



# VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

## FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

## ENERGETICKÝ ÚSTAV

ENERGY INSTITUTE

# DRUHY DOPRAVY A JEJICH VLIV NA ŽIVOTNÍ PROSTŘEDÍ

KINDS OF TRANSPORTATION AND IMPACT ON THE ENVIROMENT

## BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

## AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Zdeněk Trojánek

## VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. BSc František Prinz

BRNO 2020



## Zadání bakalářské práce

Ústav:	Energetický ústav
Student:	<b>Zdeněk Trojánek</b>
Studijní program:	Strojírenství
Studijní obor:	Základy strojního inženýrství
Vedoucí práce:	<b>Ing. BSc František Prinz</b>
Akademický rok:	2019/20

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

### Druhy dopravy a jejich vliv na životní prostředí

#### Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Transport zboží a pohyb lidí po celé planetě je běžnou součástí našeho života. Jednotlivé druhy dopravy – silniční, kolejní, letecká apod. – však mají také stinnou stránkou v podobě produkce emisí a jejich negativní vliv na životní prostředí a člověka.

#### Cíle bakalářské práce:

- 1.) Popis jednotlivých složek produkovaných emisí a jejich vlivu na lidské zdraví a přírodu.
- 2.) Charakteristika jednotlivých druhů dopravy, zejména z pohledu produkujících emisí.
- 3.) Srovnání emisí dopravních prostředků globálně a lokálně na modelovém zjednodušeném výpočtu.

#### Seznam doporučené literatury:

ŠIROKÝ, Jaromír. Technologie dopravy. Čtvrté doplněné vydání. Pardubice: Univerzita Pardubice, 2018. ISBN 978-80-7560-159-9.

ADAMEC, Vladimír. Doprava, zdraví a životní prostředí. Praha: Grada, 2008. ISBN 978-80-247-256-9.

LALÍK, Vladimír. Emisie znečišťujících látek zo spaľovacích procesov pre neenergetické účely.

Poniky: Partner, 2010. ISBN 978-80-89183-67-8.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2019/20

V Brně, dne

L. S.

---

doc. Ing. Jiří Pospíšil, Ph.D.  
ředitel ústavu

---

doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.  
děkan fakulty



## **ABSTRAKT**

Bakalářská práce pojednává o dopravě a jejímu vlivu na naše okolí, ale také i na naše zdraví. Hlavní část práce představuje charakteristiku druhu dopravy z pohledu produkce emisí a hluku. Vznikající emise jsou podrobeny rozboru a jednotlivé složky popsány z hlediska jejich vlivu na přírodu a zdraví člověka. Další část se zabývá možnými opatřeními, jak emise a hluk omezit a jednotlivé druhy dopravy jsou mezi sebou porovnány.

### **Klíčová slova**

Doprava, životní prostředí, emise, hluk, znečištění

## **ABSTRACT**

The bachelor thesis deals with transport and its impact on our surroundings, but also on our health. The main part of the work presents the characteristics of the mode of transport in terms of emissions and noise production. The resulting emissions are analyzed and the individual components are described in terms of their impact on nature and human health. The next part deals with possible ways to reduce emissions and noise and the different modes of transport are compared with each other.

### **Key words**

Transportation, environment, emissions, noise, pollution

## **BIBLIOGRAFICKÁ CITACE**

TROJÁNEK, Zdeněk. *Druhy dopravy a jejich vliv na životní prostředí* [online]. Brno, 2020 [cit. 2020-06-21]. Dostupné z: <https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/124415>. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Energetický ústav. Vedoucí práce František Prinz.

## **PROHLÁŠENÍ**

Prohlašuji, že jsem *bakalářskou práci* na téma **Druhy dopravy a jejich vliv na životní prostředí** vypracoval(a) samostatně s použitím odborné literatury a pramenů, uvedených v seznamu, který tvoří přílohu této práce.

.....  
Datum

.....  
*Jméno a příjmení*

## **PODĚKOVÁNÍ**

Děkuji tímto Ing. BSc Františku Prinzovi za cenné připomínky a rady, které mi poskytl při vypracování závěrečné práce.

## Obsah

ÚVOD.....	11
1 Doprava .....	12
1.1 Historie dopravy.....	12
1.2 Dělení dopravy.....	12
1.3 Silniční doprava .....	13
1.3.1 Charakteristika .....	13
1.3.2 Pozemní komunikace .....	13
1.4 Železniční doprava.....	13
1.4.1 Charakteristika .....	13
1.4.2 Železniční dráhy.....	13
1.5 Vodní doprava.....	14
1.5.1 Charakteristika .....	14
1.5.2 Rozdělení.....	14
1.6 Letecká doprava .....	15
1.6.1 Charakteristika .....	15
1.6.2 Rozdělení letadel .....	15
2 Doprava a životní prostředí .....	16
2.1 Emise .....	16
2.1.1 Emise z dopravy .....	16
2.1.2 Emisní normy .....	17
2.1.3 Emise vozidel s elektromotory.....	18
2.1.4 Emise z otěrů brzd a pneumatik.....	19
2.2 Imise.....	20
2.2.1 Imisní limity .....	20
2.3 Hluk .....	21
2.3.1 Vliv hluku na zdraví.....	22
2.3.2 Hluk a doprava .....	22
2.4 Záběr půdy .....	25
2.5 Nehody .....	25
2.6 Odpady.....	26
3 Způsoby snižování negativních vlivů dopravy .....	27
3.1 Snižování emisí v dopravě.....	27
3.1.1 Selektivní katalytická redukce (SCR).....	27
3.1.2 Recirkulace výfukových plynů (EGR).....	28
3.1.3 Katalyzátor .....	28
3.1.4 Filtr pevných částic (DPF) .....	30
3.1.5 Alternativní paliva.....	30
3.1.6 Hybridní a elektrické pohony.....	31
3.2 Snižování hlukových emisí .....	33
4 Porovnání emisí .....	34

4.1	Osobní doprava .....	34
4.1.1	Srovnání emisí na modelovém příkladu.....	35
4.2	Nákladní doprava .....	39
4.3	Situace v České republice .....	39
	ZÁVĚR.....	41
	SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ.....	42
	SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK .....	47
	SEZNAM OBRÁZKŮ .....	49
	SEZNAM TABULEK .....	50
	SEZNAM PŘÍLOH .....	51

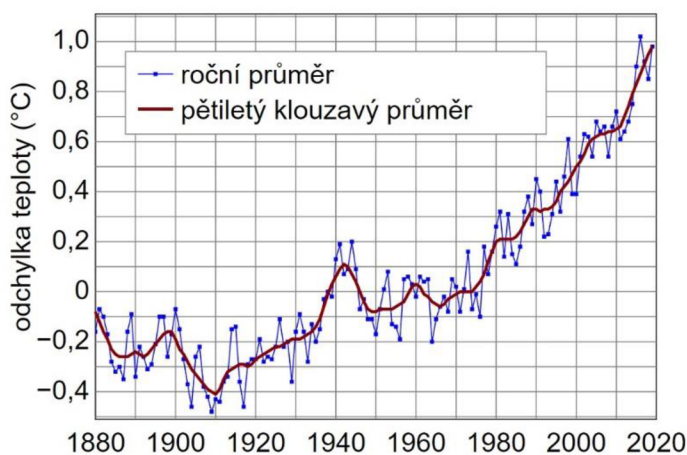
## ÚVOD

Tato bakalářská práce se zabývá dopravou a rozebírá její vliv na životní prostředí. Doprava je součástí národního hospodářství. Uskutečňuje transport lidí a věcí, díky tomu napomáhá ekonomickému rozvoji společnosti a tím pádem růstu životní úrovně.

Bakalářská práce se především zaměřuje na temnější stranu dopravy. Ta dokáže mít špatný vliv jak na zdraví obyvatel, tak i nežádoucí účinek na přírodu. Životní prostředí je ovlivněno jednak hlukem, tak i spaliny pohonných hmot, které obsahují zdraví škodlivé látky a zároveň znečišťují životní prostředí, podílejí se na tvorbě kyselých dešťů<sup>1</sup> a skleníkového jevu<sup>2</sup>.

Tento jev poslední dobou hýbe světem, jelikož má významný vliv na globální oteplování. V bakalářské práci bude zmíněno, jakým způsobem se snižují koncentrace skleníkových plynů a jaké vznikají předpisy na regulaci emisí spalovacích motorů.

Samozřejmě každý druh dopravy ovlivňuje životní prostředí. V bakalářské práci je nastíněno, do jaké míry jednotlivé druhy znečišťují životní prostředí a který způsob dopravy je lepší volbou z ekologického hlediska.



Obrázek 0.1 Globální střední teplota od r. 1880 do r. 2019 [50]

<sup>1</sup> Kyselé deště – deště se zvýšenou kyselostí (pH nižší než 5,6). Znečišťující látky (SO<sub>2</sub>, oxidy dusíku) reagují se srážkovou vodou a vytváří slabé roztoky sirmatých a dusíkatých kyselin. Na zvýšenou kyselost vodních toků a půdy negativně reagují ryby a rostliny. Kyseliny reagují s vápníkem, dochází k rychlejšímu zvětrávání vápencových omítek budov a vápencových skal. [9]

<sup>2</sup> Skleníkový jev – proces, při kterém atmosféra propouští sluneční záření, ale dlouhovlnné tepelné záření emitované z povrchu Země prochází atmosférou jen v omezené míře. Přírodní skleníkový efekt Země je rozhodující pro zachování života. Lidská činnost, především spalování fosilních paliv a kácení lesů, zesilují skleníkový efekt a způsobují globální oteplování. [1]

# 1 Doprava

## 1.1 Historie dopravy

Dopravu lze považovat za jeden ze základních předpokladů fungování a rozvoje civilizace. Po dlouhou dobu byla naše chůze jediným způsobem dopravy. Postupem času lidé začali využívat sílu zvířat a dopravu po vodě. Koně, osly, ale také i velbloudy používali pro rychlejší pohyb jak lidí, tak věcí. Další pokrok přišel s jedním z nejdůležitějších vynálezů – s kolem. To umožnilo vznik vozů, povozů, kočárů a tím pádem možnosti rychlejšího transportu většího objemu lidí, zboží, potravy atd. Současně s pozemní dopravou se také rozvíjela doprava vodní. Z malých vorů vznikly větší a dokonalejší lodě, které byly poháněny lidskou silou a sloužily nejen pro válečné účely, ale také pro účely obchodní. Doprava byla po dlouhou dobu omezena lidskou a zvířecí silou.

Převratná změna přichází s vynálezem parního stroje, který se datuje k roku 1765. Tento vynález je připisován Jamesi Wattovi. Parní stroj dal za vznik lokomotivám, které v 19. století získaly na popularitě a postupem času se železniční síť rozšiřovala a houstla. Nejen pozemní doprava čelila rozkvětu. Po vodách se proháněly lodě poháněné parním strojem – parníky. Vývoj společnosti se značně urychlil.

Dalším zlomem v dopravě byl objev čtyřdobého spalovací motoru. S tím přišel v roce 1876 německý inženýr Nicolaus Otto. O deset let později na to navázal Karl Benz a vyrobil benzínový motor. V roce 1895 Rudolf Diesel sestrojil vznětový motor. Tyto vynálezy prudce rozvíjí automobilismus a automobil se stává nezbytnou součástí dopravy.

Počátečním objevem v letectví byl horkovzdušný balon, který vzletl v roce 1783. Další na řadu přišly vzducholodě a na začátku 20. století učinili bratři Wrightové první let s čtyřválcovým motorem.

Poté události nabraly rychlého spádu a díky 1. světové a především 2. světové válce se výrazně urychlil vývoj techniky a zároveň dopravních prostředků, které jsou však stále zdokonalovány a modernizovány i v současné době. [2]

## 1.2 Dělení dopravy

Dopravu je možné klasifikovat podle různých hledisek. Nejčastěji se dělí podle prostředí, kde se nachází dopravní cesta. Dělí se na dopravu pozemní, podzemní, vodní a vzdušnou. [3]

- O pozemní dopravě hovoříme, když se dopravní prostředek stýká s pevnou půdou. Spadá sem doprava silniční, železniční a nemotorová (pěší, cyklistická).
- Podzemní nebo také potrubní doprava je využívána převážně k transportu plynů a kapalin. Slouží k dopravě zemního plynu a ropy, ale také je využívána například v domácnostech, když teče voda z kohoutku.
- Vodní doprava patří mezi nejstarší druh dopravy. Dál se dělí na dopravu námořní a říční.
- Vzdušná (letecká) doprava je nejnovějším způsobem dopravy, avšak letecká doprava prošla velmi rychlým rozvojem. V současné době čelí vysoké popularitě. Z důvodu rychlosti a bezpečnosti je hojně využívána k přepravě osob i zboží.



## 1.3 Silniční doprava

„Silniční doprava je doprava, při níž se zajišťuje přeprava osob a věcí silničními vozidly (silničními dopravními prostředky), jakož i přemísťování silničních vozidel samých po pozemních komunikacích, dopravních plochách a ve volném terénu.“ [2, str. 129]

### 1.3.1 Charakteristika

V silniční dopravě je využíváno široké spektrum dopravních prostředků. Hlavně to jsou kolová vozidla, především osobní a nákladní automobily, motocykly, autobusy, trolejbusy. Z pohledu energetického jde o poměrně nákladný způsob dopravy. S tím i negativní vliv na životní prostředí – je hlučná a produkce emisí je vysoká. S porovnáním s jinými druhy jde o rychlou, dostupnou a flexibilní možnost dopravy, ale také o dopravu s nejvyšším počtem nehod. [2]

### 1.3.2 Pozemní komunikace

Pozemní komunikace je dopravní cesta, která je určena k používání silničními i jinými vozidly a chodci. Patří sem také pevná zařízení, která jsou nutná pro opatření tohoto používání a bezpečnosti. [2]

Dělení pozemních komunikací podle [2]:

- Dálnice – pozemní komunikace určená pro rychlou dopravu (především dálkovou a mezistátní) silničními vozidly, které musí mít konstrukční rychlost vyšší než 80 km.h<sup>-1</sup>.
- Silnice – pozemní komunikace určená pro silniční a jiná vozidla, pro chodce. Dělí se podle dopravního významu na: silnice I. třídy (dálková a mezistátní), silnice II. třídy (doprava mezi okresy) a silnice III. třídy (spojení obcí, napojení ostatních pozemních komunikací).
- Místní komunikace – pozemní komunikace přístupná veřejnosti, slouží místní dopravě. Dále se dělí do čtyř tříd.
- Účelová komunikace – pozemní komunikace sloužící ke spojení dílčích nemovitostí nebo také k obhospodařování lesních a zemědělských pozemků.

## 1.4 Železniční doprava

„Železniční doprava je doprava uskutečňovaná železničními dopravními prostředky (osobní a nákladní vozy, hnací vozidla, pomocná a speciální vozidla) po železničních tratích.“ [2, str. 68]

### 1.4.1 Charakteristika

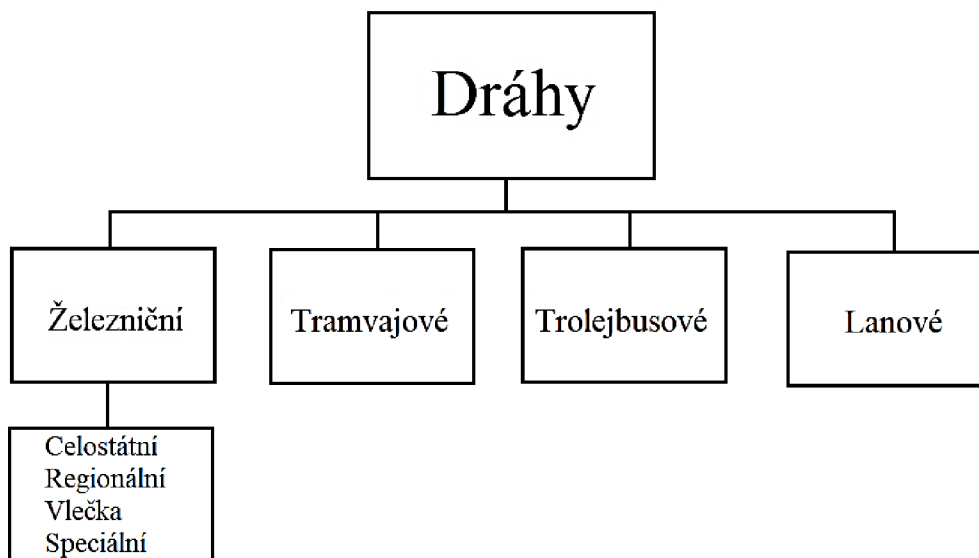
Výraznou odlišností oproti silniční dopravě je relativně nízká spotřeba energie. Je to dáno nízkým valivým odporem ocelového kola, které se pohybuje po ocelové kolejnici. Další kladnou vlastností je možnost přepravy těžkého a početného množství nákladu. Zároveň je bezpečnější a vlídnější k životnímu prostředí než silniční doprava. Železniční doprava je ovšem omezena železniční sítí, je tedy méně flexibilní a nelze doručit zboží nebo dopravit cestující až do domu. [2]

### 1.4.2 Železniční dráhy

Železniční dráhy se podle účelu, významu a technických podmínek dělí podle [2] na:

- Dráha celostátní – slouží mezinárodní a celostátní veřejné železniční dopravě.
- Dráha regionální – má regionální (místní) význam, slouží veřejné železniční dopravě a ústí do jiné regionální nebo celostátní dráhy.

