

**Vývoj složení emisí z automobilové dopravy v závislosti
na technickém pokroku v konstrukci vozidel**

**Mgr. Ing. Jiří Kohoutek
Doc. Ivan Holoubek, CSc.**

TOCOEN REPORT No. 116

Brno, červenec 1996

© Správná citace zprávy: **Kohoutek J., Holoubek I.:** Vývoj složení emisí z automobilové dopravy v závislosti na technickém pokroku v konstrukci vozidel. TOCOEN REPORT No. 116, TOCOEN s.r.o. Brno, červenec 1996, 21 s.

Obsah

	Seznam použitých zkratk	3
	Seznam definic	3
1.0	Úvod	5
2.0	Zdroje emisí z automobilové dopravy	6
3.0	Složení výfukových plynů	7
4.0	Vliv typu motoru	10
4.1	Zážehové motory	10
4.1.1	Dosavadní vývoj	10
4.1.2	Očekávaný vývoj	10
4.2	Vznětové motory	11
4.2.1	Dosavadní vývoj	11
4.2.2	Očekávaný vývoj	12
5.0	Vliv katalyzátoru	13
5.1	Očekávaný vývoj	14
6.0	Vliv typu a složení paliva	14
6.1	Očekávaný vývoj	17
7.0	Ostatní vlivy	18
8.0	Dlouhodobé trendy	19
9.0	Závěry	20
	Literatura	21

Seznam použitých zkratk

US EPA	United States Environmental Protection Agency
CO	oxid uhelnatý
HC	uhlovodíky (celkově)
NMHC	nemetanické uhlovodíky
NO _x	oxidy dusíku (celkově)
SO _x	oxidy síry (celkově)
PAH	polycyklické aromatické uhlovodíky
MTBE	metyltercbutyleter

Seznam definic

Spalovací motor - základní hnací jednotka silničních motorových vozidel. Podle způsobu pracovního procesu jsou užívány motory:

- a) zážehové - směs paliva se vzduchem je v nich zapalována elektrickou jiskrou; základním palivem je benzin,
- b) vznětové - směs paliva je zapalována kompresním teplem vzniklým při stlačení náplně ve válci; základním palivem je motorová nafta.

Palivo - směs uhlovodíků, jejichž chemická energie je ve spalovacím motoru přeměňována přes energii tepelnou na mechanickou práci.

Základní paliva - vyrobená z ropy - jsou:

- a) benzin - směs lehkých uhlovodíků s nižším bodem varu pro motory zážehové,
- b) motorová nafta - směs těžších uhlovodíků pro motory vznětové.

Alternativní paliva - ostatní ropné i neropné produkty, které je možno bez podstatných úprav spalovat v pístových spalovacích motorech. Mezi nejvýznamnější patří:

- a) metanol, etanol,
- b) metylester řepkového oleje,
- c) zemní plyn, propan-butan.

Katalyzátor - zařízení, které pomocí chemických reakcí snižuje oxidačním nebo redukčním procesem obsah některých složek škodlivin (oxidu uhelnatého, uhlovodíků, oxidů dusíku). Jako katalytické látky urychlující reakci slouží především vzácné kovy (platina, rhodium, paladium).

Neřízený katalyzátor - je umístěn v určeném místě výfukového systému, jeho oxidační a redukční účinek je dán pouze okamžitým složením směsi spalované ve válci motoru - tedy jízdním režimem.

Řízený katalyzátor - jeho oxidační a redukční účinek je optimalizován tak, že směšovací poměr směsi palivo - vzduch přiváděné do válce je udržován ve velmi úzké toleranci kolem stechiometrického směšovacího poměru.

Směšovací poměr - číslo udávající poměr mezi množstvím paliva a vzduchu ve směsi, nasávané do válce motoru. Stechiometrický směšovací poměr je hodnota směšovacího

poměru, při níž je do válce motoru nasáváno právě teoreticky nutné množství vzduchu pro spálení daného množství paliva.

Součinitel přebytku vzduchu lambda (λ) - bezrozměrné číslo, vyjadřující složení směsi. Vypočte se ze vztahu:

$$\lambda = G_{vzd} / (L_o \cdot G_p)$$

kde: G_{vzd} množství nasátého vzduchu,
 L_o teoreticky nutné množství vzduchu ke spálení 1 kg paliva,
 G_p množství nasátého paliva.

Je-li: $\lambda < 1$ jde o směs bohatou (s přebytkem paliva),
 $\lambda = 1$ jde o směs ve stechiometrickém poměru,
 $\lambda > 1$ jde o směs chudou.

Lambda sonda - kyslíkový senzor, který zjišťuje množství kyslíku ve výfukových plynech motoru a dává elektronickému systému vstřikování zpětný signál k řízení směšovacího poměru resp. přebytku vzduchu λ .

Zachycovač částic - zařízení, které, především u vznětových motorů, zachycuje pevné a kapalné látky obsažené ve výfukových plynech. Zpravidla rovněž automaticky zajišťuje regeneraci filtračního elementu.

1.0 Úvod

V roce 1950 bylo celkové množství motorových vozidel okolo 53 milionů. Za následujících čtyřicet let se toto množství téměř zdesetinásobilo - překročilo 456 milionů. To znamená, že v průměru množství automobilů vzrostlo o 9,5 milionu ročně. V roce 1994 již celkové množství motorových vozidel překročilo 700 milionů [1]. Samozřejmě, používání automobilů přináší mnoho výhod pro lepší a komfortnější život člověka, ale má i své negativní stránky. Jednou z nejzávažnějších je znečišťování životního prostředí produkty spalování benzinových i dieslových motorů.

Automobilové motory emitují velké množství oxidu uhelnatého, oxidů dusíku, olova a řadu toxických organických látek adsorbovaných na pevné částice. Všechny tyto součásti výfukových plynů pak mohou mít nežádoucí efekt na životní prostředí a lidský organismus. Zpočátku byly tyto problémy markantní pouze v místech silného dopravního ruchu (velká města, centra měst, ap.), ale v současné době je zřejmé, že zvyšující se množství motorových vozidel má za následek globální atmosferické změny, které mohou vést k ovlivnění celkového klimatu naší planety. Vznikající problémy je pak možno rozdělit na regionální (významné pouze v určité oblasti) a globální (celosvětové).

Mezi regionální problémy patří zejména:

a) troposferický ozón

Ačkoli ozón v nižších vrstvách atmosféry nepochází přímo z výfukových plynů automobilových motorů, představují tyto hlavní zdroj ozonových prekurzorů. Expozice ozónem způsobuje zánět spojivek, kašel, dýchací potíže, bolení hlavy, onemocnění horních cest dýchacích, omezení funkce plic a zvýšené riziko pro astmatiky.

Je známo, že výfukové plyny ze spalování paliv způsobují vznik fotochemického smogu, jehož jednou složkou je právě ozón. Zvláště významnou složkou výfukových plynů, jejíž koncentrace koreluje se vznikem fotochemického smogu, jsou aromatické sloučeniny, zvláště pak olefiny. Vznik fotochemického smogu z těchto sloučenin je dále závislý na přítomnosti oxidů dusíku v atmosféře a dostatečné intenzitě UV záření. Oxidy dusíku jsou ve výfukových plynech přítomny rovněž, takže vznik fotochemického smogu je dán interakcí výfukových emisí a slunečního záření.

b) kyselá depozice

Kyselá depozice je výsledkem atmosférického znečištění oxidem siřičitým a oxidy dusíku. Se stoupajícím množstvím motorových vozidel tedy stoupá i význam a podíl zejména oxidů dusíku na celkové kyselé depozici.

Za globální problémy lze považovat:

a) ovlivnění klimatu

Některé složky výfukových plynů (oxid uhličitý, metan, oxid dusný) mohou přispívat ke globálnímu oteplování Země změnami chemických procesů probíhajících v atmosféře a snižováním její propustnosti pro odražené sluneční paprsky. Koncentrace těchto tzv. skleníkových plynů v poslední době značně stoupla. Ostatní složky výfukových plynů, jako oxid uhelnatý, uhlovodíky a oxidy dusíku, zvyšují koncentraci skleníkových plynů nepřímo.

b) ubývání stratosferického ozónu

Skleníkové plyny společně s freony narušují ochrannou vrstvu stratosferického ozónu. Tím se zvyšuje množství UV záření dopadajícího na zemský povrch. To pak představuje značné riziko pro zdraví, zvyšuje procento vzniku rakoviny kůže a celkově poškozují imunitní systém člověka.

