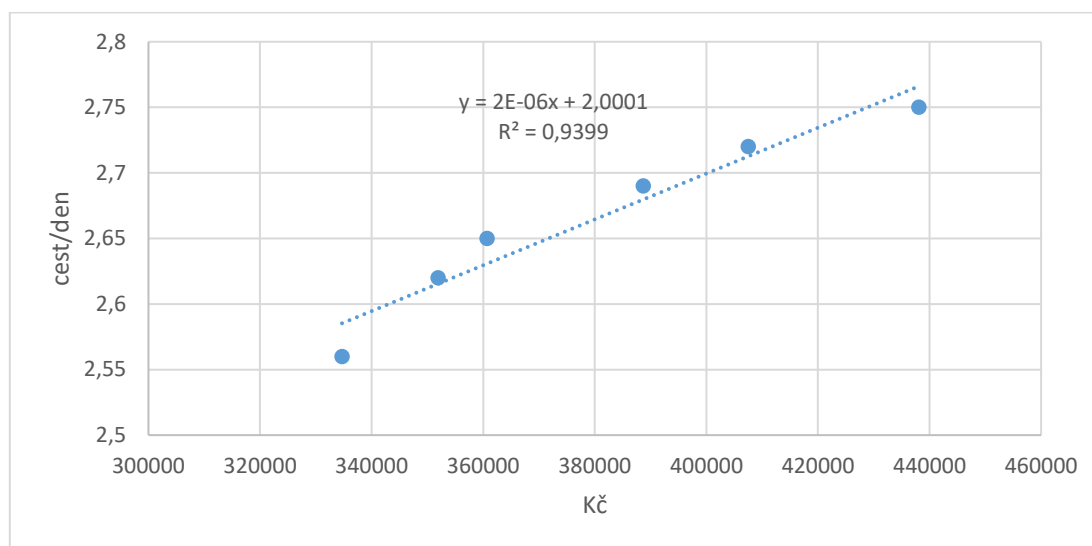
Nabídka všech možných cest s využitím IAD je ovlivněna aktuálním počtem registrovaných osobních automobilů v regionu, hybností obyvatel regionu, průměrnou obsazeností osobních automobilů při cestách obyvatel po dopravní síti v regionu a podílem osobních automobilů ve vlastnictví domácností na celkovém počtu registrovaných osobních automobilů v regionu. Konkrétně vztah mezi těmito proměnnými lze vyjádřit následovně:

$$\text{nabídka IAD} = \frac{\text{počet registrovaných OA} * \text{podíl OA v domácnostech} * \text{hybnost obyvatel} * \text{průměrná obsazenost OA}}{100} \quad [\text{cest.}] \quad (30)$$

Podíl OA v domácnostech na celkovém počtu registrovaných vozidel je udáván procentuálně a je v modelu zaveden z toho důvodu, že se jedná o model pokrývající pouze mobilitu obyvatel vztahenou na jejich soukromé cesty. Proměnná v podobě průměrné obsazenosti OA je zavedena jako ukázka

dalšího možného upřesnění sub-modelu pro stanovení nabídky IAD, i když je možné uvažovat s maximální kapacitou osobních automobilů, jako v případě stanovení nabídky ve VHD. Hybnost obyvatel je zde zavedena z toho důvodu, že automobilová doprava je velmi flexibilní a kapacitu nelze omezovat na jízdní řád, jako je tomu v případě VHD. Z uvedeného vyplývá, že nabídka je vztažena k běžnému pracovnímu dni v roce, tedy výsledná hodnota nabídky (zrovna tak i poptávky) tvoří teoreticky možný počet cest, které lze realizovat prostřednictvím IAD za den.

Hodnota hybnosti obyvatel ovlivňuje v modelu jak nabídku teoretických cest v jednotlivých zohledněných dopravních módech, tak i hodnotu poptávky. Hybnost obyvatel je možné uvažovat konstantní v čase, ale z praxe je známo, že v posledních letech hybnost obyvatel roste a někteří autoři uvádějí přímou souvislost mezi růstem její hodnoty a růstem životní úrovně obyvatel. Z tohoto důvodu je v modelu přímý vztah mezi hybností obyvatel a proměnnou v podobě „HDP na obyvatele“. Jednoduchou lineární regresí ročních hodnota regionálního hrubého domácího produktu na 1 obyvatele a hodnot hybnosti obyvatel regionu v jednotlivých letech byla zjištěna funkční závislost se statistickou významností (obrázek č. 21).



Obrázek 21 – regresní přímka pro závislost hodnoty hybnosti obyvatel na hodnotě HDP na 1 obyvatele

Regresní přímka byla vytvořena na základě dat dvou proměnných z období let 2014–2019 v rámci Jihočeského kraje. Jednotlivé hodnoty byly získány z historických statistických dat a v případě hodnot hybnosti obyvatel byly údaje převzaty z realizovaných průzkumů dopravního chování v příslušných letech (projekt Česko v pohybu, interní materiály Jihočeského kraje nebo města České Budějovice). Variabilita vysvětlované proměnné (hybnost obyvatel), je z 94% vysvětlena modelem s regionálním hrubým národním produktem na 1 obyvatele.

Tento příklad je zde uváděn záměrně, jelikož je možné regresní přímku pro závislost hybnosti obyvatel na regionálním HDP na 1 obyvatele použít v demonstračním modelu systémové dynamiky, jednoduše pomocí vztahu:

$$\text{hybnost obyvatel} = 2e - 06 * \text{HDP na obyvatele} + 2.0001 \quad [\text{cest/den}] \quad (31)$$

V rámci modelu se bude vývoj hodnoty hybnosti obyvatel v modelovém období odvíjet od výsledné regresní přímky, která je ovšem vztažena pouze na region Jihočeského kraje. Vztah pro určení HDP na 1 obyvatele vychází z kvantifikace stavů dvou sub-modelů (výše HDP a počet obyvatel regionu) a lze jej zapsat následovně:

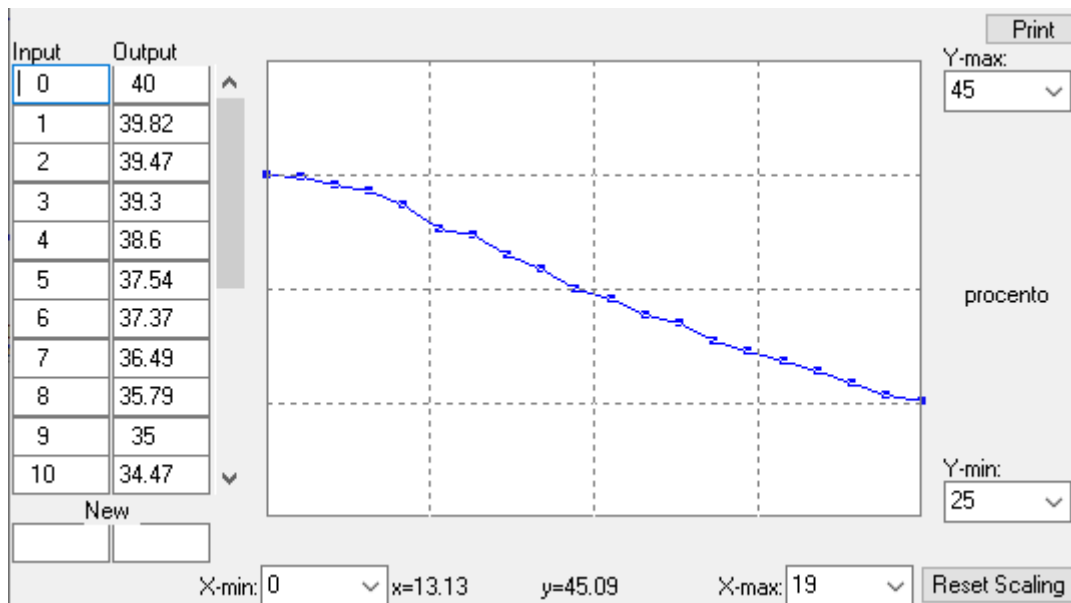
$$HDP \text{ na obyvatele} = \frac{HDP}{Obyvatelstvo} \text{ [Kč/obyvatel]} \quad (32)$$

Zároveň v rámci modelu proměnná „hybnost obyvatel“ ovlivňuje i **poptávku po cestách s využitím jednotlivých dopravních módů**. Poptávka vychází z celkového počtu cest a vztah mezi hodnotou hybnosti obyvatel a počtem obyvatel generující daný region je následující:

$$\text{celkový počet cest} = \text{hybnost obyvatel} * \text{obyvatelstvo} \text{ [cest/den]} \quad (33)$$

Výsledný počet cest vyjadřuje teoretickou hodnotu poptávku po všech cestách bez rozlišení, jakými druhy dopravy budou cesty realizovány. Počet cest je dále rozdělen na dva sledované druhy dopravy – VHD a IAD. V rámci modelu se jednoduše počet cest rozděluje podílem daného druhu dopravy na všech realizovaných cestách.

Pro účely modelu se dá využít opět průměrná konstantní hodnota podílu jednotlivých dopravních módů na celkově realizovaných cestách v daném území z historických dat, ale pro názornou ukázkou další z možností pojetí proměnné byl zvolen trend očekávaného vývoje v budoucích letech (modelovací období). Očekávaný vývoj podílu jednotlivých druhů dopravy na realizovaných cestách obyvatel je dán párovým srovnáním dat v grafu, což je jedna z funkcí diagramu toků a stavů programu Vensim. Autor uvažuje pozvolný pokles podílu IAD na celkovém modal splitu v průběhu následujících 20 let, kde počáteční hodnota 40 % byla převzata z výsledků průzkumu dopravního chování obyvatel vztahena k Jihočeskému kraji v roce 2019. Žádoucí vývoj podílu IAD na modal splitu je znázorněn na obrázku č. 22.



Obrázek 22 – pracovní prostředí programu Vensim: graf žádoucího vývoje podílu IAD na realizaci cest obyvatel

Jedná se o jeden z možných scénářů vývoje, kdy je uvažován postupný každoroční pokles podílu IAD na hodnotu 30% v roce 2040. V rámci simulace je potom možné jednotlivé scénáře simulovat a sledovat změny v dynamice takto pojatého systému. Obdobným způsobem autor přikročil i ke stanovení trendu vývoje v rámci proměnné „podíl VHD na dělbě přepravní práce“, kde uvažoval pozvolný nárůst hodnoty z 10,8% v roce 2020 na hodnotu 12,72% v roce 2040. Větší podíly VHD na dělbě přepravní práce lze vysledovat ve větších městech, kde se MHD výrazně podílí na přepravních výkonech v rámci realizace cest na městské dopravní síti.

Kvantifikace podílů sledovaných dopravních módů a vztahy mezi celkovým počtem cest v regionu, podílem VHD na uskutečněných cestách a podílem IAD na uskutečněných cestách jsou v modelu stanoveny následovně:

$$\text{poptávka VHD} = \text{podíl VHD na dělbě přepravní práce} * \text{celkový počet cest} \quad [\text{cest/den}] \quad (34)$$

$$\text{poptávka IAD} = \text{podíl IAD na dělbě přepravní práce} * \text{celkový počet cest} \quad [\text{cest/den}] \quad (35)$$

Vztah mezi takto pojatou poptávkou po přepravě a nabídkou přepravní kapacity ve sledovaných dopravních módech vychází ze vztahu (17) a v modelu je konkrétní kvantifikace vztahů mezi proměnnými vyjádřena následovně:

$$\text{poměr nabídky a poptávky ve VHD} = \frac{\text{nabídka VHD}}{\text{poptávka VHD}} \quad [\text{bezroz.}] \quad (36)$$

$$\text{poměr nabídky a poptávky v IAD} = \frac{\text{nabídka IAD}}{\text{poptávka IAD}} \quad [\text{bezroz.}] \quad (37)$$

Stanovení nabídky a poptávky ve VHD je vztaženo k silničním dopravním prostředkům VHD, tedy i podíl VHD na realizovaných cestách je brán z průzkumu dopravního chování obyvatel v souvislosti s využitím regionální autobusové dopravy a MHD, a nebyl zde započítáván podíl železniční dopravy na dělbě přepravní práce v regionu (Česko v pohybu, 2020).

4.2.2. Shrnutí nastavení modelu a provedení simulace

Demonstrativní model popsany v předešlé části disertační práce je nastaven na 20-ti leté období, konkrétně pro období let 2021-2040 a počáteční hodnoty proměnných vstupujících do modelu jsou převzaty ze statistických dat Jihočeského kraje z roku 2019, dále z provedených studií a průzkumů, které byly realizovány na popud zadavatelů a jsou interními materiály Jihočeského kraje, popřípadě statutárního města České Budějovice, a z interních materiálů koordinátora dopravy v Jihočeském kraji nebo Dopravního podniku města České Budějovice. V případě, že nebyly dohledány konkrétní hodnoty, byly odborným odhadem autora po poradě s jinými odborníky v dané oblasti upraveny z historických dat nebo jiným způsobem stanoveny tak, aby bylo možné realizovat ukázkou simulace. Z důvodu toho, že se jedná pouze o demonstrativní model, respektive názornou ukázkou aplikace nástroje diagramu toků a stavů na vybranou oblast v dopravě, nebyla provedena verifikace modelu.

Jedna z funkcionalit programu Vensim je provádění simulací pod různými scénáři, případně provádění interaktivních experimentů přímo v probíhající simulaci, kdy je možné měnit výši počátečních hodnot vstupních proměnných. V rámci ukázkové simulace byly zvoleny dva scénáře pro vývoj dynamiky systému:

- Scénář A – Trend poptávky a nabídky ve sledovaných dopravních módech bude pokračovat zhruba stejným vývojem jako v uplynulých letech (vychází se ze současných historických dat při kvantifikaci proměnných).
- Scénář B – Trend poptávky a nabídky ve VHD bude v následujících letech narůstat. S tím souvisí v případě nabídky nutná změna v navýšení počtu dopravních prostředků a změna v počtu vyřízení jednotlivých dopravních prostředků (zavádění nových linek, navýšení počtu spojů, apod.), která je zobecněna na hodnotu průměrné denní kapacity dopravního prostředku VHD. V případě poptávky se potom uvažuje nárůst podílu VHD na dělbě přepravní práce na hodnotu 14,5 % v roce 2040 (viz tabulka č. 7).

Počáteční hodnoty proměnných je možné zadat pro konkrétní region nebo území města, zároveň tvořit různé scénáře a studovat chování systému v čase. Následující tabulka č. 7 shrnuje počáteční hodnoty

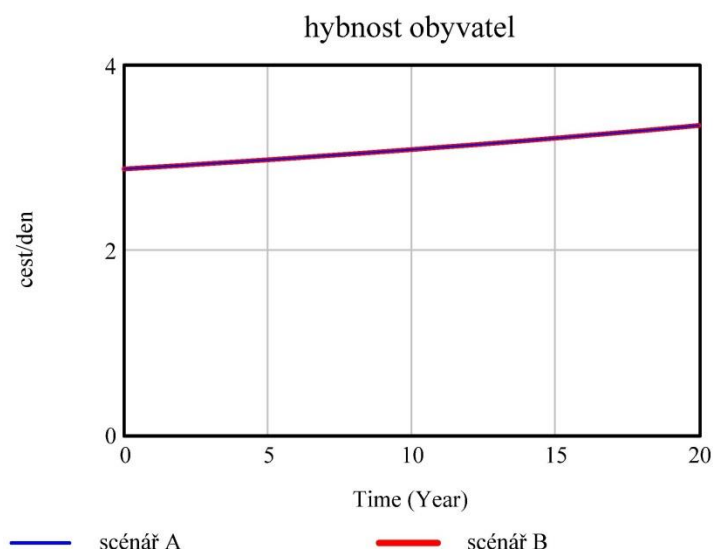
proměnných, se kterými byla realizována ukázková simulace vývoje proměnných v čase, a to na dvou možných scénářích.

Tabulka 7 – vstupní hodnoty modelu pro výpočet poměru nabídky a poptávky po přepravě

Název proměnné v modelu SD	Vstupní hodnota - Scénář A	Vstupní hodnota - Scénář B	Jednotky
obyvatelstvo	643630	643630	obyvatel
průměrný roční přirozený přírůstek obyvatel	0,5	0,5	%
průměrný roční přírůstek obyvatel migrací	0,8	0,8	%
HDP	281771*10 ⁶	281771*10 ⁶	Kč
průměrný roční růst HDP	3,5	3,5	%
průměrný roční podíl investic do dopravy na HDP	2,3	2,3	%
průměrný podíl nákladů na pořízení nových dopravních prostředků	3	3,5	%
průměrná cena dopravního prostředku VHD	8500000	8500000	Kč
počet dopravních prostředků VHD	500	500	vozidel
Průměrný podíl vyřazených dopravních prostředků VHD	0,5	0,5	%
průměrná denní kapacita dopravních prostředků VHD	300	400	cestujících/den
počet registrovaných osobních automobilů	375657	375657	vozidel
očekávaný roční růst OA	1,71	1,71	%
podíl OA v domácnostech	70	70	%
průměrná obsazenost osobního automobilu	1,3	1,3	cestujících/OA
podíl VHD na dělbě přepravní práce	10,8 s trendem růstu na hodnotu 12,5	10,8 s výraznějším nárůstem na hodnotu 13,5	%
podíl IAD na dělbě přepravní práce	40	40	%

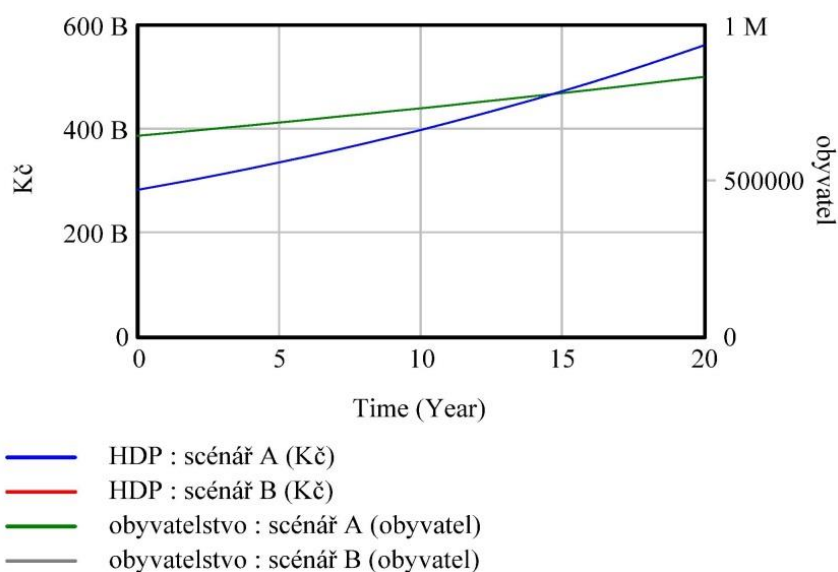
Pro jednoduchou demonstraci simulace na bázi dvou scénářů došlo tedy k úpravě hodnot vybraných proměnných mající přímý vliv na nabídku a poptávku po přepravě ve VHD. Sub-modely generující počty osobních automobilů, počty obyvatel v území a výši HDP regionu zůstaly nezměněny co do kvantifikace hodnot proměnných a struktury modelu. Nutno podotknout, že v rámci poptávky po cestách v IAD byl uvažován klesající trend vývoje podílu IAD na dělbě přepravní práce na hodnotu 30% v roce 2040, tedy v obou scénářích je stejný vývoj v oblasti IAD (viz předešlá část „teoretický základ modelu“).

Hybnost obyvatel je rovněž pro oba scénáře shodná a její vývoj je odhadnut na základě vztahu (31), nejedná se o proměnnou se zadáváním počáteční hodnoty, ale vychází z vývoje stavu výše HDP a počtu obyvatel v regionu. Zatímco v roce 2019 byla dle průzkumu dopravního chování obyvatel (Česko v pohybu, 2019) hybnost obyvatel v Jihočeském kraji 2,75 cest/den, odhad pro rok 2021 je 2,87 cest/den a pro rok 2040 je to potom 3,34 cest/den při takto nastavených parametrech modelu. Následující obrázek č. 23 graficky udává vývoj hodnoty hybnosti obyvatel ve dvacetiletém modelovém období.



Obrázek 23 – Vývoj hodnoty hybnosti obyvatel v modelovém období 20 let

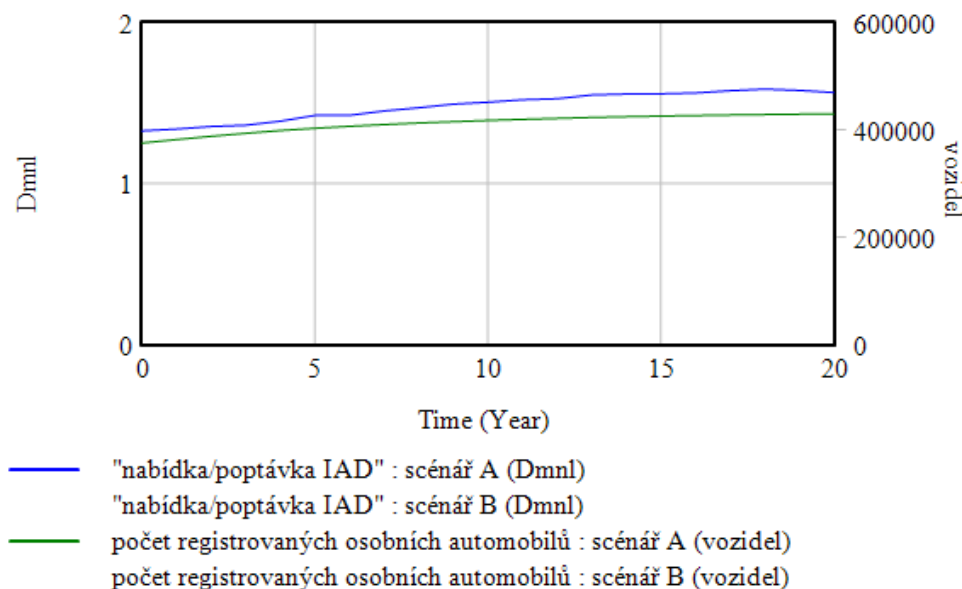
Lineární vývoj hodnoty hybnosti obyvatel vychází z definice vztahu (31), kdy byla využita pro její kvantifikaci regresní přímka závislosti proměnné hybnosti obyvatel na proměnné HDP na 1 obyvatele. HDP na 1 obyvatele vychází z porovnání stavů dvou sub-modelů: výše HDP a počtu obyvatel Jihočeského kraje. Výsledky jsou shodné pro oba zvolené scénáře, vzhledem ke skutečnosti, že se posuzovaly v rámci demonstrativního scénáře B pouze vybrané proměnné v oblasti nabídky a poptávky ve VHD s odlišnými parametry. Příslušné sub-modely generující výsledné hodnoty v rámci období dvaceti let byly pojaty zjednodušeně, kdy bylo uvažováno s každoročním procentuálním navýšením. Tyto průměrné hodnoty byly převzaty z historických dat o počtech obyvatel a HDP Jihočeského kraje, a uvažuje se, že trend vývoje hodnot bude nadále pokračovat. Nicméně je možné veškeré součásti modelu upřesnit o další prvky, které mohou vývoj sledovaných hodnot ovlivnit a docílit případně vyšší vypovídací hodnoty výsledků. Rovněž sub-model generující výsledné počty obyvatel lze rozšířit tím způsobem, aby se zvláště členil vývoj obyvatel regionu na různé specifické skupiny obyvatel, například podle jejich socio-ekonomického statusu. Vývoj hodnot HDP a počet obyvatel Jihočeského kraje v rámci provedené simulace je graficky znázorněn na obrázku č. 24.



Obrázek 24 – Vývoj HDP a počtu obyvatel v modelovém období 20-ti let

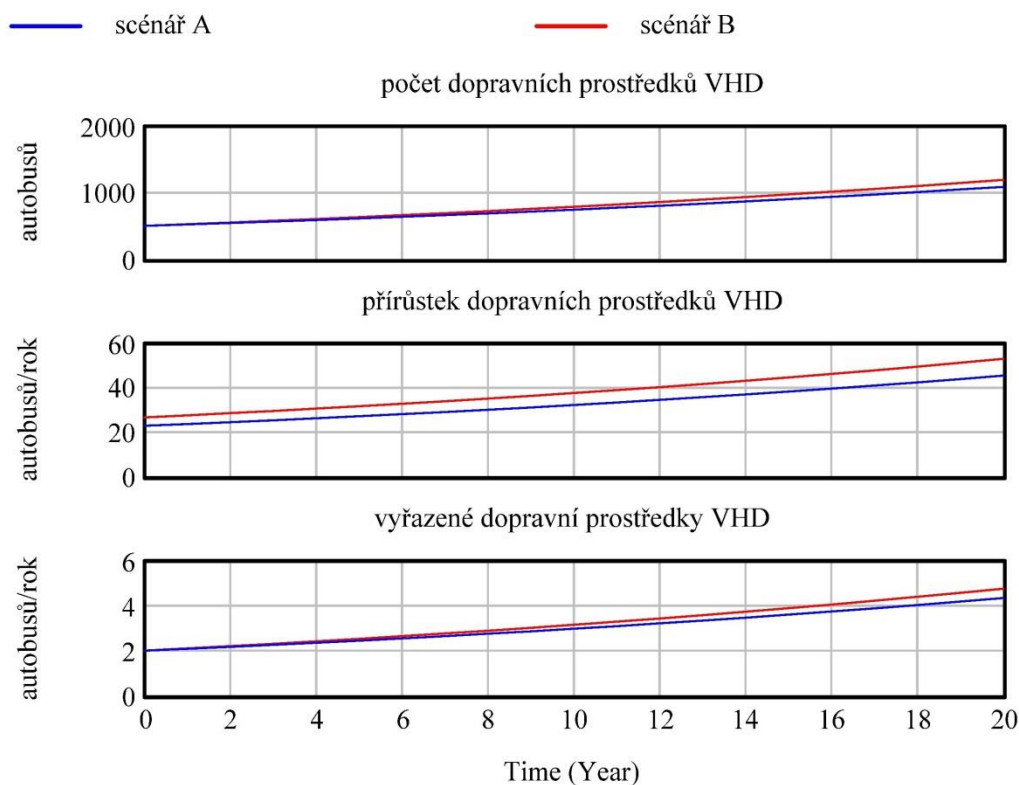
Vývoj počtu registrovaných osobních automobilů a výsledná poptávka a nabídka v IAD vykazuje růstový trend vzhledem k nastaveným parametrům ovlivňujících faktorů. U vývoje počtu registrovaných OA byl brán v potaz klesající trend každoročního procentuálního přírůstku vozidel, tento scénář se autorovi jeví jako nejpravděpodobnější na základě dosavadního vývoje v automobilismu. Jedná se ovšem o spekulace, do vývoje mohou zasáhnout jiné vlivy, které mohou vývoj zvrátit zásadním způsobem. Výsledkem simulace je potom logaritmická křivka, která je ustálena na hodnotě 430 127 osobních automobilů v konečném kroku simulace (na počátku simulace je to 375 567 osobních automobilů).

Poptávka vykazuje v celkovém pohledu také trend růstu, i když je výrazně ovlivněna pozvolným klesajícím podílem IAD ne dělbě přepravní práce. Autor při definici proměnných v rámci modelu stanovil žádoucí klesající trend podílu IAD na modal splitu ze současných 40% (počátek simulace) na očekávanou hodnou 30% na konci modelovacího období. Poměr nabídky a poptávky po cestách v rámci IAD má tedy charakter růstu (nabídka je dána zejména změnou v hybnosti obyvatel a změnou v počtu registrovaných OA) a pohybuje se v rozmezí hodnot 1,32 a 1,56 (bezrozměrné). Nabídka bude nadále převyšovat poptávku výrazným způsobem, i přes výše uvedené omezující scénáře. Vývoj hodnot počtu registrovaných osobních automobilů a poměru nabídky a poptávky v IAD po provedení simulace je uveden v obrázku č. 25.



Obrázek 25 – Vývoj hodnot počtu registrovaných OA a poměru nabídky a poptávky v IAD (bezrozměrné – „Dmnl“)

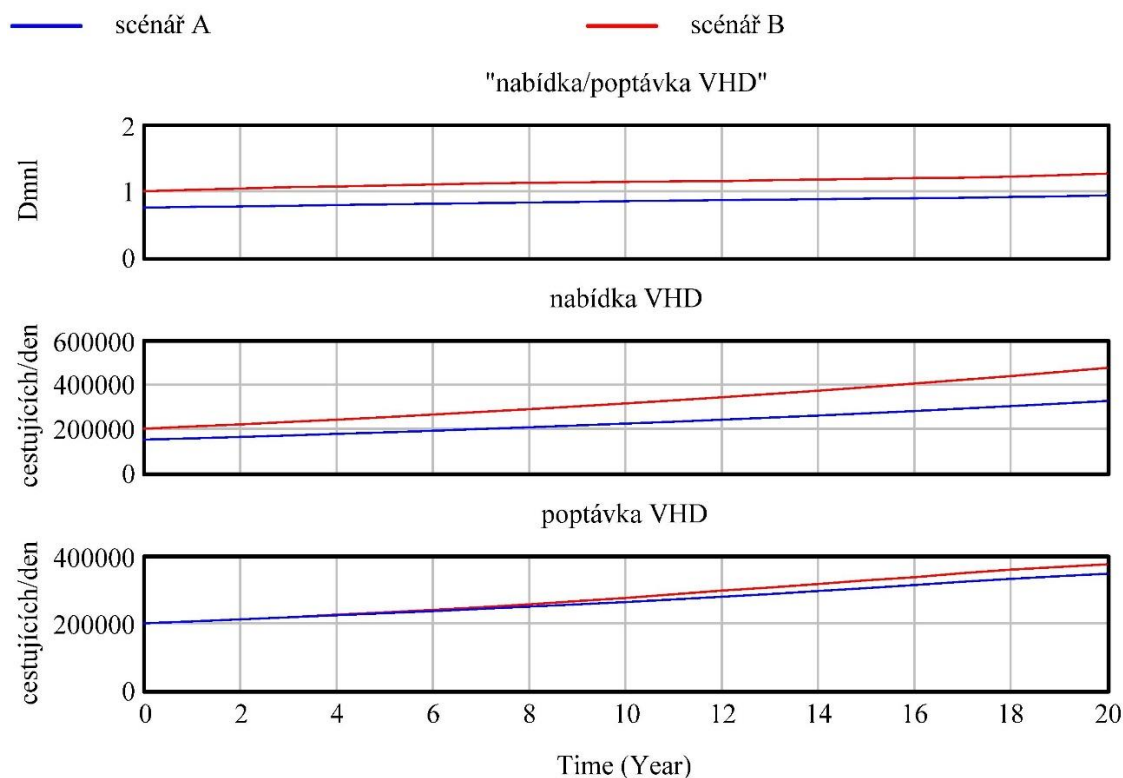
Sub-model generující počty silničních dopravních prostředků ve VHD v rámci Jihočeského kraje je demonstrativní ukázkou, u které byl zvolen odlišný přístup ke stanovení hodnot tohoto stavu. Přírůstek nových vozidel ve VHD je dán algoritmem, který vychází ze stavu HDP a integruje základní souvislosti (i když zjednodušené – ukázkové), kterými lze odhadnout průměrný počet dopravních vozidel zakoupených v jednom roce, vycházíme-li opět při kvantifikaci relevantních vstupních proměnných z historických statistických dat. Odtok stavu naopak tvoří počet silničních dopravních prostředků VHD vyřazených z evidence dopravních podniků za rok. Hodnota tohoto stavu se odvíjí od průměrné roční míry vyřazených vozidel ve VHD. Silniční dopravní prostředky jsou brány jak z oblastí regionální autobusové dopravy, tak z městské hromadné dopravy. Naopak zde nejsou zohledněny dálkové autobusové linky, které se mohou na dopravní obslužnosti daného regionu podílet. Výsledek relevantních hodnot po provedení simulace je znázorněn v grafech na obrázku č. 26.



Obrázek 26 – Vývoj vybraných hodnot v sub-modelu „počet dopravních prostředků VHD“

Výchozí počet 500 silničních dopravních prostředků VHD je pro oba scénáře shodný, při terminaci simulace oba scénáře vykazují počty DP více jak 1000 (scénář B udává v koncovém roce 1191 vozidel) za předpokladu, že růst HDP bude meziročně konstantní, zrovna tak objem investic do dopravy a objem finančních prostředků na pořízení nových dopravních prostředků VHD, což je velmi nepravděpodobné. Další věcí je to, že nejen počet dopravních prostředků má vliv na kvalitu dopravního systému, a tedy i na výslednou nabídku ve VHD. Z tohoto důvodu byla do modelu přidána další proměnná v podobě „průměrné denní kapacity dopravních prostředků VHD“, která kromě průměrné obsaditelnosti DP může zohledňovat i jejich denní vytížení v rámci spojů na linkách.

Poptávka ve VHD za modelovacích podmínek, kdy se uvažuje pokračování trendu z posledních několika let, teoreticky překračuje na počátku simulace nabídku VHD v podobě celkové denní kapacity dopravních prostředků ve VHD. V případě scénáře A je poměr nabídky a poptávky ve VHD na počátku simulace 0,75, na konci simulace jeho hodnota 0,94. U scénáře B se uvažuje se zvýšením denní kapacity dopravních prostředků a zvýšením počtu nově pořízených dopravních prostředků hned první rok simulace. Z tohoto důvodu je hodnota poměru nabídky a poptávky ve VHD na počátku simulace 1,02. Ke konci simulovaného období je tato hodnota 1,26. Vývoj hodnot nabídky a poptávky ve VHD a jejich poměru je uveden v následujícím obrázku č. 27.



Obrázek 27 – vývoj nabídky a poptávky po cestách ve VHD

Uvedený poměr nabídky a poptávky ve VHD kvantitativně popisuje stav systému VHD v regionu. Model pro odhad tohoto poměru je zde zjednodušen pro účely demonstrace aplikace nástrojů systémové dynamiky na dopravní oblast. Rozšířením modelu o další upřesňující proměnné lze docílit odhadu výsledného poměru nabídky a poptávky ve VHD. V případě nízkého poměru pod hodnotou představující určitou mez se dá hovořit o tom, že systém VHD nedokáže pokrýt potřeby obyvatel v oblasti cestování VHD. Hodnoty nad výše uvedenou hraniční mezí, ale stále nedosahující hodnoty 1, mohou značit, že systém VHD může adekvátně pokrýt tyto potřeby obyvatel cestovat daným dopravním systémem, avšak nemusí toto nutně platit v případě špičkového dopravního období nebo nenadálých událostí v dopravě. Je to zejména z toho důvodu, že faktor špičkového období v modelu není nikterak zohledněn, a poptávka a nabídka v dopravě je vztažena vždy k běžnému dni.

V případě hodnoty poměru nabídky a poptávky ve VHD vyšší jak 1 se dá hovořit o tom, že ve většině situacích, je systém VHD schopný adekvátně reagovat na poptávku po cestách obyvatel. Pokud je ovšem hodnota vyšší než určitá horní hraniční mez, je nasnadě uvažovat o optimalizaci či racionalizaci dopravních a přepravních procesů ve VHD tak, aby nabídka netvořila takový převys a nedocházelo k ekonomickým ztrátám.

4.3. Identifikace faktorů ve vztahu k udržitelnosti dopravy

Zjednodušení složité otázky udržitelnosti je způsob, jak efektivně s indikátory nakládat pro dosažení cílů stanovených na počátku vytváření strategie udržitelného rozvoje. Použití sady indikátorů navrhuje Litman (2019), z jehož vyjádření vyplývá, že jediný indikátor není tak efektivní jako komplexní systém indikátorů, pomocí kterého lze lépe vyhodnotit cíle. Jak je patrné, v definici udržitelné městské dopravy neexistuje shoda, a proto existují různé přístupy ke sběru a definování indikátorů, které ji

dokáží efektivně posoudit. Přijetím tvrzení Tóth-Szabó a kol. (2012) jsou konstruovány indikátory popisující stav určitého systému nebo jeho změny v čase. Stále však roste potřeba vyvinout nové a účinnější nástroje pro posuzování, které napomohou rozhodovacím procesům a které budou schopny odpovědět na nové výzvy týkající se změny klimatu, tedy i v souvislosti s udržitelným rozvojem.

Po analýze 11 výzkumných zdrojů, projektů a strategií popisujících indikátory pro hodnocení dopadu udržitelné městské mobility byla vytvořena tabulka č. 8 shrnující množství hodnotících indikátorů. V analyzovaném materiálu bylo identifikováno 521 hodnotících indikátorů, některé z nich se opakují nebo jsou podobně formulovány v různých dalších zdrojích.

Tabulka 8 – Vybrané zkoumané zdroje zabývající se návrhy indikátorů udržitelné mobility

No.	Název zdroje	Autoři	Počet indikátorů
1)	Indicators to Assess the Sustainability of Transport Activities	Dobranskyte-Niskota a kol., 2007	36
2)	How to Monitor Sustainable Mobility in Cities? Literature Review in the Frame of Creating a Set of Sustainable Mobility Indicators	Gillis a kol., 2016	20
3)	Strategies and Measures for Sustainable Urban Transport Systems	Persia a kol., 2016	53
4)	SUMMA (Sustainable Mobility, policy Measures and Assessment)	RAND Europe a kol., 2004	62
5)	Measuring sustainability of transport in the city - development of an indicator-set	Toth-Szabo a kol., 2011	83
6)	Some use – Little influence? On the roles of indicators in European sustainable transport policy	Gudmundsson a Sorensen, 2013	20
7)	Well Measured Developing Indicators for Comprehensive and Sustainable Transport Planning	Litman, 2019	40
8)	Creating Walkable and Bikeable Communities: A User Guide to Developing Pedestrian and Bicycle Master Plans	Roughton a kol., 2012	29
9)	New Approaches to Strategic Urban Transport Assessment	Hale, 2011	58
10)	An indicator approach to sustainable urban freight transport	Rai a kol., 2018	45
11)	Sustainable urban mobility indicators: Policy versus practice in the case of Greek cities	Tafidis a kol., 2017	75

Nutno upřesnit, že se někteří autoři věnovali vybraným oblastem dopravy v rámci udržitelné mobility, např. pouze podpoře pěší a cyklistické dopravy na území měst (Roughton a kol., 2012) nebo čistě pouze indikátory, které se vztahují k udržitelné nákladní dopravě na území měst (Rai a kol., 2018). Ostatní autoři analyzovali své návrhy indikátorů z pohledu celého udržitelného rozvoje měst ve vztahu k dopadům z dopravy.

4.3.1. Návrh indikátorů k hodnocení udržitelnosti mobility

Existují různé verze potenciálních indikátorů a jejich měřítek pro popis strategie nebo dílčího systému udržitelné mobility. Důležitým kritériem pro tyto indikátory je, že by měly co nejvýstižněji a jasně definovat veškeré souvislosti s cíli udržitelné mobility. Indikátory mohou být různého druhu:

- kvantitativní i kvalitativní data;
- individuální indikátory (např. individuální názory v rámci dotazníkových šetření);
- poměrové indikátory;
- relativní indikátory.

Na základě rešerše poznatků tuzemských a zahraničních autorů prokazujících souvislosti různých faktorů s velikostí intenzit dopravy na pozemních komunikacích v kapitole 4.1 této práce jsou v této části navrženy indikátory zabývající se udržitelností dopravy. Jedná se o indikátory, které lze kvantifikovat, aby bylo možné je použít pro další výzkum. Autor při sestavování indikátorů přihlédl k pilířům udržitelné mobility – faktory ovlivňující objemy dopravy na pozemních komunikacích zohlednil při vyhodnocování s cíli strategického plánování využití území, s cíli integrace dopravních modulů směřujícím ke zvýšení bezpečnosti, snížení dopadu na životní prostředí za cenu efektivně vynaložených nákladů (efektivní rozvoj udržitelného městského prostředí). Přičemž se snažil integrovat co nejvíce indikátorů, které by mohly být při rozhodovacích procesech v rámci udržitelného rozvoje maximálně nápomocny (zohledňují zásadní vlivy na míru využití IAD ve městě, což se jeví jako zásadní).

Následující indikátory jsou návrhem vzešlým z výzkumné činnosti autora v předešlé kapitole a jejich vztah je ověřen dalšími výzkumy autorských kolektivů, kteří prokázali korelaci mezi svými návrhy indikátorů a udržitelností, popřípadě mezi jednotlivými pilíři udržitelné mobility a snižováním dopravních výkonů IAD ve městech. Zdroj s odpovídajícím výzkumem je uveden u každého z autorových modifikací/návrhů indikátorů, které přímo souvisejí s faktory ovlivňující objemy dopravy na pozemních komunikacích a maximálně integrují dané indikátory:

Nabídka VHD – Nabídka počtu míst v dopravních prostředcích na všech linkách ve městě ve špičkové dopravní hodině (obsaditelnost vozidel). Bylo prokázáno, že zvyšující se nabídka ve VHD snižuje počty vozidel v malé či vyšší míře (v závislosti na struktuře sítě v rámci města a kvality nabízených služeb) a indukce vyšší poptávku po přepravě v rámci VHD. Data lze získat od pracovníků dopravních podniků.

Jednotky: cestující/špičk. hodina

Relevance: viz strana 44 (Beaudoin a Lin Lawell, 2016; Hale, 2011)

Frekvence spojů VHD – průměrná hodinová frekvence dopravních prostředků na linkách VHD ve špičkové dopravní hodině. Bylo prokázáno, že zvýšením frekvence dopravních prostředků na linkách VHD se generují nové cesty v rámci systému VHD. Data lze získat analýzou jízdních řádů nebo od pracovníků dopravních podniků.

Jednotky: počet dopravních prostředků VHD/špičk. hodina

Relevance: viz strana 56 (Brechan, 2017)

Průměrná cestovní doba vozidly VHD do centra města – Průměrná cestovní doba vozidly VHD mezi centrem města (popřípadě centroidem v rámci studované oblasti) a vybranými okrajovými částmi města (sídliště, obchodní zóny aj.) ve špičkové dopravní hodině. Zvyšující se cestovní rychlost podporuje vznik nových cest v rámci VHD (jeden z atributů zatraktivňování VHD). Data lze získat analýzou jízdních řádů nebo od pracovníků dopravních podniků.

Jednotky: kapacita/špičk. hodina

Relevance: viz strana 53 (Chowdhury a Ceder, 2015; Hale, 2011)

Počet obyvatel žijících v okruhu 500 m od zastávky VHD – Poměr počtu obyvatel žijících do vzdálenosti 500 m od zastávky VHD (radius=500 m) na celkovém počtu obyvatel města/území. Lepší dostupnost systému VHD podporuje efektivnější využití systému uživateli (jeden z atributů zatraktivňování VHD). Data lze získat např. z geoinformačního systému města.

Jednotky: obyv./celk. obyv.

Relevance: viz strana 56 (Toth-Szabo a kol., 2011; Kunhart, 2008)

Spokojenost obyvatel se službami VHD – Procento uživatelů VHD spokojených se službami spojenými s přepravou a celkovým systémem VHD (trasování linek, dostupnost, kvalita apod.). Vyšší míra spokojených obyvatel odpovídá větší podpoře VHD. Data lze získat přepravními průzkumy s dotazníkovým šetřením nebo od pracovníků dopravního podniku.

Jednotky: %

Relevance: viz strana 53 (Toth-Szabo a kol., 2011; Chowdhury a Ceder, 2015)

Spolehlivost VHD – Poměr počtu spojů se zpožděním menším než maximální tolerovaná odchylka k celkovému počtu spojů ve špičkové dopravní hodině, popřípadě procento cestujících spokojených se spolehlivostí systému VHD. Data lze získat přepravními průzkumy a dotazníkovým šetřením mezi cestujícími nebo od pracovníků dopravního podniku.

Jednotky: %

Relevance: (Drdla, 2004; Toth-Szabo a kol., 2011)

Hustota sítě linek VHD – Poměr délky sítě všech linek VHD (uvažujeme s integrovanou dopravou) na území města k celkové rozloze města. Data lze získat od pracovníků dopravního podniku.

Jednotky: km/km²

Relevance: (Toth-Szabo a kol., 2011; Hale, 2011)

Rozdíl v cestovní rychlosti před a po zavedení prvků prostorové preference – Rozdíl průměrné rychlosti dopravních prostředků VHD před a po zavedení optimalizačního opatření v podobě stavebních a organizačních preferenčních prvků na páteřních linkách. Možné vyjádření je také počet km úseků tras linek VHD s preferenčními „bus“ pruhy ku celkové délce tras linek (km/km). Indikátor zohledňuje snahu v rámci udržitelné dopravy zvyšovat rychlost VHD na úkor rychlosti IAD. Data lze získat od pracovníků dopravního podniku.

Jednotky: km/h, popřípadě km

Relevance: (Persia a kol., 2016)

Nabídka spojů VHD obsluhované nízkopodlažními vozy – Počet nízkopodlažních vozidel (dopravních prostředků uzpůsobených pro bezbariérový nástup cestujících) k celkovému počtu dopravních prostředků podílejících se na obsluze území/města v rámci systému VHD. Data lze získat od pracovníků dopravního podniku.

Jednotky: voz. nízkopodlažní/voz. celkově (%)

Průměrná cestovní doba členů domácnosti pro dosažení základních služeb – Průměrná doba cesty obyvatelů města pro dosažení cíle v podobě institucí, úřadů, zdravotnických zařízení apod. (vyjma školských zařízení). Vyšší hodnota obvykle znamená nutnost využít dopravní prostředek ke své cestě. Data lze získat provedením dotazníkového šetření v domácnostech.

Jednotky: minuty

Relevance: (Rand a kol., 2004)

Poměr ploch pro komerční využití a celkové zastavěné plochy – Poměr celkové zastavěné plochy určené ke komerčnímu využití (m²_k) a celkové zastavěné plochy na území města (m²_c). Údaje lze získat z územních plánů měst.