- Vlečka – dráha sloužící osobní potřebě provozovatele, může ústít do jiné vlečky nebo do regionální, případně celostátní dráhy.
- 
- Dráha speciální – dráha, která je určena pro možnost dopravní obslužnosti obce (patří sem síť tratí metra).



Obrázek 1.1 Základní schéma dělení drah [2]

## 1.5 Vodní doprava

Vodní doprava je druh dopravy, který je realizován plavidly po vodních cestách. Patří historicky k nejstarším způsobům dopravy.

### 1.5.1 Charakteristika

Z ekologického hlediska je posuzování vodní dopravy poměrně problematické. Ve spouště nákladních lodí se nachází motory, které dokážou spalovat topný olej, naftu, benzin, dřevní plyn, zemní plyn a zbytková paliva. Po stránce finanční patří k nejlevnějším. Využívá se k přepravě rozměrných a nadměrně těžkých zásilek na dlouhé vzdálenosti. Nevýhodou je malá rychlost přepravy. Závisí na hydrologických a meteorologických podmínkách. Síť vodních cest oproti ostatním druhům dopravy je nízká, je tedy nutné zásilky překládat a posléze použít železniční nebo silniční síť. V České republice nenachází velké využití z důvodu její geografické polohy. [2]

### 1.5.2 Rozdělení

Vodní dopravy může být rozdělena podle různých kritérií na:

- linkovou (pravidelnou) a nelinkovou (nepravidelnou)
- osobní a nákladní
- námořní a vnitrozemskou

Vnitrozemskou dopravu dále dělíme na:

- říční
- doprava po vodních plochách (vodní nádrže, jezera)

## 1.6 Letecká doprava

V letecké dopravě se přepravují osoby a náklady vzdušnou dopravní cestou. Hlavními prvky systému jsou letadla a letecká dopravní cesta. Ta zahrnuje určenou oblast vzdušného prostoru, letiště a letecké služby. [2]

### 1.6.1 Charakteristika

Letecká doprava patří mezi nejprogresivnější druhy dopravy. Vyspělost letectví se odvíjí od ekonomické síly obyvatelstva. Využívá se především pro dálkovou dopravu. Hlavní předností je rychlost přepravy. V počtu úmrtí vztahených na celkový počet přepravených osob vychází letadla jako nejbezpečnější dopravní prostředek. Avšak pokud nastane dopravní nehoda, ztráty na životech jsou vysoké. [2]

### 1.6.2 Rozdělení letadel

Dělení podle vzniku vzlaku [4]:

- Letadla lehčí než vzduch
  - Bezmotorová
    - Balóny
  - Motorová
    - Vzducholodě
- Letadla těžší než vzduch
  - Bezmotorová
    - S nepohyblivými nosnými plochami
      - Draky
      - Padáky
      - Kluzáky
      - Rogala
    - S rotujícími nosnými plochami
      - Rotorové kluzáky
  - Motorová
    - S nepohyblivými nosnými plochami
      - Letouny
      - Motorové kluzáky
      - Motorové rogala
    - S rotujícími nosnými plochami
      - Vrtulníky
      - Vírníky
    - S kombinovanými nosnými plochami
      - Přeměnitelná letadla
      - Kombinovaná letadla
    - Bez nosných ploch
      - Rakety

## 2 Doprava a životní prostředí

### 2.1 Emise

Jako emise se označují látky, které znečišťují ovzduší. Koncentrace emisí je nejvyšší u zdroje, při mísení se vzduchem se snižuje. Množství emisí je udáváno v hmotnostních nebo objemových jednotkách škodlivé látky za určitý čas, nejčastěji za rok. [5]

#### 2.1.1 Emise z dopravy

Doprava figuruje celosvětově jako významný zdroj emisí. Emise vznikají buď přímo při nedokonalém spalování paliv na bázi uhlovodíků v motorech vozidel, nebo nepřímo při výrobě elektrické energie, která se používá pro pohon motorů dopravních prostředků. Objem vypouštěných emisí je dán především množstvím, typem a kvalitou spalovaného paliva. Tyto plyny kromě vody obsahují také CO<sub>2</sub>, CO, NO<sub>x</sub>, PAH (polycyklické aromatické uhlovodíky), VOC (těkavé organické sloučeniny), saze, dehet (PM10), platinové kovy z katalyzátorů (Pt, Rh, Pd). Emise SO<sub>2</sub> a Pb se výrazně snížily díky modernizaci motorů a používání paliv nízkosírných a bezolovnatých. Emise neprodukuje pouze spalovací proces. Pevné (prachové) částice vznikají také otěrem pneumatik, obrušováním brzdových destiček nebo opotřebením jiných součástí dopravního prostředku. [6]

##### 2.1.1.1 Oxid uhličitý CO<sub>2</sub>

Oxid uhličitý je bezbarvý, nehořlavý plyn bez zápachu a chuti. Běžně se vyskytuje v atmosféře (0,04 %). CO<sub>2</sub> může vnikat přirozenou i nepřirozenou produkcí. Za přirozenou produkci je považováno dýchání živočichů nebo sopečná činnost. Při nepřirozené produkci vzniká oxid uhličitý spalováním uhlikatých a fosilních paliv. Za největší producenty nepřirozenou cestou jsou považovány elektrárny a doprava. V atmosféře absorbuje infračervené záření a tím přispívá ke vzniku skleníkového efektu. Zvýšené množství skleníkových plynů v atmosféře má za příčinu nárůst průměrné teploty a vede k nepřirozenému ohřívání Země, tzv. globálnímu oteplování. Obvyklé koncentrace jsou pro člověka neškodné. Při vyšších koncentracích dochází k bolestem hlavy, závratím, dýchacím problémům. Pokud člověk bude vystaven vysoké koncentraci delší časový úsek, může dojít až ke kómatu, popřípadě smrti. [7]

##### 2.1.1.2 Oxid uhelnatý CO

Oxid uhelnatý je bezbarvý, hořlavý, toxický plyn bez chuti a zápachu. Vzniká při nedokonalém spalování uhlikatých materiálů. V atmosféře oxiduje na oxid uhličitý CO<sub>2</sub>. Nepřímo se tedy podílí na skleníkovém efektu. Oxid uhelnatý se váže na krevní barvivo hemoglobin pevněji a snáze než kyslík a tím blokuje přenos kyslíku v organismu. Otrava se projevuje ztmavnutím kůže, křečemi, v horších případech kómatem nebo smrtí. Při běžně dosahovaných koncentracích zdraví neohrožuje. Riziko zdravotních komplikací může hrozit v uzavřených prostorech (např. podzemní garáže), kde je CO produkovaný. [6][8]

##### 2.1.1.3 Oxidy dusíku NO<sub>x</sub>

Mezi nejčastěji se vyskytující oxidy dusíku patří oxid dusnatý NO (bezbarvý a bez výrazného zápachu) a oxid dusičitý NO<sub>2</sub> (červenohnědý se štiplavým zápachem). Jsou produkovány nepřirozeně při spalování fosilních paliv za vysokých teplot, při kterém dochází k oxidaci vzdušného dusíku. Přirozeně vzniká při bouřkách, sopečnou a bakteriální činností. Jsou součástí kyselých dešťů a podílejí se na vzniku přízemního ozónu. Oxid dusnatý je součástí skleníkových plynů. Při zvýšených koncentracích oxidů dusíku dochází k podráždění sliznic dýchacího ústrojí. U dlouhodobého vystavování zvýšeným koncentracím NO<sub>x</sub> může dojít k ovlivnění dýchacích funkcí a riziku astmatických záchvatů. [6][10]

#### 2.1.1.4 PAH

Jako polycyklické aromatické uhlovodíky (PAU) nebo také Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAH) se označují aromatické uhlovodíky, které mají alespoň dvě benzenová jádra. Mezi nejznámější PAH patří benzo(a)pyren. Vznikají při nedokonalém spalování organické hmoty. Z pokusů na zvířatech bylo prokázáno několik negativních účinků na živé organismy: karcinogenita, genotoxicita, reprodukční toxicita, imunotoxicita. Polycyklické aromatické uhlovodíky jsou registrované jako možné lidské karcinogeny. Vliv PAH na reprodukční funkce a choroby dětí může mít pro populaci větší riziko než nádorová onemocnění. [6]

#### 2.1.1.5 VOC

Těkavé organické látky – VOC (Volatile Organic Compound) jsou často součástí ředidel a rozpouštědel, které se používají k výrobě barev a laků. V dopravě se jedná především o benzen, který je součástí benzínů. Ten do ovzduší proniká při manipulaci s pohonnými látkami a výfukovými plyny. Koncentrace benzenu v ovzduší funguje jako indikátor znečištění výfukovými plyny. Dalšími kontrolovanými látkami jsou toluen, etylbenzen a xylen, souhrnně označovány jako BTEX.

Benzen je karcinogenní látka a byly také potvrzeny negativní vlivy na imunitní a nervový systém, krvetvorbu. U řady dalších VOC látek je předpokládána, karcinogeneze a genotoxicita. [6][11]

#### 2.1.1.6 PM

Pevné částice (PM – particulate matter) nebo také polétavý prach jsou malé částice různých látek, které jsou tak lehké, že se volně pohybují v atmosféře a trvá jim dlouhou dobu, než se usadí na povrchu. Zdrojem přirozeného uvolňování do atmosféry je vulkanická činnost, požáry atd. Nepřirozeně vzniká u spalovacích procesů. PM se podrobněji označují podle velikosti částic, například PM<sub>10</sub> se označují částice do velikosti 10 mikrometrů. Škodlivost prachových částic závisí hlavně na jejich velikosti a tvaru. Nebezpečí především spočívá v tom, že na sebe mohou vázat další nebezpečné látky (směsi organických a anorganických látek, které mohou obsahovat karcinogenní látky PAH) a dopravují je do organismu. Obecně prachové částice dráždí sliznice, omezují samočistící schopnosti a tím usnadňují vznik infekce. PM<sub>10</sub> jsou schopné pronikat do dolních cest dýchacích. Frakce PM<sub>2,5</sub> je schopna se dostat až do průdušinek a PM<sub>1</sub> dokonce až do plicních sklípků. [6][12]

### 2.1.2 Emisní normy

V důsledku rostoucích ekologických požadavků musí nově vyvíjené spalovací motory a všeobecně dopravní prostředky splnit řadu emisních norem, aby mohly být homologovány. Normy předepisují maximální množství znečišťujících látek ve spalinách. Cílem je postupně normy zpřísnovat a tím regulovat obsah vypouštěných škodlivých látek. Pro členské státy EU platí normy EURO, STAGE. [13]

#### 2.1.2.1 Normy EURO

Normy EURO omezují emise oxidů dusíku, uhlovodíků, oxidu uhelnatého a pevných částic. Jsou určeny pro vozidla pro silniční provoz. Automobily jsou rozděleny podle druhu a hmotnosti na osobní automobily, nákladní automobily a autobusy, podle motoru na zážehové a vznětové. Podle tohoto rozdělení jsou stanoveny maximální hodnoty škodlivých látek. Tyto normy musí splňovat nově vyrobená vozidla, která jsou určena pro evropský trh. [13]

První emisní norma EURO 1 byla schválena v roce 1992. Nejnovější emisní norma EURO 6d byla schválena v lednu 2020. [14]

Rok	Norma	CO (g/km)	NO <sub>x</sub> (g/km)	HC (g/km)	HC + NO <sub>x</sub> (g/km)
1992	I	3,16	-	-	1,13
1996	II	2,20	-	-	0,5
2000	III	2,30	0,15	0,2	-
2005	IV	1,00	0,08	0,1	-
2009	V	1,00	0,06	0,1	-
2014	VI	1,00	0,06	0,1	-

Tabulka 2-1 Emisní normy EURO I-VI pro osobní automobily s benzínovými motory [14]

Rok	Norma	CO (g/km)	NO <sub>x</sub> (g/km)	PM (g/km)	HC + NO <sub>x</sub> (g/km)
1992	I	3,16	-	0,18	1,13
1996	II	1	-	0,08	0,7
2000	III	0,64	0,5	0,05	0,56
2005	IV	0,5	0,25	0,025	0,3
2009	V	0,5	0,18	0,005	0,23
2014	VI	0,5	0,08	0,005	0,17

Tabulka 2-2 Emisní normy EURO I-VI pro osobní automobily s naftovými motory [14]

### 2.1.2.2 Normy STAGE

Normy STAGE I-V se označují normy, které vychází z vyhlášky UIC 624. Jsou normami pro motory, které se používají v jiných aplikacích, než jsou silniční vozidla. Týká se to zejména motorů pracovních strojů, lokomotiv, traktorů a lodí. Dále se rozdělují písmeny A-R podle výkonu motoru loď/vozidla. Normy udávají maximální hodnoty emisí oxidu uhelnatého, oxidů dusíku, nespálených uhlovodíků (HC) a pevných částic v gramech na kilowatthodinu. [15]

### 2.1.2.3 Normy pro oxid uhličitý a uhlíková stopa

Evropská unie stanovuje pro výrobce automobilů, které jsou nově uváděny na trh, maximální množství emisí CO<sub>2</sub>. Tato hodnota je postupně snižována a od roku 2021 platí pro osobní automobily limit v průměru 95 g/km, od roku 2020 pro lehká užitková vozidla v průměru 147 g/km. V plánu dále limit postupně snižovat. [14]

### 2.1.3 Emise vozidel s elektromotory

Emise vozidel, které pro pohon využívají elektřiny, je posuzováno odlišným způsobem. Samotná vozidla emise neprodukují. V místě provozu tudíž nejsou škodlivé látky vypouštěny do ovzduší. Emise produkují tepelné elektrárny. Elektrárny jaderné a elektrárny, které využívají obnovitelných zdrojů (větrné, vodní, solární), neprodukují emise. Při využívání těchto zdrojů elektrické energie v dopravě hovoříme z emisního hlediska o čisté dopravě, pokud do toho nejsou zahrnuty emise při výstavbě dopravní infrastruktury, výrobě dopravního prostředku nebo emise z otěru pneumatik. Reálně se na výrobě elektrické energie podílí více typů elektráren. Je tedy nutné počítat s jednotlivými typy elektráren, které se podílí na výrobě

elektriny – energetický mix. Dále je nutné do výpočtu emisí zahrnout účinnost přeměn zdrojů. [15]

Zdroje energie	2019
<b>Obnovitelné zdroje – Celkem</b>	<b>3,90 %</b>
- Sluneční	1,66 %
- Větrné	0,00 %
- Vodní	0,44 %
- Geotermální	0,00 %
- Biomasa	1,81 %
- Ostatní	0,00 %
<b>Fosilní zdroje – Celkem</b>	<b>57,01 %</b>
- Hnědé uhlí	46,18 %
- Černé uhlí	2,84 %
- Zemní plyn	7,74 %
- Ropa a ropné produkty	0,15 %
- Druhotné zdroje a ostatní	0,10 %
<b>Jaderné zdroje – Celkem</b>	<b>39,09 %</b>

Tabulka 2-3 Český energetický mix k roku 2019 [16]

#### 2.1.4 Emise z otěrů brzd a pneumatik

Emise v dopravě jsou často spojovány s emisemi výfuků dopravních prostředků. Většina populace si představí kouř vycházející z výfuků automobilů. Avšak nedílnou součástí emisí z dopravy je jemný prach, který vzniká opotřebením brzd, otěrem pneumatiky a povrchu vozovky při odvalování pneumatik. [17]

##### 2.1.4.1 Emise z otěrů brzd

Při provozu silničních dopravních prostředků dochází k otěru a obušování brzdových destiček, brzdových kotoučů a brzdových bubnů. Udává se, že otěr brzdového obložení na 1 kilometr je u osobních automobilů 10 až 20 mg, u lehkých nákladních automobilů kolem 30 mg a u těžkých nákladních automobilů 50-80 mg. Z těchto emisí je 80-90 % menší než 10 mikrometrů a z toho polovina menší než 2,5 mikrometrů. Zásluhou vysokých teplot vznikají i částice menší než 100 nanometrů. [17]

##### 2.1.4.2 Emise z otěrů pneumatik

Při provozu pneumatik dochází k jejich opotřebenění a výraznému úbytku hmotnosti až o 1,5 kilogramů během jejich životnosti. Otěrem pneumatiky dochází ke vzniku prachových částic různých velikostí. S rostoucí rychlostí vozidel, roste množství vznikajících prachových částic. Velikost těchto částic také záleží na rychlosti. U osobních automobilů se udává, že dochází k otěru běhounu<sup>3</sup> pneumatiky v průměru 100 miligramů na 1 kilometr, u autobusů, tahačů a těžkých nákladních automobilů kolem 500 miligramů a u kamionů více než 1400 miligramů. Podle složení pneumatiky lze odhadnout, jaké prachové částice jsou emitovány do ovzduší.

