

Niekoľko poznámok k riešeniu toxicity výfukových plynov vznetových motorov

Ján Lábaj,

Katedra koľajových vozidiel, motorov a zdvíhadiel,
Strojnícka fakulta, Žilinská univerzita, Veľký Diel
010 26 26 Žilina

Abstrakt

V príspevku sú uvedené niektoré aktívne spôsoby riešenia spaľovacieho procesu u vznetových motorov z pohľadu toxických emisií, pasívne spôsoby znižovania toxických látok vo výfukových plynoch ako napr. selektívna redukcia NO_x, filtre pre znižovanie koncentrácie pevných častíc. Prezentované sú tiež možnosti využitia CFD (Computer Fluid Dynamic) pre modelovanie vnútornej termodynamiky, aerodynamiky a chemickej kinetiky spaľovacieho procesu. V príspevku uvedený kinetický model dovoľuje sledovať oxidáciu pyrénu a súbežne kinetiku tvorby benzpyrénu z pyrénu v podmienkach spaľovacieho procesu vznetového motora s výpočtom rovnovážnych koncentrácií OH, O, H, vzhľadom na otočenie kľukového hriadeľa s rozborom vplyvu koncentrácie radikálov OH a O na tvorbu benzpyrénu z pyrénu.

Abstract

In the paper contents of design solution diesel combustion engines for lower emissions and greater performance concerning on severe limits of toxicity exhaust gases and emission reduction with catalytic converters (active deNO_x, selective catalytic reduction, NO_x continuously regenerating traps, non thermal plasma), particulate filters etc. and active reduction exhaust emissions with CFD methods. In the paper contents of possibility application of mechanism growth and oxidation polycyclic aromatic hydrocarbons in diesel engines. The model prediction with concentration profiles benz/e/pyren from pyren and oxidation of pyren with equilibrium concentration OH, H, O, in the combustion chamber ($\lambda=1.6$). Temperature was prediction from from combustion pressure.

Key words: diesel combustion, emissions, catalytic converters, CFD method, oxidation polycyclic aromatic hydrocarbon

Toxické emisie zo vznetových motorov vykazujú rozdiely oproti emisiám zo zážihových motorov či už z hľadiska ich koncentrácie vo výfukových plynoch a tiež v ich rozdielnosti čo do chemického zloženia. Dôvodom tohoto rozdielu je iný mechanizmus zapálenia zmesi a spôsob jej vyhárania. U vznetového motora začiatok spaľovania prebieha ako vznietenie plyvom kompresného tepla pri vhodnej koncentrácii pár paliva vo vzduchu, kinetické horenie v turbulentnom režime a v konečnej fáze difúzne horenia v turbulentnom režime (posledné dva sa vzájomne s časťou prekrývajú). Majmá posledná fáza je určujúca pre vznik pevných častíc pri spaľovaní. Tým, že spaľovanie

prebieha u vznetového motora v celkove chudobnejšej zmesi, obsah CO a uhlíkovodíkov vo výfukových plynoch je značne nižší u vznetového motora ako u zážihového (zhášacie vrstvy). Problémom u vznetových motorov je obsah NO_x a nespálených (pozmenených) uhlíkovodíkov naadsorbovaných na uhlíkových časticiach. Tieto nespálené podiely paliva a oleja sa označujú ako rozpustná organická frakcia (SOF-soluble organic fraction) pri analýze podielov zachytených na filtry ako pevné častice.

Zníženie obsahu pevných častíc a NO_x môže byť robené nasledovným spôsobom:

- zmenou predvstretku paliva smerom k hornej úvrati piestu
- preplňovaním motora s medzichladičom plniaceho vzduchu
- znížením spotreby oleja pod 0,3 g/kWh
- zvýšením vstrekovacieho tlaku
- zmenšením priemeru výstrekových otvorov v dýze
- spaľovacím priestorom s vratným pohybom náplne
- znížením vírového čísla zmesi v spaľovacom priestore
- viacventilovou hlavou valca s riadením nasávaného množstva vzduchu

Pre dosiahnutie limitu pod 4.g NO_x/bhp/hr a zároveň pod 0,1 g pevných častíc /bhp/hr je potrebné zaradiť k motoru:

- recirkuláciu výfukových plynov (EGR) s ich chladením
- vysokotlaké vstrekovanie s riadením zákona vstretku
- NO_x katalyzátor pracujúci v chudobnej zmesi
- selektívnu katalytickú redukciu (SCR)
- filtre na zachytávanie pevných častíc s oxidačným katalyzátorom pracujúce diskontinuálne
- (CRT) Continuously Regenerating Trap pre odstraňovanie NO_x

Podľa EPA je limit pre rok 1998 4g/bhp/hr NO_x, a 2.4-2.5 spolu NO_x+HC pre rok 2004 pre vznetové motory v ťažkej prevádzke.

1. ZNIŽOVANIE OBSAHU PEVNÝCH ČASTÍC

1.1 Keramické filtre

Najčastejšie sa používajú keramické filtre pomocou ktorých je možno odstrániť viac ako 80 percent pevných častíc z výfukových plynov. Motory s priamym vstrekom nie sú tak citlivé na zloženie paliva vzhľadom na tvorbu častíc ako motory predkomôrkové. Tvorba častíc u predkomôrkových motorov je závislá na obsahu arómatov a cyklánov v palive a najmä ich rozložení v destilačnej krivke.

