



(rad po pozivu)

**ZAŠTITA OKOLINE -  
KLJUČNI CILJ AUTOMOBILSKE INDUSTRIJE**

**ENVIRONMENTAL PROTECTION -  
A KEY GOAL FOR THE AUTOMOTIVE INDUSTRY**

dr Radivoje Pešić<sup>1)</sup>, Dragan Đokić<sup>2)</sup>, dr Snežana Petković<sup>3)</sup>, dr Stevan Veinović<sup>4)</sup>

**Rezime:** Tehničke inovacije u automobilske industriji omogućile su uspješne optimizacije karakteristika vozila kao što su bezbednost, ekonomičnost, komfor, servisibilnost i zaštitu okoline kod svih vozila. Zato se projektovanje i eksploatacija zasnivaju na globalnim kriterijumima: smanjenje emisije iz vozila, smanjenje potrošnje goriva, povećana bezbednost, recikling vozila i proizvodnja vozila sa minimalnim negativnim uticajem na okolinu.

Automobilske industrije brinu ne samo problem emisije iz vozila u toku korišćenja nego i emisija tokom proizvodnje. Emisija gasova i količina otpadnog materijala tokom proizvodnje mora biti smanjena na minimum. Kao deo ukupnog pristupa, o kraju životnog ciklusa novih modela vozila, nalaže da se o tome vodi računa još u početnom stadijumu projektovanja.

Primena aluminijuma u automobilske industriji omogućuje smanjenje mase vozila i motora, a onda srazmerno tome smanjenje potrošnje goriva i emisije CO<sub>2</sub>. Osim toga aluminijum je veoma povoljan materijal za reciklažu.

Mi verujemo, da motor, koji je prezentovan u ovom radu, sa alternativnim radom po Oto ili dizel ciklusu i kontinualno promenljivim stepenom kompresije, koji ima prvostepeni uticaj na ekonomičnost, može biti pogonski agregat vozila sa potrošnjom "3 l/100 km" i emisijom CO<sub>2</sub> ispod 100 g/km.

**Ključne reči:** Ekologija, globalno zagrevanje, integralni oto-dizel motor, potrošnja goriva

**Abstract:** The technical innovation in the automotive industry has succeeded in optimizing safety, economy, comfort and convenience and environmental protection in its vehicles. Therefore, design and exploitation are founded on global criteria: reducing vehicle emissions, reducing fuel consumption, safeguarding resources, vehicle recycling, and environmentally-friendly production.

The automotive industry's environmental protection measures focus not only on the product itself but also on product development. Gaseous emissions from production processes have been reduced to a minimum, and the volume of waste material has also been cut down. As part of a holistic approach, the end of a new model's life is taken into consideration as early as the product development stage. Most of the modern car can be recycled.

Application of aluminium in automobile industry enables the reduction of weights of vehicles and engines and, accordingly, enables the reduction of fuel consumption and CO<sub>2</sub> emission. Besides, aluminium is very favourable material for recycling.

We believe that engine, which was presented in the paper, with flexible Otto or Diesel cycles and continuously variable compression ratio, due to its first-grade influence on fuel economy, can be a driving unit for "3 l/100 km" and the CO<sub>2</sub> emission under 100 g/km vehicles.

**Key words:** Ecology, Fuel consumption, Global warming, Integral Combustion engine Otto-Diesel

1) Prof. dr Radivoje Pešić, Mašinski fakultet u Kragujevcu, pesicr@kg.ac.yu

2) Dipl. inž. Dragan Đokić, Grupa Zastava vozila Zastava, djole@microsky.net

3) Docent dr Snežana Petković, Mašinski fakultet u Banja Luci, petkovic@urc.bl.ac.yu

