UNIVERZITA PARDUBICE
DOPRAVNÍ FAKULTA JANA PERNERA
KATEDRA TECHNOLOGIE A ŘÍZENÍ DOPRAVY

INTEGROVANÉ SYSTÉMY VEŘEJNÉ OSOBNÍ DOPRAVY A JEJICH VLIV NA ŽIVOTNÍ PROSTŘEDÍ

DIZERTAČNÍ PRÁCE

AUTOR PRÁCE: ING. RUDOLF MRZENA
ŠKOLITEL: ING. JAROSLAV MATUŠKA, PH.D.

2011

UNIVERSITY OF PARDUBICE
JAN PERNER TRANSPORT FACULTY
DEPARTMENT OF TRANSPORT TECHNOLOGY
AND CONTROL

INTEGRATED SYSTEMS OF PUBLIC TRANSPORT AND THEIR IMPACT ON THE ENVIRONMENT

DOCTORAL DISSERTATION

DOCTORAL: ING. RUDOLF MRZENA
SUPERVISOR: ING. JAROSLAV MATUŠKA, PH.D.

2011

Prohlašuji:

Tuto práci jsem vypracoval samostatně. Veškeré literární prameny a informace, které jsem v práci využil, jsou uvedeny v seznamu literatury. Byl jsem seznámen s tím, že se na moji práci vztahují práva povinnosti vyplývající ze zákona č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména se skutečností, že Univerzita Pardubice má právo na uzavření licenční smlouvy o užití této práce jako školního díla podle § 60 odst. 1 autorského zákona, a s tím, že pokud dojde k užití této práce mnou nebo bude poskytnuta licence o užití jinému subjektu, je Univerzita Pardubice oprávněna ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které na vytvoření díla vynaložila, a to podle okolností až do jejich skutečné výše.

Souhlasím s prezenčním zpřístupněním své práce v Univerzitní knihovně.

V Cerhenicích dne 4.4.2011

Ing. Rudolf Mrzena

ABSTRAKT

Disertační práce řeší problematiku vlivu integrovaných dopravních systémů na okolí ve vztahu k udržitelnému rozvoji dopravy a jejich přínosu ke zlepšení stavu životního prostředí v dané lokalitě. Problematika je řešena pomocí určování a vyhodnocování přínosů a negativ jednotlivých dopravních oborů s využitím technicko-technologických poznatků z oblasti působení uvažovaných dopravních oborů na okolí. Metodika pro vyhodnocování dopadu integrovaných dopravních systémů na životní prostředí je aplikována na zvolené příměstské lince, kde dokládá a porovnává vliv veřejné hromadné dopravy a individuální automobilové dopravy.

KLÍČOVÁ SLOVA

individuální automobilová doprava, integrovaný dopravní systém, metodika, negativní vliv, udržitelný rozvoj dopravy, veřejná hromadná doprava, životní prostředí

ABSTRACT

The dissertation is focused on environmental impact of integrated systems of public transport in relation to sustainable transport development and theirs contributions to the state of the environment and transport in a given locality. Problem is solved by identifying and evaluating the benefits and negatives of transport modes using technical-technological knowledge of the impact of transport on the environment. The application part of dissertation is focused on methodology for impact assessment of integrated systems of public transport on environment.

KEYWORDS

individual motoring, integrated transport system, methodology, negative effect, sustainable transport development, public transport, environment

Poděkování

V úvodu disertační práce bych rád vyslovil poděkování mému školiteli Ing. Jaroslavu Matuškovi, Ph.D. za cenné připomínky, rady a trpělivost, kterých se mi v průběhu celého studia dostávalo.

Poděkování rovněž patří celé řadě akademických pracovníků pardubické univerzity, pracovníkům společností KORID LK, KORDIS Brno, Správa železniční dopravní cesty a České dráhy, kteří mi byli při zpracovávání disertační práce nápomocni.

V neposlední řadě bych rád poděkoval všem, kteří mi vytvořením příznivých podmínek a zároveň svou všestrannou podporou zpracování této práce umožnili a usnadňovali.

Autor

SEZNAM ZKRATEK

B&R	Parkovací systém Bike and Ride
CNG	Stlačený zemní plyn (Compressed Natural Gas)
ČD	České dráhy, a.s.
čtkm	Čistý tunový kilometr
ERÚ	Energetický regulační úřad
EU	Evropská unie
GVD	Grafikon vlakové dopravy
HDP	Hrubý domácí produkt
IAD	Individuální automobilová doprava
IDS	Integrovaný dopravní systém
IDS-JMK	Integrovaný dopravní systém jihomoravského kraje
JŘ	Jízdní řád
K&R	Parkovací systém Kiss and Ride
LPG	Kapalný ropný plyn (Liquefied Petroleum Gas)
MHD	Městská hromadná doprava
NA	Nákladní automobil
OA	Osobní automobil
OECD	Organisation for Economic Co-operation and Developement
oskm	Osobokilometr
OSN	Organizace spojených národů
PHM	Pohonné hmoty a maziva
PID	Pražská integrovaná doprava
P&R	Parkovací systém Park and Ride
tkm	Tunový kilometr
UIC	Union Internationale des Chemins de fer
UNCED	Konference OSN o životním prostředí a rozvoji
VHD	Veřejná hromadná doprava
VRT	Vysokorychlostní trať
VÚŽ	Výzkumný ústav železniční
ŽP	Životní prostředí

OBSAH

1 ÚVOD DO PROBLEMATIKY 9

1.1 DRÁŽNÍ DOPRAVA 9
1.2 SILNIČNÍ OSOBNÍ DOPRAVA 10
1.3 VODNÍ DOPRAVA 11
1.4 INTEGROVANÝ DOPRAVNÍ SYSTÉM 12
1.5 ROZVOJ 13
1.6 UDRŽITELNÝ ROZVOJ 14
1.7 UDRŽITELNÝ ROZVOJ DOPRAVY 15
1.7.1 Definice udržitelného rozvoje dopravy 16
1.8 UDRŽITELNÁ DOPRAVNÍ POLITIKA 16
1.9 STRATEGIE TRVALE UDRŽITELNÉ DOPRAVY 16
1.10 EMISE 17
1.11 IMISE 17

2 CÍL PRÁCE 18

3 STAV VĚDECKÉHO POZNÁNÍ 19

3.1 OMEZENÁ FUNKČNÍ INTEGRACE 19
3.1.1 Tarifní asociace (Tariff association) 19
3.1.2 Dopravní společenství (Transit community) 19
3.2 PLNÁ FUNKČNÍ INTEGRACE 19
3.3 REGULACE DOPRAVY 20
3.3.1 Bezpečnost a spolehlivost 20
3.3.2 Ekonomika 20
3.3.3 Technické a sociální vlivy 21
3.3.4 Dopady 21
3.4 FYZIKÁLNÍ ZÁKLAD VLIVU DOPRAVY NA OKOLÍ 23
3.5 ZÁKLADNÍ PRINCIPY VYHODNOCOVÁNÍ DOPADU DOPRAVY 26
3.5.1 Metodologické problémy 26
3.6 HLAVNÍ DĚLENÍ DOPADŮ 27
3.6.1 Nekvantifikovatelné 27
3.6.2 Kvantifikovatelné, nepřeveditelné na peníze (nebo obtížně) 28
3.6.3 Kvantifikovatelné, převeditelné na peníze 28
3.7 ANALÝZA DOPADŮ NA ŽIVOTNÍ PROSTŘEDÍ - EIA 29

4 SESTAVENÍ METODIKY PRO ŘEŠENÍ PROBLÉMU 32

4.1 METODY PRO ŘEŠENÍ PROBLEMATIKY 32
4.1.1 Indikátory ekologického dopadu dopravy na životní prostředí a Metoda přiblížení dopadu (Impact pathway approach) 32
4.1.2 Porovnání pomocí spotřeby energie během životního cyklu vozidla 32
4.1.3 Vlastní technicko-technologická metoda pro posouzení vlivu dopravy na životní prostředí 32
4.2 VLIV DOPRAVY NA OKOLÍ 33
4.2.1 Pozitivní vlivy (působení) dopravy na okolí 33
4.2.2 Negativní vlivy (působení) dopravy na okolí 33
4.2.3 Integrovaný dopravní systém 34
4.2.4 Organizace příměstské dopravy 34
4.2.5 Projektování dopravních staveb podle zásad udržitelného rozvoje 38
4.2.6 Technická a technologická řešení pro udržitelný rozvoj 39
4.2.7 Emise 40
4.2.8 Využití poznatků vozební mechaniky při posuzování vlivu dopravy na okolí 45
4.2.9 Posouzení rekuperace elektrické energie 50
4.2.10 Spotřeba energie v závislosti na jízdní době 52
4.2.11 Porovnávání vlivu individuální a veřejné hromadné dopravy 55
4.2.12 Porovnání emisí individuální a hromadné dopravy 55
4.2.13 Hluk 59
4.2.14 Zábor půdy a rozdělování krajiny liniovými dopravními stavbami 62
4.2.15 Spotřeba energie a omezených přírodních zdrojů 64

4.2.16 Alternativní paliva ... 64
4.2.17 Znečištění vod a půdy a poškozování okolí při nehodách ... 66
4.2.18 Nehody ... 67
4.3 TECHNICKO-TECHNOLOGICKÁ METODA PRO POSOUZENÍ VLIVU DOPRAVY NA ŽIVOTNÍ PROSTŘEDÍ ... 69
4.3.1 Relativní a absolutní vliv dopravy na okolí ... 71
Absolutní vliv IDS na životní prostředí ... 71
Relativní vliv IDS na životní prostředí ... 72
4.3.2 Posuzování vlivu dopravy na okolí ... 73
5 APLIKACE NAVRŽENÉ METODIKY ... 75
5.1 POSOUZENÍ EMISÍ ... 75
5.1.1 Emise individuální dopravy ... 75
5.1.2 Emise autobusů ... 77
5.1.3 Emise motorové železniční trakce ... 78
5.1.4 Emise elektrické železniční trakce ... 79
5.1.5 Porovnání emisí ... 80
5.2 POSOUZENÍ PROTIHLUKOVÝCH OPATŘENÍ ... 81
5.3 POSOUZENÍ ZÁBORU PŮDY JEDNOTLIVÝMI DOPRAVNÍMI OBORY ... 83
5.3.1 Železnice – dráha celostátní a regionální ... 83
5.3.2 Pozemní komunikace ... 84
5.4 POROVNÁNÍ NEHODOVOSTI MEZI ŽELEZNIČNÍ A SILNIČNÍ DOPRAVOU ... 86
5.4.1 Železniční doprava ... 86
5.4.2 Silniční doprava ... 87
5.5 VYHODNOCENÍ VLIVU IDS A IAD NA ŽIVOTNÍ PROSTŘEDÍ ... 90
6 ZÁVĚR ... 92
SEZNAM POUŽITÝCH INFORMAČNÍCH ZDROJŮ ... 94
SEZNAM OBRÁZKŮ ... 97
SEZNAM TABULEK ... 98

1 ÚVOD DO PROBLEMATIKY

Integrované systémy veřejné osobní dopravy jsou v dnešní době běžným standardem organizování provozu veřejné osobní dopravy nejen ve vyspělých státech Evropy, ale i mimo ni. Organizace dopravy pomocí integrovaných dopravních systémů (IDS) se neuplatňuje jen na území měst, kde se zrodila, ale stále více se rozšiřuje i do okolí měst a městských aglomerací – do regionů.

Integrované dopravní systémy jsou na jedné straně formou rozšíření a zkvalitnění nabídky veřejné hromadné dopravy (VHD) a příspěvkem ke zvýšení její konkurenceschopnosti vůči individuální automobilové dopravě, na straně druhé by měly být příspěvkem ke snížení ekologické a urbanistické zátěže způsobené dopravou, jelikož přispívají ke změně dělby přepravní práce mezi dopravou individuální a hromadnou.

Základním principem IDS je pohled na veřejnou hromadnou dopravu v dané lokalitě jako na jeden celek. Tím je zdůrazněna a podporována vzájemná spolupráce jednotlivých dopravních oborů a jejich vzájemné doplňování. Cílem spolupráce je spokojenost cestujících s přepravními službami (kvalita dopravy – nabídka spojů, dostupnost, rychlost, spolehlivost – přesnost, bezpečnost, pohodlí a samozřejmě cena). Důležitým rysem IDS je účelné využívání všech v místě dostupných dopravních oborů pro zabezpečení kvalitní veřejné hromadné dopravy, mezi něž patří drážní doprava, silniční osobní doprava, příp. i vodní doprava.

1.1 Drážní doprava

V rámci IDS má být drážní doprava páteřním systémem, zajišťujícím přepravu na linkách s nejsilnějšími přepravními proudy. To je dáno zejména jejími technologickými vlastnostmi a vyššími náklady na výstavbu drážní infrastruktury. Mezi drážní dopravu využívanou v IDS patří zejména doprava:

- železniční
    - městská,
    - příměstská,
    - regionální,
    - dálková (meziregionální),
- tramvajová,
- podzemní (metro),

- rychlodrážní,
- trolejbusová,
- lanové dráhy (pozemní i visuté).

Mezi drážní dopravu lze zařadit také některé nekonvenční dopravní systémy, které si stále častěji získávají svou pozici v moderních IDS. Mezi tyto dopravní systémy lze zařadit např. „lehké metro bez řidiče“, např. VAL, tj. *Véhicule Automatique Léger* (Lille, Paříž, Taipei, Chicago), různé monoraily, např. ALWEG tj. *Axel Lennart WEnner-Gren* (Seattle, Los Angeles, Tokio), dráhy na magnetickém polštáři - zejména MAGLEV tj. *MAGnetic LEVitation* a Transrapid (Linimo, Šanghaj), nekonvenční vedené autobusy a trolejbusy, např. O-Bahn, Translohr, Guided Light Transit (Adelaide, Mannheim, Crawley, Nancy, Clermond-Ferrand, Padova) a setrvačníkové tramvaje. Dále velmi významné systémy typu TRAM-TRAIN (Karlsruhe, Zwickau, Paříž, New Persey, Adelaide – zde v kombinaci metro/tramvaj), ať už na bázi tramvajového vozidla schopného jízdy po konvenční železnici (tedy zejména vozidla elektrické trakce), či železničního vozidla schopného jízdy po tramvajové trati, resp. pouliční dráze; zde se jedná nejen o vozidla elektrické trakce, ale v úvahu zde připadají také vozidla nezávislé (motorové) trakce.

Zajímavým počinem v oblasti městské kolejové dopravy je využívání tramvají v nákladní dopravě pro zásobování továren ležících uvnitř obytných oblastí (Drážďany). Tato oblast nesouvisí přímo se zaměřením této práce, ale je uvedena, jelikož s kolejovou MHD sdílí společnou infrastrukturu a dochází tak ke vzájemnému ovlivňování v provozu.

1.2 Silniční osobní doprava

Pozemní doprava, tedy zejména doprava silniční, se většinou využívá jako základní prvek obsluhy území. V menších dopravních systémech je dominantním prvkem, ve velkých dopravních systémech má napájecí funkci pro drážní dopravu a obsluhuje lokality se slabšími přepravními proudy. V integrovaných dopravních systémech se využívá silniční osobní doprava:

- autobusová - včetně nekonvenčních autobusů (např. Gyrobusy, ale i polozávislé trolejbusy tj. s možností jízdy mimo trolejové vedení např. s pomocným spalovacím motorem, popř. akumulátory, kondenzátory či palivovými články),
- TAXI.

Nezastupitelnou úlohu v IDS mají i individuální subsystémy pozemní dopravy (doprava cyklistická a pěší), ale ani individuální automobilová doprava by v rámci optimalizace dopravy území neměla být opomenuta (viz dále).

K pozemní dopravě lze zařadit také některé zvláštní dopravní prostředky používané ve veřejné dopravě, jako jsou např.:

- pohyblivé chodníky,
- pouliční výtahy,
- eskalátory.

1.3 Vodní doprava

V určitých specifických případech daných geografickou polohou území je možno v rámci IDS využívat také:

- přívozy,
- trajekty,
- říční, a případně i námořní (příbřežní) spoje.

Důležitou, a nedílnou, součástí infrastruktury IDS jsou přestupní terminály. Jsou hlavním prvkem propojujícím jednotlivé dopravní obory zúčastněné na integrované obsluze území. Přestupní terminály musí splňovat všechny specifické požadavky zúčastněných dopravních oborů stýkajících se v daném terminálu, jako např. zabezpečení nutného prostoru pro pohyb dopravních prostředků, výkon přepravních a doplňkových činností či bezpečný přestup a pohyb cestujících (nástupiště, přístupové a přestupní komunikace). Nezbytnou součástí přestupních terminálů je informační systém pro cestující, nejlépe akustický i vizuální nebo je možno využít informátorů.

Nezbytnou součástí přestupních terminálů (zejména v okrajových částech města) jsou záchytná parkoviště (P&R, B&R, K&R) pro zprostředkování návaznosti individuální dopravy na dopravu veřejnou.

V době, kdy jsou již IDS dobře zavedeny a kdy dochází k jejich postupnému rozšiřování, může vznikat i nový problém týkající se problematiky IDS. Tím je takové rozrůstání „sousedících“ IDS, že dochází k jejich bezprostřednímu dotyku a je nutno řešit

vztah a návaznost těchto sousedních IDS – integrace integrovaných dopravních systémů; v některých případech lze očekávat i celostátní integraci veřejné dopravy.

Je jisté, že i prostředky hromadné dopravy ovlivňují negativním způsobem životní prostředí.

Cílem této práce je vytvořit metodiku na posouzení vlivu integrovaných dopravních systémů na životní prostředí, tj. vytvořit metodiku pro měření a porovnávání vlivu IDS s individuální automobilovou dopravou, a poskytnout tak prostředek pro rozhodování o dopravě orgánům státní správy (resp. místní samosprávy).

1.4 Integrovaný dopravní systém

Úvodem je nutno uvést též základní pojmy, činnosti a procesy, které se týkají zkoumané problematiky:

- integrovaný dopravní systém je systém veřejné osobní dopravy charakteristický časovou, prostorovou, přepravní a tarifní integrací dvou nebo více druhů dopravy [7],
- integrovaný dopravní systém je systém obsluhy území, který pojímá jednotlivé druhy systému veřejné dopravy jako ucelený systém po stránce tarifní, přepravní a provozní [14].

Z hlediska zaměření této práce se jeví jako vhodnější druhá definice integrovaného dopravního systému, protože klade důraz také na provozní stránku integrovaného systému.

Organizace dopravní obsluhy území formou IDS má oproti běžné organizaci dopravní obsluhy (jednotliví dopravci nezávisle na sobě) složitější strukturu, což nese výhody i nevýhody. V případě běžné organizace dopravní obsluhy území jednotlivými na sobě nezávislými dopravci je zde jednoduchá struktura řízení, každý dopravce má svůj – relativně jednoduchý a tudíž přehledný - tarifní systém. Nevýhody – téměř nemožná spolupráce dopravců a tudíž většinou nevýhodné, nebo žádné, přestupní vazby, nevhodné rozložení dopravy na společných úsecích linek (nerovnoměrné rozložení spojů, souběhy) a naopak dlouhé intervaly na ostatních úsecích, tarifní nejednotnost a z toho plynoucí komplikace a vyšší celková cena za přepravu při jízdě s více dopravci, různé přepravní podmínky

(přepravní řády)[1]. Důsledkem všech těchto negativ je neatraktivnost veřejné hromadné dopravy pro cestující a jejich následný přechod k dopravě individuální, vesměs automobilové, se všemi jejími negativními důsledky na dopravu a její okolí.

1.5 Rozvoj

Vliv dopravy na okolí nelze posuzovat bez vztahu dopravy k udržitelnému rozvoji a k udržitelnému rozvoji dopravy. Proto také snaha o pozitivní působení dopravy na okolí není ničím jiným než praktickou aplikací zásad udržitelného rozvoje dopravy.

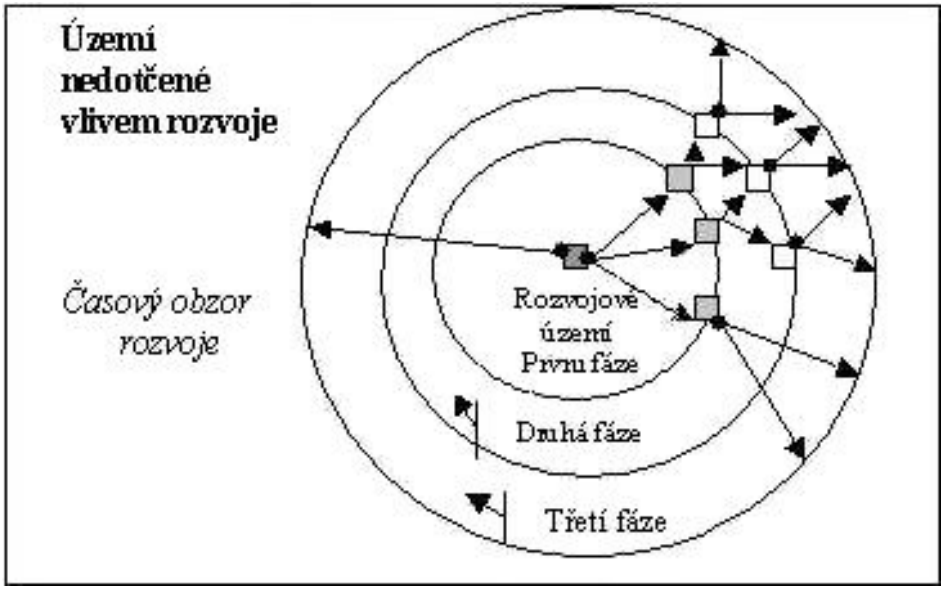
Před samotnou definici udržitelného rozvoje je nutné nejprve definovat rozvoj v obecné rovině.

Rozvoj je možno definovat mnoha různými způsoby. Lze říci, že každý vědní obor a každý autor definuje pojem *rozvoj* jinak. Například Beran a Dlask ve [3] definují *rozvoj* jako: *Proces zlepšování pomocí rozšiřování, zvětšování nebo zdokonalování*. Dále rozvoj podmiňují technickými schopnostmi.

Tedy: Rozvoj je posuzován ve dvou rovinách – v rovině zkvalitňování, kdy není možno dosáhnout rozvoje bez uplatňování technických vynálezů a technických a technologických inovací; a v rovině růstu, kdy je rozvoj dosahován rozšiřováním a zvětšováním (velikosti systému a vozidel, působnosti, zvětšováním atrakčních obvodů).

Rozvoj v rovině zkvalitňování je převážně rozvojem s pozitivním vlivem na okolí, nebo přinejmenším snižuje negativní působení na okolí. Naopak rozvoj v rovině růstu nemusí být vždy spojován s pozitivním vlivem na okolí, což je možno ukázat například na vlivu rozšiřování komunikací nebo intenzivního růstu počtu dopravních prostředků. Pozitivně v rovině růstu může působit například růst linek hromadné dopravy provázený snížením intenzity individuální dopravy.

[1] Jednotné podmínky pro drážní a silniční dopravu jsou dané ve Vyhlášce Ministerstva dopravy a spojů č. 175/2000 Sb. (přepravní řád pro veřejnou drážní a silniční osobní dopravu)



Obr. 1 Znázornění rozvoje jako etapovitého šíření v čase. Zdroj: Dlask, P. v [3]

1.6 Udržitelný rozvoj

Udržitelný rozvoj je takový rozvoj, který současným i budoucím generacím zachová možnost uspokojovat jejich základní životní potřeby a současně nesnižuje rozmanitost přírody a zachovává přirozené funkce ekosystémů [3].

Ekonomický pohled na udržitelný rozvoj jej definuje jako nutnost zajistit udržitelné chování spotřeby při konzumu spotřebních artiklů a objemu výroby při pořizování komerčních komodit [3].

Procesní definice udržitelného rozvoje: Udržitelný rozvoj je taková symbióza lidské společnosti s životním prostředím, která neustále hledá a nalézá rovnováhu rozvoje lidské společnosti, umělých a přírodních ekosystémů [8].

Systémová definice udržitelného rozvoje: Udržitelný rozvoj je podmíněn takovou změnou materiálových a energetických toků mezi lidskou společností, umělými a přírodními ekosystémy, která povede k dynamické rovnováze bez katastrofických výkyvů a nevratných negativních změn v celém systému biosféry [8].

Z předešlých definic vyplývá, že udržitelný rozvoj je dosti obtížné jednotně definovat. Při hlubším zkoumání se zjistí, že se jedná o trvalé spotřebovávání omezených (konečných) zdrojů v kombinaci se zdroji relativně neomezenými - obnovitelnými, což mnozí autoři

považují za nemožné. Nezbytnou podmínkou udržitelného rozvoje proto musí být šetrné spotřebovávání omezených zdrojů spojené s jejich důslednou recyklací, a s již zmíněnými technickými a technologickými inovacemi, protože mnohé suroviny prozatím není možno vícenásobně recyklovat („donekonečna“) beze změny jejich kvality a povahy. Velmi důležitou součástí udržitelného rozvoje je, jak již bylo uvedeno, také **důsledné využívání obnovitelných zdrojů** (jak energie tak i surovin). Zde je nutné poznamenat, že extenzivní využívání zemědělství pro produkci obnovitelných zdrojů energie, ať už pro energetiku, nebo pohonných hmot pro dopravu, na úkor produkce potravin, má negativní důsledky na soběstačnost států v zásobování obyvatelstva potravinami, a může vést až k ekonomické nestabilitě celých kontinentů.

1.7 Udržitelný rozvoj dopravy

Udržitelný rozvoj dopravy je takový způsob rozvoje, který uspokojuje potřeby přítomnosti, aniž by oslaboval možnosti budoucích generací naplňovat jejich vlastní potřeby. Dle závěrů Johannesburského summitu je udržitelný rozvoj dopravy vnímán jako hlavní východisko rozvoje společnosti založeného na harmonickém sladění ekonomického růstu, sociální spravedlnosti a ochrany životního prostředí [14].

Tato definice převzatá ze [14] ovšem udržitelný rozvoj dopravy příliš nespecifikuje; je to více definice udržitelného rozvoje obecně, než udržitelného rozvoje dopravy.

Udržitelná doprava (dopravní systém) musí splňovat tři základní kritéria, aby ji bylo možno považovat za udržitelnou:

a) musí být udržitelná ekologicky – tj. zohlednit úroveň souvisejících vlivů na lidskou společnost a zátěž, kterou životní prostředí unese;
b) musí být udržitelná ekonomcky – tj. nesmí vyžadovat podstatně vyšší náklady na provoz a vybavení než může být zaplaceno z jejího přínosu;
c) musí být udržitelná společensky – tj. musí uspokojovat základní dopravní potřeby většiny obyvatel.

Nutnost užívání udržitelných principů vede ke stanovení určitých priorit. Změna současného trendu a přizpůsobení dopravního sektoru těmto principům povede ke změnám - a to ne pouze technologickým jako doposud, ale také v přístupu občanů k dopravě, v organizaci lidských aktivit, územního plánování a osídlení.

1.7.1 Definice udržitelného rozvoje dopravy

Jelikož se v dostupné literatuře nepodařilo nalézt uspokojivou definici *udržitelného rozvoje dopravy*, byla v rámci této práce sestavena následující vlastní definice udržitelného rozvoje dopravy:

Udržitelný rozvoj dopravy je takový rozvoj dopravy, který rostoucí poptávku po dopravě uspokojí vhodnou dělbou přepravní práce mezi jednotlivé dopravní obory, s využitím nových technických a technologických poznatků tak, že celkové působení dopravy na okolí[2] bude v rovnováze s možnostmi společnosti, a to při minimální spotřebě energie.