Složení pneumatiky: [17]

- 40 % přírodní pryž
- 30 % butadien-styrenový kaučuk
- 20 % butadienový kaučuk
- 10 % butylkaučuk a halogenovaný butylkaučuk

<sup>3</sup> Běhoun – část pneumatiky, která je v kontaktu s vozovkou.



- 1 % zinek
- Další kovy: arzén 0,8 mg/kg, hliník 81-420 mg/kg, kadmium 0,28-5 mg/kg, kobalt 0,9-25 mg/kg, chrom 0,4- 10 mg/kg, nikl 1-50 mg/kg, olovo 1-160 mg/kg
- Karcinogenní aromatický uhlovodík (benzo(a)pyren) – 4 mg/kg.

### 2.1.4.3 Emise z abraze vozovky

Součástí nevyfukových emisí silniční dopravy jsou pevné částice, které vznikají otěrem vozovky. Velké množství emisí vzniká při používání zimního obutí s hřeby. Hřeby jsou tvrdší než živice a častokrát i tvrdší než kamenivo, které je součástí asfaltu. K otěru dochází i působením relativně měkké pneumatiky na vozovku. Díky adhezi a valení pneumatiky vzniká proudění vzduchu, které může dosahovat rychlosti zvuku. Proudění proniká do mikropórů povrchu vozovky. Vznikají také tlakové vzdušné mikrorázy a napomáhají tím k narušení povrchu vozovky a vzniku pevných mikročástic. Množství vznikajících emisí záleží na hmotnosti vozidla a rychlosti jízdy, popřípadě kvalitě asfaltu<sup>4</sup>. U osobních automobilů vzniká abraze vozovky 4-150 mg/km pevných částic, u lehkých užitkových vozů to může být 9-200 mg/km, u těžkých užitkových vozidel 20-750 mg/km. [17]

## 2.2 Imise

Při posuzování vlivu dopravy je nutné vzít v potaz také imise. Imise je emise po přenosu, rozptýlení a fyzikálně-chemických reakcích, do kterých v atmosféře vstupuje. Udává úroveň znečištění. Hodnoty jsou vyjádřeny v hmotnostní koncentraci znečišťující látky v ovzduší, nebo její atmosférická depozice za jednotku času. [18]

### 2.2.1 Imisní limity

Imisní limit udává maximální dovolenou hodnotu (průměr nebo maximum) hmotnosti znečišťující látky za daný časový úsek. Pro některé imisní limity může navíc platit maximální dovolený počet překročení limitu za časovou jednotku, nejčastěji za rok. To bývá z důvodu, že v zimním období imise některých látek je vyšší než v letním období. Tyto limity byly vytvořeny pro ochranu vegetace, ekosystémů a zdraví člověka. [18]

Znečišťující látka	Doba průměrování	Imisní limit
Arsen	1 kalendářní rok	6 ng.m <sup>-3</sup>
Kadmium	1 kalendářní rok	5 ng.m <sup>-3</sup>
Nikl	1 kalendářní rok	20 ng.m <sup>-3</sup>
Benzo(a)pyren	1 kalendářní rok	1 ng.m <sup>-3</sup>

Tabulka 2-4 Imisní limity pro celkový obsah znečišťující látky v částicích PM10 vyhlášené pro ochranu zdraví lidí [19]

<sup>4</sup> Kvalita asfaltu – firmy při výstavbě používají různé živice. Může se jednat o kvalitní přírodní asfalt nebo také o náhražky, které jsou založené na výrobě z uhlí a ropy. [17]



Znečišťující látka	Doba průměrování	Imisní limit	Maximální počet překročení
Oxid siřičitý	1 hodina	350 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$	24
Oxid siřičitý	24 hodin	125 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$	3
Oxid dusičitý	1 hodina	200 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$	18
Oxid dusičitý	1 kalendářní rok	40 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$	0
Oxid uhelnatý	maximální denní osmihodinový průměr	10 $\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$	0
Benzen	1 kalendářní rok	5 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$	0
Částice PM <sub>10</sub>	24 hodin	50 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$	35
Částice PM <sub>10</sub>	1 kalendářní rok	40 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$	0
Částice PM <sub>2,5</sub>	1 kalendářní rok	20 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$	0
Olovo	1 kalendářní rok	0,5 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$	0

Tabulka 2-5 Imisní limity vyhlášené pro ochranu zdraví lidí a maximální počet jejich překročení [19]

Znečišťující látka	Doba průměrování	Imisní limit
Oxid siřičitý	kalendářní rok a zimní období (1. října - 31. března)	20 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$
Oxidy dusíku	1 kalendářní rok	30 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$

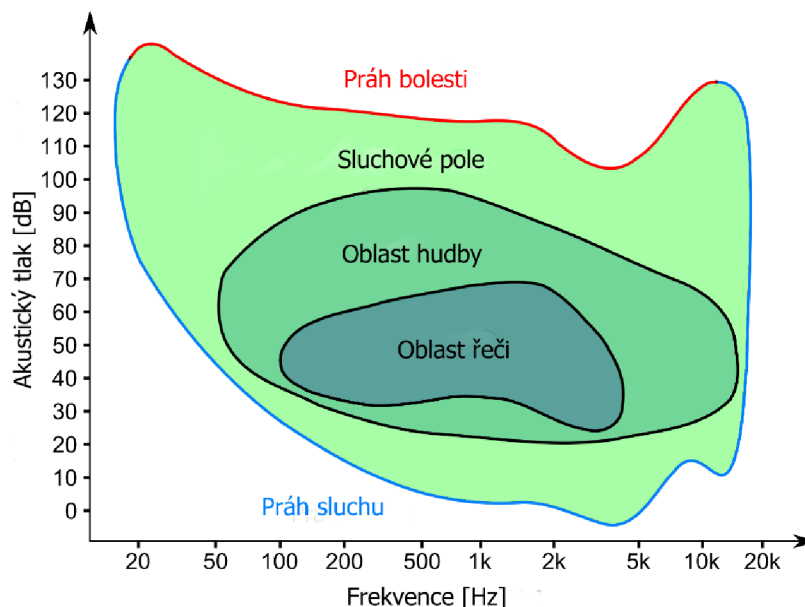
Tabulka 2-6 Imisní limity vyhlášené pro ochranu ekosystémů a vegetace [19]

## 2.3 Hluk

Hluk je zvuk, který má rušivý nebo obtěžující charakter, nebo má škodlivé účinky. Zvuk je mechanické vlnění, které si šíří pružným prostředím. Vibrující těleso je zdrojem zvuku. Uvádí do pohybu sousední částice, se kterými se stýká a postupně tak vzniká zvuková vlna. Lidské ucho je schopno vnímat zvuk o frekvencích 16 Hz-20 kHz. Mírou hluku je takzvaná hladina akustického tlaku  $L_p$  [dB]. [20]

### 2.3.1 Vliv hluku na zdraví

To, jak člověk dokáže snášet hluk je individuální záležitost, liší se od zdravotního a psychického stavu člověka. Hluk má negativní vliv na zdraví člověka. Nadmíra hluku vede k poničení sluchu a dalším nemocem sluchového aparátu. K tomu může dojít při krátkodobém vystavení hluku o 130 dB nebo při časté a dlouhodobé expozici hluku, který přesahuje 85 dB. Sluch může být poškozen i při dlouhodobém vystavování se hluku 70 dB. Poškození sluchu je ve většině případů nevratné. Hluk nepůsobí negativně pouze na sluch, ale také může způsobovat hypertenzi a zvýšení rizika infarktu. Ovlivňuje kvalitu a délku spánku, snižuje pozornost a celkově výkonnost.



Obrázek 2.1 Sluchové pole [51]

Hluk negativně neovlivňuje pouze člověka, nepříznivé účinky má také na zvířata, kterým narušuje život. Ta mohou trpět jak fyzicky, tak psychicky. Nervozita, stres, nerozvážený útek, to vše může vést k poškození zdraví, v horším případě k ohrožení života. Týká se to i domácích zvířat, které jsou například během slavení Silvestra vystaveny abnormálnímu hluku, který jim může způsobit potíže. [21]

### 2.3.2 Hluk a doprava

V dopravě jsou rozlišovány dva možné způsoby vzniku hluku.

- **Mechanický hluk** vzniká mechanickými kmity povrchu strojů a jejich částí. Kmitání povrchu tělesa vyvolává akustický rozruch plynného prostředí (případně kapalného prostředí) a předává mechanickou energii okolnímu prostředí. Energie se pomocí vln šíří dále prostředím. [22]
- **Aerodynamický hluk** způsobuje proudění vzduchu, nebo vzniká v místech náhlé prudké změny tlaku, díky tomu se rozvlní příslušné medium (např. sání a výfuk spalovacích motorů). [22]

Podle hustoty dopravních sítí lze předpokládat, že největší dopad na životní prostředí bude mít silniční a železniční doprava.

### 2.3.2.1 Hluk ze silniční dopravy

Hluk způsobený silniční dopravou představuje v dnešní době vážný problém. Především frekventovaně využívané silnice a dálnice, které prochází obydlenými oblastmi nebo se nachází v jejich blízkosti, obtěžují svým hlukem a znehodnocují životní prostředí.

V silniční dopravě lze zdroj hluku rozdělit do tří kategorií:

- Aerodynamický hluk
- Hluk motoru
- Hluk, který vzniká v kontaktu pneumatiky s vozovkou

Aerodynamický hluk vzniká při jízdě vozidla, který rozráží vzduch. Roste se zvyšující se rychlostí. Hluk motoru je dominantní při nízkých rychlostech. U osobních automobilů převyšuje hluk motoru ostatní zvuky asi do 30 km/h, do 50 km/h u nákladních automobilů. Při vyšších rychlostech převládá hluk pneumatik, přičemž platí, že roste s rychlostí a šířkou pneumatik. [23]

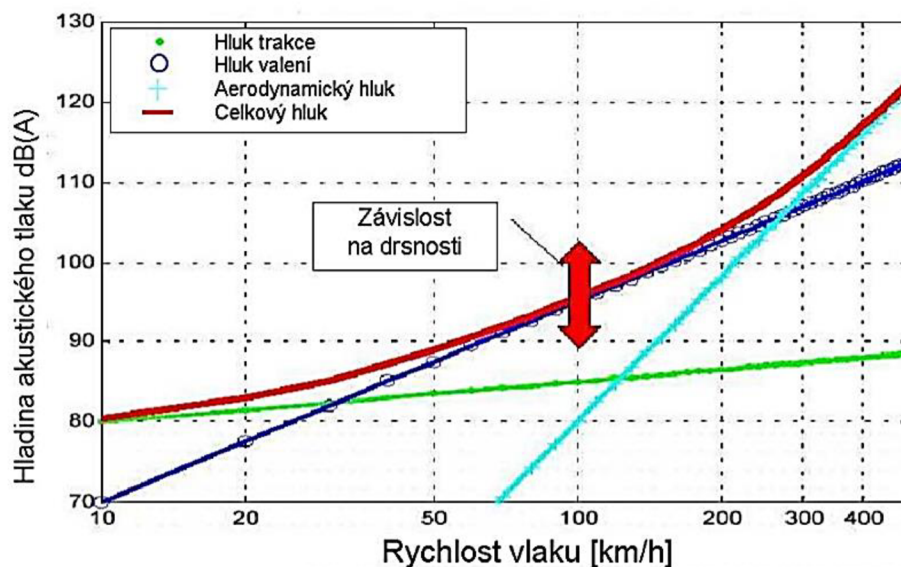
Problematikou hlukové zátěže se zabývá také stát a podle Nařízení vlády č. 272/2011 Sb., o ochraně zdraví před nepříznivými účinky hluku a vibrací, ve znění pozdějších předpisů, jsou dány limity hluku, který vytváří silniční doprava.

Pozemní komunikace a dráhy	Doba dne	$L_{Aeq,T}$ [dB]
Dálnice, silnice I. a II. tř., místní komunikace I. a II. tř. a tramvajové a trolejbusové dráhy vedené po silnicích I. a II. tř. a místních komunikacích I. a II. tř.	Denní	65
	Noční	55
Silnice III. tř., komunikace III. tř., účelové komunikace a tramvajové a trolejbusové dráhy vedené po silnicích III. tř. a místních komunikacích III. tř.	Denní	60
	Noční	50

Tabulka 2-4 Hodnoty hluku působeného dopravou na pozemních komunikacích a dráhách pro rozhodnutí použití další korekce +5 dB podle Nařízení vlády č. 272/2011 Sb.

### 2.3.2.2 Hluk ze železniční dopravy

Železniční doprava oproti silniční se liší hustotou provozu, kdy frekvence průjezdů železničních vozů je mnohem nižší než frekvence průjezdů automobilů. Hluk ze železniční dopravy lze rozdělit do zhruba tří kategorií: aerodynamický hluk, hluk trakce a valení.



Obrázek 2.2 Graf znázorňující vliv rychlosti na jednotlivých složkách hluku [24]

Z obrázku 2.2 si lze všimnout, že při nižších rychlostech zhruba do 60 km/h převládá hluk trakčních motorů. Ten se se změnou rychlosti výrazně nemění. Vyšší hluk způsobují vozidla, která jsou poháněna dieselovými motory. U nezávislé trakce jsou hlukové emise vyšší než u elektrické trakce.

Při rychlostech od 60 do 120 km/h bývá nejčastěji hlavním zdrojem hluku valení. Hluk z valení závislý na drsnosti povrchu kol a kolejnic. Vzniká díky vzájemnému působení nerovností na kole a kolejnici.

Od 200 km/h a výše začíná dominovat aerodynamický hluk. V České republice je maximální dovolená rychlost na tratích 160 km/h. Smysl zaobírat se aerodynamickým hlukem má podstatu spíše u vysokorychlostních vlaků. [24]

### 2.3.2.3 Hluk z letecké dopravy

Letecká doprava patří k největším zdrojům hluku, avšak vliv na obyvatelstvo nemá tak výrazný jako silniční doprava. Hluk z letecké dopravy se v největší míře projevuje v okolí letišť. V České republice je tedy nejproblematictější okolí Letiště Václava Havla Praha. U startu tryskového dopravního letadla vzniká hluk až 140 dB. Než nabere potřebnou výšku, zasáhne hlukem velkou plochu. [25]

### 2.3.2.4 Hluk z vodní dopravy

Za hluk z vodní dopravy mohou především dieselové motory. Většina vodní dopravy je provozována mimo obydlené oblasti. Z toho důvodu je její vliv na člověka nízký. Negativní vliv má na vodní zvířata, pro které je hluk stresující. Díky zvýšenému stresu může docházet k oslabení organismu, případně snížení reprodukce.