4) Prof. dr Stevan Veinović, Mašinski fakultet u Kragujevcu, vpst@kg.ac.yu

# 1. VOZILA I EKOLOGIJA

## 1.1 Uticaj vozila na okolinu

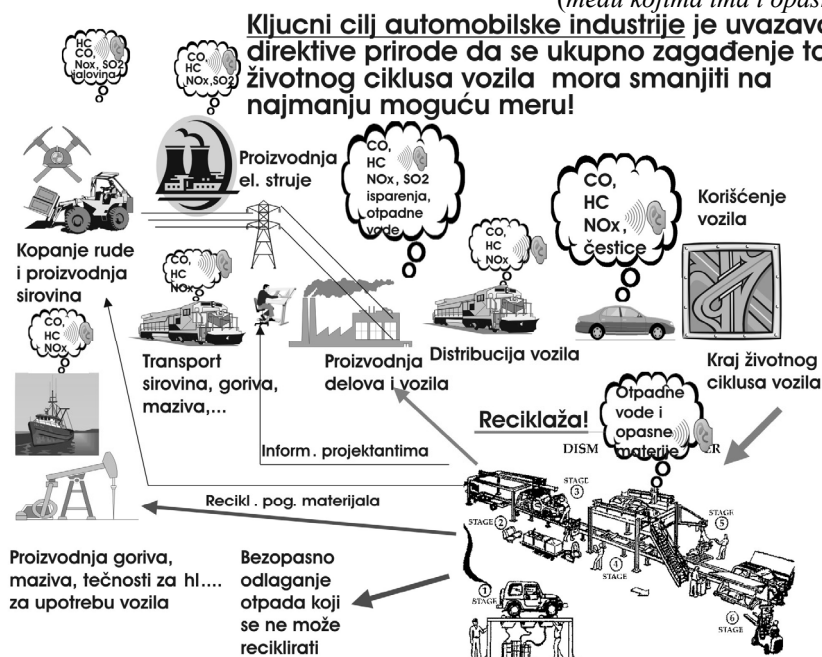
Mnogim svojim aktivnostima, pa i upotrebom vozila, čovek narušava ekološku ravnotežu na planeti Zemlji.

To narušavanja se ogleda u:

- Potrošnji prirodnih izvora u toku proizvodnje vozila (efikasnost izdvajanja metala iz rude je svega 5-6% a 95% su

otpadni materijali koji se deponuju na površini zemlje),

- Potrošnji goriva i kiseonika iz vazduha u toku eksploatacije,
- Emitovanju buke i štetnih materija u vazduh, zemlju i vode u toku proizvodnje i eksploatacije vozila (*usled tehničkih neispravnosti naših starih vozila često dolazi do curenja pogonskih fluida koji su jaki otrovi pa ulaze u zemlju i podzemne vode*) i
- Odlaganju vozila u vidu raznih otpada (među kojima ima i opasnog) na deponije.



**Slika 1 - Uticaj vozila na okolinu u toku životnog ciklusa**

Od svih ovih narušavanja ekološke ravnoteže najveća pažnja se do sada poklanjala zagađenju vazduha dok, vremenom, ostali problemi dobijaju sve veći značaj. Direktiva prirode je da se ukupno zagađenje od strane vozila u toku čitavog životnog ciklusa mora smanjiti. Zbog toga se svakoj karici u lancu životnog ciklusa vozila mora posvetiti adekvatna pažnja, slika 1.

## 1.2 Recikling u automobilskoj industriji

Presudno rešenje u održivoj tehnologiji jeste očuvanje prirodnih izvora. U industrijskom kontekstu postoje dve opšte kategorije resursa: (sirovine i energenti) materijala i energije. Jedan od načina očuvanja resursa jeste recikling.

Godišnje, u celom svetu, oko 18 miliona vozila stiže do kraja svog životnog ciklusa. Ukoliko bi se sva ta vozila odlagala kao otpad to bi iznosilo 20 miliona tona (ili 70 miliona m<sup>3</sup> po zapremini) novog čvrstog otpada svake godine koji bi opterećivao našu okolinu.

### 1.2.1 Nemačka regulativa

Glavna pokretačka snaga za reciklažu automobila u Nemačkoj je Zakon "Uzmi-nazad". Taj zakon ima dva aspekta:

- 1 U Nemačkoj je "Zakon o uzimanju nazad" vozila na kraju životnog ciklusa donesen 1.1.1995. godine. On obavezuje sve proizvođače vozila da uzmu nazad sva vozila, na kraju životnog ciklusa, koja su prodana u toj zemlji.
- 2 U dopunskim zahtevima taj nemački zakon zahteva od proizvođača automobila da stalno teže većem stepenu recikliranja delova automobila i on čak postavlja minimalne granice za reciklažu pojedinih delova. Takođe zahteva da se pri projektovanju delova vodi računa o lakoj demontaži.

