

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Technická fakulta



**Porovnání emisí zážehového a vznětového motoru a jejich
dopad na životní prostředí**

Bakalářská práce

Vedoucí práce: Ing. Jakub Mařík, Ph.D.

Autor práce: Jakub Šebek

Praha 2018

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Technická fakulta

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Jakub Šebek

Silniční a městská automobilová doprava

Název práce

Porovnání emisí zážehového a vznětového motoru a jejich dopad na životní prostředí

Název anglicky

Comparison of emission petrol and diesel engines and their impact on the environment

Cíle práce

Cílem práce je literární rešerše zabývající se problematikou emisí spalovacích motorů.

Metodika

1. prostudovat základní literaturu v oblasti problematiky emisí spalovacích motorů
 2. vlastní rozbor problematiky tvorby emisí
 3. návrh doporučení a předpokládaný vývoj v oblasti tvorby emisí
-

Doporučený rozsah práce

30 stran

Klíčová slova

nafta, benzín, pevné částice

Doporučené zdroje informací

FAJMAN, M. – ŠMERDA, T. – ČUPERA, J. *Vznětové motory vozidel : biopaliva, emise, traktory*. Brno: CPress, 2013. ISBN 978-80-264-0160-5.

HROMÁDKO, J. *Spalovací motory : komplexní přehled problematiky pro všechny typy technických automobilních škol*. Praha: Grada, 2011. ISBN 978-80-247-3475-0.

HROMÁDKO, J. *Speciální spalovací motory a alternativní pohony : komplexní přehled problematiky pro všechny typy technických automobilních škol*. Praha: Grada, 2012. ISBN 978-80-247-4455-1.

KHAIR, Magdi K. a Federico. MILLO. *Diesel exhaust aftertreatment, 2000-2007*. Warrendale, PA: SAE International, c2008. ISBN 9780768017090.

Předběžný termín obhajoby

2017/18 LS – TF

Vedoucí práce

Ing. Jakub Mařík, Ph.D.

Garantující pracoviště

Katedra vozidel a pozemní dopravy

Elektronicky schváleno dne 17. 1. 2017

doc. Ing. Miroslav Růžička, CSc.

Vedoucí katedry

Elektronicky schváleno dne 23. 1. 2017

prof. Ing. Vladimír Jurča, CSc.

Děkan

V Praze dne 05. 02. 2018

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma: „Porovnání emisí zážehového a vznětového motoru a jejich dopad na životní prostředí“ vypracoval samostatně a použil jen pramenů, které cituji a uvádím v seznamu použitých zdrojů.

Jsem si vědom, že odevzdáním bakalářské práce souhlasím s jejím zveřejněním dle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů, ve znění pozdějších předpisů, a to i bez ohledu na výsledek její obhajoby.

Jsem si vědom, že moje bakalářská práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitní databázi a bude veřejně přístupná k nahlédnutí.

Jsem si vědom že, na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů, ve znění pozdějších předpisů, především ustanovení § 35 odst. 3 tohoto zákona, tj. o užití tohoto díla.

V Praze dne

Jakub Šebek

PODĚKOVÁNÍ

Tímto bych chtěl poděkovat panu Ing. Jakobovi Maříkovi, Ph.D. za cenné rady a odborné vedení při tvorbě této práce. Chtěl bych také poděkovat své rodině a přítelkyni za podporu a trpělivost.

ABSTRAKT

Tato práce se zabývá problematikou emisí zážehových a vznětových motorů, a to především těch plynoucích ze silniční dopravy. V první části je práce zaměřena na složení a vznik emisí. Další část pojednává o dopadu škodlivých emisí na lidské zdraví a životní prostředí obecně. Zbývající část se věnuje emisním normám a opatřením snižující množství škodlivých emisí. Ke konci jsou také nastíněny alternativy ke konvenčním palivům a pohonům, a jejich vliv na emise.

KLÍČOVÁ SLOVA

Nafta, benzín, emise, pevné částice, životní prostředí

COMPARISON OF EMISSION PETROL AND DIESEL ENGINES AND THEIR IMPACT ON THE ENVIRONMENT

SUMMARY

This thesis deals with the emissions of petrol and diesel engines, especially those resulting from road transport. In the first part, the work is focused on composition and creation of the emissions. The next part deals with the impact of harmful emissions on human health and the environment in general. The remaining part deals with emission standards and measures to reduce the amount of harmful emissions. Finally, alternatives to conventional fuels and drives are outlined in the last chapter and their impact on emissions as well.

KEY WORDS

Diesel, petrol, emissions, particulate matter, environment

OBSAH

1.	ÚVOD	1
2.	SLOŽENÍ A VZNIK EMISÍ ZÁŽEHOVÝCH A VZNĚTOVÝCH MOTORŮ	2
2.1.	SLOŽENÍ A VZNIK EMISÍ ŽÁŽEHOVÝCH MOTORŮ	2
2.1.1.	DUSÍK (N ₂)	2
2.1.2.	OXID UHLIČITÝ (CO ₂)	2
2.1.3.	VODA (H ₂ O)	3
2.1.4.	OXID UHELNATÝ (CO)	3
2.1.5.	NESPÁLENÉ UHLOVODÍKY (HC)	3
2.1.6.	OXIDY DUSÍKU (NO _x)	3
2.2.	SLOŽENÍ A VZNIK EMISÍ VZNĚTOVÝCH MOTORŮ	4
2.2.1.	OXIDY SÍRY (SO _x)	5
2.2.2.	KYSLÍK (O ₂)	5
2.2.3.	PEVNÉ ČÁSTICE (PARTICULATE MATTER – PM)	5
3.	DOPAD EMISÍ NA ŽIVOTÍ PROSTŘEDÍ	7
3.1.	ŠKODLIVINY VÝFUKOVÝCH PLYNŮ A JEJICH DOPAD NA LIDSKÉ ZDRAVÍ	8
3.1.1.	OXID UHELNATÝ (CO)	8
3.1.2.	OXIDY DUSÍKU (NO _x)	9
3.1.3.	NESPÁLENÉ UHLOVODÍKY (HC)	10
3.1.4.	PEVNÉ ČÁSTICE (PM)	10
3.1.5.	OXIDY SÍRY (SO _x)	11
3.2.	NEPŘÍMÉ DOPADY EMISÍ SPALOVACÍCH MOTORŮ NA ŽIVOTNÍ PROSTŘEDÍ	11
3.2.1.	KLIMATICKÉ ZMĚNY	11
3.2.2.	KYSELÉ DEŠTĚ	15
3.2.3.	SMOG	15
3.2.4.	TVORBA OZONU V PŘÍZEMNÍCH VRSTVÁCH (O ₃)	16
4.	OPATŘENÍ PRO REDUKCI ŠKODLIVIN SPALOVACÍCH MOTORŮ	17
4.1.	OPATŘENÍ KE SNÍŽENÍ ŠKODLIVIN ZÁŽEHOVÝCH MOTORŮ	17
4.1.1.	OPATŘENÍ OVLIVŇUJÍCÍ EMISE PŘED A BĚHEM SPALOVÁNÍ	17
4.1.2.	OPATŘENÍ PRO ÚPRAVU VÝFUKOVÝCH PLYNŮ	20
4.2.	OPATŘENÍ KE SNÍŽENÍ ŠKODLIVIN VZNĚTOVÝCH MOTORŮ	22
4.2.1.	OPATŘENÍ OVLIVŇUJÍCÍ EMISE PŘED A BĚHEM SPALOVÁNÍ	22

4.2.2.	OPATŘENÍ PRO ÚPRAVU VÝFUKOVÝCH PLYNŮ	22
5.	EMISNÍ NORMY V EU	25
5.1.	HOMOLOGACE VOZIDEL DO 3,5 TUNY	25
5.2.	HOMOLOGACE VOZIDEL NAD 3,5 TUNY	28
6.	ALTERNATIVNÍ POHONY	29
6.1.	PLYNNÁ PALIVA	29
6.2.	BIOPALIVA	30
6.3.	ELEKTROMOBILY	32
6.4.	HYBRIDNÍ POHONY	33
7.	ZÁVĚR	34
8.	SEZNAM LITERATURY	37
9.	SEZNAM OBRÁZKŮ	41
10.	SEZNAM TABULEK	42

1. ÚVOD

S neustálým rozvojem společnosti, globalizace a růstem životní úrovně roste i potřeba a objem přepravy, a to ať už přepravy surovin, zboží nebo osob. Například v polovině roku 2017 bylo v České republice zaregistrováno kolem 5 a půl milionu osobních vozidel a jejich množství stále stoupá. Potřeba mobility je tedy čím dál více naplňována, to však s sebou nese zvýšenou zátěž životního prostředí.

Jeden z hlavních problémů představují emise spalovacích motorů. Emise ovlivňují životní prostředí přímo, ať už zdraví člověka, či jiných organismů, nebo nepřímo, kdy ovlivňují přírodní procesy a jejich dopad je často nepředvídatelný. Hlavními představiteli přímých škodlivin je oxid uhelnatý, nespálené uhlovodíky, oxidy dusíku, dále oxidy síry, nebo pevné částí, které představují v současné době poměrně velký problém. Typickým představitelem emisí, které ovlivňují životní prostředí nepřímo, je oxid uhličitý, který je složkou s třetí nejvyšší koncentrací výfukových plynů spalovacích motorů. Oxid uhličitý se považuje za největšího antropogenního činitele klimatických změn a představuje v souvislosti s dopravou palčivý problém.

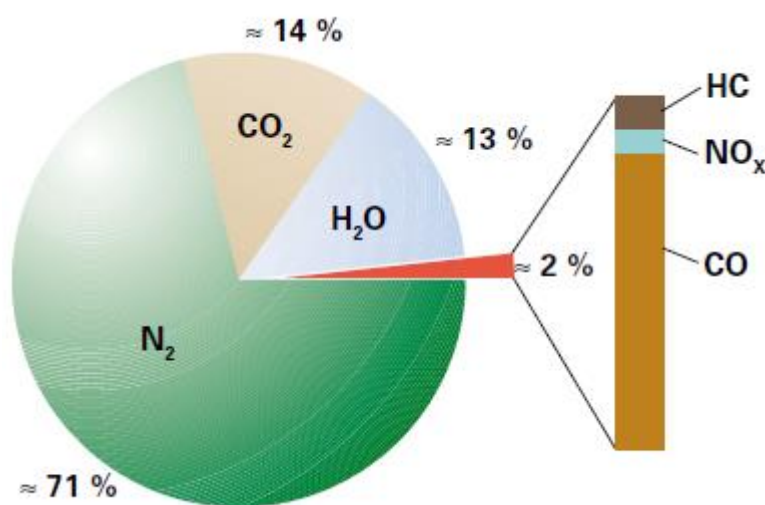
Cílem této práce je tedy literární rešerše s problematikou emisí spalovacích motorů, a to především v souvislosti se silniční dopravou. Práce by měla popsat složení těchto emisí a mechanismy jejich vzniku. Dále by také měla popsat jejich dopad na lidské zdraví a životní prostředí obecně. Chtěl bych také nastínit problematiku omezování emisí, tedy emisní normy a systémy napomáhající redukci škodlivých emisí.

2. SLOŽENÍ A VZNIK EMISÍ ZÁŽEHOVÝCH A VZNĚTOVÝCH MOTORŮ

V dnešní době se v silniční dopravě nejvíce využívá zážehových a vznětových motorů, což jsou pístové motory s vnitřním spalováním pracující ve čtyřtakovém režimu, které využívají energii vzniklou spalováním uhlovodíkových paliv (nejčastěji benzín a nafta). Při spalování těchto paliv se vzduchem vzniká za ideálních podmínek oxid uhličitý a voda. Při neúplné či nedokonalé oxidaci nebo rozpadu molekul paliva dochází k tvorbě dalších látek, které mohou být více či méně škodlivé. Koncentrace těchto látek závisí především na složení spalované směsi a průběhu jejího spalování, přičemž některé složky se tvoří až při výstupu spalin do výfukového potrubí. [1; 2; 3]

2.1. SLOŽENÍ A VZNIK EMISÍ ŽÁŽEHOVÝCH MOTORŮ

Přibližné složení výfukových plynů zážehového motoru vyjádřené v procentech můžeme vidět na **Obrázku 1**. Mechanismus vzniku jednotlivých složek si rozebereme nadále.



Obrázek 1 – Složení výfukových plynů zážehového motoru [4]

2.1.1. DUSÍK (N₂)

Dusík je nejvíce zastoupenou složkou ve výfukových plynech. Převážná část nasátého dusíku se vrací ve výfukových plynech zpět do ovzduší. Při vysokých teplotách spalování malá část reaguje s kyslíkem (O₂) za vzniku oxidů dusíku (NO_x). [4]

2.1.2. OXID UHLIČITÝ (CO₂)

Oxid uhličitý vzniká dokonalou oxidací při spalování uhlovodíkových paliv. [1]

2.1.3. VODA (H₂O)

Stejně tak jako oxid uhličitý vzniká dokonalou oxidací spalováním uhlovodíkových paliv. Kromě toho také vzniká kondenzováním při startování a ohřívání studeného motoru. [1]

2.1.4. OXID UHELNATÝ (CO)

Vzniká nedokonalou oxidací uhlíku při spalování za nedostatku vzduchu (kyslíku) ve spalovací směsi. Největší produkce CO tedy nastává při provozu s bohatou směsí (součinitel přebytku vzduchu $\lambda < 1$). Jeho vznik lze také přisuzovat tzv. disociaci spalin, kde dochází k rozkladu CO₂ a H₂O na CO a H₂. K disociaci dochází při teplotách nad 2000 °C. Oxid uhelnatý také vzniká při spalování za nižších teplot ve zhášecích zónách, to je při stěnách válce motoru, kde dochází k neúplné oxidaci. [3; 2]

2.1.5. NESPÁLENÉ UHLOVODÍKY (HC)

Nespálené uhlovodíky jsou ve výfukových plynech obsaženy díky předčasnému zastavení oxidace v některých zónách spalovacího prostoru, například při chladnějších stěnách válce (podobně jako u oxidu uhelnatého) nebo poruchách spalování. Velký vliv na výskyt nespálených uhlovodíků má teplota motoru, konstrukce spalovacích prostor, konstrukce pístu a bohatost směsi. Nejnižší hodnoty HC jsou dosahovány u chudé směsi při $\lambda = 1,1 - 1,2$. Při nižším, ovšem i vyšším součiniteli přebytku vzduchu je množství nespálených uhlovodíků vyšší.