Člověka vodní doprava ovlivňuje především hlukem z přístavů. V České republice se nachází pouze 17 veřejných přístavů, z toho lze vyvodit nízký vliv hluku z vodní dopravy na obyvatele České republiky. [26]

## 2.4 Zábory půdy

Zábor půdy je nejčastěji nevratný proces, který zamezuje plnění funkcí půdy. Při stálém rostoucím počtu obyvatel dochází ke snižování zemědělsky využitelných ploch na úkor výstavby měst, průmyslových staveb nebo dopravní infrastruktury. Do dopravní infrastruktury lze zahrnout: silnice, železnice, vodní kanály, parkoviště, garáže, letiště, nádraží, terminály veřejné dopravy, technické zázemí dopravy, čerpací stanice, přístavy atd.

Zábor půdy působí negativně na životní prostředí z několika hledisek:

- Ztráta produkčního a ekologického významu.
- Odtok vody z území, nízká míra vsaku.
- Omezení migrace živočichů.

Záborem půdy omezuje zákon, kdy vyjmutí zemědělské půdy ze ZPF<sup>5</sup> musí být odsouhlaseno orgány ochrany ZPF a musí být zaplacený odvody.

## 2.5 Nehody

Dopravní nehoda je podle zákona č. 361/2000 Sb., Zákon o provozu na pozemních komunikacích a o změnách některých zákonů, ve znění pozdějších předpisů, událost v provozu na pozemních komunikacích, například havárie nebo srážka, která se stala nebo byla započata na pozemní komunikaci a při níž dojde k usmrcení nebo zranění osoby nebo ke škodě na majetku v přímé souvislosti s provozem vozidla v pohybu.

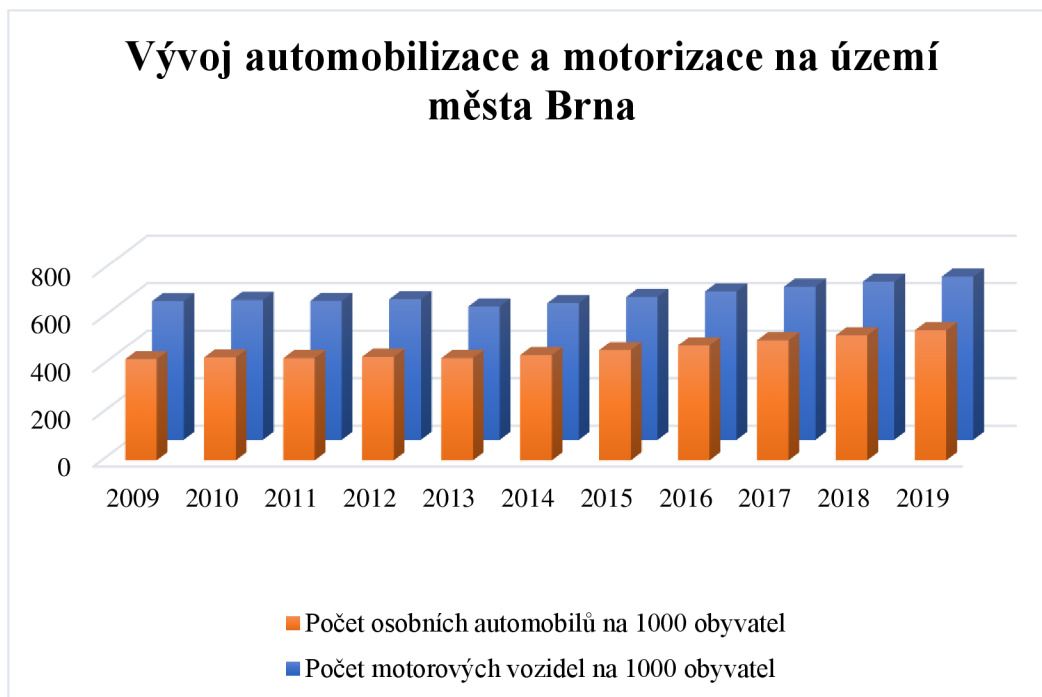
Nehody se nestávají pouze na pozemních komunikacích, ale mohou havarovat také vlaky, letadla nebo lodě. Dochází při nich přímo k ohrožení života jak člověka, tak také živočichů. Mohou též zapříčinit kontaminaci vody a půdy např. pohonnými látkami, oleji atd. V tomto směru jsou nejhorší havárie ropných tankerů. Dochází k výtoku velkého množství ropy, následně vzniká ropná skvrna, které ničí floru a faunu na velkém území. Počet úmrtí mořských ryb a ptáků je u největších nehod nevyčíslitelný.

---

<sup>5</sup> ZPF – Zemědělský půdní fond, je definován v zákoně č. 334/1992 Sb., Zákon České národní rady o ochraně zemědělského půdního fondu, ve znění pozdějších předpisů, jako „základní přírodní bohatství naší země, nenahraditelný výrobní prostředek umožňující zemědělskou výrobu a je jednou z hlavních složek životního prostředí.“

## 2.6 Odpady

V důsledku růstu automobilizace roste množství odpadů, vzniklých při provozu automobilů, a autovraků. Během provozu se u motorových vozidel vyměňují oleje (motorové, převodové), brzdové a chladicí kapaliny, pneumatiky, akumulátory, brzdové destičky a další opotřebované součástky. Odpady po skončení provozu vozidla jsou všechny části, ze kterých byl dopravní prostředek vyroben (kovy, plasty, sklo, guma atd.).



Obrázek 2.3 Graf vývoje automobilizace a motorizace na území města Brna podle [52]

Jak postupovat při trvalém vyřazení vozidla, jak nakládat s autovraky a odpady vymezuje několik zákonů a vyhlášek (zákon č. 56/2001 Sb., o podmínkách provozu vozidel na pozemních komunikacích, zákon č. 185/2001 Sb., o odpadech v platném znění v § 36 – 37e, vyhláška č. 352/2008 Sb., o podrobnostech nakládání s autovraky, vyhláška č. 383/2001 Sb., o podrobnostech nakládání s odpady v platném znění). Tyto právní normy navazují na směrnici Evropského parlamentu a Rady 2000/53/ES, o vozidlech s ukončenou životností.

Cílem je omezit množství nebezpečných látek a co největší množství odpadu recyklovat, popřípadě ekologicky zlikvidovat. [27]

### 3 Způsoby snižování negativních vlivů dopravy

Hlavním úkolem je hledání, navrhování, přijímání a realizování opatření, která by snižovala nebo ideálně eliminovala negativní vlivy dopravy na životní prostředí. Podstatné je si uvědomit, že za vším stojí činnost člověka. Je tedy nutné se zaměřit na vlastní chování a rozhodování kdy, jak, kudy a proč podnikat cestu.

#### 3.1 Snižování emisí v dopravě

V současnosti existuje mnoho způsobů, jak snižovat emise v dopravě. Velké množství emisí vzniká ze silniční dopravy, proto se většina opatření zaměřuje na tuto část dopravy. Využívá se řada systému, které obsahují katalyzátory a filtry pevných částic. V nejnovějších automobilech se vznětovým i zážehovým motorem již najdeme kombinace systému SCR, EGR. Filtr pevných částic byl původně záležitostí vznětových motorů, ale v důsledku přísnějších emisních limitů je součástí i automobilů se zážehovým motorem. Dalšími možnostmi jsou alternativní paliva, hybridní a elektrické pohony, používání šetrnějších druhů dopravy k životnímu prostředí.

##### 3.1.1 Selektivní katalytická redukce (SCR)

SCR je technologie, která dodatečně upravuje výfukové plyny. Slouží ke snižování emisí NO<sub>x</sub>.

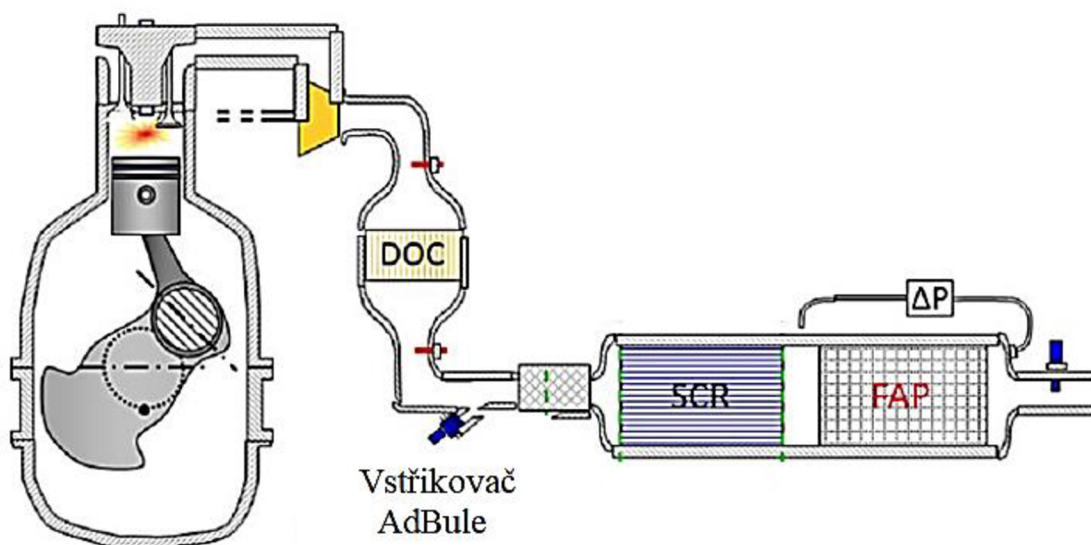
Výfukové plyny vycházející z motoru nejprve projdou oxidačním katalyzátorem a filtrem pevných částic. Dochází ke snížení emisí CO, uhlovodíků a pevných částic. Výfukové plyny proudí dále výfukovým potrubím k systému SCR. Na začátku se nachází dávkovací ventil, který do výfukových plynů vstříkne redukční činidlo AdBlue<sup>6</sup>. To podléhá termolýze a následně hydrolyze, kdy výsledným produktem je amoniak a oxid uhličitý. Poté se směs plynů dostane do redukčního katalyzátoru, kde oxidy dusíku reagují s amoniakem a vzniká voda a dusík. Pokud není filtr pevných částic za oxidačním katalyzátorem, tak se nachází až za katalyzátorem SCR.

---

<sup>6</sup>AdBlue – redukční činidlo, jde o sloučeninu močoviny (32,5 %) s demineralizovanou vodou (67,5 %). Zamrzá při -11°C. [26]



Výhodami systému SCR je snížení emisí a snížení spotřeby paliva. Nevýhodou je potřeba další provozní kapaliny. [29] [30]



Obrázek 3.1 Schéma systému SCR [53]

### 3.1.2 Recirkulace výfukových plynů (EGR)

Systém ERG (Exhaust Gas Recirculation) snižuje emisi výfukových plynů už v místě jejich vzniku. Slouží ke snížení emisí oxidů dusíku. Používá se v zážehových i vznětových motorech.

Celý systém se skládá ze zpětného vedení výfukových plynů a ventilu EGR, oxidačního katalyzátoru a filtru pevných částic. Termoregulační ventil EGR přepouští část výfukových plynů do sacího ústrojí motoru. Přimícháním výfukových plynů do palivové směsi se sníží poměr kyslíku a ostatních složek paliva a tím se sníží teplota zapálení směsi. V důsledku toho motor produkuje nižší množství  $\text{NO}_x$ .

Výhodou EGR je menší prostorová náročnost než u SCR a nepotřebuje další provozní kapalinu. Na úkor snížené emisí oxidů dusíku roste množství pevných částic. Je tedy nutné mít vozidla vybavené vysokotlakým vstřikování a filtrem pevných částic. Další nevýhody jsou snížení výkonu motoru, zanášení sacího zařízení sazími a dalšími nečistotami z výfukových plynů, větší opotřebení motoru a znečištění mazacích olejů. [30, 31]

### 3.1.3 Katalyzátor

Katalyzátor je zařízení, které snižuje emise výfukových plynů, které vznikají nedokonalým spalováním paliva. Dochází k přeměnám škodlivých látek na vodu, oxid uhličitý a další méně škodlivé látky prostřednictvím chemickým reakcím.

Jako katalyzátor se také označuje látka, která vstupuje do chemické reakce, mění její rychlost (může zrychlovat i zpomalovat reakci) do rovnovážného stavu, nebo urychluje reakci, následně z ní vystupuje nezměněná. V automobilovém katalyzátoru jsou touto látkou vzácné kovy nanesené na reakční plochu. Jako vzácné kovy se nejčastěji používají platina a rhodium.



V katalyzátoru se nachází nosič, který je potažen aktivní katalytickou vrstvou. Nosič je nejčastěji vyroben z keramiky nebo kovu. V řezu katalyzátorem si lze všimnout spousty buněk. Tímto způsobem je dosaženo velké účinné plochy. [28]



Obrázek 3.2 Řez katalyzátorem [28]

Katalyzátory lze rozdělit do několika skupin:

- Podle funkce:
  - Oxidační – přeměňuje oxid uhelnatý a nespálené uhlovodíky na oxid uhličitý a vodní páru
  - Redukční – přeměňuje oxidy dusíku na vodu a dusík
- Podle materiálového provedení:
  - Keramické – keramická vložka, nižší cena, citlivější na poškození.
  - Kovové – kovová vložka, méně citlivější na mechanické poškození, nepoškodí se vlivem horšího chodu motoru. [28]

### 3.1.3.1 Třícestný katalyzátor

Třícestný katalyzátor je schopný přeměnit tři základní škodliviny: oxid uhelnatý, oxidy dusíku a uhlovodíky. Pro vyšší účinnost katalyzátoru (až 95 %), musí být složení paliva stechiometrické. Tomu odpovídá poměr paliva a vzduchu 1:14,7. Tento poměr zajišťuje **lambda sonda**, která se nachází před katalyzátorem a snímá množství kyslíku ve výfukových plynech. Data přeposílá řídicí jednotce, která poté upravuje bohatost palivové směsi. Tento typ katalyzátoru se tedy používá u benzínových motorů s nepřímým vstřikováním paliva. [25, 26]

### 3.1.3.2 DOC

DOC (Diesel Oxidation Catalyst) je oxidační katalyzátor. Přeměňuje oxid uhelnatý a uhlovodíky na oxid uhličitý a vodu. [29]

### 3.1.3.3 Redukční katalyzátor

Redukční katalyzátor se využívá pro redukci oxidů dusíku u vznětových a zážehových motorů s přímým vstřikováním. [28]

### 3.1.3.4 Zásobníkový katalyzátor

Zásobníkový katalyzátor se používá u motorů s přímým vstřikováním paliva. Výrazně snižuje emise oxidů dusíku. Na svém povrchu shromažďuje oxidy dusíku za pomoci oxidů barya ve formě baryumnitrátů. Po zaplnění kapacity řídicí jednotka přepne provoz katalyzátoru na režim s bohatou směsí, tím se zvýší podíl oxidu uhelnatého ve výfukových plynech. Oxid uhliku reaguje s oxidy dusíku za vzniku dusíku a oxidu uhličitého.

### 3.1.4 Filtr pevných částic (DPF)

DPF (Diesel Particulate Filter) se používá k odstraňování karcinogenních, jemných pevných mikročástic. Zjednodušeně si lze představit síto, které zachytává pevně částice. Až se částice nahromadí, tak je nutná regenerace (spálení částic). K regeneraci může docházet dvěma způsoby. Pasivní regenerace probíhá samovolně při vysoké zátěži motoru a výfukové plyny dosahují přibližně teplot 350-500 °C. Aktivní regenerace nastává, když neproběhla pasivní regenerace a filtr je téměř zaplněný. Díky změně časování vstříků, zvýšení množství paliva a přidání aditiv je uměle zvýšena teplota až na 600 °C a dochází ke spálení sazí a dalších nečistot. Spalováním vzniká oxid uhličitý. [29, 32]

### 3.1.5 Alternativní paliva

Jako alternativní paliva jsou považována paliva, která se používají místo konvenčních paliv. Do konvenčních paliv spadá benzín a nafta. Tyto paliva produkují nižší množství emisí než konvenční paliva. Nejčastěji se jedná o LPG, CNG, bionaftu, elektrickou energii a případně jejich kombinace.