### 1.2.2 Evropska regulativa

Evropska komisija takođe radi na sličnim zakonskim "Uzmi-nazad" regulativama. Zato se uvode granice o maksimalno dozvoljenom

procentu automobila koji mogu biti odloženi na zemlji kao otpad (deponovani):

1. početkom 2002. najviše 15% vozila po težini je bilo dozvoljeno da se odloži kao otpad ili da se sagori bez regeneracije energije,
2. za nove modele od 2002 najviše 10% mase vozila može biti odloženo kao otpad i
3. najviše 5% mase vozila može se odlagati kao otpad u 2015. godine

Od 2005. godine dokumentacija mora biti upotpunjena sa uverenjem da su ovi uslovi zadovoljeni [1, 2].

### 1.3 Ocena reciklabilnosti automobila

Globalizacija i veća efikasnost nalažu konvergiranje Nemačke i Evropske regulative. Radi ocenjivanja reciklabilnosti delova automobila VRP - Vehicle Recycling Partnership definiše sledeće 5 kategorije:

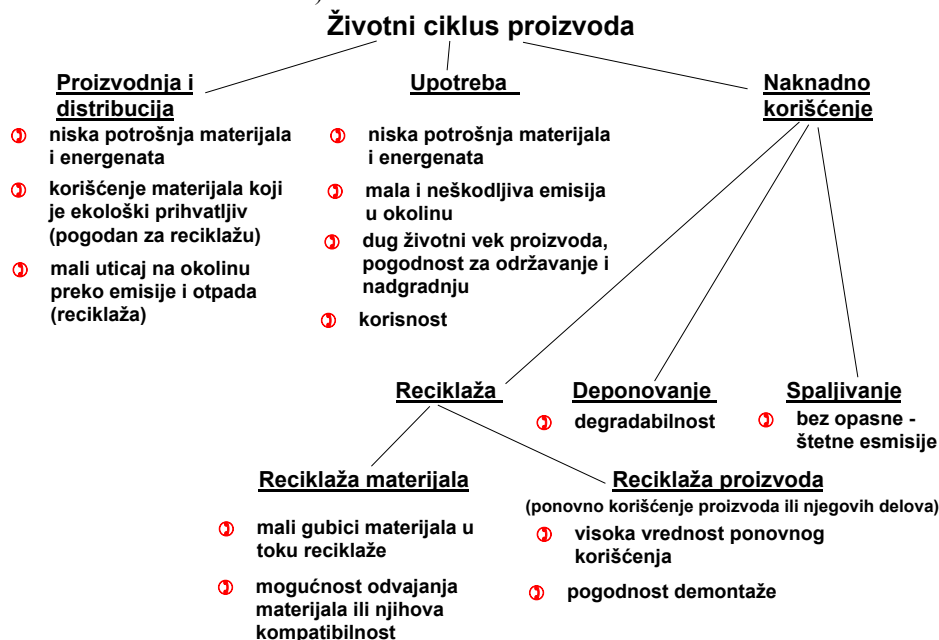
1. **Raciklabilan – infrastruktura i tehnologije su potpuno jasno definisane** –deo je kompletno-potpuno reciklabilan (ili se ponovo može koristiti), infrastruktura je jasno definisana i funkcioniše (na primer, limovi školjke, blokovi motora),
2. **Potencijalno reciklabilan, ali infrastruktura nije još dostupna.** Mreža prikupljanja nije definisana niti organizovana (na primer, ukrasni delovi od plastike interijera).
3. **Potencijalno reciklabilan, ali još nisu razvijeni načini rada ili dokumentacija.** Tehnologije nisu još komercijalizovane (na primer na reciklaža stakla-fibera).

4. **Mogućnosti korišćenja energije iz materijala onog proizvoda koji je doživeo kraj životnog ciklusa.** Poznate tehnologije/kapaciteti za ekonomski isplativo korišćenje (na primer piroliza guma).
5. **Nema poznatih potencijala za reciklažu-** tehnologije za reciklažu nisu poznate (na primer delovi interijera od kože i sl.).

Pojedini istraživači ističu da se ocena proizvoda po prijateljskom odnosu ka okolini treba izražavati u jedinicama energije. Manje angažovanje energije (manja potrošnja energenata) čini proizvod kvalitetnijim sa aspekta uticaja na okolinu. Ovo mišljenje dovelo je do uvođenja tzv. analize životnog ciklusa (Life Cycle Analysis/Assessment) ili ocenjivanje čitavog životnog ciklusa proizvoda. Analiza životnog ciklusa (ili ocenjivanje) jeste metod u kome angažovanje energije i potrošnja sirovog materijala, različite vrste emisije i ostali važni faktori koji utiču na osobine proizvoda se uzimaju u obzir i analiziraju, i sumiraju u toku čitavog životnog ciklusa proizvoda, sa aspekta ekologije. EPA ima pozitivan stav prema LCA.