S udržitelným rozvojem dopravy úzce souvisí *udržitelná dopravní politika* a *strategie trvale udržitelné dopravy*.

1.8 Udržitelná dopravní politika

Obecným cílem udržitelné dopravní politiky je vytvoření podmínek pro takové přemisťování osob a zboží, které je funkční, bezpečné a ekonomické a zároveň není v rozporu s udržitelnou spotřebou přírodních zdrojů. Vytvoření a uplatňování cílů udržitelné dopravní politiky je obtížným úkolem – jakékoliv omezování dopravy je problematické, zejména vzhledem k provázanosti dopravy s ekonomikou a společenským životem společnosti. Extenzivní rozvoj se daří ovlivňovat ve většině zemí jen s největšími obtížemi. Řešením rozvoje dopravy je potom prosazování a využívání nových technologií a jasná a akceptovatelná koncepce rozvoje dopravy.

1.9 Strategie trvale udržitelné dopravy

Strategie trvale udržitelné dopravy je nedílnou součástí udržitelného rozvoje celé lidské společnosti. Konference OSN již v roce 1976 doporučila tuto globální dopravní strategii vytvořenou na ekonomicky a ekologicky udržitelných principech. Od té doby společnost začíná vnímat vztah dopravy a životního prostředí. Podpora udržitelných dopravních systémů byla jednou z osmi programových oblastí Agendy 21 konference UNCED v Rio de Janeiru. V dopravní části program podporuje rozvojové země v oblasti

[2] např. hluk, emise, zábor půdy

vytváření komplexního přístupu k městskému dopravnímu plánování a k managementu zaměřenému na veřejnou dopravu a nemotorové dopravní prostředky.

1.10 Emise

Emisemi (škodlivin) se rozumí vypouštění znečišťujících látek ze zdroje do ovzduší. Jsou anorganického i organického původu.

Významným původcem emisí škodlivých látek je mj. i doprava. Disertační práce uvažuje emise, nikoliv imise. Množství emisí škodlivin vyprodukovaných jednotlivými dopravními obory i dopravou jako systémem lze ovlivnit různými způsoby.

1.11 Imise

Imise škodlivin jsou důsledkem emisí a působí negativními vlivy v určitém prostředí. Množství znečišťujících látek ve vzduchu se vyjadřuje pomocí koncentrací, zejména v jednotkách hmotnosti na jednotkový objem. Působení a důsledky imisí spadají zejména do problematiky ekologie.

Úvodní část disertační práce definuje integrovaný dopravní systém a jednotlivé dopravní subsystémy podílející se na zajišťování veřejné osobní dopravy. Důležité je pojmenování (udržitelného) rozvoje a udržitelného rozvoje dopravy. Z analyzovaných zdrojů informací je zřejmý relativně široký rozptyl v definici těchto pojmů obecně i ve vztahu k dopravě. Proto byla navržena vlastní definice udržitelného rozvoje dopravy.

2 CÍL PRÁCE

Cílem disertační práce je vytvoření metodiky pro posouzení vlivu integrovaných dopravních systémů v osobní dopravě na udržitelný rozvoj dopravy. Pomocí vytvořené metodiky bude testována následující hypotéza:

Integrované dopravní systémy v osobní dopravě přispívají k udržitelnému rozvoji dopravy.

Tedy, zda integrované dopravní systémy svou existencí, kvalitou a atraktivitou pro cestující veřejnost i pro provozovatele (zadavatele) přispívají ke snížení negativního vlivu dopravy na okolí. Zkoumáno bude, zda veřejná hromadná doprava organizovaná formou integrovaných dopravních systémů přispívá ke snížení emisí škodlivin do ovzduší, emisí hluku, k odstranění kongescí a tím k nižší spotřebě cestovního času, pohonných hmot a k efektivnějšímu využívání infrastruktury, a tím k dosažení udržitelného rozvoje dopravy.

3 STAV VĚDECKÉHO POZNÁNÍ

Problematikou vlivu dopravy na životní prostředí se vzhledem k závažnosti a šířce problematiky zabývá u nás i ve světě mnoho autorů i výzkumných týmů. Z analyzovaných zdrojů informací byly zjištěny následující skutečnosti.

V.R. Vuchic uvádí v [10] několik druhů integrovaných systémů, lišících se stupněm integrace.

3.1 Omezená funkční integrace

Není IDS v pravém slova smyslu, ale je spíše jen jistou „vyšší formou spolupráce“ mezi dopravními společnostmi. Omezenou funkční integraci lze dále dělit na tarifní asociaci a dopravní společenství.

3.1.1 Tarifní asociace (Tariff association)

Dopravní společnosti spolupracují jen na poli tarifním – platí společné jízdné, které se podle určeného klíče dělí mezi jednotlivé společnosti. Dále je tarifní asociace charakteristická tím, že zúčastněné společnosti si nekonkurují a obyčejně mají v „end-to-end“ dopravě vytvořené návaznosti mezi svými spoji.

3.1.2 Dopravní společenství (Transit community)

Dopravní společnosti spolupracují nejen tarifně (viz Tarifní asociace), ale mají i společné jízdní řády s koordinovanými přípoji. Dále se zde připouští i spolupráce formou vozidlového poolu, tj. společné využívání vozidel všech zúčastněných dopravních společností.

3.2 Plná funkční integrace

Plnou funkční integrací se rozumí integrace všech služeb pro zabezpečení veřejné dopravy různými dopravními společnostmi. Uvádí ji též pod názvem „Transit federation“ resp. „Verkehrsverbund“ – jelikož Německo jako první zavedlo tuto plnou integraci ve veřejné dopravě. Plnou funkční integraci charakterizuje jako takový dopravní systém, ve kterém všechny zúčastněné společnosti zastupuje koordinátor, který je zodpovědný za veškerou organizaci provozu včetně distribuce JŘ, jízdenek apod. Vůbec první

„Verkehrsverbund“ vznikl v polovině 60. let 20. stol. v Hamburku – Hamburger Verkehrsverbund (HVV), který slučuje metro, tramvaje, autobusy, přívozy a S-Bahn[3].

V České republice je plnou funkční integrací např. systém Jihomoravského kraje (IDS-JMK s koordinátorem KORDIS), nebo pražský systém PID s koordinátorem ROPID.

Plná funkční integrace je nutná pro zabezpečení efektivní a ekologické dopravy v regionu. Zastřešuje následující hlavní funkce:

- plánování dopravní sítě, linek a přestupních bodů,
- příprava koordinovaných JŘ a nasazení vozidel,
- příprava a zavedení společného tarifu,
- výběr jízdného a jeho rozdělení mezi jednotlivé dopravce,
- vztahy s veřejností včetně distribuce veřejných JŘ,
- spolupráce s různými úrovněmi státní správy podílejícími se na financování VHD.

3.3 Regulace dopravy

Základní podmínkou pro dosažení udržitelného rozvoje dopravy je její *regulace.* V [10] se uvádějí následující druhy regulace dopravy, které člení podle předmětu a účelu:

3.3.1 Bezpečnost a spolehlivost

- zajištění bezpečnosti cestujících a ostatních osob potenciálně ohrožených dopravou.

3.3.2 Ekonomika

- přístup na síť, provoz, jízdné,
- zajištění ziskovosti a trvalosti služeb a prevence událostí, které mohou ohrozit trvalost služeb,
- opatření proti předražení služeb,
- předcházení ztrátám provozovatelů veřejné dopravy způsobených souběhy linek, nedovolenou konkurencí apod.

[3] S-Bahn – městská nebo příměstská železnice (rychlodráha), vykládá se jako zkratka z německého Stadtschnellbahn, Stadtbahn nebo Schnellbahn

3.3.3 Technické a sociální vlivy

- zavádění a testování technických a technologických inovací,
- zajištění mobility a speciálních služeb pro určité skupiny lidí, geografické oblasti, druhy cest apod., které jsou sociálně potřebné a žádané (přeprava zdravotně postižených osob, sleva pro dojíždění do škol a pro seniory).

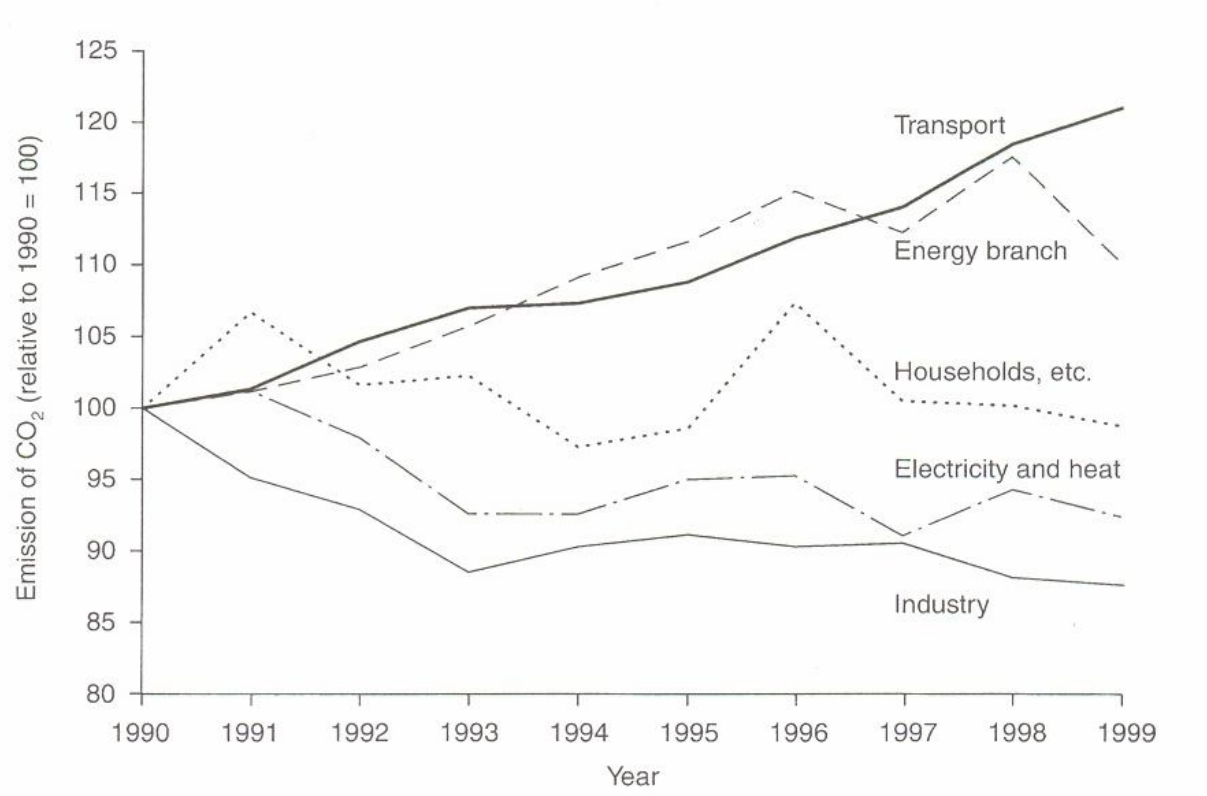
3.3.4 Dopady

- minimalizace negativních a maximalizace pozitivních dopadů na okolí, životní prostředí, městský ráz a kvalitu života.

Na integrované dopravní systémy se v [10] nahlíží zejména z pohledu jeho organizace, regulace a zavedení. Menší důležitost je zde věnována samotnému faktu, proč by IDS měly vznikat.

Hlavní důvod vzniku IDS (vztah dopravy a životního prostředí) je sledován v [9]. Jedná se zejména o vliv dopravy na životní prostředí a na kvalitu života s následnou nutností regulace dopravy. Dále jsou zde sledovány některé indikátory pro posouzení vlivu dopravy na životní prostředí.

Jako hlavní příčinu poškození životního prostředí dopravou uvádí emise CO_2, které produkuje zejména silniční doprava. Na celkové produkci CO_2 se doprava podílí 29%, přičemž silniční doprava 24%, letecká doprava 4% a 1% společně vnitrozemská vodní a železniční doprava. Emise CO_2 jsou uvedeny v obrázku 2.



Obr. 2 Trend emisí oxidu uhličitého v EU. Zdroj: EUROSTAT

Graf na obr. 2 znázorňuje neustálý růst emisí CO_2 produkovaných dopravou, naopak u ostatních aktivit, jako je energetika, spotřeba domácností, průmysl atd., se podařilo dosáhnout poklesu emisí CO_2.

Růst dopravy se sleduje z hlediska rychlosti růstu HDP. V mnoha zemích je růst dopravy stejný jako růst HDP, ale ve vyspělých zemích dochází k 2 - 3x rychlejšímu růstu letecké dopravy než HDP. Po teroristických útocích v roce 2001 a v období hospodářské krize na přelomu 1. a 2. desetiletí 21. stol. došlo k poklesu výkonů letecké dopravy, ale od roku 2010 již dochází k mírnému oživení. U silniční dopravy, v závislosti na rozvoji logistických řetězců, se uvádí růst mnohem vyšší než je růst HDP. Naproti tomu výkony vodní (vnitrozemské a pobřežní) dopravy, železniční a autobusové dopravy rostou pomaleji než HDP.

Tedy, ekologicky nepříznivé dopravní obory rostou rychleji než ty ekologicky příznivější. Jako důvod se v [10] uvádí, že ekologické výhody nejsou reflektovány ekonomicky – cenovou diferenciací – chybí internalizace externích nákladů. Teprve po zohlednění těchto nákladů budou ekologicky příznivější dopravní obory komerčně úspěšné.

3.4 Fyzikální základ vlivu dopravy na okolí

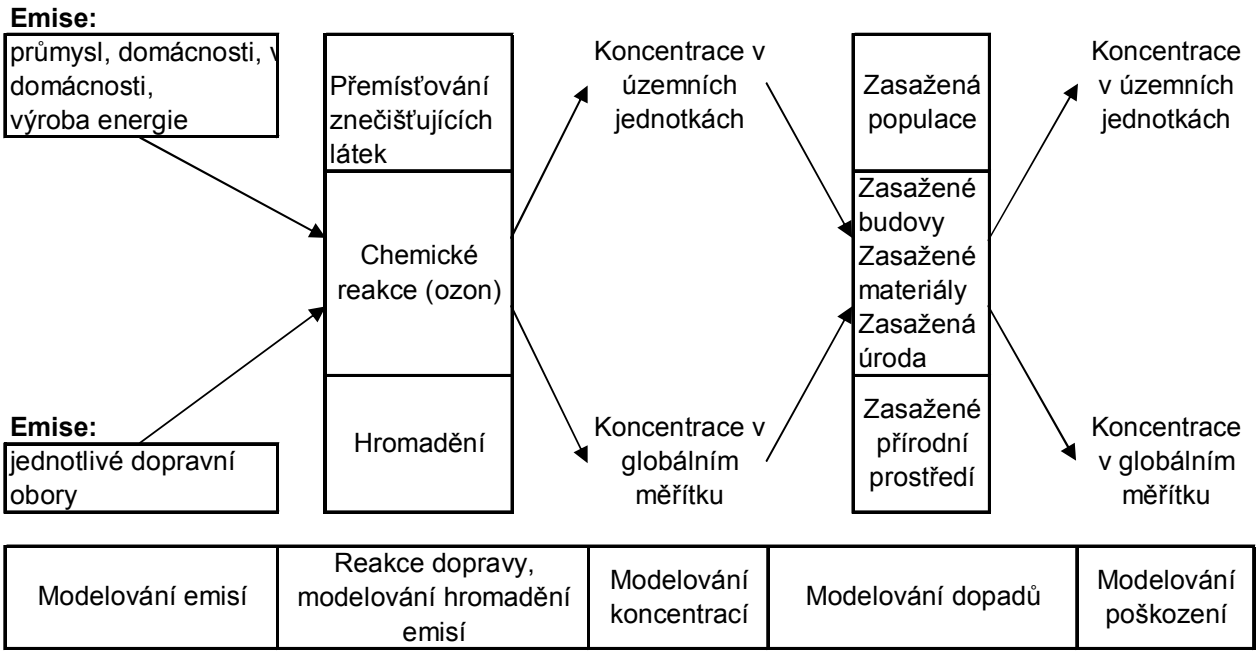
Stěžejním přínosem [10] je pojmenování fyzikálního základu vlivu dopravy na životní prostředí. Jako jedena z mála prací uvádí indikátory pro posuzování ekologického dopadu jednotlivých dopravních oborů. Mezi hlavní indikátory patří:

- hluk,
- znečištění ovzduší (emise),
- změny klimatu,
- porušení přírody, krajiny a vody,
- rozdělování městských částí dopravními stavbami,
- zábor prostoru v městských aglomeracích,
- snížení rozhledu do krajiny,
- nehody.

Jako další ukazatele uvádí:

- produkce primární energie,
- výroba vozidel a jejich servis,
- budování infrastruktury a její údržba.

Jsou zde uvedeny indikátory fyzikálního vlivu dopravy na životní prostředí, ale tyto indikátory nejsou doplněny hodnotícím hlediskem – mírou dopadu na životní prostředí, vyčíslením této míry a stanovením příslušných limitů.



Obr. 3 Řetězec dopadů na poškození životního prostředí. Zdroj: Rotthengatter 2003 [9]

Obr. 3 zobrazuje na příkladu emisí z dopravy a ostatních odvětví lidské činnosti, původ, lokalizaci a dopad (na životní prostředí) způsobený jedním vlivem (indikátorem). Na principu uvedeném na obr. 3 se uvádějí a pojmenovávají všechny indikátory vlivu dopravy na životní prostředí.

S. Potter ve svém pojednání „Energie pro dopravu a emise: Městská hromadná doprava“ uvedeném v [9] uvádí spotřebu energie a emise, které se váží k celému životnímu cyklu vozidla. Podle OECD palivo spotřebované během životnosti vozidla (automobilu) tvoří 80-90% energie na celý životní cyklus tohoto vozidla. Zbývajících 10-20% připadá na výrobu vozidla. V emisích CO_2 je situace mírně odlišná, pouhých 9% připadá na výrobu vozidla, 76% jsou emise způsobené spalováním paliva při provozu a zbývajících 15% emisí se uvolní během výroby a distribuce paliva.

Z toho vyplývá, že pro snížení celkových emisí silniční dopravy, je třeba zaměřit se především na vlastní vozidlo a jeho motor, resp. pohonný systém. Zde ale [9] neuvádí tu skutečnost, že i když se podaří zkonstruovat a do provozu zavést ekologicky příznivější automobily, tak díky rychlému růstu počtu automobilů a přepravních výkonů tyto „čistší“ automobily produkují více škodlivin.

A. Bonnafous a Ch. Raux v „Dopravní emise a energie – Železnice“ [9] uvádějí srovnání různých dopravních oborů z hlediska energetické náročnosti a emisí. Například v Evropě přepočtený 1 kg paliva odpovídá:

- 19,0 oskm v osobním automobilu,
- 82,6 oskm ve vysokorychlostním vlaku,
- 57,6 tkm nákladním automobilem (nosnost 25 t),
- 128,2 tkm nákladním vlakem.

Emise jednotlivých dopravních oborů v osobní dopravě uvádí následující tabulka 1.

Tabulka 1: Spotřeba energie a emise na 1 oskm v dálkové dopravě

Dopravní prostředek	**spotřeba energie** (MJ/oskm)	**emise (g/oskm)**			
		CO_2	**NO_x**	**těkavé organické sloučeniny**[4]	**SO_2**
Letadlo 500 km	2,2	160	0,47	0,06	0,05
Letadlo 1500 km	1,6	115	0,4	0,03	0,05
Automobil benzínový, 2 cestující	1,5	110	0,08	0,03	0,02
Automobil naftový, 2 cestující	1,3	100	0,39	0,05	0,03
Automobil naftový, 1 cestující	3,2	235	0,76	0,09	0,07
Vlak vysokorychlostní	0,7	40	0,24	0,01	0,06
Vlak konvenční	0,8	50	0,28	0,01	0,07
Autobus	0,3	20	0,29	0,02	0,01

Zdroj: [9]

Z údajů v tabulce vyplývá, že emise hromadných dopravních prostředků jsou výrazně nižší, než emise produkované automobily. To je způsobeno vyšší obsaditelností prostředků VHD a tím i nižšími emisemi na 1 oskm. Vliv zde nehraje např. elektrický pohon vlaků, jelikož tabulka uvádí přepočtené palivo a emise provázející výrobu elektřiny jsou tak zahrnuty v uvedených hodnotách.

[4] těkavé organické sloučeniny – též VOC (Volatile organic compounds) – jakákoliv organická sloučenina s bodem varu do 250 °C za normálního atmosférického tlaku 101,3 kPa, např. isopren, terpeny, aceton, atd.

3.5 Základní principy vyhodnocování dopadu dopravy

E. Quinet uvádí ve svém článku „Vyhodnocení dopadů na životní prostředí“ základní principy vyhodnocování dopadu dopravy na životní prostředí. Na toto vyhodnocení se zaměřuje z několika různých pohledů:

- estetický dopad infrastruktury a vozidel na krajinu,
- dopady na ekosystémy (znečištění spodní vody, snížení biodiversity - snížení počtu druhů rostlin a živočichů, změna krajiny),
- hluk a vibrace na zemi, ve vodě a ve vzduchu,
- lokální a regionální znečištění ovzduší,
- skleníkový efekt,
- dopad na města (zábor půdy, komunikační bariéry – omezení pohybu chodců
- ve městě),
- spotřebovávání neobnovitelných zdrojů,
- kongesce.

3.5.1 Metodologické problémy

Základem je určení druhu dopadu na životní prostředí; na co má vliv (na jakou část životního prostředí) a zda je dopad fyzikální či ekonomické povahy. Na základě těchto dat se vytváří tabulka pro „Přiblížení dopadu“ (Impact pathway approach), která má dva sloupce – fyzikální a ekonomický dopad. Tabulka slouží pro kvantifikaci externích nákladů.

Obr. 4 Přiblížení dopadu pro kvantifikaci marginálních externích nákladů.
Zdroj: Friedrich a Bickel 2002 [9]

Tuto tabulku dle obr. 4 je třeba vytvořit pro každý faktor s dopadem na životní prostředí. Vyhodnocení typu dopadu: všechny faktory ovlivňující životní prostředí dopravou se následně podrobně vyhodnotí a nekvantifikovatelné dopady se převedou na peněžní ohodnocení.

Opět zde chybí stanovení limitů a návrh opatření proti negativním vlivům dopravy na okolí.

3.6 Hlavní dělení dopadů

Hlavní dělení dopadů je zde uvedeno zejména s ohledem na možnosti jejich vyčíslení a převoditelnosti na peněžní ohodnocení.

3.6.1 Nekvantifikovatelné

- převážně vlivy pocitového nebo subjektivního charakteru.

3.6.2 Kvantifikovatelné, nepřeveditelné na peníze (nebo obtížně)

- ekosystémy,
- vliv na města,
- neobnovitelné zdroje.

3.6.3 Kvantifikovatelné, převeditelné na peníze

- znečištění ovzduší,
- místní a regionální znečištění,
- globální znečištění,
- hluk,
- růstové a úpadkové dopady.

Tabulka 2: Vyhodnocení dopadů emisí vozidel

Emise	Popis	Zdroj	Škodlivý efekt	Míra
CO	Jedovatý plyn, znemožňující vazbu kyslíku v krvi	spalovací motory	Lidské zdraví, změny klimatu	velice lokální
částice	částice paliva a uhlíku	naftové motory	lidské zdraví, estetika	lokální a regionální
prach	částice prachu vytvořené pohybem vozidel	použití vozidel	lidské zdraví, estetika	lokální
NO_x	různé složky, většinou jedovaté, poškozují ozón	spalovací motory	lidské zdraví, ozónová vrstva	regionální
uhlovodíky	nespálené palivo	výroba paliva a spalovací motor	lidské zdraví, ozónová vrstva	regionální
těkavé organické sloučeniny	různé složky, aerosoly	výroba paliva a spalovací motor	lidské zdraví, ozónová vrstva	lokální a regionální
jedy (např. benzen)	těkavé organické látky které jsou jedovaté a karcinogenní	výroba paliva a spalovací motor	lidské zdraví	velice lokální
přízemní O_3	hlavní problém znečištění ovzduší ve městech, způsobený Nox a těkavými sloučeninami	NOx a těkavé částice	lidské zdraví, rostliny, estetika	regionální
SO_x	kyselé deště	naftové motory	lidské zdraví, kyselé deště	regionální
CO_2	produkt spalování	výroba paliva a spalovací motor	změny klimatu	globální
CH_4	významný skleníkový efekt	výroba paliva a spalovací motor	změny klimatu	globální
freony	trvalé chemikálie, dříve hojně používané, dnes omezené použití	vozidla (staré typy klimatizací)	poškození ozónové vrstvy	globální

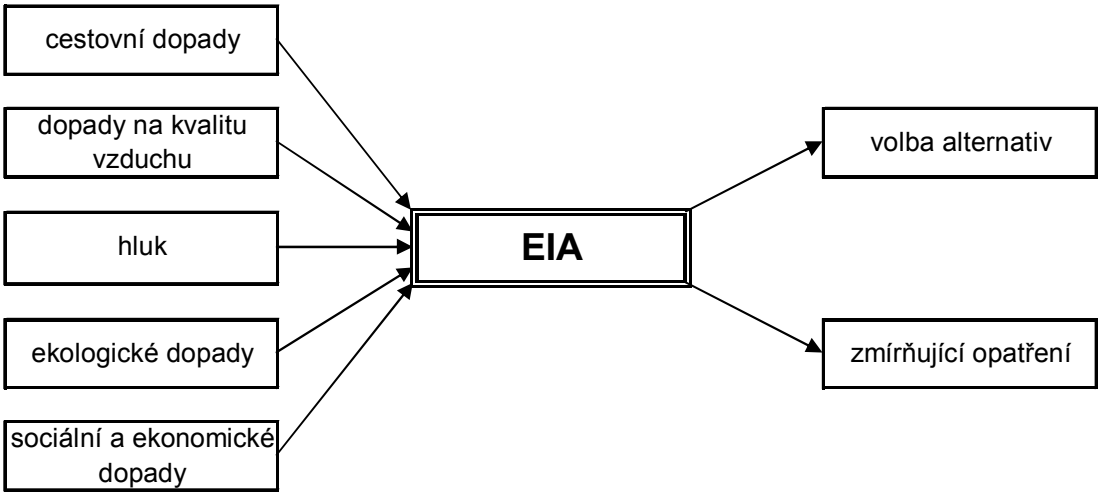
Zdroj: [9]

Tabulka 2 uvádí vyhodnocení kvantifikovatelných dopadů na příkladu emisí. V tabulce je uveden slovní popis jednotlivých emisních látek, jejich zdroj, jaký je jejich škodlivý efekt a plošná míra dopadu. Obdobné tabulky je možné vytvořit i pro jiné dopady dopravy na životní prostředí.

3.7 Analýza dopadů na životní prostředí - EIA

S.L.Dhingra a kol. se zabývají nástrojem EIA – Analýza dopadů na životní prostředí (Environmental impact analysis), jakožto nástrojem pro podporu rozhodování v dopravě.

Popisují metodu EIA a vyhodnocení pomocí jí získaných dat. Princip metody EIA přibližuje následující obrázek:



Obr. 5 Implementace EIA v dopravě. Zdroj: Dhingra 2003 [9]

V analýze EIA se jednotlivé znečišťující faktory vyčíslují pomocí vzorců, z nichž např. znečištění ovzduší následovně:

$$API = \frac{1}{4}\left(\frac{C_{SO_2}}{SO_2 std} + \frac{C_{NO_X}}{NO_X std} + \frac{C_{SPM}}{SPMstd} + \frac{C_{CO}}{COstd} \right) \quad [-] \qquad (1)$$

kde: API – index znečištění ovzduší (Air pollution index) [-],

C_{SO_2} – zjištěné koncentrace SO_2 [$\mu g/m^3$],

C_{NOx} – zjištěné koncentrace NO_X [$\mu g/m^3$],

SPM – zjištěné koncentrace SPM[5] [$\mu g/m^3$],

CO – zjištěné koncentrace CO [$\mu g/m^3$],

SO_2std – limit pro znečištění SO_2 [$\mu g/m^3$],

NO_Xstd – limit pro znečištění NO_X [$\mu g/m^3$],

SPMstd – limit pro znečištění SPM [$\mu g/m^3$],

COstd – limit pro znečištění CO [$\mu g/m^3$].