Jednotky: m²_k/m²_c (%)

Relevance: strana 16 a 57 (Martolos a kol., 2013; Reutter a kol., 2003; Hale, 2011)

Diverzita menších obchodních zařízení a služeb – Poměr počtu různých typů komerčních zařízení nabízejících různé služby a produkty v centru města na celkovém počtu obchodních zařízení na rozloze města. Indikátor je vhodný i k poměrování diverzity v rámci jednotlivých částí města. Údaje lze získat z územních plánů měst, od pracovníků městských a obecních úřadů nebo ze statistických údajů relevantních institucí.

Jednotky: m^2_k/m^2_c (%)

Relevance: strana 16 a 57 (Martolos a kol., 2013; Reutter a kol., 2003; Hale, 2011)

Délka tras vyhrazených pro cyklistickou dopravu – Poměr délky kontinuálně pojatých pruhů a stezek pro cyklisty (volně na sebe navazujících) a celkové délky tras vyhrazených pro cyklistickou dopravu na území města. Indikátor je navržen na podporu cyklistické dopravy ve smyslu lokalizace bariér v cyklistické dopravě. Údaje lze získat z územních plánů měst, od pracovníků městských a obecních úřadů (generelů cyklistické dopravy).

Jednotky: km/km (%)

Relevance: (Toth-Szabo a kol., 2011; Roughton a kol., 2012)

Docházková vzdálenost do školských zařízení – Procentuální vyjádření počtu žáků žijících v docházkové vzdálenosti (např. v okruhu 1 km) všech školských zařízení na území města. Dobrá dostupnost škol snižuje potřebu cestovat (zároveň se snižuje nutnost vozit děti do školy). Údaje lze získat z územních plánů měst, od pracovníků městských a obecních úřadů nebo ze statistických údajů relevantních institucí.

Jednotky: %

Relevance: (Toth-Szabo a kol., 2011; Rand a kol., 2004; Roughton a kol., 2012)

Jízdní výkon v rámci systému sdílených jízdních kol – počet kilometrů uražených v rámci celého systému sdílených jízdních kol na území města (za určité časové období). Údaje lze získat od provozovatelů těchto systémů nebo z aplikací v mobilních telefonech.

Jednotky: km/čas

Relevance: (Han a Rohmer, 2019; Roughton a kol., 2012)

Počet obyvatel žijících v dosahu zařízení pro volnočasové aktivity – Procentuální vyjádření počtu obyvatel žijících v docházkové vzdálenosti (např. v okruhu 1 km) vybraných zařízení pro volnočasové aktivity (sportoviště, fitness centra, areály parků apod.). Dobrá dostupnost těchto zařízení podporuje pěší dopravu. Údaje lze získat z územních plánů měst, od pracovníků městských a obecních úřadů nebo ze statistických údajů relevantních institucí.

Jednotky: %

Relevance: strana 16 a 57 (Martolos a kol., 2013; Reutter a kol., 2003)

Počet pracovních příležitostí ve městě – Poměr počtu pracovních míst v centru města k počtu pracovních míst generovaných průmyslovými a komerčními subjekty na okrajích města. Alternativně lze uvažovat s počtem obyvatel, jejichž docházková vzdálenost do zaměstnání je do max. 30 minut. Údaje lze získat od pracovníků městských a obecních úřadů, komerčních subjektů nebo ze statistických údajů relevantních institucí (popřípadě dotazníkovým šetřením v domácnostech).

Jednotky: počet prac. míst v centru/počet prac. míst na okraji města (%), popřípadě počet obyvatel

Relevance: strana 57 (Reutter a kol., 2003; Litman, T. 2020; Toth-Szabo a kol., 2011)

Délka silnic se zklidňovacími prvky – Poměr počtu km místních komunikací se zklidňovacími prvky k celkové délce sítě místních komunikací (uvážujeme obslužné, popřípadě i sběrné MK). Indikátor je navržen ve smyslu udržitelnosti – v rámci pilíře bezpečnosti. Údaje lze získat od pracovníků městských a obecních úřadů.

Jednotky: km/km (%)

Relevance: (Toth-Szabo a kol., 2011; Roughton a kol., 2012)

Podíl vozidel VHD s alternativním druhem pohonu – Poměr kapacity všech dopravních prostředků VHD s alternativním pohonem (s tzv. „čistou“ energií) a kapacity všech dopravních prostředků VHD. Alternativně lze uvažovat s poměrem počtu dopravních prostředků s alternativním druhem pohonu k celkovému počtu vozidel VHD. Indikátor je navržen ve smyslu udržitelnosti – v rámci pilíře šetrnosti k životnímu prostředí. Údaje lze získat od pracovníků dopravních podniků.

Jednotky: kapacita („čistá“)/kapacita celkem (%), popřípadě vozidla („čistá“)/vozidla celkově

Relevance: (Toth-Szabo a kol., 2011)

Poměr délky komunikací vyhrazených pro chodce – Poměr délky stezek pro chodce a celkové délky místních komunikací ve městě. Indikátor je navržen ve smyslu udržitelnosti – v rámci pilíře bezpečnosti, a k vyjádření míry podpory pěší dopravy, popřípadě pouze délka segregovaných komunikací vyhrazených pro chodce. Údaje lze získat od pracovníků městských a obecních úřadů.

Jednotky: km (segreg.)/km (celkem), popřípadě km

Relevance: (Amoroso a kol., 2012; Roughton a kol., 2012)

Počet dopravních nehod na 1000 obyvatel – Průměrný počet nehod způsobených motorovou dopravou (zahrnujících i srážky s chodci a cyklisty) na tisíc obyvatel města za měsíc. Indikátor je navržen ve smyslu udržitelnosti – v rámci pilíře bezpečnosti. Údaje lze získat z portálu zahrnující statistiku nehod nebo na oddělení PČR.

Jednotky: počet nehod/1000 obyv.

Relevance: (Gillis a kol., 2016; Hale, 2011)

Poměr počtu přechodů pro chodce a délky pozemních komunikací – Poměr počtu přechodů pro chodce (lze uvažovat i mimoúrovňové přechody silnic) na celkové délce sítě pozemních komunikací na území města. Indikátor je navržen ve smyslu udržitelnosti – v rámci pilíře bezpečnosti. Údaje lze získat od pracovníků městských a obecních úřadů, respektive od správců příslušných kategorií pozemních komunikací.

Jednotky: počet přechodů pro chodce/km_{siln. celkově}

Relevance: (Amoroso a kol., 2012; Roughton a kol., 2012)

Podíl území generující těžkou nákladní dopravu – Podíl rozlohy území vyčleněného pro průmysl a logistická centra (aj., na území města) generující těžkou nákladní dopravu na celkové rozloze města. Indikátor je navržen ve smyslu udržitelnosti – v rámci pilíře šetrnosti k životnímu prostředí. Údaje lze získat z územních plánů města a od pracovníků městských a obecních úřadů.

Jednotky: km²/ km² (%)

Relevance: strana 16 (Martolos a kol., 2013; Behrends a kol., 2008)

Počet osob přepravených systémem VHD – Podíl osob přepravených systémem VHD na území města k celkovým přepravním objemům (modal split), popřípadě pouze počet přepravených cestujících za určité období. Údaje lze získat od pracovníků městských a obecních úřadů, dopravních podniků nebo ze statistických databází relevantních subjektů.

Jednotky: Počet cestujících_{VHD}

Relevance: (Toth-Szabo a kol., 2011; Hale, 2011)

Podíl nákladních vozidel s alternativními druhy pohonu na území města – Podíl nákladních vozidel s pohonem šetrným k životnímu prostředí zahrnutých do městské logistiky (zásobování) a nákladních vozidel v systému městské logistiky celkově, popřípadě procento vozidel s alternativními druhy pohonu provozovatelů nákladní dopravy operujících na území města na celkovém vozovém parku. Údaje lze získat od pracovníků městských a obecních úřadů a provozovatelů nákladní dopravy v rámci zásobování komerčních subjektů v rámci města.

Jednotky: vozidla („čistá)/ vozidla celkem (%)

Relevance: (Rai a kol., 2018; Toth-Szabo a kol., 2011)

Podíl tranzitní automobilové dopravy – Podíl tranzitní dopravy (mimoměstská doprava na území města) a celkových intenzit dopravy na hlavním silničním průtahu městem v rámci pracovního dne (uvažujeme, že i v případě existence obchvatu města bude vždy existovat určitá část tranzitní dopravy v jiných směrech). Údaje lze získat od pracovníků městských a obecních úřadů nebo provedením směrového (kordonového) průzkumu ve městě.

Jednotky: %

Relevance: strana 56 (RAND Europe a kol., 2004; Bauer a kol., 2008)

Investice do obnovy vozového parku VHD – Roční hodnota investic do obnovy vozového parku. Autor našel spojitost s indikátory udržitelné mobility vztahující se ke stárnutí vozového parku a považuje jej za vhodný ukazatel ve spojitosti s efektivně vynaloženými finančními prostředky na zkvalitnění dopravního systému a zatraktivnění VHD. Údaje lze získat od pracovníků dopravních podniků nebo z výročních zpráv.

Jednotky: Kč

Relevance: (Dobranyte-Niskota a kol., 2007; Perra a kol., 2017; Tafidis a kol., 2017)

Náklady na cestu do centra města dopravními prostředky VHD – Průměrná cena jízdného z okrajových částí města do centra města zahrnující jen jednu cestu nebo dvě cesty (tam i zpět), případně poměr ceny jízdného VHD za cestu do centra města a nákladů na stejnou cestu osobním automobilem. Údaje lze získat od pracovníků dopravních podniků nebo tarifních podmínek dopravců ve VHD.

Jednotky: Kč, případně $Kč_{VHD}/Kč_{IAD}$

Relevance: (RAND Europe a kol., 2004; Toth-Szabo a kol., 2011; Dobranyte-Niskota a kol., 2007)

Průměrný měsíční příjem domácností – Podíl průměrných měsíčních výdajů domácností na cesty v rámci VHD na průměrném měsíčním příjmu domácností. Údaje lze získat z dotazníkového šetření v domácnostech.

Jednotky: $Kč_{VHD}/Kč_{příjem}$

Relevance: strana 56 a 68 (Gwiliam a kol., 2004; Stapleton a kol., 2017; Litman, 2019)

Poměr cestovní doby VHD a IAD – Poměr průměrných cestovních dob dopravními prostředky VHD a cestovních dob v rámci IAD na stejné trase z okrajových částí města do centra města v dopravní špičkové hodině. Údaje lze získat z analýzy jízdních řádů a dat z přepravních a dopravních průzkumů (popřípadě použitím plovoucího vozidla).

Jednotky: $cestovní\ doba_{VHD}/cestovní\ doba_{IAD}$

Relevance: (2004; Toth-Szabo a kol., 2011; Dobranskyte-Niskota a kol., 2007)

Náklady na opravu dopravních prostředků VHD – Roční náklady na opravu dopravních prostředků způsobené dopravními nehodami. Autor považuje indikátor za vhodný ukazatel ve spojitosti s vynaloženými finančními prostředky ve vztahu k bezpečnosti. Údaje lze získat od pracovníků dopravních podniků.

Jednotky: Kč

Relevance: (Dobranskyte-Niskota a kol., 2007; Perra a kol., 2017)

Počet parkovacích ploch pro zásobování v rámci městské logistiky – Počet parkovacích a odstavných stání vyhrazených pro zásobovací vozidla v rámci centra města, popřípadě míra spokojenosti řidičů nákladních vozidel s možností legálního parkování v centru daného města. Údaje lze získat od pracovníků městských a obecních úřadů, popřípadě dotazníkovým šetřením mezi řidiči zásobovacích vozidel.

Jednotky: Počet parkovacích stání, popřípadě míra spokojenosti řidičů (%)

Relevance: (Matusiewicz, 2019; Rai a kol., 2018)

Intenzita nákladní dopravy – Poměr průměrné denní intenzity tranzitní nákladní dopravy na hlavním silničním průtahu městem v rámci pracovních dní (popřípadě celoročních intenzit nákladní dopravy) a ročních výdajů na opravy silničních průtahů ze strany správce komunikace. Údaje lze získat od pracovníků městských a obecních úřadů, provedením dopravního průzkumu nebo od správce daných pozemních komunikací.

Jednotky: $I_{ND}/Kč$

Relevance: (Toth-Szabo a kol., 2011; Rai a kol., 2018; Hale, 2011)

Kapacita záchytných parkovišť na okraji města – Celkový počet parkovacích stání na záchytných parkovištích na okraji města. Údaje lze získat od pracovníků městských a obecních úřadů nebo od provozovatelů P+R parkovišť.

Jednotky: počet parkovacích stání

Relevance: (Persia a kol., 2016; Toth-Szabo a kol., 2011)

Nabídka zpoplatněných parkovacích ploch v centru města – Počet parkovacích stání zpoplatněných na parkovacích plochách v centru města. Údaje lze získat od pracovníků městských a obecních úřadů nebo od provozovatelů objektů vyhrazených pro parkování vozidel.

Jednotky: počet parkovacích stání

Relevance: (Persia a kol., 2016; Toth-Szabo a kol., 2011; Tafidis a kol., 2017)

Počet uživatelů systému sdílených vozidel – Poměr počtu uživatelů systému sdílených vozidel a celkového počtu km realizovaných v rámci systému sdílených vozidel na území města za určité časové období (např. měsíc). Autor tento indikátor vyhodnotil jako vhodný indikátor udržitelné mobility na základě poznatků z provedené rešerše – zvyšující se hodnota koreluje s udržitelnou mobilitou. Údaje lze získat od provozovatelů systému sdílených vozidel.

Jednotky: uživatelé/km

Relevance: strana 62 (Martin a kol., 2010; Haefeli a kol., 2006; Cervero a Tsai, 2004; Katzev, 2003)

Intenzita dopravy/délka silniční sítě – Poměr mezi průměrnou intenzitou IAD na sběrných a rychlostních místních komunikacích v pracovním dni a celkovou délkou těchto MK. Údaje lze získat z dopravních průzkumů a od správce pozemních komunikací.

Jednotky: I_{IAD}/km

Relevance: (Dobranskyte-Niskota a kol., 2007)

Stupeň automobilizace – Počet osobních automobilů registrovaných na území města na 1000 obyvatel. Údaje lze získat od pracovníků dopravního úřadu příslušného k danému městu nebo ze statistických databází.

Jednotky: počet osobních vozidel/1000 obyv.

Relevance: (Litman, 2019; Toth-Szabo a kol., 2011)

Počet cest IAD na osobu – Poměr mezi počtem každodenních cest obyvatel za prací s využitím osobního vozidla a počtem zaměstnaných obyvatel v daném městě. Údaje lze získat od pracovníků městských úřadů, ze statistických databází a z průzkumů dopravního chování obyvatel v daném městě.

Jednotky: počet denních cest/obyvatel

Relevance: strana 21 (Persia a kol., 2016; Gillis a kol., 2016)

Průměrná cestovní vzdálenost v IAD na území města – Průměrný počet kilometrů uražených v rámci dojíždění obyvatel (členů domácnosti) za prací společně s dalšími cestami za nákupy, zábavou aj. na území města za rozhodné období (např. den). Údaje lze získat z průzkumů dopravního chování obyvatel v daném městě.

Jednotky: km

Relevance: strana 21 (Dobranskyte-Niskota a kol., 2007; RAND Europe a kol., 2004)

Doba trvání dopravní kongesce – Průměrný počet hodin v rámci dne, kdy se utváří dopravní kongesce na páteřních komunikacích ve městě (silniční a dálniční průtahy, rychlostní místní komunikace) s uvážením úrovně kvality dopravního proudu na stupni F (rychlost dopravního proudu méně než 25 km/h. Alternativně lze uvažovat s poměrem délky páteřních komunikací, na kterých se ve špičkovém dopravním období vytvářejí obvykle kongesce, a délky celkové sítě páteřních komunikací na území města. Údaje lze získat z dopravních průzkumů, např. využitím dat z plovoucího vozidla (FCD).

Jednotky: hodiny, popřípadě $\text{km}_{\text{kongesce}}/\text{km}_{\text{celkově}}$

Relevance: (Litman, 2019; RAND Europe a kol., 2004; Gillis a kol., 2016; Tafidis a kol., 2017)

Počet osob dojíždějících do města za prací – Počet obyvatel okolních obcí v regionu, kteří dojíždějí denně za zaměstnáním na území daného města osobním automobilem. Údaje lze získat ze statistických databází.

Jednotky: počet obyvatel

Relevance: (Toth-Szabo a kol., 2011; Handy, 2014)

4.4. Návrh obecné procedury pro identifikaci klíčových faktorů ovlivňujících objemy dopravy ve vztahu k udržitelné mobilitě

Po selekci relevantních indikátorů udržitelné mobility vztahujících se k jednotlivým oblastem udržitelného rozvoje ve městech byla pro posouzení a stanovení významnosti těchto indikátorů využita metoda multikriteriální rozhodovací analýzy (MCA). Tato metoda se zabývá hodnocením možných alternativ podle relevantních kritérií. Přičemž alternativa hodnocená podle jednoho kritéria zpravidla nebývá nejlépe hodnocena podle kritéria jiného. Jde o metodu, která má za cíl shrnout a utřídit informace o posuzovaných variantách (strategiích, scénářích aj.).

Existují různé přístupy k řešení MCA – metody založené na výpočtu hodnot funkce užitku (např. lineární funkce užitku), metody založené na maximalizaci užitku (metoda váženého součtu, metoda AHP aj.), metody založené na minimalizaci vzdálenosti od ideální varianty (metoda TOPSIS), metody založené na vyhodnocování preferenční relace (metoda ELECTRE a metoda PROMETHEE) nebo metody založené na mezní míře substituce (Brožová a kol., 2003).

Návrh obecné procedury pro identifikaci klíčových faktorů indikátorů udržitelné mobility aplikací multikriteriální rozhodovací analýzy zahrnuje tyto postupné kroky:

1) Definování skupin indikátorů udržitelné mobility

Pro detekci různých indikátorů je patřičné využít písemnou formu ankety nebo ústní dotazník jako jednu z významných metod získávání expertních výpovědí. Je ovšem nezbytné realizovat tzv. předvýzkum, tj. ověření navrženého dotazníku na malém vzorku respondentů, čímž se zjistí vhodnost jeho implementace ve výzkumu. Ověří se formální korektnost a funkčnost dotazníku. Po samotné realizaci dotazníkového šetření následuje statistické vyhodnocení získaných údajů, které vede ke specifikaci výsledných skupin faktorů a samotných indikátorů. Předběžné ankety a dotazníková šetření byly autorem nahrazeny rešerší již realizovaných výzkumů zahraničních i tuzemských autorů v oblasti udržitelné mobility a vytvořených sad indikátorů. Na základě takto provedeného výzkumu autor navrhl sadu indikátorů zohledňující cíle udržitelného rozvoje měst a integrující faktory ovlivňující objemy dopravy na silniční síti.

Pro následný hierarchický proces je potřebné přiřadit navržené indikátory k jednotlivým scénářům (strategiím), které nejlépe reflektují cíle vedení měst směřujících k udržitelnému rozvoji. A opět je nutné přihlížet k faktorům, které vedou ke snížení intenzit dopravy na silniční síti ve městech, jelikož dopravní oblast je jednou z klíčových faktorů udržitelného rozvoje. Autor z tohoto pohledu navrhl tyto strategie, které by vedení měst mělo zohledňovat při rozhodovacích procesech v různých oblastech (např. dopravní plánování):

1. **Podpora dostupnosti VHD ve vztahu k efektivnosti systému** – zahrnuje procesy dopravního a územního plánování ke zvýšení podpory využívání systému VHD na území města, jakožto významného regulátora míry využití individuální automobilové dopravy
2. **Podpora nemotorových druhů dopravy** – tato strategie cílí na zvýšení podpory pěší a cyklistické dopravy ve vztahu k územnímu plánování na území měst.
3. **Snížování dopadu dopravy na životní prostředí a zvýšení bezpečnosti** – zahrnuje procesy dopravního a územního plánování ke zvýšení bezpečnosti zranitelných účastníků dopravy a zlepšení životního prostředí ve městě.
4. **Integrace dopravních systémů ve vztahu k ekonomické efektivnosti** – strategie usilující o efektivní dopravní systém ve městě ve vztahu k dopravní politice zohledňující udržitelnost rozpočtu měst.
5. **Používání IAD pro každodenní cesty obyvatel** – strategie usilující o snížení podílu IAD na celkových cestách obyvatel na území města zahrnující míru využití osobních vozidel a aplikace opatření pro redukci míry využívání osobních vozidel (kromě podpory VHD, která je hodnocena jako samostatný scénář).

Samotné definování skupin strategií (i jednotlivých indikátorů) po pečlivém provedení rešerše dostupných zdrojů pro účely zpracování další části disertační práce je sumarizováno níže (tabulka č. 9). Čtvrtý sloupec tabulky reprezentuje charakter vlivu indikátoru na udržitelnou městskou mobilitu – (+) pokud nárůst hodnoty indikátoru podporuje pozitivní vývoj udržitelné mobility, nebo (-) pokud

naopak pokles hodnoty indikátoru podporuje pozitivní vývoj udržitelné mobility ve městě. Charaktery vlivu byly komparovány s podobnými indikátory zahraničních a tuzemských autorů, kteří determinovali rovněž tento vliv shodně.

Tabulka 9 - Skupiny strategií i s jednotlivými indikátory ovlivňujícími intenzity dopravy (zdroj: autor).

Skupiny strategií	No.	Indikátory/faktory	Vliv
Podpora dostupnosti VHD ve vztahu k efektivnosti systému	1K1	Nabídka VHD	+
	1K2	Frekvence spojů VHD	+
	1K3	Průměrná cestovní doba vozidly VHD do centra města	-
	1K4	Počet obyvatel v okruhu 500 m od jednotlivých zastávek	+
	1K5	Procento obyvatel spokojených se službami VHD ve městě	+
	1K6	Spolehlivost VHD	+
	1K7	Hustota sítě linek VHD	+
	1K8	Rozdíl v cestovní rychlosti před a po zavádění prvků prostorové preference	+
	1K9	Nabídka spojů VHD s nízkopodlažními vozy	+
Podpora nemotorových druhů dopravy	2K1	Průměrná cestovní doba domácností pro dosažení základních služeb	+
	2K2	Poměr ploch pro komerční využití a celkové zastavěné plochy	+
	2K3	Diverzita menších obchodních zařízení a služeb	+
	2K4	Délka tras vyhrazených pro cyklistickou dopravu	+
	2K5	Docházková vzdálenost do školských zařízení	-
	2K6	Jízdní výkon v rámci systému sdílených kol	+
	2K7	Počet obyvatel žijících v dosahu zařízení pro volnočasové aktivity	+
	2K8	Počet pracovních příležitostí ve městě	-
Snižování dopadu dopravy na životní prostředí a zvyšování bezpečnosti	3K1	Délka silnic se zklidňovacími prvky	+
	3K2	Podíl dopravních prostředků VHD s alternativním druhem pohonu	+
	3K3	Délka pozemních komunikací vyhrazených pro chodce	+
	3K4	Počet dopravních nehod na 1000 obyvatel	-
	3K5	Poměr počtu přechodů pro chodce a délky pozemních komunikací na území města	+
	3K6	Podíl ploch území generující nákladní dopravu na území města	-
	3K7	Počet osob přepravených systémem VHD na území města	+
	3K8	Podíl nákladních vozidel s alternativními druhy pohonu na území města	+
	3K9	Podíl tranzitní automobilové dopravy	-
Integrace dopravních systémů ve vztahu k ekonomické efektivnosti	4K1	Investice do obnovy vozového parku VHD	+
	4K2	Náklady na cestu do centra města dopravními prostředky VHD	-
	4K3	Průměrný měsíční příjem obyvatel	+
	4K4	Poměr cestovní doby IAD a VHD	-
	4K5	Náklady na opravy dopravních prostředků VHD	-
	4K6	Počet parkovacích ploch pro zásobování v rámci městské logistiky	+
	4K7	Intenzita nákladní dopravy	-
Používání IAD pro každodenní cesty obyvatel	5K1	Počet osob dojíždějících do města za prací	-
	5K2	Nabídka zpoplatněných parkovišť v centru města	+
	5K3	Počet uživatelů služeb systému sdílených vozidel	+
	5K4	Intenzita IAD/délka silniční sítě	-
	5K5	Stupeň automobilizace	-
	5K6	Počet cest uživatelů IAD na osobu	-
	5K7	Průměrná cestovní vzdálenost v IAD na území města	-
	5K8	Doba trvání dopravní kongesce	-
	5K9	Kapacita záchytných parkovišť na okraji města	+

2) Přidělení bodového rozpětí jednotlivým skupinám strategií a indikátorům pro následné hodnocení

Příslušný hodnotitel / hodnotitelé přidělí jednotlivým skupinám a faktorům bodové rozpětí pro účely odstupňování minimální a maximální míry důležitosti skupin a indikátorů vztahujících se k jednotlivým územím z pohledu udržitelné mobility. Tento krok je důležitý pro určení stupně významnosti (preferance) daného faktoru při řešení budoucích dopravně-inženýrských projektů.

3) Stanovení relativních vah významnosti skupin strategií a jednotlivých indikátorů

Před samotným přiřazením relativních vah důležitosti jednotlivým skupinám strategií a samotným indikátorům musí být v první řadě pro daný účel determinována adekvátní metoda pro stanovení vah posuzovaných kritérií (indikátorů). Z toho důvodu bude v disertační práci provedena pojící se analýza (viz následující odstavce).

4) Ideální bodování jednotlivých skupin strategií a indikátorů

Stanoví se jako maximální bodová hodnota z bodového rozpětí dané skupiny a daného indikátoru. Přidělení maximálního bodového ohodnocení jednotlivým skupinám a indikátorům se později využije při stanovení ideálního skóre těchto indikátorů.

5) Určení ideálního skóre jednotlivých faktorů ovlivňujících intenzitu dopravy (indikátorů)

Ideální skóre jednotlivých indikátorů určíme jako součin ideálního bodování daného faktoru a jeho relativní váhy významnosti.

6) Určení ideálního skóre skupin strategií ovlivňujících intenzitu dopravy

Ideální hodnoty skupin strategií ovlivňujících intenzitu dopravy (míru udržitelné mobility) stanovíme jako součin ideálního bodování dané skupiny a její relativní váhy významnosti. Tato hodnota je zásadní při porovnávání skutečné hodnoty s ideálním stavem.

7) Bodování skupin strategií a indikátorů konkrétního dopravně-inženýrského projektu v kontextu zvyšování míry udržitelné mobility

Body se ohodnotí jednotlivé skupiny a také indikátory z hlediska míry relevance pro konkrétní dopravně-inženýrský projekt související s ovlivňováním intenzity dopravy (míry udržitelné mobility). A znovu, přidělování bodů má být objektivní proces, tudíž je stěžejní stanovit klíč (adekvátní metodu) pro přidělování bodů jednotlivým skupinám strategií a faktorům, a tento klíč zapracovat do specifické směrnice (pokynů), kterou se bude řídit realizace konkrétního dopravně-inženýrského projektu pojícího se s ovlivňováním intenzity dopravy.

8) Stanovení reálného skóre skupin strategií a indikátorů konkrétního dopravně-inženýrského projektu v kontextu zvyšování míry udržitelné mobility

Finální skóre jednotlivých skupin a indikátorů se určí jako součin reálného bodového ohodnocení konkrétní skupiny strategií a indikátoru a jejich relativních vah důležitosti při realizaci konkrétního dopravně-inženýrského projektu. Hodnota výsledného skóre dopravně-inženýrského projektu v kontextu udržitelné mobility se určí jako součet jednotlivých skóre skupin strategií a indikátorů.

9) Komparace ideálních hodnot skupin strategií a indikátorů s reálným skóre skupin strategií a indikátorů konkrétního dopravně-inženýrského projektu

Porovnáváme, nakolik se hodnota výsledného skóre dopravně-inženýrského projektu přiblížila k ideálnímu stavu. Hodnotu výsledného skóre dopravně-inženýrského projektu v kontextu udržitelné mobility lze pak vyjádřit jako procento z ideální hodnoty.

10) Vyvození závěrů

Je třeba stanovit objektivní a subjektivní faktory a metody, které ovlivňovaly hodnotu výsledného skóre dopravně-inženýrského projektu, posléze navrhnout postupy a opatření, které by vedly k dosažení příznivějších výsledků a tím i ke zvyšování hodnot vah skupin strategií a indikátorů udržitelné mobility.

Jednotlivé dílčí procesy návrhu procedury specifikované výše (body 1–10) jsou graficky znázorněny na vývojovém diagramu v příloze této disertační práce (Příloha C).

4.4.1. Analýza metod multikriteriální rozhodovací analýzy pro stanovení vah posuzovaných kritérií (faktorů) a výběr adekvátních metod

Literatura (Gnap a kol., 2004) uvádí, že pro hodnocení kvality dopravních služeb a pro posuzování udržitelného dopravního plánování je možné použít kromě jiného také:

- metody určování relativních vah faktorů (důležitosti / relevantnosti posuzovaných kritérií),
- metody kvadrantové analýzy.

V rámci disertační práce bylo rozhodnuto, že pro její potřeby budou aplikovány některé z metod určování relativních vah faktorů, které se jeví být adekvátními.

V literatuře (Korviny, 2020) je charakterizována celá řada matematických metod pro stanovení vah faktorů. Tyto metody ve své podstatě lze zařadit k metodám vícekritériální rozhodovací analýzy.

Čím je důležitost / relevantnost hodnoceného faktoru větší, tím je vyšší i jeho váha. Získat od uživatele hodnoty vah přímo je velmi náročný proces, avšak existují techniky, které na základě jednodušších subjektivních informací získaných od uživatele konstruují odhady vah. Metody pro stanovení vah lze rozdělit podle toho, jakou informaci o preferenci faktorů máme k dispozici (Hindls a kol., 2002; Saaty a kol., 1983), viz tabulka č. 10:

- a) Uživatel nemá žádnou informaci, tzn., neví nebo nechce rozhodnout o úrovni preference mezi faktory. Předpokládá se, že existuje kritériální matice kvantifikována pomocí kardinálních hodnot.
- b) Metody pracující s ordinální informací o faktorech předpokládají, že je řešitel schopen a ochoten vyjádřit důležitost jednotlivých faktorů tak, že přiřadí všem faktorům jejich pořadová čísla nebo při porovnání všech dvojic faktorů určí, který z komparované dvojice je ten důležitější. V obou případech je přípustné označení dvou nebo více faktorů jako rovnocenných.
- c) Metody stanovení vah faktorů z kardinální informace o jejich preferencích předpokládají, že je uživatel schopen a ochoten určit nejen pořadí důležitosti faktorů, ale také poměr důležitosti mezi všemi komparovanými dvojicemi.

Tabulka 10 - Metody pro stanovení vah faktorů

Stanovení vah faktorů		
Informace o preferencích mezi faktory		
a) není žádná informace	b) ordinální	c) kardinální
Metoda stejných vah	Metoda pořadí	Bodovací metoda
Entropická metoda	Metoda Fullerova trojúhelníku	Saatyho metoda

- **Metoda stejných vah** – všem faktorů se přidělí stejná váha. **Aplikace** dané metody v disertační práci je **nevhodná**, neboť neumožňuje určit preference mezi faktory, což je zásadní nedostatek.

- **Entropická metoda** – využívá předpokladu, že faktor není příliš důležitý, pokud hodnoty všech variant v kritériální matici podle tohoto faktoru jsou podobné, a naopak je tím více relevantní, čím více se hodnoty variant liší. Pročež lze obecně použít entropii pro určení vah kritérií. **Aplikace** dané techniky je v práci **nepříhodná**, jelikož sice umožňuje určit preference mezi faktory – do jisté míry, nicméně tato preference je závislá na velikostech hodnot kritériální matice a neodráží skutečnou významnost každého faktoru.
- **Metoda pořadí** – používá se v případech (projektech), kdy důležitost jejich faktorů hodnotí několik expertů. Každý z nich seřadí faktory sestupně od nejdůležitějšího po nejméně relevantní. Nejdůležitější faktor bude ohodnocen body odpovídajícími celkovému počtu faktorů, druhý nejdůležitější faktor body o jeden méně atd. Váha faktoru se určí tím způsobem, že se sčítají body, které byly získány od každého z expertů, a vydělí se celkovým počtem bodů všech faktorů. Pro účely **aplikace** v disertační práci se jeví být daná metoda **neadekvátní**, přičemž jejím klíčovým nedostatkem je, že výsledná hodnota váhy je odvozena od pořadí, a tudíž není preference mezi jednotlivými faktory určena v dostatečném rozsahu.
- **Metoda párového srovnávání rozhodovacích faktorů (metoda Fullerova trojúhelníku)** – při předpokladu, že uživatel ohodnotí faktor j jako relevantnější než l a zároveň platí, že faktor l je považován za méně preferovaný než faktor j , stačí provést počet srovnání $N = n(n-1)/2$ (kde n je počet faktorů). Toto porovnávání se většinou provádí pomocí tzv. Fullerova trojúhelníku, kde při každé dvojici faktorů se zakroužkuje ten faktor, který je považován za preferovanější. **Použití** dané metody je v práci **adekvátní**, přičemž její výhodou pro účely zpracování hlavního cíle disertační práce je dostatečný rozsah preference.
- **Bodovací metoda** – metoda patří mezi nejjednodušší metody vícekritériálního hodnocení, přičemž tato jednoduchost patří mezi její velké výhody. Každý z expertů ohodnotí jednotlivé faktory určitým počtem bodů; čím je faktor relevantnější, tím více bodů dostane (např. stupnice 0 – 10 nebo od 0 – 100). Výpočet vah se z bodového hodnocení realizuje analogicky jako při metodě pořadí. **Aplikace** dané metody je v práci **méně vhodná**, vzhledem k tomu, že ačkoli bodování významnosti jednotlivých faktorů několika odborníky přináší vyšší míru rozsahu, ovšem nedostatečně se eliminuje subjektivita jednotlivých bodových ohodnocení faktorů (například v komparaci s kvantitativním párovým srovnáváním).
- **Metoda kvantitativního párového srovnávání faktorů (Saatyho metoda)** – slouží pro určení vah faktorů, kde je rovněž stanovují přizvaní experti. Saatyho metoda v rámci kvantifikace vah faktorů odstraňuje klíčový nedostatek metody párového srovnání (na rozdíl od této metody, Saatyho metoda umožňuje kromě určení směru preference také velikost této preference), přičemž ji lze rozdělit do dvou kroků. První krok je zjištění preferenčních vztahů mezi každou z dvojic faktorů (vstupní data) a ve druhém kroku se stanovují jejich váhy. Pro ohodnocení párových srovnání faktorů se používá 9 bodová stupnice 1, 3, 5, 7, 9 a je možné dle autora Chajdiaka (1998) používat i mezistupně (hodnoty 2, 4, 6, 8):

- 1 – rovnocenné faktory i a j ,
- 3 – slabá preference faktoru i před j ,
- 5 – silná preference faktoru i před j ,
- 7 – velmi silná preference faktoru i před j ,
- 9 – absolutní preference faktoru i před j .

Řešitel postupně srovnává každou dvojici faktorů a velikosti preferencí i -tého faktoru vzhledem k j -tému faktoru zapíše do Saatyho matice. V případě, že je preferován j -tý faktor před i -tým, zapíše se do

Saatyho matice jejich převrácené hodnoty ($s_{ij}=1/3$ u slabé preference, $s_{ij}=1/5$ u silné preference apod.) dle Saatyho (1983).

Daná technika se pro její **aplikaci** v disertační práci jeví být **adekvátní**. Bodování významnosti jednotlivých faktorů z řad odborníků přináší dostatečnou míru rozsahu, ba co víc - dostatečně se eliminuje (objektivizuje) subjektivita jednotlivých bodových ohodnocení faktorů. Mimoto umožňuje stanovit jemné preference nejen mezi faktory, ale taktéž případně mezi následně posuzovanými variantami.

Vzhledem k výše provedenému rozboru jednotlivých matematických metod multikriteriální rozhodovací analýzy pojících se se stanovením vah faktorů bylo rozhodnuto, že pro účely identifikace klíčových faktorů ovlivňujících intenzity dopravy na dopravní síti na území měst a obcí a v jejich přilehlém okolí bude vhodné aplikovat metody kvantitativního párového srovnávání faktorů, tzv. Saatyho metodu a metodu Fullerova trojúhelníku.

4.4.2. Praktická aplikace Saatyho metody párového srovnávání v kontextu stanovení relativních vah významnosti indikátorů udržitelné mobility

Jak bylo uvedeno výše, stanovení vah kritérií pro potřeby identifikace klíčových faktorů ovlivňujících objemy dopravy bude v práci realizováno pomocí Saatyho metody a metody Fullerova trojúhelníku.

Úvodním krokem této techniky je definování vztahu mezi každou dvojicí faktorů, kdy se určuje míra významnosti v bodovém rozsahu 1-9. To je provedeno následujícím způsobem (Saaty a kol., 1983):

- K zajištění co největší objektivity při stanovení vah jednotlivých faktorů (kritérií) bylo dotázáno 15 hodnotitelů působících v oblasti dopravního inženýrství, veřejné hromadné dopravy a udržitelného rozvoje měst (skupina složená z expertů z praxe i z výzkumného a akademického prostředí byla vytvořena pro potřeby řešení dané úlohy pro účely zpracování disertační práce), aby stanovili významnosti jednotlivých indikátorů (viz tabulka č. 11). Detailnější informace o hodnotitelích jsou uvedeny rovněž v příloze disertační práce. Každý z řady expertů definoval bodovou míru významnosti specificky pro každou dvojici faktorů.

Tabulka 11 - Informace o hodnotitelích participujících na stanovení významnosti jednotlivých indikátorů

No.	Jméno hodnotitele	Pracoviště hodnotitele	Datum hodnocení
1	Ing. Per Polák	Magistrát města České Budějovice	12. 11. 2019
2	Ing. Michal Šram	Magistrát města České Budějovice	12. 11. 2019
3	Ing. Radek Filip	Dopravní podnik města České Budějovice	8. 1. 2020
4	Prof. Borna Abramović	University of Zagreb, Chorvatsko	14. 11. 2019
5	Prof. Vierslav Molnár	Technická univerzita v Košiciach, SR	14. 11. 2019
6	prof. Gabriel Fedorko	Technická univerzita v Košiciach, SR	14. 11. 2019
7	Prof. Jozef Gašparík	Žilinská univerzita v Žiline, SR	14. 11. 2019
8	Prof. Jozef Gnap	Žilinská univerzita v Žiline, SR	14. 11. 2019
9	PhD. Marin Marinov	Aston University, Velká Británie	25. 11. 2019
10	Ing. Petr Nachtigall, Ph.D.	Univerzita Pardubice	14. 11. 2019
11	Prof. Larisa M. Kapustina	Ural State University of Economics, Jekatěrinburg, Ruská federace	27. 11. 2019
12	Assoc. Prof. Stefano Ricci	Sapienza University, Řím, Itálie	3. 12. 2019
13	Assoc. Prof. Milos Hitka	Technická univerzita vo Zvolene, SR	14. 11. 2019
14	Prof. Pawel Drożdziel	Lublin University of Technology, Lublin, Polsko	14. 11. 2019
15	Assoc. Prof. Ádám Török	Budapest University of Technology and Economics, Budapešť, Maďarsko	14. 11. 2019

- Pro každý prvek Saatyho matice byl kvantifikován součet z dílčích matic všech členů skupiny a následně byl vypočten jejich aritmetický průměr. V případě potřeby, byly hodnoty zaokrouhleny na celá čísla.

Jak již bylo uvedeno výše, v rámci Saatyho matice jsou-li i -tý a j -tý faktor rovnocenné, je $s_{ij} = 1$, jestliže se preferuje slabě i -té kritérium před j -tým, je $s_{ij} = 3$, pokud se preferuje silně i -té kritérium před j -tým, je $s_{ij} = 5$, při velmi silné preferenci i -tého kritéria je $s_{ij} = 7$ a při preferenci absolutní dokonce $s_{ij} = 9$.

Je-li preferováno j -té kritérium před i -tým, zapíše se do Saatyho matice převrácené hodnoty ($s_{ij} = 1/3$ při slabé preferenci, $s_{ij} = 1/5$ při silné preferenci atd.).

Z toho již vyplývají základní vlastnosti Saatyho matice. Jedná se o matici čtvercovou řádu $n \times n$ a reciproční, tj. platí, že $s_{ij} = 1/s_{ji}$. Prvky matice vyjadřují odhad podílů vah i -tého a j -tého kritéria. Tudíž na diagonále Saatyho matice jsou vždy hodnoty jedna (každé kritérium je samo sobě rovnocenné).

Saaty (1983) navrhl několik numericky velmi jednoduchých způsobů, jak lze odhadnout váhy. Vektor jejich hodnot je označen jako $v = (v_1, v_2, \dots, v_k)$. Nejčastěji používaným způsobem pro kvantifikaci vah je normalizovaný geometrický průměr řádku v Saatyho matici, a proto se metodě někdy říká i „metoda nejmenších logaritmických čtverců“ (Saaty a kol., 1983; Kalčevová, 2018)

„Prioritní vektor“, tj. normalizovaná váha se kalkuluje pro každé kritérium pomocí geometrického průměru každého řádku v matici děleného součtem geometrických průměrů všech kritérií (Jablonský, 2007; Saaty, 2008).

Výpočet geometrického průměru každého řádku matice S (Saaty, 2008):

$$g_i = \sqrt[k]{\prod_{j=1}^k s_{ij}}; \quad i, j = 1, 2, \dots, k, \quad (38)$$

kde: g_i – geometrický průměr;
 s_{ij} – prvky Saatyho matice;
 \prod – součin hodnot prvků Saatyho matice.

Normalizace geometrického průměru (Saaty, 2008):

$$v_i = \frac{g_i}{\sum_{i=1}^k g_i}; \quad i = 1, 2, \dots, k, \quad (39)$$

kde: v_i – normalizovaný geometrický průměr;
 g_i – geometrický průměr;
 \sum – součet hodnot geometrických průměrů.

Jednou z podmínek pro určení vah kritérií pomocí Saatyho metody je dostatečná kvalita Saatyho matice, která je vyjádřena konzistencí matice. Prvky Saatyho matice většinou nejsou dokonale konzistentní, tzn. že neplatí $s_{hj} = s_{hi} \times s_{ij}$, pro všechna $h, i, j = 1, 2, \dots, n$. Dokonalá konzistence by byla dodržena pouze v případě matice, jejíž prvky by představovaly skutečné podíly vah kritérií. Míru konzistence je možné měřit pomocí indexu konzistence (CI), který je definován vztahem:

$$CI = \frac{l_{max} - n}{n - 1} \quad (40)$$

kde l_{max} je největší vlastní číslo Saatyho matice a n je počet kritérií. Matici lze považovat za dostatečně konzistentní pokud $CI \leq 0,1$.

Pro účely disertační práce byla získána jednotlivá vstupní data ze strany participujících expertů. Vstupní hodnoty prvků vstupní Saatyho matice byly posléze použity pro následující výpočty v kontextu kvantifikace vah důležitosti faktorů.

Jak již bylo zmíněno, pro stanovení vah významnosti faktorů byl tedy implementován následující postup (Jablonský, 2007). Vypočítáme geometrické průměry řádků Saatyho matice, tj vynásobíme prvky jednotlivých řádků matice a kvantifikujeme n -té odmocniny z těchto součinů. Váhy důležitosti faktorů kalkulujeme jako podíl hodnot řádkových geometrických průměrů a součtu hodnot těchto řádkových geometrických průměrů. Výsledné hodnoty Saatyho matic pro všechny skupiny strategií během dílčích výpočtů i finální hodnoty vektoru vah jednotlivých faktorů jsou sumarizovány v následujících tabulkách č. 12-17.

Tabulka 12 - Výsledná Saatyho matice pro jednotlivé skupiny strategií

Skupina strategií	1	2	3	4	5	g_i	v_i	
1	1,00	2,00	5,00	3,00	0,50	1,72	0,2621	
2	0,50	1,00	3,00	2,00	0,33	1,00	0,1525	
3	0,20	0,33	1,00	0,50	0,14	0,34	0,0523	
4	0,33	0,50	2,00	1,00	0,20	0,58	0,0887	
5	2,00	3,00	7,00	5,00	1,00	2,91	0,4443	
Σ	$CI=0,00700558$							1,0

Tabulka 13 - Výsledná Saatyho matice pro skupinu – podpora VHD ve vztahu k efektivnosti systému.