2.0 Zdroje emisí z automobilové dopravy

Automobilová doprava je jedním z nejvýznamnějších zdrojů znečištění ovzduší vůbec. Odhad množství škodlivin emitovaných ve výfukových plynech automobilových motorů a jejich podíl na celkovém znečištění v bývalé ČSFR ukazuje tabulka [2]:

Zdroj znečištění	CO		HC		NO _x		částice	
	1000 t/r	%	1000 t/r	%	1000 t/r	%	1000 t/r	%
veškeré zdroje celkem	1156	100	203	100	1055	100	1144	100
osobní automobily	440	38	43	19,8	45	4,3	0,41	0,02
užitkové automobily	30	2,6	15	7,4	110	10,4	13,7	1,2

Emise z provozu spalovacích motorů pocházejí ze čtyř hlavních zdrojů [3]:

- výfukové plyny (60%),
- odvětrávání klikové skříně (20%),
- ztráty odparem ze zplyňovacího zařízení (10%),
- ztráty odparem z benzínové nádrže (10%).

Nejzávažnějším zdrojem jsou výfukové plyny. Jejich složení je ovlivňováno jak chemickými a fyzikálně-chemickými vlastnostmi paliva, tak konstrukcí pohonné jednotky (zejména konstrukcí spalovacího prostoru, způsobem přípravy palivové směsi a konstrukcí výfukového systému). Při odvětrávání klikové skříně se stále častěji používá nucené odvětrávání do spalovacího prostoru, a proto tento zdroj ztrácí na významu. Zbývající druhy ztrát nejsou považovány za tak významné, i když se uvažuje např. o možnosti snížení emisí odparem z nádrže odsáváním benzinových par při čerpání pohonných hmot.

Prostředky ke snižování obsahu škodlivin ve výfukových plynech spalovacích motorů lze rozdělit do čtyř kategorií:

1) zdokonalování nových výrobků buď modernizací vyráběných nebo zaváděním nových

Z technického hlediska je možno tyto postupy rozdělit na aktivní - snižování tvorby škodlivin přímo ve zdroji (pracovním procesu motoru) - a pasivní - likvidace nebo přeměna vzniklých škodlivin na složky neškodné či méně škodlivé. Toto dělení nevylučuje ani kombinaci obou přístupů.

2) zabezpečování dobrého technického stavu provozovaných vozidel

Cílem je zajištění dlouhodobé stability emisních parametrů na úrovni blízké hodnotám počátečním garantovaným výrobcem. Toho lze dosáhnout:

- vysokou kvalitou nových výrobků,
- dobře organizovaným a kontrolovaným systémem preventivní péče o vozidlo.

V ČR i v dalších zemích je tento požadavek zabezpečován systémem povinných emisních kontrol motorových vozidel. Pokud motor překračuje emisní limity je opraven a podroben opakované zkoušce.

3) zlepšování původních emisních parametrů vozidel jejich dodatečnými úpravami
Tuto metodu je možno využít pouze při splnění následujících předpokladů:

- dodatečné úpravy negativně neovlivní funkci a parametry zařízení,
- nesníží se životnost a spolehlivost zařízení,
- není v rozporu s jinými předpisy a normami.

V ČR se tento přístup využívá zejména u starších nákladních automobilů a autobusů se vznětovými motory vyšších výkonů. U osobních automobilů byla zvolena cesta postupné obnovy vozového parku za nová vozidla vybavená katalyzátory.

4) zlepšování parametrů motorových paliv a olejů.

3.0 Složení výfukových plynů

Existuje mnoho zdrojů atmosferického znečištění, jedním z nejdůležitějších a nejzávažnějších je znečištění výfukovými plyny automobilových motorů. Tato závažnost je dána obrovským množstvím motorových vozidel, množstvím a různorodostí emitovaných polutantů, a v nemalé míře také faktem, že jsou tyto polutanty emitovány právě do té vrstvy atmosféry, kterou člověk bezprostředně dýchá. Složky výfukových plynů zhoršují zdraví, narušují vegetaci a negativně působí na celkovou kvalitu života. Patří mezi ně [1, 3, 4]:

♦ Oxid uhelnatý (CO)

Bezbarvý plyn bez zápachu, toxický. Vzniká z paliv obsahujících uhlík při nedokonalém spalování. Může způsobovat zvýšení koncentrace troposferického ozónu a metanu tím, že napomáhá přeměně NO na NO₂, což je základní krok ve vzniku ozónu; dále odstraňuje z atmosféry hydroxylový radikál, který je nutný pro snižování koncentrace ozónu a metanu. Jestliže se tedy zvýší koncentrace CO, sníží se koncentrace OH radikálu a koncentrace ozónu a metanu se zvýší.

Jde o produkt nedokonalého hoření paliva. Rozhodujícím faktorem ovlivňujícím výšku emisí CO je příprava, distribuce a bohatost směsi. Ve výfukových plynech zážehového motoru (bez katalyzátoru) je obvykle 12% CO při volnoběhu, 8% při zrychlování a 3-5% při brzdění. Dvojtaktní motory produkují CO více, vznětové méně (0-0.06%).

♦ Uhlovodíky (HC)

Souhrnný pojem uhlovodíky zahrnuje nespálené uhlovodíky z paliva, produkty jejich částečné oxidace a uhlovodíky nově vzniklé termochemickými reakcemi během spalovacího procesu.

Počet těchto sloučenin ve výfukových plynech se odhaduje na 200 od těch nejjednodušších, přes částečně naoxidované (např. aldehydy) až po složité polyaromáty. Napomáhají vzniku fotochemického smogu, zapáchají a některé z nich jsou karcinogenní. Na jejich produkci se podílejí všechny vlivy podporující vznik oxidu uhelnatého.

Nejnebezpečnější z nich - polycyklické aromatické uhlovodíky (PAH) se v emisích vyskytují v koncentracích 100-400 µg.m⁻³ u zážehových (z dvojtaktních motorů více) a 0-100 µg.m⁻³ u vznětových motorů. Jsou produktem termální syntézy probíhající během nedokonalého spalování a jejich přítomnost ve výfukových plynech se začala sledovat poměrně nedávno. Vedla k tomu zjištění o možných karcinogenních a mutagenních účincích. Největší pozornost se věnuje anthracenu, fenantrenu, fluoranthenu, pyrenu, chysenu, benzo(a)anthracenu, benzo(b)fluoranthenu, benzo(k)fluoranthenu, benzo(a)pyrenu, benzo(e)pyrenu, dibenzo(a,c)anthracenu, dibenzo(a,h)anthracenu, benzo(g,h,i)perylenu, indeno(1,2,3-cd)pyrenu, dibenzopyrenům a koronenu.

Emise PAH byly v rámci oficiálních testů na obsah CO, HC a NO_x sledovány u vozů s třístupným řízeným katalyzátorem. Při zapojeném katalyzátoru poklesly jejich emise o 80 - 99% proti stavu s vyřazeným katalyzátorem [5].

♦ Oxidy dusíku (NO_x)

Oxidy dusíku emitované z automobilových motorů do atmosféry způsobují značné množství nežádoucích škodlivých efektů na zdraví populace a životní prostředí. Přímá expozice NO₂ vede ke zvýšené náchylnosti infekce respiračního ústrojí a celkovému zhoršení funkce dýchacích orgánů. Krátkodobá expozice NO₂ způsobuje respirační problémy (kašel, rýma, bolest v krku), a představuje riziko převážně pro děti, alergiky a astmatiky. V atmosféře mohou reagovat s uhlovodíky za vzniku ozónu a jiných vysoce toxických polutantů. Vedle oxidu siřičitého představují druhý nejzávažnější zdroj kyselých dešťů. Mnoho vědců se domnívá, že právě oxidy dusíku jsou příčinou vymírání lesů ve střední Evropě.