Častice vo výfukových plynoch pozostávajú z troch hlavných podielov:

- uklíkatý zbytok
- adsorbované uhlíkovodíky
- sulfáty

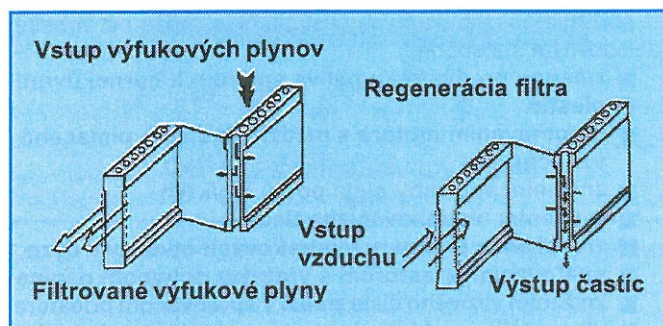
Uhlíkovodíky, ktoré sa nespália v spaľovacom priestore motora, kondenzujú vo výfukovom trakte motora. Ich chemické zloženie býva nasledovné:

50 - 70 % parafínov, 10 - 20 % monoarómatov, 5 - 10 % polárnych zlúčenín napr. oxygenátov, a 10 - 20 % polyarómatov s obsahom fluoranténov, pyrénov, benzoantracénov a benzo-pyrénov. Typické hodnoty sadzí pre vznetový motor: $\rho_{\text{sadze}} = 2 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$, priemer $d_{\text{obj.}} = 30-150 \text{ nm}$, povrch/hmotnosť = 20-200 m²g⁻¹!!

Filter je vyrobený z kordieritovej keramiky a blok je zostavený z viacerých dosiek s otvormi pre prívod výfukových plynov. Horné a dolné konce dosiek sú zaliate keramickou pastou, pričom štrbina medzi doskami je 1 mm. Výfukový plyn prúdi do otvorov v doske v hornej časti filtra prechádza pómi cez keramickú stenu do atmosféry bočnými štrbinami. Regenerácia prebieha vynesiením častíc

prúdom stlačeného vzduchu cez elektrický horák. Typický filter pre vznetový motor výkonu okolo 200 kW je uvedený v nasledujúcej tabuľke 1.

Problémom pri používaní uvedených filtrov je vysoká teplota spalín pri ich regenerácii najmä u autobusov, pokiaľ by regenerácia prebiehala na zastávke. Regenerácia môže byť elektricky zapálením zachytených častíc alebo horákom. Za-



Obr.1 Filtrácia

Obr.2 Regenerácia filtra

Tabuľka č.1

Typický rozmer časticového filtra

Materiál	Cordierit
Rozmer dosky	100 x 4,3 x 140 mm
Počet otvorov pre prívod výf. plynov v doske	17
Počet dosiek	37
Rozmer otvorov pre prívod plynov	5 mm x 3 mm
Šírka štrbín	1 mm
Rozmer bloku	103 x 200 x 140 mm
Hmotnosť bloku	1,8 kg
Filtračná plocha 1 bloku	0,9 m ²
Pórovitosť	37 %
Veľkosť pórov	20 μm
Súčiniteľ tepl. expanzie	1,35 x 10 ⁻⁶ /°C (0 - 700°C)

ťaž je to spôsob drahý.

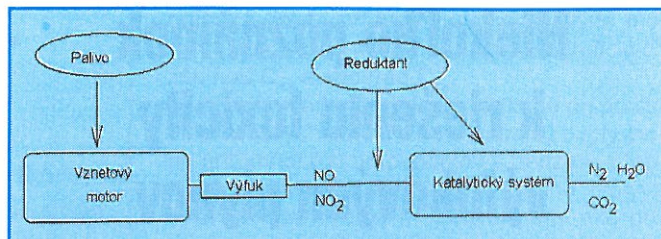
1.2 Katalytické metódy znižovania pevných častíc

Katalytická regenerácia filtrov bola robená na báze platínových katalyzátorov. Problém zatiaľ je s tepelným namáhaním katalyzátora (praskanie filtra) a s generovaním NO₂ pri tomto procese. Tieto katalytické filtre si vyžadujú nízkosírne palivo z dôvodu tvorby SO₃ na nich. Problém spôsobuje tiež popol vznikajúci pri regenerácii ktorý upcháva póry katalyzátora. Palivo a olej nesmie obsahovať katalytické jedy.

2. ODSTRAŇOVANIE NO_x Z VÝFUKOVÝCH PLYNOV

Výfukové plyny vznetového motora obsahujú viac ako 7 percent kyslíka okrem oxidov dusíka ktoré pôsobia ako oxidovadlo a spolu vykazujú vysoký oxidačný redoxpotenciál. Z tohoto dôvodu je redukcia NO_x obtiažna a vedie k zníženiu oxidačného potenciálu rôznymi spôsobmi.

2.1 Aktívny deNO_x systém – u tohoto systému je vstrekaný malý obsah paliva do výfukových plynov pred katalyzátorom na ktorom potom prebieha redukcia oxidov dusíka. Používajú sa dva typy katalyzátorov, jeden na báze platiny pracujúci za nízkych teplôt, druhý na báze medi za vysokých teplôt. Prakticky sa vyžaduje použitie oboch katalyzátorov pracujúcich v úzkych teplotných rozsahoch. Typický stupeň premeny je u nich



Obr. 3. SCR systém (selektívna katalytická redukcia) najviac 40 %. Ako nosič sú pužívané zeolity .