Faktor	1K1	1K2	1K3	1K4	1K5	1K6	1K7	1K8	1K9	g_i	v_i	
1K1	1,00	1,00	2,00	1,00	2,00	2,00	3,00	2,00	5,00	1,84	0,1789	
1K2	1,00	1,00	2,00	1,00	2,00	2,00	4,00	3,00	4,00	1,94	0,1885	
1K3	0,50	0,50	1,00	0,50	1,00	1,00	2,00	1,00	3,00	0,97	0,0943	
1K4	1,00	1,00	2,00	1,00	1,00	2,00	3,00	2,00	5,00	1,70	0,1657	
1K5	0,50	0,50	1,00	1,00	1,00	0,50	2,00	1,00	3,00	0,97	0,0943	
1K6	0,50	0,50	1,00	0,50	2,00	1,00	2,00	2,00	3,00	1,13	0,1100	
1K7	0,33	0,25	0,50	0,33	0,50	0,50	1,00	0,50	2,00	0,53	0,0519	
1K8	0,50	0,33	1,00	0,50	1,00	0,50	2,00	1,00	3,00	0,86	0,0834	
1K9	0,20	0,25	0,33	0,20	0,33	0,33	0,50	0,33	1,00	0,34	0,0331	
Σ	$CI=0,0206366$											1,0

Tabulka 14 - Výsledná Saatyho matice pro skupinu – podpora nemotorových druhů dopravy

Faktor	2K1	2K2	2K3	2K4	2K5	2K6	2K7	2K8	g_i	v_i	
2K1	1,00	2,00	3,00	1,00	1,00	4,00	1,00	2,00	1,62	0,1799	
2K2	0,50	1,00	2,00	0,50	0,33	2,00	0,50	1,00	0,80	0,0886	
2K3	0,33	0,50	1,00	0,25	0,33	2,00	0,50	0,50	0,54	0,0596	
2K4	1,00	2,00	4,00	1,00	1,00	3,00	2,00	3,00	1,86	0,2064	
2K5	1,00	3,00	3,00	1,00	1,00	3,00	1,00	2,00	1,65	0,1826	
2K6	0,25	0,50	0,50	0,33	0,33	1,00	0,33	0,50	0,43	0,0476	
2K7	1,00	2,00	2,00	0,50	1,00	3,00	1,00	1,00	1,25	0,1387	
2K8	0,50	1,00	2,00	0,33	0,50	2,00	1,00	1,00	0,87	0,0967	
Σ	$CI=0,02442896$										1,0

Tabulka 15 - Výsledná Saatyho matice pro skupinu – snižování dopadu dopravy na životní prostředí a zvyšování bezpečnosti

Faktor	3K1	3K2	3K3	3K4	3K5	3K6	3K7	3K8	3K9	g_i	v_i
3K1	1,00	0,50	1,00	0,33	1,00	0,33	0,33	0,50	0,20	0,50	0,0484
3K2	2,00	1,00	2,00	1,00	3,00	0,50	1,00	1,00	0,33	1,08	0,1052
3K3	1,00	0,50	1,00	0,50	2,00	0,50	0,50	1,00	0,25	0,68	0,0663
3K4	3,00	1,00	2,00	1,00	2,00	1,00	1,00	2,00	0,50	1,32	0,1284
3K5	1,00	0,33	0,50	0,50	1,00	0,50	0,50	0,50	0,33	0,53	0,0519
3K6	3,00	2,00	2,00	1,00	2,00	1,00	1,00	2,00	0,50	1,42	0,1387
3K7	3,00	1,00	2,00	1,00	2,00	1,00	1,00	2,00	0,33	1,26	0,1228
3K8	2,00	1,00	1,00	0,50	2,00	0,50	0,50	1,00	0,33	0,82	0,0798
3K9	5,00	3,00	4,00	2,00	3,00	2,00	3,00	3,00	1,00	2,65	0,2584
Σ	$CI=0,0251432$										1,0

Tabulka 16 - Výsledná Saatyho matice pro skupinu – integrace dopravních systémů ve vztahu k ekonomické efektivnosti

Faktor	4K1	4K2	4K3	4K4	4K5	4K6	4K7	g_i	v_i
4K1	1,00	1,00	1,00	0,50	2,00	3,00	2,00	1,29	0,1580
4K2	1,00	1,00	1,00	1,00	3,00	4,00	2,00	1,57	0,1927
4K3	1,00	1,00	1,00	0,50	2,00	3,00	2,00	1,29	0,1580
4K4	2,00	1,00	2,00	1,00	5,00	5,00	4,00	2,35	0,2880
4K5	0,50	0,33	0,50	0,20	1,00	1,00	1,00	0,56	0,0682
4K6	0,33	0,25	0,33	0,20	1,00	1,00	0,50	0,43	0,0528
4K7	0,50	0,50	0,50	0,25	1,00	2,00	1,00	0,67	0,0823
Σ	$CI=0,0133947$								1,0

Tabulka 17 - Výsledná Saatyho matice – používání IAD pro každodenní cesty obyvatel

Faktor	5K1	5K2	5K3	5K4	5K5	5K6	5K7	5K8	5K9	g_i	v_i
5K1	1,00	2,00	3,00	0,50	1,00	0,50	0,33	0,33	0,50	0,76	0,0699
5K2	0,50	1,00	2,00	0,25	2,00	0,25	0,20	0,17	0,33	0,48	0,0444
5K3	0,33	0,50	1,00	0,25	0,33	0,25	0,14	0,14	0,20	0,29	0,0266
5K4	2,00	4,00	4,00	1,00	2,00	1,00	1,00	0,50	0,50	1,36	0,1254
5K5	1,00	0,50	3,00	0,50	1,00	1,00	0,50	0,33	0,50	0,73	0,0677
5K6	2,00	4,00	4,00	1,00	1,00	1,00	0,50	0,50	1,00	1,26	0,1161
5K7	3,00	5,00	7,00	1,00	2,00	2,00	1,00	1,00	1,00	1,96	0,1803
5K8	3,00	6,00	7,00	2,00	3,00	2,00	1,00	1,00	2,00	2,44	0,2245
5K9	2,00	3,00	5,00	2,00	2,00	1,00	1,00	0,50	1,00	1,58	0,1452
Σ	$CI=0,0343897$										1,0

Aplikací Saatyho metody bylo docíleno pořadí strategií na základě jejich významnosti. Obdobně na základě preferencí hodnotitelů byla určena významnost jednotlivých indikátorů udržitelné mobility obsažených v daných strategiích. Saatyho matice vykazují vysokou míru konzistence. Autor se rozhodl pro aplikaci metody Fullerova trojúhelníku, aby výsledné pořadí strategií a pořadí indikátorů udržitelné mobility bylo co nejrelevantnější (viz další část). Výsledky aplikace obou metod jsou dále popsány zejména v kapitole 4.4.4.

4.4.3. Praktická aplikace metody Fullerova trojúhelníku v kontextu stanovení relativních vah významnosti indikátorů udržitelné mobility

Jak již bylo zmíněno výše, metoda Fullerova trojúhelníku je jednou z technik pro hodnocení relevance mezi kritérii (faktory) a stanovení jejich specifických preferencí. Fullerův trojúhelník se skládá ze dvou řádků v každé úrovni hodnocení, v nichž se každá dvojice kritérií vyskytuje jen jednou (Agarski a kol., 2017). U každého páru je specifickým způsobem vyznačena (indikována) hodnota tohoto kritéria, které je považováno za to preferovanější pro konkrétního hodnotitele. K určení normalizované váhy kritéria K_j se použije vzorec 39:

$$w_j = \frac{v_j}{\sum_{k=1}^n v_k}; \quad j = 1, 2, \dots, n \quad (41)$$

kde:

w_j – označuje podíl součtu preferencí kritérií (v_j) dělený celkovým počtem všech preferencí (v_k), tj. normalizovaná váha jednotlivých kritérií K_j s váhou v_j .

Kritérium považované za důležitější než druhé posuzované kritérium, je jistým specifickým způsobem vyznačeno z pohledu všech párů. Dalším krokem této metody je sečtení hodnot kritérií vyznačených jako důležitější, které se kvantifikují v jednotlivých řádcích, a nakonec se vydělí součtem hodnot vyznačených kritérií. Tudíž je nezbytně nutné pro každé kritérium stanovit, kolikrát bylo dané kritérium vyznačeno jako preferované v porovnání s jinými kritérii. Aby bylo možné určit váhu jednotlivých kritérií, každé kritérium se vydělí počtem všech srovnání. Kromě toho každá preference kritéria musí být zvýšena o 1, načež kritérium s původní preferencí nula bude mít nově hodnotu jedna.

Hodnoty preferencí jednotlivých kritérií se zadávají do tabulky, jak je uvedeno níže (viz tabulka č. 18 – obecný postup metody Fullerova trojúhelníku pro stanovení hodnoty vah faktorů).

Tabulka 18 - Schéma metody Fullerova trojúhelníku. Zdroj: (Korviny, 2020)

1	1	1	.	.	1
	2	3	.	.	n
	2	2	.	.	2
		3	.	.	n
				n-2	n-2
				n-1	n
					n-1

A opět, pro účely zpracování disertační práce, individuální vstupní preference mezi každou dvojicí faktorů byly přiřazeny několika odborníky zabývajícími se řešenou tematikou (seznam expertů viz tabulka č. 11), a poté byly kvantifikovány průměrné hodnoty všech vstupních hodnot (obecný postup pro sestavení Fullerova trojúhelníku).

Normalizovaná váha skupiny strategií 1 „podpora dostupnosti VHD ve vztahu k efektivnosti systému“ je vykalkulována níže, dle vztahu (39):

$$w_j = \frac{4}{15} = 0,2667$$

Váhy ostatních skupin strategií se vypočítají obdobným způsobem – viz tabulka č. 19 na následující straně.

Tabulka 19 - Výpočet vah jednotlivých skupin strategií pomocí Fullerovy metody

Skupina strategií	Počet preferencí (n)	$v_j=n+1$	Váha	w_j
1	3	4	4/15	0,2667
2	2	3	3/15	0,2
3	0	1	1/15	0,0667
4	1	2	2/15	0,1333
5	4	5	5/15	0,3333
Σ		15		1

Jelikož skupina strategií 3 neměla primárně žádnou preferenci, nebylo možné vykalkulovat její váhu. Z toho důvodu se připočítá $n+1$ ke každé preferenci z jednotlivých skupin. Skupina strategií 3 tak nově získá preferenci 0,0667.

Analogicky se postupuje i v případě kvantifikace vah jednotlivých faktorů v rámci všech skupin strategií (viz tabulky č. 20-24).

Tabulka 20 - Výpočet vah pomocí Fullerovy metody pro skupinu – podpora dostupnosti VHD ve vztahu k efektivnosti systému.

Faktor	Počet preferencí (n)	$v_j=n+1$	Váha	w_j
1K1	6	7	7/37	0,1892
1K2	6	7	7/37	0,1892
1K3	2	3	3/37	0,0811
1K4	5	6	6/37	0,1622
1K5	2	3	3/37	0,0811
1K6	4	5	5/37	0,1351
1K7	1	2	2/37	0,0541
1K8	2	3	3/37	0,0811
1K9	0	1	1/37	0,0270
Σ		37		1

Tabulka 21 - Výpočet vah pomocí Fullerovy metody pro skupinu – podpora alternativních nemotorových druhů dopravy

Faktor	Počet preferencí (n)	$v_j=n+1$	Váha	w_j
2K1	4	5	5/29	0,1724
2K2	2	3	3/29	0,1034
2K3	1	2	2/29	0,0690
2K4	5	6	6/29	0,2069
2K5	4	5	5/29	0,1724
2K6	0	1	1/29	0,0345
2K7	3	4	4/29	0,1379
2K8	2	3	3/29	0,1034
Σ		29		1

Tabulka 22 - Výpočet vah pomocí Fullerovy metody pro skupinu – snižování dopadu dopravy na životní prostředí a zvyšování bezpečnosti

Faktor	Počet preferencí (n)	$v_j=n+1$	Váha	w_j
3K1	0	1	1/36	0,0278
3K2	3	4	1/9	0,1111
3K3	1	2	1/18	0,0556
3K4	4	5	5/36	0,1389
3K5	0	1	1/36	0,0278
3K6	5	6	1/6	0,1667
3K7	4	5	5/36	0,1389
3K8	2	3	1/12	0,0833
3K9	8	9	1/4	0,2500
Σ		36		1

Tabulka 23 - Výpočet vah pomocí Fullerovy metody pro skupinu – integrace dopravních systémů ve vztahu k ekonomické efektivnosti

Faktor	Počet preferencí (n)	$v_j=n+1$	Váha	w_j
4K1	3	4	4/23	0,1739
4K2	4	5	5/23	0,2174
4K3	3	4	4/23	0,1739
4K4	5	6	6/23	0,2609
4K5	0	1	1/23	0,0435
4K6	0	1	1/23	0,0435
4K7	1	2	2/23	0,0870
Σ		23		1

Tabulka 24 - Výpočet vah pomocí Fullerovy metody pro skupinu – používání IAD pro každodenní cesty obyvatel

Faktor	Počet preferencí (n)	$v_j=n+1$	Váha	w_j
5K1	2	3	3/38	0,0789
5K2	2	3	3/38	0,0789
5K3	0	1	1/38	0,0263
5K4	4	5	5/38	0,1316
5K5	1	2	1/19	0,0526
5K6	3	4	2/19	0,1053
5K7	5	6	3/19	0,1579
5K8	7	8	4/19	0,2105
5K9	5	6	3/19	0,1579
Σ		38		1

Na základě výstupů z provedené kvantifikace vah skupin strategií a jednotlivých indikátorů (faktorů) metodou Fullerova trojúhelníku bylo zjištěno, že při komparaci se Saatyho metodou pořadí významnosti jednotlivých strategií je shodné. Pořadí indikátorů v rámci jednotlivých strategií se mírně odlišuje na základě stanovených vah. Průměrem vah získaným oběma metodami lze docílit finální podoby hierarchie indikátorů v rámci jednotlivých strategií – výsledky jsou dále uvedeny v následující kapitole.

4.4.4. Srovnání výsledků stanovení relativních vah významnosti indikátorů udržitelné mobility

Při determinaci významnosti indikátorů udržitelné mobility ve městech, které zároveň reflektují nalezené faktory ovlivňující intenzity dopravy na silnicích, bylo vhodné stanovit skupiny strategií, které korespondují s cíli udržitelného rozvoje. Tyto strategie integrují různé oblasti udržitelného rozvoje měst s důrazem na zohlednění automobilové dopravy ve městě jakožto jednoho z primárních faktorů, který významně ovlivňuje budoucí udržitelný rozvoj v území. Bylo samozřejmě možné vytvořit vícero strategií v souladu s obecnými zásadami udržitelného rozvoje, např. samostatná strategie pro nákladní dopravu ve městě nebo strategie na podporu mobility obyvatel se specifickými potřebami, ale autor se rozhodl pro vytvoření seznamu indikátorů udržitelné mobility, které zohledňují i tyto cíle a které zahrnul do pěti významných strategií. V rámci jednotlivých strategií autor indikátory udržitelné mobility porovnával z hlediska jejich významnosti. Ke stanovení jejich významnosti (na základě vah) použil metod multikriteriální analýzy – konkrétně Saatyho metodu, kterou komparoval s metodou Fullerova trojúhelníku.

Z aplikace těchto metod vzešla míra signifikance jednotlivých strategií (hierarchicky uspořádané na základě determinovaných vah), kterou lze považovat za jakési vyjádření priority daných strategií v rámci plánování dopravy ve městě směrem k udržitelnému rozvoji – vzhledem k preferencím všech expertů, kteří se vyjádřili k významnosti jednotlivých navržených indikátorů udržitelné mobility.

Nutno podotknout, že takto navržené strategie udržitelné mobility a udržitelného rozvoje byly primárně zaměřeny na územní a dopravní plánování pro město s počtem obyvatel od 40 tis. do 120 tis. obyvatel, což je relevantní k metodice pro vytváření plánů udržitelné mobility ve městech v České republice a vztahuje se tak k velkému počtu takovýchto měst. Obdobným způsobem bychom mohli postupovat v případě stanovení priority strategií udržitelné mobility i ve větších městech jako je Praha, Plzeň, Brno nebo Ostrava, a bylo by zajímavé komparovat výsledky expertního stanovení vah mezi těmito velikostními skupinami sídel.

Procentuální vyjádření významnosti (vah) jednotlivých strategií udržitelné mobility stanovené aplikací dvou metod (Saatyho metodou a Fullerovou metodou) je znázorněno v grafu na obrázku č. 28. **Strategii usilující o snížení podílu IAD** na celkových cestách obyvatel na území města zahrnující indikátory pro monitorování míry využití osobních vozidel a aplikaci různých dopravně-inženýrských či restriktivních opatření pro redukci míry využívání osobních vozidel je přisuzován největší význam.

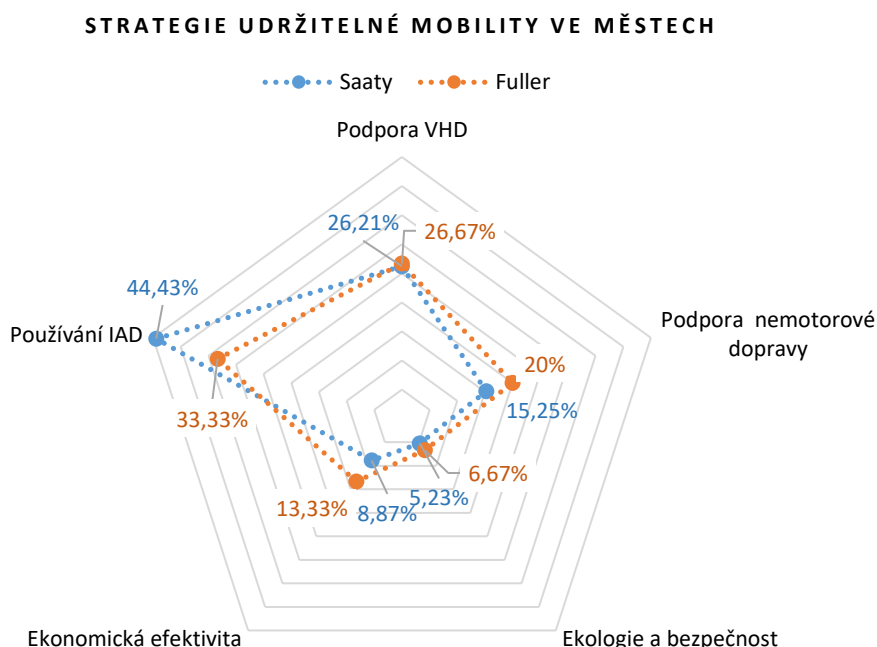
Druhou determinovanou významnou strategií je **podpora systému VHD**, která přímo souvisí i s mírou využití automobilové dopravy. Avšak byla hodnocena jako samostatná strategie, jelikož efektivním nastavením lze docílit změny dělby přepravní práce ve prospěch VHD a tím nabývá na exkluzivní důležitosti v rámci udržitelného rozvoje zejména z hlediska vyšších nároků na plánování systému VHD.

Podpora nemotorové dopravy je rovněž expertními hodnotiteli považována za relativně významnou. Autor tuto strategii zahrnul do hodnocení z důvodu toho, že je toto cílem udržitelného rozvoje z hlediska podpory zdravého životního stylu obyvatel. Existují ale další důvody podpory v rámci udržitelné mobility, a to takové, že efektivní systém a kvalitní infrastruktura pro pěší a cyklistickou dopravu mohou redukovat míru využívání osobních automobilů na území města (ve vztahu k územnímu plánování a rozložení zdrojů a cílů cest na území města).

Strategii zohledňující ekologické a bezpečnostní faktory, zrovna tak jako strategii usilující o ekonomicky efektivní dopravní systém ve městě ve vztahu k dopravní politice zohledňující

udržitelnost rozpočtu měst, nebyla ze strany hodnotitelů přisuzována taková váha jako u výše uvedených strategií. Je to z toho důvodu, že navržené indikátory udržitelné mobility (obdobně jednotlivé strategie tyto indikátory obsahující) byly hodnoceny z pohledu významnosti vlivu na celkové intenzity dopravy ve městech. Ačkoliv například zásady udržitelného rozvoje přisuzují snížení dopadu dopravy na životní prostředí, dopadu na zdraví obyvatel a zvýšení jejich bezpečnosti větší význam, z pohledu dopadu na počet vozidel (objem dopravy) v území byly vyhodnoceny jako méně významné.

Z hlediska udržitelného rozvoje je na bezpečnost v dopravě obecně kladen veliký důraz, zejména z toho důvodu, že oběti dopravních nehod mají vysoký ekonomický dopad – je možné vyčíslit externí náklady odpovídající ceně lidského života nebo zranění člověka, do kterých se zahrnují škody způsobené na lidském zdraví, majetku, výdaje na výzkum, záchranný systém nebo i kalkulace ztráty pracovního místa. Obdobně lze vyčíslit i externí náklady z dopadů dopravy na životní prostředí a zdraví obyvatel jako je hluk nebo exhalace a s tím související kongesce na silniční síti (Máca a kol., 2012).



Obrázek 28 – Váhy jednotlivých strategií udržitelné mobility ve vztahu ke snižování podílu IAD na dělbě přepravní práce (zdroj: autor)

Strategie „integrace dopravních systémů ve vztahu k ekonomické efektivnosti“ (na obrázku č. 28 označeno jako „ekonomická efektivita“) zahrnuje indikátory, které byly navrženy pro zhodnocení efektivity vynaložených veřejných financí v oblasti podpory změny cestovních návyků obyvatel směrem k alternativním druhům dopravy (zejména změna dělby přepravní práce ve prospěch VHD). Dále obsahuje indikátory, které mohou sloužit pro zhodnocení efektivně vynaložených veřejných financí na údržbu pozemních komunikací.

V rámci jednotlivých strategií byly vyhodnoceny preference expertních hodnotitelů u indikátorů udržitelné mobility. Preference byly expertními hodnotiteli udělovány v kontextu dopadu na celkové objemy dopravy na silniční síti na území měst.

V případě strategie „podpora VHD“ byly jako nejvýznamnější indikátory identifikovány (obrázek č. 29a) „nabídka VHD“ (1K1), „frekvence spojů VHD“ (1K2), „počet obyvatel s docházkovou vzdáleností do 500 m od zastávek VHD“ (1K4) a „spolehlivost VHD (1K6). Tyto indikátory reflektují více či méně kvalitu sítě VHD na území města a lze tvrdit, že čím kvalitnější systém VHD na území města je, tím pravděpodobnější bude změna dělby přepravní práce ve prospěch veřejné hromadné dopravy. Například spolehlivost systému VHD byla expertními hodnotiteli brána tedy jako jeden ze zásadních faktorů, kde jako indikátor můžeme brát v potaz poměr počtu spojů na lince zpožděných (s uvážením určité časové tolerované odchylky) a počtu spojů na lince celkově, nebo jako procento cestujících spokojených se spolehlivostí systému VHD v případě provedení dotazníkového šetření mezi cestujícími vztahující se k hodnocení kvality systému (Drdla, 2004). Komplexně je ovšem řada dalších faktorů, jak zhodnotit kvalitu systému VHD (toto však nebylo cílem práce). Mezi zásadní faktory lze uvést cestovní rychlost – ta je jako zásadní expertními hodnotiteli vyhodnocena v případě jiné strategie, kde je jako indikátor uvažován poměr cestovní rychlosti v rámci VHD a cestovní rychlosti v rámci IAD. Za další faktory mající vliv na kvalitu VHD jsou považovány míra integrace dopravních systémů, jako i kvalita prostorové a časové provázanosti spojů v uzlech neintegrováné MHD nebo integrováné VHD, síťový charakter VHD a míra preferenčních opatření pro vozidla VHD (Drdla, 2004). Tyto faktory jsou zahrnuty rovněž v navržených indikátorech udržitelné mobility.

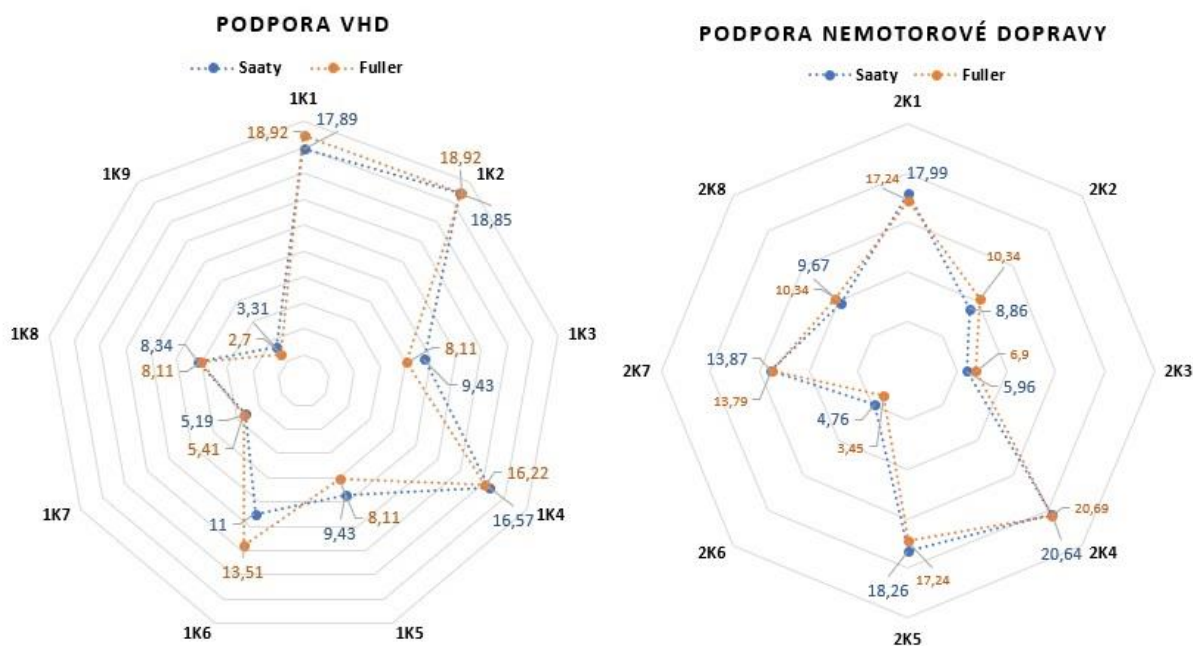
Samozřejmě ochota využívání systému veřejné hromadné dopravy (stejně jako jiných dopravních módů) závisí na mnoha jiných faktorech, zejména psychologických (viz kapitola 4.1.7). Co se frekvence spojů na linkách VHD týče, autor Brechan (2017) svým výzkumem potvrdil, že zvýšení frekvence dopravních prostředků na linkách VHD (v průměru) generuje více cest v rámci systému VHD. Přitom došel k závěru, že počet cest vzniklých navýšením frekvence je mnohem efektivnější než snížení ceny jízdného. V případě nabídky spojů je indikátor definován jako hodnota nabízené kapacity všech vozidel na linkách VHD v hodině dopravní špičky na území města. Autoři Beudoin a Lin Lawell (2016) ve své studii prokázali, že zvýšení nabídky veřejné dopravy vede ke snížení poptávky po cestování v rámci IAD, avšak není to pravidlem u všech oblastí města.

Je otázka, nakolik samotné zatraktivňování systému VHD různými organizačními, tarifními, provozními či jinými úpravami dokáže „přilákat“ uživatele IAD v podmínkách České republiky. Autor ale uvede příklad ze své profese, kde organizoval zhruba rok po vybudování záchytného parkoviště v Jírovcově ulici v Českých Budějovicích dotazníkové šetření mezi uživateli, do jaké míry je parkoviště využíváno obyvateli okolních obcí pro své cesty za zaměstnáním v Českých Budějovicích. Společně se záchytným parkovištěm byla zprovozněna linka obsluhovaná midibusy s elektrickým pohonem, která propojuje okraj města (záchytné parkoviště) přímo s centrem města (náměstí Přemysla Otakara II.). Bylo zjištěno, že 84 % uživatelů parkoviště jsou obyvatelé z okolních obcí, kteří parkoviště využívají k odstavení vozidla na dobu delší jak 4 hodiny a velká část těchto uživatelů (62 %) využívala pro svoji další cestu nově zřízenou autobusovou linku, která je ve špičkovém období obsluhována spoji s intervalem 10 minut a je zcela zdarma na trase záchytné parkoviště-náměstí Přemysla Otakara II.

Zatímco přístup městského dopravního podniku v Českých Budějovicích autor shledává v tomto směru jako velmi kladný, co se oblasti nabídky alternativy pro řidiče osobních vozidel týče, jiná situace je v případě integrace systémů VHD na území města, respektive v regionu. Nezdá se plně, že by se za posledních dvacet let v tomto směru něco zlepšilo, což autor považuje za tristní vzhledem k faktu, že kvalitně fungující integrovaný dopravní systém je brán mnoha odborníky jako jeden ze zásadních „katalyzátorů“ pro zatraktivnění VHD mezi širokou základnou cestujících.

Metodou Fullerova trojúhelníku byla dále přiřazena shodná váha (8,11%) u třech indikátorů: „průměrná cestovní doba vozidly VHD do centra města“ (1K3), „procento obyvatel spokojených se službami VHD“ (1K5) a „rozdíl v cestovní rychlosti před a po zavádění prvků prostorové preference“ (1K8), zatímco Saatyho metodou byla stanovena větší váha u prvních dvou indikátorů z těchto tří (9,43%).

Menší význam byl přiřazen indikátorům zohledňujícím „hustotu sítě linek VHD“ (1K7) a „nabídku spojů VHD obsluhovanými nízkopodlažními spoji“ (1K9). Ačkoliv se zde naskýtá domněnka, že by hustota sítě linek měla výraznější vliv na podíl přepravní práce, expertním posouzením byla přidělena větší významnost výše uvedeným indikátorům. Je to zřejmě dáno tím, že hustota sítě linek nutně nemusí vypovídat o kvalitě systému VHD. Zároveň byl v rámci strategie podpory systému VHD preferován indikátor 1K4, který do jisté míry hledisko hustoty sítě linek zohledňuje a má zřejmě větší vypovídací schopnost nežli samotné stanovení hustoty sítě linek.



Obrázek 29a,b – procentuální vyjádření vah indikátorů odpovídající jednotlivým strategiím udržitelné mobility (zdroj: autor)

V rámci strategie usilující o rozvoj infrastruktury nemotorové dopravy a celkově o podporu pěší a cyklistické dopravy na území města bylo expertními hodnotiteli na základě aplikace Fullerovy a Saatyho metody stanoveno následující pořadí indikátorů v kontextu významu pro redukcí počtu osobních vozidel na silniční síti (obrázek č. 29b): „Délka tras vyhrazených pro cyklistickou dopravu“ (2K4), „docházková vzdálenost do školských zařízení“ (2K5), „průměrná cestovní doba členů domácností pro dosažení základních služeb“ (2K1), „počet obyvatel žijících v dosahu zařízení pro volnočasové aktivity“ (2K7), „počet pracovních příležitostí ve městě“ (2K8), „poměr ploch pro komerční využití a celkové zastavěné plochy“ (2K2), „diverzita menších obchodních zařízení a služeb“ (2K3) a „jízdni výkon v rámci systému sdílených bicyklů“ (2K6).

Autor při návrhu indikátorů a jejich následnému přiřazení ke strategii „podpory nemotorové dopravy“ vycházel z poznatků tuzemských a zahraničních autorů vztahujících se k rozložení zdrojů a cílů cest v území. Autor považuje indikátory za relevantní k dané strategii, jelikož jejich monitorováním a vyhodnocováním v čase by vedení měst mohlo do budoucna přistupovat k otázce lokace cílů cest obyvatel (zejména v rámci volnočasových aktivit a nákupních zvyklostí) a rozvržení funkčních ploch

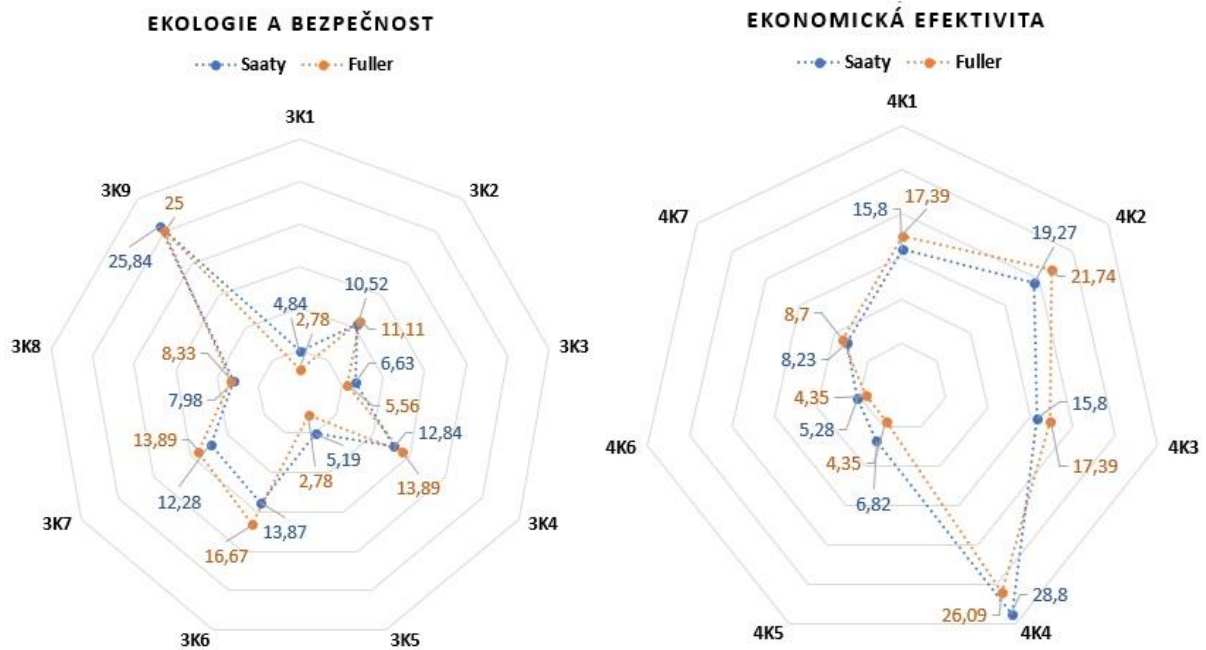
na území města efektivněji. Kratší vzdálenosti cest v rámci volnočasových aktivit obyvatel a podpora pěší a cyklistické dopravy předznamenávají snížení podílu IAD na dělbě přepravní práce (více v části 4.1.7 a 4.1.8). Obdobnou výzvou pro samosprávy měst je i vytváření podmínek pro vznik nových pracovních míst ve městě, což může vést ke snížení podílu IAD na realizovaných cestách za prací, avšak tento úkol, obdobně jako výše uvedené výzvy a jejich proveditelnost v praxi, závisí na mnoha jiných faktorech, které už vůbec nesouvisí s dopravou jako takovou.

Budováním infrastruktury nemotorové dopravy (pěší stezky, výstavba doposud absentujících chodníků na úsecích místních komunikací, cyklistické stezky, cyklistické pruhy a pásy, chráněné kolostavy, lokace kolostavů na strategická místa, provázanost se systémem VHD, vytváření generelů cyklistické dopravy a mnoho dalšího) se rovněž zvyšuje dostupnost jednotlivých cílů cest obyvatel nemotorovou dopravou, ať už v rámci volnočasových aktivit, cest za nákupy nebo do zaměstnání. Pečlivým plánováním lze docílit efektu indukce pěší a cyklistické dopravy, obdobně jako zvyšování kapacity silničních komunikací vede k indukci motorové dopravy.

Indikátory navržené a hodnocené v rámci strategie „snížení dopadu dopravy na životní prostředí a zvýšení bezpečnosti“ (obrázek č. 30a) zohledňují do jisté míry i faktory, které ovlivňují intenzitu dopravy na území měst. Zejména se jedná o existenci obchvatu města a míru intenzity nákladní dopravy ve městě. Z pohledu hodnotitelů byla největší váha v kontextu dopadu dopravy na životní prostředí ve městě přiřazena indikátoru „podíl tranzitní automobilové dopravy“ (3K9). Nákladní doprava, jakožto významný zdroj negativních vlivů na životní prostředí a zdraví obyvatel, je v rámci strategie zohledněna indikátory „podíl ploch území generující těžkou nákladní dopravu na území města“ (3K6) a „podíl nákladních vozidel s alternativními druhy pohonu na území města“ (3K8).

Vzhledem k tomu, že systém veřejné hromadné dopravy lze považovat za dopravní mód, který je šetrnější k životnímu prostředí v komparaci s IAD, indikátory zahrnující vybrané aspekty VHD jsou zahrnuty i v rámci hodnocení této strategie. Jedná se o „počet osob přepravených systémem VHD na území města“ (3K7) a „podíl dopravních prostředků VHD s alternativními druhy pohonu“ (3K2).

Z hlediska bezpečnosti zranitelných účastníků provozu byl jako významný indikátor vyhodnocen „počet dopravních nehod na 1000 obyvatel města“ (3K4). Jako významný indikátor udržitelné mobility se jeví rovněž „délka pozemních komunikací vyhrazených pro chodce“ (3K3) – indikátor je pojat jako poměr délky plnohodnotných stezek pro chodce a celkové délky sítě místních komunikací s chodníky, popřípadě lze uvažovat s poměrem délky místních komunikací s chodníky a celkové délky místních komunikací. Jako indikátory s nejnižšími vahami byly vyhodnoceny indikátory „poměr počtu přechodů pro chodce a délky pozemních komunikací“ (3K5) a „délka silnic se zklidňovacími prvky“ (3K1).



Obrázek 30a,b – procentuální vyjádření vah indikátorů odpovídající jednotlivým strategiím udržitelné mobility (zdroj: autor)

V rámci strategie „integrace dopravních systémů ve vztahu k ekonomické efektivnosti“ (na obrázku č. 30b označeno jako „ekonomická efektivita“) se významným indikátorem jeví „poměr cestovní doby IAD a VHD“ (4K4), čímž je myšlen poměr průměrných cestovních dob dopravními prostředky VHD a cestovních dob v rámci IAD na stejné trase z okrajových částí města do centra města v dopravní špičkové hodině. Tento poměr je značně zjednodušený, ale plně postačuje pro jednoduché stanovení míry efektivity VHD z hlediska času. Oba dopravní módy lze poměřit i z hlediska generalizovaných nákladů, kde se do výpočtu mohou započítat i náklady na cestu (poplatky za vjezd do města, za parkovné, cena jízdného aj.), čas strávený hledáním místa na zaparkování, čas strávený přestupy mezi spoji na linkách VHD apod. Toto koresponduje i s dalším významným indikátorem (z pohledu expertních hodnotitelů), který se vztahuje k „nákladům na cestu do centra města dopravními prostředky VHD“ (4K2). Tento indikátor byl definován jako průměrná cena jízdného z okrajových částí města do centra města zahrnující jen jednu cestu nebo dvě cesty (tam i zpět), případně poměr ceny jízdného VHD za cestu do centra města a nákladů na stejnou cestu osobním automobilem (s uvažováním spotřeby vozu a ceny pohonných hmot společně s dalšími náklady spojenými s využíváním vozidla v daném městě).

Shodná váha byla stanovena pro indikátory „investice do obnovy vozového parku VHD“ (4K1) a „průměrný měsíční příjem obyvatel“ (4K3). Stárnutí vozového parku má výrazný dopad na efektivitu celého systému VHD, zároveň je pořízování nových dopravních prostředků mnohdy šetrnější k životnímu prostředí a do jisté míry ztraktivňuje celý systém pro cestující, čímž generuje nové cesty v rámci VHD. Indikátorem 4K3 je myšlen podíl průměrných měsíčních výdajů domácností na cesty v rámci VHD na průměrném měsíčním příjmu domácností. Dalším indikátorem zohledňujícím objem finančních prostředků vynaložených na opravy dopravních prostředků po nehodových a mimořádných událostech je „náklady na opravu dopravních prostředků VHD“ (4K5).

Indikátory s nízkou vahou se vztahují ke zhodnocení efektivně vynaložených veřejných financí na údržbu pozemních komunikací v kontextu intenzity nákladní dopravy na území města. Indikátor „intenzita nákladní dopravy“ (4K7) poměřuje průměrnou intenzitu tranzitní nákladní dopravy na

hlavním silničním průtahem městem v pracovní dny a roční výdaje na opravu silniční komunikace ze strany správce pozemní komunikace. Podobně lze uvažovat s objemem nákladní dopravy na místních komunikacích (pozemní komunikace v majetku obce, města) a tuto hodnotu poměřit k nákladům vynaloženým na opravy místních komunikací za dané časové období (zejména rok). Indikátor „počet parkovacích ploch pro zásobování v rámci městské logistiky“ (4K6), čímž je myšlen počet parkovacích a odstavných stání vyhrazených pro zásobovací vozidla v rámci centra města, popřípadě míra spokojenosti řidičů nákladních vozidel s možností legálního parkování v centru daného města.

Strategie „používání IAD“ obsahuje soubor indikátorů, které monitorují a kvantifikují míru používání individuální automobilové dopravy v rámci cest obyvatel na území města. Přímou se tedy vztahují k intenzitám dopravy jako takovým a do jisté míry obsahují faktory, které výsledné intenzity dopravy ovlivňují. Jedná se tedy v rámci této strategie o položení prvotní otázky: Jaké faktory týkající se dopravní infrastruktury, dopravního provozu a organizace dopravy ve městě mohou ovlivnit rozhodnutí cestujícího použít pro svoji cestu osobního vozidla?

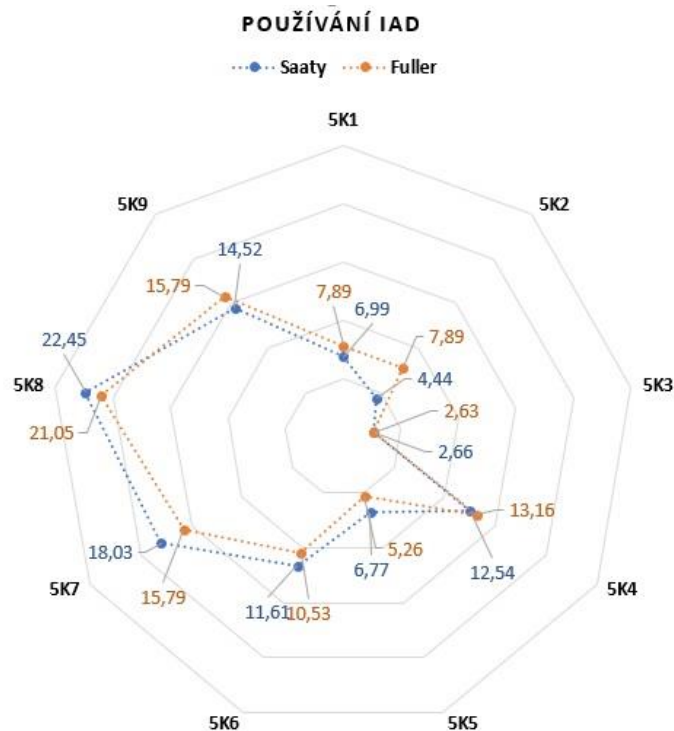
Sledováním a vyhodnocováním jednotlivých indikátorů lze z pohledu samospráv měst docílit efektivnějšího dopravního a územního procesu plánování, popřípadě učinit taková opatření organizačního, restriktivního či jiného charakteru, která povedou k redukci podílu IAD na dělbě přepravní práce ve městě. Do velké míry je toto záležitostí mikroskopického a makroskopického modelování dopravy v území a z tohoto pohledu indikátory udržitelné mobility navržené v rámci této strategie nepřinášejí novost. Jde zejména o stanovení míry signifikance jednotlivých indikátorů na základě expertních posudků hodnotitelů v rámci aplikace metod multikriteriální analýzy. Výsledná hierarchie významnosti jednotlivých indikátorů může dále posloužit při hodnocení konkrétních dopravních projektů.

Aplikací Saatyho a Fullerovy metody pro stanovení vah na základě preferencí hodnotitelů se došlo k závěru, že největší význam (s vahou v procentuálním vyjádření více jak 10 %) je přisuzován těmto indikátorům, počínaje indikátorem s největší vahou: „Doba trvání dopravní kongesce“ (5K8), „vzdálenost uražená v průměru uživateli IAD na území města“ (5K7), „kapacita záchytných parkovišť na okraji města“ (5K9), „poměr intenzity dopravy a délky silniční sítě“ (5K4) a „počet cest uživatelů IAD na osobu“ (5K6) – viz obrázek č. 31 na následující straně.

Jednoznačně největší váhu přisuzuje tým hodnotitelů faktoru doby dopravní kongesce na páteřních silničních komunikacích ve městě – existence dlouhotrvajících kongescí v dopravních špičkách vyúsťuje v prodloužení cestovní doby a část uživatelů IAD se může tímto uchýlovat k alternativám (pokud existují). Vznik dopravních kongescí však vytváří tlak na samosprávy měst (popřípadě regionálních vlád), které většinou rozhodnou o výstavbě či zkapacitnění komunikací, popřípadě zlepšení kvality dopravního proudu zavedením dopravně-organizačních prvků inteligentních dopravních systémů. Navyšování kapacity dopravní infrastruktury a zvyšování hustoty silniční sítě vede k indukovaní nových cest v rámci IAD a dostupnosti jednotlivých částí území motorovou dopravou (viz části 4.1.5 a 4.1.8). V rámci udržitelného rozvoje měst by se měla vedení měst orientovat spíše na podporu ostatních dopravních módů, zejména potom na zkvalitnění systému VHD.

Indikátor počtu osob dojíždějících do daného města do zaměstnání z širšího regionu shledali hodnotitelé také jako faktor, který intenzity dopravy na silnicích ve městě významně ovlivňuje. Opět je třeba hledat řešení v podobě alternativ vůči automobilové dopravě, ale vhodným řešením se jeví být budování záchytných parkovišť na příjezdových páteřních komunikacích do města – indikátor „nabídka záchytných parkovišť na okraji města“ (5K9). Výstavba záchytných parkovišť v gesci města je ovšem vázána na dostupnost města v oblasti vlastních pozemků vhodných pro tyto účely. Existují

však možnosti další, například spolupráce soukromé a veřejné sféry ve formě PPP, kde by komerční subjekt výstavbu P+R parkovišť zajistil a dle modelu s vedením města dále provozoval.



Obrázek 31 - procentuální vyjádření vah indikátorů odpovídající strategii udržitelné mobility (zdroj: autor).

Obecně nabídka parkovacích a odstavných stání ve městě je rovněž faktor, který může ovlivnit rozhodnutí uživatele IAD pro jinou alternativu při absolvování cesty do centra města. Faktor je zahrnut v rámci indikátoru „nabídka zpoplatněných parkovišť v centru města“ (5K2). Indikátor je možné pojmut i jako poměr zpoplatněných parkovacích stání v centru města a počtu všech parkovacích a odstavných stání v daném území. Nejmenší váhu v rámci dané strategie udržitelné mobility hodnotitelé přiřadili indikátorům „stupeň automobilizace“ (5K5) a „počet uživatelů služeb systému sdílených vozidel“ (5K3). Faktor stupně automobilizace má vliv na počet vozidel na silniční síti, jelikož úroveň motorizace a automobilizace tvoří primární zdroj intenzit na silnicích. Je ale otázka, nakolik je indikátor determinantem intenzity dopravy na území města, bereme-li v potaz fakt, že intenzity dopravy na silnicích nejsou tvořeny pouze vozidly registrovanými v daném městě. Stupeň automobilizace je však dobře uchopitelným údajem při modelování predikce intenzit dopravy. S tím souvisí i projekty sdílení vozidel, popřípadě koncepčně pojatých sdílených jízd pracovníků do zaměstnání, které mohou narůstající počty registrovaných vozidel zvrátit. Ostatně i jednou z budoucích výzev pro jednotlivé vlády bude otázka autonomní mobility – otázka nastavení celé koncepce systémově tak, aby byla v praxi funkční a efektivní v mnoha ohledech a dokázala přispět k udržitelné mobilitě a udržitelnému rozvoji měst obecně.

