

Jaromír Bittner¹, Jaroslav Ježek²

Limity plynných emisí dráhových motorů a způsoby jejich snižování

Klíčová slova: spalovací motor, emise škodlivých látek, vyhlášky UIC, směrnice EU

Negativní vliv emisí spalovacích motorů na životní prostředí a zdraví jsou známé již delší dobu. Problematika snižování emisí škodlivých látek z dráhových motorů je systematicky sledována od sedmdesátých let. S enormním nárůstem silniční dopravy, která se zejména ve městech po přechodu vytápění na ušlechtilá paliva a dálkové vytápění a rušení zastaralých výrobních provozů, stala hlavním zdrojem znečištění ovzduší, se orgány Evropské unie stále více snaží legislativními opatřeními snížit obsah škodlivých látek ve spalovacích motorech. Směrnicí 2004/26/EC, kterou se mění směrnice 97/68/EC o emisích znečišťujících látek spalovacích motorů v nesilničních aplikacích (stavební a zemědělské stroje, kolejová vozidla a lodě pro vnitrozemskou plavbu) byly nastaveny velmi přísné limity znečišťujících látek.

Při spalování motorové nafty, a uhlíkatých paliv obecně, se uvolňují do ovzduší nespálené zbytky paliva. Zásadní vliv na zdraví a životní prostředí mají polycyklické aromatické uhlovodíky (HC), kysličník uhelnatý (CO), kysličníky dusíku NO_x a PM pevné částice (saze).

HC - nespálené uhlovodíky vznikají nedokonalým spalováním. Jedná se o palivo, které se vůbec či nedokonale přemění na CO_2 a H_2O . Nespálené uhlovodíky (C_xH_x) jsou běžnou složkou výfukových plynů a jejich reprezentanty jsou především anyleny, hexleny, butyleny, propylen, etylen a další. Mají karcinogenní účinky a ohrožují zdravý vývoj plodu.

NO_x - kysličníky dusíku vznikají oxidací dusíku při vysokých teplotách hoření. Jsou toxické pro živé organismy, způsobují kyselé deště, jsou řazeny mezi skleníkové plyny a přispívají k tvorbě přízemního ozónu.

CO - kysličník uhelnatý vzniká naopak při nízkých teplotách hoření a při nedostatku vzduchu. V krevním oběhu se váže na hemoglobin silněji než kyslík.

¹ Ing. Jaromír Bittner, 1962, vystudoval ČVUT Fakultu strojní, specializace Kolejová vozidla. Systémový specialista na Odboru kolejových vozidel GR ČD.

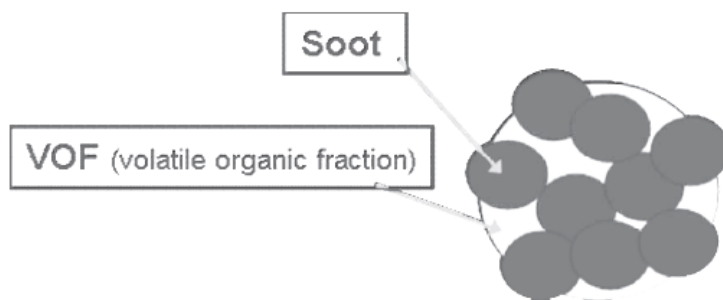
² Ing. Jaroslav Ježek, 1967, vystudoval ČVUT Fakultu strojní, specializace Spalovací motory. Vedoucí vývoje motorů TEDOM, divize Motory.

Ohrožuje tak lidi s některými chronickými chorobami (např. angina pectoris), způsobují únavu a snižují výkonnost. Je rovněž řazen mezi skleníkové plyny a má vliv na tvorbu přízemního ozónu.