2.2. SCR systém – selektívna katalytická redukcia (SCR) je dostatočne známa metóda na odstraňovanie NO_x u stacionárnych motorov . U mobilných prostriedkov je tento systém značne nepraktický z dôvodu aplikácie amoniaku. Z látok pomocou ktorých môžeme znížiť oxidačný potenciál výfukových plynov je najvýhodnejšie použiť močovinu alebo amoniak. V konečnom dôsledku sa močovina (CO(NH₂)₂) rýchlo rozkladá na amoniak vo výfukovom potrubí motora. Systém pracuje v širokom rozsahu teplôt s konverziou 80%.

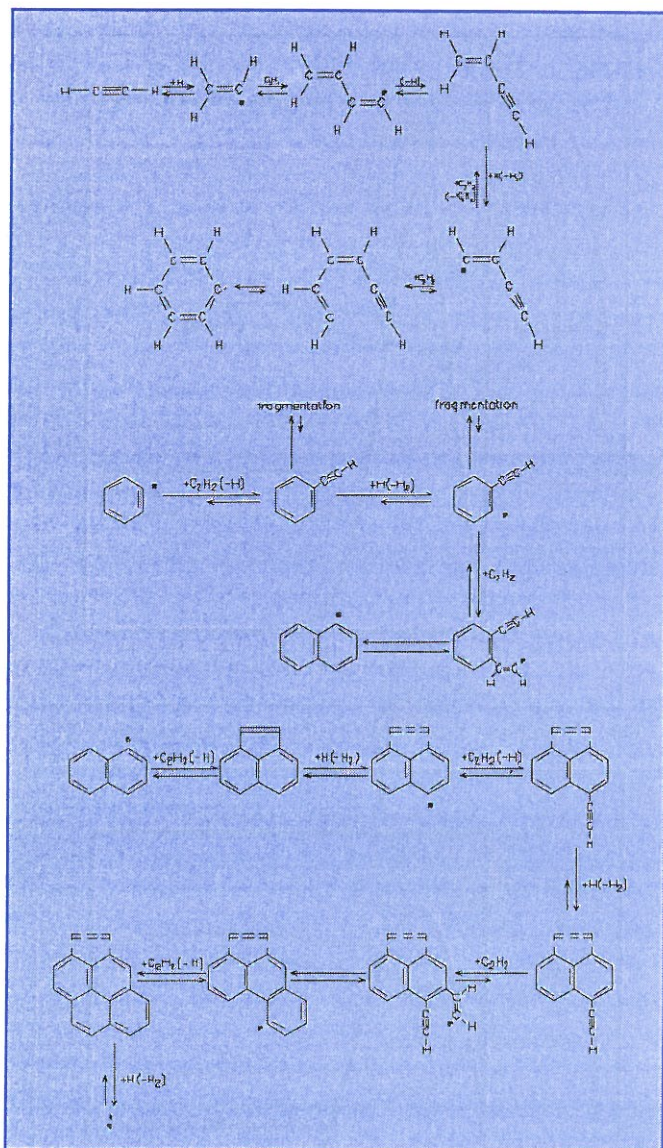
2.3 CRT (Continuously Regenerating Trap) systém – vývoj týchto technológií viedol k novým procesom na odstraňovanie NO_x z výfukových plynov s veľkým prebytkom kyslíka. V tomto systéme sa najprv NO konvertuje na NO₂ a potom zachytí. V ďalšom kroku v ktorom je prechodne bohatá zmes (redukčný potenciál výfukových plynov) odstraňuje NO₂. Katalytická časť odstraňovača NO_x obsahuje platínový katalyzátor. NO₂ je zachytávaný na oxidoch alkalyckých zemín. Tieto katalytické systémy sú úspešne využívané u zážihových motorov so vstrekaním paliva do valca motora kde ľahko prechodne dosiahneme bohatú zmes.

2.4 Non-thermal plasma – používa sa systém s vysokou energiou elektrónov ktoré urýchľujú katalytickú redukciu. Zatiaľ využívané len laboratórne, napr. koronový výboj na Katedre fyziky UK Bratislava

3. AKTÍVNE RIEŠENIE EMISÍ POČAS SPAĽOVACIEHO PROCESU

3.1 Polyaromáty ako zložka pevných častíc

Polyaromáty tvoria veľký podiel z častí nespálených uhlíkovodíkov, pričom mechanizmus vzniku sadzí vedie cez tvorbu polyaromátov (obr. 4). Vznikajú v parnej aj kvapalnej fáze a sú prekurzormi sadzí v parnej fáze. Model použitý pre výpočet predpokladá, že reakcie prebiehajú v parnej fáze, spaľovací priestor motora považujeme za ideálne miešaný reaktor, voľba štandardného stavu pri tlaku systému, ideálne chovanie sa plynov, počiatočná koncentrácia pyrénu zvolená na základe cyklovej dávky paliva (z toho max. 40 % aromátov). K dispozícii je mechanizmus premeny aromátov popísaný pomocou 280 diferenciálnych rovníc od naftalénu cez pyrén, fluorantén, chryzén, ..., koronén až po fullerén (na CD ROM počas prezentácie). Vedieť mechanizmus tvorby a degradácie polyaromátov znamená vedieť ovplyvniť ich vznik v spaľovacom priestore motora. Táto úvaha ma viedla k výberu kinetického modelu tvorby a spaľovania polyaromátov ako prekurzorov sadzí a častí pevných častíc s tým, že v kinetických rovniciach je vyjadrený vplyv termodynamických podmienok na rýchlosť ich tvorby a rozkladu s vplyvom medziproduktov spaľovania. Pyrén ako reprezentant polyaromatických uhlíkovodíkov a ako príklad som vybral z dôvodu jeho symetrickej štruktúry. Z tohoto pohľadu premena nižších aromátov ide vždy cez pyrén



