Dr Slobodan Milidrag,
profesor, dipl. inž.*
Dr Ferenc Časnji,
profesor, dipl. inž.*
Dr Ivan Klinar,
profesor, dipl. inž.*
Mr Vladimir Muzikravić,
dipl. inž.*
Mr Zoran Popović,
potpukovnik, dipl. inž.**

ALTERNATIVNA GORIVA I EKOLOŠKI ASPEKTI MOTORA MOTORNH VOZILA

UDC: 662.7:504.05/.06

Rezime:

Poslednjih decenija svet se našao pred dva ozbiljna problema: resursi tečnih goriva su ograničeni, a broj korisnika zaoštrio je pitanje njihove toksičnosti. Pred istraživače u ovoj oblasti postavlja se izuzetno složen zadatak: pronaći jeftino ekološki čisto gorivo čiji su izvori masovni i obnovljivi. I ostale performanse goriva moraju biti na najvišem nivou: pouzdanost u distribuciji i eksploataciji, energetska gustina, podobnost u formiranju sveže radne smeše i sl. Sva do sada ispitivana alternativna goriva (gorivo iz biomase, prirodni gas, vodonik, električna energija) imaju nedostatke po nekom od pomenutih kriterijuma, pa ovo pitanje ostaje otvoreno.

Ključne reči: alternativno gorivo, ekologija, izvori goriva, zagađenje.

ALTERNATIVE FUELS AND ECOLOGICAL ASPECTS OF MOTOR VEHICLE ENGINES

Summary:

In the last two decades the world has faced two serious problems: the sources of liquid fuels are limited and the number of their users has intensified the problem of their toxicity. The researchers in this field face an extremely complex task: to find a cheap, ecologically pure fuel with a large number of recoverable sources. The fuel performances have to be at the highest level (reliability during distribution and operational use, energy density, possibility to form fresh fuel mixture, etc.). All alternative fuels examined up to now (biomass fuel, natural gas, hydrogen, electric power...) have disadvantages according to some of the criteria mentioned above, so this problem remains unsolved.

Key words: alternative fuel, ecology, fuel sources, pollution.

Uvod

Uticaj goriva na životnu sredinu danas predstavlja nezaobilaznu temu pri elementarnom izučavanju motora SUS, što podrazumeva proučavanje strukture izduvnih gasova motora, kao i propisa o graničnim vrednostima emisije pojedinih polutanata i metoda njihovog vrednovanja.

Razmatranja o alternativnim gorivima danas su vrlo aktuelna, jer su resursi sirove nafte ograničeni, a ekspanzijom potrošnje tokom 21. veka biće dobrim delom iscrpljeni, pa im se mora tražiti zamena. Pored toga, postoji problem zaštite životne sredine od produkata nastalih u procesu sagorevanja motornih goriva, kao i buke koju stvara. Na ove probleme reaguje se tek poslednjih trideset godina, (prvi put šezdesetih godina u Ka-

* Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad.

** Vojnotehnička akademija VJ, Beograd.

liforniji, kada je došlo do znatnog porasta kancerogenih oboljenja).

Produkti sagorevanja Oto i Dizel motora sastoje se od velikog broja različitih komponenata, od kojih je jedan broj toksične prirode. Zbog toga su uvedeni propisi o ograničenju emisije sledećih komponenata: ugljenmonoksid (CO), oksida azota (NO_x) nesagorelih ugljovodonika (HC) i čađi. Koliki je udeo ovih komponenata koje potiču od motora motornih vozila i utiču na ukupno zagađenje atmosfere postaje važno pitanje. Ispitivanja u SAD tokom osamdesetih godina daju odgovore na to pitanje u obliku navedenih rezultata [1] datih procentualno.

Tabela 1

	CO(%)	NO_x (%)	HC(%)
Teretna motorna vozila sa Dizel motorom	1,0	10,4	1,1
Putnička motorna vozila sa Oto motorom	48,7	21,2	24,1
Ukupno od vozila	50	32	26

Ispitivanja sprovedena u Evropi obrađena su po lokalitetima i ukazuju na to da je urbana sredina najviše ugrožena, i to komponentama u sledećim procentima: CO — 54%, NO_x — 24%, HC — 60%. Imajući u vidu te rezultate, dalja ispitivanja kreću se u pravcu zakonskih ograničenja emisije ovih polutanata, shodno razvoju motora i supstituciji fosilnih goriva.

Kinetika sagorevanja multikomponentnih ugljovodoničnih goriva vrlo je kompleksna i interdisciplinarna, pa je nije moguće egzaktno izvoditi, ni rešavati problem smanjenja emisije toksičnih polutanata.