PM - pevné částice - jsou drobné pevné či kapalné částice ve vzduchu, které jsou tak malé, že mohou být unášeny vzduchem. Významným zdrojem prachových částic jsou automobily se vznětovými motory, které nemají katalyzátor a jejich výfukové plyny obsahují množství malých prachových částic vznikajících nedokonalým spalováním nafty. Z hlediska působení se rozlišují různé frakce prachových částic v závislosti na velikosti menší než určitý počet mikrometrů – PM_{10} , $PM_{2,5}$ a $PM_{1,0}$. Zatímco dříve bylo považováno za nebezpečné kouření motoru (saze), považují se nyní za více nebezpečné malé částice o průměru pod $10 \mu m$, které se trvale usazují v plicích. A jak vlastně vypadají pevné částice?

Soot (saze) vznikají především v důsledku nedokonalého spalování

VOF (těkavé organické složky) - kondenzát vzniklý na sazích v důsledku ochlazení výfukových plynů ve výfuku



Obr. 1 Pevné částice ve výfukových plynech vznětových motorů

K snížení emisí pevných částic přispívá snížení obsahu síry v naftě; u ČD se používá výhradně nízkosíratá nafta s obsahem síry do 10 mg/kg .

V rámci UIC je otázka emisí dráhových motorů řešena vyhláškami UIC 623 (Schvalovací zkoušky dráhových motorů) a UIC 624 (Emisní zkoušky dráhových motorů). Tyto emisní limity byly postupně snižovány tak, aby byly sledovány jak požadavky na ochranu zdraví a životního prostředí, tak pokrok ve vývoji spalovacích motorů (viz tab. 1).

Tab. 1 Vývoj limitů plynných emisí dráhových naftových motorů

Emisní limity	Platí od	CO	NO _x	HC	Pevné částice Bosch/PM	Zkušební cyklus dle ISO 8141
UIC 623	do 31. 12. 1981	12	24	4,0	1,6	F
UIC 623, 1. vydání z 1. 1. 1989 (ORE RP 22)	1. 1. 1982	8	20	2,4		F
ORE S1015/RP 1	1. 1. 1993	4	16	1,6	1,6	F
UIC I	1. 1. 1997	3	12	0,8	2,5 – 1,6	F
UIC II	1. 1. 2003	2,5	6	0,6	0,25	F
UIC II (560 kW)	1. 1. 2003	3	9,5	0,8	0,25	F
UIC IIIA (motorové vozy)	31. 12. 2005	3,5	4,0		0,2	C1
UIC IIIA (lokomotivy > 560 kW)	31. 12. 2006	3,5	6,0	0,5	0,2	F
UIC IIIA (lok > 2000 kW, 5 dm ³ /válec)	31. 12. 2008	3,5	7,4	0,4	0,2	F
UIC IIIB (motorové vozy)	31. 12. 2011	3,5	2,0	0,19	0,025	C1
UIC IIIB (lokomotivy)	31. 12. 2011	3,5	4,0		0,025	F

Snižování množství škodlivých látek ve výfukových plynech se provádělo konstrukčními úpravami a nastavením charakteristických dat motorů při současné snaze snižovat spotřebu paliva. V zásadě jde o nastavení optimální hodnoty počátku dodávky paliva (snížení, resp. její plynulé automatické snižování v závislosti na klesajícím výkonu a otáčkách) tak, aby bylo dosaženo snížení emisí NO_x při dosažení optimální spotřeby paliva a přípustných hodnot kouřivosti a emisí CO. Pro snížení emisí NO_x je také důležité snížení reakční teploty snížením teploty nasávaného vzduchu, např. použitím mezichladiče vzduchu.

Požadavky směrnice 26/2004/EC na množství škodlivin ve výfukových plynech však již přesahují možnosti úprav v průběhu spalovacího procesu přímo v motoru, a proto výrobci opatřují motory dalším příslušenstvím. V oblasti vznětových motorů se využívají následující způsoby.