[5] SPM (Suspended particulate matter) – znečištění rozptýlenými pevnými částicemi, aerosoly; v dalším textu je používána zaužívanější zkratka PM.

Jelikož dopad na životní prostředí jednotlivých látek je různý, konečné vyčíslení se provede pomocí váženého aritmetického průměru.

Negativní působení hluku se vyčísluje podle standardů amerického dálničního úřadu (US Federal Highway Administration) dle vzorce:

$$L_{eqi}(h) = \overline{L_{oE_i}} + 10\log\left(\frac{N_i}{S_i T}\right) + 10\log\left(\frac{15}{d}\right)^{1+\alpha} + \delta_S - 15 \quad \text{[dB]} \tag{2}$$

kde: $L_{eq\,i}(h)$ – ekvivalentní úroveň hluku v hodině h u vozidla i-tého typu [dB],
L_{0Ei} – normovaný hluk vozidla i-tého typu (OA - 55 dB, NA - 65 dB) [dB],
N_i – počet vozidel i-tého typu, která v čase T projedou sledovaným úsekem [-],
S_i – průměrná rychlost vozidla i-tého typu na sledovaném úseku [km/h],
T – doba, po kterou je L_{eq} požadováno (většinou T = 1 hod) [h],
d – vzdálenost měřícího zařízení od zdroje hluku [m],
α – faktor pohlcování hluku prostředím v okolí měření [-],
δ_S – ochranný faktor protihlukových opatření (protihlukových stěn) [-].

Následně se všechny získané hodnoty (znečištění vzduchu, hluk, ekologické dopady – vegetace, sociální a ekonomické dopady a přepravní dopady) vyhodnotí podle metody (vyhodnocovacích tabulek) uvedených v [9]. Tento postup byl použit např. při plánování dopravní obsluhy města Bombaj v Indii.

Kapitola uvádí některé existující metody pro určení vlivu dopravy na životní prostředí. Tyto metody se však většinou nezabývají vyčíslením tohoto vlivu. Dále je uvedeno rozčlenění a pojmenování těchto vlivů. V dalších částech disertační práce se vychází zejména z rozčlenění vlivů a určení jejich dopadu na životní prostředí.

4 SESTAVENÍ METODIKY PRO ŘEŠENÍ PROBLÉMU

V rámci sestavení metodiky jsou nejprve uvedeny teoretické podklady, technická a technologická opatření pro regulaci vlivu dopravy na okolí a organizační řešení používaná v rámci zajištění obsluhy území formou integrovaných dopravních systémů.

Důležité je pojmenování a určení vlivů dopravy na okolí, výběr vhodných kritérií, sestavení výpočetních mechanismů a pomocí nich vyčíslení negativních vlivů jednotlivých dopravních oborů. Závěrem je třeba vyhodnotit celkový vliv dopravy v dané lokalitě.

4.1 Metody pro řešení problematiky

Uvedené metody a jejich popis je uveden v kapitole 3, zde jsou uvedeny metody používané při určení vlivů dopravy na okolí.

4.1.1 Indikátory ekologického dopadu dopravy na životní prostředí a Metoda přiblížení dopadu (Impact pathway approach)

- slovní popis fyzikálních a ekonomických dopadů dopravy na životní prostředí, bez vyhodnocení,
- použity při určení dopadů dopravy na životní prostředí a jejich rozčlenění na negativní a pozitivní.

4.1.2 Porovnání pomocí spotřeby energie během životního cyklu vozidla

- na základě porovnání spotřeby energie během životního cyklu vozidla je další řešení soustředěno na provozní část životního cyklu vozidel a jejich přepravních výkonů. Výroba vozidel a výstavba infrastruktury není dále – vzhledem k zaměření disertační práce rozpracovávána.

4.1.3 Vlastní technicko-technologická metoda pro posouzení vlivu dopravy na životní prostředí

- podrobný popis a sestavení samotné metodiky je uveden v kapitole 4.3 Metodika řešení disertační práce.

4.2 Vliv dopravy na okolí

V užším smyslu je možno chápat vliv dopravy na okolí jako vliv dopravy na životní prostředí. Doprava, podobně jako každá lidská činnost, působí na své okolí různými vlivy. Účelem a snahou je, aby tyto vlivy byly pozitivní. Pozitivní vlivy jsou ale doprovázeny i vlivy negativními. Tyto negativní vlivy je třeba minimalizovat – zcela eliminovat je ale nelze. Proto se musí negativní vlivy potlačit tak, aby jejich působení bylo převáženo vlivy pozitivními – žádoucími. Důsledkem musí vždy být taková organizace dopravy, aby výsledné působení dopravního systému mělo na okolí pozitivní dopad, resp. aby pozitiva převážila.

4.2.1 Pozitivní vlivy (působení) dopravy na okolí

Jsou to žádoucí vlivy dopravy na okolí, důvody, pro které se doprava provozuje.

- přeprava osob,
- přeprava zboží,
- technický pokrok,
- technologický pokrok,
- urbanizmus,
- pozitivní socioekonomické vlivy (funkce nádraží/přestupních uzlů jako multifunkčních společenských a obchodních center, v úzké vazbě na urbanizmus).

4.2.2 Negativní vlivy (působení) dopravy na okolí

Negativní vlivy jsou vlivy, které provázejí provozování dopravy a působí škodlivě na okolí. Jedná se např. o:

- emise,
- hluk,
- otřesy a vibrace,
- zábor půdy,
- spotřeba energie,
- zvyšování ceny konečných produktů,
- rozdělování krajiny liniovými dopravními stavbami s následným omezováním pohybu chodců, ale i volně žijících zvířat,
- nehody a poškozování okolí při nehodách,
- poškozování lidského zdraví (zejména chronická onemocnění),

- ekonomické ztráty ze zraněných a usmrcených,
- spotřebovávání omezených přírodních zdrojů (surovin); ať už jako paliv či jako materiálů na výrobu dopravních prostředků a dopravních cest.

Z výše uvedeného výčtu pozitivních a negativních vlivů dopravy na okolí se může na první pohled zdát, že působení dopravy na okolí musí být vzhledem k převažujícímu počtu negativních vlivů nevyhnutelně negativní. Na „obhajobu“ dopravy je potřeba uvést, že pod pojmy „přeprava osob“ a „přeprava zboží“ je nutno chápat všechny důvody, které vedly ke vzniku dopravy. Jsou to široké ekonomické a sociální vazby dopravy na okolí, bez kterých by nebylo myslitelné fungování státního hospodářství, kulturního a společenského života. Neopomenutelný je také technický pokrok spojený s dopravou. Výsledky technického zdokonalování dopravních prostředků a zdokonalování dopravní technologie jsou uplatnitelné i v jiných oborech lidské činnosti než je doprava. Jsou to například rozličné obory strojírenství, chemie, stavebnictví, elektrotechniky a informatiky. Nelze též opomenout vztah dopravy a různých vědních oborů, kde je vliv převážně oboustranný, zejména matematiky a fyziky, ale také geografie, sociologie a demografie.

4.2.3 Integrovaný dopravní systém

Problematika IDS je široká, a proto na ni lze nahlížet z mnoha různých úhlů pohledu. Zaužívaný pohled na IDS, u provozovatelů (dopravních společností) i zadavatelů (politické reprezentace regionů, měst a obcí), byl dlouho omezen převážně jen na IDS jako dopravní systém s jednotným tarifním odbavením. Ostatní důležitá hlediska IDS se mnohdy neuvažují vůbec, nebo jen okrajově. V současnosti již dochází k nápravě tohoto nežádoucího pohledu. Samotný jednotný tarifní systém totiž nemůže přinést všechny výhody, které organizace obsluhy území formou IDS poskytuje. Je nutno se zaměřit také na propojenost jízdních řádů jednotlivých linek MHD nejen mezi sebou, ale i s linkami příměstské, resp. regionální dopravy u všech dopravních oborů, které přepravu osob na daném území zabezpečují.

4.2.4 Organizace příměstské dopravy

S IDS úzce souvisí forma organizace příměstské dopravy. Dopravu na příměstských (regionálních) linkách s vysokou frekvencí cestujících je vhodné organizovat formou taktového jízdního řádu, a to zejména u páteřní kolejové dopravy. Vhodné je to ale i na ostatních linkách. Z hlediska atraktivity dopravního systému pro cestující, je výhodné taktovou dopravu provozovat na všech linkách. Méně výhodné je to již z hlediska dopravní

technologie – a to obzvláště s ohledem na dopad do propustnosti traťového úseku v drážní kolejové dopravě, zejména u železnice (při striktním dodržování taktu při konstrukci GVD není možné přesunovat vlaky osobní dopravy do jiných časových poloh, aby bylo dosaženo optimálního využití propustnosti tratě); v případě městských (meziměstských) rychlodrah, metra a tramvají není negativní vliv na propustnost významný, jelikož zejména z důvodu rovnoběžného grafikonu je dopad na propustnost nulový nebo zanedbatelný. Na tratích se současně provozovanou nákladní i osobní (taktovou dálkovou i regionální, resp. příměstskou) dopravou, způsobuje souběh více různých taktů snížení propustnosti. Východiskem ze snížení propustnosti v těchto případech většinou není zvýšení kategorie traťového zabezpečovacího zařízení, jelikož se převážně jedná o hlavní tratě vybavené nejvyšší kategorií zabezpečovacího zařízení (hlavní dvojkolejné tratě vybavené automatickým blokem). Výstavba vyšší kategorie traťového zabezpečovacího zařízení je řešením většinou jen v případě jednokolejných tratí. Ale i zde v případě vyššího rozsahu dopravy je potřebná výstavba nákladných staveb (výhyben, resp. dvojkolejných vložek pro letmé křižování). V případě dvojkolejných tratí to jsou zejména nákladné (a mnohdy z územních poměrů velmi obtížně řešitelné) investice do vybudování dalších traťových kolejí. Z hlediska optimalizace a stability jízdního řádu je přitom efektivní upravit trať na čtyřkolejnou, se segregovanou příměstskou dopravou na vnějších kolejích a se smíšenou nákladní a dálkovou osobní dopravou na vnitřních kolejích.

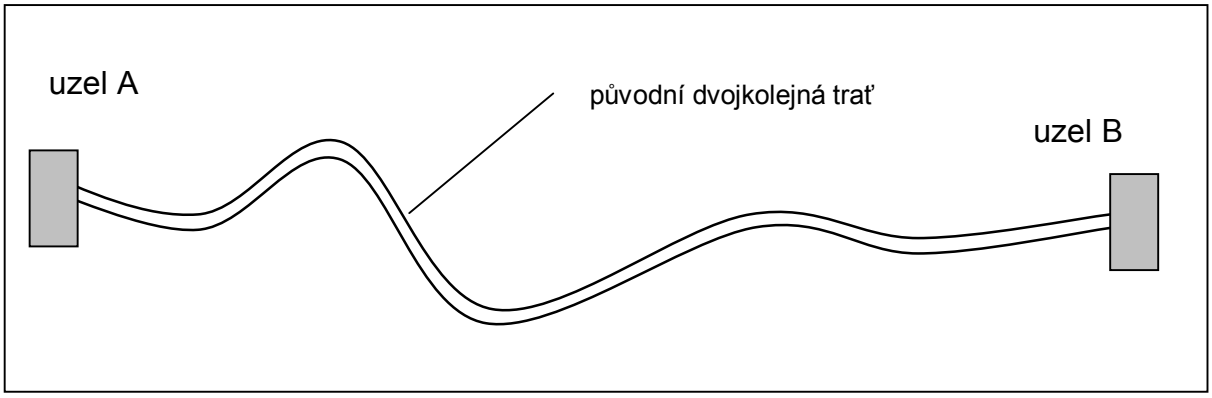
K obdobné situaci dochází na zatížených silničních komunikací, zejména v centrech měst, u autobusové dopravy. Na přetížených komunikacích s častým vznikem kongescí, jsou pro zajištění plynulosti veřejné (autobusové) dopravy vyhrazovány jízdní pruhy pro MHD, případně také dochází k rozšiřování komunikací o tyto jízdní pruhy.

Ztříkolejnění trati, kdy se prostřední, nultá, kolej využívá podle aktuálního zatížení (v ranní špičce dálková doprava směrem do centra, v odpolední špičce dálková doprava směrem z centra), není v případě husté intervalové příměstské dopravy efektivní, neboť:

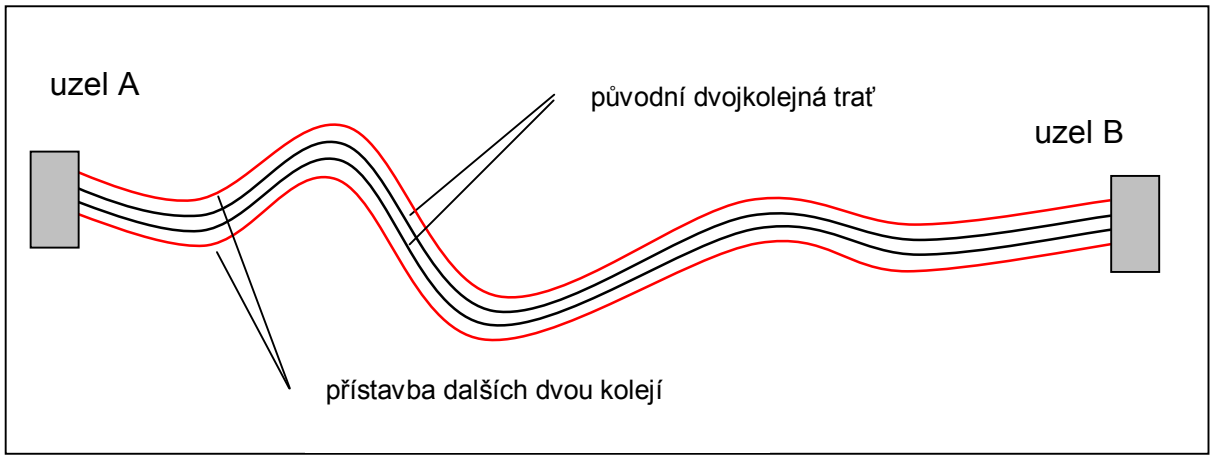
- již nezbývá kapacita pro dálkovou osobní dopravu v aktuálně slabším směru a pro nákladní dopravu v obou směrech – hustá intervalová doprava na vnějších kolejích zpravidla jejich kapacitu vyčerpá tak, že zbývající kapacita je nedostatečná, v krajním případě vůbec žádná;
- efektivitu ztříkolejňování snižuje - v případě husté intervalové příměstské dopravy, nutnost obratů souprav od těchto vlaků; ty se musí vracet do místa s aktuálně vyšší poptávkou a vyčerpávají tak kapacitu i v aktuálně slabším

směru (typicky v ranní špičce je to návrat souprav do regionů, resp. běh prázdných souprav směrem z centra, v odpolední špičce je tomu přirozeně naopak). V případě, že je hustá intervalová doprava provozovaná po celý den (tj. i v sedlech je relativně krátký interval), je kapacita pro dálkovou osobní a pro nákladní dopravu vyčerpána po celou část občanského dne.

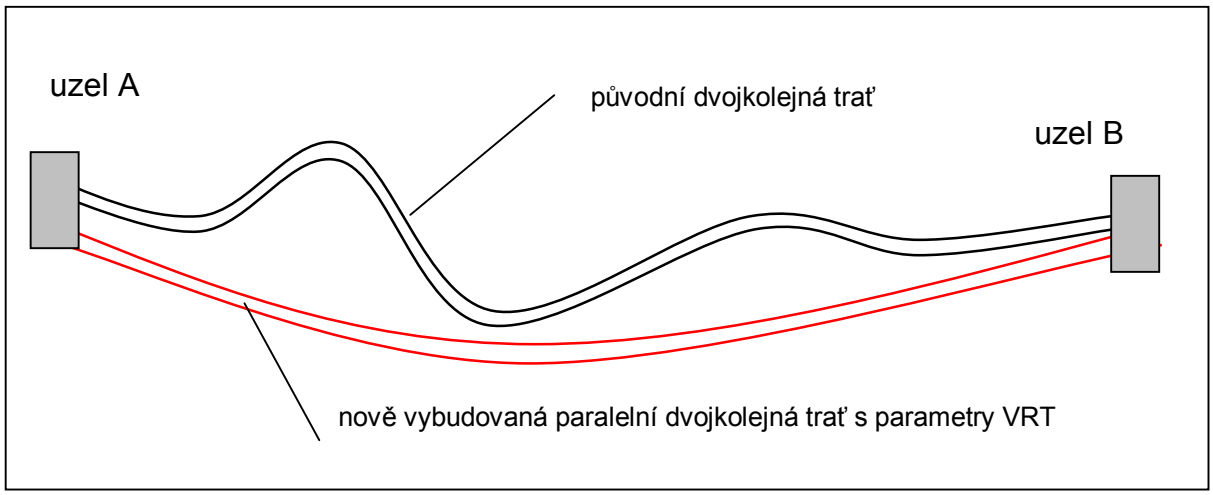
Významnou variantou, resp. alternativou čtyřkolejné tratě jsou dvě paralelní dvojkolejné tratě. Tyto tratě jsou nejčastěji řešené každá v samostatné stopě, přičemž trasování těchto dvou tratí může být, a většinou bývá, rozdílné. Výhodou tohoto uspořádání je menší kolize s urbanizovaným prostředím v intravilánu a možnost vybudování kolejí v nové stopě s parametry vyhovujícími vysokorychlostní dopravě, což většinou pouhé rozšíření původní dvoukolejné (tříkolejné) tratě na čtyřkolejnou neumožňuje. Potom je na původní trati provozována příměstská doprava a část dopravy nákladní, na „nové“ trati pak je provozována rychlá dálková doprava a zbývající část dopravy nákladní (zejména v nočních hodinách) - viz obr. č. 6, 7 a 8.



Obr. 6 Původní dvojkolejná trať. Zdroj: Autor



Obr. 7 Prosté rozšíření na čtyřkolejnou trať. Zdroj: Autor



Obr. 8 Výstavba paralelní dvoukolejné tratě s parametry VRT. Zdroj: Autor

Z hlediska kapacity, rychlosti, záboru půdy, nákladů na výstavbu a prostoru ovlivněného hlukem z dopravy dosahuje nejnižších hodnot varianta dle obr. 6, naopak varianta dle obr. 8 vykazuje ve všech ukazatelích nejvyšší hodnoty. Varianta dle obr. 7 dosahuje středních hodnot.

Paralelou k této železniční segregaci je segregace v městské kolejové dopravě, kdy se s podobným problémem setkává i tramvajová doprava zejména na úsecích rychlodrážního charakteru – na linkách vedoucích do odlehlejších městských částí (sídlišť), kde na jedné komunikaci současně provozovaná silniční a drážní (tramvajová) doprava významně snižuje propustnost tratě. Proto se tyto tramvajové tratě vzhledem k hustotě a rychlosti kolejové

dopravy (ale i vzhledem k bezpečnosti dopravy) budují převážně segregovaně od silniční dopravy.

Budování segregovaných tratí přináší také negativa. K těm patří zejména:

- zábor půdy,
- nákladná křížení s pozemními komunikacemi (nadjezdy, podjezdy),
- rozdělování krajiny – v případě zvyšování počtu traťových kolejí.

Pominout nelze ani vybudování přestupních terminálů a přestupních bodů jak mezi vnitřní dopravou navzájem, tak mezi vnitřní[6] a vnější[7] dopravou. Důležitá je také preference zejména silniční MHD ve smíšeném provozu na území města. Důležitým prvkem tvořícím IDS je informační systém. Cestující musí být dostatečně informováni o přípojích a jízdních dobách a o celkové dopravní nabídce (informace v elektronické, akustické, vizuální formě).

Jedině při splnění výše uvedených podmínek (taktový jízdní řád, plynulost dopravy a preference MHD, kvalitní přestupní terminály a uzly, informační systémy pro cestující apod.) bude IDS schopen splnit to, co se od něj očekává především – změnu dělby přepravní práce mezi IAD a VHD s cílem zvýšení kvality života ve městech a s dosažením trvale udržitelné mobility. Tento důležitý cíl očekávaný od zavedení IDS není příliš uvažován při posuzování IDS subjekty veřejné správy (zastupitelstvy regionů, měst a obcí). Příčinou tohoto stavu je nejen mnohdy nekompetentnost, resp. absence odborníků, těchto zastupitelstev, ale zejména neexistence metodiky na posuzování vlivu IDS na okolní prostředí a na udržitelný rozvoj dopravy. Právě vytvořením této metodiky se zabývá tato disertační práce.

4.2.5 Projektování dopravních staveb podle zásad udržitelného rozvoje

V rámci udržitelného rozvoje je předně nutné při projektování liniových dopravních staveb co nejvíce využívat geomorfologického uspořádání území ve prospěch dopravy, tzn. projektovat liniové dopravní stavby tak, aby pohyb dopravních prostředků po nich měl co nejnižší energetickou náročnost. To vyžaduje aplikovat poznatky územního plánování, kdy je potřeba nové obytné části (ale i průmyslové oblasti) navrhovat na dopravně energeticky výhodných místech. Pokud to není možné, tak obsluhu právě takovýchto míst (tedy zejména do výškově výrazně odlišných oblastí) organizovat dopravou s možností využívání energie

[6] vnitřní doprava – doprava, při které cesta začíná i končí na území města
[7] vnější doprava – doprava, při které jeden z hraničních bodů cesty leží na území města a druhý nikoliv

vzniklé při dlouhém spádovém brzdění. Nižší energetické náročnosti dopravní obsluhy území lze dosáhnout nejen využíváním čistě technologických poznatků, jak je uvedeno výše, ale také optimalizací dopravní obsluhy území ve spolupráci s územním plánováním. Optimální řešení je takové řešení, které pro svou obsluhu vyžaduje nejmenší rozsah dopravy. Tedy:

má-li být doprava udržitelná, je při plánování rozvoje území (plánování budoucích sídelních celků) nezbytné opustit zažitý postup, kdy se doprava přizpůsobuje předem danému územnímu řešení, a je potřeba zvolit postup přesně opačný – během plánování rozvoje území přihlížet k možnostem a potřebám dopravy a jako výsledné řešení rozvoje území volit variantu s nejnižším nutným rozsahem dopravy. Což lze nazvat využíváním technologicko-organizačních poznatků při spolupráci dopravní technologie, urbanizmu a územního plánování.

4.2.6 Technická a technologická řešení pro udržitelný rozvoj

Neméně důležitý je další prvek udržitelného rozvoje dopravy, a sice využívání pokrokových technických opatření pro snížení energetické náročnosti dopravy. Významné je využívání rekuperačního brzdění na dlouhých spádech a při zastavování (zejména v případě železniční a tramvajové dopravy) a následného spotřebování takto vyrobené energie jiným vozidlem (vozidly), případně využívání akumulace takto vyrobené energie (setrvačníkové tramvaje, superkondenzátory) a jejího následného spotřebování tímto vozidlem. Také by nemělo být zapomínáno ani na zdánlivě archaické dopravní prostředky jako je např. pozemní lanová dráha na vodní převahu, která je zejména v případě dostatečného přírodního vodního zdroje v místě horní stanice, energeticky a ekologicky velmi výhodná.

Zde je potřeba poznamenat, že všechna inovativní řešení, ať už na straně vozidel, či na straně infrastruktury, nesmí být pro uživatele komplikovanější než současná řešení. Složité řešení vozidel, dopravní technologie nebo infrastruktury odsuzuje takové koncepty k zániku. Čerpání dvojího paliva, resp. dvou složek pohonných hmot, do vozidla (ad blue), je ještě přijatelné pro dopravní společnosti, ale pro individuální použití v osobních automobilech již stěží. Totéž platí o složitých přestupních vazbách, které cestující od používání veřejné dopravy odrazují. Pro využívání nových technologií a jejich rychlé rozšíření a přijmutí veřejností je nezbytné, aby byla v dostatečném předstihu patřičně vybudována infrastruktura – to platí zejména o čerpacích stanicích nových paliv (vodík, i výše zmíněné ad blue) a také o nabíjecích stanicích vozidel se superkondenzátory či hybridním pohonem. Nezbytná je také

propagace ekologicky příznivých řešení a zejména je potřebné docílit, aby řešení byla příznivá pro cílového uživatele, tj. nižší provozní náklady uživatele, jednodušší používání, kratší jízdní doby apod. Ekologické, ale ekonomicky nevýhodné, nebo technicky komplikované řešení, je pro běžného řidiče nepřijatelné, a nebude ve většině případů využíváno.

4.2.7 Emise

Doprava jako celek je jedním z největších znečišťovatelů ovzduší. Všeobecně lze znečišťování ovzduší dopravou rozdělit podle místa znečištění na:

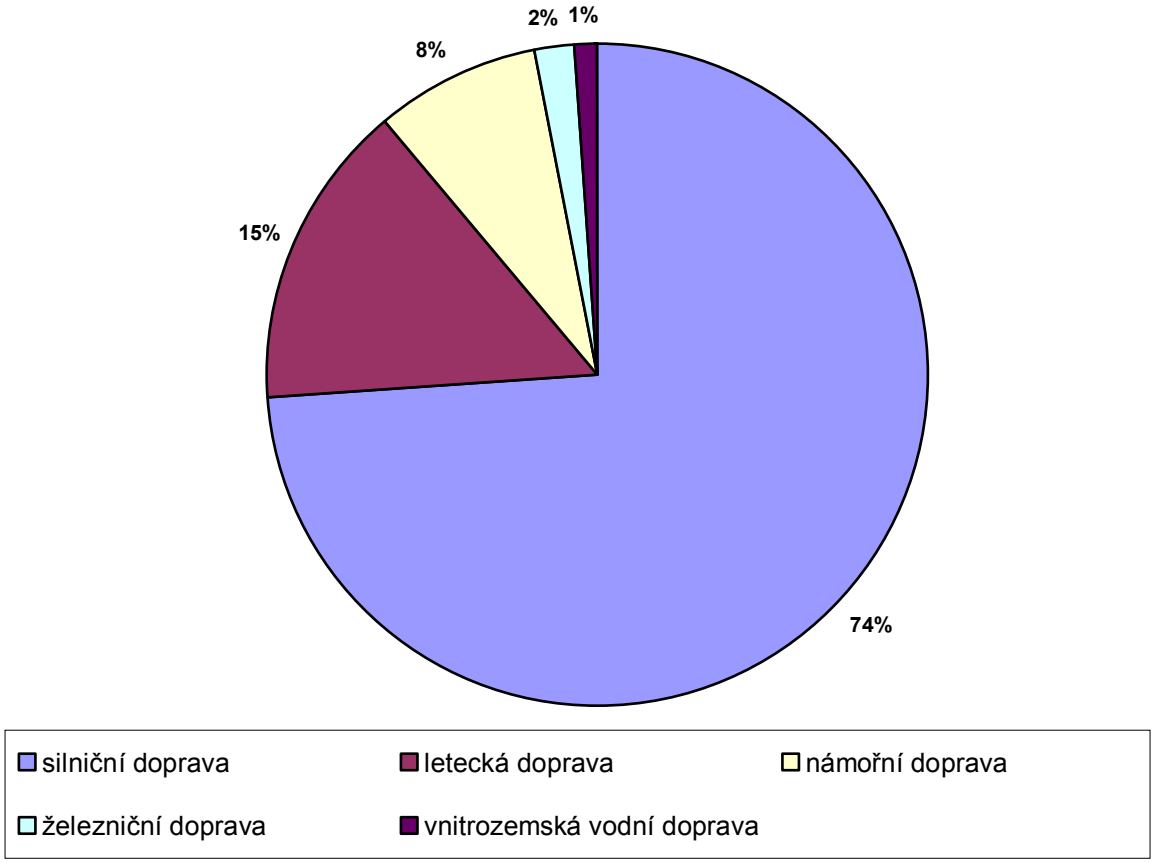
- znečištění v místě dopravního výkonu: do této kategorie patří všechny dopravní prostředky spotřebovávající uhlovodíková paliva, tj. silniční (VHD i IAD), letecká, vodní a motorová trakce železniční dopravy,
- znečištění v jiném místě než v místě dopravního výkonu: do této kategorie spadá zejména výroba trakční elektrické energie pro železniční dopravu, tramvaje, metro a trolejbusy, dále to je znečištění při výrobě motorových paliv a olejů – v místě rafinerií a těžby ropy.