Nacházejí se v emisích ze zážehových i vznětových motorů. Při jízdě na plný plyn dosahuje koncentrace NO_x u zážehových motorů 8.0 g.m⁻³, u vznětových 1.8 g.m⁻³. Jejich vznik způsobují vysoké teploty ve spalovacím prostoru, za nichž dochází k oxidaci vzdušného dusíku.

♦ Oxidy síry (SO_x)

Podíl emisí oxidů síry ze spalovacích motorů na jejich celkových emisích z průmyslu je zanedbatelný. Jsou produkovány především vznětovými motory. Protože obsah síry v motorové naftě neustále klesá, klesají i jejich emise ze spalovacích motorů.

♦ Olovo (Pb)

V mnoha zemích je olovo stále přidáváno do benzínu ve formě tetraethylolova či tetramethylolova jako antidetonátor pro zvýšení oktanového čísla. Proto výfukové plyny představují hlavní zdroj olova v atmosféře mnoha měst. Olovo způsobuje problémy s chováním, nižší IQ a snižuje schopnost se soustředit.

Obsah olova v našich olovnatých benzinech poklesl z 0.4-0.6 g/l až na současných 0.15 g/l. Z tohoto množství se dostává do ovzduší 8-80% pomocí tzv. vynašečů olova (látek zabraňujících hromadění olova ve spalovacím prostoru motoru). Velikost emitovaných částic olova se pohybuje v rozmezí od 0.01 μm do 10 μm.

Přestože názory na škodlivost olova v benzínu se různí a jeho zastánci argumentují nutností nahradit olovo v benzínu karcinogenními aromatickými uhlovodíky, celosvětový trend vede k úplnému odstranění olova z benzinů.

♦ Pevné částice z dieselových motorů

Tyto částičky jsou většinou složeny ze tří součástí. Saze (vznikají jako produkt nedokonalého spalování bohatých směsí) těžké uhlovodíky kondenzované nebo adsorbované na saze a sulfáty. U starších dieselových motorů představovaly saze 40 až 80% z celkového množství pevných částic a ve výfukových plynech se nacházely v koncentracích kolem 1.1 g.m⁻³, resp. 17 kg na 1 t spotřebovaného paliva. Saze jsou rovněž součástí výfukových plynů u dvoutaktních motorů (kolem 0.4 g.m⁻³). Vývoj nových dieselových motorů však množství sazí značně zredukoval.

Saze jsou tuhé částice velikosti 0.3-100 μm. Těžké uhlovodíky kondenzované nebo naadsorbované na saze se zpravidla označují jako rozpustná organická frakce a pocházejí zčásti z mazacích olejů, zčásti z nespáleného paliva a zčásti ze sloučenin vznikajících během spalování. Co se týče vlivů na zdraví, v roce 1988 byly pevné částice z dieselových motorů označeny za pravděpodobné karcinogeny.

♦ Další toxické látky

Tyto látky již byly zmíněny v souhrnném bodě jako uhlovodíky. Vzhledem k rizikosti jejich vlastností ve vztahu ke člověku se však v poslední době z této skupiny některé z nich vyčleňují. K nejtoxičtějším látkám patří 1,3-butadien, který je karcinogenní a představuje 58-72% rizika všech toxických látek přítomných ve výfukových plynech. Z dalších nebezpečných látek je to benzen (10%) a aldehydy - převážně formaldehyd (4%) a acetaldehyd.

Souhrnný přehled hlavních druhů emisí ve výfukových plynech automobilového motoru a způsoby jejich legislativního omezení podávají následující tabulky [2]:

legislativně přímo omezené	plynné a aerosolové	oxid uhelnatý (CO)
----------------------------	---------------------	--------------------

škodliviny		uhlovodíky (HC) oxidy dusíku (NO _x) kouřivost a částice (jen u naftových motorů)
legislativně nepřímě omezené škodliviny	cestou limitů složení paliva	oxid siřičitý některé uhlovodíky
legislativními limity dosud neomezené škodliviny	vyvolávající zápach	přes 1000 sloučenin včetně aldehydů
	iritující zrak	zejména aldehydy
	karcinogenní a mutagenní	zejména polycyklické aromatické uhlovodíky (PAHs, PAU)
legislativou metodicky nepodchycené pracovní režimy motoru se zvýšenými emisemi	přechodné neustálené stavy zatížení motoru	CO, HC, NO _x kouřivost, částice
	přechodné období nízké provozní teploty okolí	HC, bílý kouř, částice, aldehydy, zápach

Charakteristické složení výfukových plynů spalovacího motoru

složka výfukových plynů	druh	motor zážehový (benzinový)		motor vznětový (naftový)	
		kg/kg paliva	kg/l paliva	kg/kg paliva	kg/l paliva
výfukové plyny celkem		15,7	11,7	44,1	36,6
O ₂	neškodné dosud neomezené	0,17	0,10	6,68	5,54
N ₂		11,5	8,6	33,5	27,8
H ₂ O		1,33	0,99	1,17	0,97
CO ₂		2,71	2,02	3,15	2,61
CO	omezené předpisy	0,22	0,17	0,013	0,010
HC		0,020	0,015	0,0031	0,0025
NO _x		0,017	0,013	0,013	0,010
částice		0,0002	0,00014	0,0025	0,0021
SO ₂	omezené nepřímě	0,0003	0,0002	0,044	0,037
SO ₄		0,00002	0,00003	0,072	0,060

4.0 Vliv typu motoru

4.1 Zážehové motory

Jsou to motory spalující různé typy benzinů. Ve válcích motoru se stlačuje zápalná směs benzinu se vzduchem a po stlačení se zapálí elektrickým výbojem (jiskrou). Podle přípravy směsi rozeznáváme karburální - zápalná směs se připravuje v karburátoru - a vstřikovací motory - zápalná směs se vytvoří vstříknutím paliva do prostoru válce na počátku komprese [2, 3].

Stechiometrické množství vzduchu pro spálení 1 kg benzinu je (dle složení paliva) 14.6-15 kg. Protože promíchání paliva se vzduchem nebývá dokonalé, není ani směšovací poměr vždy stechiometrický. Většina, zejména starších motorů, proto pracuje se směsí o něco bohatší než ideální směs.

4.1.1 Dosavadní vývoj

Zlepšování pracovního procesu motoru je nepřetržitý proces, kterým se výrobci motorových vozidel od počátku 70-tých let snaží vyhovět zákonným předpisům omezujícím výšku emisí ze spalovacích motorů. V dosavadním procesu vývoje zážehových motorů se uplatnily především tyto úpravy [2]:

- zdokonalování karburátorů, zajišťujících přípravu směsi. Zlepšení se týkala všech systémů karburátoru, počínaje funkcí sytiče, volnoběhu, akcelerační i stálých zatížení a konče elektronickým dávkováním paliva,
- zlepšování výměny náplně snižováním průtočných odporů a zajišťováním požadovaného rozvíření náplně ve válci. Řešení se dotýkala jak vlastních sacích a výfukových potrubí, tak úprav kanálů v hlavě válce, změn tvaru, průřezů a počtu ventilů, u řady motorů se uplatnil přechod na 3 až 4 ventilové provedení.
- úpravy rozvodového mechanismu, spočívající ve stanovení vhodného tvaru vačky a časování rozvodu. Součástí řešení rozvodového mechanismu byly také úpravy ventilů a jejich sedel pro spalování bezolovnatých benzinů.
- optimalizace kompresního poměru a tvaru spalovacího prostoru,
- zdokonalování funkce zapalovacího systému a jeho regulace, zejména předstihu zážehu,
- zkrácení doby ohřevu motoru rekonstrukcemi chladicího systému.

Po dlouhou dobu byl výsledný efekt těchto úprav postačující pro plnění stanovených emisních limitů. Například u vozů Škoda bylo v tomto období dosaženo snížení emisí CO o 84% a HC o 43%. Pouze u NO_x byl výsledný efekt nevýrazný a musely být použity dodatečné úpravy.