#### 3.1.5.1 LPG

LPG je zkratka pro zkapalněný ropný plyn, který se skládá z propanu a butanu. Vzniká při rafinaci ropy nebo se získává v průběhu těžby zemního plynu. Používá se jako alternativa benzínu v zážehových motorech. [33]

Výhody LPG:

- Nižší cena za ujetý kilometr
- Nižší emise výfukových plynů
- Nižší hlukové emise motoru
- Osvobození od silniční daně

Nevýhody LPG:

- Nízká nabídka automobilů s LPG na trhu
- Počáteční investice při přestavbě na LPG
- Zmenšení zavazadlového prostoru (pokud se tlaková nádrž neumístí místo rezervního kola)
- Nutná každoroční revize, životnost nádrže je 10 let
- Zákaz parkování v některých podzemních parkovištích

Nový potenciál přináší Bio LPG. Vlastnosti i chemické složení je stejné jako u klasického LPG. Vyrábí se z obnovitelných zdrojů (bio odpad, rostlinné oleje, vedlejší produkt při výrobě bionafty). Bio LPG lze libovolně mísit s LPG. Uhlíková stopa je o 40-70 % nižší oproti LPG. V roce 2018 množství vyrobeného bio LPG představovalo 0,1 % z celkového množství. [34]

#### 3.1.5.2 CNG

Zkratka CNG znamená stlačený zemní plyn. Hlavní složkou je metan (96-98 % objemu). U vozidel se nejčastěji kombinuje palivo CNG s benzínem. [35]

Výhody:

- Nižší cena za ujetý kilometr
- Výrazně nižší emise výfukových plynů
- Vysoké oktanové číslo 130, z toho vyplývající nižší hlukové emise motoru
- Dvojnásobná zásoba zemního plynu oproti ropě
- Osvobození od silniční daně

- Vybudované plynovody, odpadá doprava cisternami
- Dostupnost soukromých plniček CNG

Výhody oproti LPG:

- Stálá kvalita paliva
- Vyšší zápalná teplota, nižší šance na nechtěné vznícení

Nevýhody:

- Nízká nabídka automobilů s CNG na trhu
- Počáteční investice při přestavbě na CNG
- Zmenšení zavazadlového prostoru
- Nutná každoroční revize
- Malá síť veřejných čerpacích stanic

Nevýhody oproti LPG:

- Snižuje výkon motoru
- Nákladnější přestavba
- Dražší revize a servis

### 3.1.5.3 Bionafta

Bionafta je ekologické palivo na bázi metylesterů nenasycených mastných kyselin. Vyrábí se jako alternativa k naftě. Vyrábí se z olejnatých plodin (řepka, slunečnice, palmový olej, ad.). Bionafta je netoxická, neobsahuje síru ani aromatické látky, má lepší mazací schopnosti a emisní vlastnosti než klasická nafta. Nevýhodami je vysoká ekonomická náročnost, uvolňování organických látek, které zanášejí palivový filtr, případně může ucpat vstříkovací ventily, vznik mastných kyselin při kontaktu s vodou, které způsobují korozi palivové nádrže. Emise oxidu uhličitého jsou při spalování bionafty výrazně nižší než při spalování klasické nafty, avšak, když se vezme v potaz celý proces od vysazení rostlin, přes hnojení, zpracování a samotnou produkci CO<sub>2</sub> rostlinami, tak bionafta z porovnání s naftou vychází výrazně hůř. [36]

## 3.1.6 Hybridní a elektrické pohony

Hybridní pohon je název pro kombinaci několika různých zdrojů energie pro pohon jednoho dopravního prostředku.

### 3.1.6.1 Hybridní a elektrické pohony v silniční dopravě

Hybridní automobily nejčastěji využívají kombinace spalovacího motoru a elektromotoru. Cílem těchto pohonů je snížení spotřeby paliva a dosažení požadovaných emisních norem.

Rozdělení:

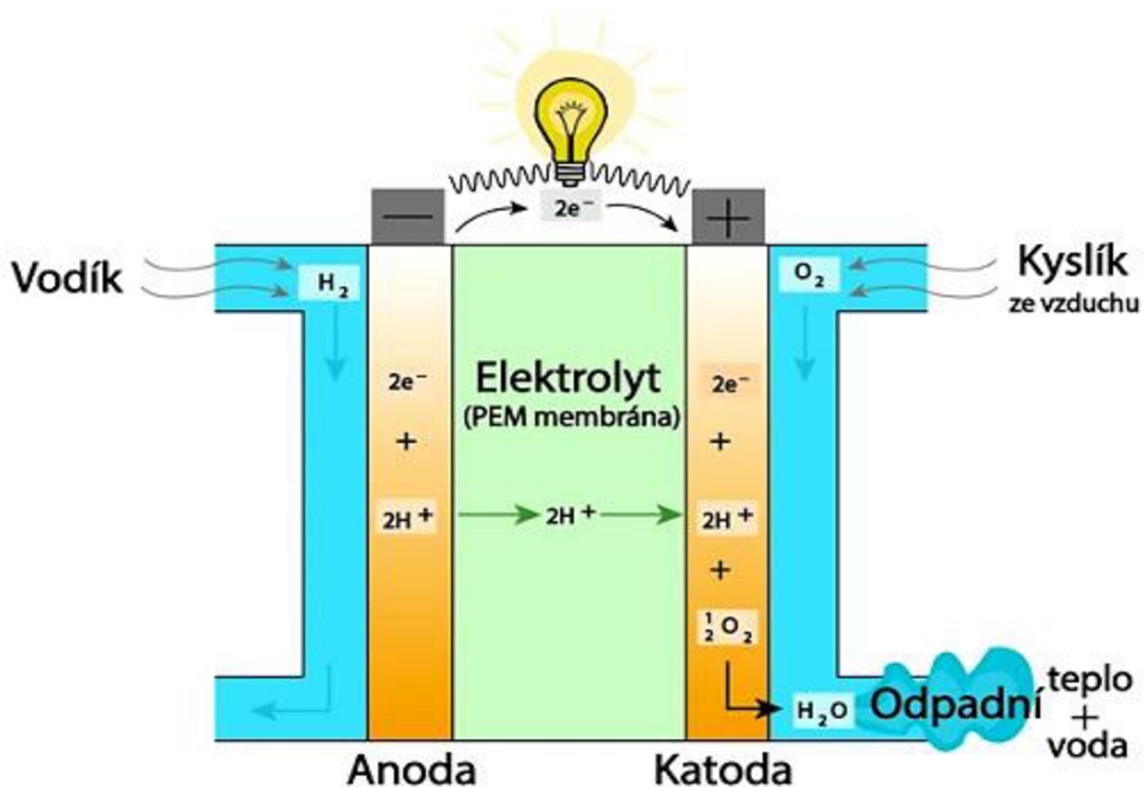
- **Mikro hybrid** – elektřina se používá pouze na systém start/stop
- **Mild hybrid** – systém, který spojuje klasický spalovací motor s 48V elektromotorem. Elektromotor napomáhá spalovacímu motoru při rozjezdu, při akceleraci, může ho vypnout při jízdě bez zařazené rychlosti a pomáhá s výkonem. Elektrická energie je získávána rekuperací při brzdění.
- **Full hybrid** – dokáže jet samostatně na elektřinu, elektromotor je omezen kapacitou akumulátorů.

- **Plug-in hybrid** – elektrickou energii je možné získat navíc připojením do elektrické sítě. Akumulátor má vyšší kapacitu, tím je zvýšena i dojezdová vzdálenost na elektrickou energii.

Elektromobily jsou poháněny pouze elektromotory. Mají nulové výfukové emise, a tak se zvětšujícím se podílem hybridních automobilů a elektromobilů se snižuje koncentrace emisí v místech vysoké hustoty dopravy. [37, 38]

Avšak elektromobily nejsou tak ekologické, jak se může na první pohled zdát. Je nutné zahrnout emise vznikající při výrobě elektrické energie. Hlavním problémem je výroba baterií. Většina součástí baterií je vyráběna v Číně. Lithium, kobalt, nikl a grafit jsou často těženy v méně vyspělých státech, kde je způsob těžby zastaralý a neekologický. Následná přeprava surovin pomocí kontejnerových lodí, zpracování v Číně a export zanechávají za sebou výraznou ekologickou stopu. Po skončení životnosti je nutná ekologicky náročná likvidace.

Speciálním typem pohonu jsou vodíkové palivové články. Ty vyrábí elektrickou energii reakcí čistého vodíku s kyslíkem. Problémem je výroba vodíku, která je ekonomicky náročná. Se zavedením velkosériové výroby a konkurenceschopnosti by cena palivových článků měla klesat, rozšířit nabídku modelů automobilů a zajistit jejich cenovou dostupnost. [40]



Obrázek 3.3 Princip funkce vodíkových palivových článků [54]

### 3.1.6.2 Hybridní a elektrické pohony v železniční a letecké dopravě

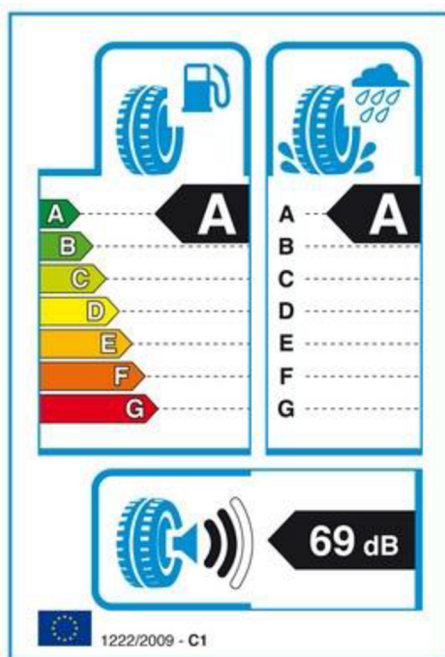
I přes to, že železniční doprava je považována za velice šetrnou k životnímu prostředí, tak stále některé lokomotivy využívají diesellové motory, které vypouští emise a negativně působí na životní prostředí. A tak prochází lokomotivy vývojem a vznikají hybridní lokomotivy. Baterie se během jízdy nabíjí a elektromotor může napomáhat diesellovému motoru nebo by mohl pohánět vlakovou soustavu mimo elektrifikovanou část trati.

Budoucností železniční dopravy mohou být i vodíkové vlaky, které jsou ve fázi testování a je otázkou času, kdy se začnou více rozšiřovat. [41]

S hybridními a elektrickými pohony lehce zaostává letecký průmysl. Vznikla první letadla, která kombinují spalovací motor a elektromotor. Největší letadlo s hybridním pohonem je Ampaire Electric EEL s kapacitou šest až devět osob poprvé vzletlo v červnu 2019. Na rok 2021 je plánována certifikace. [42]

### 3.2 Snižování hlukových emisí

Hluk z dopravy představuje v dnešní době významný problém. Omezení hlukových emisí je stále více probíráno a vznikají nové metody, jak tomu zabránit. Základní parametry, které ovlivňují hluk jsou: rychlost vozidel, hlukové emise vozidel, intenzita dopravy, kvalita povrchu vozovky, pneumatiky. V místech, kde jsou lidé vystaveni nadměrnému hluku ze silniční, železniční nebo i letecké dopravy, je nutné provést hlukovou studii, ve které se dané místo vyhodnotí a navrhne se řešení. Nástrojů ochrany před hlukem je řada. [43]



Obrázek 3.4 Energetický štítek pneumatiky [54]

Příspěvek ke snížení hluku může každý vlastník automobilu, a to používáním tichých pneumatik. Třída vnějšího hluku odvalování je spolu s třídou palivové náročnosti a třídou přilnavosti na mokru zobrazena na energetickém štítku, kterým musí být pneumatika označena.

Dalšími možnostmi, jak regulovat hluk je:

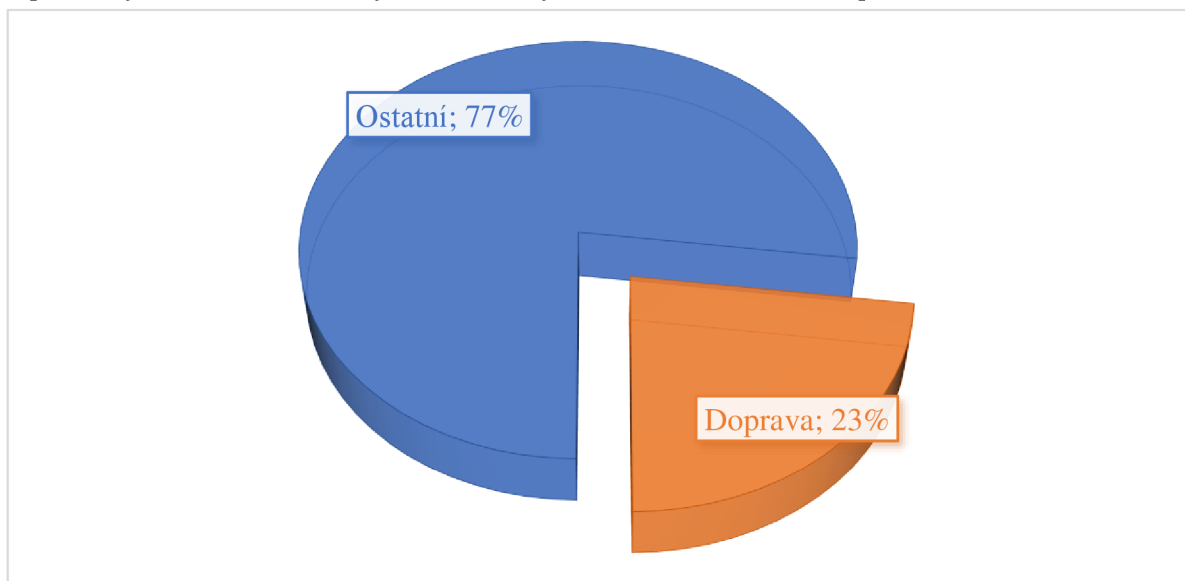
- výstavba obchvatů měst a tím odvedení velké části automobilů mimo zastavěnou oblast,
- zákaz vjezdu nákladních automobilů do obytných zón,
- zklidnění dopravy – snížení maximální povolené rychlosti, zpomalovače atd.,
- vybudování protihlukových stěn, případně výsadba vhodně zvolené zeleně,
- nízkohlučné povrchy vozovek,
- umístěním letišť, železničních stanic. [43, 44]

## 4 Porovnání emisí

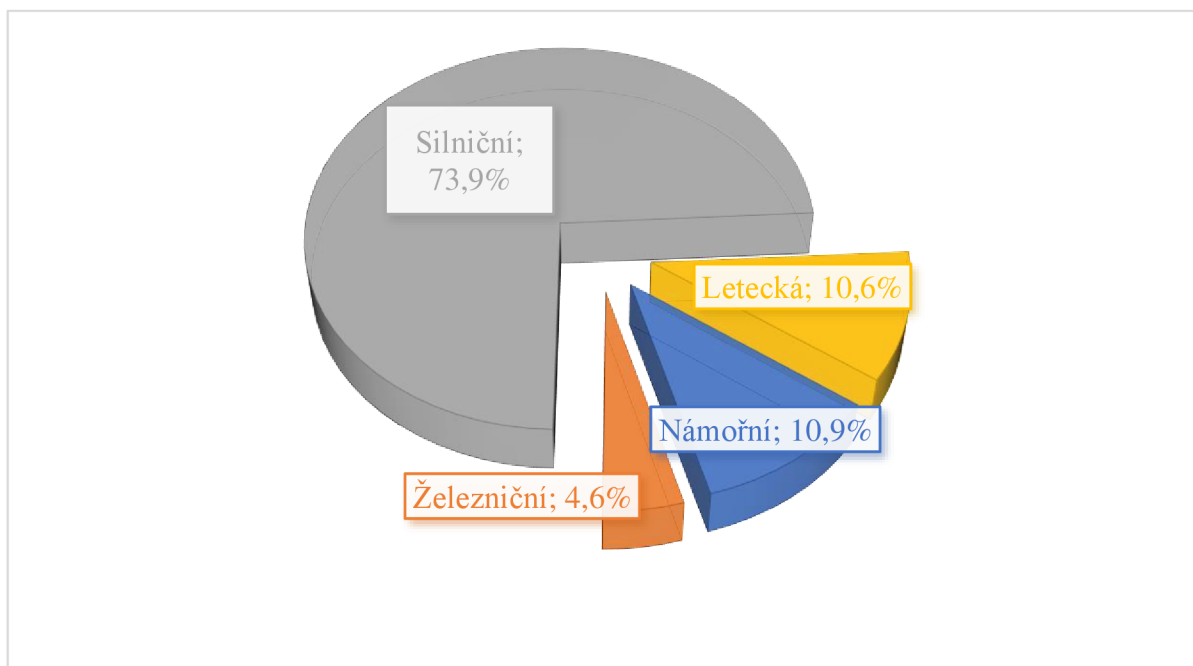
Od roku 1990 do roku 2017 významně kleslo množství emisí oxidu uhelnatého, VOC, oxidů síry, oxidů dusíku a pevných částic produkovaných dopravou. Výjimkou je námořní doprava, kde narostly emise oxidů dusíku, a letecká doprava, ve které došlo k nárůstu všech složek emisí kromě VOC. V současné době se nejvíce řeší emise oxidu uhličitého. [45]

### 4.1 Osobní doprava

Na skleníkovém efektu a s ním spojeným globálním oteplováním se nejvíce podílí oxid uhličitý. Podle dat z roku 2014, viz obrázek 4.1 a obrázek 4.2, doprava produkuje 23 % CO<sub>2</sub> antropogenní činností. Z toho téměř tři čtvrtiny pochází ze silniční dopravy, vodní a letecká doprava vytváří shodně necelých 11 %, zbytek náleží železniční dopravě.