V rámci dopravy jsou ale mezi jednotlivými dopravními obory značné rozdíly ve znečišťování ovzduší. Dopravní obory tak můžeme rozdělit na:

- s nižším dopadem na ovzduší (železnice, metro, tramvaje, trolejbusy, vodní doprava),
- s vyšším dopadem na ovzduší (silniční doprava individuální i hromadná (autobusy), letecká doprava.

Železniční doprava, resp. kolejová doprava se všeobecně považuje za nejpříznivější dopravní obor z hlediska dopadu na životní prostředí. Dopad železniční dopravy na životní prostředí se snižuje se zvyšováním podílu přepravních výkonů v elektrické trakci na úkor trakce motorové. Podle údajů EU v roce 2006 spotřebovala doprava ve členských zemích unie energii ve výši 410,6 Mtoe (toe = tuna olejového ekvivalentu; spálením 1 tuny tohoto teoretického paliva se uvolní 4,187 . 10^{10} J = 11,630 MWh energie). Z této spotřeby připadá největší podíl na silniční dopravu – cca 74 %, nejméně na železniční dopravu – 2,2 %. Také při porovnávání dopravních výkonů je železniční doprava příznivější než doprava silniční – na 1 čtkm je energetická náročnost železnice cca 8x nižší. Navíc téměř 68% výkonů

železniční dopravy se uskutečňuje v elektrické trakci. Na celkové produkci skleníkových plynů dopravou se tak železnice podílí jen 1,67 %, včetně emisí vyprodukovaných při výrobě elektrické energie. Podíl jednotlivých dopravních oborů na spotřebě energie v rámci EU v roce 2006 udává následující obr. 9:



Obr. 9 Podíl jednotlivých dopravních oborů na spotřebě energie v rámci EU v roce 2006. Zdroj: [36]

Mezi nejvýznamnější škodliviny v ovzduší, produkované dopravou, se řadí:

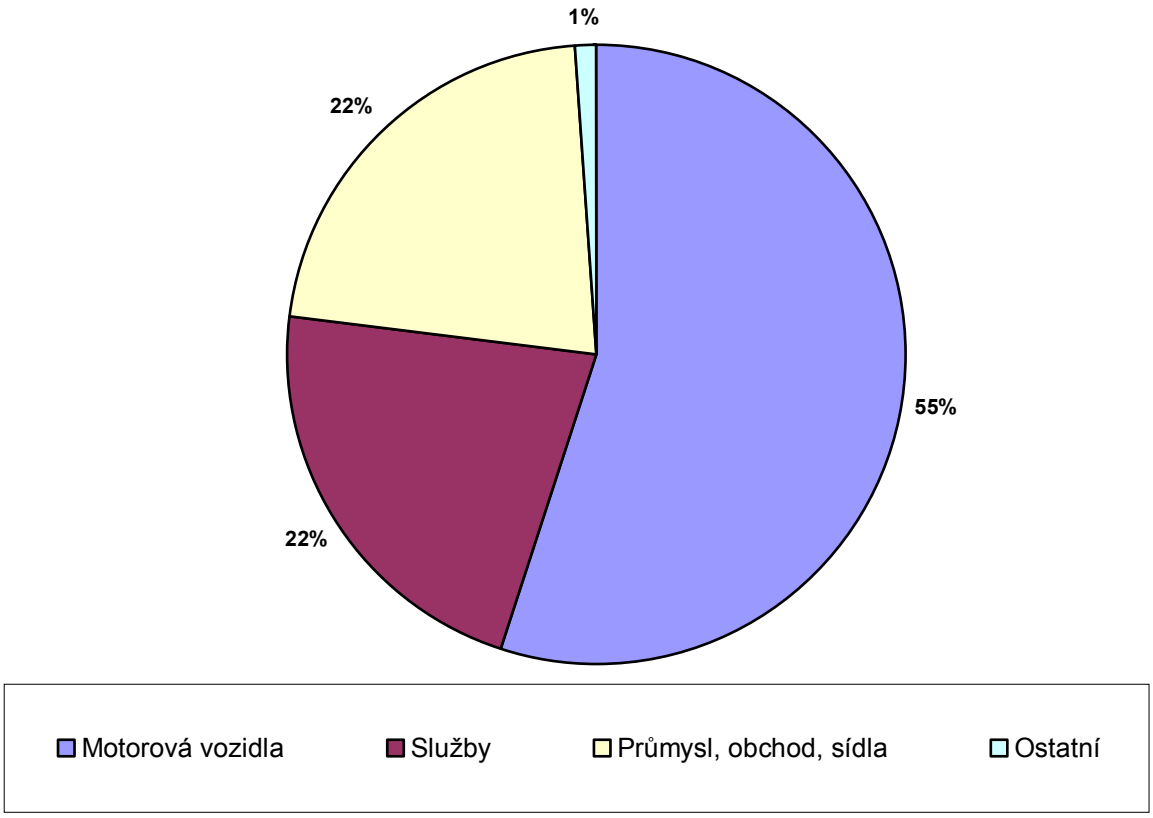
- oxidy uhlíku - CO_2 (dominantní skleníkový plyn),
  - CO,
- oxidy dusíku[8] - NO_X, zejména: - NO,
  - NO_2,
  - méně již N_2O,
- čistý dusík N_2,
- oxidy síry - SO_2,

[8] oxidy dusíku – souhrnně označované NO_X: NO – oxid dusnatý, NO_2 – oxid dusičitý, N_2O – oxid dusný

- méně již SO_3,

– přízemní ozón - O_3,
– těkavé organické látky – VOC (Volatile organic compounds),
– prachové částice - PM_{10} - polétavý prach,
- $PM_{2,5}$ a $PM_{1,0}$ - jemné částice,
– sloučeniny olova.

Na obr. 10 jsou uvedeny antropogenní zdroje oxidů dusíku, tedy oxidy dusíku produkované lidskou činností. Z rozdělení zdrojů emisí NO_X vyplývá, že doprava je dominantním producentem NO_X, a proto je potřebné se při omezování emisí NO_X zaměřit především na ni.



Obr. 10 Antropogenní zdroje NO_X. Zdroj [32]

Škodliviny nazývané souhrnně *pevné částice* (PM_x - Particulate Matter; číslo x udává velikostní skupinu aerosolu o velikosti menší než x μm). Běžně se rozlišují PM_{10}, $PM_{2,5}$ a $PM_{1,0}$. Pevné částice obsahují různorodou směs anorganických a organických sloučenin, z nichž řada vykazuje toxické, mutagenní nebo karcinogenní účinky. Z hlediska skupenství je to směs tuhých, kapalných nebo směsných částic o velikosti v rozsahu 1 nm – 100 μm.

Významně se podílí na důležitých atmosférických dějích jako je vznik srážek a teplotní bilance Země. Některé z těchto sloučenin mohou po dlouhou dobu setrvávat v ovzduší a snadno vstupovat do respiračního traktu a poškozovat tak lidské zdraví. Právě s těmito částicemi jsou dávány do souvislosti pozorované změny morbidity[9] a mortality[10] u exponované populace.

Mezi nejzávažnější škodliviny emitované z dopravy s prokazatelnými negativními účinky na zdraví člověka, zejména ve velkých městech s intenzivní dopravou, patří emise pevných částic (PM) vznikající při provozu motorových vozidel (spalování pohonných hmot, otěr pneumatik, brzdového a spojkového obložení, povrchu vozovek apod.). Nebezpečnost nespočívá jen v jejich mechanických vlastnostech, ale především v obsahu rizikových organických (polyaromatické uhlovodíky) nebo celé řady anorganických škodlivin jako jsou kovy, dusičnany, amonné ionty, sírany apod. Množství pevných částic (PM) produkovaných dopravou (spalovací procesy) v ČR uvádí tabulka 3:

Tabulka 3: Produkce pevných částic jednotlivými druhy dopravy v tunách

Rok	IAD	SVD	SND	ŽD-T	VD	Celkem
1990	61	1 531	1 375	1 284	122	4 373
1991	53	1 152	1 127	916	101	3 349
1992	64	1 095	1 270	846	94	3 370
1993	70	926	1 125	558	78	2 757
1994	66	760	1 420	466	66	2 778
1995	94	893	1 847	667	85	3 586
1996	135	986	2 430	711	115	4 376
1997	145	889	2 672	590	58	4 354
1998	183	1 162	2 366	611	66	4 388
1999	204	1 096	2 405	543	69	4 317
2000	234	1 240	2 507	471	61	4 513
2001	267	1 387	2 907	531	52	5 144
2002	280	1 240	3 023	529	47	5 119
2003	362	1 240	3 464	571	46	5 683
2004	503	1 169	3 702	212	8	5 594
2005	545	1 222	3 816	216	9	5 808
2010	426	1 426	3 112	508	97	5 568
2015 výhled	459	1 286	2 959	458	98	5 260

Zdroj: [31]

Legenda k tabulce 3:

[9] morbidita – nemocnost, u lidí nebo u zvířat; vyjadřuje se poměrným číslem - poměr počtu nemocných jedinců vůči počtu všech jedinců

[10] mortalita – úmrtnost, demografický ukazatel, udávající podíl zemřelých z určité skupiny za určité časové období; uvádí se v promilích (‰), tj. v přepočtu na 1 000 jedinců

IAD - individuální automobilová doprava,
SVD - silniční veřejná doprava,
SND - silniční nákladní doprava,
ŽD-T - železniční doprava (jen motorová trakce),
VD - vodní doprava.

Tabulka 3 názorně zobrazuje výrazný růst emisí pevných částic (PM) v posledních 20 letech. K růstu dochází i přes zavádění prvních emisních norem na počátku tohoto období. Pokles emisí vlivem opatření na jejich omezení se projevuje až v období po roce 2010, kdy vstupují v platnost nejpřísnější normy na úrovni Euro 5, resp. následující normy Euro 6.

Lidské zdraví poškozují zejména prachové částice, těkavé organické látky, oxidy dusíku a přízemní ozón. Nezanedbatelné je i poškozování staveb nejen znečišťováním prachovými částicemi, ale i korozívním působením kyselých dešťů (důsledek emisí SO_2). Kyselé deště působí také škody v zemědělství a zejména v lesnictví.

Z trendu vývoje emisí z dopravy v posledním období vyplývá, že začátkem 90. let 20. stol. došlo k výraznému poklesu emisí z IAD, které bylo způsobeno převážně obměnou vozového parku. Poté ale následuje výrazný růst způsobený nebývalým rozmachem IAD (viz též relativní a absolutní vliv). Nejvyšší růst vykazují emise oxidů dusíku (zvyšování počtu automobilů), dochází k poklesu emisí síry (zejména vlivem odsíření elektráren) a oxidu uhličitého. Na znečištění ovzduší se nejvíce podílí silniční doprava, která v roce 1995 vyprodukovala 89-93 % škodlivých emisí z dopravy. Železniční doprava se používáním motorové nafty a prostřednictvím tepelných elektráren podílí na emisích SO_2 a prachových částic - cca 7 %.

Jako velmi pozitivní krok ke snížení emisí olova lze označit zákaz prodeje olovnatých benzínů k 1.1. 2001, díky kterému klesly emise olova na minimum.

Při posuzování emisí z dopravy, se nesmí zapomínat ani na emise vzniklé při výrobě motorových paliv, resp. trakční elektrické energie. Tyto „dodatkové“ emise lze získat poměrně přesně navýšením spotřeby paliv a elektrické energie o účinnost jejich výroby. Účinnost přeměn zdrojů energie pro dopravní účely udává následující tabulka 4.

Tabulka 4: Účinnost přeměn zdrojů energie pro dopravní účely

	Účinnost výroby
Elektrická energie (výroba + rozvod)	26,0 %
Motorová paliva (zpracování a rafinace ropy)	92,5 %

Zdroj: [36]

V případě elektrické závislé trakce přistupuje navíc skladba výroby elektrické energie, tzv. energetický mix. Při posuzování emisí závislé elektrické trakce se tak uplatňují jen energetické zdroje produkující emise spalováním fosilních paliv. Skladbu energetického mixu ČR v roce 2007 udává tabulka 5.

Tabulka 5: Energetický mix ČR 2007

Typ elektrárny	**Podíl na výrobě elektřiny**
Parní uhelné elektrárny	64,30 %
Paroplynové, plynové a spalovací elektrárny	3,00 %
Vodní elektrárny	2,86 %
Jaderné elektrárny	29,70 %
Větrné elektrárny	0,13 %
Sluneční elektrárny	0,01 % [11]

Zdroj: ERÚ

Na emisích při výrobě elektrické energie se tak podílejí jen parní uhelné elektrárny a paroplynové, plynové a spalovací elektrárny. Celkem je tedy emisemi zatíženo 67,3 % vyrobené elektrické energie (dle energetického mixu v ČR v roce 2007).

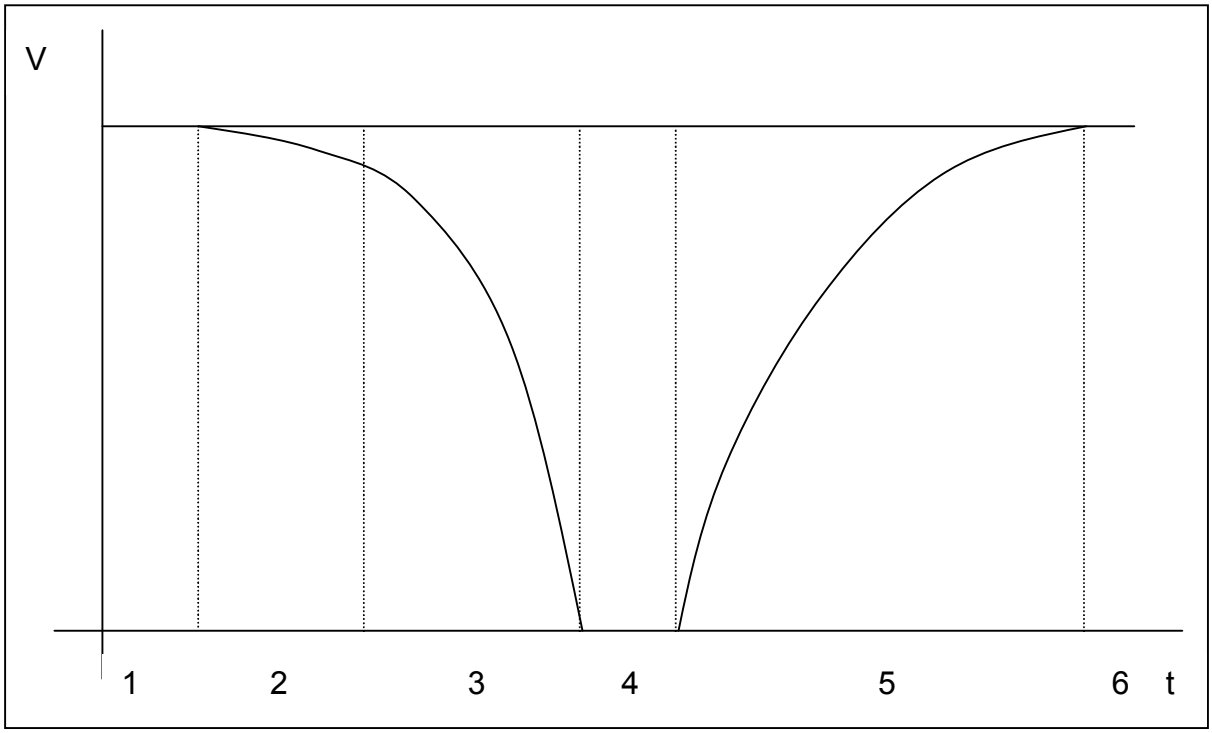
4.2.8 Využití poznatků vozební mechaniky při posuzování vlivu dopravy na okolí

S pomocí vozební mechaniky lze ukázat výhody a nevýhody jednotlivých dopravních oborů. Na tomto základě lze následně při organizování IDS, resp. VHD všeobecně, využívat jednotlivé dopravní obory efektivním způsobem, to je tak, aby byly co nejvíce využity jejich přednosti, a na výkonech, kde se projevují jejich nevýhody, nebyly používány vůbec, nebo bylo jejich použití alespoň minimalizováno.

[11] Od roku 2010 dochází k masivnímu nárůstu instalovaného výkonu slunečních elektráren; přesto jejich podíl na výrobě elektrické energie zůstane v řádu procent.

Poznatků vozební mechaniky lze, zejména s ohledem na přepravní rychlost, energetickou náročnost a dopravní výkonnost (ve spolupráci s propustností), s výhodou použít nejen při optimalizaci stávající dopravní sítě (směrování dopravních proudů, volba zátěže a rychlosti, optimalizace parametrů infrastruktury), ale i při budování nových dopravních staveb. Dále je výhodné využívat vozební mechaniku společně s dopravní technologií při optimalizování počtu zastavení, resp. při posuzování vlivu nových zastávek na dopravu (energetická a časová náročnost zastavení ve vztahu k počtu obsloužených cestujících).

Pohyb dopravních prostředků po síti se řídí zákonitostmi vozební mechaniky, která vychází z Newtonových pohybových zákonů. Znalosti a důsledné využívání poznatků vozební mechaniky může významně přispívat k ekologickému a potažmo i ekonomickému využívání veřejné hromadné dopravy.



Obr. 11 Tachogram – fáze jízdy při zastavení v zastávce (stanici). Zdroj: Autor

kde: 1 – jízda konstantní rychlostí,
2 – výběh,
3 – brzdění,
4 – stání v zastávce (stanici),
5 – rozjezd,
6 – jízda konstantní rychlostí,

V – rychlost,

t – čas.

Možnosti využití poznatků vozební mechaniky při posuzování železničního provozu, resp. drážní dopravy jako takové (železniční, rychlodrážní, tramvajové, metra) demonstruje následující příklad při posuzování vlivu pomalé jízdy na spotřebu energie, analogicky je možno posuzovat zřízení nebo vypuštění zastávky apod.

Aby bylo možno posoudit mj. i návratnost investic do zkvalitnění drážní infrastruktury, které mají za důsledek snížení spotřeby nafty a trakční elektrické energie, je nutno pro každý posuzovaný případ vyčíslit dosažené úspory za stanovené časové období (zpravidla 1 rok). Přesné vyčíslení úspor by bylo možné pouze měřením spotřeby elektrické energie a nafty každého vlaku (vozidla), což je velmi pracné, nákladné a časově náročné. Proto se využívá simulačních programů pro výpočet jízdních dob, které provádějí rovněž i teoretický výpočet spotřeby nafty a elektrické energie pro jízdu vlaku (např. systém SENA, resp. KANGO). Protože není časově možné simulovat jízdu každého jednotlivého vlaku či vozidla MHD během roku - u vlaku jednoho a téhož čísla se může den ode dne mírně lišit hmotnost, adhezní podmínky, řada použitého hnacího vozidla, vlak může být mimořádně zastaven či veden odklonem atd. - byly výpočty provedeny pro typický den platnosti grafikonu vlakové dopravy s těmito zjednodušujícími předpoklady (samozřejmě je možné pracovat i s aktuálními hodnotami pro každý dopravní komplet):

- provoz probíhá podle GVD, bez dopravních mimořádností,
- hmotnost vlaku je během celého GVD stejná,
- typ jízdního odporu je neměnný,
- pro dopravu vlaků jsou použita hnací vozidla plánované řady,
- nejsou zaváděny vlaky mimořádné a podle potřeby, ani odříkány vlaky pravidelné,
- nejsou uvažovány krátkodobé výluky,
- adhezní podmínky jsou dobré nebo jen mírně zhoršené,
- trolejové napětí je rovno jmenovité hodnotě pro příslušný trakční systém.

Je zřejmé, že takto zjednodušený model se bude blížit realitě tím více, čím kvalitněji byla provedena konstrukce GVD a čím méně nepravidelností (ať už jakéhokoli druhu) nastane během období platnosti GVD.

Při přijetí výše popsaného modelu lze roční úspory energie vyjádřit vzorcem:

$$E_{365} = 365\sum_{i=1}^{n} p_i.E_i \qquad (3)$$

kde: E_{365} – roční úspora elektrické energie [kWh],

i – počet vlaků projíždějících daným úsekem za 24 hodin [-],

E_i – úspora energie při jedné jízdě i-tého vlaku úsekem [kWh],

p_i – poměrný koeficient počtu jízd i-tého vlaku za den [-].

Koeficient p_i slouží pro ohodnocení jízd vlaků, které sice jezdí pravidelně během GVD, ale jen určité dny v týdnu. Je definován jako počet jízd vlaku připadajících na jeden den v týdnu.

$$p_i = \frac{n_i}{7} \text{ [-]} \qquad (4)$$

kde: p_i – poměrný koeficient počtu jízd i-tého vlaku za den [-],

n_i – počet jízd i-tého vlaku v 1 týdnu [-],

7 – počet dní v týdnu.

Tedy např. pro vlak jezdící 2x týdně bude $p_i = 2/7$, pro vlak jezdící denně je $p_i = 1$; hodnoty větší než 1 nemají smysl.

Formálně naprosto shodný vzorec platí i pro roční úspory motorové nafty, vyjádřené v litrech.

Energetické ztráty lze vyjádřit vztahem:

$$W = 0{,}5.(1+\rho).m.\left(v_t^2 - v_p^2\right) - m.(g.s + w_t).L_1 - m.(w_t - w_p).L_2 - m.(w_t - w_s).L_3 \text{ [kJ]} \qquad (5)$$

kde: W – mechanická energie na obvodu kol hnacího vozidla [kJ],

m – hmotnost vlaku [t],

ρ – součinitel rotujících částí [-],

v_t – původní (traťová) rychlost jízdy vlaku [$m.s^{-1}$],

v_p – rychlost pomalé jízdy vlaku [$m.s^{-1}$],

g – tíhové zrychlení [$m.s^{-2}$],

s – stoupání traťového úseku [‰],

w_s – střední vozidlový odpor vlaku při rozjezdu z rychlosti v_p na v_t [$N.t^{-1}$],

w_t – vozidlový odpor vlaku při jízdě původní rychlostí v_t [$N.t^{-1}$],

w_p – vozidlový odpor vlaku při pomalé jízdě [$N.t^{-1}$],

L_1 – délka úseku pro snížení rychlosti [km],

L_2 – délka pomalé jízdy [km],

L_3 – délka úseku pro rozjezd na původní rychlost [km].

Vzorec (5) je uveden pouze pro ilustraci vztahu mezi veličinami, neplatí všeobecně, nýbrž jen za určitých podmínek (dostatečný přebytek výkonu vlaku, konstantní sklon, rozjezd vlaku působením tažné síly, nikoliv urychlujícího spádu, brzdění bez rekuperace atd.). Pro reálné úseky je nutno průběh jízdy a spotřebu vypočítat pomocí integrálního počtu, zpravidla numerickou integrací pomocí některého ze simulačních programů modelujících jízdu vlaku.

Ze vzorce (5) nicméně vyplývá, že velikost energetických ztrát při pomalé jízdě ve všeobecnosti roste s hmotností vlaku a rozdílem druhých mocnin traťové rychlosti a rychlosti pomalé jízdy. Energetické ztráty vznikající opětovným rozjezdem vlaku jsou však zmírněny skutečností, že při jízdě vlaku omezenou rychlostí jsou nižší vozidlové odpory a tím i spotřeba energie, než při jízdě plnou traťovou rychlostí (to reprezentuje třetí člen součtu). Od jisté délky pomalé jízdy tento vliv dokonce převažuje, takže výsledná energetická bilance relativně dlouhého lokálního omezení může být i kladná. Negativní vliv omezení rychlosti se projeví o to výrazněji v jiné oblasti, kterou je jízdní resp. cestovní doba (tj. v nepřímých ztrátách vzniklých menší konkurenceschopností železnice vůči jiným druhům dopravy). Podobně se energetické ztráty zmírní při prodloužení rozjezdu (to v praxi představuje vlaky s nižším přebytkem tažné síly a výkonu, čtvrtý člen součtu) a při rostoucím stoupáním trati (druhý člen součtu).

Pokud se naopak vyskytuje pomalá jízda na urychlujícím spádu, energetické ztráty jsou zanedbatelné nebo žádné (není-li pro opětovný rozjezd nutno vůbec použít tažnou sílu hnacího vozidla) a výše uvedený vzorec (5) v tomto případě neplatí.

Po shrnutí všech vlivů je tedy možno konstatovat, že energetická náročnost pomalé jízdy, zřízení nové zastávky apod.:

- roste s hmotností vlaku,
- roste s traťovou rychlostí,
- roste rozdílem mezi traťovou rychlostí a rychlostí v místě omezení,

- klesá s rostoucím sklonem trati,
- klesá s délkou pomalé jízdy,
- klesá s klesajícím přebytkem výkonu a tažné síly vlaku.

Podobný vliv jako uvedené příklady dané technickým stavem infrastruktury mají i dopravní mimořádnosti, neboť se jedná o stejný mechanismus vzniku energetických ztrát při lokálním omezení jízdy (vlaku, vozidla MHD), např. typicky:

- pozdní stavění vlakové cesty (časté rozjezdy na křižovatkách),
- průjezd sníženou rychlostí („odbočkou“) přes stanici (popojíždění v kongesci).

Pro úplnost je také nutno dodat, že lokální omezení rychlosti jízdy vlaku (lhostejno, zda z důvodu technického stavu tratě nebo z důvodu dopravní mimořádnosti) má vždy za následek prodloužení jízdní doby a tím může dojít k dalšímu, „sekundárnímu“ zvýšení spotřeby při následném krácení zpoždění (jízdě za minimální jízdní dobu) během další jízdy vlaku, resp. vozidla MHD.

4.2.9 Posouzení rekuperace elektrické energie

Možnosti výrazné úspory trakční elektrické energie představuje využití rekuperace při brzdění. Z hlediska technologie jízdy je možno rekuperaci rozdělit do 2 kategorií:

- rekuperační brzdění spádové,
- rekuperační brzdění zastavovací.

Při spádovém brzdění je udržována konstantní rychlost (traťová, stanovená apod.) při jízdě vlaku na urychlujícím spádu. Je-li urychlující síla působením spádu větší, než vozidlový odpor vlaku, je možno v daném traťovém úseku využít pro rekuperaci část mechanické potenciální energie vlaku, kterou lze vyjádřit vzorcem:

$$W = m.g.h - W_o \text{ [kJ]} \tag{6}$$

kde: W – využitelná mechanická energie na obvodu kol hnacího vozidla [kJ],
m – hmotnost vlaku [t],
g – tíhové zrychlení [$m.s^{-2}$],

h – rozdíl (nadmořských) výšek počátku a konce úseku [m],

W_o – energie spotřebovaná na překonání vozidlového odporu vlaku a traťového odporu při průjezdu oblouky a tunely [kJ].