Ke vzniku nejvíce škodlivých nespálených uhlovodíků (PAH – polycyklické aromatické uhlovodíky) dochází v případě, kdy původní molekula obsahovala nejméně dva atomy uhlíku. Vzniknou jako produkty tepelných krakovacích reakcí.

Další skupinu nespálených uhlovodíků tvoří těžko odpařitelné zbytky mazacího oleje, které se vážou na pevné částice. Vyšší hodnoty těchto HC vykazují zejména přímo vstřikové motory. [1; 3; 5]

2.1.6. OXIDY DUSÍKU (NO_x)

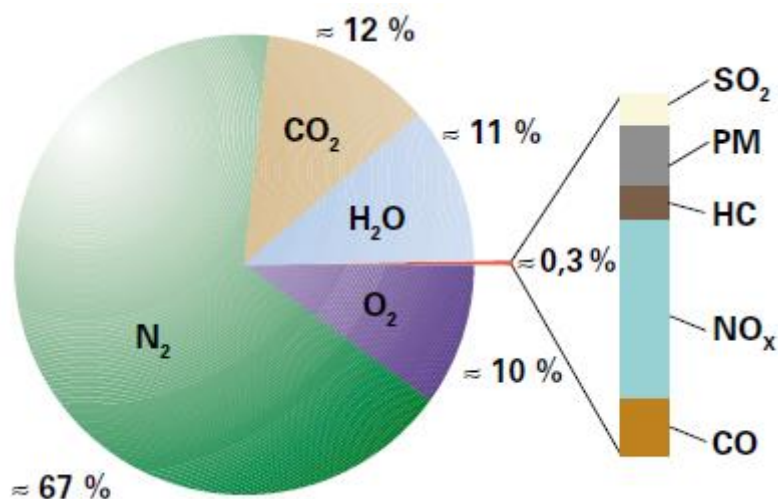
Oxidy dusíku vznikají oxidací dusíku obsaženého v nasátém vzduchu společně s kyslíkem. Zastoupeny jsou především **oxidem dusnatým (NO)**, **oxidem dusným (N₂O)** a **oxidem dusičitým (NO₂)**. Oxidy dusíku se tvoří při teplotách kolem 1900 °C a je zapotřebí dostatek času, jinak dochází k zamrznání reakcí. Největší podíl tedy vzniká na počátku oxidace paliva, kdy

je teplota nejvyšší. Přestože nejvyšších teplot dosahujeme spalováním mírně bohatých směsí, největší koncentrace oxidů dusíku se objevuje u chudších směsí s $\lambda = 1,05 - 1,1$, protože dalším parametrem ovlivňujícím jejich vznik je, kromě teploty, také dostatečné množství kyslíku. U zážehových motorů převažuje oxid dusnatý (asi 95%) a malé koncentrace oxidu dusičitého.

[1; 2]

2.2. SLOŽENÍ A VZNIK EMISÍ VZNĚTOVÝCH MOTORŮ

Jak můžeme vidět na obrázku **Obrázku 2**, složení emisí vznětového motoru je velmi podobné jako u zážehového. Obsah **dusíku, oxidu uhličitého a vody** je obdobný. Dále obsahují stejné látky, avšak v nižší koncentraci, jako **oxid uhelnatý, nespálené uhlovodíky a oxidy dusíku**.



Obrázek 2 - Složení výfukových plynů vznětového motoru [4]

Díky tomu, že vznětové motory pracují se směsí s přebytkem vzduchu a jedním z hlavních důvodů obsahu nespálených uhlovodíků ve výfukových plynech je bohatá směs, je při správné provozní teplotě a dobrém technickém stavu motoru výskyt HC, oproti zážehovým motorům, minimální. Přímo vstřikové motory mívají vyšší hodnoty nežli motory komůrkové. [1; 3]

Oxid uhelnatý při velkých přebytcích vzduchu oxiduje na oxid uhličitý. K nárůstu dojde až při vysokém zatížení motoru, ale než se projeví nárůst emisí CO, je omezena dodávka paliva kvůli překročení hranice kouřivosti. Množství oxidu uhelnatého je tedy mnohonásobně menší v porovnání se zážehovými motory. [1]

Stejný důvod, tedy větší přebytek vzduchu ve spalované směsi, vede k nižší koncentraci oxidů dusíku u vznětových motorů. Při překročení hodnot přebytku vzduchu kolem $\lambda = 1,7$ množství NO_x klesá a se stále chudší směsí se snižuje vlivem ředění vzduchu a poklesem teplot spalování. Obdobně jako u oxidu uhelnatého, motory s přímým vstřikem vykazují vyšší hodnoty NO_x než motory komůrkové. Je to zapříčiněno výraznějším vrstvením směsi a nižší rychlostí hoření. [1; 2; 3]

Výfukové plyny vznětových motorů ale obsahují ještě také látky, které ve většině případů u zážehových motorů nenajdeme. Jsou to:

2.2.1. OXIDY SÍRY (SO_x)

Obsah oxidů síry je ve srovnání s celkovým množstvím emisí zanedbatelný. Tvoří setiny procenta výfukových plynů. Hlavním zastupitelem je oxid siřičitý SO_2 . Jedná se o nežádoucí příměs paliva – tedy nafty. S neustále zvyšující se kvalitou paliv se i obsah oxidů síry snižuje. [1; 3]

2.2.2. KYSLÍK (O_2)

Kyslík se ve výfukových plynech objevuje u vznětových motorů vždy, protože je díky spalované chudé směsi v přebytku a nebyl využit v oxidačním procesu. Můžeme ho již najít i u dnešních moderních zážehových motorů s přímým vstřikováním, které využívají také chudé směsi. [1]

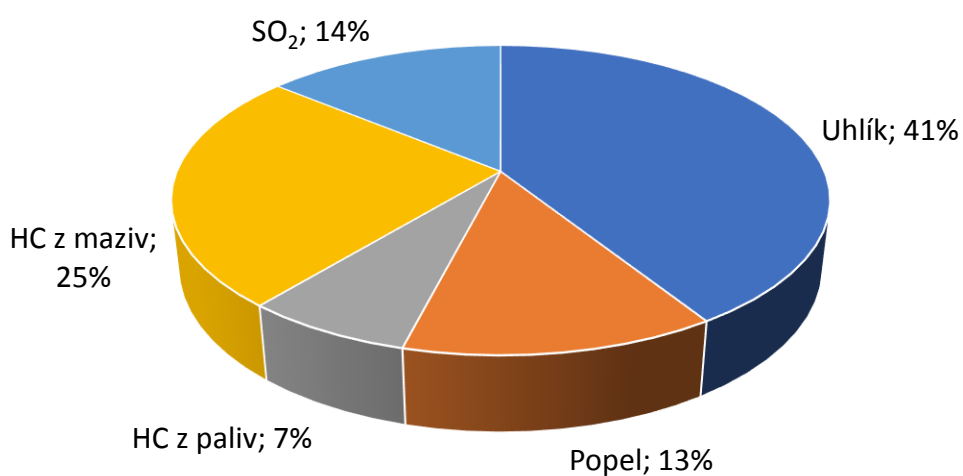
2.2.3. PEVNÉ ČÁSTICE (PARTICULATE MATTER – PM)

Pevné částice obsahují karbon, saze, popel, sloučeniny síry a dusíku, aerosoly nespálených uhlovodíků paliva a motorového oleje, otěrové částice a další.

Jak je ukázáno na **Obrázku 3**, převážná část PM je tedy tvořena pevným uhlíkem (sazemi), který vzniká spalováním neodpařených kapek paliva při velmi vysokých teplotách a nízkých lokálních hodnotách přebytku vzduchu, zapříčiněnou nehomogenitou směsi – tedy nedokonalým rozprášením paliva. S vyšším přebytkem vzduchu se produkce částic snižuje. Minimální teplota pro tvorbu sazí je kolem 1400 °C. Velikost částic se pohybuje v rozmezí od 10 nm až do 10 μm . Na povrchu částic se usazují organické složky pevných částic - SOF a polycyklické aromatické uhlovodíky – PAH. Tyto složky pochází z nespáleného paliva a

motorového oleje. K usazování dojde buď v chladných bodech uvnitř válce nebo až při ochlazení spalin ve výfukovém potrubí. Organické sloučeniny také mohou kondenzovat například v kyselinu sírovou. Složení pevných částic nelze s určitostí stanovit, odvíjí se totiž od mnoha faktorů – uspořádání spalovacího prostoru, provedení palivové soustavy, zatížení a opotřebení motoru, vlastnostech paliva, motorového oleje atd.

Dříve bychom se s velkými koncentracemi pevných částic setkali pouze u vznětových motorů, ale současné přímovstříkové zážehové motory s přeplňováním vyprodukují mnohdy více PM než moderní vznětové motory. [1; 3; 6; 7]



Obrázek 3 -Přibližné složení pevné částice vznětového motoru [6]
(přeloženo)

3. DOPAD EMISÍ NA ŽIVOTÍ PROSTŘEDÍ

Emise spalovacích motorů, respektive výfukové plyny vypouštěné do ovzduší, mají řadu negativních účinků, jednak přímo na zdraví člověka či jiných živých organismů, druhak nepřímo ovlivňují pochody v přírodě a životním prostředí jako takovém.

Nejvýznamnější vliv na životní prostředí je ze všech druhů dopravy připisován právě dopravě silniční, a to až ze 70 %. Silniční doprava je původcem přibližně jedné pětiny z celkového počtu produkce emisí oxidu uhličitého Evropské unie. Produkce emisí CO₂ se mezi lety 1990 a 2010 zvýšila téměř o 23 %. [8; 9]

Přestože počet provozovaných vozidel stále stoupá, díky modernizaci motorů, opatřením ke snížení škodlivin a rostoucí kvalitě paliv se daří koncentrace některých škodlivých látek snižovat (například výrazný pokles emisí CO, NO_x a těkavých organických látek – tedy HC, za posledních 8 let). Jak ale můžeme vidět v **tabulce 1**, která uvádí celkové emise z dopravy v České republice, koncentrace oxidu uhličitého stále mírně stoupá a emise N₂O či CH₄ zůstávají na stejné výši. [10; 8]

	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
CO ₂	18 113,5	18 124,3	17 742,2	17 578,0	18 241,4	18 960,7	19 827,6
CO	104,6	90,7	79,0	70,9	68,1	67,2	67,6
NO _x	54,6	50,1	45,2	42,5	42,1	42,1	42,0
N ₂ O	2,3	1,2	1,2	1,2	1,2	1,3	1,4
Těkavé organické látky	19,3	16,7	14,6	13,2	12,7	12,2	12,2
CH ₄	1,1	1,0	1,0	0,9	1,0	1,0	1,1
SO ₂	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
Pevné částice	3,3	2,9	2,6	2,4	2,3	2,2	2,2
Pb	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

Tabulka 1 - Celkové emise z dopravy v ČR (v tisících tun) [10]

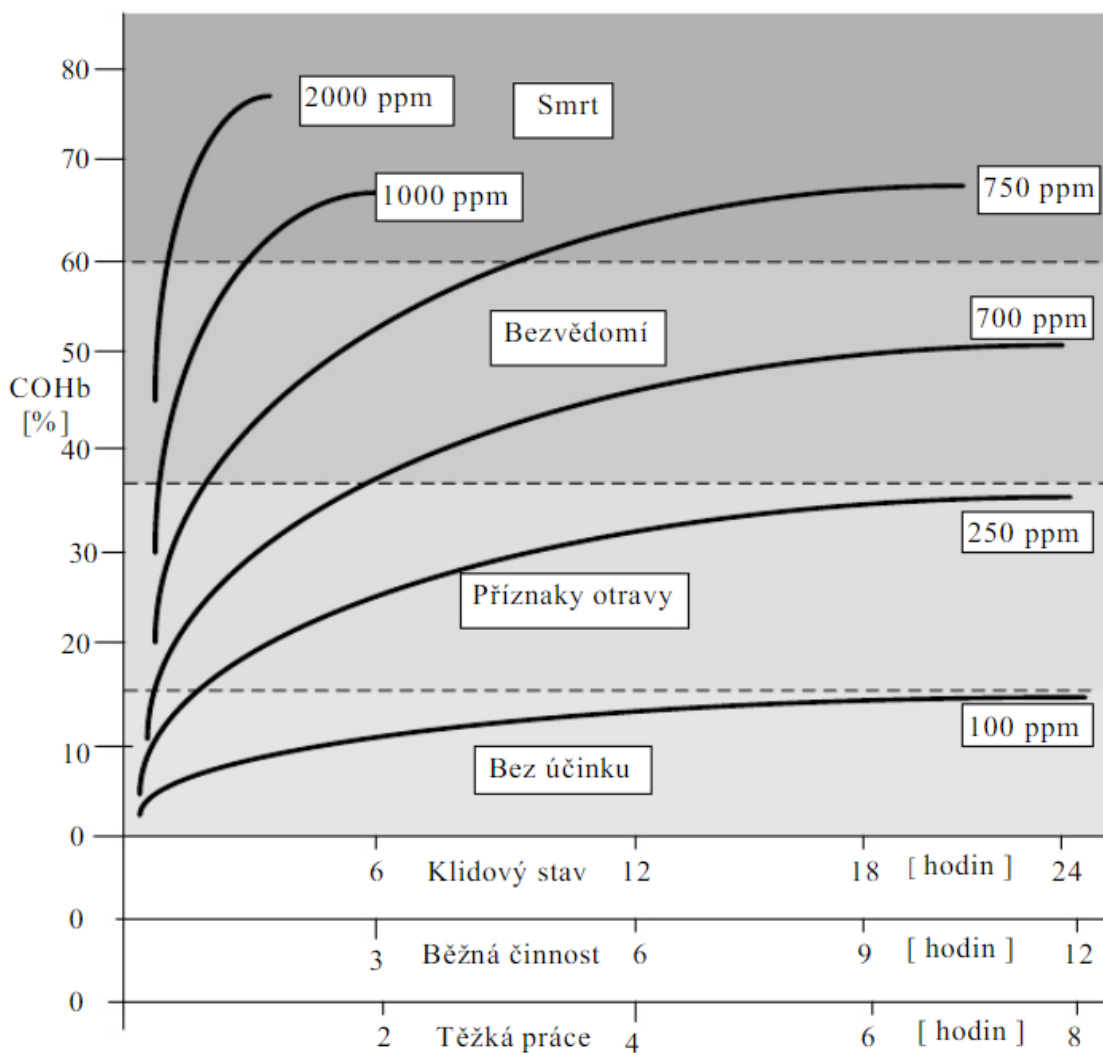
Dopad emisí můžeme rozdělit na místní a globální. Místní dopady představují hlavní problém v městských oblastech, kde je doprava jedním z největších zdrojů znečištění ovzduší. Toto znečištění má nepříznivé účinky na lidské zdraví a studie Světové zdravotnické organizace ukazují, že vede k nárůstu výskytu rakoviny až o 40 % a je původcem mnoha srdečních a respiračních onemocnění. Mimo znečištění ovzduší emise spalovacích motorů také přispívají ke zhoršení kvality vody a půdy. [8; 9]