Problemi se vrednuju i rešavaju kroz razvoj motora SUS, i to:

— koncentracija ugljenmonoksida (CO) skoro je isključivo funkcija načina formiranja smeše gorivo-vazduh, i koeficijenta viška vazduha, pa je ova koncentracija bitno različita kod Oto i Dizel motora. Ugljenmonoksid je otrov direktnog dejstva, utiče na sposobnost vezivanja kiseonika sa hemoglobinom u krvi i na taj način narušava zdravlje ljudi;

— azotna jedinjenja (NO_x), a u prvom redu NO_2 , kao otrov direktnog dejstva, utiču na izmene gasova u krvi i remete funkcije disanja. Osnova za stvaranje azotnih jedinjenja u motoru je oksidacija atmosferskog molekularnog azota. Najuticajniji faktori na stvaranju NO_x u motoru jesu temperatura hemijske reakcije, dužina reakcije i raspoloživi kiseonik u zoni reakcije. Dominantan uticaj ima temperatura sagorevanja, što pokazuje i dokazuje primena MAO-principa za smanjenje ugljenmonoksida. Smanjenje emisije azotnih jedinjenja kreće se u pravcu smanjenja temperature sagorevanja;

— pojava ugljovodonika u izduvnim gasovima rezultat je lošeg sagorevanja sveže radne materije u motoru SUS. Ugljovodonici velike molekularne mase veoma su otrovni i u manjim koncentracijama. Poluciklični aromati su i kancerogeni;

— čvrste čestice, u vidu čađi, u izduvnim gasovima motora SUS po svom sastavu su čvrsti grafit na kome se nalaze apsorbirane organske i neorganske komponente kao: ugljovodonici, oksidi azota, sumpordioksid i drugi. Njihovom resorpcijom na normalnim temperaturama dobijamo nove koncentracije zagađivača.

Danas mnoge države donose interne i međunarodne propise o ograničenju emisije toksičnih produkata u izduvnim gasovima motora SUS. Činjenica je da razvijene zemlje i regije donose najstrože zakone o ograniče-

nju emisije toksičnih polutanata i upućuju proizvođače motora na homologaciona ispitivanja. Na taj način zaštićena je vlastita sredina i tržište. Strogi propisi o strukturi izduvnih gasova motora SUS dovode u direktnu izolaciju manje proizvođače, pa i čitave države, koje nisu u stanju da prate trend razvoja motora i vozila u celini. I pored uvođenja strogih propisa struktura vazduha neće se bitno promeniti dok se ne promeni i vrsta goriva. Na ovu činjenicu upućuju mnoge institucije, a u prvom redu organizacije OECD [1]. Kao potvrda toga je stanje u Kaliforniji gde se, i pored najstrožih zakona po ovom pitanju, struktura vazduha nije bitno promenila. Posle navedene konstatacije nameće se pitanje budućnosti goriva i konvencionalnog motora i vozila.

Osnovni principi u izboru alternativnih goriva

Polazeći od postavljenog zadatka, zamene konvencionalnog goriva dobijenog preradom sirove nafte, moraju se imati u vidu osnovni principi i kriterijumi u odlučivanju:

- masovna proizvodnja goriva iz obnovljenih izvora,
- ekonomski efekti proizvodnje po energetskej jedinici,
- energetska gustina goriva po jedinici mase i zapremine,
- stepen pouzdanosti goriva u distribuciji i eksploataciji,
- podobnost goriva u formiranju sveže radne materije u motoru,
- ekološki aspekti goriva u radu i distribuciji.

Navedeni principi u izboru alternativnih goriva mogu se svesti na tri osnovna faktora: tehnički, ekonomski i ekološki. U skladu sa postavljenim zadatkom može se konstatovati da je u poslednje dve decenije obavljen ve-

liki broj opsežnih istraživanja u ovoj oblasti, sa jednim ciljem da se pronađe prikladno alternativno gorivo kojim bi se rešili energetske i ekološke problemi u transportu i mobilnoj mehanizaciji.

Problem nije jednostavan i dugo će se tražiti odgovor na to pitanje. Preliminarna istraživanja upućuju na nove izvore energije motornih goriva, kao što su goriva iz biomase, prirodni gas i ugalj (metanol, metan, ...), vodonik i električna energija.

Alternativna goriva za transport i mobilnu mehanizaciju ne bi trebalo da imaju gustinu energije po masi i zapremini manju od 10 MJ/kg. Na sli-

Sl. 1 — Toplotna gustina goriva po jedinici mase

Sl. 2 — Toplotna gustina goriva po jedinici zapremine

kama 1 i 2 mogu se videti osnovni podaci za ove parametre.