Při zastavovacím brzdění na vodorovné trati je možno pro rekuperaci využít část mechanické kinetické energie vlaku:

$$W = 0{,}5.(1+\rho).m.v^2 - W_o \text{ [kJ]} \tag{7}$$

kde: W – využitelná mechanická energie na obvodu kol hnacího vozidla [kJ],

m – hmotnost vlaku [t],

ρ – součinitel rotujících částí [-],

v – počáteční rychlost jízdy vlaku [$m.s^{-1}$],

W_o – energie spotřebovaná na překonání vozidlového odporu vlaku a traťového odporu při průjezdu oblouky a tunely [kJ].

Elektrická energie odevzdaná na sběrači vozidla zpět do troleje pak je:

$$E = \frac{W.\eta}{3600} - E_{po} \text{ [kWh]} \tag{8}$$

kde: E – energie na sběrači vozidla [kWh],

E_{po} – spotřeba pomocných obvodů hnacího vozidla (vlaku) [kWh],

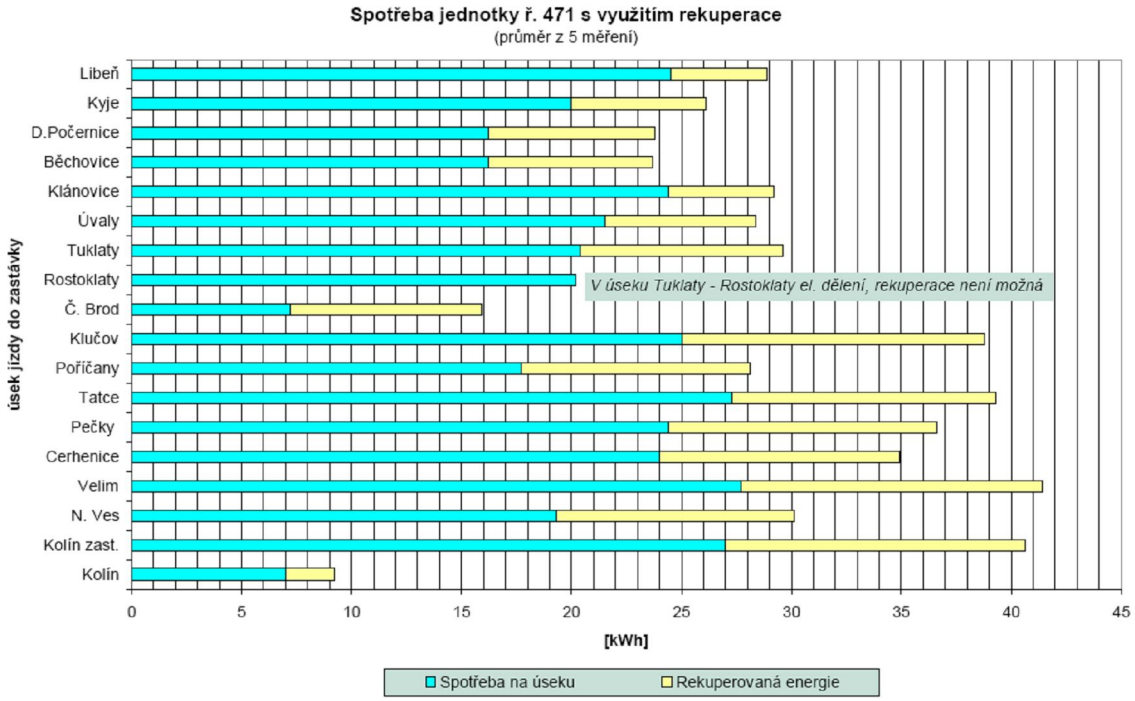
η – celková účinnost přeměny energie v hnacím vozidle při rekuperaci [-],

W – mechanická práce na obvodu hnacích kol [kJ].

Jak vyplývá ze vzorců (6) a (7), velikost možných úspor energie je při zastavovacím brzdění v obecnosti úměrná hmotnosti vlaku a druhé mocnině počáteční rychlosti (zpravidla traťové, resp. stanovené). Při spádovém brzdění jsou rozhodující pouze sklonové poměry a hmotnost vlaku. Při praktickém provozu samozřejmě dochází i ke kombinaci obou způsobů (zastavení vlaku na urychlujícím spádu).

Využití rekuperace je možné pouze u hnacích vozidel vybavených příslušnou částí trakčního obvodu; u současných vozidel se vstupním čtyřkvadrantovým měničem je již standardem. Neméně důležitou podmínkou je zajištění odběru rekuperované energie. Praktický provoz rekuperace na jednotkách ř. 471 však ukazuje, že odběr této energie nečiní

až na výjimky problém, jedná se samozřejmě o tratě elektrifikované systémem 3000V=. Při měřeních prováděných ČD VÚŽ na trati Praha – Kolín bylo prokázáno, že v průměru 30 % elektrické energie odebrané vlakem z trolejového vedení během rozjezdu, příp. udržování konstantní rychlosti bylo při brzdění navráceno do trolejového vedení. Odběr rekuperované energie jinými vozidly byl přitom zjištěn ve více než 90 % případů.



Obr. 12 Spotřeby energie při jízdě jednotky 471. Zdroj: [34]

Součet obou obdélníků je roven celkové energii odebrané v daném úseku z troleje, pokud by se neuplatnila rekuperace.

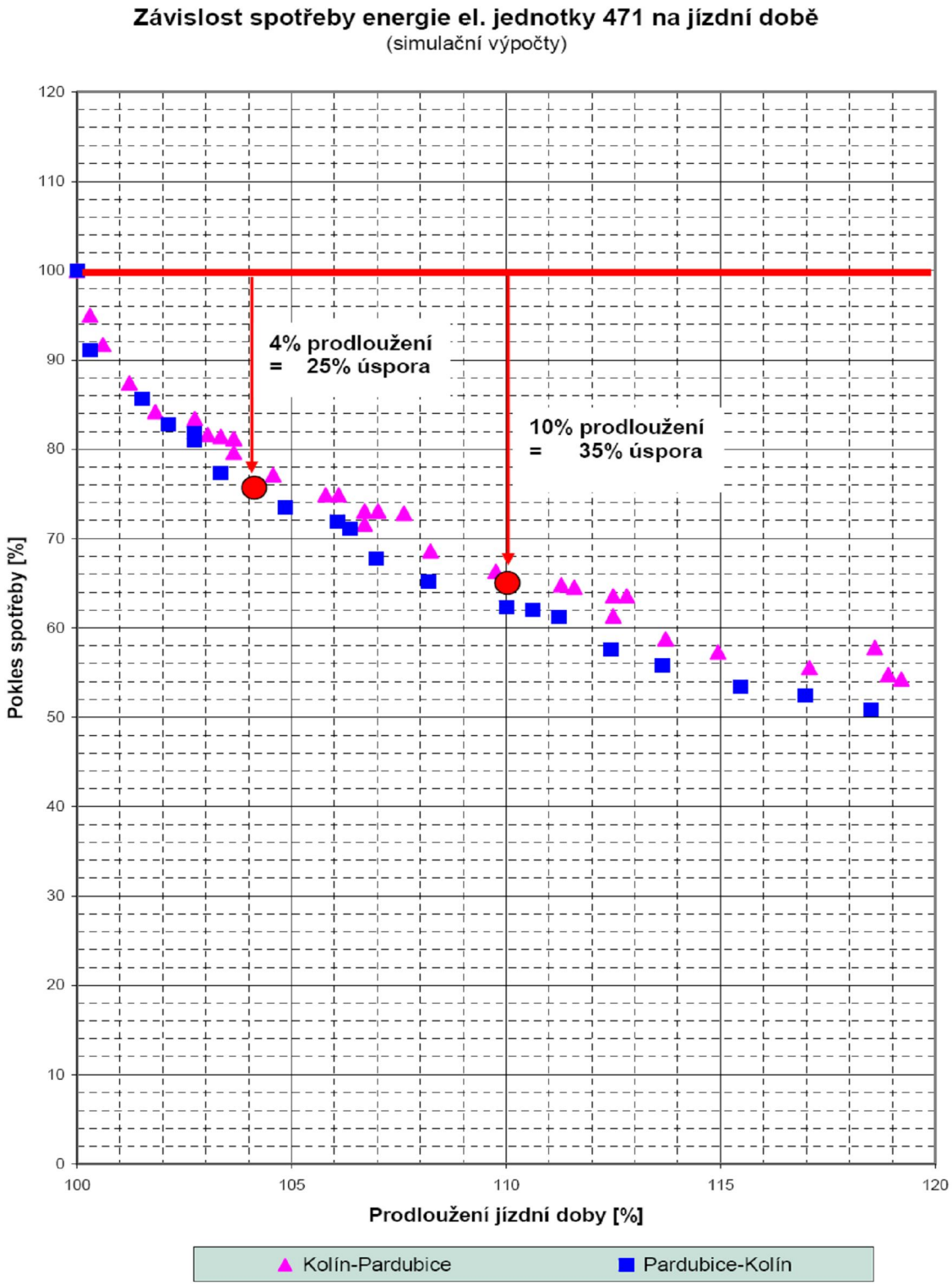
4.2.10 Spotřeba energie v závislosti na jízdní době

Spotřeba trakční energie pro jízdu vlaku úzce souvisí i s velikostí jízdních dob. Teoretickými simulacemi i praktickými pokusy je prokázáno, že trakční spotřeba (trakční práce) pro jízdu vlaku o dané hmotnosti na určitém traťovém úseku nelineárně závisí na jízdní době. Maximální spotřeba je při minimální jízdní době. Při prodlužování jízdní doby v řádu jednotek procent klesá spotřeba zpočátku velmi strmě, a to zpravidla v řádu desítek procent (závisí na konkrétním traťovém úseku, především jeho sklonových a rychlostních poměrech). Ilustrace konkrétního příkladu je znázorněno na obr. 13.

Možné úspory energie závisí tedy především na velikosti rezervy v jízdních dobách použité při konstrukci GVD. Primárním účelem těchto rezerv je eliminace zpoždění vzniklého během předešlé jízdy vlaku. U vlaků jedoucích včas je však je možno využít rezervy pro

energetické úspory. Nutnou podmínkou pro vznik těchto úspor je rovněž i dodržování GVD. U zpožděného vlaku je zpravidla nutno krátit zpoždění, tj. minimalizovat jízdní doby, což má za následek maximální spotřebu energie.

Jízdy zpožděných vlaků se snaží každý dopravce minimalizovat, na druhou stranu je nutno upozornit na skutečnost, že z hlediska spotřeby energie je velmi nežádoucí i jízda vlaku s náskokem (tj. příjezd vlaku před časem příjezdu uvedeném v jízdním řádu).



Obr. 13 Závislost spotřeby na jízdní době pro úsek Kolín – Pardubice. Zdroj: [34]

Hodnoty na obr. 13 byly vypočítány opakovanými simulacemi v programu SENA a dokladují, že při optimalizaci jízdní doby lze dosáhnout výrazných úspor energií a tím snížení emisí. Na základě těchto výsledků lze konstatovat, že:

4% prodloužení jízdní doby = 25% úspora energie,
10% prodloužení jízdní doby = 35% úspora energie,

tedy, že z hlediska udržitelného rozvoje dopravy (zejména s ohledem na množství spotřebované energie a tím i na množství uvolněných emisí) není nejvýhodnější nejkratší jízdní doba. Jízdní doba by měla být volena s ohledem na spotřebu energie a tím i s ohledem na emise.

4.2.11 Porovnávání vlivu individuální a veřejné hromadné dopravy

Porovnávání vlivu individuální a veřejné hromadné dopravy, reprezentované dnes převážně integrovanými dopravními systémy, na životní prostředí, by mělo být důležitým kritériem při posuzování účelnosti rozvoje veřejné dopravy ve sledovaném území.

4.2.12 Porovnání emisí individuální a hromadné dopravy

Pro účely porovnávání emisí je v této práci individuální dopravou myšlena jen individuální automobilová doprava. Ta je v rámci individuální dopravy dominantním zdrojem emisí. Z hlediska vzniku emisí se jedná o emise vznikající v místě realizace dopravního výkonu.

Emise individuální dopravy

Snaha o snížení emisí vedla k realizaci emisních norem Euro. Normy pro osobní automobily udávají maximální množství emisí v [g/km] jízdy. Označují se arabskými čísly jako Euro 1 – Euro 5, resp. připravovaná norma Euro 6.

Tabulka 6: Emisní normy Euro pro osobní automobily

Norma	Platnost	CO	CH_x	VOC	NO_x	$HC+NO_x$	PM
Vznětové motory							
Euro 1	1992	2,720	-	-	-	0,970	0,140
Euro 2	1996	1,000	-	-	-	0,700	0,080
Euro 3	2000	0,640	-	-	0,500	0,560	0,050
Euro 4	2005	0,500	-	-	0,250	0,300	0,025
Euro 5	2009	0,500	-	-	0,180	0,230	0,005
Euro 6	2014	0,500	-	-	0,080	0,170	0,005
Zážehové motory							
Euro 1	1992	2,720	-	-	-	0,970	-
Euro 2	1996	2,200	-	-	-	0,500	-
Euro 3	2000	2,300	0,200	-	0,150	-	-
Euro 4	2005	1,000	0,100	-	0,080	-	-
Euro 5	2009	1,000	0,100	0,068	0,060	-	0,005
Euro 6	2014	1,000	0,100	0,068	0,060	-	0,005

Zdroj: EU

Emise hromadné dopravy

Emise hromadné dopravy jsou reprezentovány jednak emisemi produkovanými spalovacími motory autobusů a motorových vlaků, jednak emisemi tepelných elektráren při výrobě elektrické energie pro vozidla elektrické trakce (vlaky, tramvaje, trolejbusy).

Emise autobusů MHD

Emise autobusů MHD vznikají principielně stejně jako emise vozidel individuální automobilové dopravy. Jediným rozdílem jsou převážně vznětové motory těchto vozidel. Také autobusové emise jsou emisemi vznikajícími v místě realizace dopravního výkonu. Emisní normy pro velké vznětové motory autobusů jsou označovány římskými číslicemi jako Euro I – Euro V, resp. připravovaná norma Euro VI. Normy pro autobusy udávají maximální množství emisí v [g/kWh].

Tabulka 7: Emisní normy Euro pro autobusy

Norma	Platnost	CO	HC	NO_x	PM
Euro I	1992	4,500	1,100	8,000	0,612
Euro II	1998	4,000	1,100	7,000	0,150
Euro III	2000	2,100	0,660	5,000	0,100
Euro IV	2005	1,500	0,460	3,500	0,020
Euro V	2008	1,500	0,460	2,000	0,020
Euro VI	2013	1,500	0,130	0,400	0,010

Zdroj: EU

Emise železniční dopravy, tramvají a trolejbusů

Železniční doprava je z hlediska posuzování emisí zajímavá používáním elektrické a motorové trakce. Pro vozidla motorové trakce platí přiměřeně totéž, co pro silniční vozidla – emise vznikají v místě realizace dopravního výkonu, ve vznětových motorech se spaluje motorová nafta. Rozdílné jsou ale emisní normy. Pro - z hlediska železnice malé - motory motorových vozů a jednotek se používají obdobné normy jako pro nákladní automobily, označované Euro 0 – Euro V. Normy udávají maximální množství emisí v [g/kWh]. Pro velké motory lokomotiv a některých řad motorových vozů se požívají emisní normy UIC .

Tabulka 8: Emisní normy Euro pro vznětové motory (nákl. automobily a železnice)

Norma	Platnost	CO	HC	NO_x	PM
Euro 0	1988	12,300	2,600	15,800	-
Euro I	1992	4,900	1,230	9,000	0,400
Euro II	1995	4,000	1,100	7,000	0,150
Euro III	1999	2,100	0,660	5,000	0,100
Euro IV	2005	1,500	0,460	3,500	0,020
Euro V	2008	1,500	0,460	2,000	0,020

Zdroj: EU

Normy UIC, jmenovitě vyhláška UIC 624, vychází z evropské legislativy určující emise motorů používaných v jiných aplikacích než v silničních vozidlech. Jedná se zejména o motory pracovních strojů, traktorů, lodí a lokomotiv. Označují se Stage (stupeň) I – IV s dalším rozlišením kategorie velkým písmenem A – R podle výkonu motoru vozidla, resp. V pro lodě. Emise velkých drážních motorů jsou regulovány až normou Stage III A z roku 2006, resp. budoucí normou Stage III B, pro motory o výkonu nad 130 kW. Normy udávají maximální množství emisí v [g/kWh].

Tabulka 9: Emisní normy UIC Stage III A

Stage III A							
Kategorie	Výkon kW	Platnost	CO	HC	$HC+NO_x$	NO_x	PM
RC A	130 < P	2006	3,500	-	4,000	-	0,200
RL A	130 ≤ P ≤ 560	2007	3,500	-	4,000	-	0,200
RH A	P > 560	2009	3,500	0,500*	-	6,000*	0,200
* HC = 0,4 g/kWh a NO_x = 7,4 g/kWh pro motory o výkonu P > 2000 kW a objemu D > 5 l/válec							

Zdroj: UIC

Tabulka 10: Emisní normy UIC Stage III B

Stage III B							
Kategorie	**Výkon kW**	**Platnost**	**CO**	**HC**	**HC+NO_x**	**NO_x**	**PM**
RC B	130 < P	2012	3,500	0,190	-	2,000	0,025
R B	130 < P	2012	3,500	-	4,000	-	0,025

Zdroj: UIC

Posuzování emisí elektrických železničních vozidel (a tramvají a trolejbusů) je odlišné. Vlastní vozidla emise neprodukují, a tudíž se v místě realizace dopravního výkonu žádné škodliviny do ovzduší neuvolňují. Emise se uvolňují v místě produkce elektrické energie – v místě lokalizace elektrárny – pokud je to tepelná elektrárna. Je-li elektrická energie produkována v jaderné elektrárně, nebo v elektrárně pracující s obnovitelnými zdroji energie tj. zejména vodní, větrné nebo solární, nevznikají emise ani při výrobě elektrické energie a jedná se tak z hlediska emisí o čistou dopravu; samozřejmě za předpokladu, že se neuvažují emise vzniklé při výrobě dopravních prostředků a výstavbě dopravní infrastruktury a emise prachových částic vznikajících otěrem pneumatik (jen trolejbusy), brzdového obložení, povrchu vozovek (jen trolejbusy) apod. Posuzování těchto emisí ale není předmětem této disertační práce.

Důležitým faktorem ovlivňujícím emise elektrických dopravních prostředků je, že elektrická energie není vyráběna pouze v jednom typu elektrárny, ale na její výrobě se podílí více typů elektráren. Již zmíněné jaderné, vodní, větrné a solární, ale zejména také elektrárny produkující emise – elektrárny tepelné. Proto je potřeba při posuzování emisí elektrické trakce počítat s tzv. energetickým mixem (viz tab. 5) – podílem jednotlivých typů elektráren na výrobě elektrické energie. Při spotřebě elektrické energie je dále nutné započítat účinnost přenosové soustavy (viz tab. 4), a o tuto hodnotu spotřebu elektrické energie navýšit.

V případě výroby elektrické energie v tepelných elektrárnách jsou v rámci EU stanoveny limity jen pro SO_2 a NO_X, proto ve výpočtu není uvažováno s emisemi CO_2.

Tabulka 11: Emise tepelných elektráren v [g/kWh]

	Emise
SO_2	8,6
NO_x	2,9

Zdroj: [43]

4.2.13 Hluk

Při posuzování hluku způsobeného dopravou je nutné rozlišovat hluk uvnitř vozidla a hluk vně vozidla. Pro posuzování hluku v rámci této práce je rozhodující hluk vně vozidla – hluk působící na okolí.

Ovlivňování okolí dopravním hlukem (a otřesy a vibracemi) je potřeba rozlišit na:

- trvalé působení, kdy je hluk emitován převážně kontinuálně - takto působí zejména silniční doprava díky v podstatě spojitému proudu dopravních prostředků (s dílčím poklesem v nočních hodinách),
- nárazové působení, kdy je hluk emitován v ohraničených časových obdobích – takto působí zejména kolejová (železniční) a letecká doprava díky diskrétnímu pohybu dopravních prostředků.

Hluk působí negativně na lidské zdraví, vede nejen k poškození sluchu, ale způsobuje i další civilizační choroby jako stres, vysoký krevní tlak, deprese a poruchy spánku. Podobné působení mají i otřesy a vibrace, které nejenže poškozují lidské zdraví, ale způsobují i škody na stavbách v okolí komunikací.

Rozhodujícími faktory, které ovlivňují počet obyvatel trpících nadměrným hlukem z dopravy jsou:

- urbanizace prostoru,
- hustota osídlení,
- struktura a hustota dopravní sítě (zejména silniční sítě),
- charakter provozu na dopravní cestě (skladba vozidel, intenzita provozu, dopravní obor).

Při posuzování vnějšího hluku je třeba rozlišovat mezi intravilánem a extravilánem. Pro intravilán platí vzhledem k obytné funkci přísnější normy na hladinu hluku. To významně ovlivňuje např. konstrukci vozidel, zejména tramvají.

Největší podíl na nadměrném hluku z dopravy má automobilová doprava - přes 90 %, železniční doprava cca 9 %, zbytek připadá na ostatní dopravní obory [28].

Významný vliv má i rostoucí počet nákladních automobilů - studie prokázaly, že hluková zátěž způsobená jedním nákladním automobilem se rovná zátěži vyvolané šesti osobními automobily.

Celkové společenské náklady na odstranění následků nadměrného hluku tvoří v ČR cca jednu miliardu korun ročně. Z této hodnoty připadá 64 % na silniční dopravu, 26 % na leteckou a 10 % na kolejovou dopravu [28].

Při odstraňování hluku produkovaného dopravou je potřeba používat vyspělá technická řešení, jelikož nejjednodušší řešení jsou zpravidla nejméně účinná a ve svém důsledku i kontraproduktivní. Mezi nevhodná řešení patří zejména protihlukové stěny a snižování povolené rychlosti vozidel za účelem snížení hladiny hluku. Zejména v intravilánu to jsou nevhodná řešení. Například v Praze je v nočních hodinách snížena rychlost tramvají z 50 na 40 km/h, jelikož staré typy tramvají při plné rychlosti nejsou schopny vyhovět hlukovým normám. Obdobná snížení rychlosti v nočních hodinách se postupně zavádějí i na železnici, se všemi negativními dopady na plynulost a pravidelnost dopravy. K dalším negativům protihlukových stěn patří:

- znesnadnění údržby dopravní cesty (vlivem omezení přístupu a manipulačního prostoru),
- zhoršení přístupu záchranných složek (dopravní cesta není přístupná po celé délce, ale jen v omezeném počtu míst),
- zhoršení možnosti evakuace při nehodách (dopravní cestu nelze opustit v libovolném místě, ale jen v omezeném počtu evakuačních míst) ,
- neestetické působení v krajině,
- výrazně přispívají k rozdělování krajiny (omezení pohybu živočichů),
- zhoršení výhledu cestujících do krajiny stejně jako zhoršení rozhledu ve volné krajině,
- při výstavbě v blízkosti domů působí jejich zastínění,
- vysoká cena (v současnosti cca 20 mil. Kč/km),
- efekt protihlukové stěny se projeví jen v místě, kde je vybudována (naopak efekt nízkohlučného vozidla se projevuje po celé trase),
- při nasazení (a zvyšování počtu) moderních vozidel s nízkou úrovní emisí hluku a současnou výstavbou protihlukových stěn, se ještě více prohlubuje neefektivita těchto staveb s dlouhou životností.

Pro snižování dopravního hluku je tedy bezpodmínečně nutné používat progresivní systémová řešení, a to zejména na straně vozidel, ale i na straně infrastruktury.

Na straně vozidel to jsou zejména minimalizace hluku (vyzařovaného akustického výkonu) v místě jeho vzniku [48]:

- styk kol vozidla s infrastrukturou (kolo-kolejnice, kolo-vozovka),
- brzdový systém vozidel (náhrada špalíkových brzd brzdou kotoučovou - u železničních vozidel je rozdíl až 9 dB),
- pohonný systém vozidel (trakční i pomocné pohony),
- absorbéry hluku (zejména na discích železničních kol).

Na straně infrastruktury to jsou zejména:

- kvalitní povrch dopravní cesty: hladké broušené kolejnice (společně s hladkým povrchem kol poklesne hluk až o 15 dB), dodržení geometrické polohy kolejnic, hladký povrch vozovek),
- pružné upevnění kolejnic, hlukové absorbéry na stojině kolejnice (bokovnice), popř. zatravnění žel. svršku městských drah.

Hlukové limity, které musí splňovat hluk emitovaný dopravou udávají následující tabulky 12 a 13.

Tabulka 12: Hygienické limity ekvivalentní hladiny akustického tlaku A ($L_{pAeq,T}$) v chráněném prostoru, platné pro hluk z dopravy na dráhách

Chráněný prostor	**všeobecně**		**ochranné pásmo dráhy**		**stará hluková zátěž** (do 31.12.2000)	
	6 – 22 h	**22 – 6 h**	**6 – 22 h**	**22 – 6 h**	**6 – 22 h**	**22 – 6 h**
venkovní prostor staveb zdravotnických zařízení	50	45	55	50	65	60
venkovní prostor zdravotnických zařízení	50	50	55	55	65	65
venkovní prostor ostatních staveb	55	50	60	55	70	65
venkovní prostor ostatní	55	55	60	60	70	70

Zdroj: NV č. 148/2006

Tabulka 13: Hygienické limity hluku z dopravy před fasádou obytných místností

Zdroj hluku	Hygienický limit hluku LAeq,T [dB]	
	6 – 22 h	22 – 6 h
Pozemní komunikace	55	45
Hlavní pozemní komunikace	60	50
Doprava na drahách	55	50
Doprava na dráhách v ochranném pásmu dráhy	60	55
Letecká doprava	60	50
Stará hluková zátěž z pozemních komunikací	70	60

Zdroj: NV č. 148/2006

Ekvivalentní hladina akustického tlaku A ($L_{pAeq,T}$) vyjadřuje celkovou efektivní hladinu tlaku za určité období – sleduje se denní doba 6 - 22 h a noční doba 22 – 6 h. Ekvivalentní hladina akustického tlaku závisí na:

- vlastnostech prostředí (konfigurace terénu, pohltivost hluku),
- akustickém výkonu vozidla,
- vzdálenosti posuzovaného (chráněného) místa od zdroje hluku,
- době působení zdroje hluku,
- rozsahu působení (počet průjezdů vozidel za sledované období).

4.2.14 Zábor půdy a rozdělování krajiny liniovými dopravními stavbami

Celkový zábor půdy dopravou v ČR byl v roce 1994 odhadnut na 1 293 km^2. Celková délka silnic a dálnic tehdy byla 55 922 km, z toho dálnic 392 km, délka železničních tratí byla 9 441,023 km, z toho 7 393,846 km jednokolejných tratí, 1 901,314 km dvojkolejných tratí, 50,242 km vícekolejných tratí a 95,621 úzkokolejných tratí. Celková stavební délka železnic byla 17 249,125 km, což je cca 1,65 % celkové plochy státu (jedná se o plochu zabranou dopravní cestou bez obslužných míst, tj. bez ploch pro parkoviště, nádraží, dopravní uzly apod.

Z tohoto záboru nejvíce připadá na silniční dopravu - 78 %, a její podíl neustále roste - s postupující výstavbou dálniční sítě a obchvatů měst a obcí.