Kada ljudi pričaju o reciklaži, oni često misle na reciklažu nakon korišćenja proizvoda, tako se reciklaža proizvoda ili materijala vrši posle upotrebe od strane korisnika. Važno je istaći da nije samo reciklaža jedini aspekt koji čini proizvod održivim ili neškodljivim po okolinu. Na slici 2 su prikazani brojni drugi aspekti.

Kako je već istaknuto na slici 2, reciklaža se može ostvarivati u različitim stadijumima u toku životnog ciklusa proizvoda.

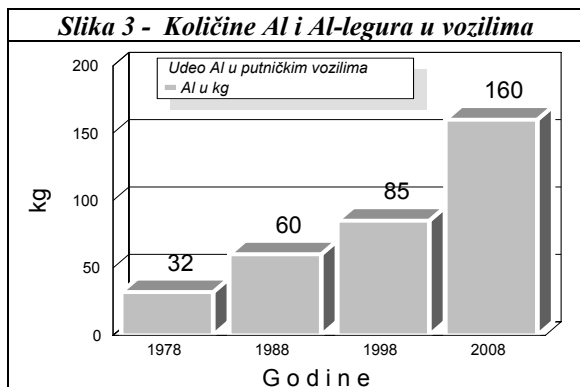


Slika 2 - Aspekti koji čine proizvod neškodljivim po okolinu ili održivim

Neki koriste termin «reciklaža pre korisnika» kako bi opisali reciklažu otpada u toku izrade proizvoda

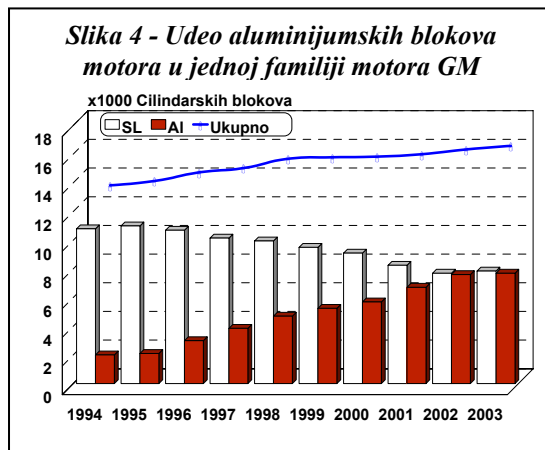
## 2. TRENDOVI U RAZVOJU VOZILA

Smanjenje mase vozila za 100 kg dovodi do smanjenja potrošnje goriva od 0.5 do 1 lit/100 km. Težnja da se smanjenje potrošnje goriva ostvaruje smanjenjem mase vozila, tako što će se koristiti više delova od plastike (*koji se ne mogu reciklirati*) je zaustavljena i obaveza je konstruktora da još na projektantskoj stolu vrše izbor materijala delova koji omogućuje reciklažu, slika 1. Izbor materijala delova iz uslova reciklaže može se izneti na primeru katalizatora koji danas mora imati svaki novi automobil. Ranije su nosači katalizatora izrađivani od keramike i imali su problem da učestvuju u procesu reciklaže. Danas se nosači katalizatora izrađuju od metala koji se mogu reciklirati i sa kojih se ponovo koristi platina za izradu katalitičkog sloja. Najveći svetski proizvođači platine imaju 30% ukupne proizvodnje baš od korišćenih automobilskih katalizatora.



Za dobijanje 1 kg čelika iz rude treba angažovati 40,000 kJ energije a za čelik iz reciklaže 18,100 kJ -*više nego dvostruko manje*. Za dobijanje 1kg aluminijuma iz rude treba angažovati 190.000 kJ a iz reciklaže 26,700 kJ -*7 puta manje!* Ovo je izvanredna osobina koja daje veliku prednost primeni aluminijuma u automobilskoj industriji.

