

P. V. K. Murthy, S. Narasimha Kumar, M. V. S. Murali Krishna, K. Kishor

ISSN 0350-350X

GOMABN 50, 2, 137-156

Izvorni znanstveni rad / Original scientific paper

UDK 547.281.2 : 621.434.068.3 : 665.734.5 : 665.734.3 : 621.795 : 621.434.13 : 621.434.12

EMISIJE ALDEHIDA IZ DVOTAKTNOG I ČETVEROTAKTNOG MOTORA NA PALJENJE SVJEĆICAMA UZ MJEŠAVINU BENZIN- ALKOHOL S KATALIZATOROM

Sažetak

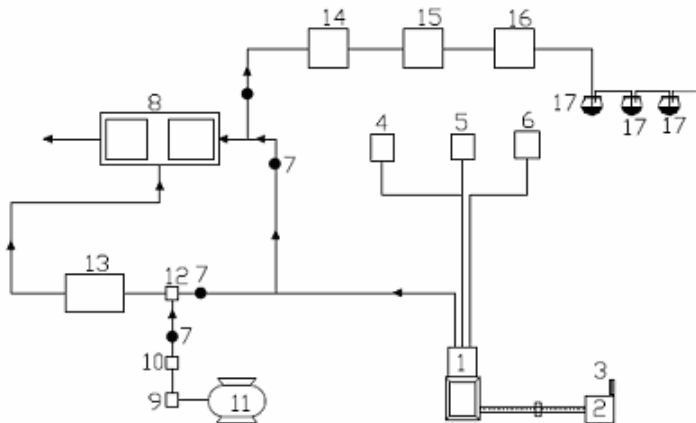
Rad donosi rezultate ispitivanja emisije aldehida iz dvotaktnog i četverotaktnog jednocilindričnog motora na paljenje svjećicama koji koristi mješavinu benzina (80 vol. %) i alkohola (20 vol.); motor je prevučen bakrom (sloj debljine 300 μm na klipu i na unutarnjoj strani glave cilindra) i opremljen katalizatorom od spužvastog željeza. Rezultati su uspoređeni s konvencionalnim benzinskim motorom na paljenje svjećicama. Motor prevučen bakrom pokazuje smanjenje emisije aldehida u odnosu na konvencionalni motor za oba ispitna goriva. Katalitički pretvornik s ubrizgavanjem zraka značajno smanjuje štetne emisije kod oba ispitna goriva i kod obje konfiguracije motora.

Uvod

Kod motora pokretanih alkoholom emisija aldehida je povećana u odnosu na konvencionalni motor na čisti benzin¹⁻⁴. Emisije aldehida (uključujući emisije formaldehida i acetaldehida), među glavnim su štetnim i otrovnim tvarima u ispušnim plinovima i predstavljaju prijelazne spojeve koji nastaju zbog nepotpunog izgaranja goriva te uzrokuju brojne zdravstvene probleme kod ljudi⁵⁻¹⁰. Modifikacija motora¹¹⁻¹² s prevlakom od bakra na glavi klipa i unutarnjoj strani glave cilindra poboljšava rad motora budući da je bakar dobar vodič topline te pospješuje izgaranje. Katalizator djeluje učinkovito¹³⁻¹⁵ pri smanjivanju emisije štetnih tvari u motoru na paljenje svjećicama. Ovaj rad donosi rezultate ispitivanja emisija aldehida kod dvotaktnog i četverotaktnog CCE motora, odnosno motora na paljenje svjećicama premazanog bakrom (CCE, *copper coated engine*) s katalizatorom koji koristi mješavinu benzin-alkohol, a oni su uspoređeni s radom konvencionalnog motora na čisti benzin.

Materijali i metode

Na slici 1 prikazan je eksperimentalni postav korišten pri ispitivanjima provođenim na dvotaktnom motoru na paljenje svjećicama. Radi se o postavu (set) motora s jednim cilindrom, na hlađenje vodom, sa snagom kočenja od 2,2 kW pri brzini od 3000 okretaja u minuti koja je mjerena na užetu s dinamometrom. Faktor kompresije motora iznosi 9:1. Potrošnja goriva i temperatura ispušnih plinova mjereni su elektroničkim senzorima.