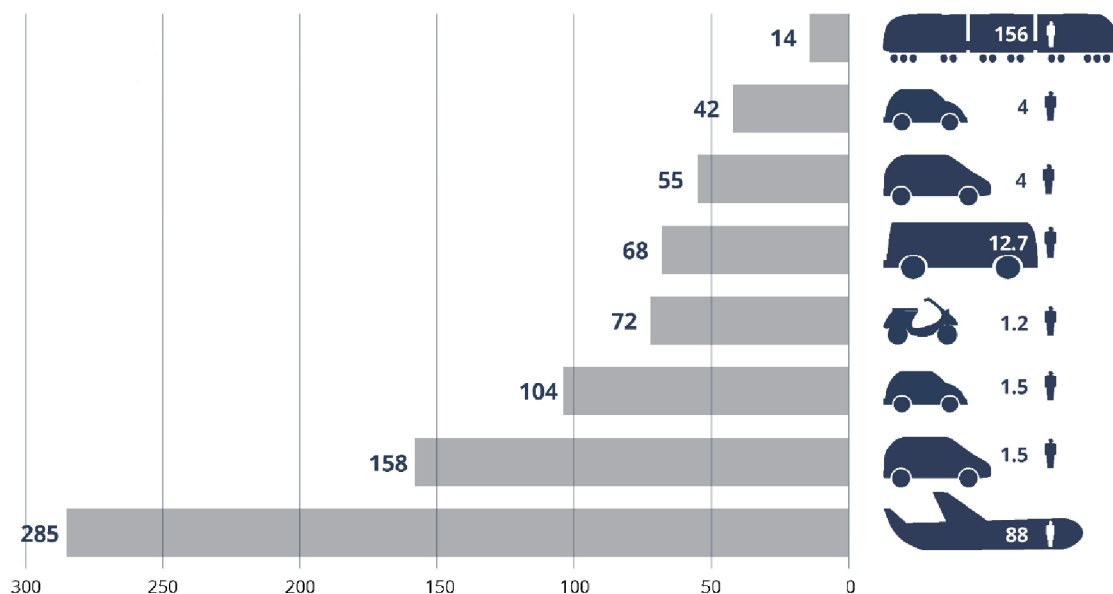
Obrázek 4.1 Globální emise CO<sub>2</sub> vyprodukované lidskou činností podle [46]



Obrázek 4.2 Emise CO<sub>2</sub> z dopravy podle [46]



Při porovnání způsobu cestování osoby lze přepočítat množství emisí oxidu uhličitého na cestujícího na 1 kilometr. Vychází se z dat průměrného počtu cestujících na vozidlo a průměrné spotřeby paliva na kilometr. V tomto srovnání chybí vodní doprava. Ta není ve velké míře využívána pro dopravu lidí a data by byla zkreslena. Z výsledných dat lze vyčíst, že při vyšším využití kapacity vlaků a autobusů jsou emise CO<sub>2</sub> nižší než u individuální silniční dopravy. Z tohoto hlediska významně za ostatními druhy dopravy zaostává letecká doprava.



Obrázek 4.3 Emise oxidu uhličitého z osobní dopravy přepočítané na osobu a kilometr [56]

Ovšem závěry učiněné z produkce oxidu uhličitého pouze ze spalování fosilních paliv mohou být zavádějící. Nutné je také zahrnout, jaké množství emisí vzniká výrobou a distribucí fosilních paliv. Při výrobě elektrické energie pro pohon elektrických vozidel se musí zohlednit národní energetický mix, který výrazně ovlivňuje čistotu dopravy.

I když je železniční doprava všeobecně vnímána jako nejčistší způsob dopravy, je potřeba si uvědomit také podmínky, které potřebuje pro svůj provoz. Vlaky jsou omezeny při stoupání, a tak při výstavbě železničních drah jsou nutné náročné terénní úpravy, výstavba tunelů a mostů. Stavba zastávek, nádraží, technických budov a následná údržba drah a vlaků, během toho všeho jsou produkovány další emise, které jsou většinou přehlíženy. [47]

#### 4.1.1 Srovnání emisí na modelovém příkladu

Na modelovém příkladu jsou vypočítány emise CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub> a PM pro automobil, autobus a vlak na trase Brno – Praha. Vzdálenost po silnici je přibližně 210 km a po železniční trati 255 km. Pro porovnání byl zvolen osobní automobil ŠKODA Octavia Combi 2,0 TSI splňující emisní normu EURO 6 s předpokládanou spotřebou 6,5 l/100 km, autobus SETRA: S 515 HD splňující normu EURO VI s předpokládanou spotřebou 25 l/100 km a s 50 místy k sezení a lokomotiva ČD 380 s vagóny s celkovým počtem míst k sezení 500 a s předpokládanou spotřebou 31 Wh na sedadlo a kilometr trasy. Data k výpočtu jsou přebrána z [14, 59, 60, 61], specifikace vozidel jsou uvedena v [62, 63, 64].

V příkladu jsou zahrnuty emise vzniklé při výrobě a dopravě pohonných hmot a při samotné jízdě automobilu neboli při spalování paliva. Emise produkované při budování nutné infrastruktury, výrobě dílů automobilu, jeho montáži a emise z otěru brzd, pneumatik a vozovky jsou zanedbány.

Na příkladu osobního automobilu je demonstrován postup výpočtu emisí CO<sub>2</sub>. Tento postup je obdobný pro další složky emisí NO<sub>x</sub> a PM a také pro výpočet emisí autobusu a vlaku, viz příloha 1.

Základní parametry pro výpočet emisí CO<sub>2</sub>:

Automobil: ŠKODA Octavia Combi 2,0 TSI, s motorem splňující normu EURO 6

Trasa Brno – Praha:

$$s = 210 \text{ km} \quad (1)$$

Počet osob:

$$o = 2 \text{ osb} \quad (2)$$

Kombinovaná spotřeba:

$$sp_k = 6,1 \text{ l/100 km} \quad (3)$$

Hustota benzínu:

$$\rho = 0,742 \text{ kg/l} \quad (4)$$

Emise CO<sub>2</sub> vzniklé při výrobě a dopravě benzínu:

$$e_v = 460 \text{ g/kg} \quad (5)$$

Emise CO<sub>2</sub> vzniklé při jízdě:

$$e_j = 120 \text{ g/km} \quad (6)$$

Výpočet:

Celková spotřeba paliva:

$$sp_c = \frac{s * sp_k}{100} \quad (7)$$

$$sp_c = \frac{210 * 6,1}{100} = 12,81 \text{ l} \quad (8)$$

Celkové emise za cestu:

$$E_c = sp_c * \rho * e_v + s * e_j \quad (9)$$

$$E_c = 12,81 * 0,742 * 460 + 210 * 120 \approx 29572 \text{ g} \quad (10)$$

Emise za cestu na osobu:

$$E_o = \frac{sp_c * \rho * e_v + s * e_j}{o} \quad (11)$$

$$E_o = \frac{12,81 * 0,742 * 460 + 210 * 120}{2} \approx 14786 \text{ g} \quad (12)$$

Emise za cestu na osobu a kilometr:

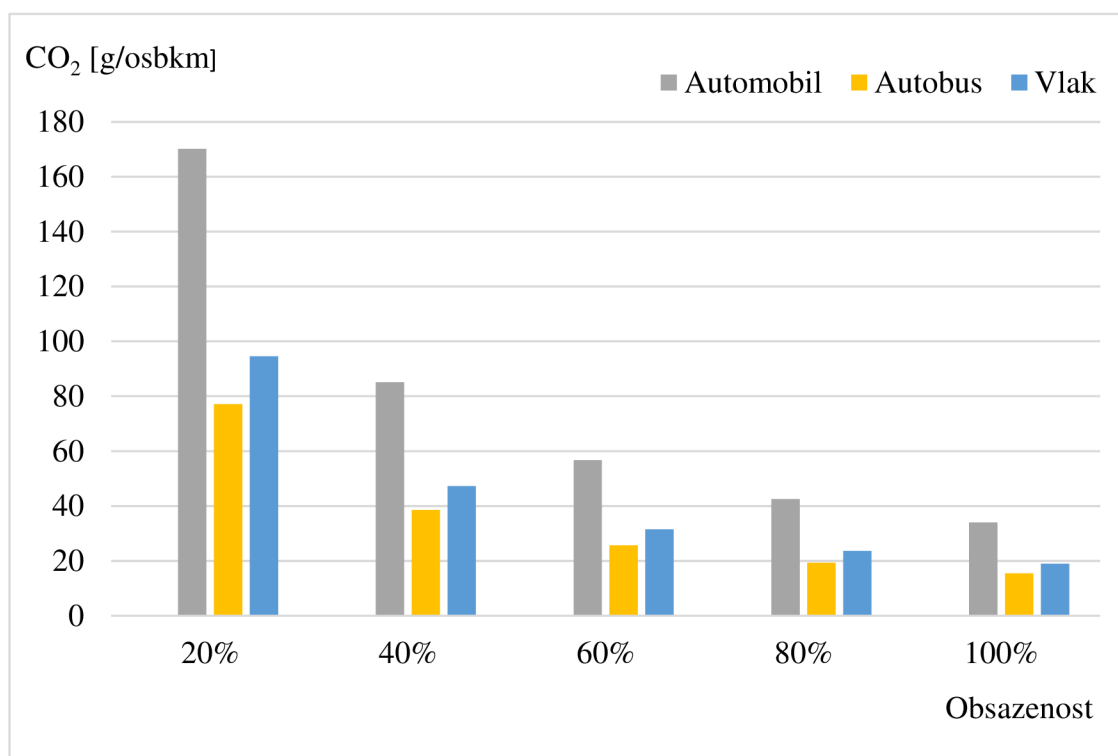


$$E_{ok} = \frac{sp_c * \rho * e_v + s * e_j}{o * s} \quad (13)$$

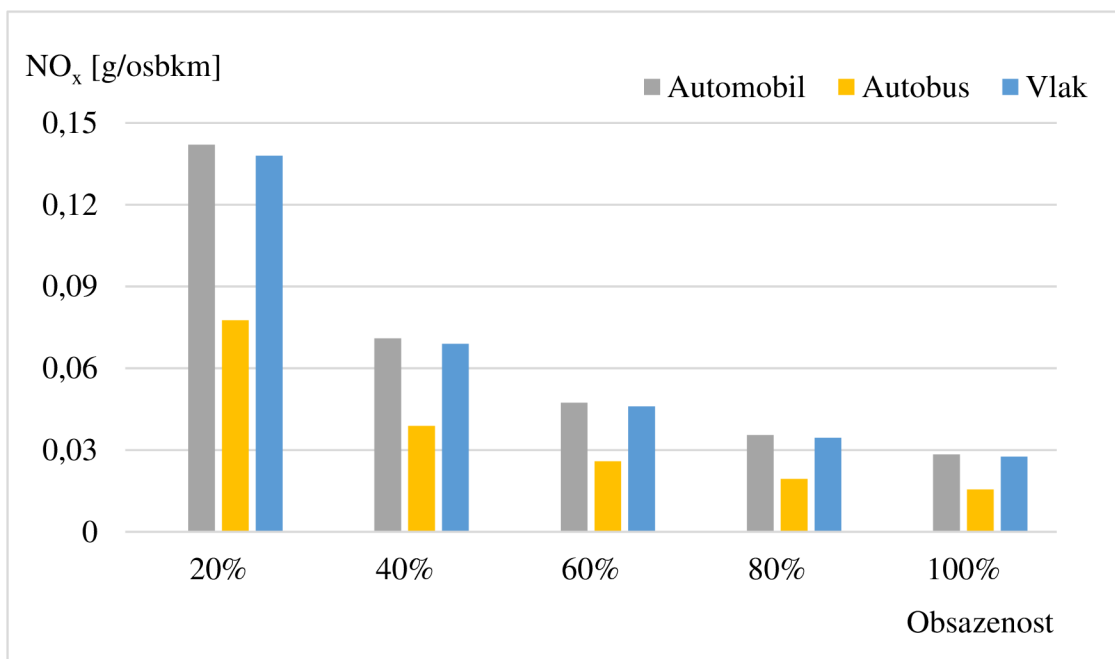
$$E_o = \frac{12,81 * 0,742 * 460 + 210 * 120}{2 * 210} \approx 70 \text{ g} \quad (14)$$

Výsledné hodnoty emisí na jednu osobu na trase Brno – Praha pro průměrnou obsazenost 60 % osobního automobilu jsou 11913 g/osb CO<sub>2</sub>, 9,94 g/osb NO<sub>x</sub>, g/osb PM, autobusu 5399 g/osb CO<sub>2</sub>, 5,43 g/osb NO<sub>x</sub>, 0,19 g/osb PM, vlaku 8037 g/osb CO<sub>2</sub>, 11,73 g/osb NO<sub>x</sub>, 2,50 g/osb PM.

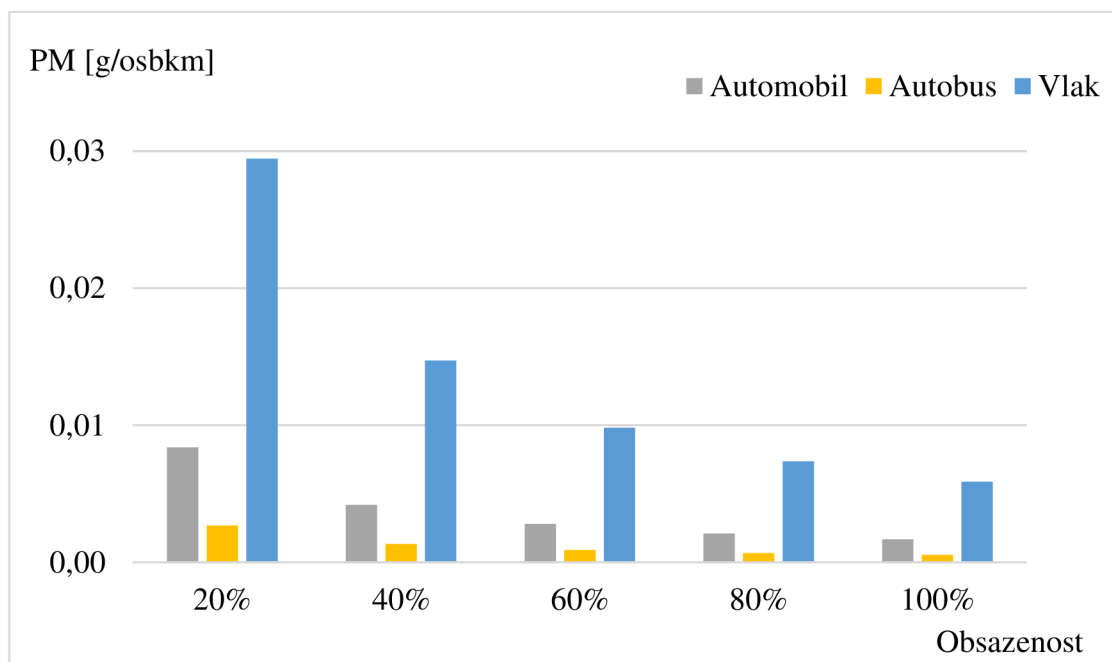
Na následujících obrázcích 4.4-4.6 je srovnání automobilu, autobusu a vlaku podle množství emisí na osobokilometr v závislosti na obsazenosti dopravního prostředku.