Ovi podaci mogu se prikazati i tabelarno, u formi mase goriva i njegove zapremine. Imajući u vidu različite potrebe i uslove smeštaja alternativnih goriva na vozilu, u tabeli 2 prikazani su i podaci za mase i zapremine goriva zajedno sa odgovarajućim rezervoarom.

Tabela 2

Vrsta goriva	Gorivo		Gorivo sa rezervoarom	
	kg	dm ³	kg	dm ³
Benzin	54	75	61	79
Metanol	120	149	130	161
Etanol	88	112	97	135
Prirodni gas: CNG (gas)	48	351	227	782
LGN (teč.)	48	115	109	456
Vodonik: gas na 200 bar	20	1150	1020	1870
tečnost (M _g H ₂)	20	289	160	289
Amonijak: tečni	129	203	206	380

Alternativna goriva i njihove osnovne karakteristike

Sa prvom energetsom krizom sedamdesetih godina počinje masovnija proizvodnja alkohol-etanola (C₂H₅OH) iz skoro svih organskih materija postupkom fermentacije. Današnja proizvodnja etanola i metanola relativno je mala i daleko je od potrebe za podmirenje gorivom transportnih sistema, a cena prevazilazi cenu benzina. Jedino je u Brazilu, zahvaljujući jeftinoj ceni sirovinske baze (šećerna trska), cena izjednačena sa cenom ben-

zina. I dok se u Južnoj Americi, kao osnova biomase, koristi šećerna trska, u Evropi se koristi uljana repica. Na ovom istraživanju rade mnoge evropske zemlje: Nemačka, Francuska, Italija i Austrija. Zapažena istraživanja kod nas počinju početkom devedesetih godina, u vreme sankcija i ekonomske blokade. Ideja je došla iz poljoprivrede pod motom »Gorivo iz poljoprivrede za poljoprivredu«. Esterifikacijom sirovog repičinog ulja uz dodatak metanola i odgovarajućih katalizatora, dobijaju se repičini metil-estri (RME) koji se popularno nazivaju biodizel.

Po svojim fizičko-hemijskim karakteristikama ovo gorivo je slično dizel gorivu D-2 [2] i koristi se u klasičnim dizel motorima bez bilo kakvih modifikacija motora. Laboratorijska i eksploataciona ispitivanja sprovedena u svetu, kao i u Institutu IMR-a Beograd i na Poljoprivrednom fakultetu u Novom Sadu, ukazuju na neznatnu razliku u pogledu pogonskih karakteristika [2]. Biodizel RME ima veći kinematski viskozitet (8,35/3,34) mm²/s i znatno višu tačku paljenja (173/70)°C u odnosu na klasično dizel gorivo D-2. RME ima manju toplotnu moć i do 15%, što upućuje na manju izlaznu snagu i veću potrošnju goriva. Struktura izduvnih gasova takođe nije identična. Emisija ugljenmonoksida CO manja je kod RME i do 20%, emisija dima i do 30%, dok je emisija ugljovodonika HC nešto veća (5%), a emisija ostalih azotnih oksida NO_x do 10%. Cena proizvodnje je viša i to u odnosu (70/21)% u korist dizel goriva D-2 [2].

Nema podataka o temperaturi samozapaljenja RME što je vrlo važno u procesu rada Dizel motora. Ta temperatura mora biti niža od temperature na kraju kompresije,

$$T_k = T_v \cdot \epsilon^{n-1} > T_{SZ_{RME}}.$$

Postoje simptomatični podaci o razređenju ulja za podmazivanje mo-

tora i njegovom smanjenom veku upotrebe i do 20%, bez pojašnjenja uzročno-posledične veze [2].

Navedeni rezultati upućuju na dalja istraživanja u pravcu formiranja sveže radne materije i njenu optimizaciju preko parametara kao što su: pritisci ubrizgavanja $p=(170/1400)$ [bar], stepen kompresije $\epsilon=(17/21)$, tip i oblik kompresionog prostora i drugo. Zaključak je jednostavan, nema identičnih motora visokog kvaliteta procesa sagorevanja sa gorivima različitih fizikalno-hemijskih karakteristika. Modifikacije su neminovne i to u pravcu istaknutih principa i krajnjih zahteva ekonomike i ekologije.

Bez obzira na lošije rezultate, u razvoj i istraživanje ove vrste alternativnih goriva i motora treba i dalje investirati.