Globální dopad emisí představuje podíl na klimatických změnách. Především hromadění skleníkových plynů (hlavně tedy oxidu uhličitého a oxidu uhelnatého) způsobuje globální oteplování. Globální oteplování ovlivňuje zemědělství, volně žijící zvířata, hladiny moří i přírodní krajinu. [11; 9]

3.1. ŠKODLIVINY VÝFUKOVÝCH PLYNŮ A JEJICH DOPAD NA LIDSKÉ ZDRAVÍ

3.1.1. OXID UHELNATÝ (CO)

Oxid uhelnatý je jedovatý plyn, který se váže na krevní barvivo (hemoglobin) a vytváří karboxyhemoglobin a omezuje tak přenos kyslíku z plic do krevního oběhu. Afinity oxidu uhelnatého k hemoglobinu je asi 200 krát vyšší než afinity kyslíku. Orgány člověka mohou být tedy poškozovány nedostatkem kyslíku, přestože byl kyslík vdechován v dostatečném množství. Lehká otrava se projevuje bolestmi hlavy, zmateností, bolestmi svalů a kloubů. Těžká otrava může způsobit ztrátu vědomí, nevratné poškození nervů a mozku či dokonce smrt. Působení CO na člověka v otevřených prostorech není velmi nebezpečné, jelikož nedosahuje vysokých koncentrací. Koncentrace je vyšší ve městech s hustou dopravou v okolí rušných křižovatek. Největší nebezpečí představuje CO v uzavřených prostorech, jako jsou podzemní garáže apod., kde je člověk vystaven poměrně vysokým koncentracím po delší dobu. Negativní působení oxidu uhličitého se umocňuje fyzickým zatížením člověka. Na **obrázku 4** jsou zobrazeny následky v závislosti na koncentraci CO a fyzické námaze. CO se také podílí na tvorbě letního (fotochemického) smogu. [12; 13; 8]



Obrázek 4 - Zdravotní rizika při vdechování vzduchu znečištěného oxidem uhelnatým [2]

3.1.2. OXIDY DUSÍKU (NO_x)

Oxid dusný (NO) není přímo škodlivý pro lidský organismus, v atmosféře ale oxiduje na **oxid dusičitý** (NO₂). Při vdechování oxidu dusičitého dochází na stěnách sliznice k tvorbě kyseliny dusičné (HNO₃) a organismus reaguje podobně jako při hoření a omezuje přístup vzduchu do plic. To způsobuje dušnost a dráždění ke kašli. Toto nastává již při nízkých koncentracích. Dále také poškozují sliznici a snižuje její odolnost proti infekci. Trvalá expozice při koncentraci kolem 30 ppm prokazatelně způsobuje častější onemocnění dýchacích cest, zvyšuje riziko astmatických záchvatů a vyvolává dráždění oční sliznice. Při koncentraci kolem 150 ppm dochází k velmi silnému podráždění sliznic a bolestivému kašli. Při koncentracích převyšujících 700 ppm představuje již smrtelné nebezpečí.

Působením fotochemických reakcí vzniká za přítomnosti oxidů dusíku tzv. letní smog. V důsledku slunečního záření také dochází ke vzniku ozónu (O₃). Oxidy dusíku jsou také významnou složkou kyselých dešťů. [2; 12; 14]

3.1.3. NESPÁLENÉ UHLOVODÍKY (HC)

Nejméně škodlivé uhlovodíky bývají z původní skupiny uhlovodíkového paliva. Za více škodlivé můžeme považovat aldehydy, které nepříznivě působí na sliznice a způsobují záněty dýchacích cest. Nejvíce škodlivé se ukazují uhlovodíky vzniklé jako meziprodukty částečné oxidace původní molekuly uhlovodíku. Část těchto meziproduktů patří mezi karcinogenní látky a jejich negativní dopad se ještě umocňuje ve spojení s dalšími škodlivinami výfukových plynů. Ve spojení s pevnými částicemi se nespálené uhlovodíky zachycují na povrch částic a do organismu se dostávají nebezpečné látky.

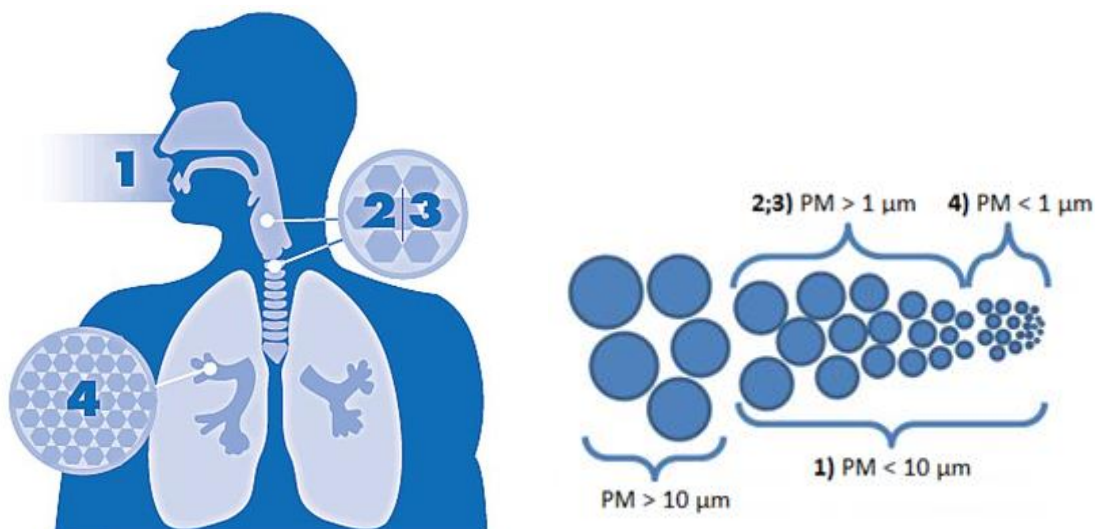
Za nejnebezpečnější škodliviny z částečně zoxidovaných uhlovodíků se považují **polycyklické aromatické uhlovodíky (PAH)**. Nebezpečnost PAH tkví v přilnavosti na povrch pevných částic a následným proniknutím až do krevního oběhu. Nejvýznamnějším zástupcem je benzo(a)pyren. Mimo riziko zvýšení počtu nádorových onemocnění se ukazuje, že PAH také nepříznivě ovlivňuje reprodukční funkci mužů i žen. [15; 2; 12]

3.1.4. PEVNÉ ČÁSTICE (PM)

Krátkodobé vystavení pevným částicím může způsobovat podráždění oční sliznice, jícnu a průdušek, kde mohou způsobovat mechanické poškození. Zvyšují produkci hlenu, snižují samočisticí schopnost organismu a tím navyšují pravděpodobnost infekčních onemocnění. Mohou také způsobovat dýchací potíže a nutkání ke zvracení. Dlouhodobá expozice může vést k zápalům plic. Přibližná koncentrace PM, která by neměla vést k rakovinotvorným účinkům po vystavení částicím na dlouhou dobu je 5 µg·m⁻³ – tzv. referenční koncentrace. Velikost částic je různá a pohybuje se od méně než 50 nm až po více než 10 µm. Jak je znázorněno na **obrázku 5**:

- 1) částice menší 10 µm se dostávají ústy do horních cest dýchacích,
- 2;3) částice větší než 1 µm jsou zachyceny v horních dýchacích cestách a vyloučeny pomocí kašláním, kýčání a polykání,
- 4) částice menší 1 µm, především pak ty pod 0,1 µm se dostávají k povrchu plic a některé až do krevního řečiště a šíří se tak po celém těle. Při dnešních technologiích vstřikování paliva,

kdy jsou rozprašované kapičky velmi malé, představují tyto nejmenší částice většinu. Pevné částice mají díky struktuře velký povrch, kde se mohou zachytávat různé směsi látek, například již zmíněné PAH. Tyto látky mohou mít karcinogenní a toxické účinky. Způsobují nádorové a kardiovaskulární onemocnění. [1; 8; 16]



Obrázek 5 - Pronikání částic do lidského těla [17; 18]
(Přeloženo a upraveno)

3.1.5. OXIDY SÍRY (SO_x)

Převážný podíl z emisí oxidů síry představuje oxid siřičitý (SO_2). Způsobuje a zhoršuje respirační onemocnění a kardiovaskulární problémy. Při vyšších koncentracích dráždí oči. Díky vysoké kvalitě dnešních paliv už je podíl dopravy na emisích oxidů síry minimální; představuje méně než 0,1 % z celkových emisí spalovacích motorů. [1; 9]

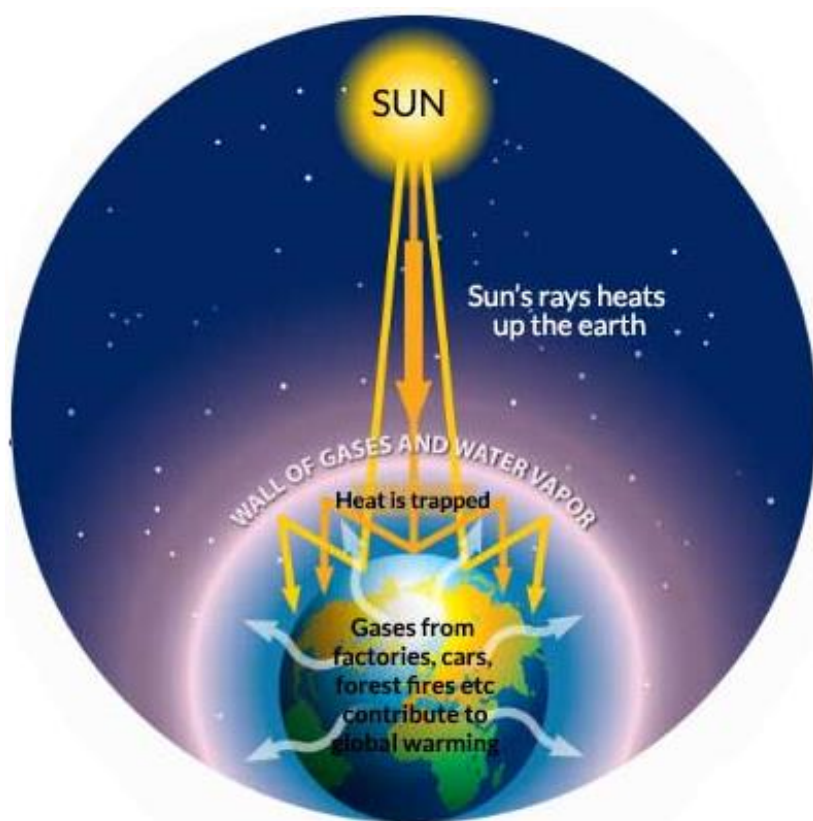
3.2. NEPŘÍMÉ DOPADY EMISÍ SPALOVACÍCH MOTORŮ NA ŽIVOTNÍ PROSTŘEDÍ

3.2.1. KLIMATICKÉ ZMĚNY

Za změny klimatu můžeme označit především globální oteplování. Celková průměrná teplota se za posledních 150 let zvýšila zhruba o 0,6 °C. To s sebou nese další jevy, jako je tání ledovců nebo zvyšující se hladina moří. V průběhu 20. století průměrná hladina moří stoupla až o 20 centimetrů. Dalším jevem je například změna srážek, a to jak prostorově, tak časově. Ve středních a vyšších nadmořských výškách se naměřilo o 1 % více srážek. Projevují se také extrémní počasí, jako vlny veder, období extrémního sucha a naopak období s abnormální

četností srážek. Globální oteplování je však nehomogenní a v různých částech světa se projevuje odlišně. Výraznější projev má ve vyšších nadmořských výškách a spíše na pevnině než na moři. [19]

Vliv lidských činností na klimatické změny je obecně uznáván. Za jednu z nejvýraznějších příčin změny klimatu se dá označit zesilování tzv. **skleníkového efektu**. Sluneční záření dopadající na zemský povrch se z části odrazí zpět do vesmíru (např. od mraků), část záření, jak můžeme vidět na **obrázku 6**, dopadá na zemský povrch a ohřívá ho. Tato energie je vyzařovaná zpět do vesmíru v podobě infračerveného tepelného záření. Část tohoto záření je ovšem zachytáváno díky skleníkovým plynům, jejichž molekuly záření pohlcují a dochází k ohřívání vzduchu. [20; 8]



Obrázek 6 – Skleníkový efekt [21]

Skleníkové plyny vznikají v důsledku přírodních procesů. Zásadní vliv na skleníkový efekt má například vodní pára, která vytváří radiační clonu. Vlivem lidské činnosti se však uvolňuje množství jiných skleníkových plynů, které narušují přirozenou rovnováhu a skleníkový efekt zesiluje. Skleníkovými plyny jsou zejména:

- oxid uhličitý (CO₂) cca ze 77 %,
- metan (CH₄) ze 14 %,
- oxid dusný (N₂O) z 8 %,
- freony cca 1%.