V ČR se podle vládního usnesení č. 528/1996 plánuje postavit cca 1 470 km čtyřproudových silnic a dálnic. Do konce roku 2010 bylo postaveno 1142 km dálnic a rychlostních silnic; délka silnic I. – III. třídy je 54 579 km, silniční síť celkem tedy 55 721 km (bez místních komunikací). Lze tedy očekávat ještě cca více než 25 % nárůst dálniční sítě. Ve státech EU připadá z celkového záboru půdy dopravou 85 % na silniční dopravu, 10 % na železniční dopravu a zbývajících 5 % na ostatní dopravní obory.

Ve městech je zábor půdy pro dopravou přibližně stejně vysoký jako zábor půdy připadající na veškerou městskou výstavbu. Doprava, včetně dopravy v klidu, tedy zabírá významnou část rozlohy měst.

Neméně závažným negativním vlivem dopravy, je rozdělování krajiny liniovými dopravními stavbami tak, že vznikají vzájemně oddělené krajinné celky. Vznikají malé, nikým nevyužívané pozemky, bez přístupových cest apod., které pro jejich polohu, rozlohu apod. nelze ani zemědělsky obdělávat, ani využít k jiným účelům.

Na rozdělování krajiny se nejvíce podílejí dálnice, které jsou pro chodce a volně žijící zvěř nepřekonatelné. Výrazně se na rozdělování krajiny podílí také vysokorychlostní železnice a modernizované koridorové tratě, které jsou oploceny, vybaveny protihlukovými stěnami apod. Pro chodce je pohyb na dálnicích a železnicích ze zákona zakázán. Větší zvířata bez problémů překonávají silnice (zejména od II. třídy níže) a většinu železnic, až na výše zmíněné VRT a koridory.

Opatřením proti rozdělování krajiny jsou nákladné podchody, popř. nadchody, pro pěší. Pro zvěř se budují přechody navazující na přirozené biokoridory. Ty jsou také ve formě nadchodů (většinou), nebo podchodů (méně často, vzhledem k ochotě zvířat procházet takovým zařízením). Má-li být negativní působení dopravy na okolí co nejmenší, je potřeba s takovými stavbami počítat již v projektech nových dopravních staveb a zřizovat je současně s nimi. Dodatečné zřizování těchto opatření je ekonomicky velice náročné, ve většině případů náročnější než při zřizování společně s novou dopravní stavbou. Proto, zejména s ohledem na současnou obtížnou situaci ve financování dopravních staveb, je nutné tato opatření zřizovat současně s výstavbou dopravních staveb.

4.2.15 Spotřeba energie a omezených přírodních zdrojů

Spotřeba energie ve vazbě na emise je společně s hlukem a vibracemi společensky nejsledovanějším ukazatelem negativního vlivu dopravy na okolí. V průmyslových zemích v Evropě a v Severní Americe připadá na dopravu téměř 30 % celkové spotřeby energie, což je více než připadá na průmysl. V rámci jednotlivých dopravních oborů nejvíce energie spotřebovává silniční doprava (v zemích EU cca 84 %), následuje letecká doprava (11,5 %), železniční (2,7 %) a nejméně říční doprava (2,5 %). Snižování spotřeby energie (zejména tradičních ropných paliv) je proto jedním ze základních pilířů snižování negativního vlivu dopravy na životní prostředí.

Z obnovitelných zdrojů energie využívaných v současné době je možno zmínit především metylestery vyráběné z řepkového oleje, které se míchají s naftou v poměru cca 30:70 a vzniká tím bionafta. Jejich využití je v současné době omezené. Využití solární energie přímo na vozidlech je ve stádiu vývoje, připravuje se uvedení prvních vozidel tohoto druhu do praxe. Další možná obnovitelná alternativní paliva jsou: alkoholy (metanol, etanol aj.), étery a zejména vodík.

V rámci posuzování spotřeby energie dopravou je třeba mít na zřeteli také spotřebu omezených přírodních zdrojů, tj. zejména surovin, ale i energie, na výrobu vlastních dopravních prostředků a stavbu infrastruktury. Tato problematika již přesahuje rámec této práce, a proto zde není dále řešena.

4.2.16 Alternativní paliva

Kapalný ropný plyn (LPG) a stlačený zemní plyn (CNG) produkují ve spalovacích procesech menší množství polutantů[12] než klasická paliva. Přesto je potřeba si uvědomit, že jsou to rovněž v reálném čase neobnovitelné přírodní zdroje, jejichž zásoby jsou odhadovány přibližně na 50 let.

CNG – stlačený zemní plyn (Compressed Natural Gas)

Je vedlejším produktem při těžbě ropy a uhlí. Z 96 – 98 % ho tvoří metan. Oktanové číslo se pohybuje okolo 130. Je to plyn lehčí než vzduch, snadno se rozptyluje – je tedy nejbezpečnější pohonnou hmotou pro motorová vozidla (v zahraničí je vozidlům s pohonem

[12] Polutant – je látka znečišťující nějakou soustavu, např. životní prostředí.

na CNG dovolen vjezd do podzemních i poschoďových garáží - v ČR se zrušení zákazu vjezdu do podzemních garáží pro tato vozidla teprve připravuje). Skladuje se většinou nestlačený, pro motorová vozidla se používá stlačený na 200 bar.

LPG – kapalný ropný plyn (Liquefied Petroleum Gas)

Je vedlejším produktem rafinace ropy a těžby zemního plynu. Tvoří jej 50 % propanu a 50 % butanu, čili se jedná v podstatě o propan-butan, byť s jiným poměrem obou složek. Je těžší než vzduch a tedy zůstává v nižších částech objektů apod. Z toho důvodu nelze s vozidly spalujícími LPG vjíždět do podzemních garáží. Skladuje se v kapalném skupenství, v relativně nízkotlakých nádobách.

Kapalná paliva vyráběná z ropy, tedy zejména benzín a motorová nafta, se vyznačují vyzkoušenou technologií výroby, snadnou přepravou a skladovatelností (i na vozidle). Naopak plynná paliva na bázi uhlovodíků nejsou tak rozvinuta. Obtížnější je především skladování a přeprava, také uložení na vozidle je komplikovanější (větší potřebný prostor, vyšší hmotnost). Z hlediska emisí jsou však plynná paliva ideálním řešením – vozidla spalující tato paliva splňují bez dalších úprav normu Euro 5, ale i budoucí normu Euro 6. Tyto výhody jsou podporovány nižší sazbou daně na plynná paliva. Pořizování vozidel veřejné hromadné dopravy na plyn je také dotováno, a to částkou 500 tis. Kč/vozidlo. Provoz s takto získanými vozidly a pohonnými hmotami vykazuje úsporu až 3 Kč/km ve srovnání s vozidly s naftovým pohonem.

V prvopočátcích používání plynných paliv pro motorová vozidla, se využívalo upravených stávajících vozidel se zážehovými motory. Problémem těchto úprav bylo u osobních vozidel zejména umístění nádrže na plyn do zavazadlového prostoru (spojené se zmenšením jeho objemu), nepohodlné umístění plnícího hrdla nádrže na plyn (většinou v dolní části karoserie), zhoršení parametrů motoru (nižší výkon, zhoršení chodu motoru) a zvýšení hmotnosti vozidla. Jelikož takto upravená vozidla mohla zároveň spalovat i benzín zůstávala zachována i původní palivová soustava. V současnosti se začínají používat vozidla konstruovaná přímo na pohon plynem (zejména CNG), která výše uvedená negativa odbourávají.

Spotřebu energií podle druhu a v absolutních hodnotách uvádějí tabulky 14 a 15.

Tabulka 14: Spotřeba energie podle jednotlivých druhů dopravy [TJ]

Doprava	rok					
	2000	**2001**	**2002**	**2003**	**2004**	**2005**
Silniční celkem	159880	170061	171196	189159	170642	178813
IAD	83106	86389	86230	94367	91484	89794
Silniční veřejná	12793	14643	12988	14189	21042	23663
Silniční nákladní	55060	59436	62726	69584	58116	65356
Železniční	7274	8209	8177	9012	3443	3918
Letecká	8343	8043	8934	10592	13645	15884
Vodní	946	799	733	719	128	145
Celkem	176443	187112	189040	209482	187858	198760

Zdroj: CDV

Tabulka 15: Struktura spotřeby energie jednotlivými druhy dopravy [%]

Doprava	**1996**	**1998**	**2000**	**2002**	**2004**	**2005**
Silniční celkem	87,5	89,0	90,6	90,6	90,8	90,0
IAD	48,9	48	47,1	45,6	48,7	45,2
Silniční veřejná	5,2	7,2	7,3	6,9	11,2	11,9
Silniční nákladní	28,8	28,9	31,2	33,2	30,9	32,9
Železniční	6,9	5,9	4,1	4,3	1,8	2,0
Letecká	4,4	4,5	4,7	4,7	7,3	8,0
Vodní	1,1	0,6	0,5	0,4	0,1	0,1

Zdroj: CDV

4.2.17 Znečištění vod a půdy a poškozování okolí při nehodách

V ČR se na znečištění vod a půdy nejvíce podílí ropné látky uniklé při dopravních nehodách (127 havárií v dopravě v roce 1993 = 49,2 %). Z hlediska podílu jednotlivých druhů dopravy dominuje silniční doprava, při které dochází k 73 % havárií, přičemž pětinu z nich způsobují zahraniční nákladní vozidla. Na druhém místě je železniční doprava s 21 % havárií.

Mezi poškozování okolí dopravou se řadí zejména poškozování staveb (ať už domů či městského mobiliáře) a poškozování přírodního prostředí (zeleň, přírodní útvary) při nehodách – nárazem, následnými požáry, vibracemi (zejména domy), emisemi (nejen zeleň, ale i domy a kulturní památky, zničené stromy apod.). Významný dopad na životní prostředí

má také údržba infrastruktury – zejména zimní údržba pozemních komunikací solením, ale i inertním posypem.

4.2.18 Nehody

Na dopravní nehodovosti se nejvíce podílí silniční doprava. Naopak železniční, letecká a vodní doprava mají nehodovost násobně nižší. To je způsobeno mnoha faktory, zejména nejnižším zabezpečením pohybu vozidel v silniční dopravě. Dále se na nehodovosti podílí také nejnižší odborná úroveň řidičů v silniční dopravě. To je dáno jednak nejkratší dobou výcviku řidičů v silniční dopravě, kdy i nehodovost profesionálů je na nejvyšší úrovni v porovnání s ostatními dopravními obory, a zejména pak vysokým podílem řidičů – amatérů. To by samo o sobě nemuselo být tak závažné, jelikož i v letecké a vodní dopravě se pohybují letadla/lodě řízené amatéry. V silniční dopravě je ale velmi významný vliv vyspělosti, resp. nevyspělosti občanské společnosti a fakt „celospolečenské“ objednávky na řidičské průkazy, kdy podmínky získání řidičského oprávnění nejsou nikterak náročné, což je ještě podpořeno nedostatečným zájmem na dodržování pravidel silničního provozu jak ze strany řidičů, tak orgánů státní správy. Naopak v dopravních oborech s převahou profesionálů a správně nastavenými kontrolními mechanizmy je nehodovost nižší.

Většina dopravních nehod je tedy spojena se silniční dopravou a je způsobena naprosto zbytečně lehkovážností, bezohledností a agresivitou řidičů porušujících pravidla silničního provoz (nedodržování rychlosti, nedání přednosti v jízdě, nepřizpůsobení rychlosti a stylu jízdy povaze vozovky). Nehodovost na silnicích tak v posledních letech velmi nebezpečně roste. V roce 2010 došlo k prvnímu významnému poklesu nehodovosti: počet obětí nehod poklesl pod 1000 (tento stav byl způsoben zejména dlouhodobými nepříznivými zimními podmínkami, kdy mnoho řidičů vůbec nevyjelo). Například mezi lety 1990 až 2004 stoupl počet nehod o 85 %. Počet mrtvých se po vyšších hodnotách v 90. letech 20. stol. stabilizoval na cca 1380 obětech ročně, což je v průměru téměř 4 mrtví denně. V přepočtu na milión obyvatel však u nás ročně umírá 150 lidí, což je 2krát více než např. ve Skandinávii. Rovněž hmotná škoda z nehod na silnicích velmi výrazně vzrostla.

Naopak železniční doprava se dlouhodobě řadí k nejbezpečnějším dopravním odvětvím. Vysokou bezpečnost si zachovává i po liberalizaci trhu – po vstupu nestátních dopravců na železniční síť. Počet usmrcených a zraněných neustále klesá a to i přes výrazný nárůst počtu vlaků v aglomeracích (příměstská doprava), ale i přes postupné oživování trhu

nákladní železniční dopravy. Ve „starých“ zemích EU klesá dlouhodobě i počet nehod na železničních přejezdech, naopak v ČR počet těchto nehod neustále roste, přičemž na vině jsou v naprosté většině řidiči silničních vozidel. Vývoj počtu usmrcených na železnici a silnici v EU mezi roky 2004 a 2005 udává tabulka 16.

Tabulka 16: Smrtelné úrazy na železnici a silnici v EU

Rok		**2004**		**2005**	
		železnice	silnice	železnice	silnice
Počet smrtelných úrazů	EU 25 *)	1 514	43 471	1 483	41 302
	EU 15 *)	807	32 636	754	30 985
	EU 10 *)	707	10 835	729	10 317

Zdroj: EUROSTAT

*) EU 25 – Evropská unie po rozšíření o státy střední a východní Evropy, EU 10 – zakládající státy Evropské unie, EU 15 – Evropská unie po prvním rozšíření

Situaci v nehodovosti v České republice udává následující tabulka 17.

Tabulka 17: Nehodovost v České republice

Rok	**2006**		**2009**	
	počet nehod	počet obětí	počet nehod	počet obětí
železnice	233	141	113	118
z toho na přejezdech	104	123	42	106
silniční doprava	22 115	1 063	21 706	901
vnitrozemská vodní doprava	19	0	11	0
letecká doprava	36	1	68	11
z toho všeobecné letectví	36	1	68	11

Zdroj: MD ČR

Tyto teoretické podklady uvedené v těchto podkapitolách budou následně využity při aplikaci metodiky na posuzovaný dopravní systém a vyhodnocení jeho dopadu na životní prostředí.

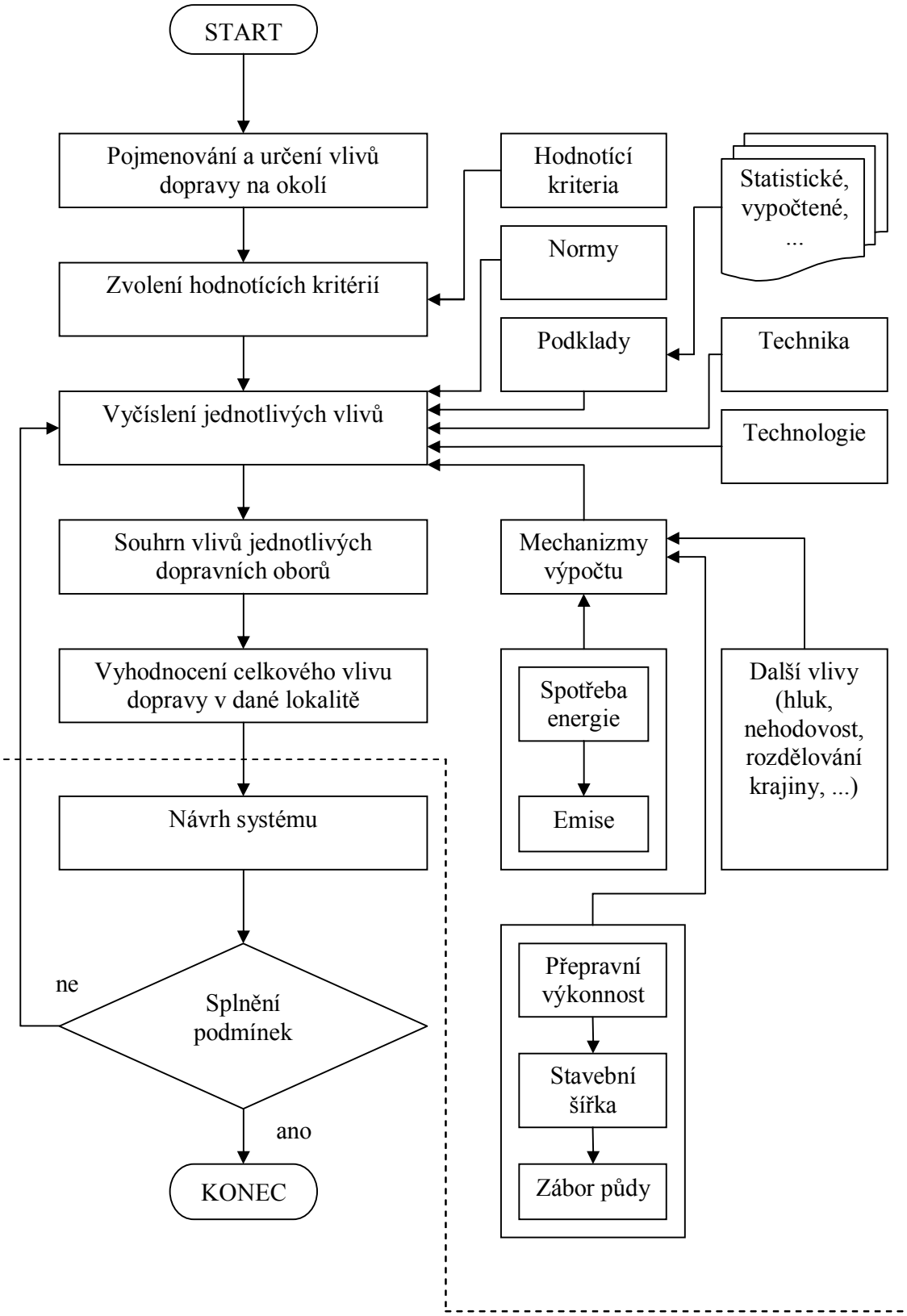
4.3 Technicko-technologická metoda pro posouzení vlivu dopravy na životní prostředí

Metodika porovnání vlivů dopravy na okolní prostředí spočívá v pojmenování vlivů dopravy na okolí, jejich rozčlenění na pozitivní a negativní vlivy, vyhodnocení dopadu jednotlivých (negativních) vlivů a v závěrečném posouzení celkového společného výsledného vlivu dopravy na okolí (na životní prostředí v zájmové lokalitě). Postup lze shrnout do následujících kroků:

1. pojmenování a určení vlivů dopravy na okolí,
2. zvolení hodnotících kritérií,
3. vyčíslení jednotlivých vlivů,
4. souhrn vlivů jednotlivých dopravních oborů,
5. vyhodnocení celkového vlivu dopravy v dané lokalitě.

Jako navazující postupy lze uvést modelování způsobu obsluhy, který zajistí minimální negativní vliv dopravy na okolí, nebo v případě návrhu nového dopravního systému, při definovaných (společensky přijatelných) hodnotách negativních vlivů, určení možného způsobu dopravní obsluhy území.

Postup je uveden v diagramu na obr. 14. Nejprve jsou pojmenovány a určeny vlivy dopravy na okolí a následně zvolena hodnotící kriteria. Pro vyčíslení jednotlivých vlivů vstupují do postupu statistické podklady, normy a mechanizmy výpočtů pro vyčíslení jednotlivých vlivů a poznatky z rozvoje techniky a technologie. Po vyčíslení jednotlivých vlivů jsou vyhodnoceny jednotlivé dopravní obory zabezpečující dopravu v dané lokalitě a následně je provedeno celkové vyhodnocení dopadu dopravy na ŽP v posuzované lokalitě. Lomená čárkovaná čára odděluje část, kterou řeší tato práce od části, kterou je možné řešit v dalších navazujících krocích (jedná se zejména o návrh a optimalizaci dopravních systémů).



Obr. 14 Postup vyhodnocení vlivu dopravy na okolí. Zdroj: Autor

4.3.1 Relativní a absolutní vliv dopravy na okolí

Důležitý vliv při posuzování vlivu integrovaných dopravních systémů na životní prostředí má stupeň integrace. Čím bude systém integrovanější – čím těsnější bude spolupráce jednotlivých dopravních oborů resp. operátorů, tím menší bude negativní vliv tohoto IDS na životní prostředí. V systému s těsnou integrací jsou odstraněné neefektivní a neekologické souběhy linek, čímž se snižuje absolutní vliv IDS na životní prostředí. Systém s těsnou integrací je díky vyšší kvalitě přepravního procesu atraktivní, je více využíván, stoupá počet přepravených cestujících a tím klesá i relativní vliv IDS na životní prostředí. Vliv IDS, resp. dopravy všeobecně, na životní prostředí je možno posuzovat jako absolutní a relativní.

Absolutní vliv IDS na životní prostředí

Absolutní vliv je souhrnem veškerých působících vlivů, resp. sledovaného činitele[13]. Při posuzování dopadu na životní prostředí se jedná zejména o negativní vlivy (množství škodlivin produkované celým systémem, celkové množství jednotlivé škodliviny).

U vzorců (9), (10) a (11) nejsou záměrně uvedeny jednotky, neboť ty závisí na právě posuzovaném vlivu. Může se jednat např. o emise, spotřebu paliv a elektrické energie, zábor půdy apod.

$$V = \sum n_i \cdot E_i \tag{9}$$

kde: V – absolutní vliv závislý na počtu vozidel,
n_i – počet vozidel i-tého typu [-],
E_i – vlivy závislé na počtu vozidel i-tého typu.

$$V = \sum l_i \cdot E_i \tag{10}$$

kde: V – absolutní vliv závislý na projeté vzdálenosti
l_i – vzdálenost projetá vozidly i-tého typu [km],
E_i – vlivy závislé na projeté vzdálenosti vozidly i-tého typu.

[13] Jednotlivé posuzované vlivy – emise, hluk, zábor půdy, atd.

$$V = \sum p_i \cdot E_i \tag{11}$$

kde: V – absolutní vliv závislý na přepravním výkonu,

p_i – dopravní výkon vozidel i-tého typu [oskm, tkm],

E_i – vlivy závislé na přepravním výkonu vozidel i-tého typu.

Relativní vliv IDS na životní prostředí

Lze obecně definovat jako podíl celkových vlivů (při posuzování dopadu zejména negativních) připadajících na jeden prvek, který je původcem znečištění resp. negativního vlivu (vozidlo, přepravený cestující, oskm apod.).

$$v_1 = \frac{\sum n_i \cdot E_i}{\sum n_i} \qquad \text{[g/voz]}$$

(12)

kde: v_1 – relativní vliv IDS na životní prostředí podle počtu vozidel [g/voz],

n_i – počet vozidel i-tého typu [-],

E_i – emise vozidla i-tého typu [g].

$$v_2 = \frac{\sum l_i \cdot E_i}{\sum l_i} \text{ [g/km]} \tag{13}$$

kde: v_2 – relativní vliv IDS na životní prostředí podle počtu přepravených osob [g/km],

l_i – vzdálenost projetá vozidly i-tého typu [km],

E_i – emise vozidla i-tého typu [g].

$$v_3 = \frac{\sum p_i \cdot E_i}{\sum p_i} \text{ [g/oskm]; resp. [g/tkm]} \tag{14}$$

kde: v_3 – relativní vliv IDS na životní prostředí podle počtu realizovaných oskm, resp. tkm [g/oskm, g/tkm]

E_i – emise vozidla i-tého typu [g],

p_i – dopravní výkon vozidel i-tého typu [oskm, tkm].

Integrovaný dopravní systém by měl přinést snížení absolutních hodnot vyprodukovaných emisí, k čemuž má přispět zejména vyšší využití systému veřejné dopravy (přestup cestujících od individuální automobilové dopravy), ale také snížení relativních emisí vozidel. Relativní snížení emisí moderních prostředků IAD nemusí přinést absolutní snížení emisí, jelikož prudce stoupá jejich počet, na který se vážou další negativní vlivy, např. budování dalších komunikací jako snaha o odstranění kongescí, výroba dopravních prostředků IAD.

Vliv IDS na životní prostředí není závislý pouze na stupni integrace, důležitým faktorem pro omezování vlivu dopravy na životní prostředí (platí všeobecně, nejen pro VHD) je plynulost dopravy. Časté změny rychlosti dané nevyhovujícím stavem dopravní cesty, popojíždění v kolonách během kongescí atd. zbytečně výrazným způsobem zvyšují množství emisí produkovaných dopravou = **rozvoj podmíněný technologickým pokrokem**.

Dalším faktorem, který má výrazný vliv na celkové množství emisí (na spotřebu energie) produkovaných dopravou je měrná spotřeba paliva (energie), ať už ve vztahu k jednotce hmotnosti, oskm nebo k počtu míst k sezení. Čím nižší bude měrná spotřeba, tím budou nižší i emise. Toho lze dosáhnout více způsoby – jednak absolutním snížením spotřeby paliva (energie), tedy zavedením hospodárnějších motorů, resp. kvalitní regulací výkonu, ale také snížením vlastní hmotnosti dopravního prostředku = **rozvoj podmíněný technickým pokrokem**.

Lze říci, že oba výše uvedené faktory, tedy technologický i technický, mají společný jednotící základ. Tím jsou zákony vozební mechaniky, platné všeobecně pro všechny dopravní obory. V tomto případě se lze oprostit od letecké dopravy, která se v IDS nevyužívá, a zabývat se pouze dopravou pozemní, tedy kolejovou (železniční, metrem, tramvajovou) a dopravou silniční (autobusovou, automobilovou) a drážní dopravou na pomezí kolejové a silniční dopravy – dopravou trolejbusovou.

4.3.2 Posuzování vlivu dopravy na okolí

Pro posouzení ovlivňování okolí jednotlivými dopravními obory byly vybrány základní kriteria, které jsou dále rozpracovány. Ostatní vlivy nejsou řešeny vzhledem k rozsahu práce, popř. jejich uchopení je obtížně vyčíslitelné, nebo není závažné pro životní prostředí.

Jednotlivá kriteria jsou dále vyhodnocena a jejich souhrnné působení, a tím i posouzení rozdílného vlivu IDS (veřejné hromadné dopravy) a vlivu IAD na okolí, je provedeno pomocí tabulky 18. Tato tabulka se sestaví zvlášť pro posouzení relativního a absolutního vlivu dopravy na okolí. Vyplněná tabulka 18 je uvedena v závěru aplikační části disertační práce.

Tabulka 18: Posouzení jednotlivých vlivů na okolí

Základní oblasti působení dopravy na okolí - kriteria	**Subsystémy IDS**			**Typový osobní automobil**
	ŽELEZNICE (příměstská, rychlodráha)	TRAMVAJ METRO	BUS	
EMISE				
SPOTŘEBA ENERGIE				
ZÁBOR PŮDY A ROZDĚLOVÁNÍ KRAJINY				
HLUK				
CELKOVÝ VLIV JEDNOTLIVÝCH SUBSYSTÉMŮ				
CELKOVÝ VLIV				

Zdroj: Autor

zvolení hodnotících kriterií (vlivů)

vyčíslení jednotlivých vlivů

vyhodnocení vlivu dopravy v dané lokalitě

Zařazení jednotlivých vlivů do tabulky a přiřazení ohodnocení dopadu je závislé na konkrétním případu posuzované situace, a může se lišit v konkrétní aplikaci závislé na posuzování celkového vlivu dopravy na okolí, nebo při snaze o omezení v daném místě dominantního negativního vlivu dopravy na okolí.

5 APLIKACE NAVRŽENÉ METODIKY

Kapitola uvádí možnosti aplikace metodiky posouzení vlivu dopravy na životní prostředí (porovnání IDS s jednotlivými dopravními obory) na praktickém příkladu. Posuzovány jsou nejvýznamnější vyčíslitelné vlivy dopravy na okolí – emise škodlivin, zábor půdy, hluk a aspekty protihlukových opatření; jako doplňující kriterium porovnání je zde uvažována také bezpečnost (nehodovost) jednotlivých dopravních oborů.