Alternativna goriva iz prirodnog gasa i uglja imaju svoju perspektivu, tim pre što su u poslednje vreme pronađena velika nalazišta prirodnog gasa. Metanol je glavni predstavnik ove vrste goriva. Njegova ranija proizvodnja iz uglja Fischer-Tropschovim postupkom nije više aktuelna zbog visoke cene proizvoda. Danas se koristi novi, jeftiniji postupak, katalitička sinteza ugljenmonoksida i vodonika dobijenih modificiranom reakcijom vodenog gasa u kome metan, kao glavna komponenta prirodnog gasa, reaguje sa vodenom parom. Interesantne su i komercijalne metode dobijanja metanola iz gradskog otpada, a poznati su određeni rezultati u SAD.

Metanol je, verovatno, alternativa konvencionalnom gorivu u bliskoj budućnosti. Po svojim fizičko-hemijskim karakteristikama metanol je gorivo koje se bez posebnih tehničkih problema može koristiti u Oto motoru. Njegovo korišćenje u Dizel motoru pobuđuje izvesne probleme, kao što su loša karakteristika zapaljenja i loš uticaj na sistem za ubrizgavanje goriva.

Niža viskoznost goriva utiče na loše podmazivanje elemenata pumpe vi-

sokog pritiska, veće propuštanje goriva, kompresibilnost, sklonost ka kavitaciji i koroziji i čitav niz pratećih problema. Razvojni put primene metanola kod Dizel motora ide u pravcu prilagođavanja goriva motoru ili motora gorivu, a može i kombinovano. Do sada su poznata tehnička rešenja, kao što su modifikacija čistog alkohola, rastvori $D2-CH_3OH$, emulzije i drugo. Motori koji koriste metanol imaju bolju strukturu izduvnih gasova. Emisija azotnih jedinjenja NO_x i dimna vrednost znatno su niže nego kod konvencionalnih goriva, dok je emisija ugljenmonoksida CO i ugljovodonika HC neznatno niža.

Pored toga što se prirodni gas u motoru može koristiti prerađen u metanol, može se koristiti i u osnovnoj varijanti kao komprimiran (CNG) ili u tečnom stanju (LNG), pri čemu u motoru sagoreva kao gas. Tehnički ne postoje problemi za direktno korišćenje prirodnog gasa i danas blizu 500.000 vozila koristi ovu vrstu goriva. Najviše ih ima u Rusiji, Italiji i Novom Zelandu.

Vodonik kao alternativno gorivo za motore ima dve osnovne prednosti — može se dobiti u neograničenim količinama i predstavlja najčistije gorivo u pogledu zagađenja životne sredine. To su dva bitna razloga da se intenzivno radi na metodama komercijalne primene ovog goriva, a glavni problemi njegove primene su: visoka cena proizvodnje, veliki tehnički problemi primene, aktivna i pasivna bezbednost, kao i mala energetska gustina u gasovitom stanju MJ/cm^3 .

Glavni izvori za dobijanje vodonika su voda i fosilna goriva. Vodonik iz vode može se dobiti: elektrolizom, toplotnom konverzijom, termohemijskom konverzijom i fotolizom, a iz fosilnih goriva: kreking-postupkom, reforming-postupkom, oksidacijom i gasifikacijom.

Perspektiva dobijanja vodonika kao pogonskog goriva jeste elektroli-

za, naročito u predstojećem periodu kada se očekuje jeftinija električna energija dobijena iz solarnih ili nuklearnih izvora (fuzije). Problem niske energetske gustine može se rešavati na principima: komprimovanje (oko 600 bara), vezivanjem za pojedine metale (hidridi) ili utečnjavanjem i čuvanjem u kriogenim kontejnerima. Tehnički problemi primene vodonika kao motornih goriva nisu zanemarivi, jer motori moraju pretrpeti značajne modifikacije. Vodonik nije prikladan za rad dizel motora, ali je zato prikladan u oto motorima. Ima široku granicu zapaljivosti i veliku brzinu prostiranja plamena, što omogućuje rad sa siromašnim smešama, čime se postiže dobar indikatorski stepen iskorišćenja i niska emisija azotnih jedinjenja NO_x .

Motorna vozila na električni pogon imaju dug i paralelan razvoj sa motorima SUS, koji preuzimaju primat dvadesetih godina, zahvaljujući jeftinoj sirovinskoj bazi nafte.