4.1.2 Očekávaný vývoj

Do budoucna lze počítat s vývojem a úpravami zážehových motorů zejména v těchto směrech [2]:

- použití nových materiálů, nahrazení kovu keramickými součástmi, hliníkové hlavy válců umožňující díky lepšímu vedení tepla snížit teplotu stěn spalovacího prostoru. Všechny tyto úpravy by měly vést ke zmenšení tvorby úsad a produkce NO_x.
- kompaktní spalovací prostor s krátkou cestou plamene a minimálními škodlivými prostory snižuje emise HC. Proto lepší výsledky vykazují čtyřventilová uspořádání motoru s centrální polohou zapalovací svíčky.

- časování ventilů s úpravami překrytí v otevření ventilů; může být dosaženo snížení HC emisí a při zachování určitého podílu výfukových plynů v čerstvé náplni (vnitřní recirkulace) dochází i ke snížení maximálních spalovacích teplot doprovázenému snížením tvorby NO_x ,
- kompresní poměr - jeho zvyšováním se zlepšuje účinnost hoření, zvyšuje se však maximální spalovací teplota a tím i emise NO_x ,
- směšovací poměr - emise CO i HC se snižují při ochuzování směsi a minima dosahují při $\lambda = 1.05 - 1.1$. Naproti tomu tvorba NO_x s ochuzováním směsi stoupá a dosahuje maxima při $\lambda = 1 - 1.05$.

Účinek naznačených úprav nelze předem kvantitativně zhodnotit, ovšem žádnou skutečně výraznou změnu ve velikosti emisí ze zážehových motorů zřejmě nepřinesou. Jde totiž především o optimalizaci již započatých změn a jejich význam proto bude spíše dílčí.

Ke splnění stále se zpřísňujících emisních limitů, je nutno přistoupit k radikálnějšímu řešení. Tím je zařazení katalytického zařízení (katalyzátoru) do výfukového traktu vozidla. V současné době se u zážehových motorů používají převážně tzv. třístenné katalyzátory.

4.2 Vznětové motory

Jde o motory, spalující motorovou naftu. Nepotřebují ani karburátor, ani zapalování směsi elektrickou zapalovací svíčkou. Do válce se nasává čistý vzduch, který se stlačením ohřeje až na zápalnou teplotu paliva. V tom okamžiku se do válce vstříkne nafta, která se v přebytku horkého vzduchu vznítí. Hořící směs tlačí na píst a vykonává tak mechanickou práci [2 - 4]. Nadbytek vzduchu ve spalovacím prostoru je 20-600% (při menším nadbytku roste kouřivost), a proto je spalování dokonalejší než u zážehových motorů a emise CO a HC jsou výrazně nižší.

Výška jejich podílu na emisích z dopravy vyplývá z velkých zdvihových objemů a výkonů těchto motorů, využívaných jako pohonné jednotky zejména u těžších užitkových automobilů. Emisní limity pro tento typ motorů jsou stanoveny kromě obvyklých CO, HC a NO_x i pro kouřivost a částice ve výfukových plynech. Sloučeniny síry jsou limitovány nepřímo, omezením obsahu síry v motorové naftě.

Jak již bylo řečeno, vyšší obsah kyslíku ve spalínách způsobuje, že stávající limity pro CO a HC tyto motory splňují bez vážnějších problémů. Klíčové je zde řešení emisí NO_x , částic a snížení kouřivosti. Velikost emitovaných částic se převážně pohybuje do 0,001 mm a jejich velké množství patří do respirabilní frakce (jsou schopny vniknout do plic, kde se usazují). Značná část těchto částic také vykazuje karcinogenní účinky.

4.2.1 Dosavadní vývoj

Technické omezení obsahu těchto složek výfukových plynů je poměrně obtížné, protože dílčí úpravy motorů působí často protichůdně (např. snížení obsahu NO_x může vést ke zvýšení obsahu částic, kouřivosti a měrné spotřeby motoru). Přesto se většina výzkumů na omezení emisí ze vznětových motorů soustředila na zlepšení pracovního procesu motoru (tzv. aktivní opatření). Některá vylepšení se již dnes stala standardním vybavením nových vozidel. Jde zejména o [2]:

- přeplňování pomocí turbodmychadla (vzduch je do spalovacího prostoru vháněn pod tlakem), zpočátku u jednotek s výkony nad 150 kW, nyní i u menších motorů (od 50 kW),
- chlazení plnicího vzduchu, především tzv. systémem vzduch-vzduch, kdy je stlačený plnicí vzduch z turbodmychadla ochlazován vzduchem. To umožňuje snížit jeho teplotu z cca 120-150 °C na 60-70 °C,

- zkvalitnění přípravy směsi ve válci změnami tvaru sacích a výfukových kanálů, počtem sacích i výfukových ventilů, časováním ventilového vzduchu, tvarem spalovacího prostoru a vhodnou volbou kompresního poměru,
- podstatné zvýšení výkonových parametrů vstřikovacího zařízení, zejména zvýšení vstřikovacích tlaků na 100-150 MPa, zkrácení doby výstřiku a zkvalitnění rozprachu paliva ve válci použitím víceotvorových trysek (5-7 otvorů),
- regulace předstřiku v závislosti na otáčkách i zatížení.

Soubor těchto opatření uplatněný u většiny nových nebo modernizovaných motorů umožnil splnit i velmi náročné limity, stanovené předpisem EHK 49.02 (nebo jeho obdobou EURO I v zemích ES), což bylo prokázáno homologačními zkouškami tuzemských i zahraničních typů motorů.

4.2.2 Očekávaný vývoj

Uvedená řešení, obdobně jako požadavky předpisů, nejsou konečná. Velké naděje jsou v současné době vkládány do elektronických systémů řízení, které umožní proces přípravy směsi i vlastní spalování řídit v závislosti na větším počtu vstupních parametrů. Řadová vstřikovací čerpadla mohou být k dalšímu zlepšení parametrů vstřiku nahrazena "sdruženou vstřikovací jednotkou", ve které je konstrukčně spojena výtlačná jednotka řadového čerpadla s vlastním vstřikovačem a tryskou. Dojde tak k dalšímu snížení škodlivých prostorů, snížení hydraulické pružnosti systému a snížení tlakových ztrát. Mimo dalšího zvýšení vstřikovacích tlaků se tak dosáhne zvýšení citlivosti regulace.

Tyto modernizační kroky by měly umožnit splnění limitů u nových motorů i přes jejich další očekávané zpřísnění, aniž by bylo nutno instalovat přídatná filtrační zařízení do výfukových systémů.

Požadavky na omezování emisí z dopravy vedou v zemích s vysokým podílem starších vozidel a v městských aglomeracích s vysokou koncentrací vozidel k širšímu využití přídatných zařízení dodatečně montovaných do výfukového potrubí vozidla. Existují dvě základní technická řešení těchto zařízení [2]:

- katalyzátor - vzhledem k trvalému přebytku vzduchu ve výfukových plynech vznětového motoru přichází v úvahu použití oxidačního katalyzátoru s účinkem na snížení emise CO, HC a jen částečným nízkým účinkem na snížení emise částic. Další složky (NO_x , kouřivost) nejsou použitím tohoto typu katalyzátoru ovlivněny.
- zachycovač částic - v principu se jedná o filtrační zařízení, které ve filtračním elementu zachycuje pevné a kapalné látky obsažené ve výfukových plynech. Je tvořen buď keramickým monolytickým tělesem nebo keramickou tkaninou nasunutou na nosných trubkách. Protože převažující látkou částic jsou spalitelné saze příp. kapičky paliva a oleje, jsou filtrační elementy po dosažení předepsaného zanešení regenerovány vypálením při teplotě 600-650 °C (zápalná teplota sazí). K dosažení regenerační teploty slouží nejčastěji naftový hořák nebo ohřev elektrickým proudem, jejichž ovládání je automatické, nezávislé na řidiči. Zachycovače částic snižují emise částic s účinností 80-90% a současně výrazně snižují opticky viditelnou kouřivost motoru. V menší míře snižují i emise uhlovodíků o podíl kapalných zbytků nespáleného paliva a oleje. Emise CO a NO_x neovlivňují.