Obr. 4 Mechanizmus vzniku PAH

na ťažšie polyaromáty obr.4. Tým, že má stabilnú štruktúru, jeho oxidácia je relatívne pomalá a jeho premena na ťažšie polyaromáty určuje v konečnom dôsledku tvorbu sadzí ako zhluk zkoagulovaných polyaromátov C60 a C70 (fulerénov). Preto z uvedeného veľkého množstva reakcií som vybral nasledujúce paralelné reakcie popisujúce oxidáciu (spaľovanie) pyrénu a dehydrogenáciu a adíciu acetylénu vedúcu k tvorbe kancerogénneho benzpyrénu. Pri analýze pevných častíc z výfukových plynov pyrén predstavuje značnú koncentráciu medzi ostatnými polyaromátmi z dôvodu ktorý som uviedol v predchádzajúcom texte. Možno uvažovať ešte v krajnom prípade s chryzénom.

Oxidáciu pyrénu popisujú nasledovné chemické rovnice, kde ako medziprodukty sú použité rovnovážne koncentrácie OH, O, O₂ a pri tvorbe benz[e]pyrénu tiež H, OH.

Oxidácia pyrénu:



$$A = 1,30\text{e}13 \text{ cm}^3 \cdot \text{mól}^{-1} \cdot \text{s}^{-1} \quad n = 0 \quad E = 10600,0 \text{ cal mól}^{-1}$$



$$A = 1,30\text{e}13 \text{ cm}^3 \cdot \text{mól}^{-1} \cdot \text{s}^{-1} \quad n = 0 \quad E = 10600,0 \text{ cal mól}^{-1}$$



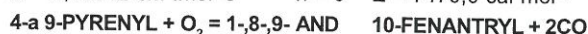
$$A = 2,20\text{e}13 \text{ cm}^3 \cdot \text{mól}^{-1} \cdot \text{s}^{-1} \quad n = 0 \quad E = 4530,0 \text{ cal mól}^{-1}$$



$$A = 2,20\text{e}13 \text{ cm}^3 \cdot \text{mól}^{-1} \cdot \text{s}^{-1} \quad n = 0 \quad E = 4530,0 \text{ cal mól}^{-1}$$



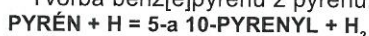
$$A = 2,10\text{e}12 \text{ cm}^3 \cdot \text{mól}^{-1} \cdot \text{s}^{-1} \quad n = 0 \quad E = 7470,0 \text{ cal mól}^{-1}$$



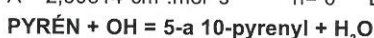
$$A = 2,10\text{e}12 \text{ cm}^3 \cdot \text{mól}^{-1} \cdot \text{s}^{-1} \quad n = 0 \quad E = 7470,0 \text{ cal mól}^{-1}$$

Oxidácia pyrénu, ako vidieť na predchádzajúcej schéme, prebieha šiestimi paralelnými (konkurenčnými) reakciami. Pyrén reaguje s atomárnym kyslíkom s najväčšou reakčnou rýchlosťou, o niečo pomalšie s molekulárnym kyslíkom, najpomalšie reaguje s OH radikálom podľa údajov bez zohľadnenia vplyvu koncentrácií jednotlivých látok. Preto určujúca pre oxidáciu je reakcia pyrénu s atomárnym kyslíkom.

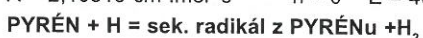
Tvorba benz[e]pyrénu z pyrénu:



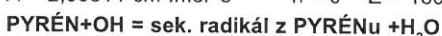
$$A = 2,50\text{e}14 \text{ cm}^3 \cdot \text{mól}^{-1} \cdot \text{s}^{-1} \quad n = 0 \quad E = 16000, \text{ cal mól}^{-1}$$



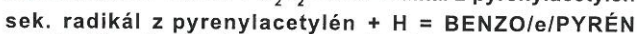
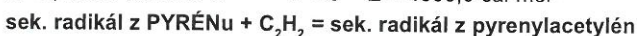
$$A = 2,10\text{e}13 \text{ cm}^3 \cdot \text{mól}^{-1} \cdot \text{s}^{-1} \quad n = 0 \quad E = 4600, \text{ cal mól}^{-1}$$



$$A = 2,50\text{e}14 \text{ cm}^3 \cdot \text{mól}^{-1} \cdot \text{s}^{-1} \quad n = 0 \quad E = 16000,0 \text{ cal mól}^{-1}$$



$$A = 2,10\text{e}13 \text{ cm}^3 \cdot \text{mól}^{-1} \cdot \text{s}^{-1} \quad n = 0 \quad E = 4600,0 \text{ cal mól}^{-1}$$



$$A = 5,00\text{e}13 \text{ cm}^3 \cdot \text{mól}^{-1} \cdot \text{s}^{-1} \quad n = 0 \quad E = 0,0 \text{ cal mól}^{-1}$$

Mechanizmus tvorby benzpyrénu z pyrénu je uvedený v predchádzajúcej schéme a popisuje jednotlivé medzistupne pri zvolenom reakčnom mechanizme. Z uvedených prebiehajúcich reakcií sú najdôležitejšie tie, ktoré určujú úbytok pyrénu na tvorbu benzpyrénu cez radikály pyrenylu. Pre výpočet mólových zlomkov (resp. objemových zlomkov) produktov rovnovážneho spaľovania (CO₂, H₂O, N₂, O₂, CO, H₂, H, O, NO, NO₂,.....) bol použitý program pre minimalizáciu volných entalpií a bol počítaný pre každý výpočtový krok. Pre každý výpočtový krok potom program načítava hodnoty priebehu tlaku p₁ a teplôt T₁ z predchádzajúceho kroku pre výpočet ďalšej hodnoty teploty a rovnovážneho zloženia spalín. Hodnoty priebehu tlaku pre motor URIV-M2 boli získané meraním. Priebeh teplôt bol vypočítaný zo známeho vzťahu (1).