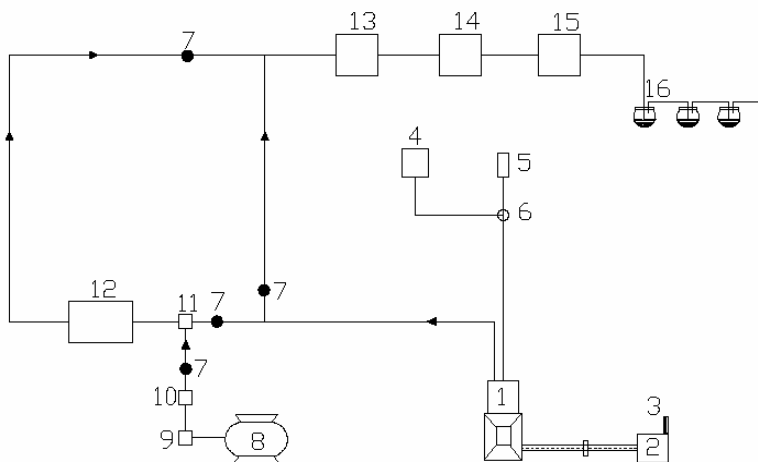
Slika 1: Eksperimentalni postav za dvotaktni motor na paljenje svjećicama

1. Motor, 2. Dinamometar vrtložne struje, 3. Opterećenje, 4. Spremnik goriva, 5. Senzor goriva,
6. Indikator temperature ispuha, 7. Razvodni ventil, 8. Analizator CO, 9. Rotometar, 10. Grijač,
11. Zračni kompresor, 12. Zračna komora, 13. Komora katalizatora, 14. Filter, 15. Rotometar, 16. Grijač,
17. Tikvice okruglog dna s DNPH otopinom

Na slici 2 prikazan je eksperimentalni set korišten pri ispitivanjima provođenim na četverotaktnom motoru na paljenje svjećicama. Ovdje je riječ o setu s jednim cilindrom, na hlađenje vodom, sa snagom kočenja od 2,2 kW pri brzini od 3000 okretaja u minuti. Na motor je ugrađen dinamometar vrtložne struje radi mjerenja snage kočenja. Faktor kompresije motora je varirao između 3 i 9 s obzirom na promjenu volumena cilindra koji se mijenjao na glavi cilindra. Brzina motora mijenjana je od 2200 do 3000 rpm. Vrijednost temperature ispušnih plinova mjerena je pomoću termoparova željezo-konstantan. Potrošnja goriva u motoru mjerena je metodom mjernih bireta, dok je potrošnja zraka mjerena metodom zračne kutije.

Pomoću prskanja plazmom bakrom su prevučeni motor, glava klipa i unutrašnja površina glave cilindra. Korišten je vezivni premaz NiCoCr legure (debljina sloja iznosi 100 μm) koji je nanesen 80 kW METCO plazmenim sprejnim pištoljem. Preko vezivnog premaza nanesen su bakar (89,5 %), aluminij (9,5 %) i željezo (1,0 %) u sloju debljine od 300 μm . Takav premaz ima vrlo veliku jakost vezivanja te ostaje neoštećen i ne troši se nakon 50 sati rada¹⁰.

