

EMISNÁ PROBLEMATIKA VOZIDIEL A ENVIRONMENTÁLNE RIZIKÁ V MESTSKÝCH DESTINÁCIÁCH

Dušan Puškár¹, Marieta Šoltéssová², Michal Puškár¹

¹ Strojnícka fakulta TU v Košiciach, Letná 9, 042 00 Košice, dusan.puskar@tuke.sk

² Fakulta BERG TU v Košiciach, Letná 9, 042 00 Košice, marieta.soltesova@tuke.sk

¹ Strojnícka fakulta TU v Košiciach, Letná 9, 042 00 Košice, michal.puskar@tuke.sk

VEHICLE EMISSIONS AND ENVIRONMENTAL RISKS IN URBAN DESTINATIONS

Abstract: Tento príspevok stručne popisuje aktuálne emisné problémy vozidiel a environmentálne riziká, ktoré predstavujú najmä pre mestské destinácie. Do vývoja nových motorov a protiemisných opatrení sa musia investovať veľké čiastky, ktoré sa vynakladajú často s neistým výsledkom. Využívajú sa rôzne technické riešenia, ktoré tvorbu oxidov dusíka obmedzujú alebo NOx likvidujú. Riešením by mohla byť technológia HCCI. Predchádzajúce a súčasné výskumné práce vo svete naznačili, že motor pracujúci v režime HCCI ponúka výraznú úsporu paliva. Okrem toho homogénne miešanie paliva so vzduchom vedie k čistejším emisiám a úroveň emisií oxidov dusíka je takmer zanedbateľná.

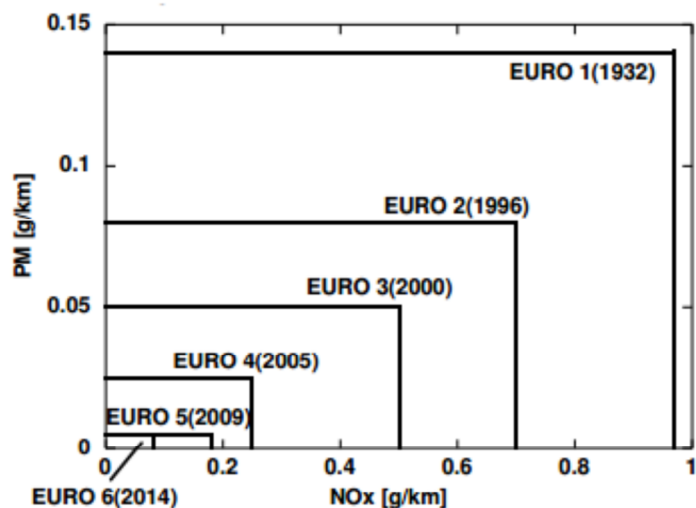
Key words: emisná problematika, vozidlo, environmentálne riziká

ÚVOD

Spaľovacie motory zohrávajú dominantnú úlohu v súčasnom automobilovom priemysle a v doprave z dôvodu ich jednoduchosti, robustnosti a vysokej tepelnej účinnosti.

Konvenčné spaľovacie motory delíme do dvoch základných skupín: zážihové a vznetrové motory. U zážihových (benzínové) spaľovacích motorov je spaľovanie iniciované iskrou a plameňovým jadrom, ktoré rastie laminárnym a následne turbulentným šírením plameňa. Vznetrové (dieslové) motory, u ktorých je kvapalné palivo (nafta) vstreknuté do horúceho stlačeného vzduchu. Palivo sa odparí a čiastočne sa zmieša so vzduchom, pokiaľ nedôjde k samovznieteniu a následne k hlavnému spaľovaniu, ktoré je riadené difúznym spaľovaním. Vysoký kompresný pomer u vznetrových spaľovacích motorov prispieva k ich vyššej účinnosti konverzií energie a k lepšej spotrebe paliva v porovnaní so zážihovými motormi.

Vzhľadom na rozšírené využitie spaľovacích motorov v súčasnej dobe, ich negatívny vplyv na globálne prostredie sa stal predmetom rastúcich obáv znečisťovania ovzdušia a redukcie prírodných zdrojov. Čoraz prísnejšie právne predpisy o výfukových plynoch viedli a vedú k technologickému vývoju spaľovacích motorov. Obrázok 1. znázorňuje Európske emisné normy pre vznetrové motory.