DOC – diesel oxidační katalyzátor

- Efektivní redukce HC a CO
- Redukce částic snížením množství kondenzátu VOF
- Procentuální snížení emisí částic 10 až 30% v závislosti na motoru a charakteristice DOC katalyzátoru

POC – oxidační katalyzátor částic

- S předřazeným DOC katalyzátorem pro efektivnější redukci HC a CO
- Střední úroveň snížení emise částic (VOF + soot) asi 30-80%
- Bezúdržbové použití

DPF (Diesel Particle Filter) – filtr pevných částic

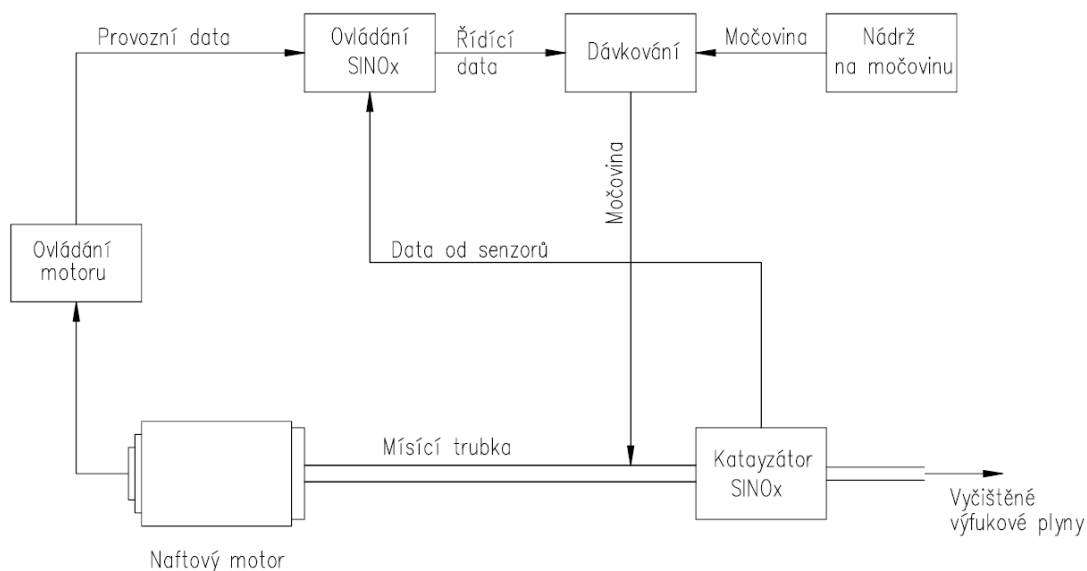
- S předřazeným DOC katalyzátorem pro efektivnější redukci HC a CO
- Velmi efektivní redukce sazí a kondenzátu (soot a VOF)
- Standardní redukce částic 80 až 95%
- Je vyžadován aktivní či pasivní systém regenerace v závislosti na protitlaku výfukových plynů signalizující jeho zanesení

Filtr pevných částic je velmi účinný způsob, jak snížit emise pevných částic a na ně vázané těžce spalitelné uhlovodíky. Filtrace výfukových plynů umožňuje zachytit až 95% těchto škodlivých látek. Filtry mají dlouhou životnost, vyžadují však dodržení příslušných pracovních teplot, cca 550 °C, což činí jistý problém v případě dráhových motorů s velkým podílem volnoběhu. Nespálené částice je nutno odstraňovat čištěním, doba je však udávána na alespoň 5 000 motohodin. Použitím katalytických filtrů či přidavným ohřevem, např. vstřikováním paliva nebo elektricky, je možno snížit pracovní teplotu na 350 až 450 °C. Podle konstrukce je lze také regenerovat nebo se používají systémy s vlastní regenerací. Použití filtrů způsobuje vyšší protitlaky ve výfuku, rovněž velké rozměry (filtry zhruba odpovídají velikosti tlumiče výfuku) a nutnost jejich umístění co nejbližší k motoru přináší komplikace při jejich zástavbě, zejména u remotorizací a motorových lokomotiv středních a vyšších výkonů.