Kromě výše zmíněných úprav motoru a instalace přídatných zařízení jsou rozvíjeny i další varianty omezování emisí ze vznětových motorů. Za nejdůležitější lze označit náhradu klasických ropných paliv alternativními palivy. Nejčastější řešení využívají:

- plynná paliva (stlačený zemní plyn či propan-butan),
- metylester řepkového oleje nebo jeho směsi s dalšími uhlovodíky (tzv. bionafta),

- kapalná paliva jako metanol nebo etanol.

U všech řešení (zejména v nákladní dopravě), kromě technických a ekologických, spolurozhodují i ekonomické faktory, tedy cena za snížení emisí. Dalším problémem při instalaci přídatných zařízení, může být změna homologačních podmínek vozidla a tedy i požadavek na opakování části homologačních zkoušek. Za všech okolností je však nutné využívat pouze ta vylepšení motorů, která při snížení jedné škodliviny nevedou ke zvýšení jiné.

5.0 Vliv katalyzátoru

Katalytické konvertory výfukových plynů (zkráceně nazývané katalyzátory) představují jednu z cest k podstatnému omezení škodlivých emisí ve spalínách zejména ze zážehových motorů [2, 5]. Počátek jejich masového rozšíření v USA se u nově vyrobených automobilů se zážehovými motory datuje od roku 1975. Od roku 1981 je jimi v USA vybavena celá produkce nových vozů a předpokládá se, že v současnosti jsou instalovány v 90% všech automobilů se zážehovými motory. Všeobecně rozšířeny jsou katalyzátory i v Kanadě a Japonsku. V ES musí být od října 1989 vybaveny katalyzátory všechny nové modely automobilů s objemem válců nad 2000 ccm a od ledna 1993 nově vyrobené automobily všech objemových tříd.

Katalytický systém zážehového motoru musí splňovat požadavky na účinnou oxidaci oxidu uhelnatého a uhlovodíků na oxid uhličitý a redukci oxidů dusíku na dusík. Obecný název těchto systémů je třicestné katalyzátory. Musí zaručovat vysokou účinnost v širokém rozsahu pracovních teplot (25 - 950 °C), při různých režimech jízdy a musí být odolný vůči některým přísadám do paliv a maziv. Rovněž musí po mechanické stránce snášet prudké změny teplot, otřesy a být odolný proti otěru po celou dobu životnosti (více než 80000 km).

Existují dvě hlavní skupiny katalyzátorů s oxidačně-redukčními schopnostmi. První jsou platinové kovy (Pt, Pd, Rh), druhá směsi oxidů kovů (NiO, Cr₂O₃, CuO, MnO₂). Jako alternativa, pro účinnou redukci NO_x v oxidační atmosféře plynů vzniklých spalováním chudých směsí, se používají vzácné kovy nanesené na zeolitech nebo na bázi karbidů niobu a chromu. V současnosti nejrozšířenější katalytické systémy používají platinové kovy nanesené na monolytický, kovový nebo keramický nosič. Pro zvětšení oxidační kapacity katalyzátoru, potřebné pro udržení účinnosti v neustálených provozních režimech (studený start, prudká akcelerace), je na povrch nosiče nanesen ještě oxid ceričitý.

Moderní katalyzátory nemají oddělenou oxidační a redukční část (tzv. dual bed system), obě reakce probíhají v jednom bloku. V řízeném uspořádání, v kombinaci s elektronickým systémem optimalizujícím složení dávkované směsi palivo-vzduch na základě obsahu kyslíku detekovaného v emisích ze spalovacího prostoru, dosahují tyto katalyzátory v ustáleném provozu 90% účinnosti v oxidaci CO a HC a redukci NO_x. V neřízeném uspořádání účinnost klesá na přibližně 50%. Testováním řízených katalyzátorů bylo rovněž zjištěno, že s 90% účinností eliminují ze spalín i toxické organické sloučeniny (aldehydy, polyaromatické uhlovodíky a nitropolyaromáty).

Životnost katalyzátoru negativně ovlivňuje především nevratná deaktivace katalyzátorové náplně tzv. katalytickými jedy [5]. Katalyzátory na bázi platinových kovů jsou v tomto směru nejvíce citlivé na olovo, síru, fosfor a na některé konstrukční kovy (železo, nikl, chrom). V ČR představuje největší problém přítomnost olova v palivu. ČSN pro bezolovnatý benzin připouští obsah olova v palivu až 0,013 g Pb.l⁻¹. Pokud by palivo skutečně obsahovalo tuto koncentraci olova, byl by katalyzátor nefunkční již po ujetí asi 7000 km. Účinek fosforu, který je součástí přísad mazacích prostředků, se od olova téměř neliší. Riziko otravy katalyzátoru je však vzhledem k jeho nižší koncentraci ve spalínách menší. Příspěvek síry k

desaktivaci katalyzátoru je ve srovnání s předchozími zanedbatelný, ale paliva se zvýšeným obsahem síry (0,04% hm.) mohou způsobit pokles účinnosti katalyzátoru o 10 - 15%.

U nových třicestných katalyzátorů (do ujetí cca 2000 km) se obsah síry v palivu může projevit i přítomností sulfanu H_2S na výstupu z katalyzátoru. Jde o stopové koncentrace bez významných zdravotních rizik avšak obtěžující okolí nepříjemným zápachem. Je to důsledkem redukce sulfátů vytvořených vlivem oxidační kapacity oxidu ceričitého.

Pokles aktivity katalyzátoru může souviset s vyšším zastoupením kyslíkatých sloučenin v benzinech. Ty se pak v neustálených provozních režimech mohou podílet na vzniku oxidační atmosféry spalin. Je-li zároveň katalyzátor vystaven vyšší teplotě (kolem 850 °C), může kombinací obou vlivů dojít ke ztrátě funkčnosti. Obecně však katalyzátory dobře snášejí i dlouhodobé působení teplot vyšších (až 930 °C). Přímá tepelná destrukce (sintrace) hrozí pouze u katalyzátorů umístěných v těsné blízkosti výstupu plynů ze spalovacího prostoru motoru.

Dlouhodobé provozní zkoušky ukázaly, že proces stárnutí katalyzátorů se začíná projevovat zhruba po ujetí 10000 km poklesem účinnosti oxidace. Schopnost redukce oxidů dusíku si katalyzátor uchovává po celou dobu životnosti, t.j. více než 80000 km.

5.1 Očekávaný vývoj

Značné úsilí je nyní věnováno zlepšení funkce katalyzátorů v neustálených provozních režimech, zejména při studeném startu, kdy jsou emise z motoru nejvyšší, ale katalyzátor je ještě není schopen eliminovat. Pro zvýšení účinnosti jsou zde využívány [5]:

- systémy s recirkulací spalin,
- konstrukce s minimální vzdáleností těla katalyzátoru od vyústění výfukového potrubí z motorového bloku,
- systémy s předřazeným, tzv. startovacím katalyzátorem,
- systémy s elektricky vyhříváním katalyzátorem a s dodatečným přisáváním vzduchu.

Dalšími možnostmi jsou zvětšení objemu katalyzátoru nebo zvýšení obsahu platinových kovů v něm. Ty však nejsou z praktických a ekonomických důvodů podporovány.

Jako nejperspektivnější se jeví systémy zvyšující účinnost kombinací recirkulace spalin a elektrického vyhřívání katalyzátorového lože. Toto uspořádání je schopno snížit emise CO a HC o dalších 65 - 80% v porovnání s klasickým řízeným třicestným katalyzátorem.

6.0 ***Vliv typu a složení paliva***

Automobilový benzin je směsí uhlovodíků, popř. kyslíkatých sloučenin, jejichž destilační rozmezí se pohybuje v intervalu cca 30 - 215 °C [5]. Jedná se tedy o značně těkavé kapaliny, které se odpařují jak při manipulaci, tak v palivovém systému samotných automobilů. Složení emisí vzniklých odparem, stejně jako spalováním v motoru, je do značné míry ovlivněno chemickým složením paliva. V případě výfukových plynů hraje podstatnou roli rovněž konstrukce motoru a režim spalování.