Obr. 1 Pokrok Európskych emisných noriem pre vznetové motory

Spaľovacie motory prešli viac ako storočným vývojom a ešte stále majú veľký potenciál na ďalšie inovácie. Alternatívne technológie ako napríklad hybridné elektrické vozidlá alebo automobily poháňané palivovými článkami, tak isto prispeli k poklesu rezervy fosílnych palív a čoraz prísnejším právnym predpisom.

Spojenie bežného pohonného systému s elektromotorom s akumulovanou energiou poskytujú vhodnejšie alternatíva ako bežné spaľovacie motory. Vysoké náklady, nízky výkon akumulátorov a taktiež ich životnosť bráni tomu, aby elektromobily vyradili dnešné automobily, ktoré využívajú spaľovací motor v blízkej budúcnosti. Pri vozidlách s vodíkovými palivovými článkami sa stále riešia technické problémy, ako napríklad skladovanie vodíka, úprava existujúcej infraštruktúry a pod.

V dôsledku toho vzniká medzera, ktorá bude trvať najmenej desať rokov medzi konvenčnými spaľovacími motormi a alternatívnymi technológiami. Progresívna technológia spaľovanie HCCI (Homogeneous Charge Compression Ignition) sa ukázala ako technológia, ktorá ponúka potenciál prekonať technologickú medzeru. HCCI je možné považovať za hybridný režim prevádzky zážihových a vznetových motorov. Spomínaná technológia má potenciál zmierniť problémy, ktoré súvisia s súčasnými spaľovacími motormi. Inovačná technológia spaľovania HCCI by mala zabezpečiť vyššiu účinnosť než, akú majú súčasné spaľovacie motory a taktiež produkcia emisií by sa mala zredukovať [1].

VZNIK TECHNOLOGIE HCCI

Tento systém plnenia spaľovacieho priestoru motora bol vyvíjaný a analyzovaný začiatkom 20. storočia. V tejto dobe boli štúdiá zamerané hlavne na problematiku vlastností palív a schopnosti ich samovznietenia.

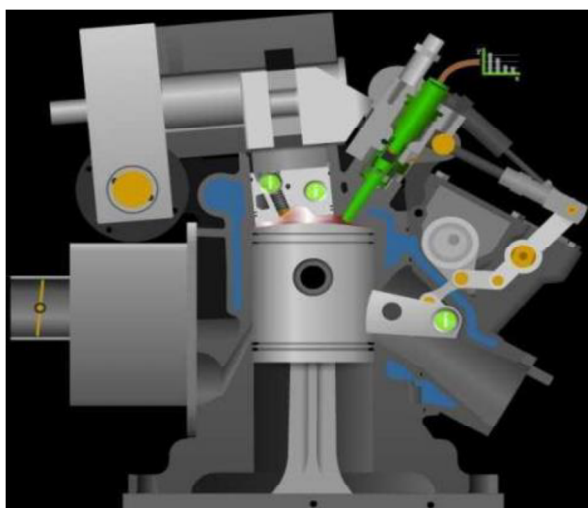
V roku 1922 Messrs Ricardo skonštruoval aparát, ktorým bolo možné simulovať podmienky v piestovom spaľovacom motore. Pri návrhu daného aparátu bol použitý ťažký zotrvačník, ktorý bol

hnaný elektromotorom na približne 360ot/min. Tlakový pomer bolo možné meniť prostredníctvom zmeny polohy piesta. Použitím daného aparátu bolo možné zaznamenávať tlakové krivky. Na základe toho aspektu bolo usúdené, že teplota je závislá na chemickom zložení použitého paliva (oktánové číslo) ale aj na základe podmienok experimentu ako napríklad tlakový pomer, počiatkový tlak, teplota a podobne.