U ČD jsou filtry použity u motorových vozů ř. 814.018, 026 až 037 a od inv. č. 039 a u remotorizovaných motorových vozů ř. 842. Takto vybavené motory Tedom TD 242 RH TA 25 splňují limity plynných emisí IIIA.

SCR (Selective Catalytic Reduction) Selektivní katalytická redukce

Tento způsob snižování oxidů dusíku ve výfukových plynech umožňuje i snížení množství pevných částic, případně lze tento způsob spojit s DPF.



Obr.2 Schéma uspořádání SCR v palivovém a výfukovém systému motoru

Běžně je používán u motorů autobusů a nákladních automobilů. Princip spočívá v rozkladu uhlovodíků na vodu (vodní páru) a volný dusík za působení redukčního činidla, kterým je amoniak NH_3 . Ten je získáván rozkladem močoviny při teplotách nad $200\text{ }^\circ\text{C}$, která je řízeně vstříkována do analyzátoru. Jak probíhá reakce v systému SCR, je zobrazeno následujícími rovnicemi.

PreOxicat (předkatalyzátor – používá se pro zvýšení teploty výfukových plynů, není-li jí dosaženo jiným způsobem)

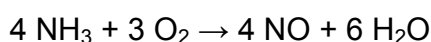
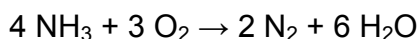
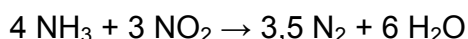
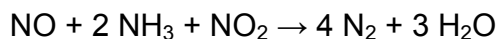
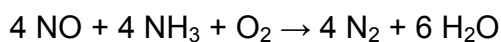
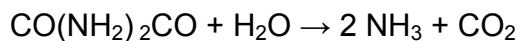
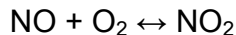
Hydrolýza

SCR katalyzátor standardní SCR

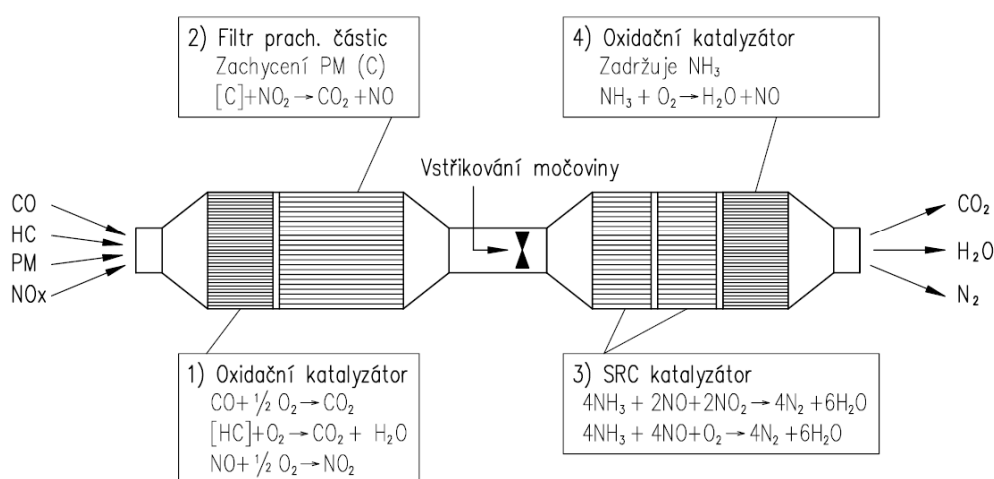
rychlá SCR

NO-SCR

PostOxicat (urea slip – omezení emisí amoniak)



Proto je nutné vybavit vozidlo přídavnou nádrží na močovinu (Ad blue). Její spotřeba činí cca jednotky procent spotřeby paliva. Výhodou tohoto způsobu je odpovídající snížení spotřeby nafty. Na druhou stranu je nutné vybavit nádrž a potrubí ohřevem, protože močovina krystalizuje při teplotě pod 5 °C. Rovněž její trvanlivost je omezena, skladování je možné po dobu tří až čtyř měsíců. U dráhových motorů se použití SCR zatím omezuje na motory nižších výkonů odvozených z automobilních motorů, tj. do výkonu cca 400 kW.