DNPH metoda¹⁶ je korištena za mjerenje aldehida tijekom provođenja eksperimenta. Ispust motora je proveden kroz otopinu 2,4 DNPH (2,4-dinitrofenil hidrazina). Nastali hidrazoni su ekstrahirani u kloroformu te analizirani pomoću tekućinske kromatografije visoke djelotvornosti (HPLC) kako bi se odredio udjel koncentracije formaldehida i acetaldehida u ispuhu motora. Katalizator¹³ (slika 3) je namontiran na ispušnu cijev motora. Također je predviđen prolaz za ubrizgavanje određene količine zraka u katalizator (katalitički pretvornik). Kvaliteta zraka iz kompresora dovedenog u katalizator ostaje konstantna tako da se protutlak ne povećava. Eksperimenti su provedeni na konvencionalnom motoru (CE) i na motoru prevučenom bakrom (CCE) s različitim ispitnim gorivima (čisti benzin i mješavina etanola s benzinom, 20 vol. %) pri različitim radnim uvjetima katalizatora, poput seta A, bez katalizatora i bez ubrizgavanja zraka; seta B, s katalizatorom i bez ubrizgavanja zraka; i seta C, s katalizatorom i s ubrizgavanjem zraka i pri različitim konfiguracijama motora kao što su dvotaktni i četverotaktni motor. Koncentracija aldehida je praćena kod četverotaktnog i dvotaktnog motora na paljenje svjećicama pri faktoru kompresije od 9:1 i brzini od 3000 okretaja u minuti.



Slika 2: Eksperimentalni postav za četverotaktni motor na paljenje svjećicama

1. Motor, 2. Dinamometar vrtložne struje, 3. Opterećenje,
4. Spremnik goriva, 5. Bireta, 6. Trosmjerni ventil,
7. Razvodni ventil, 8. Zračni kompresor, 9. Rotometer, 10. Grijač,
11. Zračna komora, 12. Komora katalizatora, 13. Filtar,
14. Rotometer, 15. Grijač, 16. Boce okruglog dna s DNPH otopinom

Rezultati i rasprava

Dvotaktni motori na paljenje svjećicama

U tablici 1 dani su podaci o emisijama formaldehida kod dvotaktnog motora na paljenje svjećicama uz korištenje različitih ispitnih goriva s različitim konfiguracijama motora pri različitim radnim uvjetima katalizatora. Emisije formaldehida su značajno povećane za benzin koji sadrži etanol kod obje vrste motora u odnosu na rad motora na čisti benzin. Međutim, postotak povećanja emisije formaldehida je manji kod motora prevučenog bakrom u usporedbi s konvencionalnim motorom.

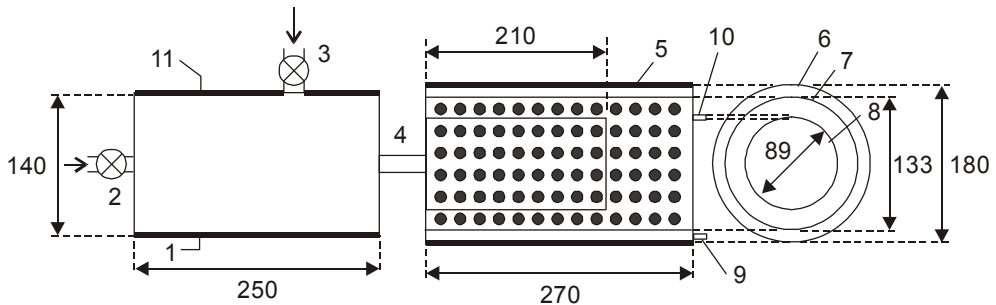
To nam ukazuje na činjenicu da se kod motora prevučenih bakrom značajno smanjuje emisija formaldehida. Pri korištenju oba ispitna goriva kod motora premazanog bakrom značajno su smanjene emisije formaldehida u odnosu na konvencionalni motor. Kod motora prevučenog bakrom nije bilo zamjetljive emisije formaldehida budući da nema niti nastalih prijelaznih spojeva. Time je pokazano da je izgaranje poboljšano katalitičkim djelovanjem kod motora prevučenog bakrom, čime se smanjuju i emisije formaldehida. Emisije formaldehida smanjene su pri eksperimentu seta (postavke) B, a još više su smanjene pri eksperimentu seta C kod obje verzije motora s oba ispitna goriva. Razlog tome je potpunost reakcije oksidacije s uporabom katalizatora i zraka, čime se smanjuje sadržaj formaldehida. Radom seta B s katalitičkim konvertorom značajno se smanjuju zagađivači (emisije) kod oba ispitna goriva i pri različitim konfiguracijama motora, a sve je to još više naglašeno kod seta C. Razlog tome je navedena poboljšana odnosno potpuna oksidacija uz katalizator i zrak.