Obrázek 4.4 Emise CO<sub>2</sub> v závislosti na obsazenosti



Obrázek 4.5 Emise NO<sub>x</sub> v závislosti na obsazenosti



Obrázek 4.6 Emise PM v závislosti na obsazenosti

Z obrázku 4.4 vyplývá, že pokud budeme uvažovat ve všech třech dopravních prostředcích stejnou procentuální obsazenost, tak v přepočtu na osobu a jeden kilometr cesty osobní automobil produkuje výrazně nejvíce množství emisí CO<sub>2</sub>. Autobus v tomto srovnání vychází nepatrně jako lepší volba než vlak. Pokud obsazenost vlaku klesne pod 60 % a autobusu pod 40 % a v automobilu bude cestovat 5 osob, tak cesta automobilem bude z pohledu emisí CO<sub>2</sub> v přepočtu na osobu a jeden kilometr cesty ekologičtější.

Při porovnání výsledných hodnot a hodnot z obrázku 4.3 si lze všimnout nesrovnalostí. Ty mohou být dány výběrem vozidel, kdy vozidla ve výpočtu splňují poměrně přísné emisní

limity na rozdíl od průměrných vozidel. U vlaku to je způsobeno národním energetickým mixem, kdy největší podíl na výrobě elektrické energie mají elektrárny spalující uhlí.

Ve srovnání emisí NO<sub>x</sub> vychází nejlépe autobus, automobil produkuje srovnatelné množství oxidů dusíku jako vlak viz obrázek 4.5.

Pevných částic vyprodukuje nejvíce vlak a nejméně autobus viz obrázek 4.6. Nejsou zde zahrnuty emise z abraze vozovky a otěru brzd a pneumatik.

Přílohou této práce je excelový soubor, ve kterém byly provedeny uvedené a další doplňující výpočty. Lze zde najít další srovnání z pohledu celkového množství emisí, celkového množství emisí na osobu a množství emisí na osobu a kilometr. Lze také měnit vstupní hodnoty jako vzdálenost, spotřeba, počet cestujících, kapacita dopravního prostředku a případně i hodnoty pro emisní limity.

## 4.2 Nákladní doprava

Při zaměření na porovnání nákladní dopravy a na emise oxidu uhličitého, tak v přepočtu množství vyprodukovaného CO<sub>2</sub> na tunu materiálu přepraveného za jednotku vzdálenosti vychází nejhůř letecká doprava. O poznání lépe je na tom kamionová doprava a železniční doprava. Z tohoto hlediska je na tom nejlépe nákladní námořní loď. Námořní doprava má ovšem i svoji temnou stránku. Až 90 % veškerého množství přepravovaného nákladu zajišťuje námořní doprava. Velké motory lodí spalují palivo, které by se dalo považovat za odpad při rafinaci ropy a v roce 2009 mohlo obsahovat až 4,5 % síry. To znamená, že jedna velká kontejnerová loď mohla vyprodukovat až 5000 tun oxidů síry ročně. Průměrný automobil přitom ročně produkuje 100 g oxidů síry. Z toho vyplývá, že jedna loď vyprodukovala ročně oxidů síry jako 50 milionů automobilů. Po této zprávě přišlo snížení obsahu síry na maximálně 3,5 % a od roku 2020 na 1,5 %. Spalováním lodního paliva také vzniká velké množství oxidů dusíku a pevných částic. [48, 49]

Dopravní prostředek	Množství CO <sub>2</sub> na tunokilometr [g]
letadlo (průměr LH Cargo B747)	500
kamion	60-150
moderní železnice	30-100
moderní námořní loď	10-40

Tabulka 4-1 Emise oxidu uhličitého při přepravě 1 tuny zboží o 1 kilometr [57]

## 4.3 Situace v České republice

V České republice v roce 2017 bylo vyprodukováno dopravou 20538 tisíc tun emisí a z toho 99 % představují emise CO<sub>2</sub>. Největší množství emisí vzniklo z automobilové dopravy, přesněji z osobní automobilové dopravy. [58]

<b>Doprava</b>	<b>Emise</b>	<b>CO<sub>2</sub> (tis. t)</b>	<b>CO (t)</b>	<b>No<sub>x</sub> (t)</b>	<b>PM (t)</b>
<b>Osobní automobilová</b>		11331	43329	12634	801
<b>Silniční veřejná</b>		2075	4775	7706	263
<b>Silniční nákladní</b>		5641	15146	15097	875
<b>Železniční – motorová trakce</b>		271	1677	2882	223
<b>Vodní</b>		13	79	136	10
<b>Letecká</b>		1083	1173	4247	-
<b>Celkem</b>		20414	66179	42701	2172

Tabulka 4-2 Emise z dopravy v ČR v roce 2017 [58]

## ZÁVĚR

Závěrečná práce byla zaměřena na druhy dopravy, jejich vliv na přírodu, způsoby, jak negativní účinky omezit, a na vzájemné porovnání jednotlivých druhů dopravy.

V první části byla doprava rozdělena podle prostředí, kde se nachází dopravní cesta a následně jsou druhy dopravy jednotlivě charakterizovány.

Následující kapitola se zabývala negativními vlastnostmi dopravy. Byly zde popsány složky emisí a jejich vliv na člověka a životní prostředí. V kapitole byly zmíněny některé normy omezující emise výfukových plynů, především normy pro silniční vozidla. Emise z abraze vozovky a otěru brzd a pneumatik jsou také součástí emisí. Jejich limity jsou společně s emisemi z výfukových plynů zahrnuty v imisních limitech, ale přímo nejsou regulovány. Především mikroskopické pevné částice jsou značný problém a mohou kontaminovat půdu a vodní zdroje, popřípadě se dostat do spodních vod.

Další negativní vlastnosti dopravy je hluk, který produkuje. Ten má vliv jak na zdraví člověka, tak způsobuje stres živočichům.

Zmíněny zde byly také další nežádoucí vlastnosti jako zábor půdy, nehody a odpady vznikající z dopravy.

Třetí kapitola byla věnována způsobům, jak negativním vlivům zabránit, nebo je omezit. Emise lze redukovat pomocí technologií, které upravují výfukové plyny. Nutno říct, že novější dopravní prostředky jsou složitější a obsahují více součástí, což vede k větší možnosti poruchy a následná oprava je často velmi nákladná. Možností jsou také alternativní paliva jako LPG, CNG a bionafta, která produkují menší množství emisí, než nafta a benzín. Hybridní a elektrické pohony jsou další možností, jak dopravní prostředky pohánět. Problémem může být neekologická výroba elektrické energie, při skokovém přechodu na elektropohony přetížena přenosová soustava, krátká dojezdová vzdálenost, nebo ekologicky náročná likvidace těchto vozidel.

Hluk může být snižován přímo například tiššími pneumatikami, nebo nepřímo například odvedením dopravy mimo zastavěnou oblast, výstavbou protihlukových stěn atd.

Závěrečná kapitola byla zaměřena na porovnání emisí z jednotlivých druhů dopravy, především na emise CO<sub>2</sub>. Oxid uhličitý je hlavní složkou skleníkových plynů, které mají vliv na globálním oteplování. Z dopravy vzniká téměř čtvrtina oxidu uhličitého činností člověka. Hlavní složkou je silniční doprava. Ovšem při přepočtu na osobu a kilometr trasy má nejvyšší hodnoty emisí letecká doprava. Pokud se zaměříme na jednotlivou cestu, tak je zde mnoho faktorů, které ovlivní ekologičnost cesty, například počet cestujících, typ dopravního prostředku, plynulost dopravy nebo také způsob výroby elektrické energie.

V modelovém příkladě byly porovnány emise CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub> a PM při nejdostupnější možnosti dopravy, a to při jízdě automobilu, autobusu a vlaku. Největší rozdíly byly patrné v emisích oxidu uhličitého, kde osobní automobil produkoval při stejné procentuální obsazenosti mnohem více emisí než autobus a vlak. Naopak při pohledu na emise pevných částic dominoval vlak, který je uváděn jako jeden z neekologičtějších způsobů dopravy. To mohlo být dáno zvolenými typy dopravních prostředků, kdy osobní automobil a autobus splňují přísné emisní normy a zároveň českým energetickým mixem, na kterém mají největší podíl elektrárny spalující uhlí a nepřímo se podílí na emisích z dopravy.

Negativní vliv dopravy na životní prostředí je aktuální téma a roste díky zvyšujícímu se množství dopravních prostředků a oblibě cestování. Primární roli hraje člověk, a proto je potřeba se zaměřit na něho, jeho chování, přemýšlení a rozhodování. Jet do práce automobilem, hromadnou dopravou nebo na kole? Pokud je potřeba zlepšit stav životního prostředí, měl by se každý člověk sám nad sebou zamyslet, jak on sám může v rámci dopravy a cestování přispět ke změně daného problému.

## SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

- [1] Příspěvatelé Enviwiki. *Skleníkový jev* [online], c2018. [cit. 2020-06-14]. Dostupné z: [https://www.enviwiki.cz/w/index.php?title=Sklen%C3%ADkov%C3%BD\\_jev&oldid=22646](https://www.enviwiki.cz/w/index.php?title=Sklen%C3%ADkov%C3%BD_jev&oldid=22646)
- [2] ŠIROKÝ, Jaromír. *Technologie dopravy*. Upr. vyd. Pardubice: Institut Jana Pernera, 2013. ISBN 978-80-86530-91-8.
- [3] ADAMEC, Vladimír. *Doprava, zdraví a životní prostředí*. Praha: Grada, 2008. ISBN 978-80-247-2156-9.
- [4] Letadlo. In: *Wikipedie: Otevřená encyklopedie* [online]. c2020. [cit. 2020-06-14]. Dostupné z: <https://cs.wikipedia.org/w/index.php?title=Letadlo&oldid=18679866>
- [5] Příspěvatelé Enviwiki. *Emise* [online]. c2008, [cit. 2020-06-14]. Dostupné z: <https://www.enviwiki.cz/w/index.php?title=Emise&oldid=4134>
- [6] BLOKOVYGRANT.CZ. *Stručný souhrn vlivů emisí z dopravy na životní prostředí a lidské zdraví*. Ekologický právní servis 2008 [online]. [cit. 2020-06-14]. Dostupné z: [www.blokovygrant.cz/download.php?id=830&typ=m](http://www.blokovygrant.cz/download.php?id=830&typ=m)
- [7] KLEGER, Ladislav a VÁLEK, Petr. *Oxid uhličitý* [online]. Arnika, c2014. [cit. 2020-06-14]. Dostupné z: <https://arnika.org/oxid-uhlicity>
- [8] HAVEL, Milan a VÁLEK, Petr. *Oxid uhelnatý* [online]. Arnika, c2014. [cit. 2020-06-14]. Dostupné z: <https://arnika.org/oxid-uhelnaty>
- [9] Kyselý déšť, *Wikipedie: Otevřená encyklopedie* [online]. c2020. [cit. 2020-06-14]. Dostupné z: [https://cs.wikipedia.org/wiki/Kysel%C3%BD\\_d%C3%A9%C5%A1%C5%A5](https://cs.wikipedia.org/wiki/Kysel%C3%BD_d%C3%A9%C5%A1%C5%A5)
- [10] HAVEL, Milan, VEBR, Vít a VÁLEK, Petr. *Oxidy dusíku* [online]. Arnika, c2014. [cit. 2020-06-14]. Dostupné z: <https://arnika.org/oxidy-dusiku>
- [11] VÁLEK, Petr. *Nemethanové těkavé organické látky (NMVOC)* [online]. Arnika, c2014. [cit. 2020-06-14]. Dostupné z: <https://arnika.org/nemethanove-tekave-organicke-latky-nmvoc>
- [12] PETRLÍK, Jindřich, VÁLEK, Petr, HAVEL, Milan. *Polétavý prach – PM10* [online]. Arnika, c2014. [cit. 2020-06-14]. <https://arnika.org/poletavy-prach-pm10>
- [13] *EURO normy* [online]. Cenia, 2013. [cit. 2020-06-14]. Dostupné z: [https://web.archive.org/web/20170912190607/http://vitejtenazemi.cz/cenia/index.php?p=euro\\_normy&site=doprava](https://web.archive.org/web/20170912190607/http://vitejtenazemi.cz/cenia/index.php?p=euro_normy&site=doprava)
- [14] *European Emmision Standards* [online]. Wikipedia, The Free Encyclopedia, c2020. [cit. 2020-06-14] Dostupné z: [https://en.wikipedia.org/wiki/European\\_emission\\_standards](https://en.wikipedia.org/wiki/European_emission_standards)
- [15] MRZENA, Rudolf. Porovnání vlivu individuální a hromadné dopravy na životní prostředí. *Perner's Contacts* [online]. Univerzita Pardubice, Dopravní fakulta Jana Pernera, 2010, 5(3), str. 218-227 [cit. 2020-06-14]. Dostupné z: [https://pernerscontacts.upce.cz/19\\_2010/Mrzena.pdf](https://pernerscontacts.upce.cz/19_2010/Mrzena.pdf)
- [16] Národní energetický mix. In: *www.ote-cr.cz* [online]. c2018 [cit. 2020-06-20]. Dostupné z: <https://www.ote-cr.cz/cs/statistika/narodni-energeticky-mix>

- [17] BENDL, Jiří. *To byste nevěřili, kolik emisí z otěru pneumatik, asfaltu a brzd dýcháme* [online]. Ekolist, 2011 [cit. 2020-06-14]. ISSN 1802-9019. Dostupné z: <https://ekolist.cz/cz/publicistika/nazory-a-komentare/jiri-bendl-to-byste-neverili-kolik-emisi-z-oteru-pneumatik-asfaltu-a-brzd-dychame>
- [18] BRZEZINA, Jáchym. Imisní limity – co znamenají a jak je interpretovat. In: *chmibrno.org* [online]. 2018 [cit. 2020-06-20]. Dostupné z: <https://chmibrno.org/blog/2018/08/23/imisni-limity-co-znamenaji-a-jak-je-interpretovat/>
- [19] Zákon č. 201/2012 Sb. Zákon o ochraně ovzduší. In: *Sbírka zákonů* [online]. 2012 [cit. 2020-06-20]. Dostupné z: [https://www.mzp.cz/www/platnalegislativa.nsf/9F4906381B38F7F6C1257A94002EC4A0/%24file/201\\_2012.pdf](https://www.mzp.cz/www/platnalegislativa.nsf/9F4906381B38F7F6C1257A94002EC4A0/%24file/201_2012.pdf)
- [20] *Hluk* [online]. c2017 [cit. 2020-06-15]. Dostupné z: <https://www.enviwiki.cz/w/index.php?title=Hluk&oldid=19539>
- [21] Vliv hluku na zdraví. In: *Hluk & Emise* [online]. 2007 [cit. 2020-06-15]. Dostupné z: <http://hluk.eps.cz/hluk/vliv-hluku-na-zdravi/>
- [22] NOVÝ, Richard. *Hluk a Chvění*. Praha, 2009. České vysoké učení technické v Praze ISBN 978-80-01-04347-9.
- [23] Hluk z motorů a pneumatik. In: *Hluk & Emise* [online]. 2007 [cit. 2020-06-15]. Dostupné z: <http://hluk.eps.cz/hluk/hluk-z-motoru-a-pneumatik/>
- [24] HLAVÁČEK, Jan. Technické specifikace pro interoperabilitu subsystému „Hluk“. In: *Vědeckotechnický sborník českých drah 18* [online]. Praha, 2004 [cit. 2020-06-15]. ISSN 2694-9172. Dostupné z: [https://vts.cd.cz/documents/168518/195492/18\\_komplet.pdf/9540bcfa-ec85-4b8e-8904-30024328f346](https://vts.cd.cz/documents/168518/195492/18_komplet.pdf/9540bcfa-ec85-4b8e-8904-30024328f346)
- [25] Aircraft noise pollution. In: *Wikipedia, the free encyclopedia* [online]. c2020 [cit. 2020-06-15]. Dostupné z: [https://en.wikipedia.org/wiki/Aircraft\\_noise\\_pollution](https://en.wikipedia.org/wiki/Aircraft_noise_pollution)
- [26] Seznam veřejných přístavů. In: *www.lavdis.cz* [online]. 2019 [cit. 2020-06-15]. Dostupné z: <https://www.lavdis.cz/vodni-cesty/verejne-pristavy>
- [27] Ministerstvo životního prostředí. *Autovraky* [online]. c2008-2020 [cit. 2020-06-15]. Dostupné z: <https://www.mzp.cz/cz/autovraky>
- [28] SAJDL, Jan. Katalýzátor. In: *www.autolexicon.net* [online]. [cit. 2020-06-15]. ISSN 1804-2554. Dostupné z: <https://www.autolexicon.net/cs/articles/katalyzator/>
- [29] PEKÁREK, Stanislav. *Technologie oprav 1* [online]. Střední škola technická a zemědělská, NOVÝ JIČÍN, 2015 [cit. 2020-06-14]. ISBN 978-80-88058-23-6. Dostupné z: <https://publi.cz/books/160/Cover.html>
- [30] ŠMERDA, Tomáš. ČUPERA, Jiří. *Emise vznětového motoru SCR* [online]. [cit. 2020-06-15]. Dostupné z: <https://www.agrics.cz/obrazky-soubory/emise-vznetoveho-motoru-a-system-scr-4107d3.pdf?redir>
- [31] SAJDL, Jan. EGR (Exhaust Gas Recirculation). In: *www.autolexicon.net* [online]. [cit. 2020-06-15]. ISSN 1804-2554. Dostupné z: <https://www.autolexicon.net/cs/articles/egr-exhaust-gas-recirculation/>