V 50. rokoch minulého storočia bol skonštruovaný nový typ zariadenia aby bolo možné zistiť zloženie paliva, kompresný pomer, ale aj pomer palivo/vzduch. Práve tieto veličiny vplyvajú na proces samovznietenia. Prostredníctvom daného zariadenia sa zistilo, že všetky palivá majú minimálne oneskorenie zapálenia pri správnom pomere palivo/vzduch. Taktiež bolo zistené, že detonačné vlastnosti a klepanie motora závisí nie len na oneskorení zapálenia zmesi, ale aj na intenzite spaľovania po samovznietení [2].

Onishi a kolektív boli prvý, ktorý sa venovali výskumu využitia samovznietenia v spaľovacom priestore motora. Tento vývoj aplikovali u dvojdobého spaľovacieho motora a proces bol nazvaný ATAC. Snažili sa zistiť vlastnosti hydroxyly po jeho spálení a prišli nato, že CO a CO₂ sa vyskytujú vo väčšom množstve ako pri štandardom procese spaľovania. Aby výsledky experimentu boli lepšie bolo potrebné zjednotiť dávku palivá so vzduchom a teplota zmesi musela mať adekvátnu teplotu.

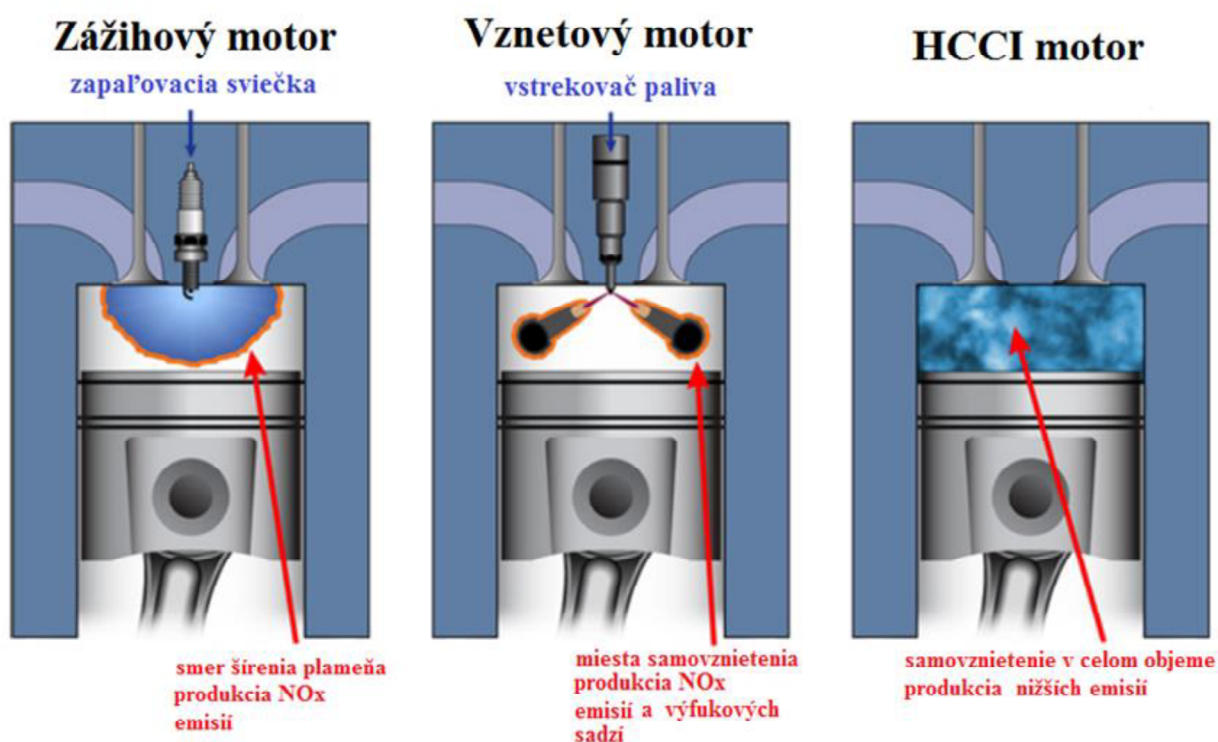
Meredith Wooldridge Thring v roku 1989 skúmal princíp samovznietenia u jednovalcového štvordobého spaľovacieho motora a bol prvý, ktorý navrhol použitie technológie HCCI pri čiastočnom zaťažení motora. Pri testovaní spomínanej technológie narazil na tri hlavné problémy, a to zlyhanie zapálenia, klepanie motora a obmedzený výkon. Testovaním dospel k záveru, že pre prvé dva problémy sú spôsobené bohatou zmesou paliva a problém v oblasti výkonu bol spôsobený v dôsledku chudobnej zmesi. Zistil, že motor, ktorý využíva technológiu HCCI vykazuje malé cyklické zmeny a ma rovnakú nízku spotrebu paliva ako vznetrový motor [3].