Tablica 1: Emisije formaldehida kod dvotaktnog motora na paljenje svjećicama uz korištenje različitih ispitnih goriva s različitim konfiguracijama motora pri različitim radnim uvjetima katalizatora

Set	KONCENTRACIJA, vol. %			
	Konvencionalni motor		Motor prevučen bakrom	
	Čisti benzin	Mješavina benzin-alkohol	Čisti benzin	Mješavina benzin-alkohol
Set-A	9,1	14,63	6,8	9,31
Set-B	6,3	7,0	4,1	5,0
Set-C	3,5	5,9	3,2	3,93

U tablici 2 dani su podaci o postotku razlike u emisijama formaldehida kod dvotaktnog motora na paljenje svjećicama pri korištenju različitih ispitnih goriva s različitim konfiguracijama motora u odnosu na konvencionalni motor na čisti benzin pri različitim radnim uvjetima katalizatora.

Iz tablice je vidljivo da su negativne razlike u postotcima visoke kod oba ispitna goriva na motoru prevučenom bakrom čime je pokazana važnost takvog motora u smanjivanju emisija formaldehida. Međutim, čisti benzin kod bakrom prevučenog motora je djelotvorniji u odnosu na etanol-benzinsku mješavinu budući da je katalitičko djelovanje smanjeno smanjenjem temperature izgaranja zbog visoke latentne topline isparavanja etanola. U tablici 3 dani su podaci o emisijama acetaldehida kod dvotaktnog motora na paljenje svjećicama s različitim ispitnim gorivima s različitim konfiguracijama motora i različitim radnim uvjetima katalizatora.



Slika 3: Dijelovi katalizatora – katalitičkog pretvornika (u mm)

1. Zračna komora, 2. Ulaz u zračnu komoru iz motora,
3. Ulaz u zračnu komoru iz kompresora,
4. Izlaz iz zračne komore, 5. Katalizatorska komora, 6. Vanjski cilindar, 7. Središnji cilindar,
8. Unutarnji cilindar, 9. Izlaz za ispušne plinove, 10. Priprema katalizatora, 11. Izolacija

Tablica 2: Razlike u emisijama formaldehida kod dvotaktnog motora na paljenje svjećicama pri korištenju različitih ispitnih goriva s različitim konfiguracijama motora u usporedbi s konvencionalnim motorom na čisti benzin

Set	Emisije formaldehida (vol. %)			
	Konvencionalni motor		Motor prevučen bakrom	
	Čisti benzin	Mješavina benzin-alkohol	Čisti benzin	Mješavina benzin-alkohol
Set-A		+90 %	-25 %	+2 %
Set-B	-36 %	-23 %	-55 %	-45 %
Set-C	-72 %	-35 %	-65 %	-57 %

Ponašanje za emisije acetaldehida je slično onome kod emisija formaldehida. Međutim, s etanol-benzinskom mješavinom vrijednosti emisija acetaldehida su povećane u usporedbi s emisijama formaldehida. U tablici 4 dani su podaci o razlikama u emisiji acetaldehida kod dvotaktnog motora na paljenje svjećicama uz

korištenje različitih ispitnih goriva pri različitim konfiguracijama motora u usporedbi s konvencionalnim motorom na čisti benzin pri različitim radnim uvjetima katalizatora. Kao što je vidljivo iz tablice uočeno je slično ponašanje kao kod emisija formaldehida. Motor prevučen bakrom značajno smanjuje emisije acetaldehida, također i pomoću katalizatora i ubrizgavanja zraka.