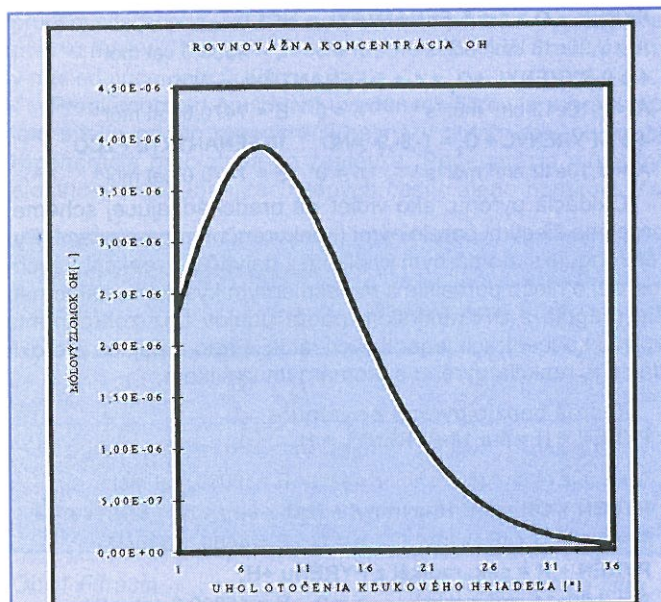
$$T_2 = T_1 \cdot \left(\frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{x-1}{\chi}} \quad \chi = c_p / c_v \quad (1)$$

Počiatková teplota vzduchu za medzichladičom bola 115°C. Hodnoty produktov rovnovážneho spaľovania využívam v kinetickej rovnici (2). Rovnice ako rovnica (2) boli riešené programom Exel s načítaním vypočítaných hodnôt z priebehu tlaku a to teplôt a rovnovážnych koncentrácií.

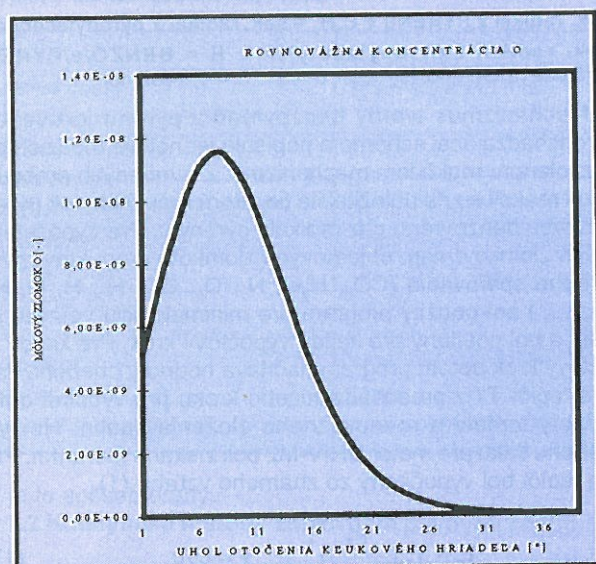
$$\frac{dn_p}{dt} = AT^n \cdot e^{-\frac{E}{R \cdot T}} \cdot C_a \cdot C_b \quad (2)$$

C_a, C_b - koncentrácia reagujúcich zložiek, E - aktivačná energia [cal mól⁻¹], A - predexponenciálny faktor [cm³ · mól⁻¹ · s⁻¹], T - teplota [K], n - exponent, R - plynová konštanta 1,986 [cal · mól⁻¹ · K⁻¹], dn_p - zmena v počte mólov, dt - časová zmena

Výpočet bol urobený pre plný výkon motora s medzichladičom plniaceho vzduchu, s celkovým prebytkom vzduchu λ = 1,6. Za podmienok vysokého prebytku vzduchu λ = 1,6 kinetika oxidácie pyrénu je daná najrýchlejšou paralelne prebiehajúcou reakciou a najpomalšou z následných reakcií a je to reakcia pyrénu s OH radikálmi. Pri danom prebytku vzduchu za termodynamických podmienok panujúcich vo valci motora prekračuje rýchlosť degradácie pyrénu s OH voči atomárnemu