Obr. 2 Konštrukčné riešenie motora s HCCI technológiou

PRINCÍP HCCI TECHNOLOGIE

Technológia HCCI (Homogeneous Charge Compression Ignition) je označenie pre spaľovací princíp motora pri ktorom dochádza k samovznieteniu homogénnej zmesi paliva a vzduchu. Je kombináciou zážihového a vznetrového motora, zahŕňa v sebe ich najlepšie vlastnosti. V porovnaní so vznetrovým motorom tu dochádza k produkcii nižších emisií, zároveň má vyššiu účinnosť ako zážihový motor. Spaľuje homogénnu zmes vzduchu a benzínu pričom dochádza k jej samovznieteniu, vplyvom zvýšenia teploty pri kompresii (podobne ako vznetrový motor). Zapálenie zmesi aj jej následné horenie prebieha naraz v celom objeme, nedochádza k šíreniu plameňa ako pri zapálení zapaľovacou sviečkou obrázok 3. Tento jav umožňuje spaľovanie pri nižšej teplote a tým pádom aj nižšiu produkciu emisií NO_x .

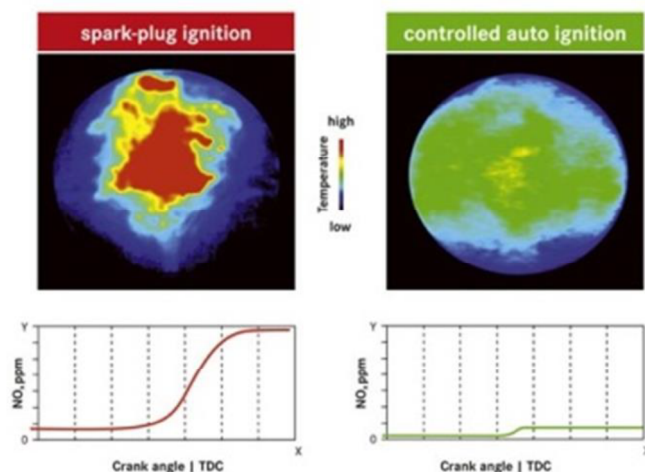


Obr. 3 Porovnanie zapaľovania zmesi pre zážihový, vznetrový a HCCI motor

Homogénna zmes je najčastejšie vytvorená priamym vstrekaním, pričom k otvoreniu vstrekovačov dochádza už pri sacom zdvihu piesta. Na výslednú účinnosť PSM vplyva hodnota súčiniteľa prebytku vzduchu λ , rýchlosť horenia a kompresný pomer. HCCI motory majú vysoký kompresný pomer, pracujú s chudobnou zmesou a horenie zmesi prebieha rýchlo, keďže k jej zapáleniu dochádza v celom objeme. Zapálenie zmesi je teda vyvolané zámerným detonačným horením. Rovnomerné samovznietenie nízko výhrevnej zmesi zabezpečuje predchádzanie nebezpečným vibráciám. Významnou výhodou je tiež zníženie strát, ktoré vznikajú pri škrtení nasávaného vzduchu (zážihové motory – kvantitatívna regulácia zmesi). Vplyvom tvorby homogénnej zmesi ľahko odpariteľného paliva a vzduchu ešte pred samotným samovznietením je vývin tepla rovnomernejší, bez veľkých tepelných spádov a nedochádza k tvorbe sadzi v spaľovacom

priestore. Nižšia teplota spaľovania zmesi zároveň znižuje intenzitu prestupu tepla do stien valcov a piestu [3].