Primena Al kod putničkih vozila je zadnjih godina u stalnom porastu. Tako je 1998.g. prosečna količina Al iznosila 85 kg po vozilu. Očekuje se da će do 2008. ovaj udeo porasti na 130 kg po vozilu [3]. Za sada najveću primenu Al nalazi kod motora, menjača i karoserija. Posebno se Al rado koristi kod vozila više klase. Naprimera, Mercedes-Benz CL ima primenu mnogih delova od Al na spoljnjem kosturu karoserije. Kod BMW serije 3 Al se nalazi u prednjem delu vozila i to od livenih komponenti. Brojni karoserijski delovi od livenog i kovanog Al su kod Audi-ja A4 i Porsche «Boxtera». Na MB klase «A» su poprečni nosači,



podni deo i nosači oslanjanja od Al. Isto tako mogu se naći vozila kod kojih su noseće strukture od Al, navodimo Audi A2 i A8, BMW Z8, Ferrari 360 Modena i Honda NSX. Na svetskom kongresu o primeni Al u automobilskoj industriji, novembra 2005.g., data je sledeća prognoza o količini Al-legura u vozilima, sl.3.

## 3. SAVREMENE DIREKTIVE U RAZVOJU MOTORA

Težnja za smanjenjem mase karoserije vozila prenosi se i na motor. Kod motora najteži i najodgovorniji deo je cilindarski blok. U klasičnim konstrukcijama on se izrađuje od SL. Ukoliko se blok lije od legure aluminijuma ostvaruje se značajno smanjenje mase motora i samog vozila. Zbog toga je trend u svetskoj automobilskoj industriji da se odlivci bloka od SL zamene legurama Al. Na slici 4 je prikazan trend povećanja odlivaka bloka od legure Al na primeru jedne familije motora GM.

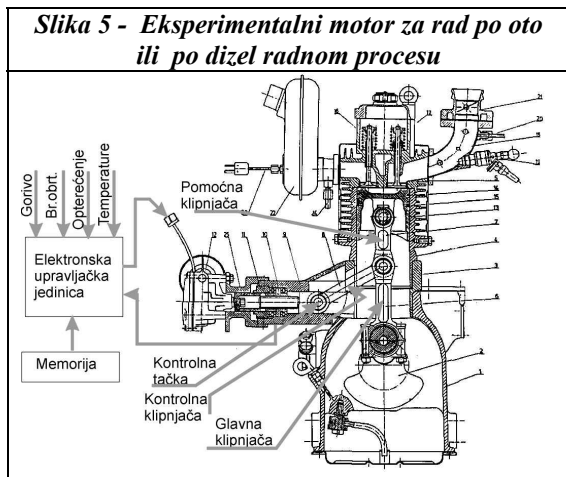
Najveće razlike u konstruktivnim detaljima između oto i dizel motora su bile naglašene u doba njihovog pojavljivanja. Prvo uputstvo za projektovanje oto motora je nalagalo da stepen kompresije ne sme biti veći od 3.5 inače dolazi do havarije. Glavne kočnice napretku oto motora su tadašnje tehnologije u proizvodnji goriva. Nasuprot tome kod dizel motora se insistiralo na najvećem stepenu kompresije koji dozvoljavaju proizvodnje i konstruktivne tolerancije. Sve se svodilo na izuzetno stroge uslove u proizvodnji dizel motora, a najpre kod preciznih sistema za ubrizgavanje goriva pod visokim pritiskom.

Po današnjim merilima vitalni delovi oto motora su pre svega termički opterećeni. Serijske usisne dizel motore najviše ugrožavaju mehanička opterećenja.

Uvođenje turbo nadpunjenja je prva smernica ka simbiozi oto i dizel motora. Turbo punjenje kod oto motora podiže mehanička opterećenja, a kod dizel motora termička opterećenja. Tome

dodajemo i druge tehnološke sličnosti u koje spadaju komore sa direktnim ubrizgavanjem kod dizel motora i direktno ubrizgavanje benzina u cilindre kod oto motora.

Bitne razlike se svode na razlike u gorivima. Rafinerijske specijalnosti danas protivureče



unifikaciji goriva. Takozvana višegoriva svojstva motora su istorijske kategorije iz armijskih projektnih uslova. Najnovija NATO formula «jedno gorivo i jedno mazivo za sva vozila» i za celokupnu mehanizaciju samo aktuelizuje te naloge.

Budućnost pripada termogenoj materiji koja je široko dostupna, a ima visoke ekološke atribute. Ekologija očekuje da se i današnja goriva, dobijena iz nafte, formulišu po ekološkim kriterijumima. Sva ostala alternativna goriva iz prirodnog gasa ili bio masa mogu dobiti ulogu korektora i/ili aditiva. Njihove primenske osobine se koriguju bliže oto ili dizel procesu u istom cilindru motora [4].