[12]

Mezi hlavní zdroje těchto plynů patří činnosti jako:

- výroba elektřiny a tepla (CO₂, NO),
- zemědělství a lesnictví (CO₂, CH₄),
- stavebnictví (CO₂),
- doprava (CO₂, NO),
- průmysl (CO₂, NO)
- a další činnosti v energetice (CO₂, NO).

[20]

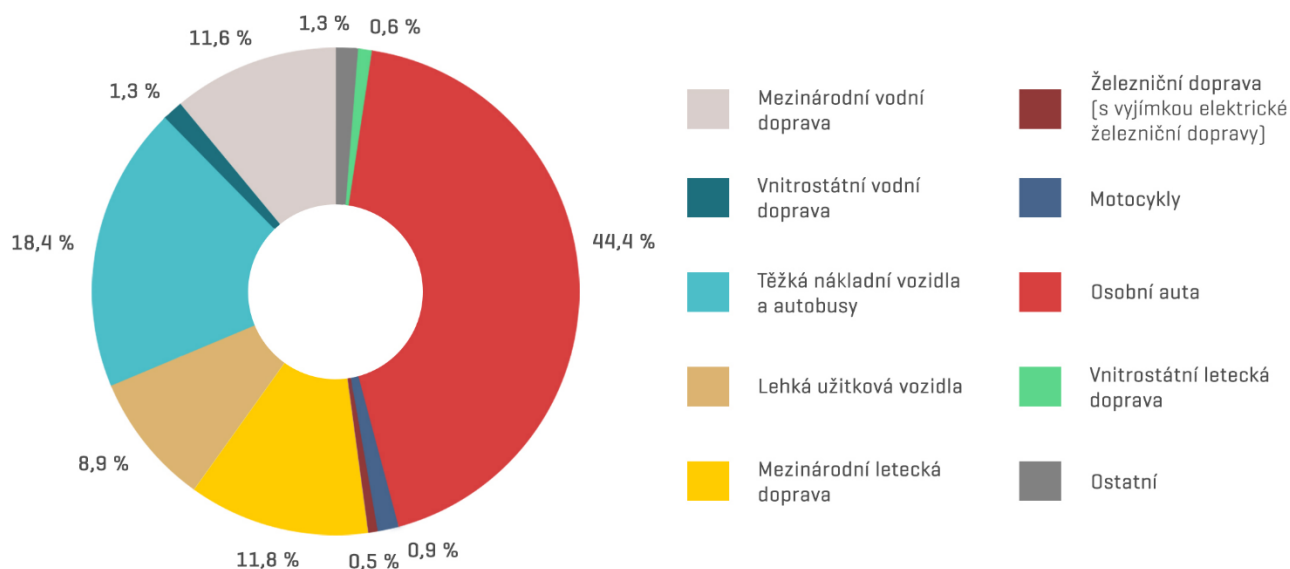
Podíl na produkci těchto plynů můžeme vidět na **obrázku 7**.

výroba elektřiny a tepla	25 %
zemědělství a lesnictví	24 %
stavebnictví	6 %
doprava	14 %
průmysl	21 %
další činnosti v energetice (např. těžba)	10 %



Obrázek 7 - Podíl odvětví na globálních emisích skleníkových plynů [20]

Podíl dopravy na produkci skleníkových plynů zapříčiněné člověkem představuje tedy asi 14 %. Jen pro představu se můžeme podívat na **obrázek 8**, kde je zobrazen podíl jednotlivých složek dopravy produkce emisí oxidu uhličitého v letech 1990 až 2014. Zde představuje silniční doprava více než 70 % a bezmála 45 % tvoří pouze osobní automobily.



Obrázek 8 - Produkce skleníkových plynů v EU v letech 1990-2014 (doprava) [22]

Největší vliv z antropogenních skleníkových plynů má bezesporu oxid uhličitý. Nárůst produkce CO₂ je značný, a to obzvláště za posledních 50 let. Koncentrace oxidu uhličitého se od poloviny 18. století, tedy před začátkem průmyslové revoluce do současnosti zvýšila z 280 ppm (parts per million) na 387 ppm. Tento nárůst je převážně zapříčiněn spalováním fosilních paliv, odlesňováním, kácením pralesů, změnou využívání půdy a další lidskou činností. European Environment Agency uvádí, že produkce CO₂ ve většině odvětví klesla nebo se její růst alespoň zastavil. Ovšem v odvětví dopravy byl od 1990 zaznamenán nárůst více jak 28 % ve všech členských státech EEA. [12]

Celosvětovou snahu o snížení produkce oxidu uhličitého představoval **Kjótský protokol**. Byl přijat jako část Rámcové úmluvy OSN o změně klimatu v roce 1997. Kládí za cíl průmyslově vyspělým státům snížit produkci skleníkových plynů o 5,2 % do roku 2012 v porovnání s rokem 1990. Cíle Kjótského protokolu byly splněny. V současné době Evropská Unie schválila cíl snížit emise skleníkových plynů o 20 % oproti úrovni v již zmíněném roce 1990. Kvůli splnění tohoto cíle byly stanoveny maximální hodnoty emisí spadajících do evropského systému pro obchodování s povolenkami na emise skleníkových plynů (EU-ETS) a individuální cíle pro státy mimo EU-ETS. Dále byly přijaty předpisy pro využití obnovitelné energie a optimalizace energetické účinnosti domácích spotřebičů a zařízení. Dále podporuje rozvoj technologií k zachytávání a ukládání emisí CO₂. [12; 23]

3.2.2. KYSELÉ DEŠTĚ

Pokud hodnota pH vody obsažené v dešti klesne pod 5,6, označujeme déšť jako kyselý. Hodnota pH „běžného“ deště se pohybuje kolem hodnoty 6.0. Kyselá deště vznikají, když vstupují do ovzduší oxidy dusíku nebo oxid siřičitý. Tyto složky poté reakcemi přechází na kyselinu dusičnou (1) a kyselinu sírovou (2). S dešťovou vodou poté dopadají na zemský povrch. [24]



Okyselení půd povrchových vod má pochopitelně svoje následky. Pokud je pH vody na velmi nízké úrovni, vede k úhynu ryb a některých vodních organismů. Kyselina ve vodě přerušuje produkci enzymů ryb a také mobilizuje toxické kovy v jezerech, ty pak způsobují nadbytek slizu, který obaluje rybí žábry a zamezuje jim tak dýchání. Vysoká kyselost také brání růstu fytoplanktonu a tím ochuzuje o potravu další živočichy. Kyselá deště také velmi škodí stromům, a to různými způsoby – poškozováním voskového povrchu na listech, stromy jsou poté méně odolné vůči hmyzu, houbám a mrazu. Omezují také výživu stromů, kvůli zpomalení růstu jejich kořenů. [24; 25]

Kyselá deště byly ještě na přelomu tisíciletí považovány za jedny z nejzávažnějších a hlavně nejviditelnějších vlivů na životní prostředí. V současné době se v průmyslově vyspělých zemích daří výskyt kyselých dešťů držet na velmi nízké úrovni, díky zavedení odsiřovacích jednotek a používání kvalitních paliv s nízkým podílem síry. U oxidů dusíku se to však daří jen z části a je proto třeba se touto problematikou zabývat i nadále. [26]

3.2.3. SMOG

Mezi nejnebezpečnější složky vzduchu, jak již bylo řečeno výše, patří oxidy síry a dusíku, polévatý prach, ozón a organické plyny. Tyto látky spolu tvoří smog. [27]

Zejména v zimním období dochází k teplotním inverzím, kdy při nočních vyjasněních se vzduch rychle ochlazuje a hromadí se v nižších polohách, protože je těžší než vzduch nad ním. K tomu dochází během delších období vyššího tlaku vzduchu. Inverzní vrstva vzduchu poté

zadržuje vzduch u země a znečištění, včetně emisí z dopravy, se nemůže rozptýlovat, drží se v přízemní vrstvě a jeho koncentrace stoupá. [27; 28]

Emise plynoucí z dopravy zásadním způsobem přispívají ke vzniku **fotochemického smogu**, který můžeme pozorovat jako namodralý opar, vznášející se nad danou oblastí. Ten se vyskytuje během letních měsíců na území měst s vysokou hustotou dopravy. Je tvořen převážně vysokými koncentracemi přízemního ozónu, směsí uhlovodíků, oxidů dusíku, oxidu uhelnatého a oxidu uhličitého. [27]

3.2.4. TVORBA OZONU V PŘÍZEMNÍCH VRSTVÁCH (O₃)

Ozon vzniká působením slunečního záření při vysokém výskytu oxidů dusíku a některých uhlovodíků (především VOC – těkavých organických látek). Při vzniku O₃ v přízemních vrstvách dochází k narušování buněčných membrán rostlin. Ty potom kvůli ztrátě schopnosti fotosyntetizovat odumírají. U některých zemědělských plodin může výskyt ozónu omezit jejich výnosnost až o 20 %.

Působení O₃ na člověka při koncentracích od 0,1 ppm způsobuje častější onemocnění dýchacích cest, a při koncentracích vyšších než 1 ppm, kterým je člověk vystavován déle jak jeden měsíc, může způsobit trvalé poškození plicní tkáně. Předpokládá se, že působení ozonu je komplexní a může například přispívat ke zvýšení rizika rakoviny kůže. [2; 8; 9]

4. OPATŘENÍ PRO REDUKCI ŠKODLIVIN SPALOVACÍCH MOTORŮ

Jak již bylo řečeno v kapitole o složení a vzniku emisí, zásadní vliv na koncentraci škodlivin má složení spalované směsi a průběhu jejího spalování. Jsou to tedy vlastnosti:

- tepelné – sdílení tepla ve válci,
- tvarové – tvar spalovacího prostoru,
- vírové – způsob hoření směsi ve válci,
- způsob a kvalita vstřikování paliva,
- druh a čistota paliva.

Moderní spalovací motory dosahují nízkých koncentrací škodlivin díky kombinaci sofistikovaných elektronických systémů a účinných zařízení, které upravují výfukové plyny. Pro optimální funkci je zapotřebí vzájemné součinnosti těchto systémů a zařízení. [29; 1]

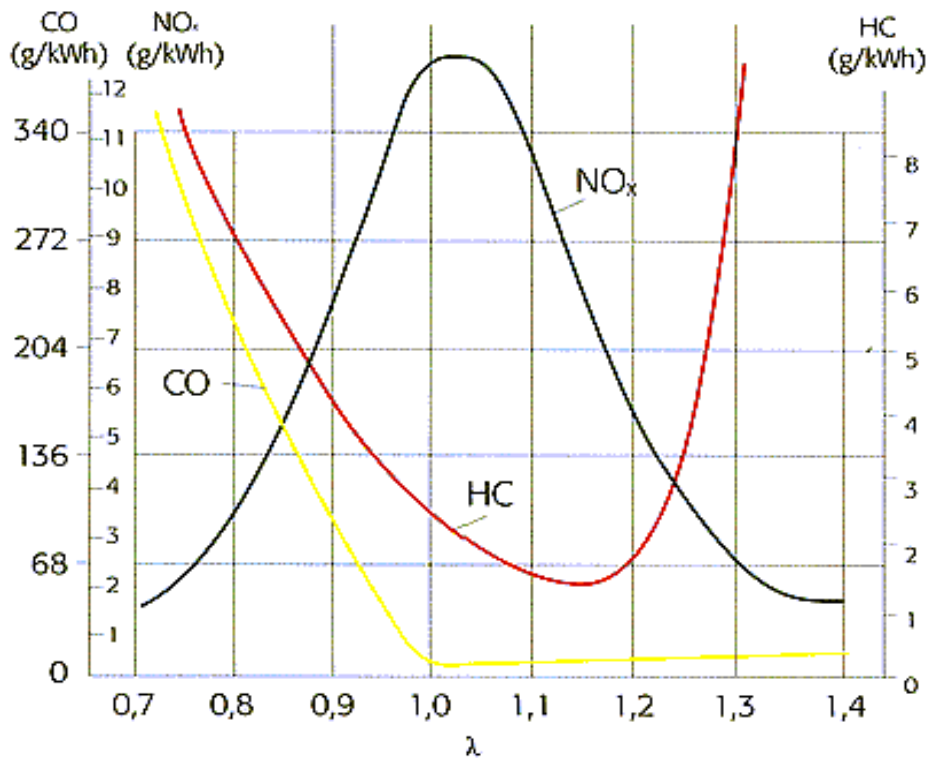
4.1. OPATŘENÍ KE SNÍŽENÍ ŠKODLIVIN ZÁŽEHOVÝCH MOTORŮ

4.1.1. OPATŘENÍ OVLIVŇUJÍCÍ EMISE PŘED A BĚHEM SPALOVÁNÍ

Tato opatření ovlivňují především složení, tvorbu a průběh spalování směsi.