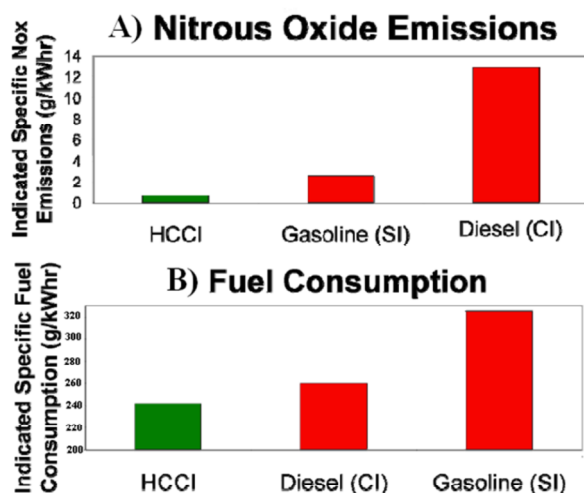
Rozloženie teplôt vo valci a produkcia emisií oxidu dusíka NO_x pre zážihový a HCCI motor je znázornená na obrázok 4. Tieto aspekty zabezpečujú HCCI motorom v porovnaní so vznetovými nižšiu produkciu emisií, zároveň vyššiu účinnosť a nižšiu spotrebu v porovnaní so zážihovými motormi. Najväčšou technickou prekážkou je zabezpečiť spaľovanie paliva v HCCI móde pri studenom motore, plnom zaťažení a vysokých otáčkach. Preto HCCI motory obsahujú aj klasickú zapaľovaciu sviečku, ktorá zabezpečí zapálenie zmesi pri spomínaných sťažených podmienkach [4].



Obr. 4 Porovnanie teplôt vo valci a produkcia oxidov dusíka NO_x pri zapálení zmesi zapaľovacou sviečkou a samovznietením v HCCI motore

Spaľovanie HCCI je dosiahnuté kontrolovaním a riadením teploty, tlaku, súčiniteľa prebytku vzduchu, aby k samovznieteniu došlo tesne pred hornou úvraťou piestu pri kompresnom zdvihu. Tento spôsob zapaľovania zmesi je oveľa náročnejší ako pri použití zapaľovacej sviečky (zážihové motory), alebo pomocou okamihu a doby otvorenia vstrekovačov (vznetové motory).

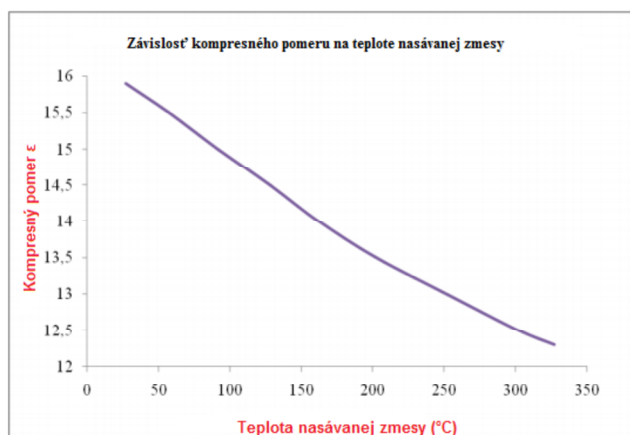
Spaľovanie homogénnej zmesi prebieha naraz v celom spaľovacom priestore valca obrázok 2, dochádza teda ku zhoreniu takmer všetkej zmesi. Využitie paliva je natoľko efektívne, že HCCI technológia ponúka výraznú úsporu paliva. Okrem toho homogénne miešanie paliva so vzduchom vedie k čistejším emisiám a úroveň emisií oxidov dusíka je takmer zanedbateľná obrázok 5.