Následně je vytvořeno pořadí strategií a indikátorů udržitelné mobility na základě aritmetického průměru vah získaných aplikací obou metod, čímž je docíleno zpřesnění výsledků v podobě významnosti jednotlivých indikátorů. Indikátory 1K3 a 1K5, obdobně jako indikátory 4K3 a 4K1, mají v rámci hodnocených strategií shodnou váhu (tabulka č. 25 na následující straně).

Tabulka 25 – Pořadí strategií a indikátorů udržitelné mobility seřazeno dle vah (zdroj: autor)

Skupiny strategií	Zn.	Indikátory/faktory	Váha
Používání IAD pro každodenní cesty obyvatel Váha: 0,3882	5K8	Doba trvání dopravní kongesce	0,2175
	5K7	Průměrná cestovní vzdálenost v IAD na území města	0,1691
	5K9	Kapacita záchytných parkovišť na okraji města	0,1516
	5K4	Intenzita IAD/délka silniční sítě	0,1285
	5K6	Počet cest uživatelů IAD na osobu	0,1107
	5K1	Počet osob dojíždějících do města za prací	0,0744
	5K2	Nabídka zpoplatněných parkovišť v centru města	0,0616
	5K5	Stupeň automobilizace	0,0602
	5K3	Počet uživatelů služeb systému sdílených vozidel	0,0265
Podpora dostupnosti VHD ve vztahu k efektivnosti systému Váha:0,2645	1K2	Frekvence spojů VHD	0,1889
	1K1	Nabídka VHD	0,1841
	1K4	Počet obyvatel v okruhu 500 m od jednotlivých zastávek	0,1640
	1K6	Spolehlivost VHD	0,1226
	1K3	Průměrná cestovní doba vozidly VHD do centra města	0,0877
	1K5	Procento obyvatel spokojených se službami VHD ve městě	0,0877
	1K8	Rozdíl v cestovní rychlosti před a po zavádění prvků prostorové preference	0,0823
	1K7	Hustota sítě linek VHD	0,0530
	1K9	Nabídka spojů VHD s nízkopodlažními vozy	0,0301
Podpora nemotorových druhů dopravy Váha: 0,1764	2K4	Délka tras vyhrazených pro cyklistickou dopravu	0,2067
	2K5	Docházková vzdálenost do školských zařízení	0,1775
	2K1	Průměrná cestovní doba domácností pro dosažení základních služeb	0,1762
	2K7	Počet obyvatel žijících v dosahu zařízení pro volnočasové aktivity	0,1383
	2K8	Počet pracovních příležitostí ve městě	0,1001
	2K2	Poměr ploch pro komerční využití a celkové zastavěné plochy	0,0960
	2K3	Diverzita menších obchodních zařízení a služeb	0,0643
	2K6	Jízdní výkon v rámci systému sdílených kol	0,0411
Integrace dopravních systémů ve vztahu k ekonomické efektivnosti Váha: 0,1113	4K4	Poměr cestovní doby IAD a VHD	0,2745
	4K2	Náklady na cestu do centra města dopravními prostředky VHD	0,2051
	4K3	Průměrný měsíční příjem obyvatel	0,1660
	4K1	Investice do obnovy vozového parku VHD	0,1660
	4K7	Intenzita nákladní dopravy	0,0847
	4K5	Náklady na opravy dopravních prostředků VHD	0,0558
	4K6	Počet parkovacích ploch pro zásobování v rámci městské logistiky	0,0481
Snižování dopadu dopravy na životní prostředí a zvyšování bezpečnosti Váha: 0,0596	3K9	Podíl tranzitní automobilové dopravy	0,2542
	3K6	Podíl ploch území generující nákladní dopravu na území města	0,1527
	3K4	Počet dopravních nehod na 1000 obyvatel	0,1337
	3K7	Počet osob přepravených systémem VHD na území města	0,1308
	3K2	Podíl dopravních prostředků VHD s alternativním druhem pohonu	0,1082
	3K8	Podíl nákladních vozidel s alternativními druhy pohonu na území města	0,0815
	3K3	Délka pozemních komunikací vyhrazených pro chodce	0,0610
	3K5	Poměr počtu přechodů pro chodce a délky pozemních komunikací na území města	0,0399
	3K1	Délka silnic se zklidňovacími prvky	0,0381

4.5. Využití výsledků multikriteriální analýzy pro stanovení indexu udržitelné mobility měst

Použitím Saatyho metody párového srovnání vah a Fullerovy metody bylo docíleno stanovení významnosti jednotlivých strategií a indikátorů udržitelné mobility. Takovýto přístup může obecně napomoci při rozhodovacích procesech, jakou strategii udržitelné mobility v rámci města preferovat a implementovat na základě očekávaného dopadu. Nespornou výhodou je u této metody fakt, že ji lze použít na zhodnocení dopadů, které nelze adekvátně monetizovat a použít pro tyto účely např. tradiční „cost-benefit analýzu“.

Váhy jednotlivých strategií udržitelné mobility byly v tomto případě stanoveny, aniž by bylo nutné předem znát hodnoty jednotlivých indikátorů. Každému indikátoru byla přiřazena váha, která určuje jeho důležitost ve vztahu k ostatním indikátorům. Autoři Lautso a kol. (2004) ve své závěrečné zprávě projektu PROPOLIS navrhli obecný vzorec pro vyjádření míry udržitelnosti (nazvali ji index udržitelnosti) zohledňující určitý počet indikátorů udržitelného rozvoje, váhy indikátorů se znalostí jejich hodnot a funkce hodnoty těchto indikátorů, které standardizují hodnoty indikátorů na hodnoty v měřítku od nuly do jedné:

$$\text{Index udržitelnosti} = \sum_{i=1}^n v_i \cdot h_i(x_i), \quad (42)$$

kde:

n je počet indikátorů;

v_i je váha odpovídající indikátoru i (kde $\sum v_i = 1$);

h_i je funkce hodnoty indikátoru i ; a

x_i je hodnota indikátoru i .

S uvážením podobného přístupu k vyjádření míry udržitelnosti, který navrhl Lautso a kol. (2004), lze částečnou modifikací přístup aplikovat i na výsledky multikriteriální analýzy, které byly autorem provedeny v rámci disertační práce. Cílem je získat unikátní hodnotu agregací všech navržených indikátorů a jejich vah stanovených na základě hierarchické struktury (strategií a indikátorů). Agregace označuje proces kombinování několika číselných hodnot do jedné, takže konečný výsledek agregace zohledňuje daným způsobem všechny jednotlivé hodnoty. Jako agregační metodu lze využít metodu vážené lineární kombinace (Voogd, 1983), která se používá například v oblasti tvorby GIS, kde kritéria (faktory) jsou standardizována do běžného číselného rozsahu a pak kombinována pomocí vážených průměrů (Horák, 2013).

Agregací vah se standardizovanými (normovanými) hodnotami jednotlivých indikátorů a vah jednotlivých strategií stanovených v této disertační práci lze docílit vyjádření jakési míry automobilové dopravy v daném městě, přesněji řečeno „indexu udržitelné mobility“:

$$\text{Index udržitelné mobility} = \sum_{s=1}^m v_s \left(\sum_{i=1}^{n_s} a_i v_i h_i \right), \quad (43)$$

kde:

m – počet strategií udržitelné mobility;

v_s – váha pro strategii s ;

n_s – počet indikátorů ve strategii s ;

a_i – hodnota 1 nebo -1 (záleží na vlivu indikátoru i na udržitelnou mobilitu);

v_i – váha indikátoru i ;

h_i – standardizovaná hodnota indikátoru i odpovídající pro konkrétní město.

Hodnota a_i vyjadřuje polaritu indikátoru i , respektive charakter vlivu indikátoru na udržitelnou městskou mobilitu. Hodnota $a_i=1$, pokud nárůst hodnoty indikátoru podporuje pozitivní vývoj udržitelné mobility, nebo $a_i=-1$, pokud naopak pokles hodnoty indikátoru podporuje pozitivní vývoj udržitelné mobility ve městě. Polarita jednotlivých indikátorů (jejich vliv na udržitelnou mobilitu) jsou uvedeny v tabulce č. 26.

Pro potřeby stanovení indexu udržitelné mobility (při jeho praktické aplikaci na konkrétní město) je potřeba v první řadě hodnoty jednotlivých indikátorů udržitelné mobility standardizovat do běžného číselného rozsahu. Voogd (1983) udává přehled různých procedur standardizace, typicky se k vytvoření škály používají minimální a maximální hodnoty. Jedním z příkladů lineární škála (Hebák a kol., 2007):

$$h_i = \frac{(R_i - R_{min})}{(R_{max} - R_{min})} * \text{standardizovaný rozsah}, \quad (44)$$

kde:

h_i – standardizovaná hodnota indikátoru i ;

R_i – původní hodnota indikátoru i určená ke standardizaci;

R_{min} – minimální hodnota z množiny indikátorů;

R_{max} – maximální hodnota z množiny indikátorů;

standardizovaný rozsah – stanovení rozsahu od 0 do 100.

Pro účely stanovení indikátoru udržitelné mobility odpovídající danému městu je možné využít výsledků multikriteriální analýzy, tedy autorem provedených determinací vah jednotlivých strategií udržitelné mobility a jednotlivých indikátorů udržitelné mobility využitím Saatyho metody a Fullerovy metody, následujícím způsobem: váhy získané aplikací obou metod se zprůměrují, čímž je vytvořeno pořadí strategií a indikátorů na základě průměru získaných oběma metodami.

Pro jednotlivé skupiny strategií jsou dále přiřazeny různé počty relevantních indikátorů dle dosažených vah těchto skupin. Pro skupinu s nejvyšší vahou je definováno 5 konkrétních faktorů s nejvyššími vahami dosaženými v průběhu kalkulace. Pro skupinu s druhou nejvyšší vahou jsou indikovány 4 relevantní faktory s nejvyššími vahami. Procedura pokračuje dále, až se identifikují i klíčové faktory pro skupinu strategií s nejnižší dosaženou vahou (viz následující tabulka č. 26 na následující straně).

Tabulka 26 - Sumarizace klíčových indikátorů udržitelné mobility pro jednotlivé skupiny strategií
(zdroj: autor)

Strategie udržitelné mobility	Váhy strategií	Zn.	Indikátor udržitelné mobility	Váhy indikátorů	Vliv
1. Podpora dostupnosti VHD ve vztahu k efektivnosti systému	0,2639	1K1	Nabídka VHD	0,1841	+
		1K2	Frekvence spojů VHD	0,1889	+
		1K4	Počet obyvatel v okruhu 500 m od jednotlivých zastávek	0,16395	+
		1K6	Spolehlivost VHD	0,12255	+
2. Podpora alternativních nemotorových druhů dopravy	0,1763	2K1	Průměrná cestovní doba domácností pro dosažení základních služeb	0,17615	-
		2K4	Délka tras vyhrazených pro cyklistickou dopravu	0,20665	+
		2K5	Docházková vzdálenost do školských zařízení	0,1775	-
3. Snižování dopadu dopravy na životní prostředí a zvyšování bezpečnosti	0,06	3K9	Podíl tranzitní automobilové dopravy	0,2542	-
4. Integrace dopravních systémů ve vztahu k ekonomické efektivnosti	0,111	4K2	Náklady na cestu do centra města dopravními prostředky VHD	0,20505	-
		4K4	Poměr cestovní doby IAD a VHD	0,27445	-
5. Používání IAD pro každodenní cesty obyvatel	0,3888	5K4	Intenzita IAD/délka silniční sítě	0,1285	-
		5K6	Počet cest uživatelů IAD na osobu	0,1107	-
		5K7	Průměrná cestovní vzdálenost v IAD na území města	0,1691	-
		5K8	Doba trvání dopravní kongesce	0,2175	-
		5K9	Kapacita záchytných parkovišť	0,15155	+

Tímto způsobem identifikované klíčové indikátory udržitelné mobility zároveň reflektují klíčové faktory ovlivňující intenzity dopravy na silniční síti ve městech.

Výše navržený index udržitelné mobility je pouze teoreticky pojatý přístup, který je možné dále rozvinout do podoby, která by účelně vypovídala o míře udržitelné mobility ve městech v České republice.

4.6. Aplikace metodiky pro stanovení indexu udržitelné mobility na příkladu města České Budějovice

Teoretický přístup výpočtu indexu udržitelné mobility uvedený výše je možné aplikovat na město jako celek, tedy jednotlivé hodnoty indikátorů navržených pro jeho stanovení jsou agregovány do jednoho globálního indexu. Je však možné tento přístup pojmout pro stanovení indexu udržitelné mobility pro jednotlivé oblasti města. Záleží tedy velmi na způsobu rozdělení oblastí města vzhledem k diverzitě funkčních ploch na území města, kdy každé tyto funkční plochy území mají různé odlišnosti, zejména ve vztahu k plánování dopravy, zdrojů a cílů cest obyvatel apod. Pro názornou ukázkou aplikace navrženého přístupu pro výpočet hodnot indikátoru udržitelné mobility bylo zvoleno rozdělení města na stávajících sedm katastrálních území (CB1-CB7). Je to zejména z toho důvodu, že je pro tyto územně-technické jednotky jednodušší získat statistická data.

Pro výpočet indexu udržitelné mobility byly zvoleny klíčové indikátory stanovené metodou v předešlé části (tabulka č. 26), kdy hodnoty indikátorů byly dle vztahu (44) převedeny na standardizovaný

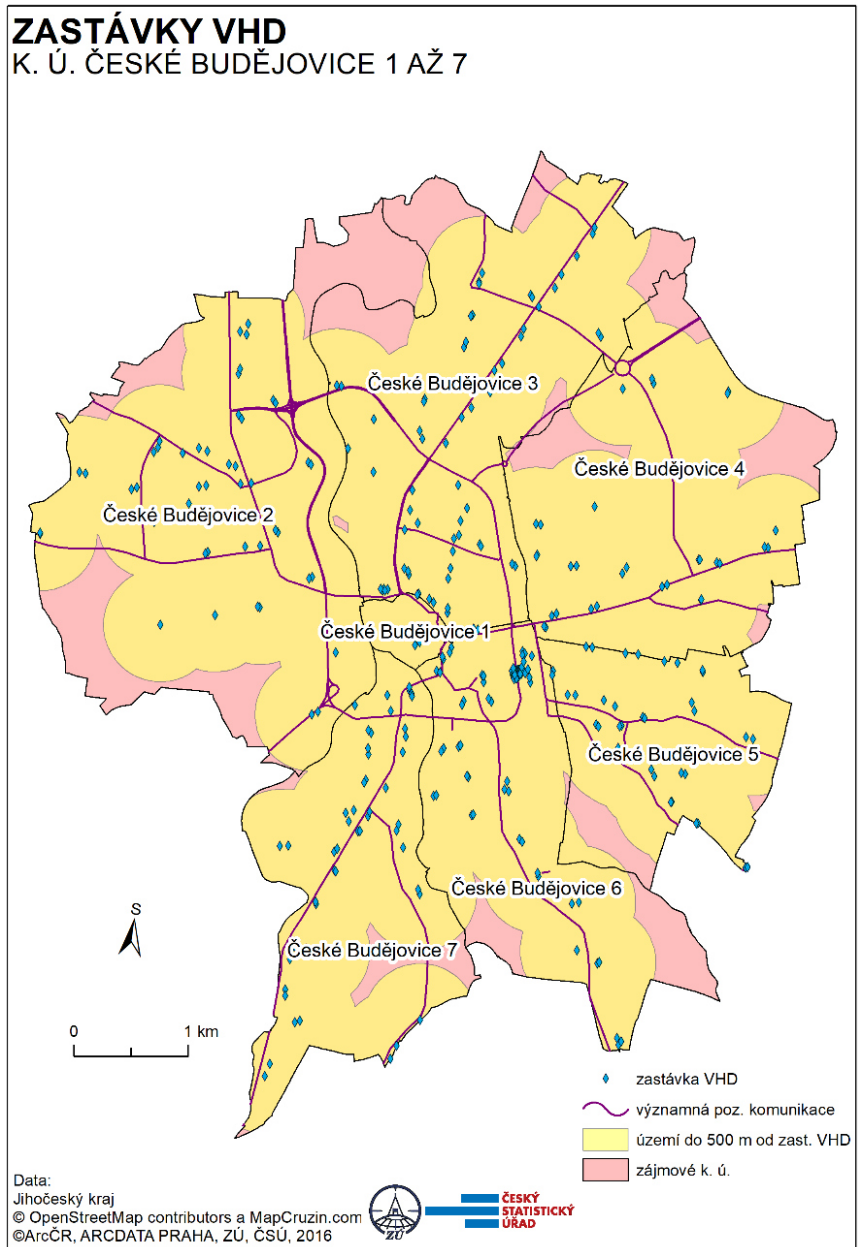
číselný rozsah (0 až 100) a agregovány do hodnoty indexu udržitelné mobility dle vztahu (43). Vstupní hodnoty společně s determinovanými indexy udržitelné mobility pro jednotlivá katastrální území města České Budějovice jsou uvedeny v tabulce č. 27.

Tabulka 27 – Původní hodnoty R_i jednotlivých indikátorů pro výpočet indexu udržitelné mobility

Katastrální území	CB1	CB2	CB3	CB4	CB5	CB6	CB7
Nabídka VHD (cestujících/špičk. hod.)	4172	2886	2568	453	940	5545	3744
Frekvence spojů VHD (spojů/špičk. hod.)	5,1	4,5	4,2	2,1	3,2	4,7	5,2
Počet obyvatel v okruhu 500 m od jednotlivých zastávek (obyvatel)	2056	36000	22350	1400	7850	6200	10700
Spolehlivost VHD (%)	90,8	90,8	90,8	90,8	90,8	90,8	90,8
Průměrná cestovní doba domácností pro dosažení základních služeb (min.)	5	18	20	22	21	22	14
Délka tras vyhrazených pro cyklistickou dopravu (km)	25	112	74	18	6	14	67
Docházková vzdálenost do školských zařízení (%)	100	84	68	52	59	73	86
Podíl tranzitní automobilové dopravy (%)	0	0	0	0	0	0	0
Náklady na cestu do centra města dopravními prostředky VHD (Kč)	16	16	16	16	16	16	16
Poměr cestovní doby IAD a VHD (-)	1	1,42	1,98	1,71	1,625	2,5	1,6
Intenzita IAD/délka silniční sítě (voz./km)	822	105	192	197	103	204	159
Počet cest uživatelů IAD na osobu (%)	29	34	33	42	34	26	35
Průměrná cestovní vzdálenost v IAD na území města	7	7	7	7	7	7	7
Doba trvání dopravní kongesce	0,78	0,11	0,18	0,1	0,09	0,04	0,07
Kapacita záchytných parkovišť	0	400	618	0	0	99	285
Index udržitelné mobility	5,97	4,77	5	5,1	4,82	8,58	6,11

Indikátor „Nabídka VHD“ v pojetí uvedeném v této práci udává počet míst v dopravních prostředcích VHD ve špičkové dopravní hodině na všech linkách VHD procházejících danou oblastí města (katastrálním územím). Pro stanovení hodnoty bylo nutné vycházet z dat z jízdních řádů dopravního podniku města České Budějovice dalších operujících dopravců, a dále z údajů obsaditelnosti jednotlivých nasazených dopravních prostředků. Pro stanovení hodnoty „Frekvence spojů VHD“ bylo rovněž vycházeno z jízdních řádů na linkách dopravců v dané oblasti, přičemž se bral v úvahu průměrný počet spojů na linkách VHD ve špičkové dopravní hodině.

Kvantifikace indikátoru „Počet obyvatel v okruhu 500 metrů od jednotlivých zastávek VHD“ byla provedena s využitím nástrojů GIS, kde bylo provedeno zobrazení všech zastávek na území města v geoinformačním mapovém podkladu a jednoduchou modifikací byly vytvořeny isochrony s radiusem 500 metrů, které představovaly hranice plochy pokrytí města linkami VHD. Území do 500 m od zastávek VHD v rámci zájmového území lze snadno vymezit prostorovou vektorovou analýzou, konkrétně například použitím funkce Buffer v softwaru ArcMap 10.2 (obrázek č. 32; ArcGIS.com 2021). Tímto způsobem bylo sice zjištěno plošné pokrytí města VHD, ale nebylo možné konkrétně vyčíslit počty obyvatel v těchto plochách žijících (aplikace GIS tuto funkcionalitu prozatím neumožňují). Na základě znalosti informace o počtu obyvatel v jednotlivých katastrálních územích a procentuálního vyjádření pokrytí města linkami VHD bylo expertním odhadem stanoven počet obyvatel žijících v dosahu VHD.



Obrázek 32 – Pokrytí města sítí linek VHD (zdroj: vlastní zpracování na základě dat ČSÚ)

Indikátor „Spolehlivost VHD“ vyjadřuje procentuální vyjádření počtu spojů na linkách VHD na území města, u kterých byl dodržen jízdní řád, v porovnání s celkovým počtem spojů na linkách VHD. Hodnota indikátoru byla převzata z průzkumu spolehlivosti systému pro predikci příjezdů spojů na zastávkách MHD v Českých Budějovicích z roku 2016, na jehož realizaci se autor podílel, a je společná pro všechny zkoumané oblasti města vzhledem k absenci relevantních dat.

Hodnota indikátoru „Průměrná cestovní doba domácností pro dosažení základních služeb“ uvedená v minutách je převzata z materiálů společnosti Stemmark, která v roce 2015 realizovala sociologický průzkum mobility obyvatel aglomerace města České Budějovice. Hodnoty jsou tedy staršího data, ale z průzkumu byl explicitně zjištěn údaj o cestovních dobách obyvatel žijících v jednotlivých katastrálních územích města v rámci jejich cest realizovaných za konkrétními účely (v úvahu byly brány hodnoty pro dosažení základních služeb a zprůměrovány). Obecně čím menší je cestovní vzdálenost/doba, tím roste pravděpodobnost realizace cesty prostřednictvím pěší dopravy.

Indikátor „Délka tras vyhrazených pro cyklistickou dopravu“ je pojat jako počet kilometrů cyklistických stezek, cyklistických pruhů a cyklistických pásů na území daného katastrálního území města. Data byla převzata z údajů uvedených v pracovních materiálech a podkladech pro vytváření cyklogenerelu v Českých Budějovicích.

Indikátor „Docházková vzdálenost do školských zařízení“ vyjadřuje počet žáků a studentů žijících v dosahu školských zařízení (v %), kdy se uvažuje docházková vzdálenost 1 km do každé instituce. Údaje o počtech žáků a studentů byly převzaty z dat ČSÚ pro jednotlivá katastrální území, kde se uvažovaly pro zjednodušení počty osob ve věku 6 – 15 let. Jednotlivá školská zařízení s docházkovou vzdáleností byla znázorněna jako vrstva mapového podkladu města v aplikaci ArcGIS a expertním odhadem byl odhadnut počet mladistvých v této ploše vyjadřující docházkovou vzdálenost do škol. Autorovi se nepodařilo získat relevantní data jiným způsobem.

Indikátor „Podíl tranzitní automobilové dopravy“ nebylo možné kvantifikovat vzhledem k absenci těchto dat a nevhodnosti použít expertní odhad. Ve výpočtu indexu udržitelné mobility má tedy tento indikátor nulovou hodnotu, avšak tato skutečnost má velmi malý dopad na výslednou hodnotu indikátoru udržitelné mobility vzhledem k nízké váze dané strategie, do které byl indikátor začleněn v rámci procesu aplikace metod multikriteriální analýzy.

Indikátor „Náklady na cestu do centra města dopravními prostředky VHD“ je kvantifikován pro všechny oblasti města shodně na částku 16 Kč, což je základní jízdné v rámci MHD na jednu cestu (časové jízdné na 20 min). Tarif v MHD byl zvolen z toho důvodu, že se jedná o dominantní systém v rámci VHD na území města.

Indikátor „Poměr cestovní doby IAD a VHD“ vyjadřuje poměr cestovních dob těchto druhů dopravy, kdy můžeme uvažovat nejkratší možnou trasu pro obě varianty z okrajových částí města v rámci jednotlivých zkoumaných oblastí. Toto však nezohledňuje disproporce ve vzdálenostech a v rozlohách jednotlivých oblastí města. Byl tedy zvolen radius 2 km od pomyslného středu města (náměstí Přemysla Otakara II. a následně z bodu křížení kružnice s páteří silniční komunikací byla propočtena cestovní doba v jednotlivých druzích dopravy do centra města na skutečné silniční síti a síti linek VHD. Cestovní doba v IAD byla brána dle výpočtu trasy na portálu mapy.cz a cestovní doba ve VHD byla převzata z jízdních řádů dopravců.

Indikátor „Intenzita IAD/délka silniční sítě“ je opět zjednodušen v tomto případě na všechna vozidla celkem. Indikátor vyjadřuje poměr mezi průměrnou špičkovou hodinovou intenzitou dopravy na významných silničních komunikacích v dané oblasti města a délkou těchto silnic. Výběr významných silnic byl na základě skutečnosti, zda bylo v rámci Celostátního sčítání dopravy prováděno na daném úseku silnice sčítání dopravy. Jedná se tedy o silnice I., II. a III. třídy, a vybrané místní komunikace (případně dálnice). Hodnoty špičkové hodinové intenzity dopravy byly poté převzaty z veřejně dostupné databáze na internetovém portálu Ředitelství silnic a dálnic. Délky konkrétních pozemních komunikací byly zjištěny z pasportu pozemních komunikací, které má ve vlastnictví město České Budějovice.

Indikátor „Počet cest uživatelů IAD na osobu“ byl původně stanoven jako poměr mezi počtem každodenních cest obyvatel za prací s využitím osobního vozidla a počtem zaměstnaných obyvatel v daném městě. Vzhledem k absenci těchto údajů o počtu zaměstnaných pro jednotlivá katastrální území se hodnota indikátoru stanovila jako podíl cest realizovaných do zaměstnání s využitím osobního automobilu na všech cestách do zaměstnání. Údaje byly převzaty ze sociologického průzkumu mobility provedeného společností Stemmark v roce 2015.

Podobně i hodnota indikátoru průměrné cestovní vzdálenosti v IAD při dojíždění obyvatel (členů domácností) za práci, nákupy, zábavou aj. byla převzata ze závěrečné zprávy sociologického průzkumu mobility společnosti Stemmark. Hodnota 7 kilometrů za rozhodné období je brána pro všechny oblasti města shodná vzhledem k absenci dat pro jednotlivá katastrální území a cestovní vzdálenost je brána pouze pro území města.

Indikátor „Doba trvání dopravní kongesce“ je chápán jako doba, kdy je úroveň kvality dopravy v dopravní špičce na významných silničních tazích procházejících danou oblastí města nízká. Minimální úroveň kvality dopravy je zde uvažována na stupni D, kdy je stav dopravního provozu ještě stabilní, ale pohyb dopravních proudů je charakterizován jízdou v kolonách. Hodnoty jsou uvedeny v hodinách a byly zjištěny terénním šetřením autora. Hodnoty indikátoru „Kapacita záchytných parkovišť“ vyjadřují počet parkovacích stání na záchytných parkovištích dislokovaných v jednotlivých oblastech města. Údaje o kapacitě záchytných parkovišť jsou uvedeny na internetových stránkách správce těchto objektů v majetku město, kterým je Dopravní podnik města České Budějovice.

Určitým faktorem ovlivňujícím výši hodnoty indikátoru udržitelné mobility se jeví nevhodné zvolení definice vstupujících indikátorů a následné převedení hodnot indikátorů na standardizovaný rozsah, kdy byly u takto zvolených indikátorů velké rozdíly mezi těmito hodnotami (i v případě převedení na standardizovaný rozsah). Řešením by mohlo být zvolení hodnotících indikátorů udržitelné mobility vždy v takové podobě, která by vyjadřovala přímo poměr relevantních vlivů na objemy dopravy, tedy v podobě relativní hodnoty v rozmezí číselného rozsahu od 0 do 1, čímž by se eliminoval zároveň krok standardizování hodnot indikátorů.

4.6.1. Implementace výsledků do GIS

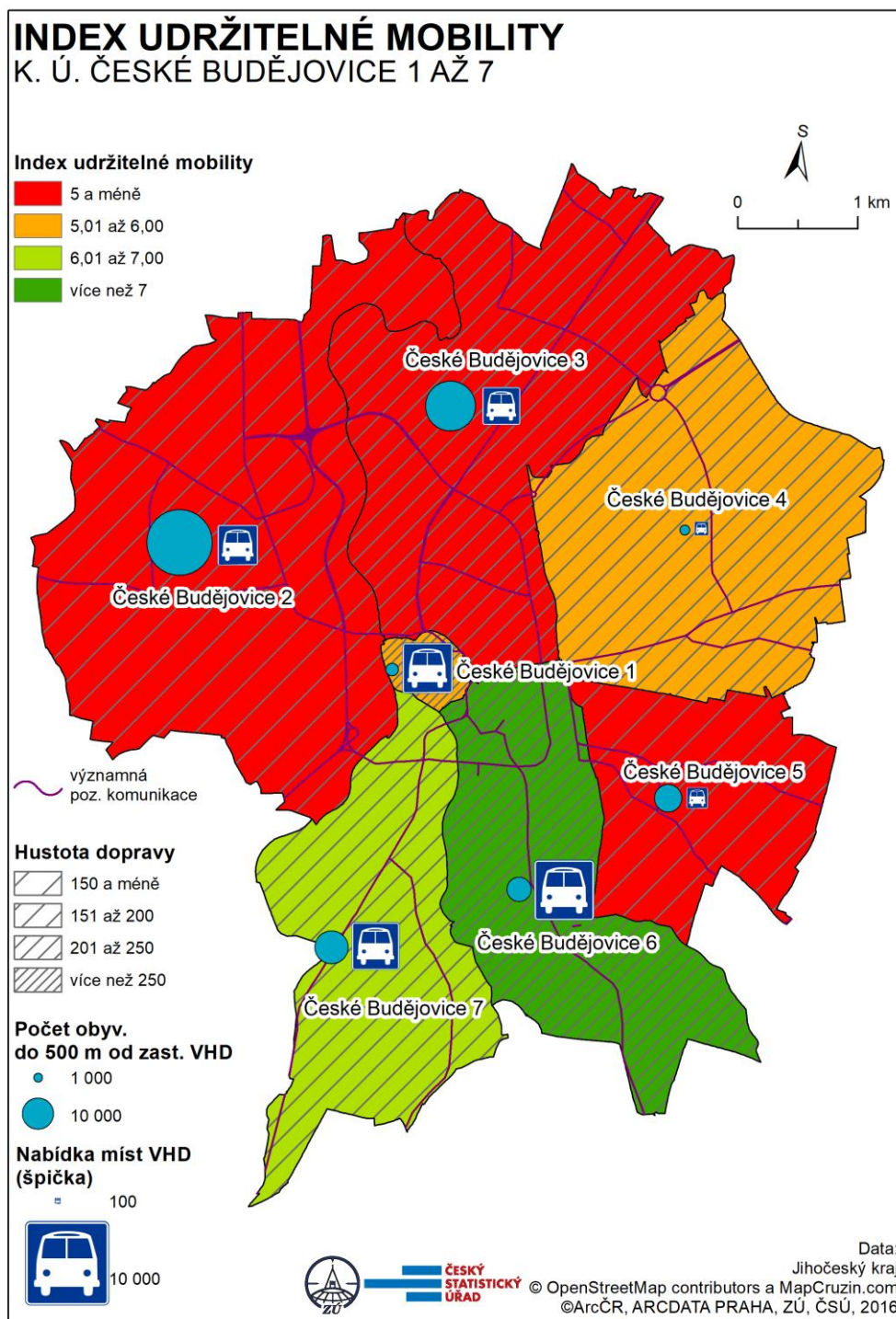
Pro zobrazení i analýzu faktorů vstupujících do výpočtu indexu udržitelné mobility lze využít prostředí geoinformačních systémů (GIS). Hodnoty indexu udržitelné mobility společně s vybranými faktory ovlivňujícími jeho hodnotu pro vybraná katastrální území města České Budějovice jsou zobrazeny na obrázku č. 33. Ve schématu se sledovanými oblastmi města s barevným rozlišením indexu udržitelné mobility na základě zvolené škály jsou současně znázorněny hodnoty vybraných indikátorů udržitelné mobility.

Metodou nepravého kartogramu (Voženílek, 1999) je vyjádřena samotná hodnota indexu udržitelné mobility pro jednotlivá katastrální území (s barevnou škálou), rovněž pak intenzita dopravy/km – počet všech vozidel v profilu sledovaných úseků silnic ve špičkové dopravní hodině na kilometr sledované silniční sítě. Metodou bodového jednoduchého kartodiagramu (Voženílek, 1999) jsou vyjádřeny pro každé ze zájmových katastrálních území dva další faktory – počet obyvatel do 500 m od zastávek VHD a nabídka míst ve VHD v době dopravní špičky.

Z výsledku je patrné, že takto pojatou metodou pro stanovení indexu udržitelné mobility byly zjištěny vyšší hodnoty udržitelné mobility zejména v jižních částech města. Konkrétně nejvyšší hodnoty (8,58) dosahuje katastrální území České Budějovice 7, což je dáno zejména tím, že se v této oblasti nachází centrální přestupní uzel, do kterého vstupuje naprostá většina linek všech zúčastněných druhů veřejné hromadné dopravy. Tato skutečnost významně vstoupila do výpočtu indexu udržitelné mobility v podobě indikátoru nabídky ve VHD i vzhledem k významné váze daného indikátoru a vyšší hodnotě váhy dané strategie, do které indikátor spadá.

Nižší hodnoty indexu udržitelné mobility u dalších zájmových katastrálních území neznamenaají, že městská mobilita v daných oblastech je vyloženě v nesouladu s principy udržitelného rozvoje měst. Analýzou vlivu jednotlivých indikátorů na výsledné hodnoty indexu udržitelné mobility je možné

stanovit v jaké oblasti by se vedení města mělo zabývat možnostmi, které by vedly ke zvýšení hodnoty indexu, tedy obecně i ke zvýšení míry udržitelné mobility jednotlivých částech města.



Obrázek 33 – Index udržitelné mobility pro jednotlivá katastrální území v Českých Budějovicích (Zdroj: Vlastní zpracování pomocí nástroje ArcGIS)

Indikátory udržitelné mobility a stanovení jejich významnosti uvedené v části 4.3. jsou navrženy pro potřeby dopravního plánování ve městech v České republice a ve výsledku ke stanovení indexu udržitelné mobility pro různé oblasti města. Nicméně není to konečný výčet indikátorů a vedení měst si při hledání alternativ v rámci příprav a realizace projektů v dopravě na území města stanoví relevantní indikátory dle navrženého postupu v části 4.4.

5. Vliv mimořádné situace na dopravní chování obyvatel

Vyhlášení nouzového stavu a zavedení vládních opatření v ČR v souvislosti se zamezením šíření nákazy nemoci COVID-19, stejně tak jako celosvětová pandemie této nemoci, mělo bez pochyby nesmírný dopad na každodenní aktivity obyvatel, jejich psychiku ovlivňující jejich aktivity a samozřejmě i jejich zdraví. Tento celospolečenský „výkyv“ z běžného života obyvatel se promítl do mnoha oblastí. Jednou z nich je i změna v dopravním chování obyvatel.

Dopravním chováním obyvatel se zabývá mnoho výzkumníků, dopravních plánovačů a jiných, kteří zkoumají dynamické změny v podílech dopravních módů na celkových objemech, faktory ovlivňující volbu dopravního prostředku, modely udržitelné dopravy apod. Autor se rozhodl věnovat ve své disertační práci i otázce ovlivnění dopravního chování obyvatel mimořádnou situací, kdy jsou zaváděna různá opatření, ať už na úrovni celého státu nebo jednotlivých regionálních vlád (kraj, municipality apod.). Tato opatření mohou mít vliv na dopravní chování obyvatel.

Vývoj v oblasti dopravy mohou ovlivnit mimořádné situace v podobě teroristických útoků, přírodních katastrof, dopravních nehod a jiných. Většinou těchto mimořádných situací je možné dojít ke změně veřejného mínění, například co se užívání dopravních prostředků v nastalých situacích týče. Zejména tato změna veřejného mínění pramení z obav obyvatel o své zdraví, můžeme hovořit o „psychologických“ aspektech ovlivňujících výsledné dopravní chování. Do velké míry objemy dopravy na pozemních komunikacích ovlivňují pravidla (zejména legislativa) nastavená jednotlivými vládami – podpora VHD formou dotací, podpora nákupu nových osobních nebo nákladních vozidel šetrných k životnímu prostředí, otevírací doba školských zařízení, úřadů atd. Můžeme tvrdit, že objemy dopravy ovlivňují tato politická rozhodnutí, ale i tlak veřejnosti a trhu. Nejinak tomu je v případě vyhlášení nouzového stavu a zavedení dlouhodobých razantních vládních opatření, které mohou vést k negativnímu vývoji v oblasti dopravy (kromě jiných hospodářských sektorů). Ovšem ne vždy je možné dojít k závěru, že se jedná o negativní ovlivnění. Tyto změny mohou totiž být jakýmsi katalyzátorem pro zavádění udržitelných druhů dopravy, což vede v konečném důsledku ke snížení dopadu dopravy na životní prostředí (Williams a kol., 2012).

Intenzitu změn v každodenním harmonogramu lidí v poslední době většina z nás naplno pocítila v případě celosvětové pandemie nemoci COVID-19. Tato mimořádná situace a zásahy (zejména vládní opatření) proti zamezení šíření koronavirové nákazy této nemoci vedly kromě jiného i k utlumení aktivit v oblasti dopravy. Zejména patrná je krize v letecké dopravě, která tímto byla celosvětově ovlivněna ve velmi negativní vývoj. V případě tak bezprecedentní situace, jakou byla tato pandemie v novodobých dějinách, došlo i k výraznému snížení přepravních výkonů v pozemní veřejné hromadné dopravě, lze vysledovat i snížení přepravních výkonů v oblasti nákladní pozemní dopravy. Hypoteticky zavedená opatření v jednotlivých zemích mohou mít vliv na tamější ekonomiky - lze tedy tvrdit, že tato opatření, která byla primárně určena pro zamezení šíření koronavirové nákazy, budou mít vliv v dlouhodobějším horizontu i na ekonomický vývoj. Opět je otázkou, do jaké míry bude tímto ovlivněna intenzita nákladní dopravy, popřípadě intenzita individuální automobilové dopravy, v souvislosti s možnou ekonomickou krizí jako sekundárního důsledku pandemie nemoci COVID-19 a vládních opatření.

Díleční studie z jednotlivých zemí již přinášejí postupně data v podobě objemu přepravních výkonů v různých oblastech. Některé z těchto studií operují se značnou měrou snížení přepravních výkonů. Je patrné, že krize umožnila vzniku nových příležitostí a myšlenek, lidé museli pružně reagovat na nastalou situaci. V Evropě například již 16. března 2020 vznikla iniciativa v oblasti logistiky a spedice s cílem schraňovat data, které by bylo možné dále analyzovat pro potřeby pružnější evropské logistiky. V rámci projektu vznikla například i interaktivní mapa „Sixfold’s COVID-19 map“, která v reálném čase zobrazuje uzavření hraničních přechodů pro mezinárodní kamionovou dopravu nebo i průměrnou délku zdržení na jednotlivých hraničních přechodech v zemích Evropské unie (Transport Intelligence, 2020).

5.1. Stanovení intenzit dopravy za mimořádné situace – případová studie změny rozložení dopravy na silnicích I. třídy

Autor práce provedl sérii dopravních průzkumů (měření intenzit dopravy) na vybraných úsecích silnic I. tříd se dvěma jízdními pruhy v okolí Českých Budějovic s cílem získat data o intenzitách dopravy v období nouzového stavu, který byl v České republice vyhlášen 12. března 2020 a trval do 17. května 2020, a data mimo nouzový stav (stav blížící se normálnímu stavu dopravního provozu na silnicích). V průběhu trvání nouzového stavu byla zaváděna, a naopak postupně uvolňována, vládní nařízení, která měla za cíl omezit šíření koronavirové nákazy. Proto bylo provedeno několik měření v průběhu nouzového stavu, aby byly zohledněny nastalé změny.

Dopravní průzkumy probíhaly jako celotýdenní – byl tak zohledněn dopravní provoz v pracovních dnech a víkendový provoz. Sběr dat probíhal za pomoci statistických radarů Sierzege SR4, které umožňují dlouhodobější kontinuální sběr dat. Konkrétně se jednalo o tyto termíny a úseky silnic v extravilánu:

- **Silnice I/34** mezi Českými Budějovicemi a Lišovem
 - 23.3. – 29.3.2020: období nouzového stavu
 - 20.4. – 26.4.2020: období nouzového stavu s postupným uvolňováním vládních nařízení
 - 15.6. – 21.6.2020: období mimo nouzový stav s některými platnými vládními nařízeními
- **Silnice I/3** mezi Planou u Českých Budějovic a Boršovem nad Vltavou
 - 26.3. – 1.4.2020: období nouzového stavu
 - 15.6. – 21.6.2020: období mimo nouzový stav s některými platnými vládními nařízeními

Radarové přístroje byly ukotveny ke sloupku dopravního značení (na což bylo získáno povolení od policie České republiky), a zaznamenávaly průjezdy vozidel kontinuálně po dobu zhruba 10 dní (do vyčerpání dvou 6V baterií v každém z přístrojů).

Přístroje využívají analytických radarových senzorů - fungují na principu Dopplerova jevu a v případě správného nastavení a jejich kalibrace umožňují identifikaci průjezdu každého vozidla (včetně cyklistů) a dokonce měření délek vozidel s přesností na decimetry. Z charakteristik dopravního proudu tak lze tímto zařízením získat informaci o četnosti vozidel, rychlosti těchto vozidel, jejich délkách a odstupech mezi jednotlivými vozidly.

Výstupní datový soubor lze exportovat do excelu pro další statistické zpracování nebo lze tato data exportovat do specializovaného počítačového programu, který je dodáván k detektoru a ve kterém lze provést konkrétní statistické aplikace. Autor využil možnosti exportu dat do excelového souboru, ve kterém datový soubor analyzoval z dopravně-inženýrského pohledu.

Umístění radarových přístrojů na dopravní síti v okolí Českých Budějovic je znázorněno na následujícím schématu (obrázek č. 34).



Obrázek 34 – Rozmístění stanovišť dopravního průzkumu (zdroj:www.openstreetmap.org, vlastní úprava).

Sledována byla obousměrná intenzita dopravy dle jednotlivých hodinových intervalů členěna dále na kategorie vozidel. Radarové přístroje rozlišují kategorie vozidla na základě jeho délky, nastavení přístrojů (hraničních délek pro vozidla) bylo po dobu trvání všech dopravních průzkumů nezměněno. Byly sledovány tyto kategorie vozidel s rozmezím hraničních délek, které byly navrženy ve specializovaném programu dodávaném k detektoru na základě statistického rozdělení dat samotným programem:

- Jednostopá motorová vozidla a cyklisté (MOTO) – 0,1 až 2,4 metry;
- Osobní automobily a lehká užitková vozidla (OA) – 2,5 až 6 metrů;
- Nákladní vozidla nad 3,5 tuny užité hmotnosti, autobusy, specifická vozidla (NA) – 6,1 až 13 metrů;
- Nákladní silniční soupravy, traktory s vlekem, nákladní vozidla s vlekem (K) – 13,1 a více metrů.

Vzhledem k časové náročnosti a omezenému počtu radarových přístrojů nebylo autorem možné provést více dopravních průzkumů. Z tohoto důvodu získaný vzorek dat slouží k prvotním analýzám, v práci krom výsledků průzkumů nejsou data podrobněji rozebrána ke stanovení komplexních závěrů.

5.1.1. Analýza změny intenzit dopravy za specifické mimořádné situace

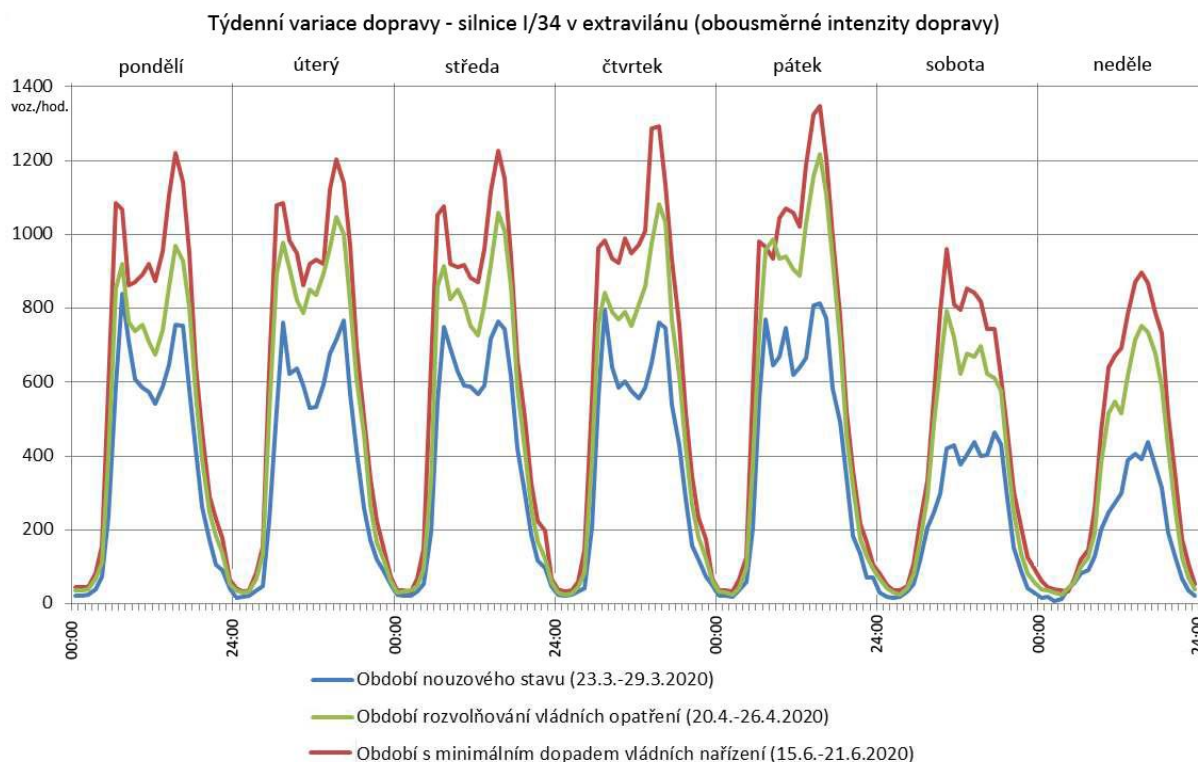
Jak je uvedeno výše, dopravní průzkumy probíhaly na dvou silnicích I. tříd – I/34 a I/3 mimo zastavěné území v profilech o dvou jízdních pružích. Obě silnice jsou v těchto úsecích vedeny zároveň jako „Mezinárodní silnice“ (s označením E49 a E55), probíhá po nich tedy jak vnitrostátní, tak frekventovaná mezinárodní doprava. Výběr obou úseků je založen na těchto základních skutečnostech, zároveň bylo vycházeno z analýzy intenzit dopravy z předešlých let z Celostátního sčítání dopravy, které naznačují podobný denní průběh intenzit dopravy. Rovněž je zde ta skutečnost, že oba úseky leží na hlavních tazích do zahraničí a spojují krajské město s dalšími významnými sídly v kraji – Třeboň a Jindřichův Hradec v případě silnice I/34 a Český Krumlov v případě silnice I/3. Úseky tedy byly

zvoleny i z pohledu větší míry vozidel, jejichž řidiči dojíždějí do krajského města (v rámci širšího okolí Českých Budějovic) za prací, na úřady, zábavou apod.