VOLBA SMĚŠOVACÍHO POMĚRU

Jeden ze základních vlivů na složení emisí motoru je směšovací poměr. Ten však nemůže snížit všechny škodliviny současně. Například při nízkých koncentracích oxidu uhličitého a nespálených uhlovodíků jsou velmi vysoké koncentrace oxidů dusíku. U chudých směsí, kdy je $\lambda > 1$, dochází ke snižování emisí CO, pokud je směs příliš chudá, může docházet k vynechání zápalu a emise HC skokově stoupají. Pokud chceme dosáhnout co nejmenší koncentrace škodlivin, je velmi důležitá kvalita rozprášení paliva. [1]



Obrázek 9 - Produkce emisí zážehového motoru v závislosti na λ [4]

VOLBA KOMPRESNÍHO POMĚRU

Kompresní poměr zásadně ovlivňuje teplotu spalování. Snížením kompresního poměru dosáhneme nižších maximálních teplot, což se pozitivně projeví na koncentraci oxidů dusíku. Pokud je spalovaná směs ve stechiometrickém poměru, pak vede i ke snížení nespálených uhlovodíků. Vliv na tvorbu HC má tvar spalovacích prostor. Nejnižších hodnot dosahují motory s kompaktním spalovacím prostorem, který má malý poměr povrchu k objemu. Vysoké teploty stěn spalovacích prostor zamezují vytváření zhášecích zón.

Pokud je ovšem kompresní poměr příliš nízký, je nízký i výkon motoru, zhoršuje tepelnou účinnost, díky tomu se zvyšuje spotřeba paliva a zvyšují se měrné emise. [1]

ZÁŽEH

Zmenšováním předstihu zážehu dosáhneme nižších emisí oxidů dusíku a nespálených uhlovodíků, díky snížení maximální teploty spalování a zvýšení teploty výfukových plynů. Pokud ovšem úhel předstihu klesne pod optimální hodnotu, klesá tepelná účinnost a zvyšuje se spotřeba.

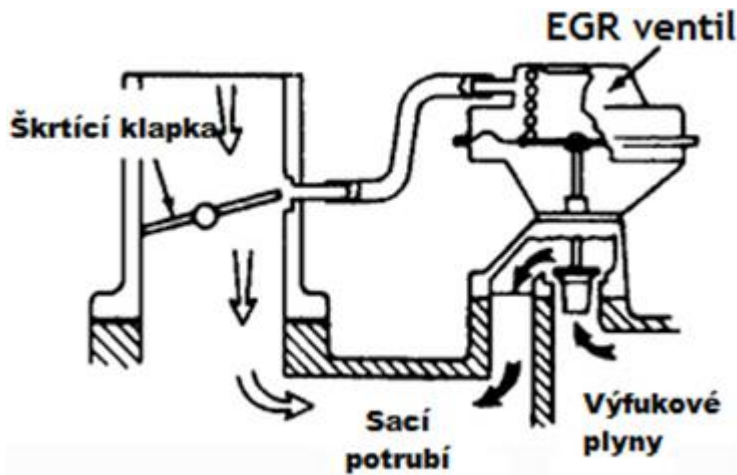
Bod zažehnutí by měl být zvolen s ohledem na požadavky maximálního momentu motoru, zamezení klepání motoru, nízké spotřeby paliva a produkci emisí. Některé požadavky jdou však proti sobě. Zmenšení předstihu způsobí sice nižší spotřebu paliva, ovšem měrné emise stoupnou. Naopak zvýšení předstihu způsobí vyšší točivý moment, ale dochází častěji ke klepání motoru. Je proto třeba bod zážehu dobře zvážit a zvolit optimální řešení v závislosti na požadovaných parametrech. [1]

RECIRKULACE VÝFUKOVÝCH PLYNŮ

Pokud využijeme část výfukových plynů na přípravu spalovací směsi, pomůže nám to snížit emise oxidů uhlíku. Jelikož výfukové plyny obsahují jen málo kyslíku, lze je považovat za inertní plyn, který se neúčastní spalování, ale pouze přejímá teplo vzniklé hořením. To vede ke snížení maximální teploty hoření. [1]

Recirkulaci plynů rozlišujeme na vnitřní a vnější. Vnitřní využívá překrytí otevření sacího a výfukového ventilu, při výměně náplně válce toho lze dosáhnout vhodným časováním rozvodů. Při pohybu pístu do horní úvrati se dostane část výfukových plynů do sání díky již otevřenému sacímu ventilu. U pohybu pístu do dolní úvrati se zase, díky stále otevřenému výfukovému ventilu, nasaje část výfukových plynů zpět do válce. Překrytí ventilů musí být optimální, jinak dochází k vynechání zápalů, tím se zvyšují emise nespálených uhlovodíků a zhoršuje se stabilní chod motoru. Vnitřní recirkulace je vhodné využívat až s vyššími otáčkami motoru, neboť při volnoběžných otáčkách se projevuje překrytí ventilů nepříznivě. [1; 30]

Vnější recirkulace přepouští výfukové plyny do sání pomocí EGR ventilu. Je účinnější než vnitřní recirkulace a lze pomocí něho snížit emise NO_x až o 60 %. Je však potřeba počítat se zvýšenou spotřebou a s nárůstem emisí HC. Recirkulace výfukových plynů se využívá při nízkém zatížení motoru, kdy není potřeba tolik kyslíku pro spalování. Princip můžeme vidět na **obrázku 10**. [1; 30]



Obrázek 10 - Řez EGR ventilem [30]

4.1.2. OPATŘENÍ PRO ÚPRAVU VÝFUKOVÝCH PLYNŮ

Tato opatření dodatečně redukuje škodliviny obsažené ve výfukových plynech.

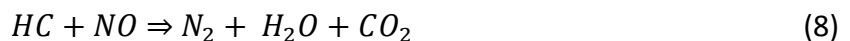
TŘÍCESTNÝ KATALYZÁTOR

Katalyzátory způsobují či urychlují chemické reakce, aniž by se sami měnily. Třícestný katalyzátor přeměňuje emise CO, HC a NO_x na CO₂, vodní páru, N₂ a využívá k tomu dvou chemických reakcí – oxidace a redukce:

Oxidace:



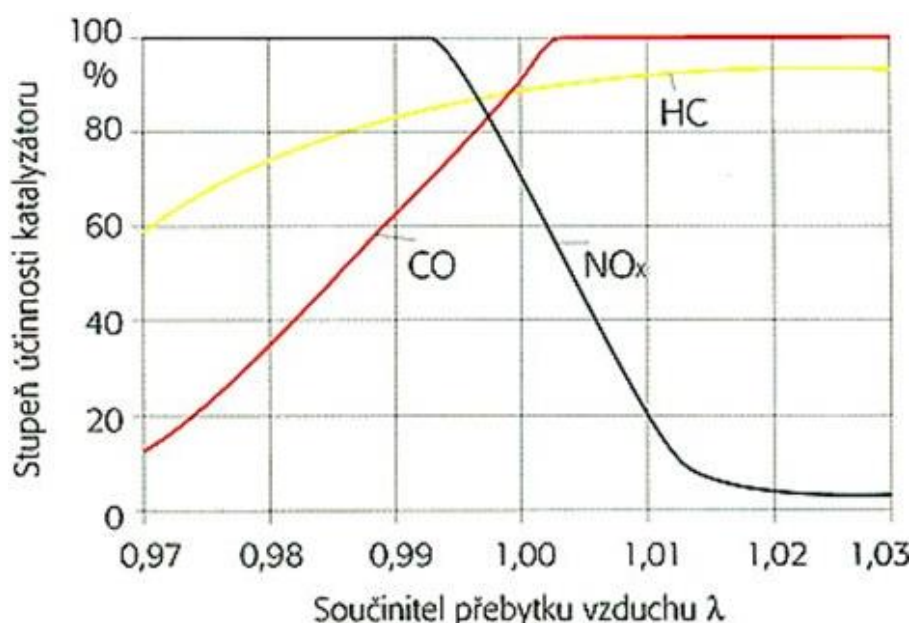
Redukce:



K tomu, aby proběhla oxidace i redukce a byly potlačeny všechny tři škodlivé složky je zapotřebí, aby se spalovaná směs co nejvíce blížila směsi stechiometrické, tedy kdy $\lambda = 1$. Pouze taková směs zajistí dostatek kyslíku pro oxidaci a dostatek oxidu uhelnatého a nespálených

uhlovodíků k redukci NO. Závislost účinnosti katalyzátoru na bohatosti směsi můžeme vidět na **obrázku 11**. [1; 2]

Pro zachování správného poměru složení směsi se před katalyzátor umísťuje lambda sonda, která snímá množství kyslíků ve výfukových plynech a podle toho upravuje řídicí jednotka vstřikované množství paliva. Tento systém nazýváme třícestný řízený katalyzátor. [1]



Obrázek 11 - Závislost účinnosti katalyzátoru na součiniteli přebytku vzduchu [4]

SBĚRNÝ KATALYZÁTOR

Sběrný katalyzátor se využívá u motorů s přímým vstřikem paliva. Tyto motory spalují chudou vrstvenou směs, přičemž dochází k vysoké produkci emisí NO_x. Běžný třícestný katalyzátor tyto emise neredukuje z důvodů, které byly uvedeny výše. Tento katalyzátor s pomocí oxidů baria ukládá NO_x. Vzhledem k jeho omezené kapacitě, by se měl minimálně jednou za minutu regenerovat. Řídicí jednotka tedy na 1-2 vteřiny přepne do režimu s bohatou směsí. Kvůli tomu se zvýší produkce CO a díky chemické reakci se katalyzátor regeneruje.

[1; 2]

4.2. OPATŘENÍ KE SNÍŽENÍ ŠKODLIVIN VZNĚTOVÝCH MOTORŮ

4.2.1. OPATŘENÍ OVLIVŇUJÍCÍ EMISE PŘED A BĚHEM SPALOVÁNÍ

Důležitý vliv na koncentraci emisí má **návrh plnicí soustavy**. Ta by měla tvořit řízený pohyb náplně válce ve tvaru tečné rotace. Je to důležité obzvláště u motorů s nižší energií vstřiku paliva, kde dochází k nedokonalému rozprášení. Cílem je co nejkratší doba pro promísení paliva a vzduchu ve válci. [1]

Škodliviny také výrazně ovlivňuje samotný **způsob tvoření směsi**. Například komůrkové motory mají několikanásobně nižší emise NO_x při menších přebytecích vzduchu, než motory s přímým vstřikem. Je to způsobeno výrazným vrstvením směsi a pomalejším hořením. [1]

Pozitivně se na produkci škodlivin projeví **rozdělení vstřiku paliva** na dvě dávky, a to jak na oxidy dusíku, tak na nespálené uhlovodíky. **Úhel předvstřiku** paliva má také značný vliv. Pozdějším vstřikem snížíme emise NO_x , ale stoupne měrná spotřeba a emise CO. U přeplňovaných motorů dosáhneme snížení NO_x **chlazením plnicího vzduchu** pomocí intercooleru. Vyššími vstřikovacími tlaky dosáhneme **jemnějšího rozprášení paliva**. Tím klesne kouřivost a produkce emisí HC. [1]

Stejně tak jako u zážehových motorů se pro snížení emisí oxidů dusíku využívá **recirkulace výfukových plynů**. Zejména se využívá recirkulace vnější, pro její vyšší účinnost, která je zapotřebí kvůli nemožnosti využít redukčních reakcí třícestného katalyzátoru pro snížení emisí NO_x (kvůli spalování chudých směsí). Pro lepší účinnost se využívá systémů recirkulace s chlazením. Při nízkém zatížení motoru lze úspěšně využívat velké procento recirkulovaných plynů k tvorbě spalované směsi. Nelze však využívat recirkulaci při plném zatížení, kdy jsou emise NO_x nejvyšší. [1]

4.2.2. OPATŘENÍ PRO ÚPRAVU VÝFUKOVÝCH PLYNŮ

OXIDAČNÍ KATALYZÁTOR

Jelikož vznětové motory pracují s vysokými přebytky vzduchu, lze využít pouze oxidačních katalyzátorů. Tyto katalyzátory snižují koncentraci nespálených uhlovodíků a oxidu uhelnatého ve výfukových plynech. Jsou tvořeny vrstvou drahých kovů jako je platina a paladium. Pro optimální funkci je zapotřebí co největší pokovené plochy. Celková plocha má

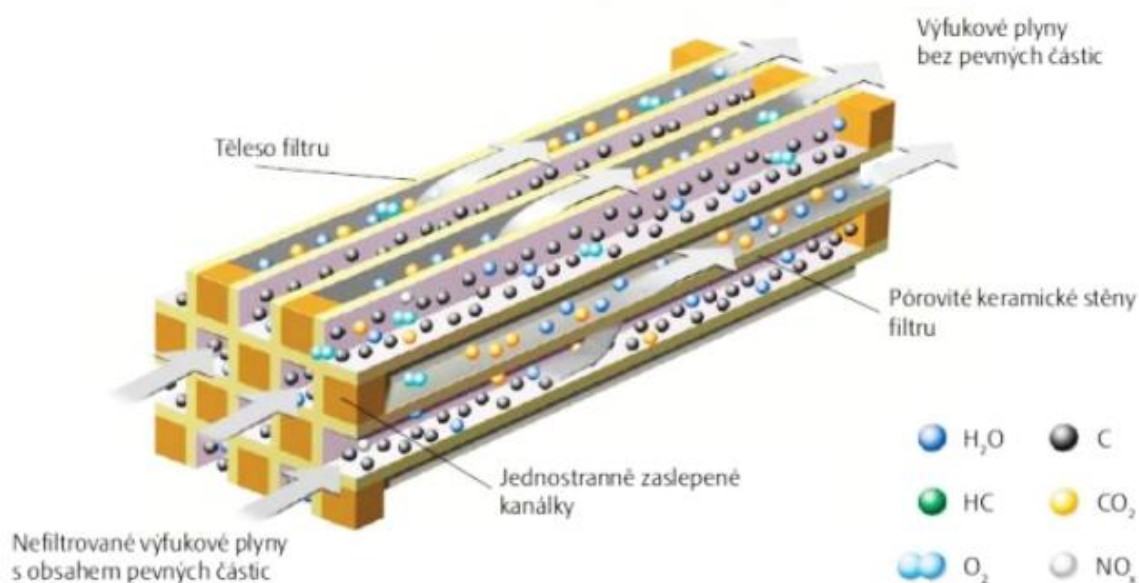
obdobnou rozlohu jako fotbalové hřiště. Uložení takovéto plochy umožňuje katalyzátorový nosič, který je tvořený kanálky. [1]