Obr. 5 Porovnanie A) množstva produkcií emisií oxidov dusika NOx a B) mernej spotreby paliva pre HCCI, vznetrový a zážihový motor

KONŠTRUKČNÉ RIEŠENIA MOTORA S HCCI TECHNOLOGIOU

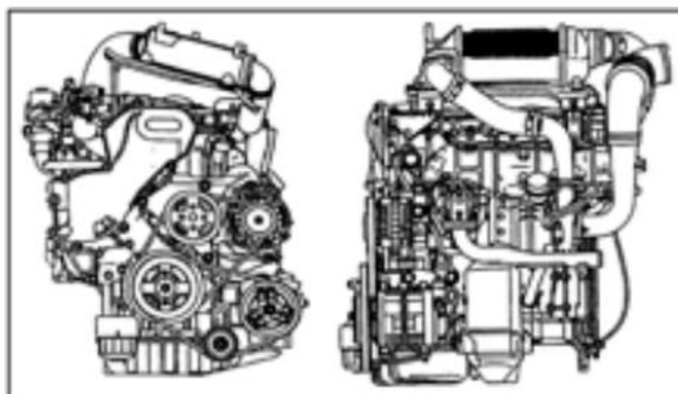
VCR (Variable Compression Ratio) pomocou zmeny kompresného pomeru je možné riadiť spaľovací proces v motore, ktorý využíva technológiu HCCI. Zmenu kompresného pomeru je možné realizovať prostredníctvom hydraulického systému, ktorý umožňuje meniť polohu hlavy valca voči spaľovaciemu priestoru motora. S použitím uvedeného systému je možné realizovať homogénne spaľovanie bez použitia predhriateho vzduchu. Tento systém je využívaný u vznetrových motorov s priamym vstrekaním. Kompresný pomer sa mení v rozmedzí od 8:1 do 14:1.



Graf. 1 Závislosť kompresného pomeru na teplote zmesi

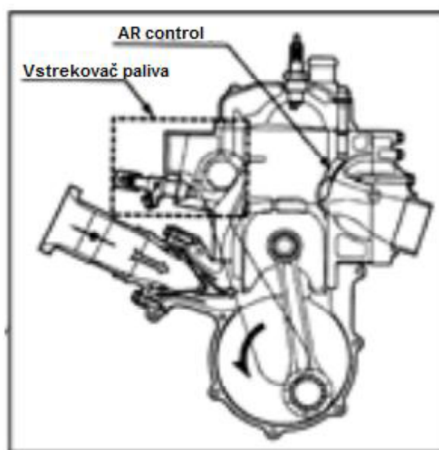
V súčasnej dobe sú na trhu dva komerčné motory, ktoré využívajú technológiu HCCI. Prvý z nich dodáva spoločnosť Nissan, ktorý využíva systém spaľovania MK. Druhý typ motora poskytuje spoločnosť Honda so spaľovacím systémom AR.

Modul MK (Modulated Kinets) pri slabom zaťažení motora využíva vysoký pomer vírivosti, veľké množstvo EGR a oneskorené časovanie vstrekovania. Za týchto podmienok je čas, ktorý je potrebný na úplne zmiešanie zmesi oveľa kratší ako čas potrebný na samovznietenie paliva. Dané homogénne spaľovanie zabezpečuje nízku produkciu NOx a CO. Daná konštrukcia motora je znázornená na obrázok 6 [5].



Obr. 6 Konceptia motora Nissan MK 2.5

Spoločnosť Honda využíva technológiu HCCI u jednovalcového dvojdobého spaľovacieho motora, ktorý sa používa pre jednostopové vozidlá. Daná koncepcia motora využíva systém AR (Active Radical). Pohonná jednotka ma nízky kompresný pomer 6,1:1. Pri studených štartoch a voľnobehu využíva zapaľovaciu sviečku. Tento typ motora vykazuje značné výhody a to hlavne z ekonomického hľadiska pri úspore paliva, ktorá je až o 27 % nižšia ako u bežných dvojdobých spaľovacích motorov.