Tablica 3: Emisije acetaldehida kod dvotaktnog motora na paljenje svjećicama s različitim ispitnim gorivima s različitim konfiguracijama motora pri različitim radnim uvjetima katalizatora

Set	KONCENTRACIJA, vol. %			
	Konvencionalni motor		Motor prevučen bakrom	
	Čisti benzin	Mješavina benzin-alkohol	Čisti benzin	Mješavina benzin-alkohol
Set-A	7,7	16,8	4,9	12,6
Set-B	4,9	8,4	3,5	7,5
Set-C	2,1	7,0	1,4	5,2

Poboljšano izgaranje s povećanjem potpunosti oksidacijske reakcije značajno je smanjilo emisije acetaldehida. Međutim, u usporedbi s mješavinom benzin-alkohol, uporaba čistog benzina za motor prevučen bakrom značajno smanjuje emisije acetaldehida. Razlog je smanjenje temperature izgaranja pri korištenju mješavine benzin-alkohol, gdje je zatim, smanjenim djelovanjem bakra povećano zagađenje.

Tablica 4: Razlike u emisijama acetaldehida kod dvotaktnog motora na paljenje svjećicama uz korištenje različitih ispitnih goriva pri različitim konfiguracijama motora u usporedbi s konvencionalnim motorom na čisti benzin

Set	Emisije acetaldehida (vol. %)			
	Konvencionalni motor		Motor prevučen bakrom	
	Čisti benzin	Mješavina benzin-alkohol	Čisti benzin	Mješavina benzin-alkohol
Set-A	--	+118 %	-36 %	+64 %
Set-B	-36 %	+9 %	-55 %	-32 %
Set-C	-72 %	-9 %	-82 %	-42 %

Četverotaktni motor na paljenje svjećicama

U tablici 5 dani su podaci o emisijama formaldehida kod četverotaktnog motora na paljenje svjećicama uz korištenje različitih ispitnih goriva s različitim konfiguracijama motora pri različitim radnim uvjetima katalizatora. Ovdje promatrano ponašanje kod četverotaktnog motora na paljenje svjećicama je slično ponašanju dvotaktnog motora na paljenje svjećicama. Kod četverotaktnog motora uporabom čistog benzina za bakrom prevučeni motor značajno se smanjuju emisije formaldehida u odnosu na konvencionalni motor što pokazuje da se izgaranje poboljšava

katalitičkim djelovanjem. Etanol-benzinska mješavina značajno povećava emisiju aldehida u usporedbi s radom obje verzije motora na čisti benzin.

Međutim, kod motora prevučenog bakrom emisije aldehida su drastično smanjene za uporabu etanol-benzinske mješavine u usporedbi s konvencionalnim motorom. Nadalje, emisije formaldehida kod četverotaktnog motora su manje nego kod obje verzije dvotaktnog motora pri korištenju oba ispitna goriva. To je rezultat gubitka goriva kod dvotaktnog motora koje odlazi kroz ispušni izlaz a da prethodno ne izgori. Kod seta B i seta C potpunijom reakcijom oksidacije smanjilo se zagađenje.

U tablici 6 dani su podaci o postotku odstupanja u emisijama formaldehida kod četverotaktnog motora na paljenje svjećicama uz korištenje različitih ispitnih goriva pri različitim konfiguracijama motora, sve u usporedbi s konvencionalnim motorom pri različitim radnim uvjetima katalizatora. Emisije formaldehida kod četverotaktnog motora na paljenje svjećicama slijede slično ponašanje kao kod dvotaktnog motora. Ipak, dvotaktni motor proizvodi veću količinu emisija u usporedbi s četverotaktnim budući da napajanje kod dvotaktnog motora ne sudjeluje u reakciji izgaranja, a konfiguracija samog motora doprinosi visokoj razini onečišćenja. U tablici 7 dani su podaci o emisijama acetaldehida kod četverotaktnog motora. Ovdje promatrano ponašanje slično je ponašanju dvotaktnog motora na paljenje svjećicama.