- [32] SAJDL, Jan. DPF (Diesel Particulate Filter). In: *www.autolexicon.net* [online]. [cit. 2020-06-15]. ISSN 1804-2554. Dostupné z: <https://www.autolexicon.net/cs/articles/dpf-diesel-particulate-filter/>
- [33] SAJDL, Jan. LPG (Liquefied Petroleum Gas). In: *www.autolexicon.net* [online]. [cit. 2020-06-15]. ISSN 1804-2554. Dostupné z: <https://www.autolexicon.net/cs/articles/lpg-liquefied-petroleum-gas/>
- [34] ROSÁK, Jakub. *Bio LPG* [online]. 2019 [cit. 2020-06-15]. Dostupné z: [https://www.mzp.cz/C1257458002F0DC7/cz/cista\\_mobilita\\_seminar/\\$FILE/OPZPUR\\_Rosak-20191705.pdf](https://www.mzp.cz/C1257458002F0DC7/cz/cista_mobilita_seminar/$FILE/OPZPUR_Rosak-20191705.pdf)
- [35] SAJDL, Jan. CNG (Compressed Natural Gas). In: *www.autolexicon.net* [online]. [cit. 2020-06-15]. ISSN 1804-2554. Dostupné z: <https://www.autolexicon.net/cs/articles/cng-compressed-natural-gas/>
- [36] SAJDL, Jan. Biodiesel (Bionafta). In: *www.autolexicon.net* [online]. [cit. 2020-06-15]. ISSN 1804-2554. Dostupné z: <https://www.autolexicon.net/cs/articles/biodiesel-bionafta/>
- [37] JÁNSKÝ, Martin. Pomůžeme vám vyznat se v moderních pohonech. In: *www.garaz.cz* [online]. 2019 [cit. 2020-06-15]. Dostupné z: <https://www.garaz.cz/clanek/pomuzeme-vam-vyznat-se-v-modernich-pohonech-21002303>
- [38] WAGENKNECHT, Martin. Micro-hybrid, mild-hybrid, full-hybrid, plug-in hybrid. Jaký je mezi nimi rozdíl? In: *www.fdrive.cz* [online]. 2018 [cit. 2020-06-15]. Dostupné z: <https://fdrive.cz/clanky/micro-hybrid-mild-hybrid-full-hybrid-plug-in-hybrid-jaky-je-mezi-nimi-rozdil-1857>
- [39] DOKOUPIL, Michal. Jízda čistá, ale co výroba? Kolik CO<sub>2</sub> vznikne při výrobě elektromobilů? In: *www.auto.cz* [online]. 2019 [cit. 2020-06-15]. Dostupné z: <https://www.auto.cz/jizda-cista-ale-co-vyroba-kolik-co2-vznikne-pri-vyrobe-elektromobilu-131387>
- [40] PULTZNER, Zoltán. Technologie v autech: palivový článek. In: *www.fdrive.cz* [online]. 2017 [cit. 2020-06-15]. Dostupné z: <https://fdrive.cz/clanky/technologie-v-autech-palivovy-clanek-zdroj-energie-pro-dopravu-676>
- [41] SVOBODA, Jindřich. Ve světě začínají jezdit vlaky poháněné vodíkem. Mohou i na dráhy bez elektrického vedení. In: *www.czechcrunch.cz* [online]. 2019 [cit. 2020-06-15]. Dostupné z: <https://www.czechcrunch.cz/2019/01/ve-svete-zacinaji-jezdit-vlaky-pohanene-vodikem-mohou-i-na-drahy-bez-elektrickeho-vedeni/>
- [42] DIVINOVÁ, Jana. Největší elektrické letadlo na světě má za sebou první testovací let. In: *www.idnes.cz* [online]. 2019 [cit. 2020-06-15]. Dostupné z: [https://www.idnes.cz/ekonomika/doprava/elektricke-letadlo-ampaire-337-hybridni-letadlo.A190612\\_085817\\_eko-doprava\\_div](https://www.idnes.cz/ekonomika/doprava/elektricke-letadlo-ampaire-337-hybridni-letadlo.A190612_085817_eko-doprava_div)
- [43] LÁDYŠ, Libor. *Problematika hluku ze silniční dopravy* [online]. EKOLA group, spol. s r.o. [cit. 2020-06-15]. Dostupné z: <https://1url.cz/PzRi6>
- [44] Zdroje hluku a přehled nástrojů řešení. In: *Hluk & Emise* [online]. 2007 [cit. 2020-06-15]. Dostupné z: <http://hluk.eps.cz/hluk/zdroje-hluku-a-prehled-nastroju-reseni/>



- [45] Emissions of air pollutants from transport. In: *www.eea.europa.eu* [online]. 2014 [cit. 2020-06-20]. Dostupné z: <https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/indicators/transport-emissions-of-air-pollutants-8/transport-emissions-of-air-pollutants-8>
- [46] KELLER, Sarah. A world of thoughts on Phase 2. In: *theicct.org* [online]. 2016 [cit. 2020-06-20]. Dostupné z: <https://theicct.org/blogs/staff/a-world-of-thoughts-on-phase-2>
- [47] WRIGHT, Laurie. Plane, train, or automobile? The climate impact of transport is surprisingly complicated. In: *theconversation.com* [online]. 2020 [cit. 2020-06-20]. Dostupné z: <https://theconversation.com/plane-train-or-automobile-the-climate-impact-of-transport-is-surprisingly-complicated-117350>
- [48] PEARCE, Fred. How 16 ships create as much pollution as all the cars in the world. In: *www.dailymail.co.uk* [online]. 2009 [cit. 2020-06-20]. Dostupné z: <https://www.dailymail.co.uk/sciencetech/article-1229857/How-16-ships-create-pollution-cars-world.html>
- [49] MARČÍK, František. Velké nákladní lodě versus auta: kdo škodí planetě víc? In: *www.obnovitelne.cz* [online]. 2019 [cit. 2020-06-20]. Dostupné z: <https://www.obnovitelne.cz/clanek/784/velke-nakladni-lode-versus-auta-kdoskodi-planete-vic/>
- [50] NASA Goddard Institute for Space Studies. *Global Temperature Anomaly* [online]. Wikimedia Commons, the free media repository, 2018 [cit. 2020-06-20]. Dostupné z: [https://commons.wikimedia.org/w/index.php?lang=cs&title=File%3AGlobal\\_Temperature\\_Anomaly.svg](https://commons.wikimedia.org/w/index.php?lang=cs&title=File%3AGlobal_Temperature_Anomaly.svg)
- [51] THEHAPPYV. *Sluchové pole – Graf* [online]. Wikimedia Commons, the free media repository, 2013 [cit. 2020-06-20]. Dostupné z: [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Sluchov%C3%A9\\_pole\\_-\\_Graf.png](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Sluchov%C3%A9_pole_-_Graf.png)
- [52] Ročenka dopravy Brno. In: *bkom.cz* [online]. 2019 [cit. 2020-06-20]. Dostupné z: <https://www.bkom.cz/informacni-centrum/rocenky-dopravy-brno-15/rocenka-dopravy-brno-2019-pdf-190>
- [53] ČERMÁK, Ladislav. Selektivní katalytická redukce (SCR): Jak funguje systém, který umožňuje dieselům přežít. In: *autobible.euro.cz* [online]. 2017 [cit. 2020-06-20]. Dostupné z: <https://autobible.euro.cz/selektivni-katalyticka-redukce-scr-kterak-se-zly-nox-stal-hodnym-dusikem/>
- [54] NOVÁK, Jan A.. Palivové články udrží dron ve vzduchu řadu hodin. In: *www.droneweb.cz* [online]. 2018 [cit. 2020-06-20]. Dostupné z: <http://www.droneweb.cz/aktuality/item/260-plalivove-clanky-drony>
- [55] Energetické štítky pneumatik. In: *www.chara.cz* [online]. 2007 [cit. 2020-06-15]. Dostupné z: <https://www.chara.cz/radce/energeticke-stitky-pneumatik.html>
- [56] CO2 emissions from passenger transport. In: *www.eea.europa.eu* [online]. 2014 [cit. 2020-06-20]. Dostupné z: [https://www.eea.europa.eu/media/infographics/co2-emissions-from-passenger-transport/image/image\\_view\\_fullscreen](https://www.eea.europa.eu/media/infographics/co2-emissions-from-passenger-transport/image/image_view_fullscreen)
- [57] Klimakiller Flugzeuge. In: *www.fluglaerm.de* [online]. [cit. 2020-06-20]. Dostupné z: <https://www.fluglaerm.de/hamburg/klima.htm>

- [58] Ročenka dopravy 2017 [online]. Ministerstvo dopravy, 2019 [cit. 2020-06-24]. Dostupné z: <https://www.bkom.cz/informacni-centrum/rocenky-dopravy-brno-15/rocenka-dopravy-brno-2019-pdf-190>
- [59] KNÖRR, Wolfram. Environmental Methodology and Data Update 2016. In: *ecopassenger.org* [online]. 2016 [cit. 2020-06-24]. Dostupné z: [http://ecopassenger.hafas.de/hafas-res/download/Ecopassenger\\_Methodology\\_Data.pdf](http://ecopassenger.hafas.de/hafas-res/download/Ecopassenger_Methodology_Data.pdf)
- [60] Heavy-Duty Truck and Bus Engines. In: *dieselnet.com* [online]. 2019 [cit. 2020-06-24]. Dostupné z: <https://dieselnet.com/standards/eu/hd.php#stds>
- [61] Výpočet emisí na základě spotřeby. In: *www.envimat.cz* [online]. c2010-2020 [cit. 2020-06-24]. Dostupné z: <http://www.envimat.cz/metodika/kalkulacka/?calc-consumption=6%2C1&palivo=on#>
- [62] Srovnání motorů. In: *skoda-auto.cz* [online]. [cit. 2020-06-24]. Dostupné z: <https://www.skoda-auto.cz/modely/octavia/octavia-combi/octavia-combi-motory>
- [63] ComfortClass S 515 HD. In: *www.setra-bus.com* [online]. c2020 [cit. 2020-06-24]. Dostupné z: <https://www.setra-bus.com/cs-cz/vozidla/comfortclass/modely-hd/s-515-hd.html?L=1>
- [64] Lokomotiva 380. In: *Wikipedie: Otevřená encyklopedie* [online]. 2019 [cit. 2020-06-24]. Dostupné z: [https://cs.wikipedia.org/wiki/Lokomotiva\\_380](https://cs.wikipedia.org/wiki/Lokomotiva_380)

## SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

<i>BTEX</i>	Benzen – Toluen – Ethylbenzen – Xylen
<i>ČD</i>	České dráhy
<i>CNG</i>	Compressed Natural Gas
<i>CO</i>	Oxid uhelnatý
<i>CO<sub>2</sub></i>	Oxid uhličitý
<i>DOC</i>	Diesel Oxidation Catalyst
<i>DPF</i>	Diesel Particulate Filter
<i>EGR</i>	Exhaust Gas Recirculation
<i>EU</i>	Evropská unie
<i>HC</i>	Hydrocarbon
<i>LPG</i>	Liquified Petroleum Gas
<i>NO<sub>x</sub></i>	Oxidy dusíku
<i>PAH</i>	Polycyclic Aromatic Hydrocarbons
<i>PAU</i>	Polycyklycký aromatický uhlovodík
<i>Pb</i>	Olovo
<i>Pd</i>	Palladium
<i>PM</i>	Particulate matter
<i>Pt</i>	Platina
<i>Rh</i>	Rhodium
<i>SCR</i>	Selective Catalytic Reduction
<i>SO<sub>2</sub></i>	Oxid siřičitý
<i>TSI</i>	Twincharged Stratified Injection
<i>UIC</i>	Union Internationale des Chemins de fer
<i>VOC</i>	Colatile Organic Compound
<i>ZPF</i>	Zemědělský půdní fond

<b>Symbol</b>	<b>Veličina</b>	<b>Jednotka</b>
<i>L<sub>p</sub></i>	Hladina akustického tlaku	<i>dB</i>
<i>L<sub>Aeq,T</sub></i>	Ekvivalentní hladina akustického tlaku	<i>dB</i>
<i>s</i>	Vzdálenost	<i>km</i>
<i>o</i>	Počet osob	<i>osb</i>
<i>sp<sub>k</sub></i>	Kombinovaná spotřeba	<i>l/100 km</i>
<i>ρ</i>	Hustota	<i>kg/l</i>
<i>e<sub>v</sub></i>	Emise CO <sub>2</sub> vzniklé při výrobě a dopravě benzínu	<i>g/kg</i>

$e_j$	Emise CO <sub>2</sub> vzniklé při jízdě	$g/km$
$sp_c$	Celková spotřeba paliva	$l$
$E_c$	Celkové emise za cestu	$g$
$E_o$	Emise za cestu na osobu	$g/osb$
$E_{ok}$	Emise za cestu na osobu a kilometr	$g/osbkm$

## SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 0.1 Globální střední teplota od r. 1880 do r. 2019 [50] .....	11
Obrázek 1.1 Základní schéma dělení drah [2] .....	14
Obrázek 2.1 Sluchové pole [51] .....	22
Obrázek 2.2 Graf znázorňující vliv rychlosti na jednotlivých složkách hluku [24] .....	24
Obrázek 2.3 Graf vývoje automobilizace a motorizace na území města Brna podle [52] .....	26
Obrázek 3.1 Schéma systému SCR [53] .....	28
Obrázek 3.2 Řez katalyzátorem [28] .....	29
Obrázek 3.3 Princip funkce vodíkových palivových článků [54] .....	32
Obrázek 3.4 Energetický štítek pneumatiky [54] .....	33
Obrázek 4.1 Globální emise CO <sub>2</sub> vyprodukované lidskou činností podle [46] .....	34
Obrázek 4.2 Emise CO <sub>2</sub> z dopravy podle [46] .....	34
Obrázek 4.3 Emise oxidu uhličitého z osobní dopravy přepočítané na osobu a kilometr [56] .....	35
Obrázek 4.4 Emise CO <sub>2</sub> v závislosti na obsazenosti .....	37
Obrázek 4.6 Emise PM v závislosti na obsazenosti .....	38
Obrázek 4.5 Emise NO <sub>x</sub> v závislosti na obsazenosti .....	38

## **SEZNAM TABULEK**

Tabulka 2-1 Emisní normy EURO I-VI pro osobní automobily s benzínovými motory [14] .	18
Tabulka 2-2 Emisní normy EURO I-VI pro osobní automobily s naftovými motory [14].....	18
Tabulka 2-3 Český energetický mix k roku 2019 [16].....	19
Tabulka 2-4 Imisní limity pro celkový obsah znečišťující látky v částicích PM10 vyhlášené pro ochranu zdraví lidí [19] .....	20
Tabulka 2-5 Imisní limity vyhlášené pro ochranu zdraví lidí a maximální počet jejich překročení [19] .....	21
Tabulka 2-6 Imisní limity vyhlášené pro ochranu ekosystémů a vegetace [19] .....	21
Tabulka 2-4 Hodnoty hluku působeného dopravou na pozemních komunikacích a drahách pro rozhodnutí použití další korekce +5 dB podle Nařízení vlády č. 272/2011 Sb. ....	23
.....	23
Tabulka 4-1 Emise oxidu uhličitého při přepravě 1 tuny zboží o 1 kilometr [57] .....	40

## **SEZNAM PŘÍLOH**

- 1 Porovnání emisí automobilu, autobusu a vlaku