Obr. 7 Prierez motora Honda Active Radical

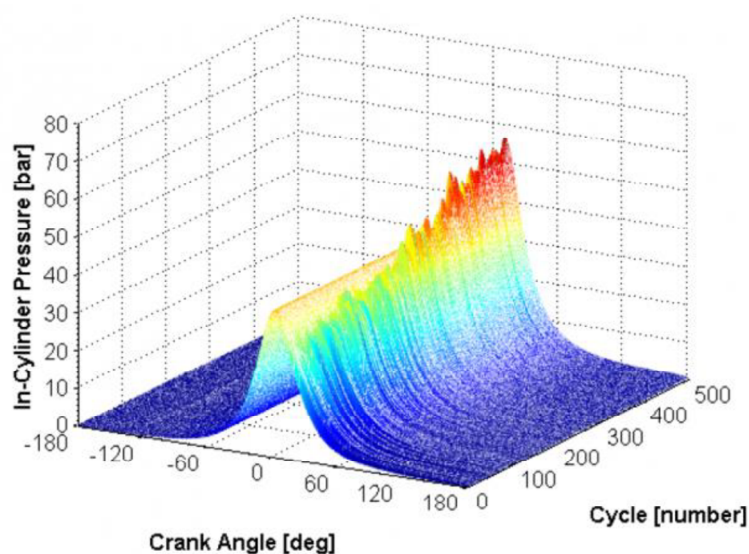
VÝVOJ A VYUŽITIE HCCI TECHNOLOGIE

Využitiu technológie HCCI doteraz bránilo niekoľko zásadných problémov, ako sú vysoké kompresné tlaky a značná miera uvoľňovania tepla. Ďalším vážnym problémom je, že proces samovznietenia zmesi je náročný na riadenie. Pre vývoj HCCI motora a jeho následné uplatnenie v komerčnej doprave, je nutné vyriešiť technické problémy ako sú riadenie okamihu zapaľovania zmesi pre čo najširší rozsah otáčok a zaťažení.

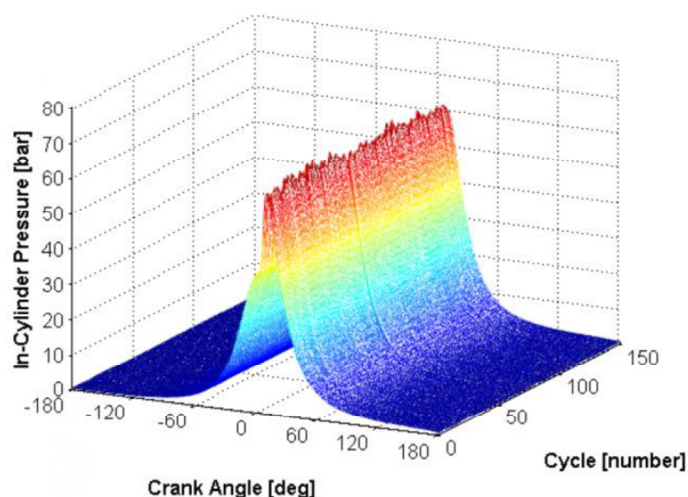
Ďalším problémom je rozšírenie riadenia motora v HCCI móde v celom spektre otáčok a zaťažení (aby nedochádzalo k prepínaniu režimu v ktorom zmes zapaľuje sviečka). Zmena

výstupného výkonu motora, alebo otáčok si vyžaduje zmenu zloženia zmesi, teploty a tlaku tak aby k samovznieteniu dochádzalo vždy v presne stanovenom čase. Tieto parametre je náročné regulovať obzvlášť pri náhlych zmenách požiadaviek pohonu. Na odstránenie týchto nedostatkov je možné použiť už známe technológie ako sú variabilné časovanie ventilov, variabilný kompresný pomer a EGR ventil [6].

Na obrázku 8 je závislosť tlaku vo valci na uhle natočenia kľukového hriadeľa pre 500 po sebe nasledujúcich cyklov spaľovania v režime HCCI. Na obrázku je tiež viditeľný prechodný režim, kde je zmes zapáľovaná sviečkou na stabilné spaľovanie HCCI. Obrázok 9 zobrazuje závislosť tlaku vo valci na uhle natočenia kľukového hriadeľa pre 150 po sebe idúcich cykloch motora pracujúceho v stabilnom režime HCCI.