FILTR PEVNÝCH ČÁSTIC

Slouží k zachycení pevných částic ve výfukových plynech a je umístěn za oxidačním katalyzátorem. Tento filtr umožňuje snížit emise pevných částic více než o 95 %. Můžeme se setkat s označením DPF (Diesel Particulate Filter) nebo FAP (Filtre A Particules). [1; 31]

Filtr je keramické těleso s porézní strukturou, tvořenou karbidem křemíku. Při průchodu výfukových plynů tímto prostředím jsou pevné částice zachytávány. Ke správné funkci filtru je nutné ho pravidelně regenerovat. Regenerace je zajištěna spalováním částic, které jsou přeměňovány na oxid uhličitý. [1; 31]

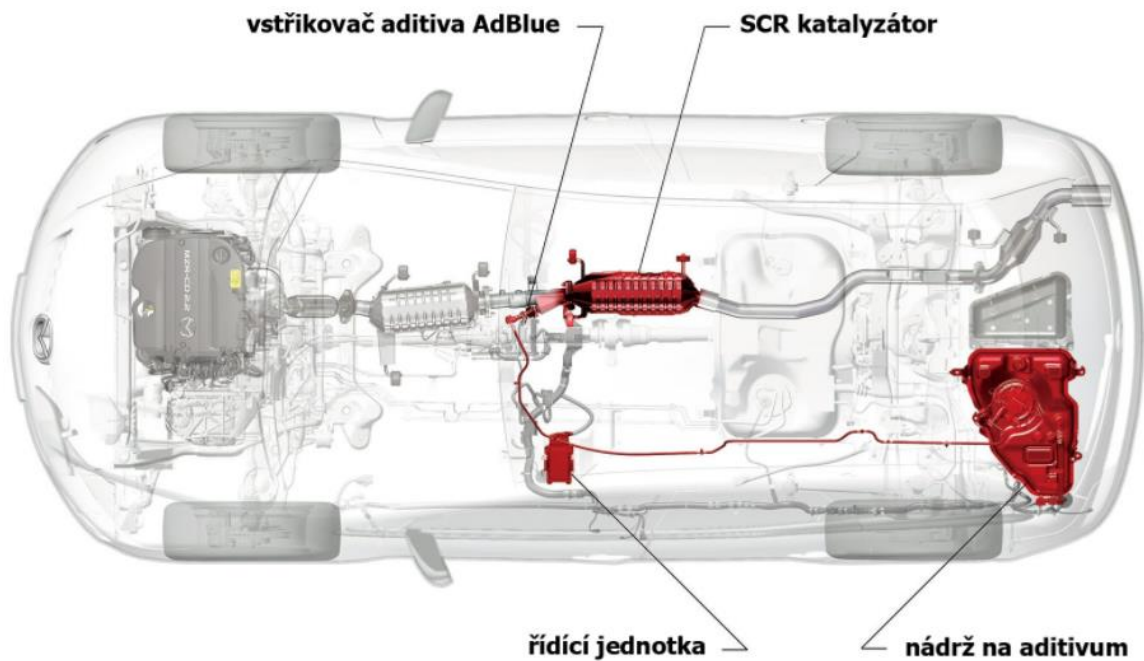
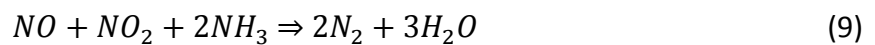
Regenerace filtru probíhá při teplotách přesahujících 550 °C. Aby bylo dosaženo tak vysoké teploty, je potřeba motor udržet při maximálním zatížení po delší dobu (pasivní regenerace). Další možností je změna spalovacího procesu, kdy dojde k dodatečnému vstřiku paliva a teplota spalin stoupne až o 250 °C (aktivní regenerace). Další možností je palivové aditivum zvyšující teplotu spalin. Může být přidáváno do nádrže provozovatelem vozidla nebo existují automatické systémy, které dávkují potřebné množství aditiva ze zásobní nádržky. [1; 31]



Obrázek 12 - Funkce filtru pevných částic [31]

SELEKTIVNÍ KATALITICKÁ REDUKCE (SCR)

Technologie SCR nám umožní redukovat emise NO_x , které nelze redukovat v oxidačním katalyzátoru. Využívá se k tomu aditivum AdBlue, což je roztok močoviny a vody. AdBlue se vstříkuje do výfukového systému ve formě aerosolu a hydrolýzou se přeměňuje na amoniak, který slouží jako redukční činidlo. V další fázi proběhne v SCR katalyzátoru reakce (9) a produkty jsou pouze dusík a voda. [32; 1]



Obrázek 13 - Systém SCR [32]

5. EMISNÍ NORMY V EU

5.1. HOMOLOGACE VOZIDEL DO 3,5 TUNY

Měření emisí při homologaci vozidel probíhá od roku 1971, kdy se začaly sledovat emise nespálených uhlovodíků a oxidu uhelnatého. Na počátku devadesátých let se pro státy Evropské unie, kvůli jednotné legislativě, zavedly emisní předpisy známé jako EURO. Zpřísnění emisních limitů EURO můžeme sledovat v **tabulce 2**. V současné době platí předpis nazývaný EURO 6. Tento předpis určuje emisní limity pro CO, HC, NO_x a PM v gramech na kilometr (g·km⁻¹). Limity jsou stanoveny velmi přísně, a to na hranici technické a ekonomické dosažitelnosti. [1; 33]

Rok/norma		CO		NO _x		HC + NO _x		HC	PM	
		[g/km]		[g/km]		[g/km]		[g/km]	[g/km]	
1992	I	3,16	3,16	–	–	1,13	1,13	–	–	0,18
1996	II	2,2	1	–	–	0,5	0,70*	–	–	0,08
2000	III	2,3	0,64	0,15	0,5	–	0,56	0,2	–	0,05
2005	IV	1	0,5	0,08	0,25	–	0,3	0,1	–	0,025
2009	V	1	0,5	0,06	0,18	–	0,23	0,1	0,005	0,005
2014	VI	1	0,5	0,06	0,08	–	0,17	0,1	0,005	0,005

Tabulka 2 - Přehled limitů jednotlivých emisních norem EURO [1; 33]
(Upraveno)

Zážehové motory
Vznětové motory

Souhrn homologačních testů se nazývá **NEDC (New European Driving Cycle)**. Skládá se ze 7 jednotlivých zkoušek:

- **Zkouška typu 1** – měří emise po studeném startu. Předpis určuje podmínky provozu jako stav okolí, nároky na vozidlo, palivo, konfigurace vozidla apod. Měření probíhá v laboratorních podmínkách, kdy je vozidlo zkoušeno na dynamometru. Zkouška se dělí na městský a mimoměstský cyklus.
- **Zkouška typu 2** – probíhá měření emisí oxidu uhelnatého a oxidu uhličitého. Provádí se při provozní teplotě motoru.
- **Zkouška typu 3** – měří se tlak v klikové skříni. Vozidlo musí za uvedených podmínek mít nižší tlak, než je tlak atmosférický.

- Zkouška typu 4 – měření množství odpařených uhlovodíků. Měří se také za provozní teploty motoru po dobu 24 hodin v uzavřeném prostoru.
- Zkouška typu 5 – zde se zkouší účinnost zařízení, které redukuje škodliviny výfukových plynů v závislosti na opotřebení. Vozidlo má najeto 80000 km a měří se množství emisí v různých režimech.
- Zkouška typu 6 – měří se množství emisí oxidu uhelnatého a nespálených uhlovodíků studeného motoru při teplotě -7 °C.
- Zkouška OBD – simuluje se chyba řídicí jednotky či systému regulující emise. Vozidlo musí odpovídajícím způsobem reagovat na chybu.

[33]

Do roku 2020 měla vejít v platnost nová metodika měření emisí **WLTP (Worldwide Harmonized Light Vehicles Test Procedures)**. Díky kauze Dieselgate byl však proces urychlen a tato metodika byla zavedena již v září roku 2017. Nová testovací procedura se skládá z cyklu **WLTC (World Harmonized Light Vehicle Duty Test Cycle)** a **RDE (Real Driving Emission)**. [34]

Cyklus WLTC se provádí, podobně jako NEDC, na válcové zkušebně. WLTC na rozdíl od NEDC však pracuje se třemi kategoriemi vozidel podle výkonové hmotnosti a vozidla jsou testována pro 4 úrovně zatížení:

- 1. kategorie – vozidla s výkonovou hmotností menší než $22 \text{ W}\cdot\text{kg}^{-1}$ jsou měřena v režimech nízkého, středního a vysokého zatížení;
- 2. kategorie – vozidla s výkonovou hmotností od 22 do $34 \text{ W}\cdot\text{kg}^{-1}$ jsou měřena pro režimy nízkého, středního, vysokého a extra vysokého zatížení;
- 3. kategorie – vozidla s výkonovou hmotností přesahující $34 \text{ W}\cdot\text{kg}^{-1}$. Do této kategorie spadá většina osobních automobilů prodávaných v EU. Fáze testu jsou obdobné jako u 2. kategorie. [34; 35]

Zkouška WLTC je mnohem komplexnější, jak můžeme vidět v porovnání parametrů se zkouškou NEDC v **tabulce 3**.

Zatížení	Cyklus WLTC pro kategorii 3					Cyklus NEDC		
	Nízké	Střední	Vysoké	Extra vysoké	Celkový výsledek	Městský režim	Mimoměstský režim	Celkový výsledek
Doba testu [s]	589	433	455	323	1800	780	400	1180
Doba během níž vozidlo stojí [s]	150	49	31	8	235	240	38	278
Ujetá vzdálenost [m]	3095	4756	7162	8254	23266	30,77	9,55	23,6
Poměr doby, kdy auto stojí v procentech	26.5%	11.1%	6.8%	2.2%	13.4%	3,976	6,955	10,93
Maximální rychlost [km/h]	56.5	76.6	97.4	131.3	131,3	50	120	120
Průměrná rychlost bez zastavení [km/h]	25.III	44.5	60.7	94.0	53.5	25,93	69,36	43,1
Průměrná rychlost se zastavením [km/h]	18.IX	39.4	56.5	91.7	46.5	18,35	62,59	33,35
Maximální zrychlení [m/s ²]	1,5	1,6	1,6	1	1,6	1,042	0,833	1,042
Průměrná akcelerace [m/s ²]	0,48	0,44	0,37	0,3	0,41	0,64	0,35	0,528

Tabulka 3 - porovnání parametrů WLTC pro kategorii 3 vs. NEDC [34]

Druhá část měření – RDE, představuje silniční zkoušku. Doba jízdy by se měla pohybovat kolem 120 minut, z toho třetina ve městě, třetina mimo město a třetina dálniční provoz s rychlostí nepřesahující 145 km·h⁻¹. Během zkušební jízdy by měla být zapnutá klimatizace, pokud jí bude vůz vybaven. Převýšení trasy by nemělo překročit 100 metrů. [34]

Od 1. září 2017 platí WLTC pro nově homologovaná vozidla. Od 1.září 2018 bude WLTC povinná pro všechna nově registrovaná vozidla a od 1.září 2019 budou muset všechny nové vozy projít i cyklem RDE. [34; 35]

5.2. HOMOLOGACE VOZIDEL NAD 3,5 TUNY

Při homologaci vozidel nad 3,5 tuny se v EU zjišťuje také množství NO_x , CO, HC, PM, ale je udáváno v $\text{g}\cdot\text{kWh}^{-1}$. K získání těchto hodnot se využívá 3 testů:

- ESC (European Stationary Cycle) – jde o stacionární test samotného motoru s veškerou zástavbou ovlivňující konečné složení výfukových plynů. Skládá se ze 13 zatěžovacích režimů, kdy každý režim má své ustálené otáčky a zatížení motoru. Naměřené hodnoty se poté dle normy přepočítají na měrné emise v jednotkách $\text{g}\cdot\text{kWh}^{-1}$.
- ETC (European Transient Cycle) – jedná se o simulaci jízdního cyklu na zkušebním stanovišti, kde se opět zkouší samotný motor. Skládá se z městského cyklu s častými rozjezdy, zastavením a během naprázdno, kdy maximální rychlost nepřesáhne $50 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$, mimoměstského cyklu s výraznou akcelerací na počátku a poté udržování průměrné rychlosti na hodnotě $72 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ a dálničního cyklu, kde je udržována průměrná rychlost $88 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$.
- ELR (European Load Response) – využívá se k měření kouřivosti u vozidel poháněných vznětovými motory. Během 4 cyklů se střídá zatěžovací úroveň a otáčky se pohybují střídavě mezi 10 až 100 %. Zjišťují se průměrné hodnoty kouřivosti v každé sekundě cyklu a poté nejvyšší hodnota kouřivosti v každém cyklu pro každý otáčkový režim. Uváděná hodnota je poté určena váženým průměrem z průměrné hodnoty v každém cyklu.

[1]

Podobně jako u vozidel do 3,5 tuny, jsou staré cykly nahrazeny novými – **WHSC (World Harmonised Steady-state Cycle)** a **WHTC (World Harmonised Transient Cycle)**. Tyto cykly jsou shodné s těmi, jaké používá USA a Japonsko. WHTC na rozdíl od starých cyklů pracuje v různorodém rozsahu rychlostí, zatížení a otáček. Obsahuje také cyklus se studeným startem, kde je poté sledován vliv zahřívání motoru a výfukové soustavy na koncentraci emisí. [36; 34]

6. ALTERNATIVNÍ POHONY

Kromě omezeného množství fosilních paliv je produkce škodlivých emisí jedním z důvodů k hledání alternativních způsobů pohonu vozidel. Mezi alternativní pohony lze zařadit koncepce lišící se od konvenčního spalovacího motoru, jako jsou elektromobily nebo vozidla na palivové články. Na druhé straně může stát spalovací motor využívající alternativní paliva, jako biopaliva, či plynná paliva. Další kapitolou jsou hybridní vozidla, kombinující výše zmíněné technologie. V této kapitole se pokusím pouze stručně nastínit ty alternativy, které se již v současné době využívají a dá se předpokládat jejich širší využití v budoucnu, a jaký mají vliv na produkci emisí. [12]

6.1. PLYNNÁ PALIVA

Plynná paliva přináší oproti konvenčním kapalným palivům výhodu přípravy směsi – lépe se promísí se vzduchem a snadněji udržíme požadovaný směšovací poměr. To vede, mimo jiné, k nižší produkci škodlivých emisí, dále také neředí olej, nezpůsobuje karbonové úsady atd. Mají však své nevýhody, jako obtížné skladování, jejich přeprava nebo potřebný objem zásobníků pro použití ve vozidle. [12]

LPG

LPG, neboli Liquefied petroleum gas, je směs zkapalněných uhlovodíkových plynů – propan a butan. Vzniká při rafinaci ropy nebo jako vedlejší produkt při těžbě ropy a zemního plynu.