Električna vozila zaostaju u razvoju zbog male gustine energije baterija i njihove visoke cene. Takođe, jedan od izraženih problema jeste i vreme punjenja baterija. Ova vrsta motornih vozila u eksploataciji ne zagađuje okolinu, što se, inače, smatra imperativom za vozila budućnosti. Ima indicija da će se do kraja ovog veka razviti visokotemperaturne NaS baterije sa izuzetno visokim kvalitetom, ali i visokom cenom. Konkurencija bi, predviđa se, bila podnošljiva kada bi cena benzina porasla na dvostruko veću u odnosu na današnju. Za dalju budućnost u programu su gorive ćelije, gde bi se kao glavni proizvod koristio vodonik a kao nusprodukt dobila voda. Nažalost, gorive ćelije ni do danas nisu dovoljno ispitane, iako su prvi rezultati vrlo impresivni. Stepenn iskorišćenja je dvostruko veći u odnosu na Oto motor. Bilo kako bilo, električna vozila postaju imperativ za eksploataciju u urbanim sredinama. U

tom pravcu rade paralelno mnogi proizvođači motornih vozila.

Razvojni centar firme Audi razvio je ekološko putničko vozilo — AUDI 100 AVANT TDI sa hibridnim duo sistemom. U prednjem delu vozila smešten je petocilindrični Oto motor, snage 100 kW, sa vučom na prednje točkove. Zadnji točkovi poseduju nezavisan elektropogon putem asinhronog motora snage 9,3 kW i obrtnim momentom od 110 Nm. Napajanje električnom energijom vrši se putem nikal-kadmijumovih baterija, napona 58,8 V. Elektropogon se uključuje u urbanim sredinama, pa je maksimalna brzina vozila svedena na 50 km/h sa ubrzanjem do 30 km/h za 8 sekundi. Radijusi kretanja su do 30 km, a baterije se napune za 45 minuta.

Firma Peugeot pustila je u serijsku proizvodnju (1995. godine) svoje električno putničko vozilo PEUGEOT-106 ELECTRIC sa motorom jednosmerne struje, snage 20 kW/(1600—6500) o/min i obrtnog momenta od 127 Nm/(0—1600) o/min. Elektromotor se napaja strujom iz nikal-kadmijumove baterije i ima radijus kretanja do 80 km. Maksimalna brzina vozila je 90 km/h, a ubrzanje do 50 km/h postiže za 8,3 sekunde. Ovo vozilo ima masu od 1060 kg i znatno je dinamičnije od vozila AUDI TDI čija je masa 1740 kg.

Pored ulaganja u razvoj putničkih motornih vozila na električni pogon, mnogi proizvođači rade na uvođenju električnog pogona i u autobuskom i komunalnom saobraćaju. Firma MAN, u saradnji sa ZF, radi na uvođenju električnog pogona na gradskim autobusima. Ovo istraživanje počelo je sedamdesetih godina, sa prvom energetskom krizom. Danas MAN obavlja eksploataciona ispitivanja sa minibusom NM 152, u koji je ugrađen EE-pogon snage 75 KW napajan iz akumulatora firme AEG. Firma ZF razvila je elektronsko upravljanje snažnim asinhronim elektromotorom ugrađenim na zadnjoj osovini. Posle prvih pet meseci

ispitivanja rezultati su bolji od očekivanih, te se očekuje dalji razvoj i dobra perspektiva ovog vozila. Radijus kretanja ovih vozila je 200 km. Firma Mercedes Benz, takođe, radi na ispitivanju EE pogona na zglobnim niskopodnim autobusima u gradskom saobraćaju.

Zaključak

Na osnovu izloženog o alternativnim gorivima motora motornih vozila, može se zaključiti sledeće:

Zamena konvencionalnih goriva motora motornih vozila društvena je

obaveza i odgovornost, zbog smanjenja raspoloživih resursa sirove nafte i zagađenja životne sredine.

Paralelno sa istraživanjem alternativnih goriva treba intenzivno raditi na usavršavanju postojećih motora.

Goriva iz biomase imaju perspektivu, posebno kada se radi o motornim vozilima u poljoprivredi, šumarstvu i građevinarstvu, a trend razvoja kreće se u pravcu prilagođavanja goriva motoru, kao i motora gorivu.

Dva analogna goriva u dva identična motora neće dati identične rezultate, (D2 i RME), što upućuje na detaljna istraživanja i razvoj.

Literatura:

- [1] Alternative Transport on Fuels and Air Pollution Impacts, OECD, ENV/AIR/90.3. Paris, 1990.
- [2] Furman, T., Nikolić, R. i drugi: Biodizel — proizvodnja i korišćenje — monografija, Poljoprivredni fakultet Novi Sad, 1995.
- [3] William K. Steinhagen: The automobile and air pollution, General Motors 1969.
- [4] Galloppulos, N. E.: Alternative fuels for reciprocating internal combustion engines General Motors Research Laboratories, Warren Michigan, 1977.
- [5] Presse Information — AUDI, MAN, Mercedes Benz.