Obr. 8 Závislosť tlaku vo valci na uhle natočenia kľukového hriadeľa pre 500 po sebe nasledujúcich cyklov spaľovania v režime HCCI



Obr. 9 Závislosť tlaku vo valci na uhle natočenia kľukového hriadeľa pre 150 po sebe idúcich cykloch motora pracujúceho v stabilnom režime HCCI

Doteraz boli testovacie motory HCCI schopné prevádzky pri malých a stredných zaťaženiach. Problém nastáva pri plnom zaťažení motora, kedy spaľovanie prebieha intenzívne, spôsobuje hluk, vyššiu produkciu emisií a prípadné možné poškodenie častí motora. Na rozšírenie prevádzkového rozsahu motora pri rôznych zaťaženiach sa používa zmena zloženia zmesi, vstrekovanie vody. Väčšina koncepčných HCCI motorov preto využíva pri plnom zaťažení klasickú zapaľovaciu sviečku. Tento dvojaký režim prevádzky poskytuje možnosť prevádzky motora aj pri vyššom zaťažení, ale pridáva na zložitosti prepínania motora medzi jednotlivými režimami.

ZÁVER

Spaľovací proces HCCI technológie sa výrazne odlišuje od spaľovacích procesov súčasných piestových spaľovacích motorov. Motor, ktorý využíva danú technológiu spaľovania má potenciál dosiahnuť vysokú tepelnú účinnosť ako napríklad vznetrový motor a to s účinnosťou až 40 %. Technológia HCCI predstavuje budúcnosť súčasných motorov v dôsledku toho, že súčasné motory nebudú schopné spĺňať nové emisné normy pre NO_x. Z ekonomického hľadiska motory s HCCI technológiou budú výhodnejšie a to z toho dôvodu, že ich konštrukčné riešenie je jednoduchšie a aj lacnejšie než u súčasných motorov.

Automobilky investujú mnoho finančných prostriedkov do danej technológie, aby sa odstránili jej nedostatky. Aby bolo možné využívať systém spaľovania HCCI sériovo je potrebné ešte vyriešiť a odstrániť viacero technických nedostatkov.

LITERATURA

- [1] Shigeru Onishi, Souk Hong Jo, Katsuji Shoda, Pan Do Jo, Satoshi Kato: "Active Thermo-Atmosphere Combustion (ATAC) – A New Combustion Process for Internal Combustion Engines", SAE 790501.
- [2] Aceves, S. M., Flowers, D. L., Westbrook, C. K., Smith, J. R., Pitz, W., Dibble, R., Christensen, M. and Johansson, B. (2000). A Multi-zone Model for Prediction of HCCI Combustion and Emissions, SAE Paper 2000-01-0327.
- [3] Aceves, S. M., Martinez-Frias, J., Flowers, D. L., Smith, J. R., Dibble, R., Wright, J. F. and Hessel, R. P. (2001b). A Decoupled Model of Detailed Fluid Mechanics Followed by Detailed Chemical Kinetics for Prediction of Iso-Octane HCCI Combustion, SAE Paper 2001-01-3612.
- [4] M. Richter, A. Franke, J. Engstrom, A. Hultqvist B. Johansson, M. Alden: "The Influence of Charge Inhomogeneity on the HCCI Combustion Process", SAE 2000-01- 2868 (2000).
- [5] James W. Girard, Robert W. Diable, Daniel L. Flowers, Salvador M. Aceves: "An investigation of the Effect of Fuel – Air Mixedness on the Emissions from an HCCI Engine", SAE 2002-01-1758 (2002).

- [6] M. Christensen, B. Johansson: "The Effect of Combustion Chamber Geometry on HCCI Operation", SAE 2001-01-0425 (2002)

PodĎakovanie

Táto práca bola podporovaná Agentúrou na podporu výskumu a vývoja na základe Zmluvy č. APVV-16-0259.

Príspevok vznikol s podporou projektov: APVV-16-0259 „Výskum a vývoj technológie spaľovania na báze riadeného samovznietenia homogénnej palivovej zmesi pomocou kompresie pre redukciu emisií oxidov dusíka motorových vozidiel.“, VEGA 1/0473/17 „Výskum a vývoj technológie samovznietenia homogénnej palivovej zmesi pomocou kompresie pre zvýšenie účinnosti motora a redukciu emisií vozidla.“ a KEGA 041TUKE-4/2017 „Implementácia nových technológií zameraných na riešenie problematiky emisií vozidiel a ich transformácia do edukačného procesu pre zvýšenie kvality vzdelávania.“