5.1 Posouzení emisí

Pro posouzení emisí jednotlivých dopravních oborů účastnících se na dopravní obsluze území, byla vybrána příměstská linka z krajského města s délkou 11,5 km, obsluhovaná 29 páry autobusových spojů s průměrnou obsazeností 26,86 cestujících, tedy cca 1560 cestujících/den. Linka je situována v rovinatém terénu, průměrná vzdálenost zastávek je cca 1,5 km.

5.1.1 Emise individuální dopravy

Pro posouzení je uvažován osobní automobil se zážehovým motorem o zdvihovém objemu 1,4 l a kombinované spotřebě 6,6 l benzínu/100 km, splňující normu Euro 5. Uvažovaná obsazenost je 2 cestující (řidič + spolujezdec).

Počet jízd, které je třeba vykonat OA pro přepravu daného počtu cestujících lze určit podle vztahu (15).

$$n = \frac{N}{C} \quad [-] \tag{15}$$

kde: n – počet jízd [-],
N – počet cestujících [-],
C – počet cestujících přepravených 1 vozidlem při 1 jízdě [-].

Pro obsluhu 1560 cestujících je potřeba vykonat 780 jízd osobním automobilem.

Celková ujetá vzdálenost OA bude:

$$L = l \cdot n \qquad [\text{km}] \tag{16}$$

kde: L – celkem ujetá vzdálenost [km],
l – délka linky [km],
n – počet jízd [-].

Celková ujetá vzdálenost osobních automobilů je L = 780 x 11,5 = 8970 km. Při této ujeté vzdálenosti se spotřebuje:

Palivo v celkovém množství:

$$B = L \cdot b \qquad [\text{l}] \tag{17}$$

kde: B – celková spotřeba paliva [l],
L – celková ujetá vzdálenost [km],
b – spotřeba paliva na 1 km [l/km].

Celkem se při jízdách osobních automobilů spotřebuje B = 8970 / 100 x 6,6 = 592 l benzínu.

Emise škodlivin osobního automobilu budou podle normy Euro 5 a při využití výše vztahu (10):

$$^{km}E_i = e_i \cdot L \quad [\text{g}] \tag{18}$$

kde: $^{km}E_i$ – celkové emise vzhledem k ujeté vzdálenosti [g],
e_i – emise i-tého polutantu (zde dle Euro 5) [g/km],
L – celková ujetá vzdálenost [km].

Tabulka 19: Emise osobního automobilu na sledované trase

Polutant	Emise [g]
CO	8970
CH_x	897
VOC	610
NO_x	538
PM	45

Zdroj: Autor

5.1.2 Emise autobusů

Posuzovanou trasu obsluhuje 29 párů spojů vedených autobusem o délce 12 m a celkové hmotnosti v obsazeném stavu cca 20 t, splňujícím normu Euro 5.

Výpočtem podle (15), (16), (17) autobus vykoná 58 jízd v celkové délce 667 km. Při jedné jízdě vykoná trakční práci cca 38 kWh, celkem tedy 2204 kWh. Výpočet trakční práce vychází ze zákonitostí trakční mechaniky. Při této dopravní práci se uvolní emise ve výši:

$$^{kWh}E_i = e_i \cdot A \quad [\text{g}] \tag{19}$$

kde: $^{kWh}E_i$ – celkové emise vzhledem k vykonané trakční práci [g],

e_i – emise i-tého polutantu (zde dle Euro V) [g/kWh],

A – celková vykonaná trakční práce [kWh].

Tabulka 20: Emise autobusu na sledované trase (bez započtení účinnosti)

Polutant	Emise [g]
CO	3306
CH_x	1014
NO_x	4408
PM	22

Zdroj: Autor

Vzhledem k účinnosti přenosu výkonu autobusu cca 80 % je potřeba hodnoty navýšit dle vzorce (20). Výsledné hodnoty uvádí tabulka 21:

$$^{kWh}E_i(skut.) = ^{kWh}E_i \cdot \eta \quad [\text{g}] \tag{20}$$

kde: $^{kWh}E_i$ (skut.) – skutečné celkové emise vzhledem k vykonané trakční práci [g],

$^{kWh}E_i$ – celkové emise vzhledem k vykonané trakční práci [g],

η – účinnost přenosu výkonu [-].

Tabulka 21: Emise autobusu na sledované trase (se započtením účinnosti)

Polutant	Emise [g]
CO	4132
CH_x	1268
NO_x	5510
PM	28

Zdroj: Autor

5.1.3 Emise motorové železniční trakce

Uvažován je motorový vůz splňující normu UIC Stage IIIA, o výkonu 550 kW, s hydromechanickým přenosem výkonu, kapacitě 120 cestujících a hmotnosti v obsazeném stavu cca 80 t. Tento motorový vůz na přepravu uvedeného počtu cestujících potřebuje minimálně 13 jízd (podle (15), (16), (17)); pro výpočet se uvažuje14 jízd, tj. 7 párů vlaků.

Na uvedené rovinaté trati tento motorový vůz při jedné jízdě vykoná dopravní práci cca 52 kWh, celkem tedy 728 kWh. Výpočet trakční práce vychází ze zákonitostí trakční mechaniky. Při této dopravní práci se uvolní emise ve výši:

$$^{kWh}E_i = e_i \cdot A \quad [\text{g}] \tag{21}$$

kde: $^{kWh}E_i$ – celkové emise vzhledem k vykonané trakční práci [g],

e_i – emise i-tého polutantu (zde dle UIC Stage IIIA) [g/kWh],

A – celková vykonaná trakční práce [kWh].

Tabulka 22: Emise železničního motorového vozu na sledované trase (bez započtení účinnosti)

Polutant	Emise [g]
CO	2548
HC + NO_x	2912
PM	146

Zdroj: Autor

Hodnoty je opět potřeba vzhledem k účinnosti hydromechanického přenosu výkonu (jako v případě autobusu) o cca 80 % navýšit podle vzorce (20):

Tabulka 23: Emise železničního motorového vozu na sledované trase (se započtením účinnosti)

Polutant	Emise [g]
CO	3185
HC + NO_x	3640[14]
PM	183

Zdroj: Autor

5.1.4 Emise elektrické železniční trakce

Pro výpočet je uvažována moderní elektrická dvouvozová jednotka s výkonem 2000 kW vybavená rekuperací, hmotností 123 t v obsazeném stavu a se 180 místy k sezení.

Pro přepravu uvedeného množství cestujících musí podle (15), (16), (17) vykonat minimálně 9 jízd, pro výpočet je uvažováno s 10 jízdami.

Na uvedené trati jednotka při jedné jízdě vykoná dopravní práci 117 kWh a spotřebuje při ní 66 kWh elektrické energie (bez rekuperace by to bylo 134 kWh). Při 10 jízdách tedy potřebuje 660 kWh energie. Výpočet spotřeby trakční elektrické energie vychází ze zákonitostí trakční mechaniky.

Na dodávku 660 kWh elektrické energie je potřeba, při účinnosti výroby a distribuční energetické sítě 26 %, vyrobit podle (22) 1150 kWh elektrické energie.

$$E_{el}(skut.) = E_{el} \cdot \eta \qquad \text{[kWh]} \tag{22}$$

kde: E_{el} (skut.) – skutečná vyrobená elektrická energie [kWh],

E_i – trakční spotřeba elektrické energie [kWh],

η – účinnost výroby elektrické energie a energetické přenosové soustavy [-].

Při energetickém mixu ČR, kde na elektrárny uvolňující emise připadá cca 67 % výroby, odpovídá potřebné energii podle (23), emisemi zatížená elektrická energie ve výši 770 kWh.

$$E_{el}(emis.) = E_{el}(skut.) \cdot p_{emis.} \qquad \text{[kWh]} \tag{23}$$

kde: E_{el} (emis.) – emisemi zatížená elektrická energie [kWh],

[14] na obr. 15 je uvažováno se stejným podílem emisí HC a NO_x

E_{el} (skut.) – skutečná vyrobená elektrická energie [kWh],

$p_{emis.}$ – podíl elektrické energie připadající na elektrárny produkující emise [-].

Při výrobě elektrické energie v tepelné elektrárně připadají na výrobu 770 kWh elektrické energie emise ve výši (viz tabulka 24):

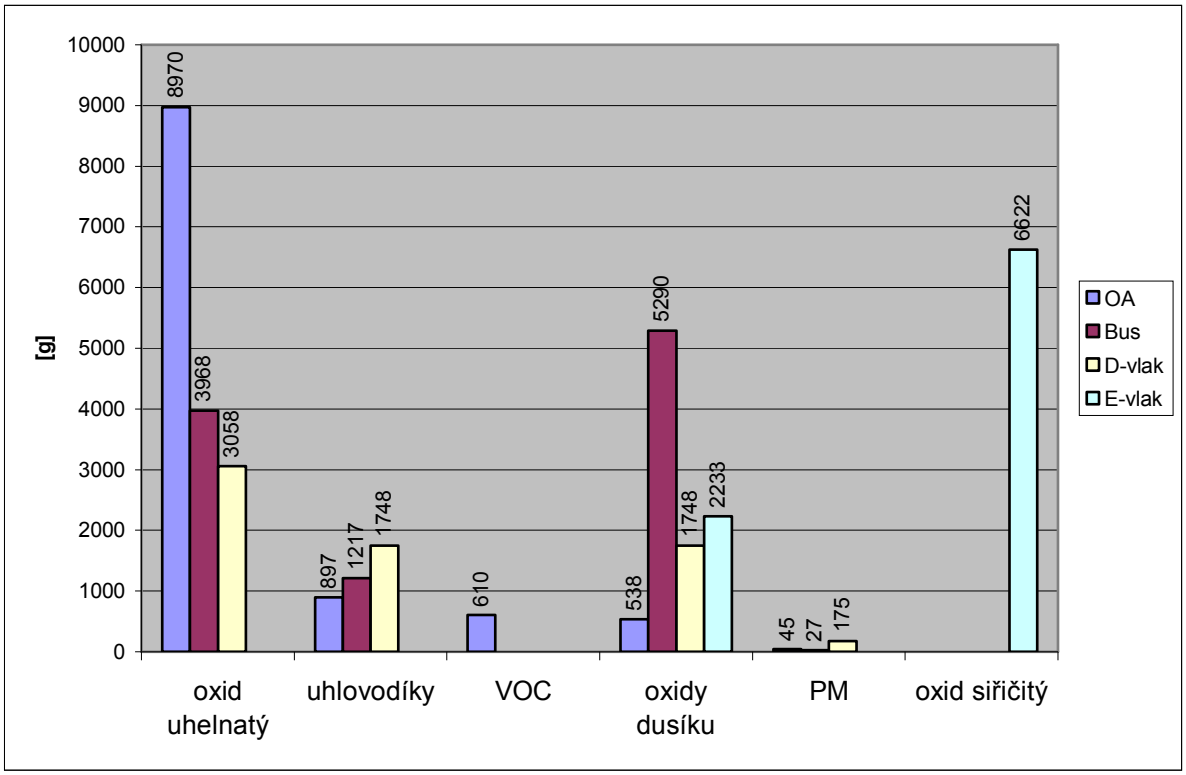
Tabulka 24: Emise elektrické železniční trakce na sledované trase

Polutant	Emise [g]
SO_2	6622
NO_x	2233

Zdroj: Autor

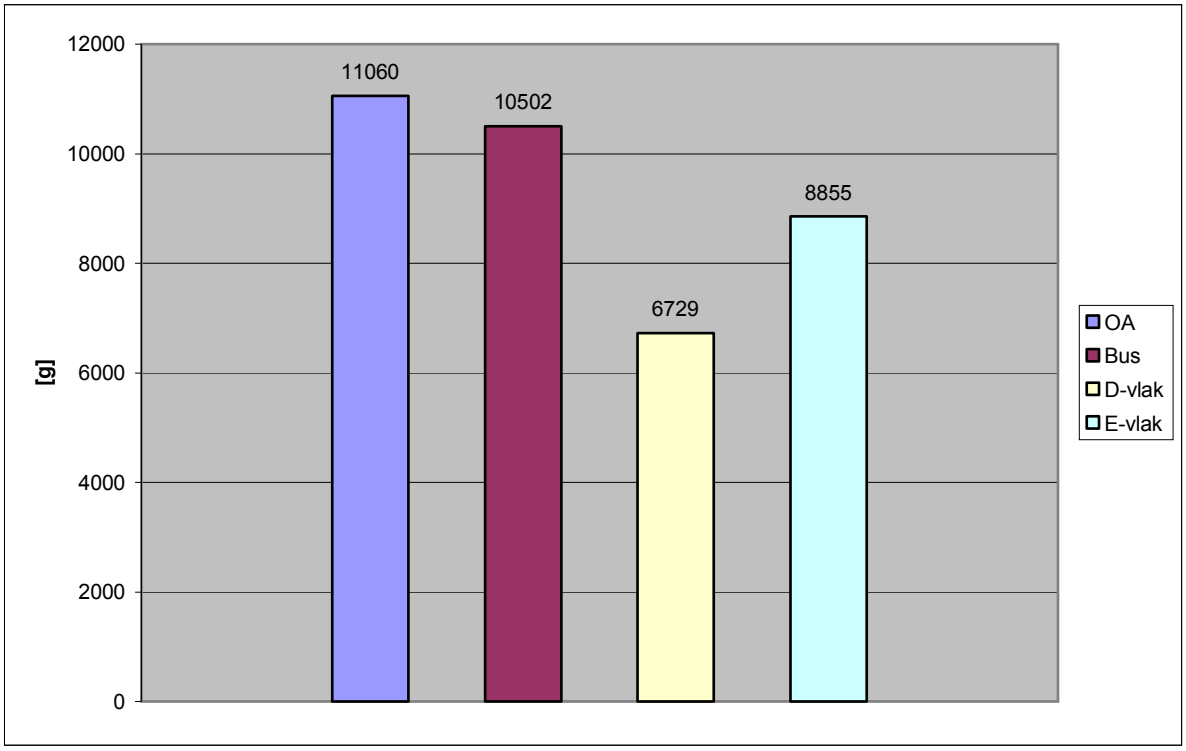
5.1.5 Porovnání emisí

Emise jednotlivých dopravních oborů podílejících se na pozemní přepravě osob uvádí následující obr. 15.



Obr. 15 Emise jednotlivých polutantů za den na sledované lince. Zdroj: Autor

Vzhledem k rozdílným typům emisí jednotlivých vozidel, byly pro porovnatelnost vypočteny celkové emise sledovaných polutantů v [g], jako součet emisí příslušného dopravního prostředku. Tyto emise uvádí obr. 16.



Obr. 16 Celkové emise v gramech za den na sledované lince. Zdroj: Autor

Na typové lince obsluhy byly vypočteny celkové emise sledovaných polutantů, uvolněné do ovzduší za den, podle hodnot omezených emisními normami (v nichž chybí např. významný skleníkový plyn oxid uhličitý). Obsluha linky byla simulována pro jednotlivé dopravní obory. Ve skutečnosti se jedná o poměrně krátkou linku obsluhovanou autobusy, které kapacitou plně vyhovují.

Výpočty prokázaly, že i na této - pro železniční dopravu nepříliš vhodné lince (časté zastavování, malá délka linky) - je železniční, resp. kolejová doprava všeobecně, jedním z ekologicky nejšetrnějších dopravních oborů. Tento vliv je významně podpořen možností rekuperace a možností využívání ekologicky čisté energie z obnovitelných nebo jaderných zdrojů. Naopak individuální automobilová doprava potvrdila svou ekologickou náročnost.

5.2 Posouzení protihlukových opatření

Neefektivnost výstavby protihlukových stěn je možno demonstrovat na následujícím příkladu [48]:

- celkové pořizovací náklady na jednostrannou protihlukovou stěnu činí cca 20 mil. Kč/km,
- pořizovací náklady moderní 7-vozové soupravy se 4-systémovou elektrickou lokomotivou jsou cca 500 mil. Kč (100 mil. Kč lokomotiva, 400 mil. Kč vozy),

- cestovní rychlost vlaku 93 km/h,
- využití náležitostí k jízdě vlaku 75% (oběhová rychlost cca 70 km/h, tj. 93 x 0,75),
- jízda vlaků v taktu 1 h v obou směrech.

Pro zajištění uvedeného rozsahu dopravy je potřeba zajistit na 1 km tratě počet vlakových náležitostí podle vzorce (24):

$$n = \frac{N}{L} = \frac{N}{T_i . v_o} = \frac{2}{1.70} = 0{,}029 \ \text{[vlaků/km]} \tag{24}$$

kde: n – počet vlaků připadajících na 1 km délky tratě [vlaků/km],
N – počet dopravních směrů (vzhledem k obousměrnému provozu je N = 2) [-],
L – délka tratě [km],
T_i – interval mezi vlaky [h],
v_o – oběhová rychlost [km/h].

Pořizovací náklady *c* na tento potřebný vozový park udává vzorec (25):

$$c = C . n \ \text{[Kč/km]} \tag{25}$$

kde: c – pořizovací náklady na vozový park připadající na 1 km tratě [Kč/km],
C – pořizovací cena 1 vlaku [Kč],
n – počet vlaků připadajících na 1 km délky tratě [vlaků/km],

Po vyčíslení vzorce (25) se získají pořizovací náklady na vozový park připadající na 1 km délky tratě ve výši 14,29 mil. Kč/km.

Z tohoto příkladu je zřejmé, že zavedení moderních nízkohlučných vozidel do provozu je efektivnější, než výstavba protihlukových stěn, jelikož náklady na výstavbu protihlukové stěny jsou cca 20 mil. Kč/km. Výhody je třeba spatřovat nejen v ceně pořízení – nová vozidla jak v osobní regionální a příměstské, tak i v dálkové dopravě je potřeba pořídit bez ohledu na protihlukové stěny. Nová vozidla s sebou přinášejí další výhody jako atraktivitu pro cestující, vyšší spolehlivost, nižší provozní náklady atd.

Protihlukové stěny jsou tedy jedním z nejnákladnějších a nejméně efektivním opatřením na snížení hlučnosti. Ty sice odstíní zájmové území od hluku, ale převážně ho odrazí do jiné lokality, a také zvýší vnitřní hluk ve vozidlech. Pohltivost hluku je výrazně menší ve srovnání s odrazivostí.

5.3 Posouzení záboru půdy jednotlivými dopravními obory

Posouzení záboru půdy jednotlivými dopravními obory vychází z rozměrů typových řezů tělesem stavby (železniční trati, silniční komunikace).

5.3.1 Železnice – dráha celostátní a regionální

Pro porovnání záboru půdy jsou v případě železniční dopravy (na dráze celostátní a regionální) uvažovány tyto varianty:

- jednokolejná trať – typová šířka pláně železničního spodku 6 000 mm,
- dvojkolejná trať – typová šířka pláně železničního spodku 10 000 mm.

Jednokolejná trať

Pro vyčíslení kritéria „zábor půdy“ jsou na jednokolejné trati uvažovány následující vstupní parametry:

- interval 30 min v obou směrech
- kapacita 1 vlaku 300 cestujících
  - 2 vlaky v jednom směru/hod
  - 4 vlaky v obou směrech /hod.

Přepravní kapacita za 24 hod je dána vzorcem (26):

$$K_C = T.S.\frac{60}{I}.k \qquad \text{[os/den]} \tag{26}$$

kde: K_C – celková přepravní kapacita za 24 hod [osob]

T – výpočetní doba [24hod]

S – počet dopravních směrů [-]

I – interval [min]

k – kapacita dopravního prostředku [osob].

Po dosazení do vzorce (26) je přepravní kapacita K_C = 24.2.(60/30).300 = 28 800 cestujících/24 hod.

Dvojkolejná trať

Na dvoukolejné trati jsou pro vyčíslení kritéria „zábor půdy“ uvažovány následující vstupní parametry:

- interval 15 min v obou směrech
- kapacita 1 vlaku 300 cestujících
  - 4 vlaky v jednom směru/hod
  - 8 vlaků v obou směrech/hod.

Po dosazení do vzorce (26) je přepravní kapacita K_C = 24.2.(60/15).300 = 57 600 cestujících/24 hod.

5.3.2 Pozemní komunikace

Pro určení záboru půdy silniční dopravou jsou uvažovány silnice I., II. a III. třídy (s různými počty jízdních pruhů).
Kategorijní šířka silniční komunikace pro intenzitu nad 1 500 vozidel/24 hod (podle zákona č. 111/97 Sb. a souvisejících norem):

silnice I. třídy – 4 pruhová	–	26 500 mm
	–	24 500 mm
	–	22 500 mm
– 2 pruhová	–	11 500 mm
silnice II. třídy – 4 pruhová	–	22 500 mm
– 2 pruhová	–	11 500 mm
	–	9 500 mm
silnice III. třídy – 2 pruhová	–	11 500 mm
	–	9 500 mm
	–	7 500 mm

Autobus na silniční komunikaci

Pro vyčíslení kritéria „zábor půdy“ pro autobusovou dopravu jsou uvažovány následující vstupní parametry:

- interval 10 min v obou směrech
- kapacita 1 autobusu 50 cestujících
  - 6 spojů v jednom směru/hod
  - 12 spojů v obou směrech/hod.

Po dosazení do vzorce (26) je přepravní kapacita K_C = 24.2.(60/10).50 = 14 400 cestujících/24 hod

Individuální automobilová doprava

Přepravní kapacita vychází z intenzity nasyceného dopravního proudu (při optimální hustotě dopravního proudu je jeho intenzita maximální).

- 2 pruhová komunikace 1 500 – 2 000 vozidel/hod (pro výpočet uvažováno 1 750 voz/hod)
- 4 pruhová komunikace 3 700 – 4 200 vozidel/hod (pro výpočet uvažováno 3 950 voz/hod).

Uvažována je obsazenost 1,5 cestujících/vozidlo.
Přepravní kapacita 2-pruhové komunikace = 24.1750.1,5 = 63 000 cestujících/24 hod.

Přepravní kapacita 4-pruhové komunikace = 24.3950.1,5 = 142 200 cestujících/24 hod.

Shrnutí výpočtů uvádí tabulka 25, z níž vyplývá:

- z prostředků veřejné hromadné dopravy mají nejvyšší kapacitu s ohledem na zábor půdy drážní subsystémy dopravy;
- nejpříznivější hodnoty vykazuje metro následované dvojkolejnou rychlodráhou, resp. příměstskou železnicí;
- vysoká přepravní kapacita při využití individuální automobilové dopravy je dána zejména prakticky nulovým intervalem[15], nicméně zábor půdy zůstává pro tento způsob přepravy nejvyšší.

[15] s ohledem na zásady bezpečné jízdy, resp. bezpečné vzdálenosti – odstupu mezi vozidly

Tabulka 25: Zábor půdy a přepravní kapacita

	interval [min]	**zábor půdy** [mm]	**přepravní kapacita** [os/den]
jednokolejná železniční trať (pouze osobní zastávkové vlaky)	30,0	6 000	28 800
	15,0	6 000	57 600
dvojkolejná železniční trať (pouze osobní zastávkové vlaky)	15,0	10 000	57 600
	10,0	10 000	86 400
autobus	10,0	11 500	14 400
IAD	-	11 500	63 000
	-	24 500	142 200
rychlodráha	5,0	10 000	115 200
	7,5	10 000	172 800
metro	2,5	0 (teoreticky na povrchu)	576 000 (souprava á 500 os.)

Zdroj: Autor

5.4 Porovnání nehodovosti mezi železniční a silniční dopravou

Porovnání nehodovosti mezi železniční a silniční (z převážné většiny zastoupené individuální automobilovou dopravou) dopravou uvádí následující příklad z ČR.

5.4.1 Železniční doprava

V železniční dopravě byly pro porovnání užity údaje o přepravních výkonech a nehodovosti z roku 2009 [49]:

5 043,1 mil. přepravených cestujících

6 503,2 mil. oskm

71 nehod (bez nehod na železničních přejezdech)

113 nehod (včetně nehod na železničních přejezdech)

12 obětí nehod (bez nehod na železničních přejezdech)

118 obětí nehod (včetně nehod na železničních přejezdech).

Při využití poznatků relativního vlivu připadá:

1 nehoda na 71,03 mil. přepravených cestujících (bez nehod na železničních přejezdech)
1 nehoda na 91,59 mil. oskm (bez nehod na železničních přejezdech)
1 mrtvý na 420,26 mil. přepravených cestujících (bez nehod na železničních přejezdech)
1 mrtvý na 541,93 mil. oskm (bez nehod na železničních přejezdech)

1 nehoda na 44,63 mil. přepravených cestujících (včetně nehod na železničních přejezdech)
1 nehoda na 57,55 mil. oskm (včetně nehod na železničních přejezdech)
1 mrtvý na 42,74 mil. přepravených cestujících (včetně nehod na železničních přejezdech)
1 mrtvý na 55,11 mil. oskm (včetně nehod na železničních přejezdech).

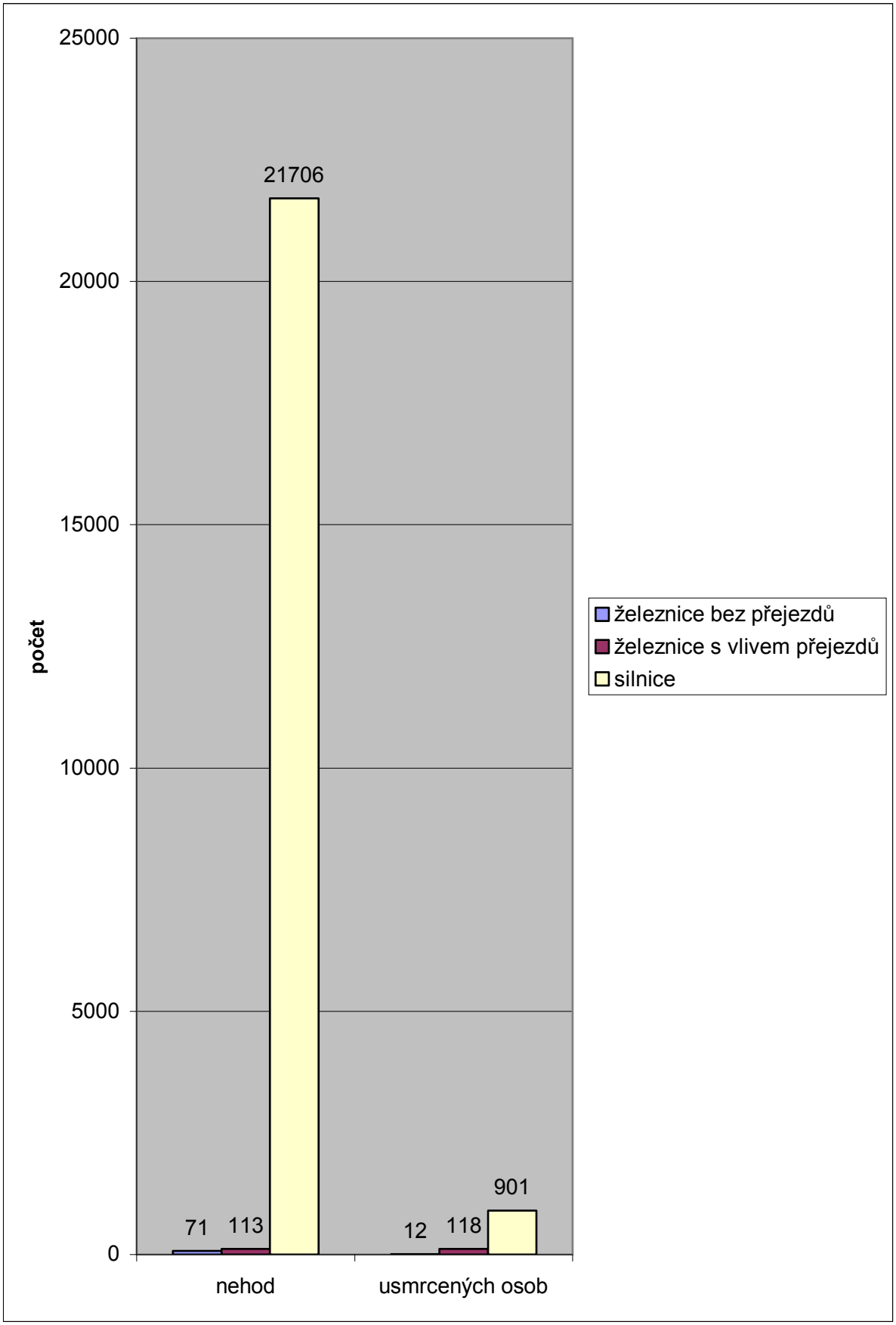
5.4.2 Silniční doprava

V silniční dopravě byly pro porovnání užity údaje o přepravních výkonech a nehodovosti z roku 2009 [49]:
2 240,0 mil. přepravených cestujících
72 290,0 mil. oskm
21 706 nehod
901 obětí nehod (usmrcených).