Nejdůležitější změnou ve složení automobilových benzinů za posledních dvacet let bylo postupné omezování obsahu olova jako antidetonační přísady a uvedení bezolovnatých benzinů na trh v USA počátkem 70-tých let [6]. Tato změna měla dva základní důvody. Prvním byly toxikologické vlastnosti olova, druhým jeho negativní působení na nově

zaváděné, zejména po zesílení problémů se smogem v Kalifornii, katalytické konvertory výfukových plynů (otrava olovem).

Zatímco v USA a Japonsku byly bezolovnaté benziny určeny pouze pro použití ve vozech vybavených katalyzátory, v Evropě bylo zavádění katalyzátorů pomalejší a levnější (často vládami z "ekologických" důvodů dotované) bezolovnaté benziny se začaly používat i ve starších typech vozidel. Tento stav trvá doposud a například ve Velké Británii bylo na konci roku 1994 vybaveno katalyzátory zhruba 15% vozidel, ale bezolovnatý benzin jich používalo přes 55%.

Tato změna měla, kromě výrazného zlepšení v oblasti emisí olova, i negativní důsledky. Aby nedošlo k výraznému snížení oktanového čísla benzinů, bylo olovo jako antidetonátor nahrazeno zvýšeným obsahem benzenu a polyaromatických uhlovodíků. To dokumentuje následující tabulka [6]:

země	průměrný obsah aromatických uhlovodíků [%]	
	za poslední 3 roky používání olovnatého (0.4 g/l) benzinu	za první 3 roky používání bezolovnatého benzinu
Velká Británie	30.47	35.70
Německo	37.20	39.23
Francie	29.10	40.10
Itálie	28.40	39.07

I když je patrná snaha výrobců po snížení obsahu aromatických uhlovodíků a zejména benzenu v palivech, přechod na bezolovnaté benziny je v této oblasti stále zřetelný. V následující tabulce je uvedeno srovnání obsahů benzenu a aromátů v různých typech benzinů prodávaných ve Velké Británii v roce 1994 [6]:

typ benzinu / oktanové číslo	obsah aromátů [%]	obsah benzenu [%]
olovnatý (0.15 g/l) / 98	25.9	1.7
bezolovnatý / 95	31.0	2.0
bezolovnatý / 98	39.1	2.5

Benzen, jako jedna ze složek výfukových plynů [x5], však má karcinogenní a genotoxické účinky. Hlavním zdrojem jeho emisí do ovzduší jsou právě motorová vozidla. Proto byl jeho maximální přípustný obsah v benzinu omezen ve většině zemí na 5%. Běžně vyráběné benziny obsahují méně než 2-3% benzenu. Benzen ve výfukových plynech pochází ze dvou zdrojů. Část je nespáleným zbytkem benzenu obsaženého v palivu, druhá část pochází z nedokonale spálených vyšších aromatických uhlovodíků (dealkylací C₇ - C₁₂ aromátů). Příspěvek 1% obj. benzenu zhruba odpovídá příspěvku 10% obj. ostatních aromatických uhlovodíků v palivu. Nejjednodušším řešením by se zdála být redukce obsahu benzenu v palivu. Ta by však sama o sobě vedla ke zhoršení spalovacích vlastností benzinu (snížení oktanového čísla). Tomu se dá předejít přidávkou přísad odstraňujících klepání motoru, popř. kyslíkatých sloučenin jako MTBE, které spalovací vlastnosti zlepšují [5]. Ekonomická náročnost technologií k odstraňování benzenu z paliv a jeho dalšímu zpracování však vedla prozatím k pomalejšímu prosazování takto upravených (reformulovaných) benzinů na trhu. Použitím katalyzátoru se obsah benzenu ve výfukových plynech sníží až o 80%.

Podle studií prováděných ve Velké Británii [6] se u vozů bez katalyzátoru používajících bezolovnatý benzin zvýší emise benzenu o 23% (95 oktanů) resp. o 51% (pro 98 oktanový benzin). Vzhledem k tomu, že stále roste počet automobilů spalujících

bezolovnatý benzin bez použití katalyzátoru, je předpoklad, že maxima emisí u benzenu ještě nebylo dosaženo a situace se bude, zejména ve státech střední a východní Evropy dále zhoršovat. Vybavení rozhodující většiny vozů katalyzátory nebude v Evropě pravděpodobně dosaženo dříve, než za 10 let (v Rakousku se počítá s ukončením tohoto procesu do roku 2007 [7]). Další nebezpečí, zejména v méně rozvinutých zemích, plyne z možnosti používání bezolovnatých benzinů ve vozech jejichž katalyzátor již překročil dobu životnosti nebo je "otráven" použitím olovnatého benzinu. Vzhledem k vesměs horší údržbě takových automobilů, emise benzenu z nich jsou srovnatelné či vyšší než u vozů katalyzátory vůbec nevybavených.

Uvedený příklad ukazuje, že neexistuje palivo, kterému by se byť s nadsázkou dalo říkat "zelený" benzin. Všechny typy benzinů jsou při spalování potenciálním zdrojem nebezpečných emisí. Proto je třeba věnovat maximální pozornost poznání vztahů mezi složením paliva a emisemi z jeho spalování v různých typech motorů.

V současné době nabývá na významu výroba tzv. reformulovaných benzinů, jejichž složení je ovlivňováno přísadami zejména oxysloučenin tak, aby se omezily emise vyhláškami sledovaných látek (t.j. CO, HC a NO_x) ze spalovacích motorů na nejnížší možnou úroveň. Kyslíkaté sloučeniny přidávané do autobenzinů vnášejí do paliva část kyslíku potřebného ke spalování. Dochází tak ke zlepšení spalovacího procesu a ke snížení obsahu HC a CO ve výfukových plynech. Tento vliv je patrný zejména u starších vozidel vybavených karburátory, kde se nižší technická úroveň karburátoru, popř. katalyzátoru projevuje vyšší koncentrací škodlivin v emisích ze spalování čistě uhlovodíkových paliv. Přídavek 2,7% hm. kyslíku ve formě kyslíkatých sloučenin (např. etanolu) do benzinu se projeví přibližně 15% snížením obsahu HC a 25% snížením obsahu CO ve výfukových plynech. Ještě lepších výsledků je dosahováno přidávkou methyltercbutyleteru (MTBE). Přítomnost kyslíkatých složek v benzinu také snižuje teplotu hoření palivové směsi, což snižuje obsah NO_x ve výfukových plynech. Toto snížení však podle novějších studií není příliš významné, protože oxidace vzdušného dusíku ve spalovacím prostoru je ovlivněna především konstrukčním řešením pohonné jednotky.

Již nyní se však ukazuje, že tyto změny mohou, stejně jako v popsaném případě u olova, způsobit zvýšení emisí jiných, dosud málo sledovaných škodlivin jako je formaldehyd. Jejich působení na zdraví člověka pak může být srovnatelné s účinky látek, jejichž obsah se uvedeným opatřením podaří snížit. Cílem veškerých změn ve složení benzinu musí být snížení emisí nebezpečných látek, bez sekundárního zvýšení emise jiných.

Velká pozornost je proto ve světě věnována objasnění vztahů mezi zastoupením uhlovodíkových složek v autobenzinech a složením výfukových plynů. Obecně se předpokládá, že méně reaktivní a oxidačně stálejší uhlovodíky (nasycené uhlovodíky a aromáty) se menší měrou podílejí na tvorbě CO v průběhu spalování, ale zvyšují emise HC. Reaktivnější uhlovodíky (alkeny) vykazují opačný sklon k tvorbě CO a HC. Koncentrace NO_x ve spalínách je pak ovlivněna především teplotou ve spalovacím prostoru.

6.1 Očekávaný vývoj

I když do budoucna celosvětově poroste počet automobilů spalujících alternativní paliva či využívajících elektrický pohon, celkově se dá očekávat, že v nejbližších minimálně deseti letech nedojde k náhradě motorové nafty a benzínu v masovém měřítku.