Obr. 3 Uspořádání SRC katalyzátoru v motorových vozech ř. 842

U vozidel ČD bude tento systém použit u motorů Iveco V8 v motorových vozech ř. 840 a 841. V rámci projektu Cleaner-D byl tento systém v kombinaci s DPF vyvinut firmou Tedom i pro motory TD 242 RH TA 25 (a to i pro výkony 265 a 300 kW), které tak splňují nové limity IIIB. V rámci tohoto projektu bude aplikován na jednom motorovém voze ř. 842 pro přímé porovnání pořizovacích a provozních nákladů vůči motorům s limity IIIA.

Recirkulace výfukových plynů (Exhaust Gas Recirculation – EGR)

Její princip spočívá v přivádění části ochlazených spalin zpět do sání a tím jejich spalování v průběhu hoření směsi ve válci motoru. Průběh hoření směsi je však nutno optimalizovat, neboť v opačném případě by došlo k nárůstu množství pevných



částic ve výfukových plynech. Optimalizace se dosahuje výrazným zvýšením vstřikovacích tlaků až na 1 800 barů a úpravou počátku dodávky paliva.

Výhodou tohoto řešení je, že není třeba dalších přídavných zařízení. Používá se proto u motorů středních a vysokých výkonů. Pro snížení teplot nasávaných spalin je v praxi používáno dvoustupňové přeplňování. Proto je nutno zvýšit výkon a tím i rozměry chladicí soustavy motoru, a to cca o 30 %.

Uvedená technická řešení proto přinášejí řadu problémů při zástavbě do vozidel, především prostorových a hmotnostních.

Otázky snižování emisí naftových motorů se na úrovni UIC řeší v pracovní skupině SET 12 Naftové motory, která navazuje na činnost předchozího výboru znalců ERRI B 280 P a po zrušení ERRI pokračujícího v činnosti v rámci UIC. V této skupině jsou v současnosti zastoupeny CFR, ČD, DB AG, DSB, ÖBB, SBB-CFF-FFS, SNCF a SNCF. České dráhy se v současnosti aktivně podílejí na projektu Clean European Rail Diesel (Cleaner-D) 7. rámcového programu EU, jehož cílem je vývoj, zdokonalení a využití technologií vedoucích k snížení množství plynných emisí z dráhových motorů v hnacích kolejových vozidlech. V tomto programu jsou vedoucím subprojektu SP2 Railcar.

Problematiku snižování množství škodlivých látek ve výfukových plynech by však bylo potřeba řešit komplexně. Legislativní opatření se i vlivem politických tlaků a snaze získat si voliče omezují na zpřísnování limitů, nikoli však na tolik potřebné celkové snížení objemu vypuštěných škodlivin. Vždyť 55 % celkového množství emitovaných NO_x a až 95 % CO v městských aglomeracích pochází z automobilové dopravy. Železniční doprava způsobuje zhruba 1 % emisí výše uvedených škodlivin v dopravě. Významnější měrou a s nižšími náklady by bylo možno dosáhnout snížení emisí snížením spotřeby ropných paliv v dopravě a změnou poměru jednotlivých druhů doprav v celkových výkonech.

Literatura:

- [1] Zpráva UIC B208P/RP7 Diesel Engines
- [2] Rail Diesel Study, projekt 6. rámcového programu EU
- [3] Ježek Jaroslav Ing.: CleanER-D workshop presentation

V Praze, duben 2011

Lektoroval:

Ing. Bruno Merth
VIAMONT a.s.