Tablica 5: Emisije formaldehida kod četverotaktnog motora na paljenje svjećicama uz korištenje različitih ispitnih goriva s različitim konfiguracijama motora pri različitim radnim uvjetima katalizatora

Set	KONCENTRACIJA, vol. %			
	Konvencionalni motor		Motor prevučen bakrom	
	Čisti benzin	Mješavina benzin-alkohol	Čisti benzin	Mješavina benzin-alkohol
Set-A	6,5	12	4,5	9,0
Set-B	4,5	5,6	2,5	5,1
Set-C	2,5	4,8	1,5	3,4

Tablica 6: Razlike u emisijama formaldehida kod četverotaktnog motora na paljenje svjećicama uz korištenje različitih ispitnih goriva pri različitim konfiguracijama motora u usporedbi s konvencionalnim motorom na čisti benzin

Set	Emisije formaldehida (vol. %)			
	Konvencionalni motor		Motor prevučen bakrom	
	Čisti benzin	Mješavina benzin-alkohol	Čisti benzin	Mješavina benzin-alkohol
Set-A	--	+84 %	-30 %	+38 %
Set-B	-30 %	-14 %	-61 %	-21 %
Set-C	-61 %	-26 %	-77 %	-47 %

Tablica 7: Emisije acetaldehida kod četverotaktnog motora na paljenje svjećicama uz korištenje različitih ispitnih goriva pri različitim konfiguracijama motora i različitim radnim uvjetima katalizatora

Set	KONCENTRACIJA, vol. %			
	Konvencionalni motor		Motor prevučen bakrom	
	Čisti benzin	Mješavina benzin-alkohol	Čisti benzin	Mješavina benzin-alkohol
Set-A	5,5	10,45	3,5	6,6
Set-B	3,5	4,7	2,5	3,4
Set-C	1,5	3,7	1,0	2,3

Tablica 8: Razlike u emisijama acetaldehida kod četverotaktnog motora na paljenje svjećicama uz korištenje različitih ispitnih goriva pri različitim konfiguracijama motora u usporedbi s konvencionalnim motorom na čisti benzin

Set	Konvencionalni motor		Motor prevučen bakrom	
	Čisti benzin	Mješavina benzin-alkohol	Čisti benzin	Mješavina benzin-alkohol
Set-A	--	+90%	-36%	+20%
Set-B	-36%	-14%	-54%	-38%
Set-C	-72%	-32%	-82%	-58%

U tablici 8 dani su podaci o razlikama u emisijama acetaldehida kod četverotaktnog motora uz korištenje različitih ispitnih goriva pri različitim konfiguracijama motora u usporedbi s konvencionalnim motorom na čisti benzin pri različitim radnim uvjetima katalizatora. Iz tablice je vidljivo da je postotak povećanja emisija acetaldehida pri korištenju mješavine benzin-alkohol kod motora prevučenog bakrom manji u usporedbi s konvencionalnim motorom s istim ispitnim gorivom što pokazuje prikladnost motora prevučenog bakrom kojim se smanjuje onečišćenje.

Zaključci

Emisije formaldehida kod dvotaktnog motora smanjene su za 45 % kod seta B, 68 % kod seta C, sve u odnosu na rad motora s čistim benzinom kod seta C dok smanjenje iznosi 34 %, odnosno 46 % pri radu motora s mješavinom benzin-alkohol. Kod dvotaktnog motora emisije acetaldehida smanjene su za 45 % kod seta B, odnosno za 72 % kod seta C s konvencionalnim benzinskim motorom, dok kod tih setova smanjenje iznosi 12 %, odnosno 25 % pri radu CCE motora s mješavinom benzin-alkohol u odnosu na rad seta A. Kod četverotaktnog motora u setu B i setu C smanjene su emisije formaldehida za 45 %, odnosno 69 % pri radu konvencionalnog motora s čistim benzinom u odnosu na rad seta A, dok kod tih setova smanjenje iznosi 18 % i 36 % pri radu CCE motora s mješavinom benzin-alkohol. Emisije acetaldehida smanjene su za 45 % za set B, odnosno 77 % za set C pri radu uobičajenog motora na čisti benzin, dok smanjenje kod tih setova iznosi 26 % i 45 % pri radu CCE motora s mješavinom benzin-alkohol u odnosu na rad seta A.