Výroba automobilových benzinů, jejichž fyzikální a chemické vlastnosti by zaručovaly minimalizaci tvorby škodlivých emisí je z technického hlediska v podstatě zvládnuta. Jde tedy zejména o vytvoření takových ekonomických a legislativních podmínek, které by umožnily širší uplatnění kvalitnějších paliv v praxi [5].

Změny ve složení benzinů vyráběných v ČR s menším zpožděním kopírují vývoj v rozvinutých zemích. Příklad 10-15% metyltercbutyléru (MTBE) umožnil snížení obsahu olova v běžných benzinech z původních 0.6-0.9 g/l na současných 0.15 g/l a výrobu bezolovnatých benzinů. MTBE jako kyslíkatá sloučenina rovněž snižuje exhalace jak u vozů vybavených katalyzátory, tak i u starších typů [8].

Změny ve složení motorové nafty se v nejbližší době budou týkat snížení obsahu síry. Od července 1992 vyrábí Kaučuk Kralupy výhradně nízkosírnou motorovou naftu s obsahem 0.05% hm. síry oproti dřívější 0.15%. Emise oxidů síry z dopravy při použití této nafty poklesnou o více než 60%. U správně seřízených motorů se snížila i kouřivost (o 20%), emise NO_x (13%), HC a CO (2-5%) [8].

Z alternativních paliv je třeba se zmínit především o plynovém pohonu [9, 10]. Pro spalování zemního plynu je ve světě uzpůsobeno cca 0.7 milionu vozidel a další 4 miliony spalují zkapalněný propan-butan. Pomocí relativně jednoduchého zařízení mohou být vozidla schopna kombinovaného provozu na benzin a na propan-butan.

Výhodami plynového pohonu jsou zejména nižší provozní náklady a snížení emisí škodlivin. Motory poháněné plynem neprodukují oxid siřičitý, a ve spalínách mají nižší obsah CO, benzolu a polyaromatických uhlovodíků. Také emise NO_x jsou redukovány z 90-95% a opotřebení motoru je nižší. Nevýhodou jsou emise nespálené části metanu, jako plynu způsobujícího skleníkový efekt, které je nutno odstranit speciálním katalyzátorem jehož vývojem se zabývá např. firma Volkswagen AG. Dalším nedostatkem je poměrně objemný a těžký zásobník na zemní plyn, který má, ve srovnání s naftou, nízkou energetickou hustotu. O něco vyšší energetickou hustotu má zkapalněný propan-butan.

Dalším, i když méně rozšířeným, alternativním palivem je bionafta [11]. Jejím základem je metylester řepkového oleje. Čistý metylester řepkového oleje je také nazýván bionaftou první generace. Oproti normální naftě má nižší hustotu a velice nízký obsah síry (cca 0.05%). Jejím dlouhodobějším používáním však docházelo k poruchám vstřikovacích čerpadel a k postupnému zadírání pístních kroužků. Proto se přešlo k výrobě bionafty druhé generace s přidáním aditiv ropného původu. Tím se bionafta co do použitelnosti stala srovnatelnou s klasickou motorovou naftou.

Výhodami bionafty jsou zejména její snadná biologická odbouratelnost (úniky neohrožují vodní zdroje), výrazně nižší kouřivost (o 50%), a nižší emise ostatních škodlivin (CO o 29%, NO_x o 6% a tuhé částice o 28%). Zanedbatelné nejsou ani nižší výrobní náklady. Nevýhodami naopak je mírný nárůst měrné spotřeby paliva a zejména nedostatek suroviny (řepky) pro její výrobu. Z toho důvodu se zřejmě bionafta v běžném provozu příliš neuplatní a zůstane pouze vhodnou náhradou motorové nafty pro zemědělské podniky hospodařící v oblastech s hrozícím poškozením vodních zdrojů či pro autobusy provozované v centrech městských aglomerací.

7.0 Ostatní vlivy

V roce 1991 proběhlo v Kalifornii rozsáhlé měření emisí CO a HC na 66000 vozidel stáří 1-20 let vybavených katalyzátory [12]. Výsledkem byla tato zjištění:

- 50% vozidel s nejnižšími emisemi vyprodukovalo méně než 10% z celkových emisí CO a HC,
- 50% celkových emisí CO, resp. HC, mělo na svědomí 7%, resp. 10%, nejhůře znečišťujících vozidel (asi 5% vozidel patřilo mezi nejhorší v obou skupinách),
- stáří vozidla nehrálo u výšky emisí rozhodující roli. 20% nejhorších vozidel mezi zcela novými automobily vykazovalo emise vyšší než nejlepších 40% vozů starých 20 let.
- u 92% nejhorších vozidel spočíval důvod jejich vysokých emisí v "otráveném", zcela chybějícím či jinak nefunkčním katalyzátoru. Pouze zbývajících 8% vozů by obstálo u kontroly funkčnosti katalyzátoru.

Studie poukázala na velký rozdíl mezi většinou vozů a malým množstvím velkých znečišťovatelů, způsobený špatnou údržbou či poškozením katalyzátoru. Vliv samotného stáří automobilu na výšku emisí je malý. Tato závislost je zřejmě kombinací stáří vozidla, použitím starších technologií a horší údržby starších vozidel.

Studie dále porovnávala náklady a efekt pro pět variant opatření ke snížení emisí. Navrhováno bylo:

- používání pouze reformulovaných benzinů,
- vyřazení z provozu vozidel vyrobených před rokem 1980,
- vyřazení z provozu vozidel vyrobených před rokem 1988,
- oprava nejhorších 20% vozidel,
- oprava nejhorších 40% vozidel.

Jako nejeefektivnější se ukázaly varianty počítající s opravou nejhorších vozidel. Nejméně účinné je vyřazování starších vozidel z provozu.

US EPA již v roce 1983 publikovala studii [13] zaměřenou na sledování stavu katalyzátorů provozovaných vozidel. Výsledkem této studie bylo zjištění, že každý pátý automobil má porušenu funkci katalyzátoru. Přes dvě třetiny z těchto vozidel mělo katalyzátor buď zcela odstraněn nebo "otráven" používáním olovnatých benzinů. Tyto vozy pak nekontrolovaně znečišťovaly ovzduší emisemi všech škodlivin, počínaje olovem a konče vyššími aromatickými uhlovodíky. Studie se dále zabývala objasněním vysoké četnosti tohoto jevu. Rovněž ukázala možnosti postihu majitelů těchto vozů, dané platnou US legislativou.

Jak ukazují uvedené dva příklady, značný a mnohdy i rozhodující vliv na velikost emisí z motoru má kvalita jeho údržby a správná funkce katalyzátoru. Toto zjištění pochopitelně neplatí jen v USA, ale i v ČR. Je zřejmé, že ani výrazné urychlení obměny vozového parku nemusí mít na emise z automobilové dopravy rozhodující vliv. Mnohem důležitější je udržení vysokého standardu a četnosti emisních kontrol vozidel spojených s údržbou těch motorů, které vykazují zhoršené emisní parametry.

Na druhé straně je třeba mít na paměti i odlišnosti mezi situací v USA a ČR. Zatímco v USA obměna vozového parku znamená vesměs výměnu vozidla vybaveného katalyzátorem za novější typ, v ČR jde o výměnu vozidla bez katalyzátoru za novější typ s katalyzátorem. Pokud zde bude fungovat důsledná kontrola funkčnosti katalyzátorů a jejich výměny po skončení doby životnosti, bude u nás po jistou dobu význam obměny vozového parku vyšší než ve vyspělých zemích.

8.0 Dlouhodobé trendy

S ohledem na naše zpoždění za vyspělými zeměmi v oblasti zavádění nových systémů omezujících emise ze spalovacích motorů, které je do značné míry způsobeno menší rychlostí obměny vozového parku v ČR (cca 15 let), a vzhledem k tomu, že i vyspělé evropské země přejímají americké emisní limity se zhruba desetiletým odstupem [5], může další vývoj v této oblasti charakterizovat následující popis stávající situace v USA.