Dopravní provoz na silnici I/34

Při dopravním průzkumu v březnu 2020 bylo zaznamenáno celkově v rámci 7 dní v týdnu absolutně 56 240 vozidel všech kategorií, mimo nouzový stav v červnovém průzkumu to bylo na 96 446 vozidel celkem. To odpovídá nárůstu o 71,5 % (relativní změna počtu vozidel). Ačkoliv vyšší počty intenzit dopravy při červnovém měření intenzit dopravy můžou evokovat větší dopravní provoz rekreační (ne-li prázdninový) z hlediska frekventovaných turistických cílů v okolí, červen je brán v rámci metodiky obsažené v technických podmínkách č. 189 jako měsíc relevantní pro provádění dopravních průzkumů. Lze tvrdit, že data z červnového dopravního průzkumu lze považovat za směrodatná a zjištěné intenzity dopravy odpovídají normálnímu stavu na silnicích v tomto období. Při zpětné analýze intenzit dopravy zjištěných v rámci Celostátního sčítání dopravy v roce 2016 a jejich porovnáním s autorem naměřenými intenzitami dopravy se z absolutního pohledu jedná o významný nárůst. Nelze však dostatečně věrohodně poměřovat roční průměrné intenzity dopravy, které byly metodicky přepočteny ze čtyř-hodinových dopravních průzkumů v rámci Celostátního sčítání dopravy, s celodenními daty založenými na reálně zaznamenaných průjezdech vozidel.

Průběhy denních intenzit dopravy zaznamenaných po sobě jdoucími dopravními průzkumy (březen, duben a červen) v rámci celotýdenních měření jsou znázorněny v grafu na obrázku č. 35.



Obrázek 35 – Průběh denních intenzit dopravy v rámci jednotlivých dní v týdnu (všechny kategorie vozidel celkově v obou jízdních směrech) – úsek silnice I/34.

Z grafu je na první pohled patrný výrazný pokles intenzit dopravy v období nouzového stavu. Otázkou ovšem je, do jaké míry se zvýšily intenzity dopravy na silnicích po bezprostředním ohrožení nákazou nemocí COVID-19 z pohledu psychologie obyvatel a změny dopravního chování. Je zde totiž velká pravděpodobnost, že určitá část populace, která dříve využívala např. dopravní prostředky veřejné hromadné dopravy, nyní využívá ke svým cestám více osobní automobil z obav z nákazy touto nemocí

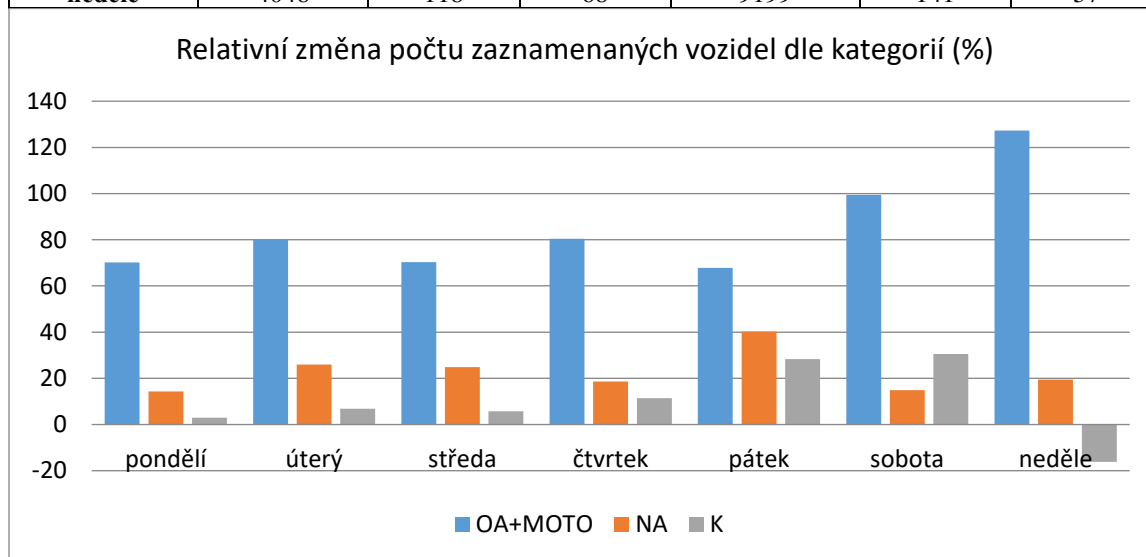
– obyvatelé mohou nyní preferovat individuální automobilovou dopravu, a to může vést k nárůstu intenzit dopravy.

Zajímavá skutečnost, která vyvstala z provedených měření, je to, že se v období nouzového stavu téměř eliminoval rozdíl mezi ranní i odpolední dopravní špičkou. Zatímco při normálním stavu je patrná vyšší intenzita dopravy v odpoledních dopravních hodinách. Příčina může být v eliminaci nebo razantním omezení dodatečných cest obyvatel po pracovních směnách (i z důvodu uzavřených obchodů, úřadů, škol apod.), i když toto je velmi těžko možné potvrdit, potažmo vyvrátit.

Z analýzy počtů vozidel v rámci jednotlivých kategorií podílejících se na celkové skladbě dopravních proudů je rovněž možné tvrdit, že individuální motorová doprava v době nouzového stavu poklesla o poznání více než nákladní doprava, což odpovídá výše uvedeným hypotézám. Následující tabulka č. 28 vyjadřuje absolutní počty vozidel zaznamenaných při dopravních průzkumech z daného stanoviště dle kategorií vozidel: individuální motorová doprava (OA+MOTO - osobní automobily a jednostopá motorová vozidla), nákladní vozidla (NA) a nákladní silniční soupravy (K). Graf v rámci tabulky vyjadřuje relativní změnu počtu zaznamenaných vozidel (období v nouzovém stavu a mimo nouzový stav) dle uvedených kategorií vozidel.

Tabulka 28 – Absolutní počty vozidel zjištěných během dopravních průzkumů na úseku silnice I/34 a relativní změna v rámci jednotlivých kategorií vozidel.

Den v týdnu	Nouzový stav (23. 3. - 29. 3. 2020)			Mimo nouzový stav (15. 6. - 21. 6. 2020)		
	OA+MOTO	NA	K	OA+MOTO	NA	K
pondělí	7659	833	779	13029	952	802
úterý	7311	897	783	13175	1130	836
středa	7698	823	796	13108	1028	842
čtvrtek	7488	860	716	13509	1020	798
pátek	8435	839	645	14155	1177	828
sobota	5195	141	108	10357	162	141
neděle	4048	118	68	9199	141	57

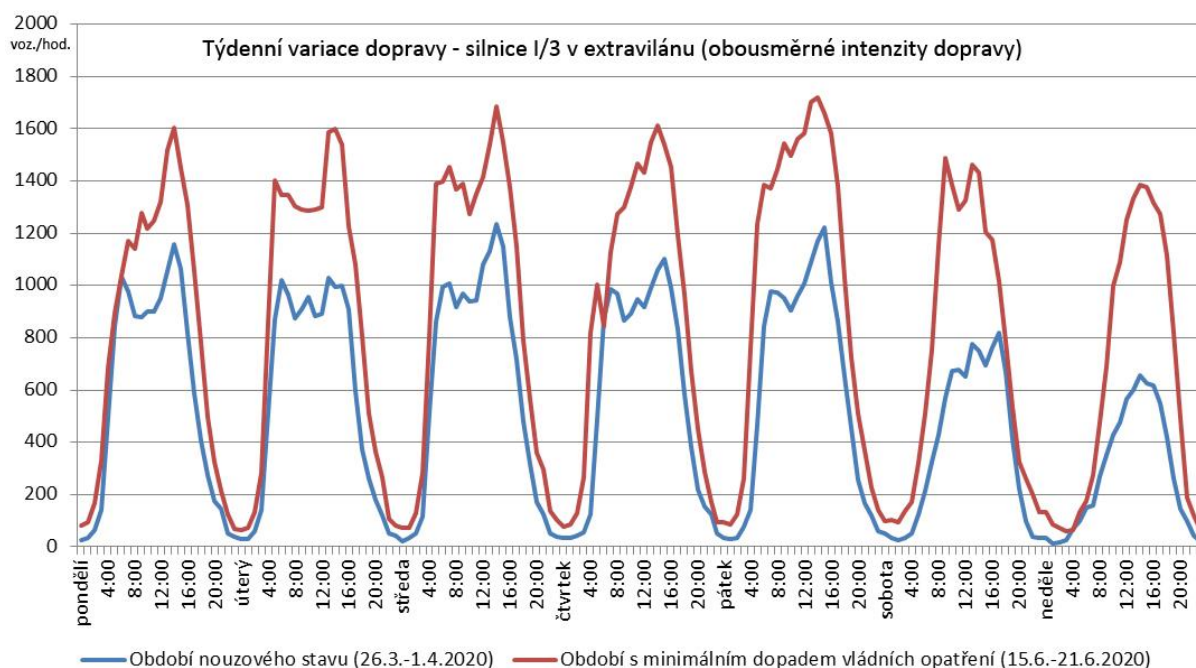


V případě individuální motorové dopravy došlo dokonce v případě víkendového provozu k nárůstu počtu vozidel o 127 %. Malé relativní změny lze vysledovat v případě nákladních silničních souprav, což napovídá skutečnosti, že vnitrostátní nákladní „kamionová“ doprava nebyla výrazněji ovlivněna.

Dopravní provoz na silnici I/3

Záznamem intenzit dopravy v čase na tomto stanovišti byly obdobně prokázány nízké hodnoty intenzit dopravy během nouzového stavu. Komparací průběhů denních intenzit dopravy zjištěných v období nouzového stavu a v období mimo nouzový stav je tedy možné tvrdit, že trend byl obdobný plošně na ostatních silnicích I. tříd. K prokázání tvrzení je ovšem nutné provést analýzu z více úseků silnic této kategorie, a to z dlouhodobého pohledu. Denní průběh intenzit dopravy zjištěný v jednotlivých pracovních dnech v týdnu v období nouzového stavu vykazuje klasický model dopravního provozu s výraznými nárůsty intenzit dopravy v ranní i odpolední dopravní špičce odpovídající absolutním počtům všech vozidel v rámci jednotlivých hodinových intervalů.

Graf na obrázku č. 36 znázorňuje průběhy denních intenzit dopravy v rámci celotýdenních měření intenzit dopravy v březnovém období nouzového stavu a mimo nouzový stav v červnu 2020.

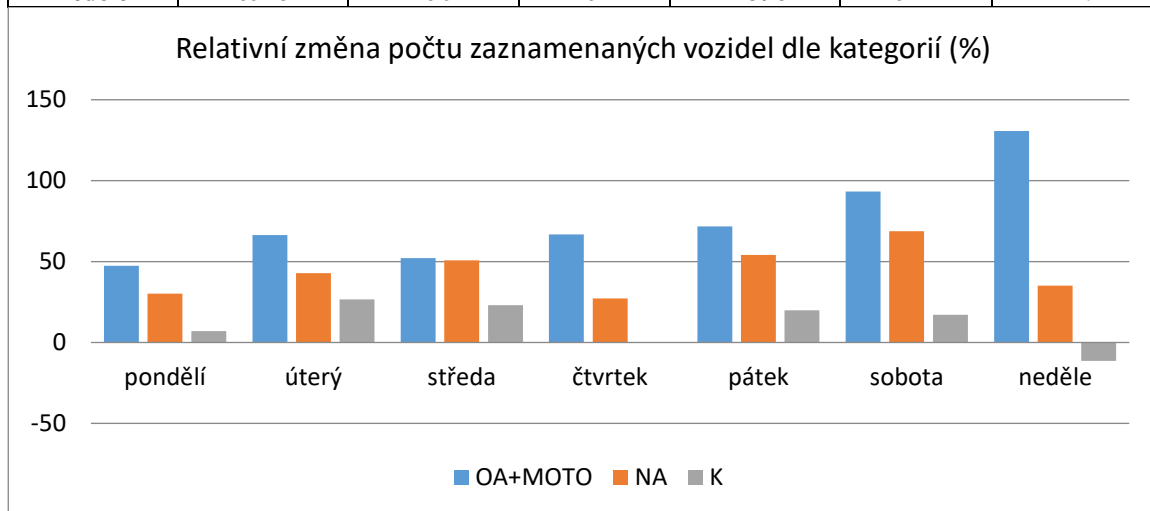


Obrázek 36 – Průběh denních intenzit dopravy v rámci jednotlivých dní v týdnu (všechny kategorie vozidel celkově v obou jízdních směrech) – úsek silnice I/3.

Porovnáním relativních změn počtu vozidel zjištěných během dopravních průzkumů v období nouzového stavu a v období mimo nouzový stav v tabulce č. 29 je patrná podobnost v míře relativní změny. Následující tabulka udává absolutní počty vozidel v rámci jednotlivých kategorií zjištěných během dopravních průzkumů.

Tabulka 29 – Absolutní počty vozidel zjištěných během dopravních průzkumů na úseku silnice I/3a relativní změna v rámci jednotlivých kategorií vozidel.

Den v týdnu	Nouzový stav (26. 3. - 1. 4. 2020)			Mimo nouzový stav (15. 6. - 21. 6. 2020)		
	OA+MOTO	NA	K	OA+MOTO	NA	K
pondělí	11027	1257	1613	16255	1637	1728
úterý	10275	1359	1653	17087	1942	2092
středa	11666	1387	1685	17759	2090	2073
čtvrtek	10608	1399	1713	17700	1780	1711
pátek	11889	1263	1313	20426	1946	1574
sobota	8522	330	286	16480	557	335
neděle	6328	230	132	14598	311	117



Opět ale vyvstává otázka, do jaké míry se změnilo dopravní chování obyvatel a do jaké míry intenzity dopravy z červnového měření odpovídají normálnímu stavu dopravního provozu v červnových dnech v jiných letech. Bez přístupu k těmto datům a komplexní analýzy dat toto však nelze dostatečně prokázat.

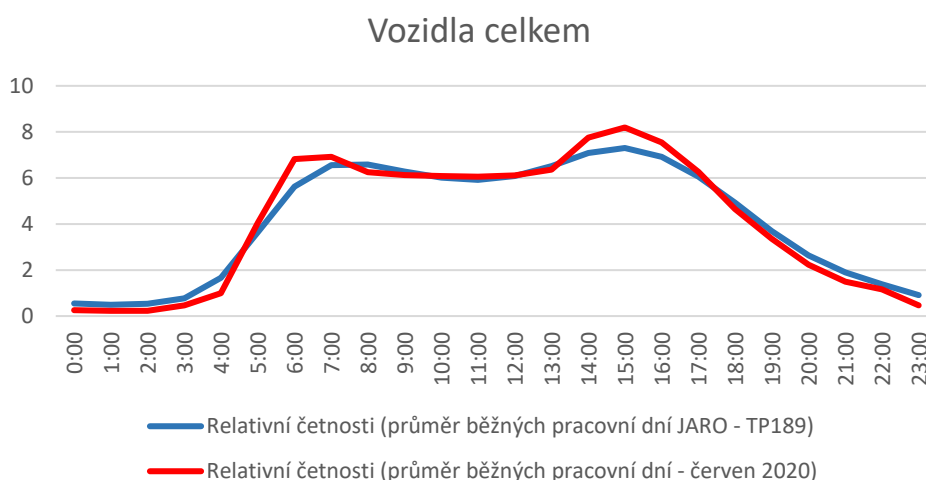
Denní průběh intenzit dopravy

Určitým srovnávacím hlediskem by mohlo být porovnání relativních hodinových četností v rámci běžných pracovních dní. Autor z dat získaných z průzkumu vytvořil tabulku relativních hodinových četností (poměr četnosti vozidel v dané hodině dne k celkovému počtu vozidel za celý den), a to podle kategorií vozidel a provedl aritmetický průměr relativních hodinových četností z běžných pracovních dní. Tyto průměry porovnal s relativními hodinovými četnostmi uvedenými v aktuálním vydání TP 189 (TP 189, 2018). Hodnoty relativních četností z technických podmínek jsou brány opět pro vybrané kategorie vozidel a pro vozidla celkem v běžném pracovním dni a dále pro období a pro silnici kategorie „E“ – mezinárodní silnice I. třídy.

Bylo zjištěno, že v případě červnového dopravního průzkumu, hodnoty relativních hodinových četností v rámci běžného dne odpovídají hodnotám uvedených v TP 189 – tedy průběh denních variací dopravy odpovídá „normálnímu“ stavu na českých silnicích v tomto období.

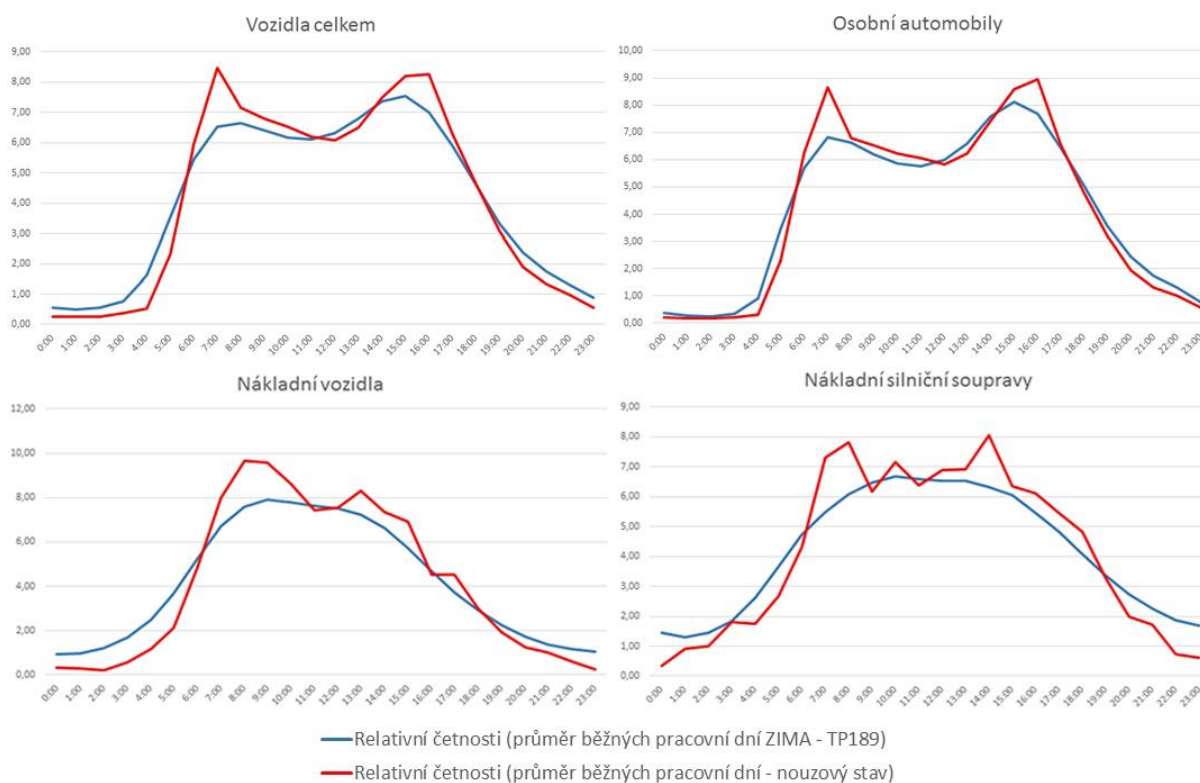
Relativní četnosti uvedené v technických podmínkách vycházejí z dlouhodobých a vícemístných opakovaných měření intenzit dopravy a jejich statistického vyhodnocení. Předpoklad byl, že tyto hodnoty relativních četností budou dostatečným komparačním hlediskem, co se průběhu intenzit dopravy v rámci běžného pracovního dne týče.

Následující obrázek č. 37 zobrazuje denní variace dopravy z hodnot získaných během dopravního průzkumu v červnu 2020 (období po nouzovém stavu) a hodnoty relativních hodinových četností pro vozidla celkem z TP 189 (období JARO).



Obrázek 37 – Průběh relativních hodinových četností (zdroj: Martolos, 2018; Autor, vlastní výpočty)

Na následujícím obrázku jsou grafy znázorňující průběh relativních hodinových četností v rámci dne pro vozidla celkem (38a), pro osobní automobily (38b), pro nákladní vozidla (38c) a pro nákladní jízdní soupravy (38d), kde červená křivka znázorňuje relativní hodinové četnosti z průzkumu v období nouzového stavu (viz předešlé odstavce) a modrá křivka znázorňuje průběh relativních četností udávaných technickým předpisem.



Obrázek 38 a, b, c, d – Průběh relativních hodinových četností (zdroj: Martolos, 2018; Autor, vlastní výpočty)

Z grafů je patrná podobnost obou průběhů hodinových relativních četností (reálných a teoretických – TP 189). Výraznější změna nastala v případě ranního špičkového období u osobních vozidel, kdy hodnoty v ranních hodinách zhruba odpovídaly hodnotám v odpolední dopravní špičce. Podobně ranní dopravní špička v případě nákladních vozidel byla mnohem výraznější. Další výraznější odlišností je začátek ranní dopravní špičky u nákladních vozidel se strmým vzestupem od páté hodiny ranní.

Statisticky však nelze určit, nakolik signifikantní tyto odchylky jsou z důvodu toho, že dopravní průzkum probíhal pouze na dvou profilech silnic, zatímco hodnoty relativních hodinových četností použitých z TP 189 vycházejí z většího statistického vzorku a jsou tedy zprůměrované (proto nižší hodnoty ve špičkovém období).

Rozhodně lze tvrdit na základě nalezené shody průběhu denních variací (z hodnot z dopravního průzkumu a z hodnot v TP 189), že metodika pro výpočet ročních průměrů denních intenzit dopravy (TP 189) je dostatečným a relativně přesným nástrojem pro výpočet intenzit dopravy na silnicích v ČR z krátkodobých dopravních průzkumů.

Ovšem, jak je uvedeno v předešlých odstavcích, ačkoliv charakter provozu v době nouzového stavu zůstal zhruba neměnný, tak došlo k výrazné změně co do absolutních počtů vozidel. V období nouzového stavu došlo k procentuálnímu poklesu intenzit dopravy o 35 – 42 % oproti červnovému dopravnímu provozu.

5.2. Průzkum změny dopravního chování obyvatel spojené s mimořádnou situací

Autor disertační práce se rozhodl realizovat průzkum mezi obyvateli České republiky prostřednictvím strukturované ankety s cílem zjistit, do jaké míry se změnil vybrané vzory dopravního chování obyvatel v období nouzového stavu vyhlášeného vládou ČR v souvislosti se zamezením šíření koronavirové nákazy nemoci COVID-19. Sběr dat probíhal od 1. 6. 2020 do 5. 7. 2020 a dotazník byl distribuován mezi respondenty pomocí on-line sociálních sítí, převážně do veřejných skupin zaměřených na diskusi obyvatel různých měst v ČR. Zejména se jednalo o města Praha, Ostrava, Brno, Plzeň, Liberec, Olomouc, dále o 42 středně velikých měst nebo obcí s počtem obyvatel do 10 tis. obyvatel. Období sběru dat je tedy termínově po období nouzového stavu, kdy bylo již pokročilé období rozvolňování vládních opatření, ale respondenti se vyjadřovali k období nouzového stavu zpětně.

Dotazník s názvem „Vliv opatření proti nákaze nemoci COVID-19 na dopravní chování obyvatel v ČR“ byl vytvořen na on-line portále specializovaném na tvorbu dotazníků a anket.

Dotazník byl strukturován tak, aby se respondenti vyslovili v první řadě k socio-demografické příslušnosti. Další sada otázek se vztahovala k formě výkonu práce (u zaměstnanců a ostatních lidí výdělečně činných) nebo k formě studia (u studentů a žáků). U těchto skupin obyvatel byl sledován způsob dopravy do zaměstnání a vzdělávacích institucí před vyhlášením nouzového stavu a při nouzovém stavu (změna dopravního prostředku). V rámci nouzového stavu bylo dále zjišťováno, zda respondenti docházeli do místa svého zaměstnání nebo vzdělávání, do jaké míry či zda bylo pracoviště (škola) uzavřeno nebo došlo k jiné změně (OČR, výkon práce z domova aj.). Další otázky v této kategorii se vztahovaly k četnosti cest do zaměstnání a škol v obvyklém režimu před vyhlášením nouzového stavu, ale i k obvyklé době cesty. V rámci kategorie otázek byla jedna přímá otázka, zda došlo ke změně typu dopravního prostředku pro uskutečňování cest v důsledku nouzového stavu a zavedení vládních opatření.

Další sada otázek se týkala nákupních zvyklostí obyvatel ve vztahu k dopravnímu chování – hlavním cílem bylo stanovit modal split před vyhlášením nouzového stavu a v období nouzového stavu, které bylo charakteristické i uzavřením určitých obchodů, změnou pracovní doby, nebo selekcí různých skupin obyvatel při vstupu do obchodních zařízení.

Poslední sada otázek se vztahovala k informaci o četnosti cest za účelem odvozu/svozu dětí v předškolním a školním věku do školek a jiných školních zařízení.

5.2.1. Základní vyhodnocení dotazníku a změna v dojíždění obyvatel

Celkově byly získány prostřednictvím dotazníků odpovědi od 3148 respondentů. Na základě uvedeného PSČ bydliště respondentů přistoupeno k rozdělení jednotlivých sídel do autorem stanovených velikostních skupin sídel. PSČ uvedená v dotazníku autor porovnal s databází české pošty (příslušná obec) a dále v databázi ČSÚ ke konkrétní obci dohledal počet obyvatel.

Autor při kategorizaci PSČ přihlédl i ke spádovému faktoru v tom smyslu, že obce v určité vzdálenosti od sídla spadajícího do nadřazené skupiny přiřadil k této nadřazené kategorii (přiřazení do aglomerace většího sídla). Pro sídla s počtem obyvatel větším jak 10 001 obyvatel byla brána jako hranice spádové oblasti 10 km, pro města s počtem obyvatel větším jako 100 001 obyvatel byla hranice spádové oblasti uvažována v okruhu 20 km od středu města.

Na tomto základě byla PSČ (sídla) rozdělena do třech velikostních skupin:

- Města nad 100 001 obyvatel – celkem 561 respondentů (18%)
- Města s počtem obyvatel v rozmezí 10 001-100 000 – celkem 1 815 respondentů (58%)
- Obce a města do 10 000 obyvatel (venkov) – 772 respondentů (24%)

Vyšší zastoupení obyvatel ve druhé velikostní skupině sídel je dáno zejména tím, že se dotazník distribuoval převážně mezi členy diskuzních skupin na sociálních sítích, které se vztahovaly k sídlům této velikosti. Samotné umístění dotazníku v diskuzní veřejné skupině města dané velikostní skupiny samozřejmě nezaručuje výsledky pouze od obyvatel žijících v daném městě. V diskuzních skupinách jsou členové i obyvatelé jiných obcí převážně v blízkém okolí daného města. Rozložení počtu respondentů v jednotlivých velikostních skupinách však do jisté míry odpovídá skutečnému rozložení obyvatel v sídelních strukturách v ČR.

Věkové rozložení respondentů je rovněž členěno do skupin, kdy největší skupině odpovídal věk od 30 do 39 let věku (862 respondentů), dále to bylo 814 respondentů ve věku od 19 do 29 let věku, 705 respondentů ve věku 40 až 49 let, 411 respondentů ve věku 50-59 let, 232 respondentů ve věku 60-69 let, 59 respondentů ve věku 70 let a více a 53 respondentů s věkem menším jak 18 let.

V rámci pohlaví je zde významné zastoupení žen (81%), což si autor vysvětluje vyšší mírou ochoty žen na sociálních sítích vypracovávat dotazník.

Na dotaz ohledně způsobu obživy a společenského statutu odpovědělo 266 respondentů, že jsou žáci nebo studenti. 116 respondentů odpovědělo, že jsou zaměstnanci v hlavním pracovním poměru a zároveň studující. 1 645 respondentů odpovědělo, že jsou zaměstnanci v hlavním pracovním poměru, a 197 respondentů jsou živnostníci. Tato skupina respondentů je brána jako směrodatná pro analýzu dopravního chování obyvatel v rámci dojížděk do zaměstnání a do vzdělávacích zařízení.

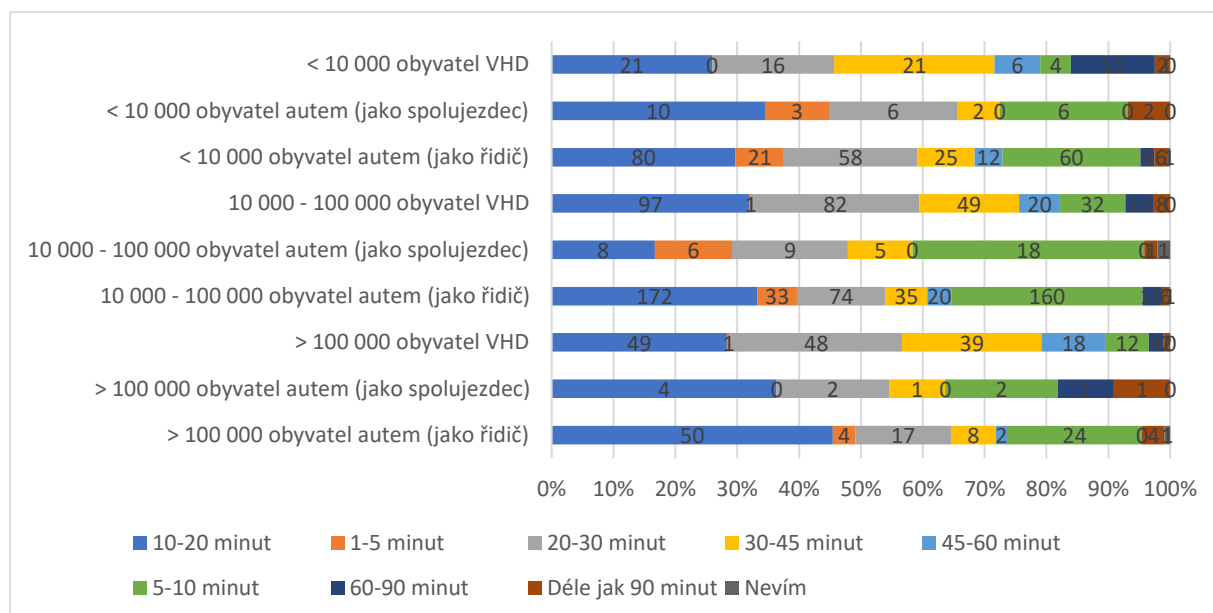
Další skupina respondentů nebyla brána v potaz pro analýzu dojížděk, byla však zohledněna v rámci analýzy cest za nákupy a v rámci cest při odvozu dětí do školek a jiných školských zařízení. Jedná se o 438 respondentů v domácnosti (převážně rodičovská dovolená), 86 nezaměstnaných obyvatel, 44 osob

bez zdanitelných příjmů a 269 respondentů, kteří uvedli, že jsou v důchodu. Mezi nejčastější odpovědi v případě možnosti „jiné“ (86 odpovědí) respondenti uváděli v naprosté většině invalidní důchod.

V sekci připadající skupině žáků a studentů z výsledných odpovědí vyplynulo, že v naprosté většině případů bylo jejich školské zařízení uzavřeno z důvodů plynoucích z nařízení vlády ČR (88 % z 266 respondentů) a nevykonávali tak pravidelné cesty.

V případě ekonomicky aktivních obyvatel (1876 respondentů) bylo zjištěno, že pro 40% z nich se nezměnilo nic v oblasti výkonu práce a docházení/dojíždění do zaměstnání, 26 % respondentů docházelo do místa výkonu svého zaměstnání v jinou pracovní dobu (častěji, méně často nebo nárazově). Dále ve 14 % případů respondenti uvedli, že jejich pracoviště bylo z důvodu souvisejícím s nouzovým stavem uzavřeno a 13 % respondentů uvedlo, že nedocházelo do místa výkonu svého zaměstnání, ale pracovali nadále z domova („home office“). 5 % respondentů dále uvedlo, že nedocházeli do svého zaměstnání z důvodu ošetřování člena rodiny (OČR) - zejména o děti, které zůstaly doma kvůli zavřeným školským zařízením.

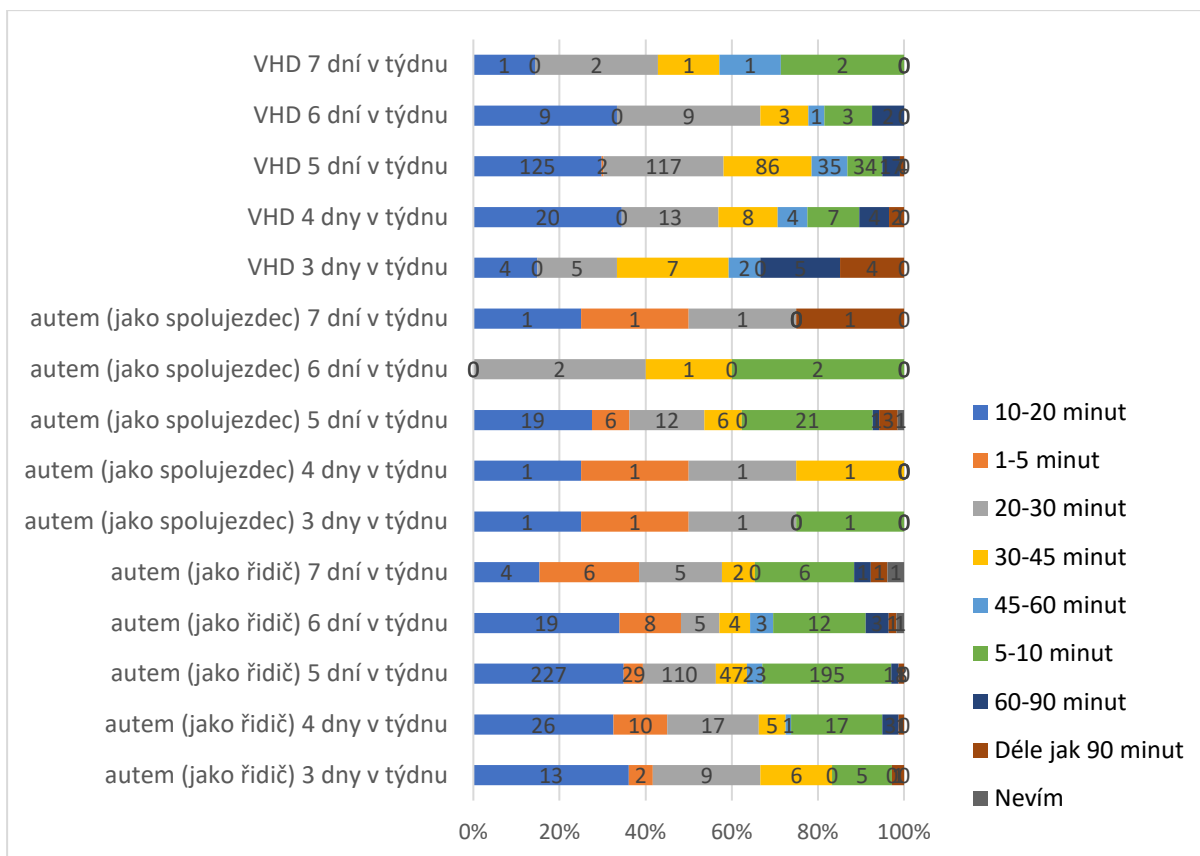
Následující graf (obr. 39) vyjadřuje přibližnou cestovní dobu při dojíždění do zaměstnání u ekonomicky aktivních obyvatel v souvislosti s uvedeným místem bydliště (rozřazeno do autorem určených velikostních skupin sídel) pro cesty využívané nejpočetnějšími druhy motorové dopravy.



Obrázek 39 - Cestovní doba ekonomicky aktivních obyvatel při dojíždění do zaměstnání (zdroj: autor)

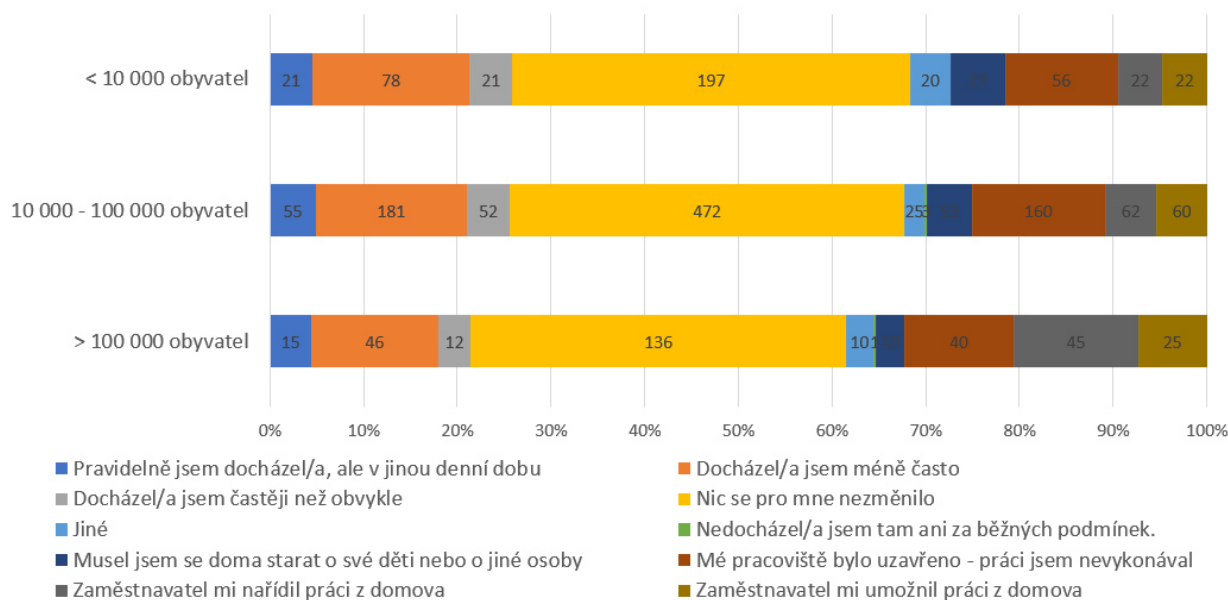
V případě frekvence těchto cest v 76 % případů (1367 z 1876 odpovědí) respondenti uvedli, že dojíždějí pravidelně 5 pracovních dní v týdnu. 9 % (168) respondentů uvedlo, že dojíždí 4 dny v týdnu, a 8 % respondentů dojíždí 3 a méně dní v týdnu do zaměstnání. 10 % (181) respondentů dále uvedlo, že dojíždí kromě pracovních dní i o víkendu (pracují až 7 dní v týdnu).

Následující graf č. 40 vyjadřuje vztah cestovní doby a frekvence cest ekonomicky aktivních obyvatel do zaměstnání rozlišených podle nejčastěji užívaných motorových dopravních prostředků.



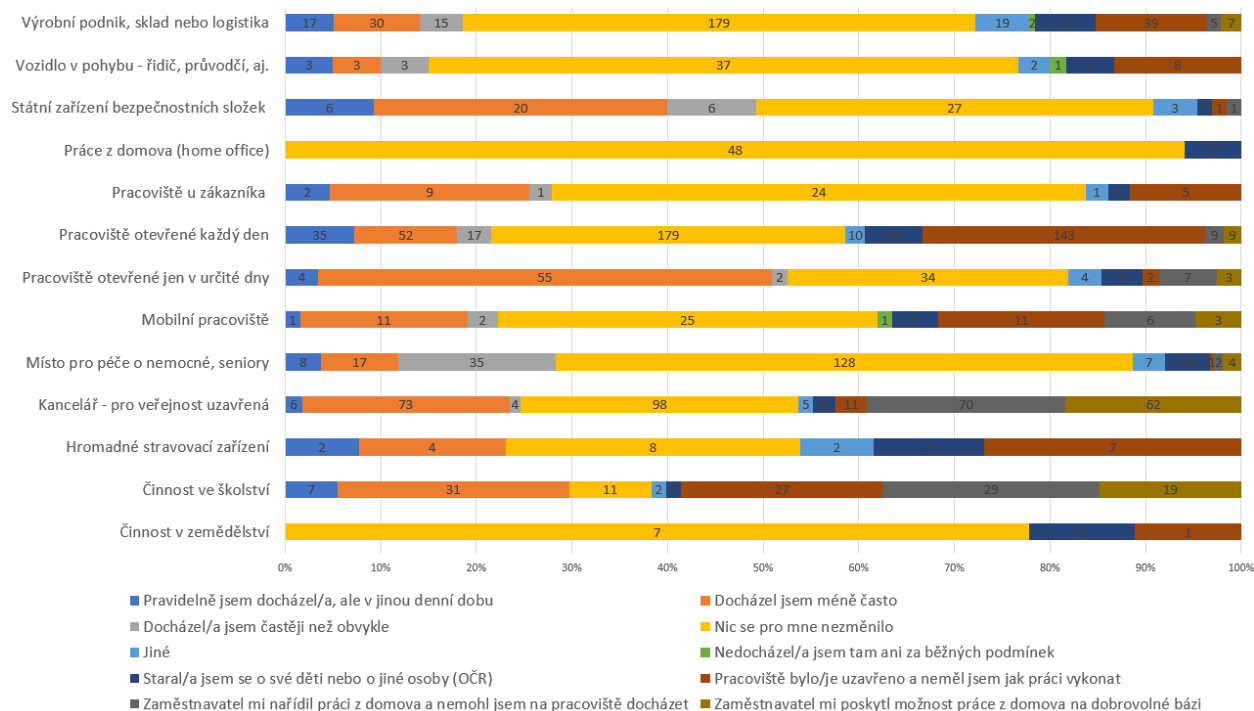
Obrázek 40 - Cestovní doba ekonomicky aktivních obyvatel ve vztahu k frekvenci cest (zdroj: autor).

Následující graf na obrázku č. 41 znázorňuje změny v dojíždění během nouzového stavu – odpovědi respondentů rozdělených podle velikostních skupin sídel. Z relativního rozdělení je patrné, že struktura změn v četnosti dojíždění byla zhruba stejná v celé ČR s tím rozdílem, že ve větších městech byla vyšší míra obyvatel, kterým byla ze strany zaměstnavatele umožněna práce z domova.



Obrázek 41 - Změny v dojíždění do zaměstnání podle místa bydliště respondentů (zdroj: autor)

V souvislosti se změnou v oblasti četnosti dojížděk je možné porovnat druh pracoviště respondentů, které uvedli v první sekci dotazníku. Obrázek č. 42 vyjadřuje změny v dojíždění ve vztahu k jednotlivým typům pracoviště.



Obrázek 42 – Změny v dojíždění do zaměstnání podle druhu pracoviště (zdroj: autor)

Výrazná změna ve vztahu k uzavření pracoviště je tedy patrná u obchodů a jiných pracovišť otevřených pro veřejnost pravidelně, které musely být v souvislosti s nouzovým stavem uzavřeny. Do této skupiny však spadají i obchody, které bylo nutné ponechat otevřené (obchody s potravinami, s drogistickými potřebami apod.). Podobný případ je i ve školství, kde se uzavřela školská zařízení, a velká část pracovníků přešla na práci z domova. Výrazné změny jsou patrné na sektoru výroby, skladování a logistiky, kde rovněž docházelo k uzavírání pracovišť, ale zejména docházelo ke změně směn, pracovní doby apod. – toto mělo výrazný dopad i na dojíždění obyvatel za prací.

V případě pracoviště typu kanceláře uzavřené pro veřejnost (otevřeno pouze po dohodě se zákazníky) je patrný významný podíl zaměstnanců, kteří přešli na práci z domova. U všech typů pracovišť je dále důležitý podíl osob, které využily možnosti (svým způsobem i musely) pečovat o své rodinné příslušníky a do práce z důvodu OČR nedocházely.

Před vypracováním dotazníku byla stanovena statistická hypotéza, že u 50 % respondentů nedošlo ke změně ve frekvenci cest. Tato hypotéza byla pomocí chí-kvadrát testu dobré shody zamítnuta, dosažená hladina významnosti p byla nižší než 0,001. Bylo prokázáno, že ke změně ve frekvenci cest do zaměstnání došlo u více než poloviny respondentů. Výsledky testu jsou uvedeny v tabulce 30.