Výhodami LPG jsou nižší produkce emisí, vyšší životnost motoru, i při přestavbě můžeme stále jezdit na konvenční benzín, kultivovanost motoru, bohatá síť čerpacích stanic a nižší ceny paliva.

Nevýhodou je nižší objemová výhřevnost, což vede k vyšší spotřebě až o 30 %, ale při nižších cenách paliva se tato nevýhoda vyrovnává. Může to také vést k nižšímu výkonu motoru, zhruba o 5 %. Dále počáteční investice nutná ke koupi a provedení montáže LPG systému. Zmenšení zavazadlového prostoru – nutnost někde umístit nádrž. Další nevýhodou jsou každoroční revize systému. [37; 12]

CNG

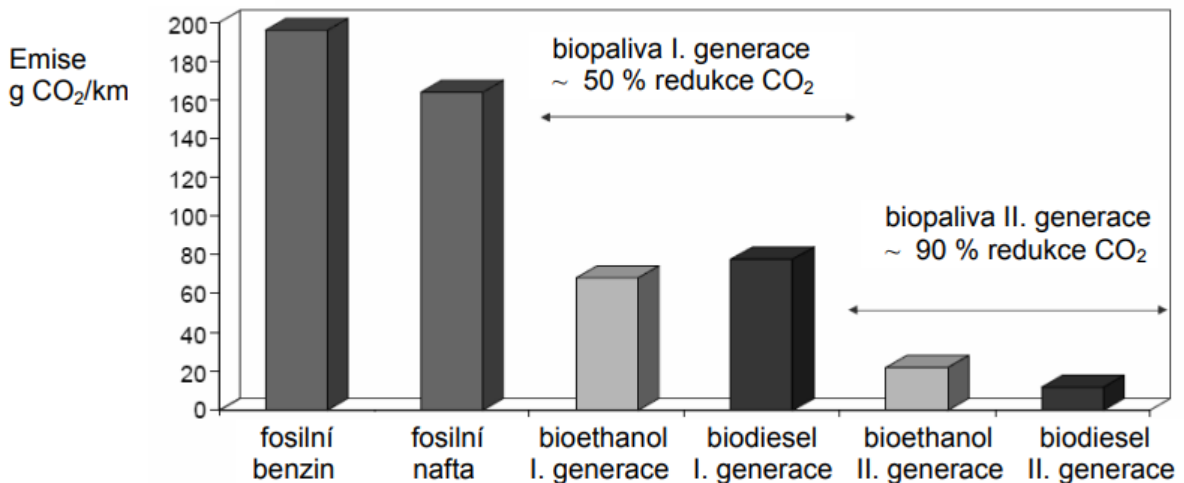
Compressed Natural Gas je označení pro stlačený zemní plyn. Převážně se používá stlačený v tlakových lahvích o plnicím tlaku 20 MPa.

Velkou výhodou CNG je podstatné snížení škodlivých emisí. Výrazně klesají emise PM, také emise nespálených uhlovodíků, a to především velmi nebezpečných polyaromatických uhlovodíků. Snižují se také emise NO_x a CO. Až o 25 % klesá produkce CO₂. Při použití u vznětových motorů prakticky odpadá jejich kouřivost. Dalšími výhodami jsou vysoké oktanové číslo (dovoluje vyšší kompresní poměr), hladší chod motoru, vyšší bezpečnost (lehčí než vzduch; dvojnásobná teplota vzplanutí oproti benzínu), možnost pracovat s velmi chudými směsmi (velmi dobrá mísitelnost se vzduchem), vyšší životnost motoru (vyšší čistota paliva).

Mezi nevýhody patří velký zástavbový objem a vysoká hmotnost palivových zásobníků, investiční náklady (přestavba vyjde kolem 50 000 Kč), nutnost pravidelných kontrol a menší dojezd. Další nevýhodou je prozatím nedostatečná infrastruktura. Poslední dobou se však s rostoucí oblibou tohoto paliva situace zlepšuje. [12; 38]

6.2. BIOPALIVA

V současnosti představují biopaliva jednu z nejdiskutovanějších alternativ ke konvenčním palivům. Jedním z důvodů je snižování celkové produkce CO₂. Při pěstování rostlin, které slouží jako vstupní surovina pro výrobu biopaliva, dochází ke spotřebě CO₂ ze vzduchu, který se poté uvolní až při spalování paliva. To by představovalo nulovou nadbytečnou produkci CO₂. Skutečnost je však odlišná a velké množství CO₂ je vyprodukováno při pěstování, sklizení a dopravě rostlin. Přesto však biopaliva představují výrazný pokles snížení CO₂, jak můžeme vidět na **obrázku 14**, kde je zobrazen potenciál snížení produkce oxidu uhličitého biopaliv I. a II. generace v porovnání s konvenčními palivy. [12]



Obrázek 14 - Potenciál snížení emisí oxidu uhličitého biopalivy I. a II. generace [39]

Dalšími důvody pro využívání biopaliv je to, že patří mezi obnovitelné zdroje a že lze dokonce využít k jejich výrobě odpadní látky. V tomto případě hovoříme o biopalivech II. generace, kde jako základní surovina pro vznik slouží nepotravinářské plodiny (dřevo, rychle rostoucí traviny) nebo rostlinný či biologický odpad (dřevní odpad, sláma, použitý papír apod.). K výrobě biopaliv I. generace se využívá zemědělských plodin, které převážně slouží i k výrobě potravin. Paliva II. generace se tedy jeví jako ideální ekologické palivo, problém je však s technologií zpracování, která není ještě na dostatečné výši a stále neumožňuje široké komerční využití. [12; 39]

Mezi používaná paliva I. generace patří: MEŘO neboli metylester řepkového oleje, případně jiného rostlinného oleje, který prošel metylesterifikací – souhrnně označováno jako **bionafta** či biodiesel. Dalším zástupcem je **bioethanol**, který se vyrábí z produktů obsahující cukr (cukrová řepa, třtina, kukuřice atd.), pomocí alkoholového kvašení a destilací. Adiční reakcí s isobutanem vzniká **ETBE** (etyltercbutylether). [40; 12]

Mezi biopaliva II. generace řadíme: syntetickou motorovou naftu, která je produktem Fischer-Tropschovy syntézy, dále bioethanol vyráběný z lignocelulozové biomasy, biomethanol, který je produktem katalytické konverze syntézního plynu. [12]

Co se týče ovlivnění složení emisí při použití biopaliv, jsou názory a výsledky experimentů často sporné. Velký vliv na emise má podíl biosložky a fosilního paliva a samozřejmě také nastavení parametrů motoru. Obecně se dá však říci, že pokud je zvolen vhodný poměr

biopaliva a konvenčního paliva u zážehových motorů, má použití biopaliv pozitivní vliv na emise nespálených uhlovodíků a CO. U vznětových motorů zase klesá kouřivost a emise pevných částic. Použití biopaliv však může způsobovat mírný nárůst oxidů dusíku, a to jak u zážehových, tak vznětových motorů. [41; 42; 43]

6.3. ELEKTROMOBILY

Přestože elektromobily nevyužívají ke svému pohonu spalovacích motorů, krátce se o nich v této práci zmíním, jelikož v budoucnu budou hrát důležitou roli ve snaze snížit produkci škodlivých emisí plynoucích z dopravy.

Elektricky poháněná vozidla jsou alternativou k vozům poháněným spalovacími motory. Tento pohon prakticky neprodukuje žádné škodlivé emise, má velmi nízkou hladinu hluku a má příznivou výkonovou charakteristiku. V současné době je však problémem především nízký dojezd a vysoká pořizovací cena. [12]

Velkou diskuzi u elektromobilů vyvolává také celkový dopad na životní prostředí. Tyto vozy sice přímo neprodukují škodlivé emise, avšak výroba elektřiny, nutná k jejich pohonu, v mnoha případech ano. Je tedy kontraproduktivní propagovat elektromobily v místech, kde je elektřina získávána především pomocí fosilních zdrojů zatěžujících životní prostředí škodlivými emisemi. Náročnější z hlediska zátěže životního prostředí může být výroba samotného elektromobilu, profesor Stromman ve své studii uvádí, že je zhruba dvakrát větší potenciál vlivu na změnu klimatu, než při výrobě automobilů s konvenčními pohony. Při výrobě akumulátorů se využívá spoustu toxických materiálů a ty následně mají také negativní vliv na životní prostředí. [12; 44]

Při současném stavu výroby elektřiny v Evropě však může znamenat až 24 % snížení vlivu na globální změny klimatu oproti konvenčním pohonům. Používání elektromobilů má tedy bezpochyby smysl, a to především ve městech, kde jejich omezený dojezd nepředstavuje tak velký problém, a naopak obrovskou výhodou jsou nulové emise. [44]

6.4. HYBRIDNÍ POHONY

Hybridním pohonem nazýváme využití několika zdrojů energie pro pohon vozidla. Nejčastější je kombinace spalovacího motoru a elektromotoru. Toto řešení minimalizuje nevýhody samostatných jednotek, jako nízkou účinnost spalovacího motoru nebo nízký dojezd elektromobilu limitovaný kapacitou akumulátoru. S lepší účinností jde ruku v ruce nižší spotřeba i emise. Na druhou stranu mají i své nevýhody, jako konstrukční složitost, z toho plynoucí vyšší pořizovací cena a servisní náklady. [12; 45]

Koncepce těchto vozů jsou různé. U hybridních pohonů nemusí být spalovací motor vůbec spojen s koly a může sloužit pouze jako generátor elektrické energie. Spalovací motor tedy může běžet stále v optimálních otáčkách. Toto řešení nepotřebuje převodovku a pokud se použijí dva elektromotory, není třeba použít ani diferenciálu, jelikož mezi koly nemusí být mechanická vazba. Takovéto řešení má samozřejmě výrazný vliv na celkovou účinnost pohonného ústrojí. Dnešní koncepce však stále upřednostňují pevné mechanické spojení motoru a kol, kde elektromotor je využíván spíše jako dopomoc, nebo je využit při přechodných stavech, jako je např. popojíždění v zácpě, kdy je výhodné spalovací motor zhasnout. [12; 45]

Hybridní pohony jsou další z alternativ ke konvenčním pohonům, které jsou již v dnešní době využívány, i když prozatím zřídka. Lze však s nimi do budoucna počítat, což lze vidět i na snaze automobilek o vývoj těchto pohonů.

7. ZÁVĚR

Tato práce je literární rešerší zabývající se problematikou emisí spalovacích motorů, jejímž cílem bylo porovnat složení emisí zážehových a vznětových motorů a popsat jejich dopad na životní prostředí a lidské zdraví.

Pokud tedy porovnáme zážehový a vznětový motor z hlediska emisí a jejich škodlivých složek, není jednoduché říci, který motor je menší zátěží pro životní prostředí. Vznětové motory jsou na tom výrazně lépe s produkcí skleníkového plynu CO_2 , jelikož jeho množství ve výfukových plynech závisí v první řadě na spotřebě paliva. Lepších výsledků dosahují vznětové motory také co se týče emisí jedovatého CO a dosahují mnohonásobně menšího množství nespálených uhlovodíků. Zážehové motory naopak produkují výrazně menší množství NO_x a pevných částic.

U moderních motorů jsou však zařazena zařízení, která dodatečně upravují emise spalovacích motorů a ta konečné složení výfukových plynů podstatně mění. Spalovací motory pracují s třícestným katalyzátorem, který oxiduje CO a nespálené uhlovodíky a redukuje NO_x a to poměrně spolehlivě bez větších nákladů. Vznětové motory pracují pouze s oxidačním katalyzátorem a emise NO_x jsou redukovány pomocí recirkulace výfukových plynů EGR s chlazením a také pomocí systémů Selektivní katalytické redukce (SCR). Pevné částice jsou zachytávány ve filtrech pevných částic. Je tedy zřejmé, že redukování škodlivin u vznětových motorů vyžaduje sofistikovanější zařízení, což vede k vyšší pořizovací ceně. Tyto systémy musí být pro správnou funkčnost v perfektním stavu a vyžadují jistou údržbu. Na druhou stranu moderní maloobjemové zážehové motory využívající přeplňování, přímé vstřikování a spalující chudou směs, se složením emisí blíží k motorům vznětovým a je zapotřebí tedy využívat i stejných opatření.

Ve zkratce bychom tedy mohli říci, že vznětové motory méně ovlivňují změny klimatu díky nižší produkci CO_2 a motory zážehové mají zase menší dopad na lidské zdraví. Tato úvaha tedy směřuje k tomu, že zážehové motory jsou výhodnější pro využití v městských částech s vysokou hustotou zalidnění, kde automobily slouží k překonání poměrně malých vzdáleností. Naopak motory vznětové jsou vhodné k překonávání dlouhých vzdáleností i při velkém zatížení, což je výhodné i pro správnou funkci zařízení, které dodatečně upravují složení výfukových plynů.