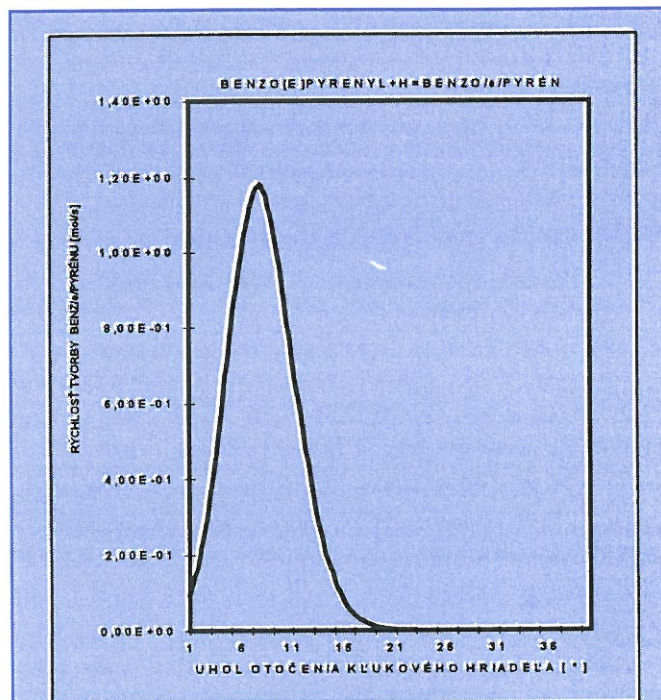


Obr. 5 Rovnovážna koncentrácia OH vzhľadom k otočeniu kľukového hriadeľa

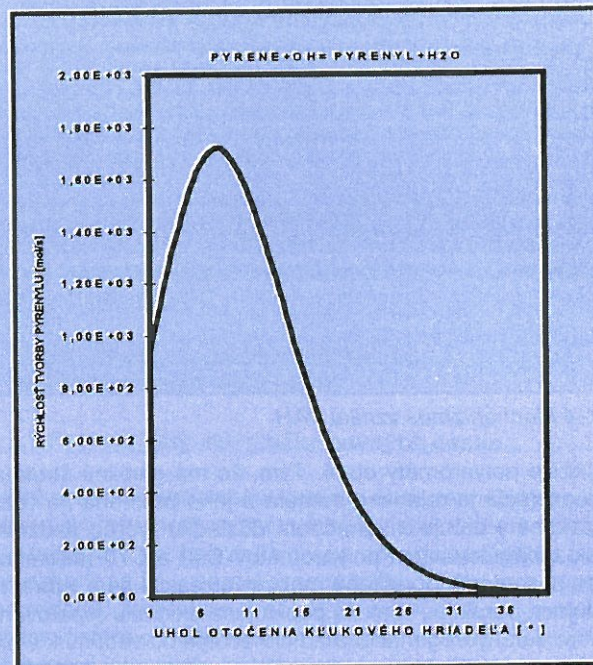


Obr. 6 Rovnovážna koncentrácia O vzhľadom k otočeniu kľukového hriadeľa

kyslíku o 2 rády na tvorbu pyrenylov, potom ich rozklad je veľmi rýchly až 10^{10} mólov za sekundu. Tvorba bezpyrénu je určená najpomalšou reakciou z následných reakcií a to maximálne 1,2 mólu za sekundu. Ostatné medziprodukty sa tvoria konkurenčnými reakciami a ich rýchlosť tvorby je daná tou najrýchlejšou reakciou a to reakciou pyrénu s OH radikálmi. Podľa toho, akým smerom sa budú reakcie uberať, je dané okrem teploty najmä koncentráciou OH radikálov. Na druhej strane zvyšovaním teploty narastá význam reakcie pyrénu s atomárnym kyslíkom a vplyv OH radikálov na reakčnú rýchlosť už nie je tak významný. Z výpočtov vyplýva, že rýchlosť tvorby bezpyrénu z pyrénu je cca o dva rády pomalšia ako rýchlosť jeho oxidácie pri $l = 1,6$ a podmienok v spaľovacom priestore. Tento rozdiel nie je príliš veľký, z dôvodu veľmi krátkeho času potrebného na spaľovanie. To ale potvrdzuje stav, že výfukové plyny budú obsahovať polyaromáty aj keď spaľovanie bude prebiehať s vysokým prebytkom vzduchu, pokiaľ sa v spaľovacom priestore lokálne polyaromáty vytvoria, alebo budú dávkané s palivom. Pre zmes bohatšiu sa kinetika