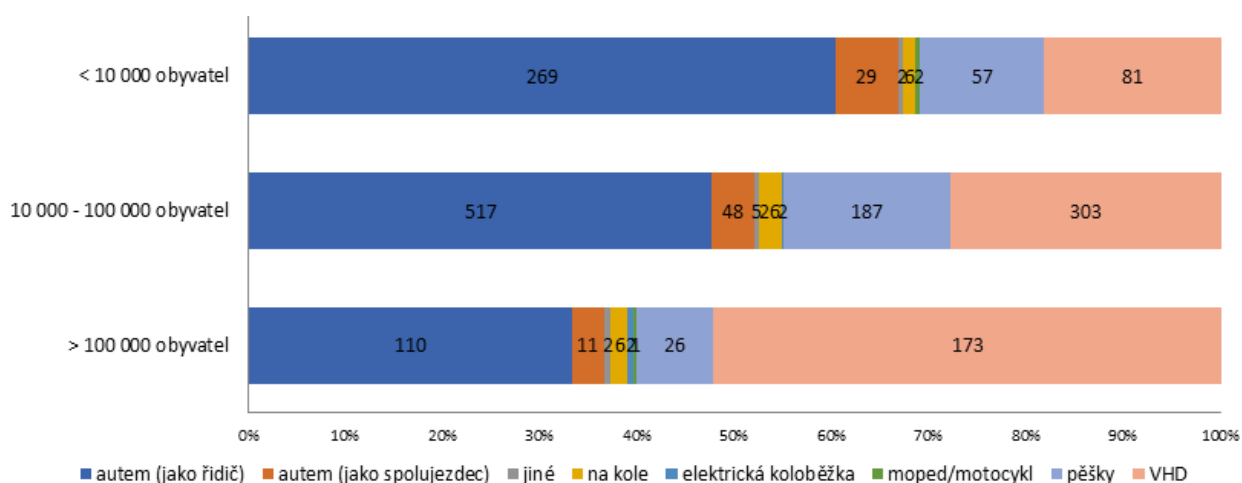
Tabulka 30 - Výsledky chí kvadrát testu – změna ve frekvenci cest obyvatel za zaměstnáním.

<i>H0: Do zaměstnání v nezměněné frekvenci docházela polovina respondentů</i>					
Změna ve frekvenci	Pozorované		Očekávané		Chí kvadrát test
	Četnosti	Procenta	Četnosti	Procenta	
ano	1000	53,9%	927,5	50%	P < 0,001
ne	855	46,1%	927,5	50%	
Celkem	1855	100,0%	1855	100%	

5.2.2. Změna v užívání druhu dopravy

Během ankety poskytl 2138 respondentů informaci o dojíždění (druhu dopravního prostředku, popřípadě pracovního stylu) do zaměstnání a vzdělávacích zařízení před vypuknutím pandemie nemoci COVID-19 a v průběhu nouzového stavu vyhlášeného v České republice (aktivně pracující obyvatelé, studenti a žáci). Změna dopravního prostředku pro cesty v rámci dojíždění do zaměstnání se z celkového počtu odpovědí zdá jako zanedbatelná – 154 respondentů (7%) z celkového počtu 2138 odpovědělo přímo, že v souvislosti s nouzovým stavem a vládními opatřeními proti šíření nemoci COVID-19 změnilo trvale druh dopravního prostředku. Zejména se jedná o změnu z veřejné hromadné dopravy na jízdu automobilem (ať už jako řidič nebo spolujezdec). Ačkoliv otázka byla v rámci dotazníku koncipována na zjištění trvalé změny v užívání dopravního prostředku, není však úplně jisté, zda všichni respondenti otázku pochopili v původním smyslu nebo zda uvažovali změnu pouze na dobu trvání nouzového stavu a vládních opatření. K závěrům, do jaké míry je tato změna trvalého charakteru, nelze tímto způsobem dospět. V dodatečné otázce vztahující se k důvodům změny dopravního prostředku v naprosté většině respondenti uvedli jako důvod obavu z nákazy (91 %), dále uváděli jako důvod změnu pracovní doby, flexibilitu a pohodlí v případě využití automobilu.

Na dotaz, jakým druhem dopravy se před vypuknutím epidemie a vyhlášením nouzového stavu obvykle obyvatele dopravovali do svých zaměstnání, odpovědělo 1865 respondentů (ekonomicky aktivních obyvatel). Následující graf (obrázek č. 43) vyjadřuje zastoupení jednotlivých druhů dopravy rozdělených podle velikostních skupin obcí.

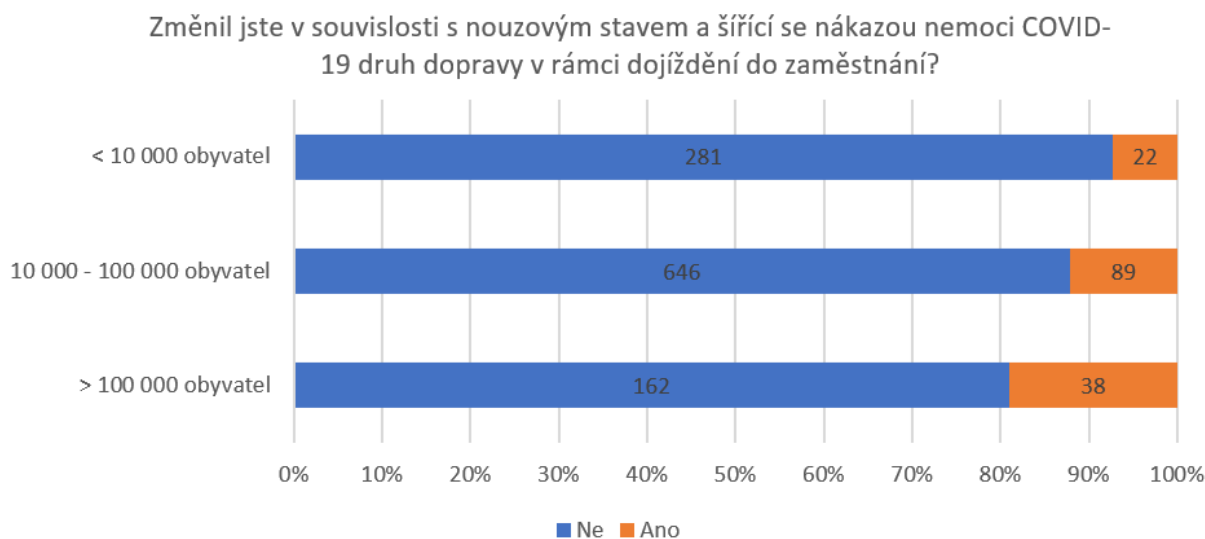


Obrázek 43 – Zastoupení jednotlivých druhů dopravy dle stanovených velikostních skupin sídel (zdroj: autor).

Vyšší míra zastoupení veřejné hromadné dopravy ve větších městech je zřejmě dána většími možnostmi městské hromadné dopravy, zejména co se hustoty sítě linek a frekvence spojení týče, oproti venkovu (sídla do 10 tis. obyvatel), kde je naopak znatelné větší využití osobních automobilů pro cesty v rámci dojíždění za zaměstnáním. Ve městech s počtem obyvatel větším jak 100 tis. obyvatel (a přilehlé aglomeraci daného města) je podíl VHD v rámci dělby přepravní práce dokonce 52 %.

Z odpovědí respondentů vyplynulo, že 1238 ekonomicky aktivních obyvatel v době nouzového stavu nadále docházelo do svých zaměstnání (pravidelně 5 dní v týdnu nebo s jinou frekvencí – viz základní vyhodnocení dotazníku v předešlé kapitole).

Z tohoto počtu odpovědělo na přímý dotaz, zda u nich došlo ke změně druhu dopravy pro cesty do práce v souvislosti s nouzovým stavem a šířící se koronavirovou nákazou, kladně 149 respondentů. Následující obrázek č. 44 udává počty respondentů, u kterých došlo k záměně druhu dopravy, rozdělených podle velikostních skupin sídel.



Obrázek 44 – Odpovědi respondentů na dotaz změny druhu dopravního prostředku (zdroj: autor).

Ve větších městech je oproti jiným menším sídlům (venkovu) patrný vyšší podíl těch, kteří nakonec dojížděli do zaměstnání jiným druhem dopravy než obvykle, což koresponduje s vyšší mírou zastoupení VHD v rámci dojíždění do zaměstnání před vyhlášením nouzového stavu (s obvyklým stavem) ve větších městech a se změnou v relaci VHD – jiný druh dopravy. Ve městech nad 100 tis. obyvatel je relativní poměr změny užitého dopravního prostředku dokonce 19 %. Změna v chování obyvatel ve třech srovnávaných podskupinách byla statisticky významná ($\chi^2 = 15,3$, $df = 2$, $p < 0,001$).

Z odpovědí respondentů, kteří odpověděli kladně na změnu druhu dopravy, dále vyplývá i o jaký přechod se konkrétně jednalo – jaký druh dopravy nakonec využívají. Naprostá většina respondentů (77 %) uvedla, že přestali využívat veřejnou hromadnou dopravu. Tento fakt je ovšem dán mnoha faktory, kromě jiného nutností v době nouzového stavu nosit na tvářích ochranné roušky, ale i obavami z přenosu nákazy (toto naprostá většina respondentů uvedla jako důvod změny druhu dopravního prostředku). Z počtu respondentů, kteří přestali využívat dopravní prostředky VHD pro každodenní dojíždění do zaměstnání, je 73 % těch, kteří nakonec využili osobní automobil pro své cesty.

Testem marginální homogenity bylo studováno zastoupení pěti nejvíce užívaných typů dopravy před a během nouzového stavu, a to v celém souboru a také v podskupinách podle velikosti bydliště. Výsledky jsou uvedeny v tabulce č. 31. Ve všech případech byl prokázán statisticky významný rozdíl.

Tabulka 31 - Výsledky testů marginální homogenity.

Skupina	Bhappkarův χ^2	Stupně volnosti	Dosažená hladina významnosti
Celý soubor (n = 1225)	109,9	4	< 0,001
Nad 100 000 ob. (n = 201)	30,1	4	< 0,001
10–100 000 ob. (n = 728)	65,5	4	< 0,001
Do 10 000 ob. (n = 299)	11,5	4	0,021

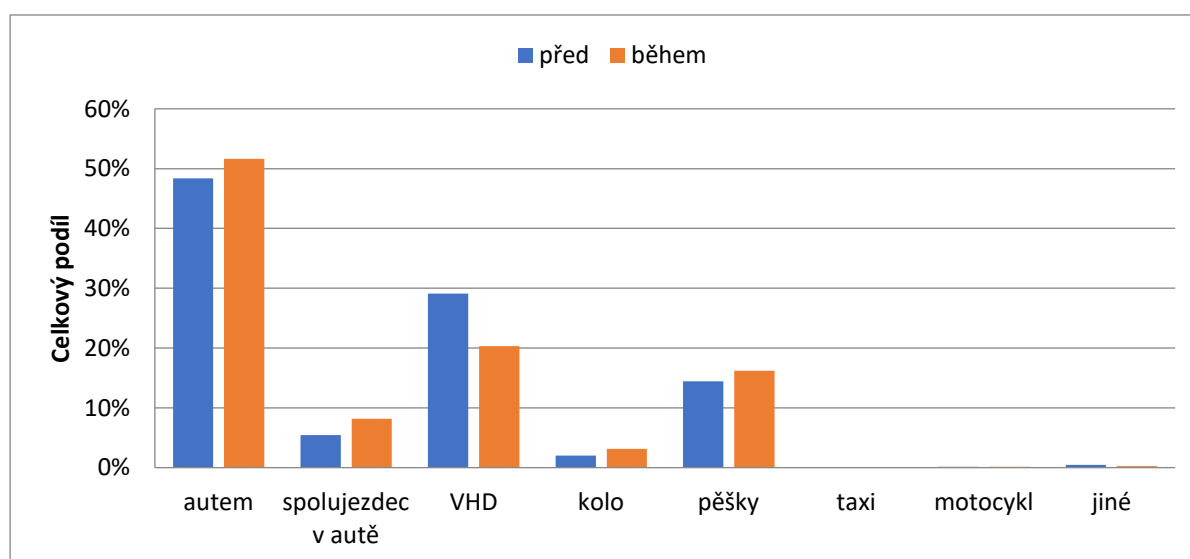
Srovnání v rámci jednotlivých nejčastějších druhů dopravy bylo provedeno McNemarovým testem (případně přesným testem binomického rozdělení) s upravenou hladinou významnosti kvůli

opakovaným srovnáním (Bonferroniho korekce). Výsledky přináší tabulky č. 32-35, grafy na obrázcích č. 45-48 vyjadřují celkové podíly v zastoupení jednotlivých druhů dopravy na všech cestách do zaměstnání.

Tabulka 32 - Výsledek McNemarova testu změny v zastoupení typů dopravy v celém souboru.

Kategorie	před	během	Chí kvadrát	<i>p</i>
autem	597	635	19,5	<0,001
spolujezdec	67	101	26,3	<0,001
veřejná hromadná	358	251	96,2	<0,001
kolo/moped/atd.	25	39	12,3	0,001
pěšky	178	199	13,4	<0,001
taxi *	0	1		
motocykl *	2	2		
jiné *	6	3		

* tyto kategorie nebyly z důvodu nízkého zastoupení hodnoceny



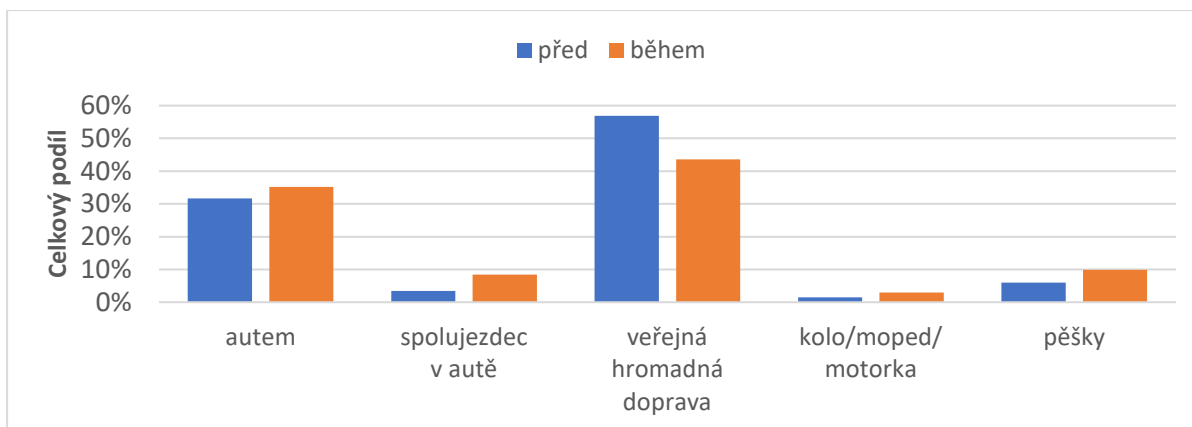
Obrázek 45 – Podíl jednotlivých druhů dopravy na cestách za zaměstnáním v rámci celého souboru (zdroj: autor).

Jelikož jsou dosažené hladiny významnosti *p* menší než 0,01, byl prokázán statisticky významný rozdíl v zastoupení pěti srovnávaných kategorií před a během nouzového stavu.

Tabulka 33 - Výsledek McNemarova testu změny v zastoupení druhů dopravy pro sídla nad 100 tis. obyvatel.

Kategorie	před	během	Chí kvadrát	<i>p</i>
autem	64	71	2,58	0,108
spolujezdec	7	17	8,33	0,004
veřejná hromadná	115	88	23,5	<0,001
kolo/moped/motocykl	3	6	exaktní test	0,250
pěšky	12	19	exaktní test	0,039

V případě sídel nad 100 tis. obyvatel jsou u tří kategorií dosažené hladiny významnosti menší než 0,05 - byl u nich prokázán rozdíl v zastoupení před a během nouzového stavu (kategorie autem jako spolujezdec, veřejná hromadná doprava a obyvatelé, kteří využívali pěší dopravu).

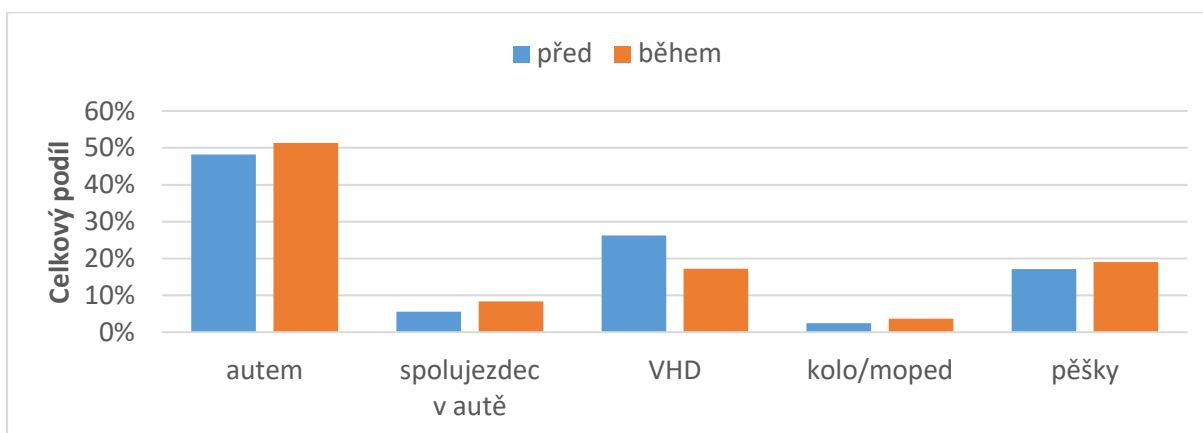


Obrázek 46 - Podíl jednotlivých druhů dopravy na cestách za zaměstnáním v obcích nad 100 tis. obyv.

Tabulka 34 - Výsledek McNemarova testu změny v zastoupení druhů dopravy pro středně velká sídla.

Kategorie	před	během	Chi kvadrát	p
autem	353	375	11,5	0,001
spolujezdec	41	61	13,3	<0,001
veřejná hromadná	191	126	57,9	<0,001
kolo/moped/motocykl	18	27	7,36	0,007
pěšky	125	139	10,9	0,001

Jelikož jsou výsledné p-hodnoty testu menší než 0,01, byl v případě užitých druhů dopravy ve středně velkých obcích (10 tis. až 100 tis. obyvatel) prokázán statisticky signifikantní rozdíl v zastoupení všech kategorií před a během nouzového stavu na hladině významnosti 1%.



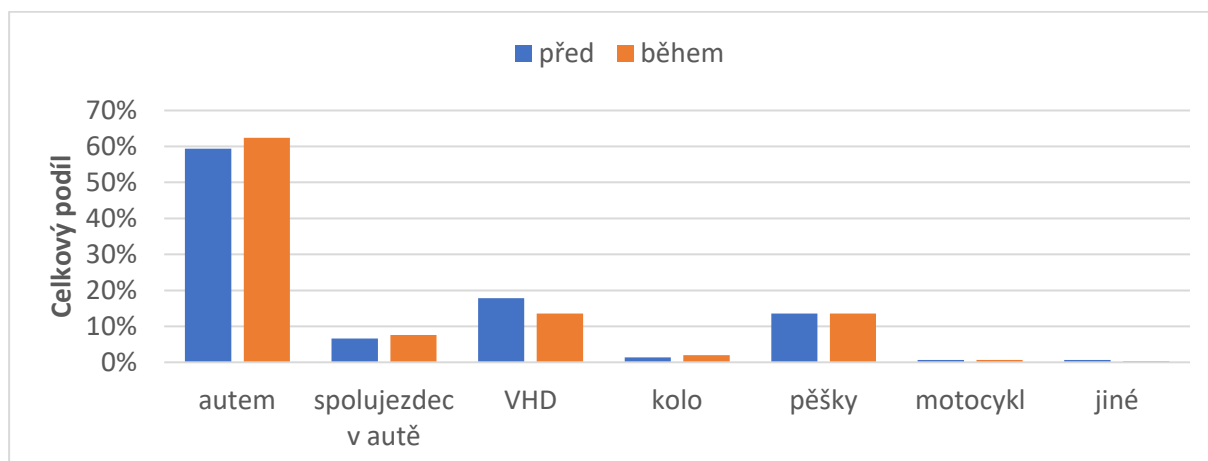
Obrázek 47 – Podíl jednotlivých druhů dopravy na cestách za zaměstnáním ve středně velkých obcích s počtem obyvatel mezi 10 tis. a 100 tis.

Tabulka 35 - Výsledek McNemarova testu změny v zastoupení druhů dopravy pro soubor „venkov“.

Kategorie	před	během	Chi kvadrát	p
autem	180	188	4,57	0,033
spolujezdec	20	23	exaktní test	0,250
veřejná hromadná	54	41	9,94	0,002
kolo/moped/motocykl	4	6	exaktní test	0,500
pěšky	41	41	exaktní test	1,00

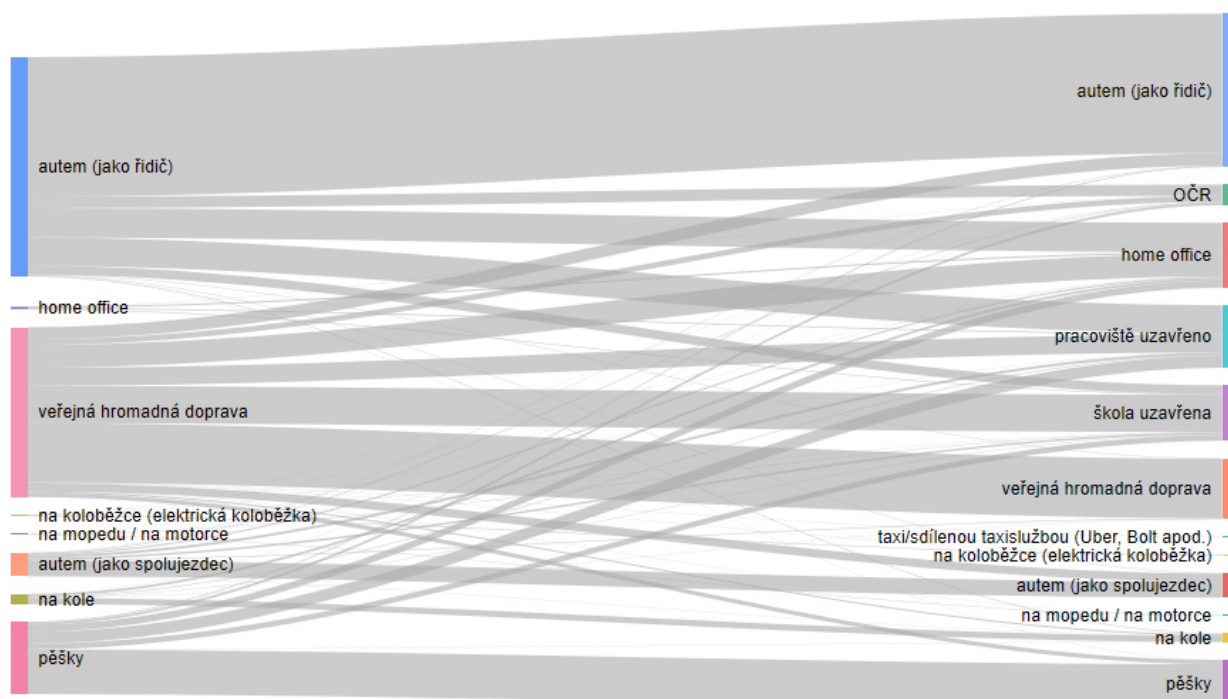
U kategorií automobilu (řidič) a veřejné hromadné dopravy je p-hodnota menší než 0,05 – byl u nich prokázán signifikantní rozdíl v zastoupení před a během nouzového stavu na hladině významnosti 5%.

V obcích do 10 tis. obyvatel se však neprojevila změna v užívání druhů dopravy nikterak zásadněji, než tomu je ve větších městech.



Obrázek 48 – Podíl jednotlivých druhů dopravy na cestách za zaměstnáním v obcích do 10 tis obyvv.

Na následujícím obrázku č 49 je Sankeyův diagram graficky znázorňující změnu v užívání dopravních prostředků ve vztahu k dalším důsledkům nouzového stavu vzešlých z odpovědí respondentů (pracoviště bylo uzavřeno, škola byla uzavřena, zavedení práce z domova, ošetřování rodinných příslušníků). Z těchto odpovědí byly brány případy, kdy respondenti uvedli, že cesty v rámci dojíždění do zaměstnání nebo do škol se nevykonávaly vůbec v rámci celého období nouzového stavu. Jde tedy pouze o období nouzového stavu a pozdějšího rozvolňování vládních opatření, kdy došlo k četným případům, kdy lidé zůstávali převážně doma.



Obrázek 49 – Sankeyův diagram změny užívání dopravního prostředku u zaměstnaných a studentů celkově před a během období nouzového stavu v rámci celé ČR (zdroj: autor).

Z výsledků je patrné, že velká část obyvatel nevykonávala pravidelné cesty za zaměstnáním nebo do škol z výše uvedených důvodů (uzavření pracovišť, škol, OČR, home office). Jednalo se o 853

respondentů z celkového počtu 2138 (zhruba 40 %). U lidí, kteří nadále pracovali z domova, je velká část užívající obvykle ke svým cestám osobní automobil. Nedá se tedy hovořit o tom, že by obava z nákazy v dopravních prostředcích měla výrazný vliv na zavedení práce z domova – z odpovědí respondentů spíše vyplývá, že to bylo umožněno nebo nařízeno ze strany zaměstnavatele.

Do kategorie „pracoviště uzavřeno“ jsou zahrnuti respondenti, kteří uvedli, že jejich pracoviště bylo uzavřené po celou dobu trvání nouzového stavu, po dobu kratší, popřípadě zůstali doma z jiného důvodu související s nemožností výkonu práce ze strany zaměstnavatele. Dále jsou zde zahrnuti i lidé, kteří pravidelně dojíždějí za zaměstnáním do okolních států a z důvodu uzavření hranic nemohli tyto cesty vykonat. Podobné je to se skupinou studentů, jejichž vzdělávací zařízení byla uzavřena – nedocházelo k realizaci cest za vzděláním.

Kategorie „home office“ je skupina respondentů, kteří pracují z domova stále nebo byli nuceni ze strany svého zaměstnavatele realizovat pracovní úkony z domova, popřípadě si zvolili tuto možnost práce z domova sami (bylo to ze strany zaměstnavatele umožněno). Tito lidé žádné cesty za prací nevykonávali.

Skupina respondentů (zaměstnanců), kteří byli v pracovní neschopnosti po celou dobu, byli na dovolené nebo přešli na mateřskou dovolenou, je nevýznamná a jsou zahrnuti celkově do kategorie OČR (ošetřování člena rodiny). Do této kategorie jsou zahrnuti zejména respondenti, kteří využili možnost umožněnou ze strany vlády a starali se o své děti, které nemohly navštěvovat vzdělávací zařízení, popřípadě o jiné členy rodiny.

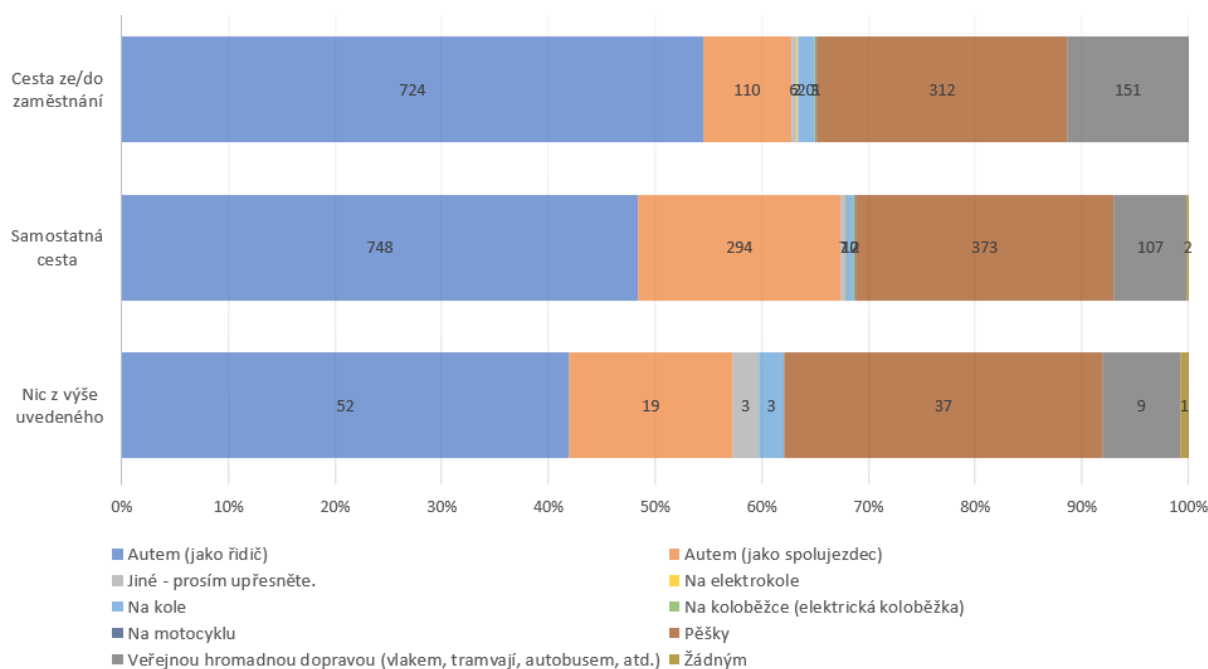
5.2.3. Nákupní zvyklosti obyvatel

Otázky v dotazníku v sekci o nákupních zvyklostech byly sestaveny tak, aby bylo získáno povědomí o charakteru nákupních zvyklostí obyvatel a druhu dopravního prostředku, který obyvatelé využívají pro své obvyklé cesty za nákupy (před nouzovým stavem a při nouzovém stavu). Odpovědi ohledně charakteru nákupních zvyklostí ale nepřinášejí informaci o četnosti těchto cest, nýbrž o přibližné četnosti (několikrát do týdne, jednou až dvakrát za týden, jednou do měsíce apod.). Celkově byly takto získány odpovědi od 3148 respondentů.

Na dotaz, jaký je charakter nákupu respondentů, odpovědělo 95 % respondentů, že nákupy realizují návštěvou obchodu sami. 1 % respondentů uvedlo, že za ně realizují nákupy jiné osoby kromě rodinných příslušníků (dobrovolník, soused, služebník apod.). 2 % respondentů uvedla, že nakupují potraviny v internetových obchodech a využívají tak dovoz nákupu až do jejich domu. Zbylé formy nákupu se týkají pravidelného stravování v restauracích nebo objednávek hotových jídel s jejich následným dovozem do jejich domu (obě skupiny neprovozují pravidelné nákupy potravin a jedná se řádově o jednotky odpovědí). „Nic z uvedeného“ odpovědělo 2 % respondentů.

Zajímavé zjištění ohledně počtu cest je, že více jak polovina cest uskutečněná za účelem nákupu (1546 respondentů z celkového počtu 2998 = 95 % respondentů provádějících nákupy) byla realizována jako samostatná cesta, 44 % respondentů odpovědělo, že nákup realizují při cestě z/do zaměstnání či vzdělávacího zařízení. 4 % respondentů se neztotožňuje ani s jednou z těchto dvou možností. Z celkového počtu samostatných cest bylo v 1042 případech využito osobního vozidla (respondent jako řidič nebo jako spolujezdec) – jedná se tedy o cesty s využitím IAD navíc k cestám vozidly do zaměstnání.

Na následující obrázku č. 50 je graf vyjadřující frekvenci využití jednotlivých druhů dopravy v rámci takto pojatých cest za nákupy (samostatné cesty a cesty „sdílené“).



Obrázek 50 – Rozdělení cest za nákupy dle užitého dopravního prostředku (zdroj: autor).

Co se změnilo v nákupním chování obyvatel týče v období nouzového stavu, tak 27 % respondentů uvedlo, že v období nouzového stavu vykonávali nákupy, tedy i cesty, ve stejném rozsahu jako před nouzovým stavem (nic se pro ně nezměnilo). V 51 % případů respondenti uvedli, že raději realizovali v rámci jedné cesty jeden větší nákup a obchody navštěvovali méně často. V 10 % případů respondenti uvedli, že začali nakupovat potraviny on-line poprvé v souvislosti s nouzovým stavem, nakupovali on-line potraviny a spotřební zboží častěji než dříve nebo nakupovali hotová jídla z restaurací on-line s dovážkou častěji než dříve (popřípadě vůbec poprvé). 3 % respondentů uvedlo, že raději nakupovali v menších obchodech v blízkosti svého bydliště, 3 % respondentů nakupovalo pravidelně potraviny pro osobu blízkou a ve 4 % případů respondenti uvedli, že místo nich nakupoval v souvislosti s nouzovým stavem někdo jiný.

Další část otázek se vztahovala k druhu dopravy, který respondenti využívají ke svým cestám za nákupy. Po filtraci odpovědí, kde bylo vhodné vyřadit odpovědi typu stravování v restauracích nebo „nic z uvedeného“ (dotaz na formu nákupu) bylo získáno 2 998 odpovědí od respondentů, jaký dopravní prostředek využívali před nouzovým stavem (obvykle) a jaký dopravní prostředek využili během nouzového stavu a s tím související krize.

Obecně došlo k nárůstu počtu cest, kde respondenti v období nouzového stavu využívali osobní automobil častěji než dříve. Výrazná změna je patrná v případě veřejné hromadné dopravy, kdy větší část cestujících zaměnila dopravní prostředek VHD za možnost jít pěšky. Toto do velké míry vyplývá z otázek o charakteru nákupu, kdy v těchto případech lidé raději preferovali nákupy v menších obchodech v okolí svého bydliště dostupné pěší dopravou. Rovněž obdobný počet uživatelů VHD vykonával v období nouzového stavu cesty za nákupy raději vozidly.

Další větší změnu lze zaznamenat v případě dovážky do domu, kde se jedná o nárůst zákazníků on-line obchodů s potravinami. Tři velké skupiny druhů dopravy zde jsou zastoupeny zhruba stejnou měrou (uživatelé IAD, VHD a pěší dopravy). Do kategorie „Dovážka do domu“ jsou zahrnuty i nákupy, které byly realizovány pro rodinné příslušníky (zejména starší občany) nebo jiné osoby méně pohyblivé či nepohyblivé.

Změny v užívání dopravního prostředku pro cesty za nákupy podle sledovaných velikostních skupin sídel se na první pohled nejeví jako signifikantní. V rámci tří zkoumaných velikostních skupin obcí bylo zjištěno, že se dopravní chování obyvatel neliší podle velikosti jejich bydliště - cca 13 % obyvatel změnilo svoje nákupní zvyklosti. Rozdíl mezi dopravním chováním obyvatel v jednotlivých skupinách je statisticky nevýznamný ($\chi^2 = 5,28$, $df = 2$, $p < 0,071$).

U měst s počtem obyvatel menším než 100 tis. obyvatel je patrný vyšší podíl obyvatel, kteří ke svým nákupům potravin používají osobní automobil. U obyvatel žijících ve středně velikých městech se jedná o využití vozidla v 67 % případech. Obyvatelé žijící v menších obcích s počtem obyvatel do 10 tis. využívají svá vozidla pro cestu za nákupy v 76 % případech. Ve městech nad 100 tis. obyvatel není rozdíl ve využívání forem dopravy za účelem nákupu tak markantní – užití osobního vozidla je v 50 % případů (opět zahrnujeme odpovědi řidičů a spolujezdců) a významný podíl zastupují i uživatelé pěší dopravy (36 %).

Testem marginální homogenity bylo studováno zastoupení pěti nejvíce užívaných typů dopravy před a během nouzového stavu (v testu nejsou zahrnuty odpovědi typu „motocykl“, „taxi“, „carsharing“ a „jiné“ z důvodu nízkého zastoupení, zároveň elektrokoloběžka nebo koloběžka byly zahrnuty do kategorie „kolo“), a to v celém souboru a také v podskupinách podle velikosti bydliště. Výsledky přináší tabulka 36. Ve všech případech byl prokázán statisticky významný rozdíl na hladině významnosti 1%.

Tabulka 36 - Výsledky testů marginální homogenity.

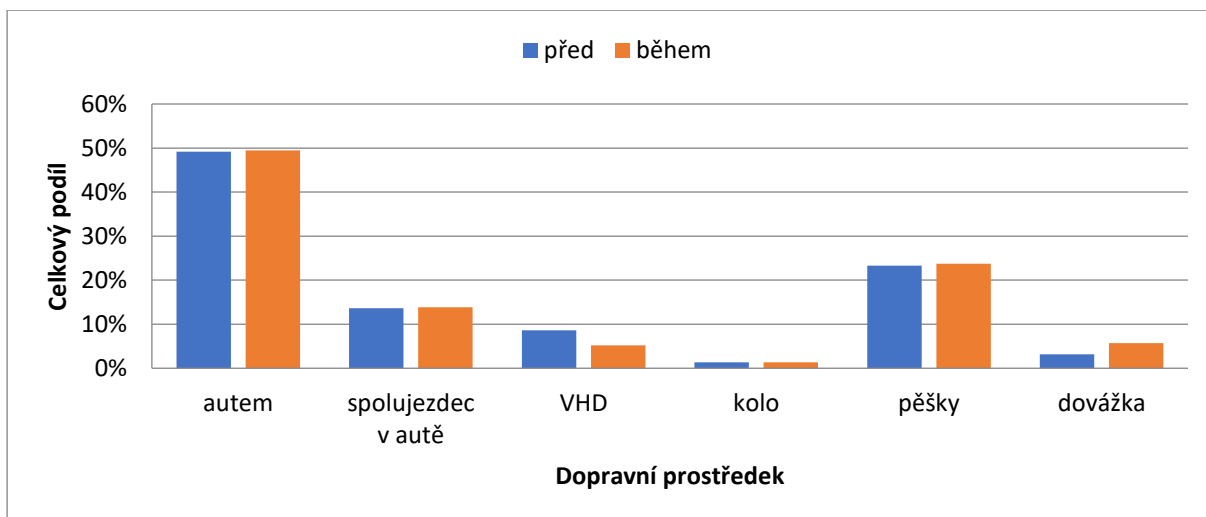
Skupina	Bhappkarův χ^2	Stupně volnosti	Dosažená hladina významnosti
Celý soubor (n = 2970)	164,5	5	< 0,001
Nad 100 000 ob. (n = 523)	40,3	5	< 0,001
10–100 000 ob. (n = 1726)	87,5	5	< 0,001
Do 10 000 ob. (n = 725)	43,1	5	< 0,001

Srovnání v rámci jednotlivých nejčastějších typů dopravy bylo provedeno McNemarovým testem (případně přesným testem binomického rozdělení) s upravenou hladinou významnosti kvůli opakovaným srovnáním (Bonferroniho korekce). Výsledky přináší tabulka č. 37, graf na obrázku č. 51 vyjadřuje celkové podíly v zastoupení jednotlivých druhů dopravy na všech cestách za nákupy. Do testu jsou zahrnuti i respondenti, kteří uvedli jako formu nákupu před obdobím nouzového stavu „nákup na internetu s dovážkou do domu“ a respondenti, kterým donášela/dovážela potraviny pravidelně jiná osoba (obojí zahrnuto ve skupině „donáška/dovážka“). U těchto respondentů se forma nákupu nezměnila v období nouzového stavu.

Tabulka 37 - Výsledek McNemara testu změny v zastoupení druhů dopravy v celém souboru (cesty za nákupy).

Kategorie	před	během	Chí kvadrát	p
autem	1522	1528	19,5	0,637
spolujezdec	421	428	26,3	0,569
veřejná hromadná	266	162	96,2	<0,001
kolo/moped/atd.	41	41	12,3	1,00
pěšky	720	734	13,4	0,336
donáška/dovážka	99	176	77,0	<0,001

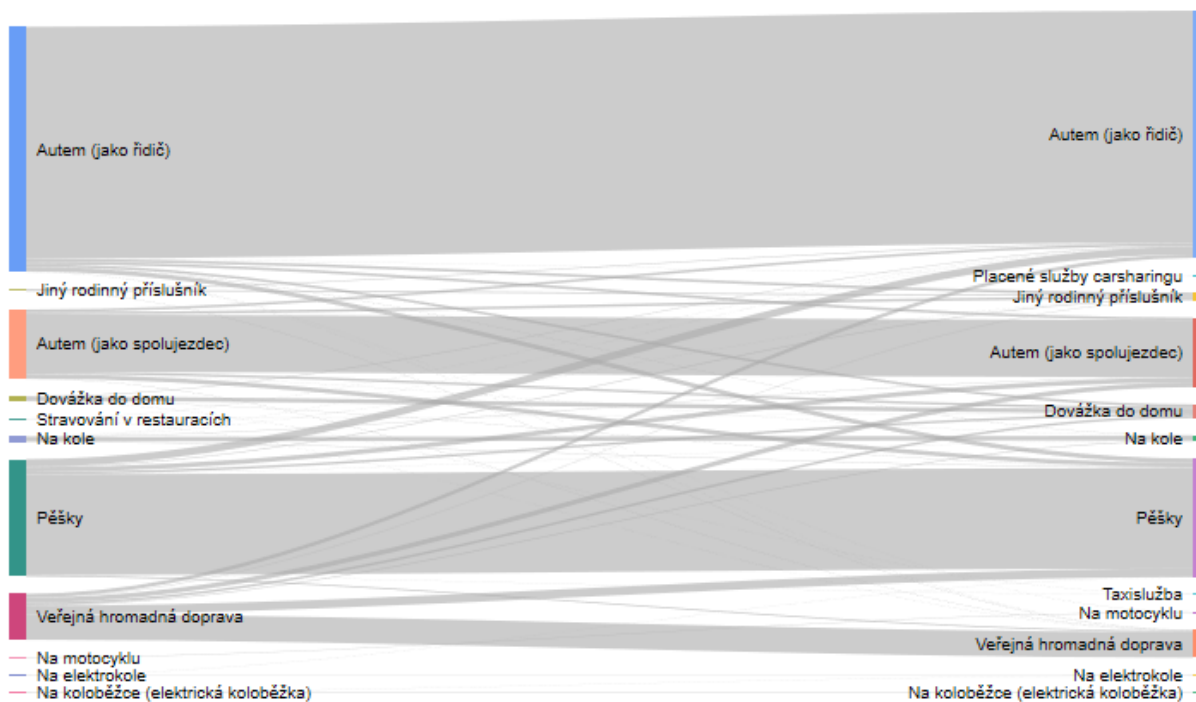
Pozn: kategorie „motocykl“ a „jiné“ nebyly z důvodu nízkého zastoupení hodnoceny



Obrázek 51 – Zastoupení druhů dopravy užitých pro cesty za nákupy v období nouzového stavu ve vztahu k užitému druhu dopravy před nouzovým stavem (zdroj: autor)

V případě dvou kategorií („VHD“ a „donáška/dovážka“) jsou výsledné p-hodnoty menší než 0,05, byl u nich prokázán statisticky signifikantní rozdíl v zastoupení před a během nouzového stavu na hladině významnosti 5%. Stejně výsledky jsou i v rámci jednotlivých velikostních skupin, tedy v každé velikostní skupině obce byl prokázán rozdíl v zastoupení u kategorie veřejné hromadné dopravy a donášky/dovážky potravin do domu.

Následující obrázek č. 52 přehledně znázorňuje (pouze graficky) s využitím Sankeyova diagramu tyto změny v užitých druzích dopravy před a během nouzového stavu. Diagram je vytvořen na základě odpovědí od všech 3 147 respondentů a zohledňuje nejen změny v užívání druhů dopravy, ale i změny ve formě nákupu (dovážka/donáška, nákup jinou osobou, dotčený dříve nenakupoval a nyní ano, stravování v restauracích atd.).



Obrázek 52 – Sankeyův diagram změny užívání dopravního prostředku pro cesty za nákupem před a během nouzového stavu v rámci celé ČR (zdroj: autor).

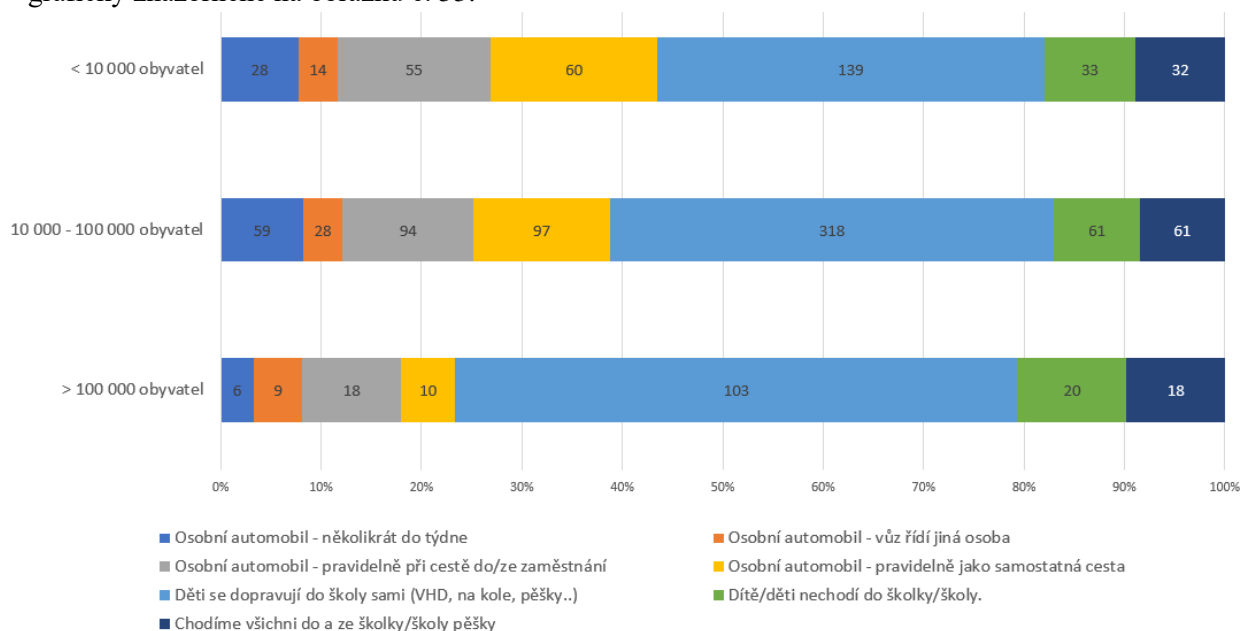
5.2.4. Využití osobního automobilu pro cesty v rámci dopravy dětí do školských zařízení

Poslední část dotazníku se vztahovala k otázce, do jaké míry rodiče dopravují své děti do školek a jiných školských zařízení. Z celkového počtu 3 146 respondentů uvedlo 1 264 z nich, že jejich dítě (dětí) je v předškolním nebo školním věku (školka, ZŠ nebo SŠ).