Analogicky připadá na tento dopravní obor:

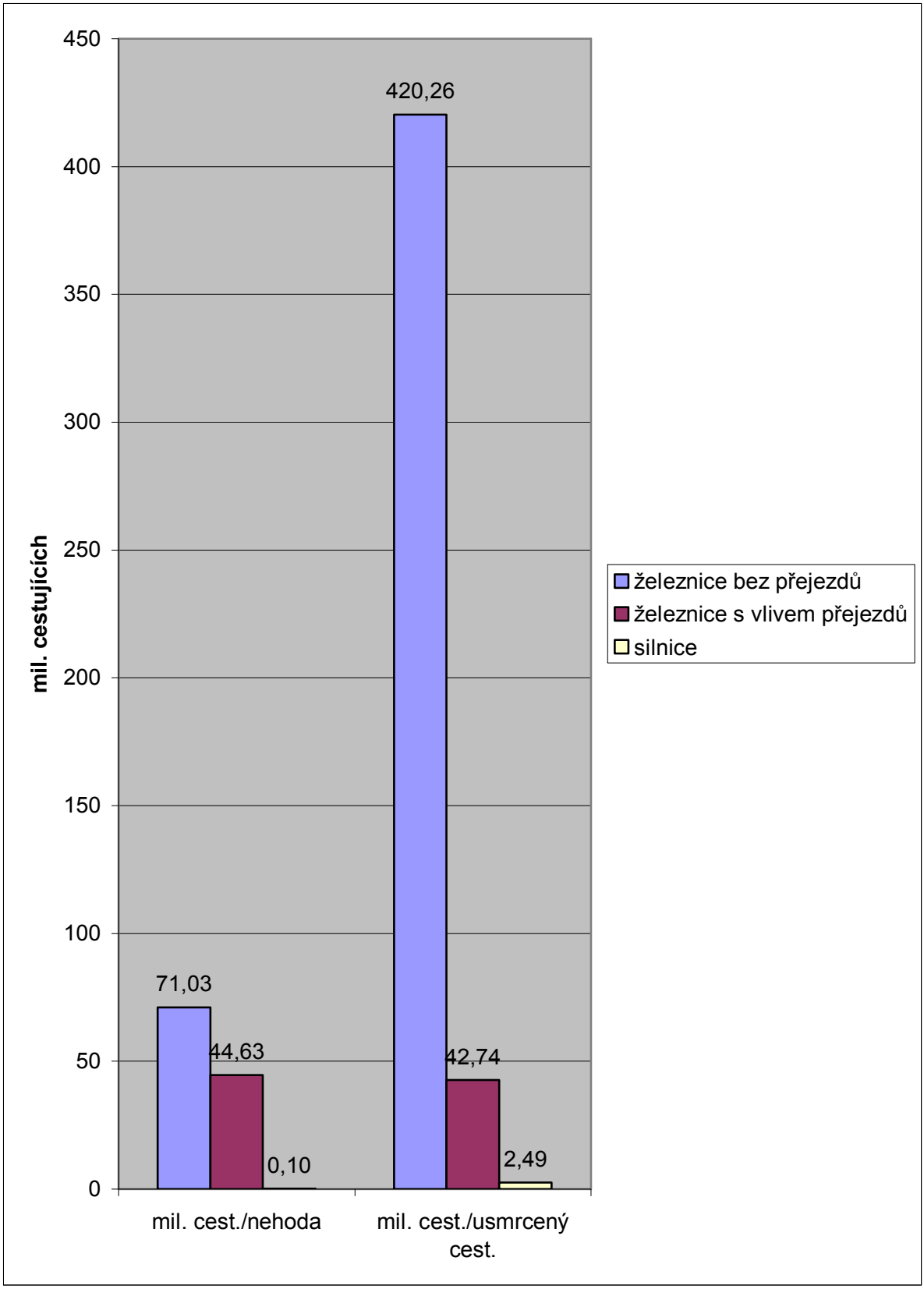
1 nehoda na 0,10 mil. přepravených cestujících
1 nehoda na 3,33 mil. oskm
1 mrtvý na 2,49 mil. přepravených cestujících
1 mrtvý na 80,23 mil. oskm.

Výsledky porovnání počtu nehod jsou uvedeny na obr. 17. Počet přepravených cestujících připadajících na jednu nehodu a na jednu oběť nehod uvádí obr. 18. Počet nehod a obětí vzhledem k přepravnímu výkonu udává obr. 19.



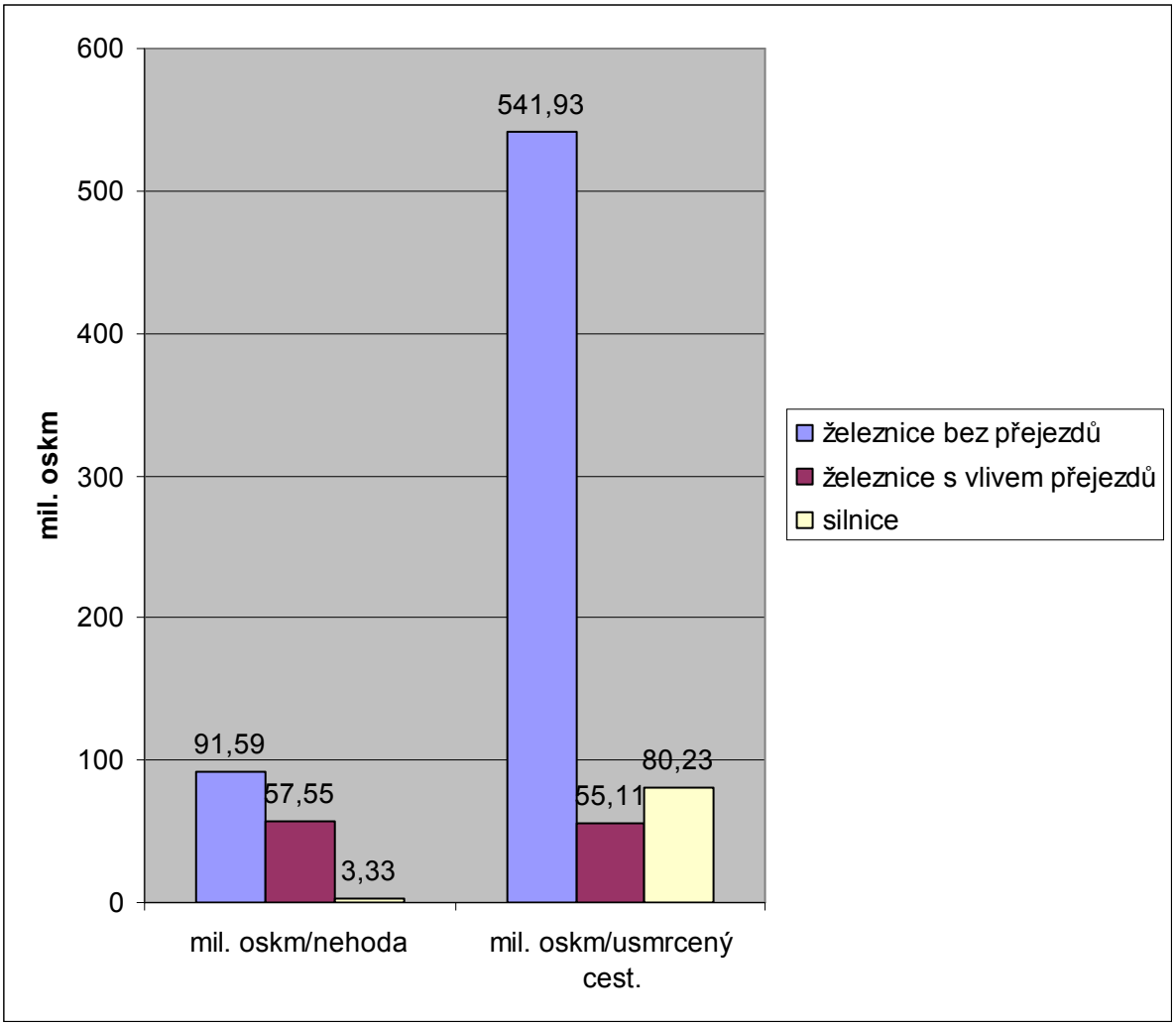
Obr. 17 Porovnání počtu nehod a usmrcených osob v železniční a silniční dopravě v roce 2009. Zdroj: Autor

V absolutních hodnotách je tedy v silniční dopravě 305x více nehod a 75x více obětí než v železniční dopravě (bez nehod na železničních přejezdech).



Obr. 18 Počet cestujících (v mil.) připadající na 1 nehodu a na 1 oběť nehod. Zdroj: Autor

Počet nehod připadající na 1 cestujícího je v silniční dopravě 710x vyšší než v železniční dopravě, počet obětí nehod připadající na 1 cestujícího je v silniční dopravě 169x vyšší než v dopravě železniční.



Obr. 19 Nehody a počet obětí nehod připadající na 1 oskm. Zdroj: Autor

Vzhledem k přepravnímu výkonu je počet nehod v silniční dopravě 27x vyšší a počet obětí nehod téměř 7x vyšší než v železniční dopravě.

5.5 Vyhodnocení vlivu IDS a IAD na životní prostředí

Vyhodnocení a srovnání vlivu vybraných subsystémů integrovaného dopravního systému a individuální automobilové dopravy na životní prostředí udává následující tabulka 26. Výsledky jsou sestaveny na základě výpočtů uvedených v této kapitole. Ohodnocení vypočtených vlivů je uvedeno ve formě pořadí. Pořadí je zvoleno z důvodu snadné orientace v souhrnných výsledcích, kde jsou porovnávány vlivy v různých jednotkách. Z toho důvodu

nejsou v tabulce uvedeny výsledky v konkrétních hodnotách – tabulka by ztrácela na přehlednosti. Možné by bylo převedení jednotlivých kriterií na stejné jednotky, např. finanční ohodnocení, to je ale v případě některých kriterií (nepřeveditelných na peníze) nemožné.

Tabulka 26: Vyhodnocení a srovnání vlivu IDS a IAD na životní prostředí

Základní oblasti působení dopravy na okolí - kriteria	**Subsystémy IDS**			**Typový osobní automobil**
	ŽELEZNICE (příměstská, rychlodráha)	TRAMVAJ METRO	BUS	
EMISE	1	1	2	3
SPOTŘEBA ENERGIE	1	1	2	3
ZÁBOR PŮDY A ROZDĚLOVÁNÍ KRAJINY	2	1	3	2
HLUK	3	2	1	1
NEHODOVOST	1	1	2	3
CELKOVÝ VLIV JEDNOTLIVÝCH SUBSYSTÉMŮ	1,6	1,2	2,0	2,4
CELKOVÝ VLIV	1,6			2,4

Zdroj: Autor

Na základě získaných výsledků na konkrétní příměstské lince veřejné hromadné dopravy lze konstatovat, že veřejná hromadná doprava, provozovaná formou integrovaných dopravních systémů, přispívá, na rozdíl od individuální automobilové dopravy, ke snížení negativního vlivu dopravy na okolí. Při stejných přepravních výkonech je působení veřejné hromadné dopravy na životní prostředí (na okolí) nižší, než v případě obsluhy území individuální automobilovou dopravou.

ZÁVĚR

Disertační práce formuluje problematiku integrovaných dopravních systémů ve vztahu k udržitelnému rozvoji dopravy a vlivu dopravy jako celku na okolí (životní prostředí). Práce se zabývá integrovaným dopravním systémem zejména z hlediska jeho přínosu ke stavu životního prostředí a dopravy v dané lokalitě.

Cílem disertační práce bylo vytvoření metodiky pro posouzení vlivu integrovaných dopravních systémů v osobní dopravě na udržitelný rozvoj dopravy a testování hypotézy: „Integrované dopravní systémy v osobní dopravě přispívají k udržitelnému rozvoji dopravy“. Cíl byl naplněn zejména sestavením Technicko-technologické metody pro posouzení vlivu dopravy na životní prostředí, která, jak její název uvádí, zohledňuje a využívá technicko-technologické poznatky o jednotlivých dopravních dopravy.

Předkládaná metoda pro posouzení vlivu IDS na okolí spočívá ve shromáždění poznatků o jednotlivých vlivech dopravy na okolí, z nichž se vyberou ty, které jsou předmětem zájmu při posuzování konkrétního problému dopravy v dané lokalitě. Zvolená kriteria se vyhodnotí podle jednotlivých dopravních oborů podílejících se na dopravní obsluze dané lokality. K vyhodnocení jsou použity výpočetní mechanismy pro určení jednotlivých vlivů. Návazně je možné pomocí simulace vybrat optimální variantu obsluhy území (provozu) s nejnižším nebo přijatelným negativním vlivem na okolí. Toto však již není předmětem této práce.

Při snižování emisí škodlivin z dopravy jsou podstatné parametry týkající se spotřeby energií (pohonných hmot), pohybu dopravních prostředků po síti a organizace / technologie dopravní obsluhy území. Při posuzování záboru půdy a rozdělování krajiny se jedná zejména o parametry stavebně-technické, urbanistické, příp. o ty, které souvisejí s organizací provozu. Metodika mj. rozlišuje absolutní a relativní vliv dopravy na okolí, což je významné při posuzování působení dopravy v širších souvislostech.

Ověření metodiky bylo provedeno pomocí aplikačních výpočtů pro vybranou linku příměstské dopravy. Výsledky aplikace uvedené v tabulce 26 prokázaly, že při preferenci veřejné hromadné dopravy provozované formou integrovaných dopravních systémů lze dosáhnout nižšího negativního působení dopravy na životní prostředí, a to konkrétně v emisích, spotřebě energie, záboru půdy, hluku a nehodovosti. **Hypotéza: „Integrované**

dopravní systémy v osobní dopravě přispívají k udržitelnému rozvoji dopravy“, tak byla potvrzena.

Za stěžejní přínos práce je možno považovat vytvoření uvedené metody pro posouzení vlivu integrovaných dopravních systémů na udržitelný rozvoj dopravy. Originální je také uplatnění technicko-technologického přístupu k řešení dané problematiky, které zohledňuje některé technické vlastnosti i technologické možnosti vybraných dopravních subsystémů IDS. Sestavena byla také nová definice udržitelného rozvoje dopravy, jelikož dosavadní definice nepokrývaly danou problematiku v plném rozsahu.

Dalším přínosem je uplatňování komplexního přístupu při posuzování vlivu dopravy na okolí, stejně jako zdůraznění interdisciplinarity této problematiky. Není možno se soustředit pouze na jeden vliv, ale je potřeba posuzovat všechny nebo alespoň více současně působících vlivů jak u veřejné hromadné dopravy, tak u dopravy individuální.

Práce může být základem pro širší rozpracování jednotlivých vlivů dopravy na okolí, jelikož zejména negativní účinky při výrobě dopravních prostředků a výstavbě dopravní infrastruktury nebyly v této práci zohledněny, zejména proto, že se jedná o problematiku zasahující do strojírenství a stavebnictví.

Závěrem je třeba uvést, že sledovaná problematika je značně obsáhlá, neboť úzce propojuje dopravní technologii (obsluha území jednotlivými dopravními obory, jejich možnosti a přednosti) a techniku (strojírenství, stavebnictví, zákony pohybu a vozební mechaniky jednotlivých dopravních prostředků) na straně jedné, s ekonomií, ekologií, chemií a ostatními přírodními vědami na straně druhé. Při celkovém posuzování vlivu dopravy na okolí je potřebné zahrnout do posouzení také nákladní dopravu, která vzhledem k zaměření disertační práce na integrované dopravní systémy veřejné osobní dopravy nebyla v práci zkoumána.

SEZNAM POUŽITÝCH INFORMAČNÍCH ZDROJŮ

[1] Kirchhoff, P. a kol.: Planungshandbuch für den ÖPNV in der Fläche, Bundesministerium für Verkehr 1998, ISBN: 3-926181-40-0

[2] Mojžíš, V., Graja, M., Drdla, P., Matuška, J.: Dopravní posouzení terminálu Vlak-Bus-MHD v Hradci Králové, Univerzita Pardubice 2003

[3] Beran, V., Dlask, P.: Management udržitelného rozvoje regionů, sídel a obcí, Academia 2005, ISBN: 80-200-1201-X

[4] Matuška, J.: Optimalizace nabídky spojů v systémech hromadné osobní dopravy, Disertační práce, Univerzita Pardubice 1998

[5] Girnau, G., Müller-Hellmann, F. a kol.: Zukunstfähige Mobilität – Sustainable Mobility, VDV-Förderkreis e. V. 1997, ISBN: 3-87094-746-2

[6] Hrabáček, J.: Periodická doprava na dopravních sítích a její optimalizace, Univerzita Pardubice 2004

[7] Mojžíš, V. a kol.: Kvalita dopravních a přepravních procesů, Institut Jana Pernera, o.p.s., Pardubice 2003, ISBN: 80-86530-09-4

[8] Pásková, M., Zelenka, J.: Výkladový slovník cestovního ruchu, MMR Praha 2002

[9] Henscher, D.,A., Buton, K.,J. (editoři): Handbook of transport and environment, Elsevier Ltd., London 2003, ISBN: 0-08-044103-3

[10] Vuchic, V.,R.: Urban transit-operations, planning and economics, John Wiley&sons. Inc., Hoboken, New Jersey, USA 2005, ISBN: 0-471-63265-1

[11] Der-Hong Lee: Regional transportation modelling: Essays in honor of David Boyce, Edward Edgar Publishing Ltd. Cheltenham, UK 2004, ISBN: 1-84064-550-4

[12] Rietveld, P., Buton, K., Nijkamp, P.: Urban Transport, Edward Edgar Publishing Ltd. Cheltenham, UK 2003, ISBN: 1-84064-550-4

[13] ECHT 2003: Safe & Sustainable transport: OECD Publications, Paris 2003, ISBN: 92-821-1303-5

[14] Dopravní politika České republiky pro léta 2005-2013, MDS ČR 2005

[15] Coach & Bus operations: Croner. CCh Group Ltd., Kingston upon Thales 2003, ISBN: 0-900319-71-2

[16] Zeman, J.: Emisní náročnost základních druhů dopravy v ČR v roce 2003, in Zpravodaj MŽP ČR č.6/2005

[17] Duchoň, B.: Silniční doprava, trh a udržitelný vývoj společnosti, in cestná a mestská doprava a trvalo udržitelný rozvoj, ŽU Žilina 2003, ISBN: 80-8070-093-1

[18] Kleprlík, J.: Železniční doprava v integrovaném dopravním systému, in Žel 2005, sborník konference, ŽU Žilina 2005, ISBN: 80-70-400-7

[19] Březina, E.: Regulační politika státu pro rozvoj dopravních systémů na principech udržitelného rozvoje a mobility, konference Nové trendy v rozvoji systémů osobní dopravy na principech udržitelné mobility, Univerzita Pardubice 2005

[20] Kjótský protokol, http://www.chmi.cz/cc/kjotprot.htm

[21] Konference OECD http://ecoplan.org/vancouvr/abstract/2pkagesn.htm

[22] Organizace UITP http://www.uitp.com

[23] Organizace ČŽP http://www.czp.cuni.cz/doprava

[24] Matuška, J., Mrzena, R.: Terminály osobní dopravy a spotřeba cestovního času, Dopravní systémy 2005, Univerzita Pardubice 2005, ISBN: 80-7194-805-5

[25] Mrzena, R.: Železniční doprava a alternativní paliva a pohony, in Vědeckotechnický sborník Českých drah, 2005, ISSN: 1214-9047

[26] Mrzena, R.: Integrované dopravní systémy a alternativní paliva a pohony – cesta k udržitelnému rozvoji, Žel 2005, Žilina 2005, ISBN: 80-8070-399-X

[27] Drdla, P., Matuška, J., Mrzena, R.: Change points in integrated system of public transport, Transport XXI wieku, Polytechnika Warszawska, Varšava 2004

[28] Mrzena, R.: Některé aspekty ovlivňující kvalitu integrovaných dopravních systémů, sborník Konference Kvalita dopravních a přepravních procesů a služeb, Univerzita Pardubice 2004, ISBN: 80-7194-675-3

[29] Scheidegger, P.: Veřejná hromadná doprava ve městech, Švýcarské zkušenosti, přednáška Univerzita Pardubice 2004

[30] Adamec, V. a kol.: Znečištění ovzduší z dopravy, CDV Brno 2005, www.cdv.cz

[31] Dufek, J., Adamec, V., Huzlík, J.: Metodika stanovení emisí látek znečišťujících ovzduší z dopravy, CDV Brno 2002

[32] Adamec, V., Huzlík, J., Ličbinský, R.: Imisní zatížení ovzduší suspendovanými částicemi z dopravy, CDV Brno 2006

[33] IRZ – Integrovaný registr znečišťování MŽP ČR, www.irz.cz

[34] Šiman, P.: Možnosti úspory trakční elektrické energie a motorové nafty závislé na železniční infrastruktuře, in Vědeckotechnický sborník Českých drah, 2006, ISSN: 1214-9047

[35] Duchoň, B., Opava, J.: Primární energetické zdroje a jejich využití v dopravě, EURO-Žel 2009

[36] Dolinayová, A.: Celková hodnota železníc z pohľadu trvalo udržateľného rozvoja, EURO-Žel 2009

[37] Graja, M., Mojžíš, V.: Energetická náročnost, bezpečnost v dopravě a ochrana životního prostředí v kombinované dopravě silnice/železnice, DFJP Pardubice 1998

[38] Adamec, V., Jedlička, J. a kol.: Hospodářské sektory a enviromentální integrace – doprava, CDV Brno, 2002

[39] Foltýnová, H., Ščasný, M.: Ekonomické nástroje k trvale udržitelné dopravě, UK Praha, 2003

[40] Kroupa, V., Panáček, R.: Alkoholová paliva pro udržitelnou dopravu, Praha, 2001

[41] Růžička, J.: Strategie udržitelné dopravy, Český a Slovenský dopravní klub, 1996

[42] Patrik, M.: Účinky dopravy na životní prostředí a zdraví lidí v ČR, Děti Země, 1997

[43] Energetika 2/2002

[44] Černá, A., Černý, J.: Teorie řízení a rozhodování v dopravních systémech, Institut Jana Pernera o.p.s., Pardubice 2004, ISBN 80-86530-15-9

[45] Vojtíšek-Lom, M., Fenkl, M., Dufek, M., Mareš, J.: Off-cycle, Real-World Emissions of Modern Light Duty Diesel Vehicles, SAE International, 2009

[46] Mrzena, R.: Porovnání vlivu individuální a hromadné dopravy na životní prostředí, Perner's Contacts 19/2010, Pardubice, ISSN 1801-674X

[47] Vojtíšek, M., Jirků, J., Opava, J.: Locomotive emissions, 14th ETH Konference on Combustion Generated Nanoparticles, Zurich 2010

[48] Pohl, J.: Rychlá železniční osobní doprava, Železniční magazín, různá čísla, M-Presse plus, s.r.o.

[49] Ročenka dopravy 2009, MD ČR 2009, Praha, ISSN 1801-3090

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1 Znázornění rozvoje jako etapovitého šíření v čase
Obr. 2 Trend emisí oxidu uhličitého v EU. Zdroj: EUROSTAT
Obr. 3 Řetězec dopadů na poškození životního prostředí
Obr. 4 Přiblížení dopadu pro kvantifikaci marginálních externích nákladů
Obr. 5 Implementace EIA v dopravě
Obr. 6 Původní dvojkolejná trať
Obr. 7 Prosté rozšíření na čtyřkolejnou trať
Obr. 8 Výstavba paralelní dvoukolejné tratě s parametry VRT
Obr. 9 Podíl jednotlivých dopravních oborů na spotřebě energie v rámci EU v roce 2006
Obr. 10 Antropogenní zdroje NO_X
Obr. 11 Tachogram – fáze jízdy při zastavení v zastávce (stanici)
Obr. 12 Spotřeby energie při jízdě jednotky 471
Obr. 13 Závislost spotřeby na jízdní době pro úsek Kolín – Pardubice
Obr. 14 Postup vyhodnocení vlivu dopravy na okolí
Obr. 15 Emise jednotlivých polutantů za den na sledované lince
Obr. 16 Celkové emise v gramech za den na sledované lince
Obr. 17 Porovnání počtu nehod a usmrcených osob v železniční a silniční dopravě v roce 2009
Obr. 18 Počet cestujících (v mil.) připadající na 1 nehodu a na 1 oběť nehod
Obr. 19 Nehody a počet obětí nehod připadající na 1 oskm

SEZNAM TABULEK

Tabulka 1: Spotřeba energie a emise na 1 oskm v dálkové dopravě
Tabulka 2: Vyhodnocení dopadů emisí vozidel
Tabulka 3: Produkce pevných částic jednotlivými druhy dopravy v tunách
Tabulka 4: Účinnost přeměn zdrojů energie pro dopravní účely
Tabulka 5: Energetický mix ČR 2007
Tabulka 6: Emisní normy Euro pro osobní automobily
Tabulka 7: Emisní normy Euro pro autobusy
Tabulka 8: Emisní normy Euro pro vznětové motory (n. automobily a železnice)
Tabulka 9: Emisní normy UIC Stage III A
Tabulka 10: Emisní normy UIC Stage III B
Tabulka 11: Emise tepelných elektráren v g/kWh
Tabulka 12: Hygienické limity ekvivalentní hladiny akustického tlaku A (LpAeq,T) v chráněném prostoru, platné pro hluk z dopravy na dráhách
Tabulka 13: Hygienické limity hluku z dopravy před fasádou obytných místností
Tabulka 14: Spotřeba energie podle jednotlivých druhů dopravy
Tabulka 15: Struktura spotřeby energie jednotlivými druhy dopravy
Tabulka 16: Smrtelné úrazy na železnici a silnici v EU
Tabulka 17: Nehodovost v České republice
Tabulka 18: Posouzení jednotlivých vlivů na okolí
Tabulka 19: Emise osobního automobilu na sledované trase
Tabulka 20: Emise autobusu na sledované trase (bez započtení účinnosti)
Tabulka 21: Emise autobusu na sledované trase (se započtením účinnosti)
Tabulka 22: Emise železničního motorového vozu na sledované trase (bez započtení účinnosti)
Tabulka 23: Emise železničního motorového vozu na sledované trase (se započtením účinnosti)
Tabulka 24: Emise elektrické železniční trakce na sledované trase
Tabulka 25: Zábor půdy a přepravní kapacita
Tabulka 26: Vyhodnocení a srovnání vlivu IDS a IAD na životní prostředí