Dlouhodobý vývoj emisí z dálnic v USA [14]:

V letech 1970 - 1992 se emise z amerických dálnic dle US-EPA zvýšily u NO_x o 0.7%, ale klesly pro Pb o 99.2%, CO o 30.2% a pro těkavé organické látky (VOC) o 50.1%. K tomuto poklesu došlo navzdory zvýšení počtu registrovaných automobilů o 75.6% a nárůstu ročně ujeté vzdálenosti o 101.8%. Předpokládá se pokračování těchto trendů i přes další nárůst počtu automobilů, vzhledem k postupné obměně vozového parku za novější typy, vyhovující novým emisním limitům a vybavené kvalitnějšími katalyzátory výfukových plynů, jak stanoví dodatky Zákona na ochranu ovzduší. Dalšími efekty těchto dodatků je požadavek na výrobu reformulovaných benzinů s obsahem oxysloučenin k omezení emisí VOC a CO, kalifornský program čistých vozů, a program zavedení čistých paliv pro nejznečištěnější oblasti (za čistá paliva se zde považují stlačený zemní plyn, metanol, etanol, zkapalněný propan-butan, elektřina a reformulované benziny).

Do roku 1999 musí US-EPA stanovit ekonomicky únosný termín zavedení zpřísněných emisních limitů (je však stanoveno rozmezí 2003 - 2006). Tyto limity, stejně jako limity platné nyní a zpřísněné kalifornské limity jsou uvedeny v následující tabulce. Hodnoty jsou uvedeny v gramech na automobil a ujetou míli.

kategorie vozu	po 5 letech či ujetí 50000 mil			po 10 letech či ujetí 100000 mil		
	NMHC	CO	NO_x	NMHC	CO	NO_x
typ emisního limitu						
US současnost	0.250	3.4	0.4	0.310	4.2	0.4
US návrh od 2003 - 2006	0.125	1.7	0.2	0.125	1.7	0.2
Kalifornie - přechodně nízké limity	0.125	3.4	0.4	0.156	4.4	0.6
- nízké limity	0.075	3.4	0.2	0.090	4.4	0.3
- velmi nízké limity	0.040	1.7	0.2	0.055	2.1	0.3

Pozn.: NMHC - nemetanické uhlovodíky

Kalifornie zavedla ještě tzv. nulové limity (automobily bez emisí) jimž má v daných termínech vyhovovat určené procento prodáváných vozů. Tyto limity jsou splnitelné prakticky pouze s využitím elektrického pohonu.

9.0 Závěry

Vlivy na velikost emisí z automobilové dopravy lze rozdělit do dvou hlavních skupin:

- a) vylepšování stávajících technologií,
- b) vývoj a masové nasazení technologií nových.

ad a) Jedná se o další změny v konstrukci motorů, materiálů používaných k jejich výrobě, ve složení paliva a ve zvyšování účinnosti katalyzátorů výfukových plynů. Tyto možnosti a postupy byly naznačeny v předchozích kapitolách. Všeobecně se však dá předpokládat, že odstraňování následků (vzniklých emisí) narazí, s rostoucími požadavky na jejich radikální snížení, na bariéru únosného prodražení nových automobilů čistícím zařízením. V tom okamžiku dojde k dalšímu prudkému rozvoji v oblasti alternativních pohonů.

ad b) Ačkoli byla zkoumána celá řada alternativních automobilových pohonů (např. setrvačkový, parní, spalovací turbína, Stirlingův motor aj.) [3], v současné době se jediným skutečně vážným konkurentem spalovacích motorů může stát pouze elektrický resp. elektricko-hybridní pohon. Na vývoji elektromobilů se podílí celá řada společností, a to jak z oblasti automobilového průmyslu, tak i z řad energetických společností [15]. Tyto skupiny předpokládají, že již krátce po roce 2000 by mohl nastat prudký rozvoj elektromobilů, zejména v rozvinutých zemích a ve velkých městských aglomeracích, který by vedl k nahrazení cca 20% spalovacích motorů elektrickým pohonem.

Problémy spojené s masovým rozšířením elektromobilů jsou:

- nižší cestovní rychlost a krátký dojezd na jedno nabití,
- vyšší mrtvá a nižší užitná hmotnost vozů (baterie),
- dlouhá doba nabíjení baterií.

Tyto problémy se v poslední době daří stále účinněji řešit za pomoci nejmodernějších technologií. Cestovní rychlosti i dojezd elektromobilů na jedno nabití (natankování) začíná být srovnatelný s klasickými automobily. Upustilo se od klasických olověných baterií s kyselinovou náplní a vzhledem k relativně nízkým světovým zásobám kadmia se upouští i od Ni-Cd článků. Největší budoucnost se i přes vyšší cenu dává novým typům baterií. Dobu jejich nabíjení se podařilo zkrátit až na pouhých 15 minut, což je již čas srovnatelný s dobou strávenou u benzinové stanice.

Vzhledem ke všem uvedeným skutečnostem je dlouhodobá prognóza vývoje emisí z automobilové dopravy velmi náročná, ne-li nemožná. V textu jsou pouze shrnuty všechny podstatné skutečnosti ovlivňující velikost emisí ze spalovacích motorů a nastíněny základní možné cesty dalšího vývoje. Z krátkodobějšího hlediska (horizont 5-10 let) se dá v ČR očekávat podobný vývoj, jakým prošly USA a Japonsko a jakým v současnosti procházejí státy západní Evropy.

Literatura

- [1] Walsh M.P.: Motor Vehicle Pollution Control: A Local, Regional and Global Challenge, Proceedings of the 10th World Clean Air Congress, Vol. 4, June 1995.
- [2] Kröbl L.: Automobil a životní prostředí, Svět motorů 32/93, 35/93, 36/93, 39/93 a 42/93, Praha, 1993.
- [3] Blažej A., Tölgyessy J., Haľama D., Bátor V., Rosival L., Rak J.: Chemické aspekty životného prostredia, Alfa Bratislava, 1981.
- [4] Westerholm R., Egebäck K.E.: Exhaust Emissions from Light- and Heavy-duty Vehicles: Chemical Composition, Impact of Exhaust after Treatment, and Fuel Parameters, Environ Health Perspect 102 (Suppl. 4), pp. 13-23, 1994.
- [5] Šebor G., Kozák P., Pospíšil M., Blažek J.: Vlastnosti automobilových benzinů a jejich vliv na životní prostředí, Chem. Listy 89, pp. 233-244, 1995.
- [6] Dent N., Gidlow D., Larbey B.: Developments in Petrol Composition: Effects on Air Quality and Health, Proceedings of the 10th World Clean Air Congress, Volume I, Espoo, Finland, 1995.
- [7] Filipský J.: Benzen v benzínu: zákeřný jed, EKO 2/95, Praha, pp. 18-19, 1995.
- [8] Fürstová J.: Ekoprodukty z Kaučuku, EKO 4/92, Praha, pp. 25-26, 1992.
- [9] Dvořáková V.: Použití zemního plynu při provozu motorových vozidel, EKO 1/94, Praha, pp. 42, 1994.
- [10] Zelenka V.: Autobusy na zemní plyn: klady a zápory, Svět motorů 13/95, Praha, pp. 10-11, 1995.
- [11] Busta M.: Zelená nafta, Svět motorů 37/95, Praha, pp. 10-11, 1995.
- [12] Beaton S.P., Bishop G.A., Zhang Y., Ashbaugh L.L., Lawson D.R., Stedman D.H.: On-Road Vehicle Emissions: Regulations, Costs, and Benefits, Science, Vol. 268, pp. 991-993, 1995.
- [13] Fleischaker M.L.: Converting the converters: Tampering with cars and the Clean Air Act, Environment 8/83, Vol. 25, pp. 33-43, 1983.
- [14] Flachsbar P.G.: Long-term Trends in United States Highway Emissions, Ambient Concentrations and In-vehicle Exposure to Carbon Monoxide in Traffic, Journal of Exposure Analysis, and Environmental Epidemiology, Vol. 5, No. 4, pp.473-495, 1995.
- [15] Cenek M., Kazelle J., Nor J., Všetěčka L., Koudelák A.: Electrical Vehicles in the Czech Republic, Journal of Circuits, Systems, and Computers, Vol. 5, No. 1, pp. 139-143, 1995.