Na přímý dotaz, zda k odvozu dítěte do školských zařízení využívají rodinný automobil, odpovědělo 335 respondentů (26 %), že je pravidelně vozí buďto s vykonáním samostatné cesty nebo v rámci cesty do nebo ze zaměstnání. 93 respondentů (7 %) odpovědělo, že je vozí osobním automobilem nepravidelně (pouze určité dny v týdnu), a 51 respondentů (4 %) odpovědělo, že pravidelně vozí do školských zařízení jejich děti jiná osoba osobním vozidlem (rodinný příslušník, známý aj.).

Velká část respondentů uvedla (53 %), že se jejich děti dopravují do školských zařízení samy (VHD, na kole, pěšky apod.) nebo že rodiče své děti odvedou do školky pěšky. Z tohoto počtu ovšem nelze stanovit zastoupení jednotlivých druhů dopravy. Zbývá část respondentů (9 %) odpověděla, že jejich děti ještě nenavštěvují žádné z těchto školských zařízení.

Provedeme-li rozdělení odpovědí respondentů podle jednotlivých velikostních skupin sídel, dostaneme podobné rozdělení jako v případě předešlých otázek – Ve městech do 10 tis. obyvatel (venkov) je větší podíl respondentů, kteří pro odvoz svých dětí využívají osobní automobil, oproti městům s počtem obyvatel nad 100 tis. Sídla s počtem obyvatel v rozmezí 10 000 – 100 000 mají toto zastoupení podobné, avšak míra využití osobních automobilů je nižší. Rozdělení podle velikostních skupin je graficky znázorněné na obrázku č. 53.



Obrázek 53 – Druh svozu/odvozu dětí respondentů do školských zařízení v jednotlivých velikostních skupinách sídel (zdroj: autor).

1 202 respondentů uvedlo (95 %), že v době nouzového stavu a platných vládních nařízení byla jejich školská zařízení uzavřena, tedy k žádným cestám nedocházelo. Zbýlých 52 respondentů uvedlo, že školské zařízení bylo v provozu nebo byla v těchto školkách poskytována denní péče nadále (i přes oficiální uzavření).

5.2.5. Vliv mimořádné situace na pozici VHD v dopravním systému regionu

Na základě údajů o využívání veřejné a individuální dopravy před a během nouzového stavu je možné pomocí logistické regrese stanovit vliv vládních opatření v podobě vyhlášení nouzového stavu („lockdownu“) na ochotu volby veřejné dopravy cestujícími. Tento vliv lze vyjádřit jako ekvivalent navýšení ceny veřejné dopravy pro cestující. Pro výpočet ceny veřejné dopravy před a během nouzového stavu je využit následující vzorec:

$$p_i = \frac{e^{\lambda V_i}}{\sum_j e^{\lambda V_j}}, \quad (45)$$

kde: p_i je pravděpodobnost volby veřejné dopravy;
 λ je parametr vyjadřující ochotu volby dražší varianty;
 V_i je cena veřejné dopravy;
 V_j je cena j-tého druhu dopravy.

Při výpočtu je možné individuálně zvolit cenu individuálních dopravních módů celkem a parametru λ . Pro zjednodušení výpočtu budeme uvažovat s cenou za individuální dopravu i parametrem λ rovným 1. Zjednodušeně uvažujeme i v tom smyslu, že zahrnujeme všechny individuální dopravní módy do jednoho souboru.

Průzkumem změny dopravního chování obyvatel bylo zjištěno, že před pandemií využívalo veřejnou dopravu 358 respondentů a po pandemii 251 respondentů (z celkového počtu 1225 respondentů – uvažován je celý datový soubor). Pomocí vzorce (45) bylo zjištěno, že cena veřejné dopravy pro cestující byla před nouzovým stavem 1,885 a během nouzového stavu byla cena 2,356. Lze tedy konstatovat, že vliv pandemie na ocenění veřejné dopravy cestujícími se při hodnotě parametru $\lambda=1$ projeví navýšením ceny o 0,471. Obdobně je možné míru ocenění stanovit i pro jednotlivé velikostní skupiny sídel definovaných v rámci analýzy dat z průzkumu změny dopravního chování obyvatel. Výsledky pro tyto skupiny jsou shrnuty v tabulce č. 38.

Tabulka 38 – ocenění volby VHD v jednotlivých velikostních skupinách sídel během nouzového stavu obdobného charakteru

Kategorie sídel	Cena veřejné dopravy před nouzovým stavem	Cena veřejné dopravy během nouzového stavu	Rozdíl cen
Počet obyvatel nad 100 001	0,709415168	1,250051004	0,540635836
Počet obyvatel 10 001 - 100 000	2,033724666	2,563975538	0,530250872
Počet obyvatel do 10 000	2,512274164	2,839387518	0,327113354

Na základě daného rozdílu je možné predikovat změnu počtu cestujících veřejnou dopravou v případě opakování pandemie a nouzového stavu obdobného charakteru. Při známém poměru počtu cestujících využívajících veřejnou dopravu a celkového počtu cestujících před pandemií a při známé ceně veřejné a individuální dopravy před pandemií je možné určit hodnotu parametru λ pro konkrétní případovou studii. Pro danou případovou studii je možné odhadnout cenu veřejné dopravy pro cestující během pandemie pomocí podílu zjištěného rozdílu cen při $\lambda = 1$ a parametru λ vypočítaného pro danou případovou studii. Výsledek podílu představuje odhad navýšení ceny veřejné dopravy pro cestující během pandemie u dané případové studie. Odhad ceny veřejné dopravy během pandemie se stanoví jako součet ceny veřejné dopravy před pandemií a odhadovaného navýšení ceny během pandemie.

Následně je možné vypočítat odhad počtu cestujících využívajících veřejnou dopravu během pandemie. Do vzorce (45) se dosadí parametr λ a ceny veřejné a individuální dopravy během

pandemie. Výsledkem je hodnota p_i jako poměr počtu cestujících využívajících veřejnou dopravu a všech cestujících.

Příklad výpočtu

Uvažujeme teoretickou linku VHD mezi místy A a B. Počet cestujících využívajících veřejnou dopravu před nouzovým stavem je 250. Celkový počet cestujících na dané trase je 400. Náklady na cestu ve veřejné dopravě před nouzovým stavem jsou 25 Kč. Náklady na substituční individuální dopravu jsou uvažovány 30 Kč. Dosazením do vzorce (45) určíme parametr λ .

$$\frac{250}{400} = \frac{e^{-25\lambda}}{e^{-25\lambda} + e^{-30\lambda}}$$

Parametr λ je roven 0,102. Tímto parametrem vydělíme rozdíl cen zjištěný z dat před nouzovým stavem a během nouzového stavu pro $\lambda = 1$. Tím tento rozdíl přepočítáme na rozdíl pro parametr λ roven 0,102.

$$\frac{V_i}{\lambda} = \frac{0,471}{0,102} = 4,615$$

Výsledek určuje, že náklady na cestu ve veřejné dopravě během nouzového stavu by se z pohledu cestujících zvýšily o 4,615 Kč. Nyní je možné vypočítat odhad množství cestujících využívajících veřejnou dopravu během nouzového stavu. Do vzorce (45) se dosadí náklady na cestu ve veřejné a individuální dopravě během nouzového stavu a parametr λ .

$$\frac{x}{400} = \frac{e^{-29,615 \times 0,102}}{e^{-29,615 \times 0,102} + e^{-30 \times 0,102}}$$

Počet cestujících během nouzového stavu byl odhadnut na 204 cestujících. Došlo tak ke snížení množství cestujících o 46.

Je nutné zdůraznit, že hodnoty ocenění jsou s využitím logistické regrese stanoveny pro VHD jako celek. V rámci průzkumu změn dopravního chování obyvatel nebylo zjišťováno, jaký konkrétní druh dopravního prostředku ve VHD cestující využili, či zda se jednalo o využití systému MHD, regionální autobusové dopravy či železniční dopravy. Zároveň počty cestujících ve VHD a v ostatních druzích dopravy byly brány při stanovení míry ocenění pouze pro cesty obyvatel za zaměstnáním.

6. Zhodnocení výsledků dosažených v disertační práci

Autor zpracoval v kapitole 4 rešerši odborné literatury v oblasti možných vlivů, které vedou k výsledným počtům vozidel na dopravní síti. Zjištění se poté snažil zapracovat do diagramů kauzálních smyček (s využitím přístupu systémové dynamiky) pro pochopení jednotlivých dílčích systémů a vztahů mezi jednotlivými prvky. Jednotlivé prvky většiny systémů a subsystémů se navzájem ovlivňují a je možné takto pojmut i oblast dopravních systémů.

V jednotlivých podkapitolách se autor zaměřil na stanovení vztahů ke konkrétním vlivům na dopravní objemy, jedná se tedy o dílčí modely. Podařilo se mu vytvořit modely s jednotlivými indikátory, které by byly velmi dobře uchopitelné v další fázi dynamického modelování. V rámci stanovení vstupů do jednotlivých modelů je možné dále uvažovat se sub-modely generujícími vstupy (např. dynamický model obměny obyvatel, ekonomický model pro stanovení dynamiky ekonomického růstu, popřípadě stanovení dynamiky atraktivit území pro modelování cest do a z daného území aj.) s příslušnými indikátory. Takovéto sub-modely mohou vytvořit komplexní dynamický model celého systému pro získání výsledků s vyšší přesností.

V rámci disertační práce byl vytvořen demonstrativní model pro odhad vývoje poptávky a nabídky teoretických cest v individuální automobilové dopravě a ve veřejné hromadné dopravě na území Jihočeského kraje. Na modelu byl simulován **odhad poměru nabídky a poptávky po přepravě** ve vybraných druzích dopravy v následujícím dvacetiletém období na základě dostupných statistických dat regionu. Sledovaný poměr nabídky a poptávky po přepravě je možné rovněž považovat **za jeden z možných indikátorů pro hodnocení udržitelnosti dopravy** v konkrétní městské oblasti (případně pro sledovaný region).

Autor na základě rešerše výstupů tuzemských a zahraničních autorů dále navrhl **42 indikátorů udržitelné mobility**, které se z velké části vztahují k faktorům ovlivňující objemy dopravy na silniční síti ve městech. Tyto indikátory jsou vhodné pro monitorování kýžených výsledků aplikace konkrétních strategií udržitelné mobility v čase. Zároveň je možné tyto indikátory implementovat do modelů systémové dynamiky a sledovat dynamiky jejich vývoje.

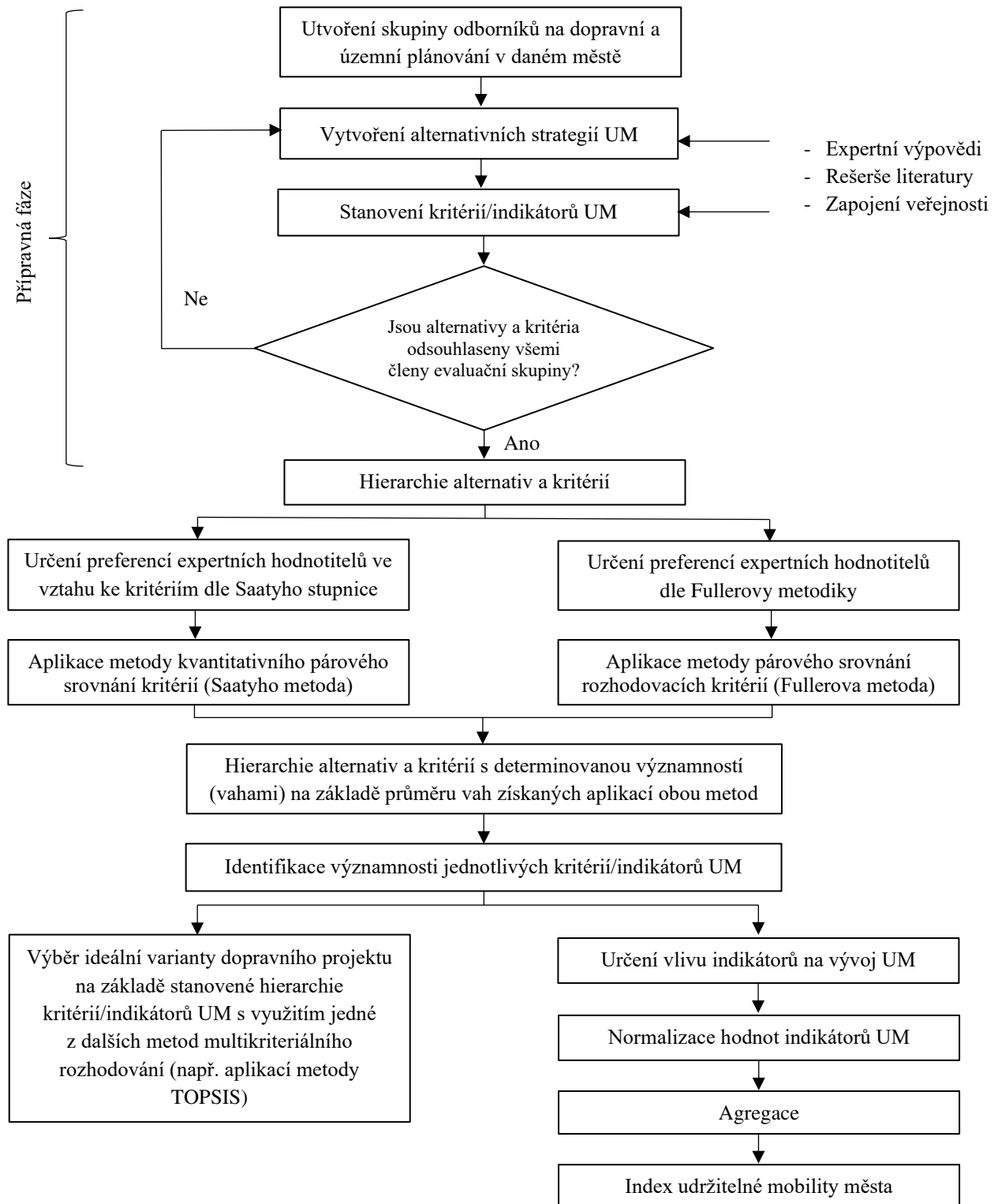
Navržené indikátory udržitelné mobility autor přiřadil k jednotlivým strategiím vycházejícím z vizí a cílů udržitelného rozvoje měst. Sadu indikátorů vztahující se k jednotlivým strategiím udržitelného rozvoje hierarchicky analyzoval pomocí metod multikriteriální analýzy, kde pro stanovení významnosti indikátorů (relativních vah) v rámci jednotlivých strategií využil Saatyho metodu párového srovnání a metodu Fullerova trojúhelníku. Aplikací metod multikriteriální analýzy bylo tedy dosaženo dvojího:

- Identifikace významných faktorů, které ovlivňují objemy dopravy na silniční síti ve městech,
- a zároveň stanovena významnost indikátorů v pořadí pro jednotlivé strategie udržitelné mobility ve městech pro případné další aplikace.

V kapitole 4 se v rámci praktické aplikace autor zabýval první částí procedury (multikriteriální analýzy), tedy nalezení významnosti indikátorů pomocí vybraných metod (Saatyho a Fullerova), což koresponduje s cílem práce. Dalším postupem by mohla být například aplikace metody TOPSIS pro výběr vhodné varianty dopravního projektu v souladu se zásadami udržitelné mobility s využitím takto determinovaných vah jednotlivých indikátorů. Metoda TOPSIS je jednou z dalších metod

multikriteriální analýzy využívající stanovení vah založených na výpočtu nejmenší vzdálenosti od ideální varianty nebo naopak nejvzdálenější varianty od bazální varianty. K aplikaci metody TOPSIS, respektive k vyjádření celkového skóre variant dopravních projektů, je však potřeba kvantifikovat jednotlivé zvolené indikátory, které se s danými dopravními projekty pojí.

Návrh identifikace faktorů ovlivňujících počty vozidel na silnicích ve městě (popřípadě v jednotlivých oblastech města) ve vztahu k jejich významnosti k udržitelné mobilitě spočívá v těchto krocích:



Obrázek 54 – Vývojový diagram návrhu identifikace významnosti indikátorů udržitelné mobility.

Výsledné pořadí indikátorů udržitelné mobility je vztaženo k jednotlivým strategiím. Je potřeba zdůraznit, že každá z aplikovaných metod (Saatyho metoda a metoda Fullerova trojúhelníku) je dostatečně adekvátním nástrojem pro stanovení vah kritérií. Lze tedy použít pouze jednu z těchto metod a autor v této práci použil obě metody pro zpřesnění výsledků vytvořením průměrů hodnot vah indikátorů a strategií z obou použitých metod.

Na základě stanovení významnosti jednotlivých indikátorů udržitelné mobility byly dále jednoduchou metodou zvolených priorit stanoveny signifikantní indikátory, které byly využity pro demonstraci výpočtu indexu udržitelné mobility vybraných oblastí konkrétního města. **Pro potřeby stanovení indexu udržitelné mobility autor modifikoval metodu vážené lineární agregace** tak, aby bylo možné přímo navázat na předchozí krok - stanovení významnosti indikátorů udržitelné mobility. Zároveň je v této části práce demonstrováno využití takto stanovených indexů udržitelné mobility pro potřeby geoinformačních systémů, které jsou pomocným nástrojem pro dopravní plánování.

V kapitole 5 byl zhodnocen výstup autorem provedených dopravních průzkumů, kde zjišťoval vývoj intenzit dopravy na vybraných silnicích I. třídy během období nouzového stavu a mimo toto období v roce 2020. Sérií dopravních průzkumů byla zjištěna výrazná změna v počtu vozidel během trvání nouzové stavu (pokles oproti stavu mimo nouzový stav). Postupně docházelo k nárůstu intenzit dopravy v souvislosti s postupným rozvolňováním vládních opatření, které byly vládou ČR zavedeny celoplošně s cílem zamezit šíření koronavirové nákazy.

Autor tímto způsobem identifikoval faktor v podobě mimořádné události, která ovlivnila významně dopravní provoz na silnicích v České republice. Otázkou ovšem je, zda tento vliv má pouze krátkodobý účinek (pouze po dobu trvání mimořádné situace) nebo změny budou dlouhodobějšího charakteru. Tedy zda ovlivnění zavedené v případě mimořádné situace bude natolik signifikantní, že to povede k trvalé změně dopravního chování obyvatel.

Další část se týkala provedení průzkumu mezi obyvateli ČR na téma změny dopravního chování obyvatel během nouzového stavu a při zavedených vládních opatřeních. Dotazník cílil na zjištění změny ve využití druhu dopravy pro pravidelné cesty obyvatel za zaměstnáním, za vzděláním nebo za nákupy, dále na zjištění změny ve frekvenci těchto cest. Celkově vyplnilo dotazník 3148 respondentů.

Z výsledků vzešlo zjištění (kromě jiného), že 149 respondentů (ekonomicky aktivních obyvatel) z celkového počtu 1238 těch, kteří nadále dojížděli/docházeli do svých zaměstnání v době krize, změnilo v souvislosti s nouzovým stavem a s vládními opatřeními druh dopravy. Zejména se jednalo o přechod z dopravních prostředků VHD na IAD.

V rámci zkoumání změn v užití druhů dopravy pro cesty za zaměstnáním v jednotlivých velikostních skupinách sídel byl zjištěn pomocí McNemarova testu statisticky významných rozdílů v zastoupení těchto kategorií užitých druhů dopravy před a během nouzového stavu:

Tabulka 39 – Významné změny v užívání dopravních prostředků pro cesty obyvatel do zaměstnání

Skupina sídel	Nárůst	Pokles
Nad 100 000 ob. (n = 201)	autem jak spolujezdec pěšky	VHD
10–100 000 ob. (n = 728)	autem jako řidič autem jako spolujezdec na kole pěšky	VHD
Do 10 000 ob. (n = 299)	autem jako řidič	VHD

Statisticky však na základě výstupů z takto koncipovaného dotazníkového šetření nelze zhodnotit, do jaké míry bude změna v kategoriích využitých druhů dopravy trvalejšího charakteru. U ekonomicky aktivních obyvatel navíc došlo v 53,9 % případů ke změně ve frekvenci cest (velká část obyvatel nedojížděla do svých zaměstnání z různých důvodů, popřípadě dojížděla méně často).

V případě druhů dopravy užitých pro cesty za nákupy bylo zjištěno, že se dopravní chování obyvatel neliší podle velikosti jejich bydliště. Rozdíl mezi dopravním chováním obyvatel v jednotlivých velikostních skupinách sídel je statisticky nevýznamný ($\chi^2 = 5,28$, $df = 2$, $p < 0,071$).

Pomocí McNemarova testu byl prokázán statisticky významný rozdíl v celém souboru (shodně i pro jednotlivé velikostní skupiny sídel) u kategorie respondentů využívající pro cesty za nákupy dopravní prostředky VHD (pokles) a u kategorie respondentů využívající způsob doručení v podobě dovážky/donášky potravin až do domu (nárůst).

Autor se zaměřil při vyhodnocení dotazníků pouze na vybrané aspekty vztahující se k motorové dopravě na pozemních komunikacích a její kvantitativní změnu, což je relevantní k tématu disertační práce. Využitím výsledných dat o změně ve volbě dopravního módu a s využitím modelu logistické regrese byl následně stanoven odhad míry ocenění volby dopravních prostředků VHD, kterým je možné predikovat pokles cestujících ve VHD při obdobné situaci.

7. Přínosy disertační práce pro rozvoj vědního oboru a praxi

Disertační práce se zabývá problematikou dopravního plánování v kontextu udržitelné mobility měst.

V disertační práci bylo aplikováno hned několik přístupů k dosažení tak náročného úkolu, jakým je studium faktorů, které mohou ovlivňovat dopravu v území. Vzhledem ke komplexitě dopravního systému se autor zaměřil na zásadní vlivy lokálního i celospolečenského charakteru, a to zejména v makroskopickém náhledu. Jedním z přístupů je využití nástrojů systémové dynamiky v oblasti dopravního plánování – konkrétně diagramy kauzálních smyček a diagramy toků a stavů.

Aplikováním nástrojů systémové dynamiky byl vytvořen návrh modelu pro odhad poměru nabídky a poptávky po přepravě ve dvou dominantních druzích dopravy ve vybraném území – VHD a IAD. Model je možné využít pro výukové potřeby, ale jeho modifikací je dobře aplikovatelný i v praxi. Na příkladu Jihočeského kraje je potom simulován vývoj hodnot vybraných proměnných v takto pojatém demonstrativním modelu.

Obecně se dá říci, že vzhledem ke skutečnosti, že objemy dopravy (respektive intenzity dopravy) jsou výsledkem opakujících se činností zúčastněných subjektů (hovoříme o tzv. systematických variacích dopravy), diagramy kauzálních smyček v souvislosti s následným modelováním pomocí diagramu toků a stavů jsou velmi dobře uchopitelné i v případě stanovení výsledného počtu vozidel na dopravní síti. Modely poté mohou sloužit jako pomocný nástroj při procesu územního plánování nebo procesu sestavování strategických plánů udržitelné mobility, popřípadě pro hodnocení změn v průběhu času nebo hodnocení dopadů konkrétních záměrů na lokální dopravu a životní prostředí.

Modely pro stanovení vývoje ukazatelů dopravních a přepravních výkonů založených na nástrojích systémové dynamiky jsou dobře uchopitelné i v pedagogickém procesu.

Stěžejní část práce tvoří návrh metodiky pro stanovení významnosti indikátorů vzešlých z literární rešerše, které je možné použít pro potřeby hodnocení dopadů konkrétních dopravních projektů na udržitelný rozvoj města, respektive na vývoj udržitelné městské mobility. Součástí metodiky je i návrh modelu pro výpočet indexu udržitelné mobility ve městě (případně v městských částí) založeném na lineární agregaci vah indikátorů, vah strategií udržitelného rozvoje a hodnot indikátorů.

Samotný návrh je inovací v počátečních fázích dopravně-rozhodovacích procesů na úrovni vedení jednotlivých měst, kdy je možné uvažovat s tímto návrhem při vytváření plánů udržitelné městské mobility. Přitom autor vychází z dokumentu „Metodika pro přípravu plánů udržitelné mobility měst České republiky“ (Jordová a kol., 2015), který přímo uvádí nutnost zvolení vhodné metody pro stanovení a následné vyhodnocení indikátorů, kterými je možné monitorovat plnění plánu udržitelné mobility nebo dosahovat specifických cílů. Přitom je žádoucí metodu stanovení indikátorů aplikovat již v přípravné a analytické fázi tvorby PUMM.

Navržené indikátory integrují základní aspekty udržitelného rozvoje a mohou dále sloužit v dalších fázích implementace plánů udržitelné mobility v praxi ve smyslu monitorování a zhodnocení dopadu jednotlivých rozhodnutí v oblasti dopravních projektů na celkový dopravní systém ve městě.

Tyto indikátory je možné dále použít v oblasti modelování dopravy na území města na základě výběru indikátoru vztahujícího se ke konkrétní modelovací proměnné (např. cestovní rychlost dopravního módu, průměrná cestovní vzdálenost v IAD na území města apod.) a v rámci této proměnné zohlednit

identifikovaný význam (váhu) indikátoru i s uvážením významnosti strategie udržitelné mobility. Bylo zjištěno, že jsou indikátory udržitelné mobility dobře uchopitelné i pro modelování vývoje těchto hodnot, např. pomocí nástrojů systémové dynamiky.

Další část práce se zabývá změnami v dopravním chování obyvatel způsobenými mimořádnou situací, která byla spojena s vládními opatřeními vyhlášenými proti šíření nákazy nemoci COVID-19 v jarním období roku 2020. Statistickým zpracováním dat bylo docíleno zejména zjištění míry poklesu a nárůstu cestujících v jednotlivých dopravních módech. S využitím modelu logistické regrese byla poté zjištěna míra ocenění volby VHD cestujícími na základě dat vzešlých z vyhodnocených dotazníků.

Přínosy pro rozvoj vědního oboru a praxi se opírají o výsledky dílčích úkonů provedených v rámci disertační práce a o výsledky návrhové části práce. Mezi významné výsledky je možné řadit:

- Výstupy z literární rešerše v oblasti komplexity dopravního systému shrnují významné faktory ovlivňující objemy dopravy;
- Výsledky z literární rešerše v oblasti hodnocení strategií v udržitelném rozvoji měst shrnují významné indikátory udržitelné mobility, které jsou používány ve výzkumných projektech tuzemských a zahraničních autorů. Některé uvedené indikátory jsou nově navrženy tak, aby integrovaly zásadní vlivy na objemy dopravy s cílem snižovat zejména objemy IAD.
- Soubor 42 indikátorů udržitelné mobility je možné použít v praxi pro hodnocení dopadu dopravních projektů na vývoj udržitelné mobility ve městě v rámci multikriteriálních rozhodovacích procesů.
- Vytvořený model pro odhad poměru nabídky a poptávky po přepravě je demonstrací aplikace nástrojů systémové dynamiky, je však možné uvažovat tento poměr jako další z řady indikátorů udržitelné mobility. Bylo zjištěno, že právě modely s využitím nástrojů systémové dynamiky je možné použít i na simulaci vývoje jednotlivých indikátorů udržitelné mobility.
- Metodika pro stanovení významnosti indikátorů udržitelné mobility (obecný postup, který je možné zahrnout do konkrétních fází tvorby PUMM) a následně i metodika pro stanovení indexu udržitelné mobility ve městě na základě modifikované metody lineární agregace s praktickou ukázkou naznačují, že navržená procedura může nacházet reálný odraz v praxi.
- Praktická ukáзка implementace indexů udržitelné městské mobility (integrující navržené indikátory) do nástrojů geoinformačních systémů je v tuzemsku novým přístupem.
- Statistický soubor dat a výsledky průzkumu pro zjištění změny dopravního chování obyvatel je možné použít pro další výzkum v oblasti dopravního chování obyvatel.
- Kvantifikace míry ocenění volby VHD cestujícími při celoplošných vládních opatřeních pro zmírnění dopadu pandemické události, která byla stanovena pomocí modelu logistické regrese.

8. Možnosti dalšího rozvoje řešené problematiky

Autorův přístup při zpracovávání disertační práce byl makroskopického charakteru vzhledem ke komplexitě dopravního systému. Z tohoto pohledu se autor zaměřil na hledání obecných faktorů ovlivňující objemy dopravy a obecných indikátorů udržitelné mobility v makroskopickém pojetí.

Předložená disertační práce v obecné rovině popisuje možný přístup pro stanovení hierarchie významnosti indikátorů udržitelné mobility a výsledného indexu udržitelné mobility. V práci je využito nástrojů multikriteriální analýzy pro stanovení signifikance indikátorů UM vzešlých z výzkumného bádání autora a literární rešerše. Vzhledem k rozsáhlosti tématu tak nebyly pokryty všechny aspekty udržitelného rozvoje měst a možnosti dalšího rozvoje je tedy možné spatřovat v těchto oblastech:

- Hledání a determinace indikátorů udržitelné mobility může pokračovat s využitím různých dalších metod zejména v mikroskopickém pojetí.
- Zejména by se měl další výzkum zaměřit na kvantifikaci skutečného vlivu těchto indikátorů na udržitelný vývoj v dopravě.
- Experimentování s dalšími metodami pro stanovení významnosti indikátorů udržitelné mobility – Jedním z dobře uchopitelných nástrojů pro tento účel jsou zejména nástroje systémové dynamiky, kterými je možné simulovat vývoj proměnných v daném systému, respektive vývoj sledovaných indikátorů. Autor narazil při svém výzkumu dále i na aplikaci kombinace fuzzy modelů a multikriteriální rozhodovací analýzy nebo na použití neuronových sítí při hledání významnosti indikátorů.
- Na základě výše uvedených přístupů stanovit model pro identifikaci vhodných indikátorů UM pro konkrétní účely, nejen pro územně-rozhodovací účely měst a obcí. Jedním z možných základních metod pro vytvoření modelu se jeví využití regresní analýzy. Pomocí modelu založeném na regresní analýze je rovněž možné stanovit signifikanci jednotlivých indikátorů UM.

Nalezené indikátory byly dále použity pro stanovení indexu udržitelné mobility měst pomocí metody lineární agregace vah indikátorů a vah strategií vzešlých z multikriteriální analýzy, a normalizovaných hodnot indikátorů. Je však možné experimentovat s modifikací tohoto modelu, např. použít agregaci na bázi geometrického průměru, popřípadě pro standardizaci hodnot použít jiný přístup.

Výsledky průzkumu pro zjištění změn v dopravním chování obyvatel je dále možné použít pro výzkum v dalších oblastech dopravy, popřípadě v dalších socio-ekonomických či socio-demografických oblastech, vzhledem k relativně dobrému vzorku dat a koncepci otázek. Dotazník byl ve své jedné části zaměřen na atributy dopravního chování obyvatel před nouzovým stavem (za „normálního“ stavu) ve spojení se socio-ekonomickou úrovní respondentů. Zároveň je možné vztáhnout odpovědi respondentů k danému geografickému území nebo sídlu na základě uvedeného bydliště respondenta. Je tak možné výsledky dále využít např. pro potřeby modelování dopravního chování obyvatel v daném území, stanovení dělby přepravní práce v dané obci, výzkum faktorů ovlivňujících volbu dopravního prostředku aj.

Základní analýza odpovědí a výstupní data z dotazníkového šetření v elektronické podobě pro další možné využití jsou uloženy na elektronickém médiu přiloženém k této disertační práci.

9. Závěr

Městská oblast představuje pro udržitelnou mobilitu největší výzvu do budoucích let. Vzhledem k vývoji stupně motorizace v České republice trpí města v současnosti nadměrnou motorovou dopravou, což má kromě jiného za následek zhoršení kvality životního prostředí a zvýšení míry hluku.

Městské prostředí našťestí nabízí několik alternativ, pokud jde o mobilitu. Základem ovšem je správné pochopení cílů udržitelné mobility, monitorování těchto cílů v dlouhodobém horizontu a vytvoření strategie pro implementaci dopravních plánů v souladu s principy udržitelného rozvoje. Přičemž se jako efektivní jeví důraz na podporu alternativních druhů dopravy, plánování dopravy ve vztahu k urbanistickému a územnímu rozvoji a monitorování poptávky po dopravě s cílem vytvářet taková opatření, která povedou k omezení automobilového provozu, respektive využívání do větší míry dopravních prostředků s konvenčními druhy pohonu, které nejsou v souladu se strategiemi udržitelné mobility.

Plánování a rozvoj územních oblastí měst a dopravních systémů jsou do značné míry utvářeny veřejnými orgány, mnohdy ve spolupráci s komerčními subjekty v rámci zakázek. Jsou vypracovávány celkové a strategické plány rozvoje územního a dopravního systému, plány a generely udržitelné mobility, popřípadě generely jednotlivých dopravních subsystémů. Politická rozhodnutí (v případě politických činitelů měst) vznikají na základě těchto dílčích plánů a generelů, ale chybí zde prvek, který by zhodnotil v počáteční fázi, jaká strategie by byla nejvhodnější s ohledem na udržitelný rozvoj měst. Rovněž není implementován v systému dopravně-územních rozhodovacích procesů nástroj pro zpětnou vazbu v podobě monitorování efektivity realizace dopravních projektů a plánů v praxi.

Autor analyzoval v kapitole 2 deskriptivní metodou v teoretické rovině přístupy k modelování dopravních vztahů na území měst a nástroje pro odhad intenzit dopravy v České republice, které zahrnují aspekty ovlivňující dopravu a objem dopravního provozu na silniční síti. Tato část práce společně s kapitolou 1 uvádí čtenáře do dané problematiky a jsou zde popsány i důležité výstupy z výzkumného projektu „stanovení intenzit dopravy na městských komunikacích“, na kterém se autor podílel v letech 2014-2016. Zásadním výstupem z projektu byla certifikovaná metodika pro výpočet odhadu ročního průměru denních intenzit dopravy na základě dat z krátkodobého dopravního průzkumu na místních komunikacích. Metodika zohledňovala různé charakteristiky dopravního provozu na silnicích v městském prostředí zjištěné provedením velkého počtu dlouhodobých dopravních průzkumů ve vybraných krajských a okresních městech v České republice.

Samotná metodika práce a definování cíle práce je uvedeno v kapitole 3. Zjištění z teoretické části v kapitole 2 jsou provázána s výzkumnou částí disertační práce, která je obsahem kapitol 4 a 5.

Autor v kapitole 4 provedl rešerši zahraničních a tuzemských autorů zabývajících se vlivy na objem dopravy na silniční síti a vztahy mezi prvky jednotlivých systémů, a to jak v makroskopickém, tak částečně i v mikroskopickém pojetí. Pro determinaci role těchto prvků a vizualizaci kauzálních vztahů mezi jednotlivými prvky komplexního dopravního systému využil jednoho z nástrojů modelování systémové dynamiky – diagramu kauzálních smyček. Bylo zjištěno, že nástroje systémové dynamiky jsou dobře uchopitelné pro modelování dynamiky dopravního systému v čase vzhledem k faktu, že ve většině případů jeden prvek systému ovlivňuje druhý prvek a pomocí diagramu toků a stavů lze kvantifikovat míru dynamiky vývoje celého systému.

Rešerše odborné literatury byla provedena pro potřeby naplnění cíle práce v podobě návrhu indentifikace faktorů, které ovlivňují objemy dopravy. Zjištění poté aplikoval na dalším nástroji systémové dynamiky (konkrétně diagramu toků a stavů), pomocí něhož vytvořil demonstrativní model pro odhad vývoje poměru nabídky a poptávky po přepravě v jednotlivých druzích dopravy v rámci území.

Autor na základě provedené rešerše odborné literatury dále navrhl 42 indikátorů udržitelné mobility, které zohledňují faktory ovlivňující prvky dopravních systémů a lze je použít pro monitorování míry udržitelného rozvoje ve městech v České republice. Následně byl vytvořen návrh identifikace faktorů ovlivňujících počty vozidel na silnicích ve městě ve vztahu k jejich významnosti k udržitelné mobilitě na základě využití nástrojů multikriteriální analýzy a s ohledem ke strategiím vycházejícím z udržitelného rozvoje měst. Praktickou aplikací vybraných metod multikriteriální rozhodovací analýzy byla stanovena míra významnosti jednotlivých indikátorů, které je možné zohlednit v nástrojích pro modelování dopravy v území nebo modelech zohledňující volbu dopravního módu ze strany uživatele dopravního systému.

Součástí návrhu je dále metodika pro stanovení indexu udržitelné městské mobility, která integruje další nástroje. Stanovení indexu udržitelné mobility je v této části práce demonstrováno na příkladu města České Budějovice, kde je představena implementace a znázornění stanovených indexů udržitelné mobility prostřednictvím nástrojů geoinformačních systémů.

Kapitola 5 se zabývá změnami v dopravním chování obyvatel, které byly způsobeny mimořádnou situací – šířením nákazy nemoci COVID-19 a následném vyhlášení nouzového stavu dne 12. 3. 2020 na území státu vládou České republiky. Autor zde využil této nenadálé situace, která významně zasáhla do života obyvatel (rovněž i do volby druhu dopravního prostředku pro každodenní cesty obyvatel), a provedl v době nouzového stavu a v jiných časových úsecích měření intenzit dopravy pomocí radarových automatických detektorů na vybraných silnicích. Porovnáním průběhů intenzit dopravy byl zjištěn značný vliv vládních nařízení v podobě nouzového stavu na objemy dopravy na silnicích.

Zjištění v podobě snížení dopravního provozu v období nouzového stavu bylo dále podloženo rozsáhlým průzkumem, kterým autor práce zjišťoval důsledky mimořádné situace obdobného charakteru na dopravní chování obyvatel České republiky. Statistickým vyhodnocením údajů z dotazníku byly zjištěny zásadní okolnosti a změny v dopravním chování, kde odpovědi respondentů byly rozděleny do třech velikostních skupin sídel v ČR s cílem stanovit charakter změn v dopravním chování obyvatel v souvislosti s velikostí obce, ve které respondenti žijí.

Z řady důležitých výstupů z dotazníkového šetření se jednalo zejména o přechod z dopravních prostředků veřejné hromadné dopravy na individuální automobilovou dopravu v rámci cest obyvatel za zaměstnáním, kde byl pomocí McNemarova testu prokázán statisticky významný rozdíl v zastoupení pěti srovnávaných kategoriích užitých dopravních prostředků před a během nouzového stavu, a to ve všech velikostních skupinách sídel. V rámci cest za nákupy pak došlo ke statisticky významnému rozdílu v celém souboru (bez rozlišení velikostních skupin sídel) v případě využívání dopravních prostředků VHD (pokles) a v případě nákupů potravin on-line a dovážky/donášky potravin skrze třetí osobu (nárůst).

Výsledky této části disertační práce jsou v souladu s cílem práce, kterým bylo provedení rozboru možných faktorů ovlivňujících výsledné objemy dopravy na silnicích. Výstupy z dotazníkového šetření odrážejí dopravní chování obyvatel ovlivněné mimořádnou událostí (nouzový stav, vládní nařízení, pandemie COVID-19), což lze považovat za jeden z faktorů, které výsledné počty vozidel a změnu dopravní poptávky ve městech výrazně ovlivňují. Vyhodnocením dotazníkového šetření bylo

toto prokázáno. Vzhledem k charakteru dotazníkového šetření, které bylo koncipováno jako komplexní výzkum dopravního chování obyvatel před zavedením nouzového stavu a během něho, i vzhledem k dobrému statistickému souboru (3148 respondentů), je výsledky dotazníkové šetření možné dále využít pro další výzkum dopravního chování obyvatel.

Kapitola 6 obsahuje zhodnocení dosažených výsledků a diskusi nad těmito výsledky. Kapitoly 7 a 8 obsahují názory autora práce na zhodnocení přínosů výsledků disertační práce pro rozvoj vědy, odbornou praxi, pedagogický proces a dále také na možnosti rozvoje řešené problematiky v navazujícím výzkumu.

Citovaná literatura

- Amoroso, S., Caruso, L., Castelluccio, F. (2012). "Urban Indicators for sustainable mobility" (v anglickém jazyce). WIT Transactions on Ecology and the Environment Series, Volume 148, 2012.
- Anděl, J. (2012). Základy matematické statistiky. Vyd. 3. Praha: Matfyzpress, 2011, 358 s. ISBN 978-80-7378-162-0
- Apel, Dieter a kol. (2000). Scénáře a potenciál udržitelného rozvoje osídlení šetrného k životnímu prostředí. Zpráva 1/00 (v německém jazyce). Berlín.
- ArcGIS.com. 2021. Nástroje pro geoinformační systémy, oficiální internetové stránky s návody [online cit.: 2021-03-05]. Dostupné z: <https://desktop.arcgis.com/en/arcmap/10.3/tools/analysis-toolbox/buffer.htm>
- Bartoš, L., Šťastný, J., Richtr, A. 2018. Využití celostátního dopravního modelu při aktualizaci prognózy intenzit automobilové dopravy do roku 2055. In: Silniční obzor, 79 (9). ISSN 0322-7154.
- Baudyš, K., Janoš, V., Polák, O., Walla, L. (2008). Makroskopické dopravní modely jako podklady užítka-nákladových analýz. Telematika pro regionální dopravu 2008.
- Bauer, N., Hauri, D., Hunziker, M. (2008). Landschaftsbezogene Lebensqualität in Transit- und Referenzregionen. In: Buchecker, M; Frick, J; Tobias, S. (eds) Gesellschaftliche Ansprüche an den Lebens- und Erholungsraum. Eine praxisorientierte Synthese der Erkenntnisse aus zwei Forschungsprogrammen. Birmensdorf, Eidg. Forschungsanstalt WSL. 17-20.
- Beaudoin, J., Lin Lawell, C-YC. (2016). The effects of public transit supply on the demand for automobile travel (v anglickém jazyce). Working paper, University of California at Davis in Davis, California; 2016.
- Beckx, C., Arentze, T., Int Panis, L., Janssens, D., Vankerom, J., Wets, G. (2009). "An integrated activity-based modelling framework to assess vehicle emissions: approach and application". Environment and Planning B: Planning and Design. 36 (6): 1086–1102. doi:10.1068/b35044
- Behrends, S., Lindholm, M., Woxenius, J. (2008) The Impact of Urban Freight Transport: A Definition of Sustainability from an Actor's Perspective, Transportation Planning and Technology, 31:6, 693-713, DOI: 10.1080/03081060802493247
- Ben-Akiva, M. E. and Lerman, S. R. (1985). Discrete choice analysis: theory and application to travel demand, volume 9. MIT press.
- Beneš, P., Kampf, R., Majtaník, J., (2016). TA04031723: Certifikovaná metodika pro stanovení RPDÍ ve městech podle jejich velikosti, Technologická agentura ČR, Praha, 2016, 132 stran. Certifikovaná metodika.
- Biler, S., Kouřil, P., Rusý, P., Staněk, M., Šenk, P. (2014). Metodika aktivitně-cestovního průzkumu, Brno: Centrum dopravního výzkumu, 2014.
- Böge, S. (1993): Identifikace a hodnocení dopravních procesů. Analýza transportního řetězce související s konkrétním produktem. In: Läßle, D. (Hg): Güterverkehr, Logistik und Umwelt. Berlín
- Bowman, J. L., Ben-Akiva, M. (1996). Activity-Based Travel Forecasting [online]. Activity-Based Travel Forecasting Conference Proceedings,“ 1996 [cit. 10-11-2016]. Dostupné z: <http://media.tmiponline.org/clearinghouse/abtf/bowman.htm>.
- Brechan, I. (2017). Effect of Price Reduction and Increased Service Frequency on Public Transport Travel (v anglickém jazyce). Journal of Public Transportation, Vol. 20, No. 1, 2017.
- Brožová, H., Houška, M., Šubrt, T. (2003). Modely pro vícekritériální rozhodování. Praha: CREDIT, 2003. 178 s. ISBN 80-213-1019-7.