Přestože se množství emisí daří výrobcům snižovat, není situace ideální a vlády vyvíjí čím dál větší tlak na jejich snižování a emisní normy se stále zpřísňují. V současné době jsou na hranici technologických a ekonomických možností. To poté vede k absurdním situacím, kdy výrobci obcházejí homologační testy, například kauza Dieseldgate, která vyplula na povrch v roce 2015. Obcházení těchto testů mimo jiné nahrávala skutečnost, že zkušební cykly nezachycovaly reálný provoz. Koncem roku 2017 tedy vešly v platnost nové homologační testy WLTP, nahrazující dosavadní jízdní cyklus NEDC. Nové jízdní cykly zahrnují komplexnější testování včetně silniční zkoušky, což by mělo vést k hodnotám emisí a spotřeby bližším těm v reálném provozu. Nevyřešeným nedostatkem ale zůstává měření emisí pevných částic. Normy totiž udávají maximální koncentraci složek v $g \cdot km^{-1}$, což nezachycuje reálný dopad na lidské zdraví. Tato omezení vedou ke snížení koncentrace poměrně velkých částic s vysokou hmotností. Jak již ale bylo řečeno v kapitole o vlivu emisí na lidské zdraví, největší hrozbou pro lidské zdraví jsou ty nejmenší částice, které mají zlomkovou hmotnost větších částic.

Jedním z řešení snížení emisí CO_2 mohou být alternativní paliva. Pokud by technologie umožnily široké využití biopaliv II. generace, celková nadbytečná produkce CO_2 by výrazně klesla. Pokud by i výrobci automobilů podpořili pohon pomocí biopaliv, mohl by se omezit jejich dopad na životnost motorů, znečišťování maziv a další problémy, které s sebou biopaliva přinášejí.

Další možností nižší produkce emisí jsou elektromobily. Přímé emise produkované elektromobily jsou nulové, ovšem výroba elektřiny se prozatím v globálním hledisku bez škodlivých emisí neobejde a pokud nebudeme brát v úvahu jen samotný provoz automobilů, ale i míru zátěže, kterou způsobují po celý svůj životní cyklus od výroby přes používání až po likvidaci, je dopad elektromobilů v porovnání s konvenčním pohonem diskutabilní. To je však mimo rozsah této práce a mohlo by být tématem pro práci diplomovou.

Dle mého názoru bude v budoucnu růst počet elektrických automobilů, které budou v nejbližších letech využívány hlavně pro městský provoz. Pro tento režim jsou elektromobily ideální, jelikož neprodukují žádné emise a nejsou v tomto prostředí limitovány nízkým dojezdem a nedostatečnou hustotou dobíjecích stanic. Spalovací motory budou nadále využívány pro osobní dopravu. Bude zde stále patrnější trend alternativních paliv, počet automobilů využívajících CNG bude vzrůstat a lze také očekávat vyšší počty hybridních vozidel,

kombinujících elektro motory s těmi spalovacími. Vznětové motory budou nadále využívány pro nákladní a hromadnou dopravu. Stále bude vyvíjen tlak na downsizing a čím dál větší využití biopaliv.

8. SEZNAM LITERATURY

- [1] HROMÁDKO, Jan. *Spalovací motory : komplexní přehled problematiky pro všechny typy technických automobilních škol*. Praha : Grada, 2011.
- [2] BEROUN, Stanislav. Vozidlové motory. [Online] 2011.
<https://www.scribd.com/doc/29560735/Vozidlove-motory-Prof-Ing-Stanislav-Beroun-CSc>.
- [3] ŠMERDA, Tomáš, ČUPERA, Jiří a FAJMAN, Martin. *Vznětové motory vozidel : biopaliva, emise, traktory*. Brno : CPress, 2013.
- [4] HROMÁDKO, Jan. Ekologické aspekty provozu spalovacích motorů. [Online] 2012.
www.slideplayer.cz/slide/11273508/.
- [5] Integrovaný registr znečišťování. [Online] 2016.
http://www.irz.cz/repository/latky/polycyklicke_aromaticke_uhlovodiky.pdf.
- [6] MAJEWSKI, W. Addy. Diesel Particulate Matter. [Online] 2016.
www.dieselnet.com/tech/dpm.php.
- [7] Particle emissions from petrol cars. *Transport & Environment*. [Online] 2013.
https://www.transportenvironment.org/sites/te/files/publications/GDI%20Briefing_final_T%2026E.pdf.
- [8] Souhrn vlivů emisí z dopravy. *Ekologický právní servis 2008*. [Online] 2008.
www.blokovygrant.cz/download.php?id=830&typ=m.
- [9] TAHZIB, Baryalai a ZVIJÁKOVÁ, Lenka. ENVIRONMENTAL IMPACT OF LAND TRANSPORT. *Technical university Kosice, Faculty of Civil Engineering*. [Online] 2012.
<https://www.sjf.tuke.sk/transferinovacii/pages/archiv/transfer/24-2012/pdf/070-077.pdf>.
- [10] KASTLOVÁ, Olga a HOUŠŤ, Radek. Ročenka dopravy České republiky - 2016. *Ministerstvo dopravy*. [Online] 2016. http://www.sydos.cz/cs/rocenka_pdf/Rocenka_dopravy_2016.pdf.
- [11] GREEN, Jenny. Effects of Car Pollutants on the Environment. *SCIENCING.com*. [Online] 2017. <https://sciencing.com/effects-car-pollutants-environment-23581.html>.
- [12] HROMÁDKO, Jan. *Speciální spalovací motory a alternativní pohony : komplexní přehled problematiky pro všechny typy technických automobilních škol*. Praha : Grada, 2012.
- [13] CERVELLINA, Gianfranco, a další. Initial blood lactate correlates with carboxyhemoglobin and clinical severity in carbon monoxide poisoned patients. *Clinical Biochemistry*. [Online] 2014. <https://doi.org/10.1016/j.clinbiochem.2014.09.016>.
- [14] KAMPA, Marilena a CASTANAS, Elias. Human health effects of air pollution. *Environmental Pollution*. [Online] 2007.
<https://pdfs.semanticscholar.org/30d7/b5c1f9dee2b3b44c0f8359eb784051db74ba.pdf>.

- [15] RHEAD, M.M. a HARDY, S.A. The sources of polycyclic aromatic compounds in diesel engine emissions. *Fuel* 82. 2003.
- [16] RESITOGLU, Ibrahim Aslan, ALTINISIK, Kemal a KESKIN, Ali. The pollutant emissions from diesel engine vehicles and exhaust aftertreatment systems. *Springerlink.com*. [Online] 2014. <https://link.springer.com/content/pdf/10.1007%2Fs10098-014-0793-9.pdf>.
- [17] Particulate Matters. *Air Quality in China*. [Online] 2015. <http://airqualityjhw.weebly.com/particulate-matter.htm>.
- [18] Particulate Matter (Particle Pollution). *Air Pollutants of Primary Concern*. [Online] 2012. https://www4.des.state.nh.us/appc/?page_id=138.
- [19] HOUGHTON, John. *Globální oteplování : Úvod do studia změn klimatu a prostředí*. Praha : Academia, 1998.
- [20] TICHÝ, Daniel. Hrozba vymírání biologických druhů - změny klimatu. *www.ceskatelevize.cz*. [Online] 2015. <http://www.ceskatelevize.cz/ct24/svet/1628774-hrozbou-je-vymirani-biologicky-druhu-rika-k-dopadum-zmeny-klimatu-bedrich-moldan>.
- [21] HARRIS, Judith. What is the green house effect? <http://blog.sciencescore.com>. [Online] <http://blog.sciencescore.com/what-is-the-green-house-effect/>.
- [22] MÍKA, Petr. Jaká úskalí nese doprava závislá na fosilních palivech? *ekoFuture.cz*. [Online] 2017. <http://ecofuture.cz/clanek/jaka-uskali-nese-doprava-zavisla-na-fosilnich-palivech>.
- [23] SPORER, Melanie. Sledování pokroku Evropy při plnění cílů, kterých má být dosaženo v oblasti klimatu a energetiky do roku 2020. *European Environment Agency*. [Online] 2018. <https://www.eea.europa.eu/cs/articles/sledovani-pokroku-evropy-pri-plneni>.
- [24] HORÁK, Josef, LINHART, Igor a KLUSOŇ, Petr. *Úvod do toxikologie a ekologie pro chemiky*. Praha : VŠCHT v Praze, 2004.
- [25] HRUŠKA, Jakub, KRÁM, Pavel a MOLDAN, Filip. Vliv kyselého deště na povrchové vody. *Vesmír*. 1996.
- [26] MOLDAN, Bedřich. *Podmaněná planeta*. Praha : Karolinum, 2015.
- [27] NAG, Oishimaya Sen. Smog And Its Effects On Environmental Health. *Worldatlas.com*. [Online] 2017. <https://www.worldatlas.com/articles/smog-and-its-effects-on-environmental-health.html>.
- [28] NAKPIBAN, Chai. Temperature inversion traps pollution at ground level. *European Environment Agency*. [Online] 2010. <https://www.eea.europa.eu/media/infographics/temperature-inversion-traps-pollution-at/view>.

- [29] VOJTÍŠEK, Michal. Současné trendy ve výfukových emisích z pístových spalovacích motorů, vliv provozních podmínek a dalších faktorů na emise, metody měření. *Ochrana ovzduší*. 2011.
- [30] SAJDL, Jan. EGR (Exhaust Gas Recirculation). *Autolexicon.net*. [Online] <http://www.autolexicon.net/cs/articles/egr-exhaust-gas-recirculation/>.
- [31] SAJDL, Jan. DPF (Diesel Particulate Filter). *Autolexicon.net*. [Online] <http://www.autolexicon.net/cs/articles/dpf-diesel-particulate-filter/>.
- [32] SAJDL, Jan. SCR (Selective Catalytic Reduction). *Autolexicon.net*. [Online] <http://www.autolexicon.net/cs/articles/scr-selective-catalytic-reduction/>.
- [33] SAJDL, Jan. Emisní norma EURO. *Autolexicon.net*. [Online] <http://www.autolexicon.net/cs/articles/emisni-norma-euro/>.
- [34] DUSIL, Tomáš. Nový homologační emisní test WLTP. *Auto.cz*. [Online] 2017. <http://www.auto.cz/wltp-novy-homologacni-emisni-test-110305>.
- [35] GETTING READY FOR WLTP. *European Automobile Manufacturers Association*. [Online] 2017. http://wlpfacts.eu/wp-content/uploads/2017/04/WLTP_Leaflet_FA_web.pdf.
- [36] NICOLAS, Roman. The different driving cycles. *Car-engineer.com*. [Online] 2013. <http://www.car-engineer.com/the-different-driving-cycles/>.
- [37] SAJDL, Jan. LPG (Liquefied Petroleum Gas). *Autolexicon.net*. [Online]
- [38] ROGERS, John. What Is the Difference between CNG and LPG. *Union of Concerned Scientists*. [Online] 2015.
- [39] HROMÁDKO, Jan, a další. TECHNOLOGIE VÝROBY BIOPALIV DRUHÉ GENERACE . *Chemické listy*. [Online] 2010. http://chemicke-listy.cz/docs/full/2010_08_784-790.pdf.
- [40] JAKUBES, Jaroslav, BELLINGOVÁ, Helena a ŠVÁB, Michal. MODERNÍ VYUŽITÍ BIOMASY. *Česká energetická agentura*. [Online] 2006. <https://www.mpo-efekt.cz/dokument/02.pdf>.
- [41] MURTONEN, T., a další. Emissions with Heavy-duty Diesel Engines and Vehicles using FAME, HVO and GTL Fuels with and without DOC+POC Aftertreatment. *SAE International Journal of Fuels and Lubricants*. [Online] 2010. <http://www.jstor.org/stable/26271549>.
- [42] HAJBABAEI, Maryam, a další. Evaluation of the Impacts of Biodiesel and Second Generation Biofuels on NOx Emissions for CARB Diesel Fuels. *Environmental Science & Technology*. [Online] 2012. <https://pubs.acs.org/doi/abs/10.1021/es300739r>.
- [43] KIM, Namho, CHO, Seokwon a MIN, Kyoungdoug. A study on the combustion and emission characteristics of an SI engine under full load conditions with ethanol port injection

and gasoline direct injection. *Fuel*. [Online] 2015.
<https://doi.org/10.1016/j.fuel.2015.06.025>.

[44] STRØMMAN, Anders Hammer, a další. Comparative Environmental Life Cycle Assessment of Conventional and Electric Vehicles. *Journal of Industrial Ecology*. [Online] 2012. <https://doi.org/10.1111/j.1530-9290.2012.00532.x>.

[45] SAJDL, Jan. Hybridní pohon. *Autolexicon.net*. [Online]
<http://www.autolexicon.net/cs/articles/hybridni-pohon/>.

9. SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1 – Složení výfukových plynů zážehového motoru [4]	2
Obrázek 2 - Složení výfukových plynů vznětového motoru [4].....	4
Obrázek 3 -Přibližné složení pevné částice vznětového motoru [6].....	6
Obrázek 4 - Zdravotní rizika při vdechování vzduchu znečištěného oxidem uhelnatým [2]	9
Obrázek 5 - Pronikání částic do lidského těla [17; 18]	11
Obrázek 6 – Skleníkový efekt [21]	12
Obrázek 7 - Podíl odvětví na globálních emisích skleníkových plynů [20].....	13
Obrázek 8 - Produkce skleníkových plynů v EU v letech 1990-2014 (doprava) [22]	14
Obrázek 9 - Produkce emisí zážehového motoru v závislosti na λ [4]	18
Obrázek 10 - Řez EGR ventilem [30].....	20
Obrázek 11 - Závislost účinnosti katalyzátoru na součiniteli přebytku vzduchu [4].....	21
Obrázek 12 - Funkce filtru pevných částic [31]	23
Obrázek 13 - Systém SCR [32]	24
Obrázek 14 - Potenciál snížení emisí oxidu uhličitého biopalivy I. a II. generace [36]	31

10. SEZNAM TABULEK

Tabulka 1 - Celkové emise z dopravy v ČR (v tisících tun) [10]	7
Tabulka 2 - Přehled limitů jednotlivých emisních norem EURO [1; 33]	25
Tabulka 3 - porovnání parametrů WLTC pro kategorii 3 vs. NEDC [34]	27