Zahvala

Autori zahvaljuju nadležnima na Chaitanya Bharathi Institute of Technology, Hyderabad na ustupljenoj opremi.

Literatura

1. Badami, M. G., Ayyasami, R., Nagalingam, B. and Ganeshan, V., *Proceedings of 6th National Conference on I.C. Engines and Combustion, Indian Institute of Petroleum, Bombay*, E.69-E.74. 1979.
2. Ayyasami, R., Nagalingam, B., Ganeshan, V., Gopalakrishnan, K. V. and Murthy, B. S., SAE Paper No-811220.
3. Ghosh, B. B. and Bhattacharjee, D., *Proceedings of 9th National Conference on I.C. Engines and Combustion, Indian Institute of Petroleum*, Dehradun, 1985.
4. Ghose M. K., Paul R. and Benerjee S. K., *Journal of Environmental Science & Engineering*, 46, 33-40, 2004.
5. Khopkar, S. M., *Environmental Pollution Analysis*, New Age International Ltd, Publishers, New Delhi, 180-190, 1993.
6. David, B. P., *J. Allergy. Chem. Immunol.*, 8, 19-23, 1995.
7. Fulekar, M. H., *Indian J. Env. Prot.*, 1, 353-359, 1999.
8. Sastry, M. S., Suneela, M., Kumar, N. P. S. and Hussain, S. K., *J. Environ. Sci. & Engg.*, 46, 86-91, 2004.
9. Ghose, M. K., Paul, R. and Benerjee, S. K., *J. Environ. Sci. & Engg.*, 46, 33-40, 2004.
10. Sharma, B. K., *Engineering Chemistry*, Pragathi Prakashan Ltd., Meerut, 150-160, 1996.
11. Dhandapani, S., *Theoretical and experimental investigation of catalytically activated lean burnt combustion*, Ph. D. Thesis, IIT, Chennai, 1991.
12. Nedunchezian, N. and Dhandapani, S., *Engg. Today*, 2, 11-18, 2000.
13. Luo, M. F. and Zheng, X. M., *Indian Journal of Chemistry*, 38, 703-707, 1999.
14. Murali Krishna, M. V. S. and Kishor, K., *Indian Journal (CSIR) of Scientific and Industrial Research*, 67, 543-548, 2008.
15. Edward Obert, F., *Internal combustion engines and pollution*, Harper and Row Publications, New York, 123-130, 1973.
16. Kuta, I. T., Kiyohiko, O. and Shiaki, T. T., *Toyota Automobile Company, Technical Improvement Division*, Toyota Japan, 21, 4, 500-506, 1980.

UDK	ključne riječi	key words
547.281.2	acetaldehid	acetaldehyde
621.434.068.3	ispušna emisija benzinskih motora	gasoline engine exhaust emission
665.734.5	biobazno bioETBE 20 %, benzinsko 80 % gorivo	biobased bio-ETBE 20%, gasoline 80% fuel
665.734.3	biobazno etanol 20 %, benzin 80 % gorivo Gasohol E20	biobased ethanol 20%, gasoline 80% gasohol E20 fuel
621.795	površinska obradba nano-šenjem sloja bakra plazmom	surface treatment by copper plating using plasma
621.434.13	benzinski dvotaktni motor	gasoline two stroke engine
621.434.12	benzinski četverotaktni motor	gasoline four-stroke engine

Autori

P. V. K. Murthy¹, S. Narasimha Kumar², M. V. S. Murali Krishna², K. Kishor²

¹ Vivekananda Institute of Science and Information Technology, Shadnagar,

Mahabubnagar-509216, Andhra Pradesh, India

E-Mail:Krishnamurthy_venkata@yahoo.co.in

² Department of Mechanical Engineering, Chaitanya Bharathi Institute of Technology, Gandipet, Hyderabad-500 075, Andhra Pradesh, India

E-Mail: maddalivs@gmail.com

Primljeno

30.11.2010.

Prihvaćeno

05.04.2011.