Obr. 7 Rýchlosť tvorby benz[e]pyrénu z benzo[e]pyrenylu

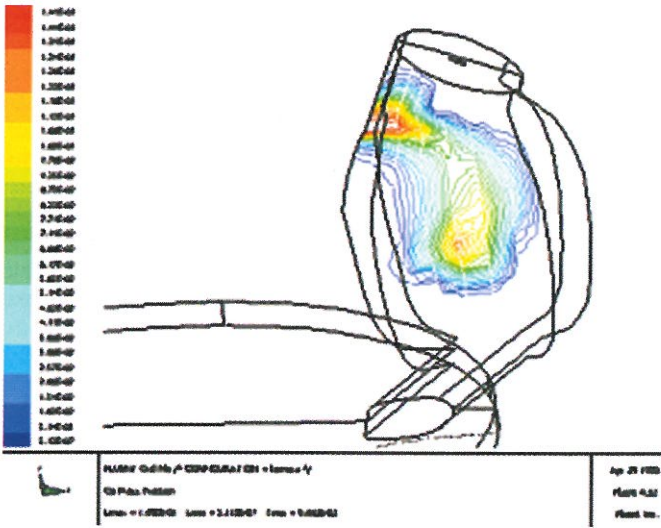


Obr. 8 Rýchlosť odbúravania pyrénu s OH na pyrenyl

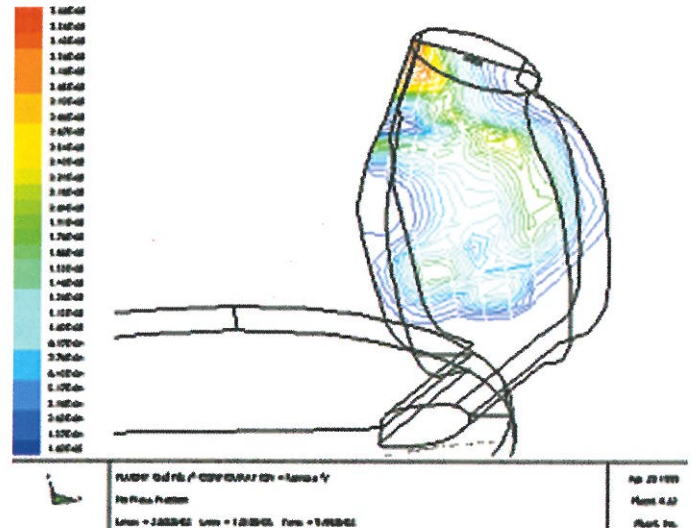
uberať smerom k tvorbe benzpyrénu. Model je potrebné overiť s experimentom a použiť všetky kinetické rovnice popisujúce kinetiku tvorby polyaromátov s overením vplyvu vlhkosti na obsah polyaromátov vo výfukových plynch. Pre veľký počet obrázkov a kinetických údajov vzhľadom na omedzený počet strán, ďalšie výsledky budú uvedené v rámci prezentácie na konferencii.

3.2. Použitie metód CFD

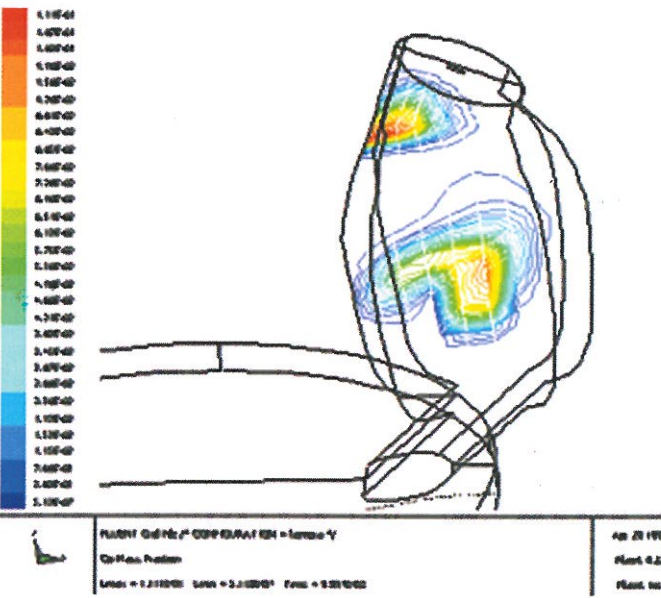
Na našom pracovisku aktívne riešime problematiku emisií vznetových motorov či už s priamym alebo nepriamym vstekom. Využívame matematické modelovanie spaľovacieho procesu metódou CFD. Metóda umožňuje modelovať prúdenie