- Bruckmann a kol. (2000). Analýza dopadů vybraných politických rozhodnutí na provoz a životní prostředí (v německém jazyce). Institut pro výzkum mobility (ifmo studies). Berlín
- Bulíček, J. a kol. (2011). Modelování technologických procesů v dopravě, Pardubice: Univerzita Pardubice, Dopravní fakulta Jana Pernera, 2011.
- CDV (Centrum dopravního výzkumu), výsledky průzkumů dopravního chování obyvatel ČR (Česko v pohybu), 2019. [cit. 11-12-2019]. Dostupné z: <https://www.ceskovpohybu.cz/#ve>
- Cervero, R., Tsai, Y. (2004). San Francisco city carshare: Second year travel demand and car ownership impacts. *Transportation Research Record*, 1659(1887), 117-127.
- Čertický, M., Drchal, J., Cuchý, M. a Jakob, M. (2015) Models and Technologies for Intelligent Transportation Systems (MT-ITS). *IEEE International Conference*, 2015. p. 229-236.
- Česko v pohybu, webové stránky realizace průzkumu dopravního chování v České republice, 2019. [cit. 05-03-2019]. Dostupné z: <https://www.ceskovpohybu.cz/#jsem-v-pohybu>.
- ČSN 73 6110. Projektování místních komunikací. Praha: Český normalizační institut, 2006, 128 s. Třídící znak 73 6110.
- ČSN 73 6101 Projektování silnic a dálnic, včetně Opravy 1 a Změny 1 a 2.
- ČSN 73 6102 Projektování křižovatek na pozemních komunikacích, včetně Změny 1 a 2 a Opravy 1.
- ČSN 73 6110 Projektování místních komunikací, včetně Změny 1 a Opravy 1.
- Český statistický úřad – databáze dat o silniční dopravě, 2019 [online cit.: 2019-11-10]. Dostupné z: <http://www.czso.com>.
- Deutsches Mobilitätspanel, Karlsruher Institut für Technologie, 2019. [cit. 11-07-2019]. Dostupné z: <http://mobilitaetspanel.ifv.kit.edu/>
- De Ceuster, G., a kol. (2005). ASSESS Final Report. Brussels: DG TREN, European Commission. [cit. 2019-14-09]. Dostupné z: <http://www.tmluven.be/project/assess/>
- Dobranyte-Niskota, A., Perujo, A., Pregl, M. (2007). Indicators to assess sustainability of transport activities Part 1: Review of the Existing Transport Sustainability Indicators Initiatives and Development of an Indicator Set to Assess Transport Sustainability Performance. European Commission, Joint Research Centre.
- Drdla, P. (2004). Posuzování kvality systému VHD a její kvantifikace. *Perner's Contacts*, 4(1), 59-66. 2019 [online cit.: 2019-11-10]. Dostupné z <https://aosp.upce.cz/index.php/perner/article/view/1093>
- Duranton, G., Turner, M. A. (2011). The fundamental law of road congestion: Evidence from US cities. *American economic review*, 101 (6), 2616-2652, <http://dx-doi.org/10.1257/aer.101.6.2616>
- Eurostat (statistický úřad Evropské unie) – databáze dat o silniční nákladní dopravě, 2019 [online cit.: 2019-11-10]. Dostupné z: <https://ec.europa.eu/>
- Evropská Komise, (2019). SUMI - Sustainable urban mobility indicators (sada indikátorů udržitelné mobility). [online cit.: 2020-07-09]. Dostupné z: https://ec.europa.eu/transport/themes/urban/urban_mobility/sumi_en
- Forrester, J. 1958. Industrial Dynamics - A major breakthrough for decision makers. *Harvard Business Review*. 35(4), pp.37-66.
- Gillis, D., Semajski, I., Lauwers, D. (2016). How to Monitor Sustainable Mobility in Cities? Literature Review in the Frame of Creating a Set of Sustainable Mobility Indicators. *Sustainability* 2016, 8, 29.
- Gnap, J., Jelenek, P., Kralovenský, J., Majerčák, J., Šulgan, M. (2004). *Logistika a nové úlohy pre zaslatael'ov*. EDIS – vydavateľstvo Žilinskej univerzity, Žilinská univerzita v Žiline, 2004, ISBN 80-8070-306-X.

- Gudmundsson, H., Sorensen, C. H. (2013). Some use – Little influence? On the roles of indicators in European sustainable transport policy. *Ecological Indicators*, 35, 43-51.
- Gwiliam, K., Kojima, M., Johnson, T. (2004). Reducing air pollution from urban transport, publisher - The International bank for reconstruction and development.
- Haefeli, U., Matti, D., Schreyer, C., Maibach, M. (2006). Evaluation of car-sharing. In AU:7 Eidgenoessisches Departement fur Umwelt, V., Energie und Kommunikation UVEK.
- Hägerstrand, T. (1970). What about people in regional science? *Papers in regional science*, 24(1):7–24.
- Haghani, A., Lee, S.Y., Byun, J.H. (2003) A System Dynamics Approach to Land Use / Transportation System Performance Modeling. Part 1: Methodology. *Journal of Advanced Transportation*, Vol. 37, No. I, 1-41
- Haghani, A., Lee, S.Y., Byun, J.H. (2003) A System Dynamics Approach to Land Use / Transportation System Performance Modeling. Part 2: Application. *Journal of Advanced Transportation*, Vol. 37, No. I, 43-82.
- Hale, Ch. A. (2011). New Approaches To Strategic Urban Transport Assessment. *Australian Planner*, Vol. 48/3, 173-182; Abstrakt dostupný z: <http://dx.doi.org/10.1080/07293682.2011.592505>.
- Han, Y., Rohmer, S. (2019). Comparative Analysis of Sharing Bike Systems Based on Sustainability Indicators (v anglickém jazyce). *European Journal of Sustainable Development*, 8(5), 445. <https://doi.org/10.14207/ejsd.2019.v8n5p445>
- Hebák, P., Hustopecký, J., Jarošová, E., Pecáková, I. (2007). *Vícerozměrné statistické metody (1)*. Informatorium, Praha, 2007.
- Holcner, P. (2012). *Modelování a simulace dopravního proudu*. Brno, 2012. 184 s. Habilitační práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav pozemních komunikací.
- Holz-Rau, C., Hesse, M. (2000). *Quantifizierung der Verkehrsentstehung und deren Umweltauswirkungen durch Entscheidungen, Regelwerke und Maßnahmen mit indirektem Verkehrsbezug*. UBA-Texte 35/00. Berlin
- Horák, J. (2013). *Zpracování dat v GIS*. VŠB-TU Ostrava, 2013. 242 stran.
- Hubík, T. (2012). *Systémový model řízení profesionální firmy (diplomová práce)* [online]. Praha, 2012 [cit. 2019-06-19]. Dostupné z: <https://is.cuni.cz/webapps/zzp/detail/115110/?lang=en>.
- Hymel, K. M., Small, K. A., Van Dender, K. (2010). Induced demand and rebound effects in road transport. *Transportation Research Part B*, 44(3), 1220–1241, <http://dx.doi.org/10.1016/j.trb.2010.02.007>
- Chajdiak, J. (1998). *Štatistické riadenie kvality*. 1. vydanie, Statis, Bratislava 1998.
- Chowdhury, S., Ceder, A. (2013). The effects of interchange attributes on public-transport users' intention to use routes involving transfers (v anglickém jazyce). *Psychology and Behavioral Sciences*, 27 (1), pp. 5-13. 10.1177/0361198105191700119.
- Jablonský, J. (2007). *Operační výzkum: kvantitativní modely pro ekonomické rozhodování*. 3rd ed. Professional Publishing: Prague. 323 p.
- „JASPERS Appraisal Guidance (Transport) [online], The Use of Transport Models in Transport Planning and Project Appraisal,“ 2014 [cit. 5-6-2018]. Dostupné z: http://kcsump.eu/wordpress/wpcontent/uploads/2015/04/Upotreba-Modela-uprometnomplaniranju_JASPERS_kolovoz-2014.pdf
- Jorge, D., Correia, G. (2013). Carsharing systems demand estimation and defined operations: a literature review (v anglickém jazyce). *European Journal of Transport and Infrastructure Research* 13(3), 201–220.

- Jordová, R., Sperat, Z., Brůhová Foltýnová, H., Martínek, J. (2015). Metodika pro přípravu plánů udržitelné mobility měst České republiky. Brno: Centrum dopravního výzkumu, v. v. i., 2015.
- Kalčevová, J. (2008). Studijní materiály: vícekriteriální analýza. [online]. Dostupné z: <http://jana.kalcev.cz/vyuka/kestazeni/EKO422-KriterialniMatice.pdf>.
- Kan, Z., Qiang, Z., Haojun, Y., Long, Z., Lu, H., Chatzimisios, P. (2015). Reliable and efficient autonomous driving: the need for heterogeneous vehicular networks. *Commun Mag IEEE* 53:72-79.
- Katzev, R. (2003). Car-sharing: A new approach to urban transportation problems. *Analyses of Social Issues and Public Policy*. 3(1), 65-86.
- Kockelman, K., (1997). Travel behavior as function of accessibility, land use mixing, and land use balance: evidence from San Francisco Bay Area. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, (1607):116–125.
- Kočárková, D., a kolektiv. (2004). *Základy dopravního inženýrství*. Praha: ČVUT, 2004. ISBN 978-80-01-04233-5.
- Konečný, V., Brídžiková, M., Gažo, P., Semanová, Š. (2019). The Influence of Demographic Development and Population Structure on the Demand for Public Passenger Transport. *LOGI – Scientific Journal on Transport and Logistics* 10.2, 70–81. DOI: 10.2478/logi-2019-0017
- Korviny, P. (2020). Teoretické základy vícekriteriálního rozhodování. [elektronický zdroj]: [cit. 2020-03-12]. Dostupné na: <http://korviny.cz/mca7/soubory/teorie_mca.pdf>.
- Kubáňková, M., Hyršlová, J., Becková, H. (2015). Indicator Systems for Measuring and Monitoring Sustainability of Transport, *The 9th International Days of Statistics and Economics*, Praha, září 10-12, 2015.
- Kunhart, J. (2008): Faktory ovlivňující volbu dopravního systému uživatelem dopravní služby. *Perner's Contacts*, ročník 3., č. 5, s. 190–195.
- Lautso, K., Spiekemann, K., Wegener, M., Sheppard, I., Steadman, P., Martino, A., Doming, R., Gayda, S. (2004). *PROPOLIS – Závěrečná zpráva projektu*, druhé vydání, Finsko.
- Liepmann, K. K. (1945). *The Journey to work*. Kegan, Trench, Trubner
- Lim, H., S., M., Taeihagh, A. (2018). Autonomous Vehicles for Smart and Sustainable Cities: An In-Depth Exploration of Privacy and Cybersecurity Implications. *Energies* 11, no. 5: 1062. doi: 10.3390/en11051062
- Litman, T. (2015). *Generated Traffic and Induced Travel - Implications for Transport Planning* [online]. Victoria Transport Policy Institute, 2015 [cit. 16-4-2019]. Dostupné z: www.vtpi.org/gentraf.pdf
- Litmann, T. (2019). *Well Measured: Developing Indicators for Comprehensive and Sustainable Transport Planning*, Victoria Transport Policy Institute, 2019 [cit. 10-12-2019]. Dostupné z: <https://www.vtpi.org/wellmeas.pdf>
- Litman, T. (2020). *Evaluating Accessibility for Transportation Planning: Measuring People's Ability to Reach Desired Goods and Activities*; Victoria Transport Policy Institute: Victoria, BC, Canada, 2020 [cit. 20-6-2020]. Dostupné z: <http://www.vtpi.org/access.pdf>
- Lohrberg, K. (2003). Verkehrliche Interdependenzen bei der Aufstellung des Bundesverkehrswegeplans 2003. In: *Straßenverkehrstechnik*, sešit 6, 2003.
- Lowry, M. (2014). Spatial interpolation of traffic counts based on origin–destination centrality, *Journal of Transport Geography*, 36, 98–105.
- Máca, V., a kol. (2012). CG712-111-520: Kvantifikace externích nákladů dopravy v podmínkách České republiky: Závěrečná zpráva projektu realizovaného v rámci veřejné soutěže ve výzkumu a vývoji v programu „Podpora realizace udržitelného rozvoje dopravy“, Praha, 2012, 100 stran.

Machi, L., McEvoy, B.T. (2012). The literature review: six steps to success. Thousand Oaks, Calif.: Corwin, c2012, xx, 174 s. ISBN 9781452240886. VĚD-212.

Mapový server OpenStreetMap, 2018 [cit. 11-12-2018]. Dostupné z: <https://www.openstreetmap.org>.

Marada, M. (2003). Dopravní hierarchie středisek v Česku: vztah k organizaci osídlení. Disertační práce. Katedra sociální geografie a regionálního rozvoje, Přírodovědecká fakulta, Univerzita Karlova, <http://www.geografiedopravy.cz>, Praha, 116 s.

Martin, E., Shaheen, S., Lidicker, J. (2010). Impact of carsharing on household vehicle holdings: Results from North American shared-use vehicle survey. *Transportation Research Record*, 2143, 150-158.

Martolos, J., Bartoš, L. 2016 [online]. Možnosti stanovení návrhových intenzit dopravy na základě krátkodobého měření. *Dopravní inženýrství, Plzeň*, 2016 [cit. 12-2-2018]. Dostupné z: <http://www.dopravniinzenyrstvi.cz/clanky/moznosti-stanoveninavrhovych-intenzit-dopravy-na-zaklade-kratkodobeho-mereni/>

Martolos J., Šindelářová, V., Bartoš, L., Mužík, J. (2013). *Metody prognózy intenzit generované dopravy*. Plzeň: EDIP s.r.o., 2013.

Matusiewicz, M. (2019). Towards Sustainable Urban Logistics: Creating Sustainable Urban Freight Transport on the Example of a Limited Accessibility Zone in Gdansk. *Sustainability* 2019, 11, 3879.

McChristian, L., Corbett, R. (2016). Regulation Issues Related to Autonomous Vehicles', *Journal of Insurance Regulation*, National Association of Insurance Commissioners.

Meier, E. (1990). *Neuverkehr infolge Ausbau und Veränderung des Verkehrssystems*. Dissertation an der ETH Zürich. Schriftenreihe des Instituts für Verkehrsplanung, Transporttechnik, Straßen- und Eisenbahnbau der ETH Zürich, Nr. 81. Zürich

Meyer, M. D. (2016). *Transportation Planning Handbook: Institute of Transportation Engineers, Fourth Edition*. DOI:10.1002/9781119174660.

Mildeová, S. (2012). *Systémová dynamika: tvorba modelu*. 1. vyd. Praha : Oeconomica, 2012. ISBN 978-80-245-1842-8.

Ministerstvo dopravy ČR (2013). *Dopravní politika České republiky pro období 2014-2020 s výhledem do roku 2050*. Citováno 2. dubna 2020.

Munier, N. (2005). *Introduction to Sustainability – Road to a Better Future*. Springer, Dordrecht. ISBN-13 978-1-4020-3556-2.

NCST (National Center for Sustainable Transport), (2019). *Kalkulátor indukované dopravy* [online]. [cit. 2019-11-19]. Dostupné z: <https://blinktag.com/induced-travel-calculator>.

Noland, R. B. (2001). Relationships between highway capacity and induced vehicle travel. *Transportation Research Part A*, 35(1), 47-72, [http://dx.doi.org/10.1016/S0965-8564\(99\)00047-6](http://dx.doi.org/10.1016/S0965-8564(99)00047-6)

Noland, R. B., Lem, L. L. (2002). A review of the evidence for induced travel and changes in transportation and environmental policy in the US and the UK. In: *Transportation Research část D 7*, S. 1-26

Ondráčková J. a kol. (2017). *Metodika pro tvorbu a hodnocení makroskopických dopravních modelů. Minimální standardy návrhů modelů pro dopravní plánování*. Centrum dopravního výzkumu, v. v. i., 2017.

Orava, F. (2000). *Prognostické inženýrství v dopravě*. Pardubice: Univerzita Pardubice, 2000. ISBN 80-7194-245-6.

Ortúzar, J., de D., Willumsen, L., G. (2006). *Modelling Transport 3rd Edition*, Chichester, 2006.

- Park, J. (2018). Sensemaking/What Will Autonomous Vehicles Mean for Sustainability?. [cit. 2-3-2020]. Dostupné z: <https://thefuturescentre.org/articles/11010/what-will-autonomous-vehicles-mean-sustainability>.
- Parkin, J., Clark, B., Clayton, W., Ricci, M., Parkhurst, G. (2018). Autonomous vehicle interactions in the urban street environment: A research agenda. *Proc. Inst. Civ. Eng. Munic. Eng.*, 171, 15–25.
- Perra, V-M., Sdoukopoulos, A., Pitsiava-Latinopoulou, M. (2017). Evaluation of sustainable urban mobility in the city of Thessaloniki. *Transportation Research Procedia*, Volume 24, 2017, Pages 329-336, ISSN 2352-146. <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2017.05.103>.
- Persia, L., Cipriani, E., Sgarra, V., Meta, E. (2016). Strategies and Measures for Sustainable Urban Transport Systems (v anglickém jazyce). *Transportation Research Procedia*, číslo 14, 2016, s. 955-964, ISSN 2352-1465. <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2016.05.075>.
- Pfaffenbichler, P., Emberger, G., Shepherd, S. P. (2008). The integrated dynamic land use and transport model MARS. *Networks and Spatial Economics* 8(2–3): 183–200.
- Pfaffenbichler, P., Emberger, G. and Shepherd, S.P. (2010): A system dynamics approach to land use transport interaction modelling: the strategic model MARS and its application. *System Dynamics Review* vol 26, No 3 (July–September 2010): 262–282
- Powersim Software AS, internetové stránky firmy v anglickém jazyce [online cit.: 2019-11-10]. Dostupné z: <http://www.powersim.com>.
- Příbyl, P. (2003). Řídicí systémy silniční dopravy, skriptá ČVUT, 2003.
- Rai, H.B., Lier, T.V., Meers, D., Macharis, C. (2018). An indicator approach to sustainable urban freight transport. *Journal of Urbanism: International Research on Placemaking and Urban Sustainability*, 11, 102 - 81.
- RAND Europe a kol. (2004). SUMMA (Sustainable Mobility, policy Measures and Assessment): Deliverable 3 of Workpackage 2: Operationalising Sustainable Transport and Mobility, May 2004 <http://www.summa-eu.org/control/reports> accessed 2009-05-07.
- Rasouli, S., Timmermans, H. J. P. (2014). Mobile technologies for activity travel data collection and analysis. ISBN 9781466661707.
- Reutter, O. a kol. (2003). *Umweltschonender Einkaufs- und Freizeitverkehr in Halle und Leipzig*. UBA-Texte 35/03. Berlín
- Richtr, A., Bartoš, L. 2018. Prognóza intenzit automobilové dopravy do roku 2055. Silniční konference 2018.
- Roughton, C., a kol. (2012). *Creating Walkable and Bikeable Communities: A User Guide to Developing Pedestrian and Bicycle Master Plans*, Center for Transportation Studies at Portland State University [cit. 19-11-2019]. Dostupné z: [www.ibpi.usp.pdx.edu/media/IBPI%20Master%20Plan%20Handbook%20FINAL%20\(7.27.12\).pdf](http://www.ibpi.usp.pdx.edu/media/IBPI%20Master%20Plan%20Handbook%20FINAL%20(7.27.12).pdf)
- Ředitelství silnic a dálnic ČR, 2018. [cit. 11-12-2018]. Dostupné z: <https://www.rsd.cz/wps/portal/web/rsd/Silnicni-databanka>.
- Saaty, TH. L., Vargas, L. G., Wendell, R. E. (1983). Assessing Attribute Weights by Ratios, *Omega*, The International Journal of Management Science, 2, No. 1, (pp. 9-13), 1983.
- Saaty, T. L. (2008). Decision Making with the Analytic Hierarchy Process, *International Journal of Services Sciences* 1(1): 83-98. <http://dx.doi.org/10.1504/IJSSci.2008.0175>.
- Sarlas, G., Axhausen, K. W. (2016). Exploring spatial methods for prediction of traffic volumes, Swiss transport research conference, ETH Zürich, Zürich.
- Shiftan, Y. (2000). "The advantage of activity-based modelling for air-quality purposes: theory vs practice and future needs". *Innovation*. 13 (1): 95–110. doi:10.1080/135116100111685

- Sladkowski, A., Pamula, W. (2015). *Intelligent Transportation Systems - Problems and Perspectives*. Springer, 2015.
- Slivoně, M. (2009). Několik přístupů k Traffic Assignmentu. Pernal contact, Univerzita Pardubice. ISSN 1801-674X.
- Stapleton, L., Sorrell, S., Schwanen, T. (2017). Peak car and increasing rebound: A closer look at car travel trends in Great Britain (v angl. jazyce). *Transportation Research Part D: Transport and Environment* 53: pp.217-233.
- Stav silničního nákladního trhu v Evropě - článek na webovém serveru Transport Intelligence (v angličtině), 2020. [cit. 20-5-2020]. Dostupné z: <https://www.ti-insight.com/briefs/the-state-of-europes-road-freight-market-4-key-insights-from-sixfolds-covid-19-map/>
- Stemmark (2015). Sociologický průzkum mobility obyvatel aglomerace města České Budějovice. Závěrečná zpráva projektu, prosinec 2015. Interní materiály Magistrátu města České Budějovice.
- Sterman, J. D. (2000). *Business Dynamics: Systems Thinking and Modelling for a complex World*. Boston: Irwin/McGraw-Hill. ISBN 0-07-231135-5.
- Svaz dopravců automobilů, statistiky o počtech registrovaných vozidel, 2019. [cit. 05-03-2019]. Dostupné z: <http://portal.sda-cia.cz/stat.php?m#str=nova>.
- Šindelář, M. (2018). Od dat o dopravním chování ke spolujždě autem. Konference Dopravní chování v datech. Brno.
- Tafidis, P., Sdoukopoulos, A., Pitsiava-Latinopoulou, M. (2017). Sustainable urban mobility indicators: Policy versus practice in the case of Greek cities. *Transp. Res. Procedia* 2017, 24, 304–312.
- Taylor, L. (2011). No boundaries: exurbia and the study of contemporary urban dispersion. In: *GeoJournal* 76, 4, 323-339. <https://doi.org/10.1007/s10708-009-9300-y>
- Toth-Szabo, Zs., Várhelyi, A., Koglin, T., Angjelevska, B. (2011), Measuring sustainability of transport in the city – development of an indicator-set (v anglickém jazyce). Bulletin 261. *Traffic & Roads, Department of Technology and Society, Lund University, Lund*.
- TP 189 Stanovení intenzit dopravy na pozemních komunikacích (III.vydání), 2018.
- TP 225 Prognóza intenzit automobilové dopravy (III.vydání), 2018.
- TRB, Highway Capacity Manual 2010, N.R.C., Washington D.C.
- Ventana Systems, Inc. 2016. Internetové stránky společnosti v anglickém jazyce [online cit.: 2019-11-10]. Dostupné z: <http://www.vensim.com>.
- Voogd, H. (1983). *Multicriteria Evaluation for Urban and regional Planning*. Pion: London.
- Voženílek, V. (1999): *Aplikovaná kartografie I: tematické mapy*. UPOL, Olomouc, 187 s.
- Wang, J., Lu, H., Peng, H. (2008) System Dynamics Model of Urban Transportation System and Its Application. *Journal of Transportation Systems Engineering and Information Technology* Volume 8, issue 3, 83-89.
- Wardrop, J. G. (1952). Some Theoretical Aspekt of Road Traffic Research. *Proceedings of the Institution of Civil Engineering*. ISBN 1-325-378.
- Williams, D., Chatterton, T., & Parkhurst, G. (2012). Using disruption as an opportunity to change travel practices. Příspěvek prezentován na 1st International Conference on Urban Sustainability and Resilience.
- Wolf, J. (2000). *Using GPS Data Loggers To Replace Travel Diaries In the Collection of Travel Data*. Dissertation, Georgia Institute of Technology, School of Civil and Environmental Engineering, Atlanta, GA.
- Zákon č. 13/1997 Sb., o pozemních komunikacích (silniční zákon). In: *Sbírka zákonů*.

Seznam publikačních výsledků doktoranda

Seznam publikací s přímým vztahem k disertační práci

Bartuška, L.; Pavel Beneš, P.; Karel Zeman, K. The issue of determination of traffic volumes on urban roads. *Acta Logistica Moravica*. 2015, 5(3), 1-9. ISSN 1804-8315.

Bartuška, L.; Biba, V.; Kampf, R. Modelling of daily traffic volumes on urban roads. In: *PROCEEDINGS OF THE THIRD INTERNATIONAL CONFERENCE ON TRAFFIC AND TRANSPORT ENGINEERING*. Belgrade: City Net Scientific Research Center Ltd. Belgrade, 2016. pp. 1-1174. ISBN 978-86-916153-3-8.

Bartuška, L.; Vladislav Biba, V.; Karel Jeřábek, K. Verification of Methodical Procedure for Determining the Traffic Volumes Using Short-term Traffic Surveys. In: *Procedia Engineering*. Amsterdam: Elsevier B.V., 2016. pp. 275-281. 161. ISSN 1877-7058 (on-line).

Bartuška, L.; Hanzl, J.; Lupták, V. Traffic counts on roads in the Czech Republic. In: *TRANSPORT MEANS 2019 - PROCEEDINGS OF THE 23rd INTERNATIONAL SCIENTIFIC CONFERENCE*. Kaunas: Kaunas University of Technology, 2019. p. 1-1609. ISSN 2351-7034 (on-line).

Bartuška, L.; Stopka, O.; Hanzl, J.; Šedivý, J.; Rybicka, I. Changes in transport behaviour of czech population caused by state of emergency. In: *Transport problems*. Katowice, Poland: Silesian University of Technology, 2021. ISSN 1896-0596 (on-line).

Ostatní publikace na pracovišti ČVUT

Hanzl, J.; Bartuška, L. Model of the Heavy Freight Vehicle's Running Speed Used for Diversion Traffic Routes Determination. In: *Matec - web of conferences*. Les Ulis Cedex A: EDP Sciences - Web of Conferences, 2017. vol. vol. 134. ISSN 2261-236X (on-line).

Hanzl, J.; Bartuška, L. Road Safety at Intersections and Roundabouts: A Case Study. In: *TRANSPORT MEANS 2021 - PROCEEDINGS OF THE 25th INTERNATIONAL SCIENTIFIC CONFERENCE*. Kaunas: Kaunas University of Technology, 2021. ISSN 2351-7034 (on-line).

Ostatní významné publikace mimo pracoviště ČVUT

Bartuška, L., Jeřábek, K., Kampf, R. Logistické minimum. *Katedra dopravy a logistiky, VŠTE v Českých Budějovicích*, 2016. 91 s. ISBN 978-80-7468-073-1.

Bartuška, L., Jeřábek, K., Chenguang, L. Determination of Traffic Patterns on urban roads. In: *Communications, Žilina: Žilinská univerzita v Žilině, EDIS*, 2017, roč. 19, č. 2, s. 103-108. ISSN 1335-4205.

Ližbetin, J., Hlatká, M., Bartuška. Issues concerning declared energy consumption and greenhouse gas emissions of FAME biofuels. In: *Sustainability* 2018; 10(9). 3025; <https://doi.org/10.3390/su10093025> (on-line).

Hlatká, M., Bartuška, L. Comparing the Calculations of Energy Consumption and Greenhouse Gases Emissions of Passenger Transport Service. In: Nase More, Dubrovnik: University of Dubrovnik, 2018, roč. 65, č. 4, s. 224-229. ISSN 0469-6255 (on-line).

Stopka, O., Bartuška, L., Caban, J., Kapustina, L.M. Proposal of the Functional System for the Airline Companies Financial Situation Assessment. In: Communications - Scientific Letters of the University of Zilina, Slovensko: University of Zilina, 2019, roč. 21, č. 1, s. 3-8. ISSN 1335-4205.

Seznam obrázků

Obrázek 1 - Struktura čtyř-úrovňového dopravního modelu.....	5
Obrázek 2 - Příklad prostorové a časového uspořádání rozvrhu aktivit uživatele dopravní sítě.....	12
Obrázek 3 – Hodinové relativní četnosti vozidel rozlišené podle dní v týdnu - MK A2	15
Obrázek 4 – Hodinové relativní četnosti vozidel rozlišené podle dní v týdnu - MK C3	15
Obrázek 5 – Přepočtové koeficienty k_t v jednotlivých dnech v týdnu rozlišené podle kategorií místních komunikací.....	16
Obrázek 6 – Fáze přípravy a realizace PUMM	22
Obrázek 7 - Graf vývoje počtu registrovaných vozidel v ČR	24
Obrázek 8 – Znázornění základních vztahů a prvků v diagramu toků a stavů.....	32
Obrázek 9 – Základní vztahy mezi rozvojem regionu a dopravními objemy na silnicích	35
Obrázek 10 – Kauzální vztahy spojené s indukci dopravy.....	39
Obrázek 11 – Statistická data vybraných ukazatelů v nákladní dopravě v ČR v letech 1999-2019.	40
Obrázek 12 – Kauzální vztahy mezi průmyslovou výrobou, socio-ekonomickým sektorem a dopravní oblastí.....	42
Obrázek 13 – Rozložení cest podle účelu v rámci rozhodného dne pro ČR celkem.....	44
Obrázek 14 – Využití dopravních prostředků pro uskutečnění cest podle velikosti obce – počtu obyvatel.....	44
Obrázek 15 – Průměrná délka cesty podle použitého dopravního prostředku v ČR.....	45
Obrázek 16 – Vztahy mezi základními faktory ovlivňujícími volbu dopravního prostředku.....	46
Obrázek 17 – Vliv dostupnosti území silniční dopravou na dopravní objemy.....	48
Obrázek 18 – Kauzální vztahy při zavádění prvků inteligentní mobility.....	51
Obrázek 19 – model pro stanovení nabídky a poptávky v IAD a VHD.....	53
Obrázek 20 – Trend vývoje růstu počtu osobních automobilů pro jednotlivé roky	56
Obrázek 21 – regresní přímka pro závislost hodnoty hybnosti obyvatel na hodnotě HDP na 1 obyvatele	57
Obrázek 22 – pracovní prostředí programu Vensim: graf žádoucího vývoje podílu IAD na realizaci cest obyvatel.....	58
Obrázek 23 – Vývoj hodnoty hybnosti obyvatel v modelovém období 20 let.....	61
Obrázek 24 – Vývoj HDP a počtu obyvatel v modelovém období 20-ti let.....	61
Obrázek 25 – Vývoj hodnot počtu registrovaných OA a poměru nabídky a poptávky v IAD.....	62
Obrázek 26 – Vývoj vybraných hodnot v sub-modelu „počet dopravních prostředků VHD“	63

Obrázek 27 – vývoj nabídky a poptávky po cestách ve VHD.....	64
Obrázek 28 – Váhy jednotlivých strategií udržitelné mobility ve vztahu ke snižování podílu IAD na dělbě přepravní práce	86
Obrázek 29a,b – procentuální vyjádření vah indikátorů odpovídající jednotlivým strategiím udržitelné mobility	88
Obrázek 30a,b – procentuální vyjádření vah indikátorů odpovídající jednotlivým strategiím udržitelné mobility	90
Obrázek 31 - procentuální vyjádření vah indikátorů odpovídající strategii udržitelné mobility.....	92
Obrázek 32 – Pokrytí města sítí linek VHD.....	98
Obrázek 33 – Index udržitelné mobility pro jednotlivá katastrální území v Českých Budějovicích ..	101
Obrázek 34 – Rozmístění stanovišť dopravního průzkumu	104
Obrázek 35 – Průběh denních intenzit dopravy – úsek silnice I/34.	105
Obrázek 36 – Průběh denních intenzit dopravy – úsek silnice I/3.	107
Obrázek 37 – Průběh relativních hodinových četností.....	109
Obrázek 38 a, b, c, d – Průběh relativních hodinových četností	109
Obrázek 39 - Cestovní doba ekonomicky aktivních obyvatel při dojíždění do zaměstnání.....	112
Obrázek 40 - Cestovní doba ekonomicky aktivních obyvatel ve vztahu k frekvenci cest.	113
Obrázek 41 - Změny v dojíždění do zaměstnání podle místa bydliště respondentů	113
Obrázek 42 – Změny v dojíždění do zaměstnání podle druhu pracoviště.....	114
Obrázek 43 – Zastoupení jednotlivých druhů dopravy dle stanovených velikostních skupin sídel. ...	115
Obrázek 44 – Odpovědi respondentů na dotaz změny druhu dopravního prostředku.....	116
Obrázek 45 – Podíl jednotlivých druhů dopravy na cestách za zaměstnáním v rámci souboru.....	117
Obrázek 46 - Podíl druhů dopravy na cestách za zaměstnáním v obcích nad 100 tis. obyv.	118
Obrázek 47 – Podíl jednotlivých druhů dopravy na cestách za zaměstnáním ve středně velikých obcích s počtem obyvatel mezi 10 tis. a 100 tis.	118
Obrázek 48 – Podíl druhů dopravy na cestách za zaměstnáním v obcích do 10 tis obyv.	119
Obrázek 49 – Sankeyův diagram změny užívání dopravního prostředku u zaměstnaných a studentů celkově před a během období nouzového stavu v rámci celé ČR.	119
Obrázek 50 – Rozdělení cest za nákupy dle užitého dopravního prostředku.....	121
Obrázek 51 – Zastoupení druhů dopravy užitých pro cesty za nákupy v období nouzového stavu ve vztahu k užitému druhu dopravy před nouzovým stavem.....	123
Obrázek 52 – Sankeyův diagram změny užívání dopravního prostředku pro cesty za nákupem před a během nouzového stavu v rámci celé ČR.....	123
Obrázek 53 – Druh svozu/odvozu dětí respondentů do školských zařízení v jednotlivých velikostních skupinách sídel.	124
Obrázek 54 – Vývojový diagram návrhu identifikace významnosti indikátorů udržitelné mobility. .	128

Seznam tabulek

Tabulka 1 - Stručná charakteristika pozemních komunikací (zdroj: Beneš a kol., 2016).....	13
Tabulka 2 - Relativní změna stupně automobilizace oproti celostátnímu průměru=100%.....	25
Tabulka 3 - Hustota silnic a dálnic v jednotkách m/km ² (Zdroj: ČSÚ, vlastní výpočty).....	27
Tabulka 4 - Relativní délka silnic a dálnic v jednotkách m/obyv. (Zdroj: ČSÚ, vlastní výpočty).....	27
Tabulka 5 – polarita kauzálních vztahů a grafické znázornění v diagramech (Sterman, 2000).....	31
Tabulka 6 – Doprava jako proces a možné vzájemné interakce mezi strukturami v systému.	36
Tabulka 7 – vstupní hodnoty modelu pro výpočet poměru nabídky a poptávky po přepravě.....	60
Tabulka 8 – Vybrané zkoumané zdroje zabývající se návrhy indikátorů udržitelné mobility	65
Tabulka 9 - Skupiny strategií i s jednotlivými indikátory ovlivňujícími intenzity dopravy	74
Tabulka 10 - Metody pro stanovení vah faktorů	76
Tabulka 11 - Informace o hodnotitelích participujících na stanovení významnosti jednotlivých indikátorů	78
Tabulka 12 - Výsledná Saatyho matice pro jednotlivé skupiny strategií	80
Tabulka 13 - Výsledná Saatyho matice pro skupinu "podpora VHD ve vztahu k efektivnosti systému".	80
Tabulka 14 - Výsledná Saatyho matice pro skupinu – podpora nemotorových druhů dopravy.....	80
Tabulka 15 - Výsledná Saatyho matice pro skupinu – snižování dopadu dopravy na životní prostředí a zvyšování bezpečnosti.....	81
Tabulka 16 - Výsledná Saatyho matice pro skupinu – integrace dopravních systémů ve vztahu k ekonomické efektivnosti.....	81
Tabulka 17 - Výsledná Saatyho matice – používání IAD pro každodenní cesty obyvatel.....	81
Tabulka 18 - Schéma metody Fullerova trojúhelníku. Zdroj: (Korviny, 2020)	82
Tabulka 19 - Výpočet vah jednotlivých skupin strategií pomocí Fullerovy metody	83
Tabulka 20 - Výpočet vah pomocí Fullerovy metody pro skupinu – podpora dostupnosti VHD ve vztahu k efektivnosti systému.	83
Tabulka 21 - Výpočet vah pomocí Fullerovy metody pro skupinu – podpora alternativních nemotorových druhů dopravy	83
Tabulka 22 - Výpočet vah pomocí Fullerovy metody pro skupinu – snižování dopadu dopravy na životní prostředí a zvyšování bezpečnosti.....	84
Tabulka 23 - Výpočet vah pomocí Fullerovy metody pro skupinu – integrace dopravních systémů ve vztahu k ekonomické efektivnosti.....	84

Tabulka 24 - Výpočet vah pomocí Fullerovy metody pro skupinu – používání IAD pro každodenní cesty obyvatel.....	84
Tabulka 25 – Pořadí strategií a indikátorů udržitelné mobility seřazeno dle vah (zdroj: autor)	93
Tabulka 26 - Sumarizace klíčových indikátorů udržitelné mobility pro jednotlivé skupiny strategií (zdroj: autor).....	96
Tabulka 27 – Původní hodnoty R_i jednotlivých indikátorů pro výpočet indexu udržitelné mobility....	97
Tabulka 28 – Absolutní počty vozidel zjištěných během dopravních průzkumů na úseku silnice I/34 a relativní změna v rámci jednotlivých kategorií vozidel.	106
Tabulka 29 – Absolutní počty vozidel zjištěných během dopravních průzkumů na úseku silnice I/3a a relativní změna v rámci jednotlivých kategorií vozidel.	108
Tabulka 30 - Výsledky chí kvadrát testu – změna ve frekvenci cest obyvatel za zaměstnáním.	114
Tabulka 31 - Výsledky testů marginální homogenity.	116
Tabulka 32 - Výsledek McNemarova testu změny v zastoupení typů dopravy v celém souboru.	117
Tabulka 33 - Výsledek McNemarova testu změny v zastoupení druhů dopravy pro sídla nad 100 tis. obyvatel.	117
Tabulka 34 - Výsledek McNemarova testu změny v zastoupení druhů dopravy pro středně velká sídla.	118
Tabulka 35 - Výsledek McNemarova testu změny v zastoupení druhů dopravy pro soubor „venkov“.	118
Tabulka 36 - Výsledky testů marginální homogenity.	122
Tabulka 37 - Výsledek McNemarova testu změny v zastoupení druhů dopravy v celém souboru (cesty za nákupy).	122
Tabulka 38 – ocenění volby VHD v jednotlivých velikostních skupinách sídel během nouzového stavu obdobného charakteru	125
Tabulka 39 – Významné změny v užívání dopravních prostředků pro cesty obyvatel do zaměstnání	129

Seznam příloh

Příloha A – Seznam expertů hodnotících indikátory udržitelné mobility

Příloha B – Seznam elektronických příloh uložených na přiloženém médiu

Příloha C – Vývojový diagram postupných kroků při implementaci návrhu procedury pro identifikaci klíčových indikátorů udržitelné mobility v rámci rozhodování o variantách dopravně-inženýrského projektu na území města

Příloha A

Seznam expertů hodnotících indikátory udržitelné mobility

Ing. Petr Polák – Útvar hlavního architekta, Magistrát města České Budějovice

Pracuje na pozici dopravního inženýra, vede agendu dopravního plánování ve městě a zabývá se dopravním-inženýrstvím. Hodnocení probíhalo na základě osobní schůzky na Útvaru hlavního architekta dne 12. 11. 2019

E-mail: polakp@c-budejovice.cz

Ing. Michal Šram – Útvar hlavního architekta, Magistrát města České Budějovice

Vedoucí Útvaru hlavního architekta – sekce zabývající se dopravním plánováním a výstavbou dopravní infrastruktury. V jeho gesci je kromě jiného oblast implementace výsledků strategického plánu udržitelné mobility města České Budějovice v praxi. Hodnocení probíhalo na základě osobní schůzky na Útvaru hlavního architekta dne 12. 11. 2019

E-mail: sramm@c-budejovice.cz

Ing. Radek Filip – Dopravní podnik města České Budějovice

Vedoucí Útvaru strategie a řízení dopravy DPMČB. V jeho gesci je kromě jiného plánování tras linek, zavádění midibusů s elektrickým pohonem v návaznosti na výstavbu záchytných parkovišť na území města. Hodnocení probíhalo na základě osobní schůzky na dopravním podniku dne 8. 1. 2020.

E-mail: filip.r@dpmcb.cz

izv. prof. dr. sc. Borna Abramović – Univerzita v Záhřebu, Chorvatsko

Od roku 2006 pracuje jako vedoucí Katedry řízení železniční dopravy na univerzitě v Záhřebu. Zabývá se výzkumem v oblasti statistiky, ekonomiky dopravy, organizace veřejné hromadné dopravy ve vztahu k udržitelné mobilitě měst. Hodnocení probíhalo na základě osobního setkání na konferenci LOGI 2019 dne 14. 11. 2019.

E-mail: borna.abramovic@fpz.hr

prof. Ing. Vieroslav Molnár, PhD. – Technická univerzita v Košicích, Slovensko

Působí na profesorské pozici na Katedře počítačové podpory výrobních technologií při Technické univerzitě v Košicích. Zabývá se matematickým modelováním a simulacemi v logistice a výzkumem udržitelnosti v oblasti logistiky a průmyslu na území měst. Hodnocení probíhalo na základě osobního setkání na konferenci LOGI 2019 dne 14. 11. 2019.

E-mail: vieroslav.molnar@tuke.sk

prof. Ing. Gabriel Fedorko, PhD. – Technická univerzita v Košicích, Slovensko

Působí na profesorské pozici na Ústavu logistiky a dopravy při Technické univerzitě v Košicích. Zabývá se projektováním a simulacemi dopravních a logistických systémů a procesů. Ve vztahu k udržitelnosti měst se zabývá počítačovou simulací logistických řetězců. Hodnocení probíhalo na základě osobního setkání na konferenci LOGI 2019 dne 14. 11. 2019.

E-mail: gabriel.fedorko@tuke.sk

prof. Ing. Jozef Gašparík, PhD. – Žilinská univerzita v Žilině, Slovensko

Působí na profesorské pozici na Katedře železniční dopravy, Fakultě prevádzky a ekonomiky dopravy a spojov na Žilinské univerzitě v Žilině. Zabývá se výzkumem v oblasti provozu železniční dopravy,

ekonomiky železniční dopravy a plánování kapacity železniční dopravy. Hodnocení probíhalo na základě osobního setkání na konferenci LOGI 2019 dne 14. 11. 2019.

E-mail: jozef.gasparik@fpedas.uniza.sk

prof. Ing. Miloš Poliak, PhD. – Žilinská univerzita v Žilině, Slovensko

Děkan Fakultě prevádzky a ekonomiky dopravy a spojov na Žilinské univerzitě v Žilině, dále působí na Katedře silniční a městské dopravy. Zabývá se výzkumem v oblasti financování veřejné hromadné dopravy ve vztahu k udržitelnosti měst. Hodnocení probíhalo na základě osobního setkání na konferenci LOGI 2019 dne 14. 11. 2019.

E-mail: milos.poliak@fpedas.uniza.sk

Dr. Marin Marinov – School of Engineering and Applied Science, Aston University, Velká Británie

Působí jako akademický pracovník na Aston University v Birminghamu. Zabývá se modelováním a simulacemi v logistice a dopravě, ve vztahu k udržitelné mobilitě se zabývá studiem ekonomiky a řízení železniční dopravy na území měst. Hodnocení probíhalo formou mailové korespondence dne 25. 11. 2019.

E-mail: m.marinov@aston.ac.uk

Ing. Petr Nachtigall, Ph.D. – Dopravní fakulta Jana Pernera, Univerzita Pardubice

Působí jako vedoucí Oddělení logistických systémů na Dopravní fakultě Jana Pernera v Pardubicích. Zabývá se výzkumem městských povrchových i podpovrchových systémů dopravy, zejména v rámci veřejné hromadné dopravy a technologiemi kolejové dopravy. Hodnocení probíhalo na základě osobního setkání na konferenci LOGI 2019 dne 14. 11. 2019.

E-mail: petr.nachtigall@upce.cz

DSc. Prof. Larisa M. Kapustina – Ural State University of Economics, Ruská Federace

Působí jako vedoucí Oddělení marketingu a mezinárodního managementu na jekatěrinburské univerzitě. Zabývá se výzkumem v oblasti ekonomiky dopravních podniků a procesů ve vztahu k udržitelnosti měst. Hodnocení probíhalo formou mailové korespondence dne 27. 11. 2019.

E-mail: larisa.kapustina@urfu.ru

Assoc. Prof. Stefano Ricci – Sapienza University of Rome, Itálie

Působí na „Department of Civil Environmental and Building Engineering“ na římské univerzitě Sapienza. Zabývá se výzkumem v oblasti technologií veřejné hromadné dopravy a integrace dopravních systémů ve vztahu k územnímu plánování. Hodnocení probíhalo formou mailové korespondence dne 3. 12. 2019.

E-mail: stefano.ricci@uniroma1.it

Doc. Ing. Miloš Hitka, PhD. – Technická univerzita ve Zvoleně, Slovensko

Působí jako docent na Katedře podnikového hospodářství. Zabývá se výzkumem v oblasti řízení lidských zdrojů, motivace zaměstnanců dopravních a průmyslových podniků, antropometrických údajů populace pro návrh dopravních prostředků. Hodnocení probíhalo na základě osobního setkání na konferenci LOGI 2019 dne 14. 11. 2019.

E-mail: hitka@vsld.tuzvo.sk

prof. Paweł Drożdziel – Lublin University of Technology, Polsko

Je prorektorem pro studentské záležitosti na univerzitě v polském Lublinu, zároveň zde působí na Katedře dopravy na Fakultě strojírenství. Zabývá se analýzou a optimalizací dopravních technologií a

dopravních systémů se zvláštním důrazem na bezpečnostní aspekty, ekonomické faktory a rizika pro životní prostředí. Hodnocení probíhalo na základě osobního setkání na konferenci LOGI 2019 dne 14. 11. 2019.

E-mail: p.drozdziel@pollub.pl

Assoc. prof. Ádám Török – Budapest University of Technology and Economics, Maďarsko

Je proděkanem na Fakultě dopravního inženýrství a automobilového inženýrství na budapešťské univerzitě, zároveň zde působí jako docenta na Katedře dopravních technologií a ekonomiky. Zabývá se aspekty dopravního-inženýrství, výzkumem vlivů dopravy na ekonomickou efektivnost systému a vlivů dopravy na životní prostředí. Hodnocení probíhalo na základě osobního setkání na konferenci LOGI 2019 dne 14. 11. 2019.

E-mail: torok.adam@mail.bme.hu

Příloha B

Seznam elektronických příloh uložených na přiloženém médiu

- 1) Souhrnná analýza odpovědí z dotazníkového šetření „Vliv vládních opatření proti šíření nákazy nemoci COVID-19 na dopravní chování obyvatel v ČR“.
- 2) Odpovědi respondentů z provedeného dotazníkového šetření v podobě elektronických tabulek (MS Excel).
- 3) Disertační práce „Návrh identifikace faktorů ovlivňující objemy dopravy“ v elektronické podobě (pdf).

Příloha C

Vývojový diagram postupných kroků při implementaci návrhu procedury pro identifikaci klíčových indikátorů udržitelné mobility v rámci rozhodování o variantách dopravně-inženýrského projektu na území města