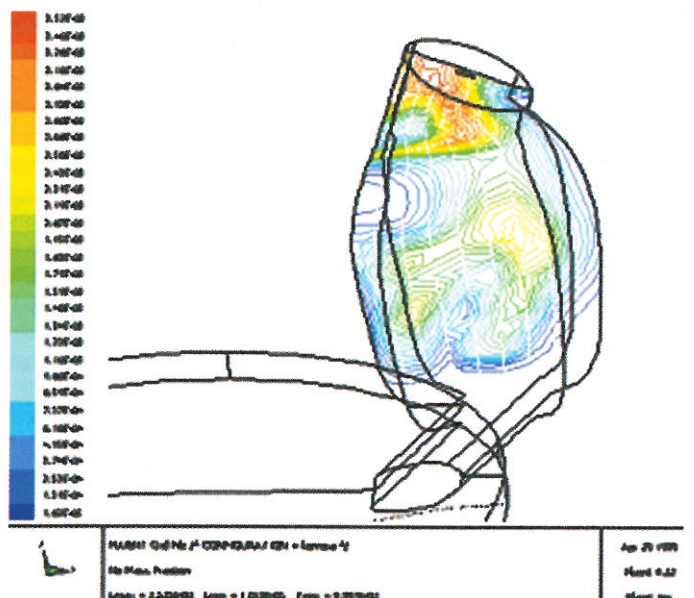
Obr. 12 Hmot. zlomok CO v čase 9.4E-3 s



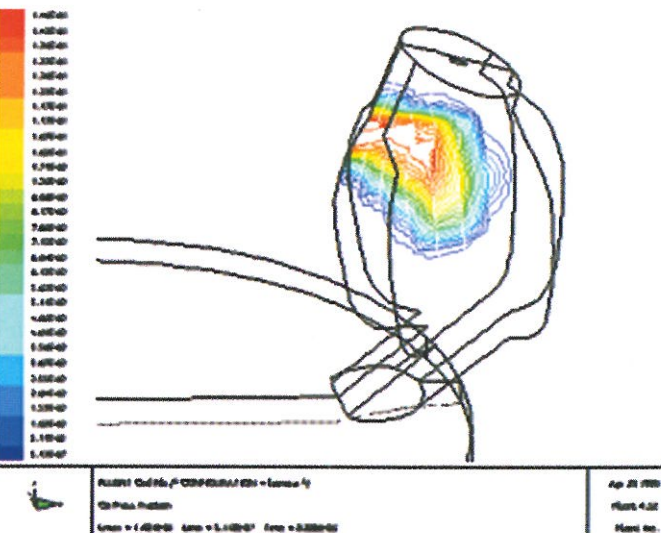
Obr. 13 Hmot. zlomok NO v čase 9.4E-3 s



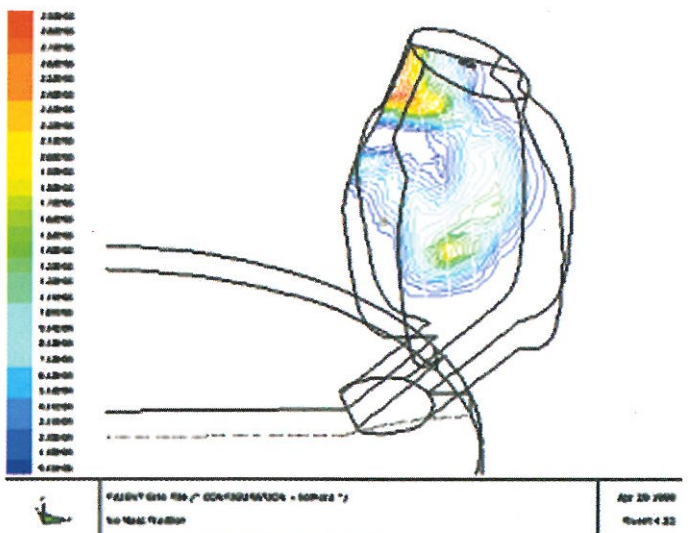
Obr. 14 Hm. zlomok CO v čase 9.99E-3 s



Obr. 15 Hm. zlomok NO v čase 9.99E-3 s

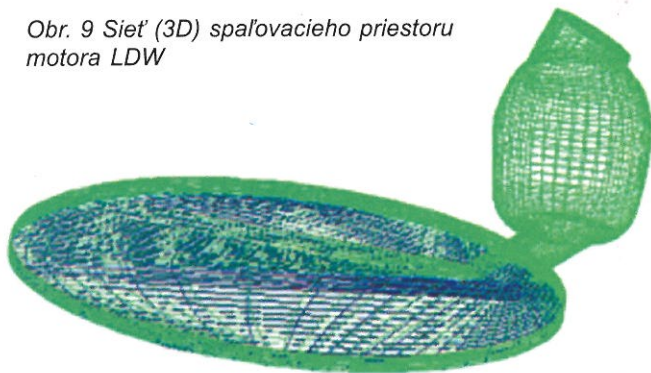


Obr. 10 Hmot. zlomok CO v čase 8.8E-3 s



Obr. 11 Hm. zlomok NO v čase 8.8E-3 s

Obr. 9 Sieť (3D) spaľovacieho priestoru motora LDW



s využitím modelov turbulencie, prestupy tepla, sálanie plameňa, rovnovážnu a nerovnovážnu chemickú kinetiku pre modelovanie spaľovacieho procesu aj z pohľadu exhalátov. Na nasledujúcom obrázku 9 je znázornená 3D sieť pre výpočet exhalátov v spaľovacom priestore predkomôrkového motora. Na ďalších obrázkoch je znázornený ako príklad pre nedostatok priestoru sled troch obrázkov 10, 11, 12, 13, 14, 15 zmeny lokálnej rovnovážnej koncentrácie CO (oxidu uhoľnatého) a NO (oxidu dusnatého) od začiatku vstupu v spaľovacom priestore. Obdobne možno znázorniť v celom priestore v závislosti na čase rýchlostné polia (vektory rýchlostí), hustotové, teplotové, koncentračné polia (CO, CO₂, H₂O, OH, NO, NO₂, O, N, apod). Na konferencii v rámci možností výpočtovej techniky bude predvedené „video“ z výpočtu časovej zmeny jednotlivých koncentrácií.

Uvedenou metódou konečných objemov môžeme modelovať odparovanie paliva s tvorbou zmesi a jeho postupné vyhárание s rôznymi modelmi turbulencie ako k-e, RNG k-e, RSM model, s modelovaním medzných vrstiev, sálania, prestupu tepla, šírenie plameňa. Pre modelovanie je využívané programové vybavenie fy. Fluent Inc.

ZÁVER

Riešenie toxicity výfukových plynov vznetrových motorov si vyžaduje komplexný prístup ich výrobcu so zohľadnením ich aplikácie v jednotlivých mobilných prostriedkoch. Podľa ich aplikácie je nutné voliť aj spôsob riešenia likvidácie vzniknutých toxických látok, okrem toho, že váhové faktory v testoch pre hodnotenie toxicity zohľadňujú tento faktor. Ďalším problémom je likvidácia ultrajemných pevných častíc s priemerom pod 100 nm. Tento problém bude nutné riešiť dostatočne rýchlo a účinne. Niektoré predpisy limitujú aj ďalšie škodliviny ako napr. formaldehyd (banský predpis).

LITERATÚRA

- [1] AVL – Particular seminar. Graz November 10 – 12 1993.
- [2] Trnka J., Urban J.: Spaľovacie motory I, ALFA, 1983.
- [3] Radovanic R. S., Djordjevic M. S.: Diesel precombustion chamber design and its influence on the engine performance and exhaust pollutants, SAE N° 790496. [4] Duggal V. K., Priede T., Khan I. M.: A study of pollutant formation within the combustion space of a diesel engine, SAE N° 780227.
- [5] Miwa K., Ikegami M., Nakano R.: Combustion and pollutant formation in a indirect injection diesel engine, SAE N° 800026.
- [6] Lábaj J., Kalinčák D., Kukuča P., Gajdoš J., Gerlici J., Lack T.: Výpočtové metódy v dopravnej a manipulačnej technike, Žilinská Univerzita, 1997.
- [7] Cooper B. J.: The process after the combustion before. Engine technology international 98, annual review ..
- [8] Škrobánek E.: Automobilové motory, Alfa Bratislava, 1988.
- [9] Richter, H., Grieco W. J., Howard J. B.: Combustion and Flame, 119, 1-22(1999).
- [10] Boroš B.: Diplomová práca, 1999/2000, KKVMZ, Sjf, Žilina