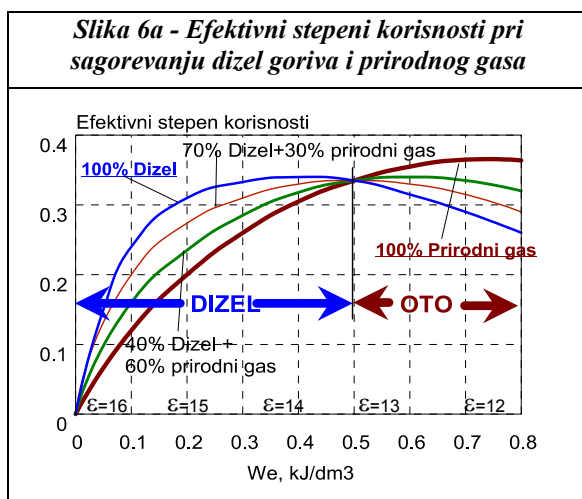
Već smo se navikli na činjenicu da su za otpis vozila ekološki kriterijumi važniji od mehaničke i estetske zastarelosti. Ako želimo optimiranje po celom radnom polju onda su kriterijumi za optimiranje motora: stepen kompresije, broj obrtaja i opterećenje. Uslovi mogu biti ekološki, ekonomičnost u potrošnji goriva, buka i sve vrste kompromisa. Opet je problem izbor goriva.

Na slici 5 prikazan je eksperimentalni motor sa tri klipnjače koji je razvijena na Mašinskom fakultetu u Kragujevcu. Motor ima automatsku i to kontinualnu promenu stepena kompresije. Izvodi se u dve varijante oto i dizel [5,6,7].

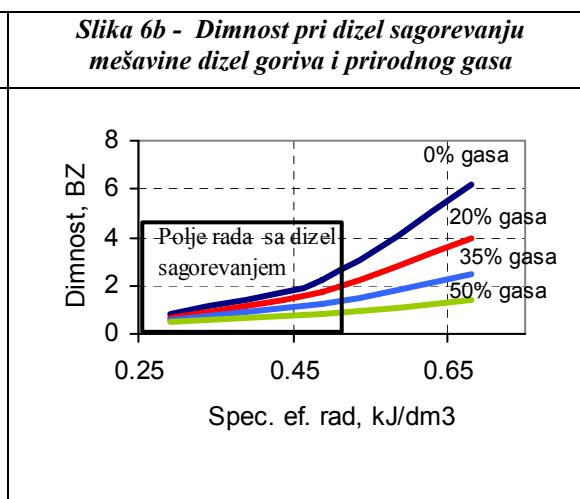
Promena varijante se može vršiti zamenom klipova, cilindarske glave i pumpe za ubrizgavanje goriva. Mnogo interesantnije je u istom cilindru aktivirati oba radna procesa. Ovaj laboratorijski motor, sa kontinualno promenljivim stepenom kompresije, ima to svojstvo. On može optimalno raditi po oba radna procesa zavisno od zadatog režima.

Realnost ovakvih tema ima svoju predistoriju. To su kod dizel motora verzije «M» i «D» sistema sagorevanja. Oto motori su u ranoj fazi avijacije imali ubrizgavanje benzina, potom slojevito sagorevanje u početku ekološke ere vozila. U većini tih istorijskih faza težilo se višegorivim karakteristikama radnog procesa.

Moderna tehnika za obradu dijagrama omogućuje više-parametarsko optimiranje motora po ekološkim i energijskim kriterijumima. Na nekoliko dijagrama ćemo prikazati dosadašnje rezultate, sl. 6 a i b.



Mi smo ispitali rad eksperimentalnog motora u dvogorivoj varijanti. Ispitivanja su rađena na eksperimentalnom motoru u Laboratoriji za motore SUS Mašinskog fakulteta u Kragujevcu. Dizel



gorivo je dozirano direktno u cilindar uz pomoć standardnog sistema, dok je gasno gorivo (u ovom slučaju prirodni gas) uvođeno u usisni sistem preko šikljača. Neki od rezultata su prikazani na

slici 6a. Zapažamo da na nižim opterećenjima (ispod  $0.5 \text{ kJ/dm}^3$ ) najveće stepene korisnosti eksperimentalni motor ostvaruje pri radu sa čistim dizelom. Odnosno u slučaju rada po dizel procesu sa ne homogenim sagorevanjem. Na većim opterećenjima najveći stepeni korisnosti se ostvaruju u slučaju rada sa čistim prirodnim gasom odnosno pri sagorevanju homogene smeše što odgovara oto procesu.

Takav multi-procesni oto/ dizel motor rešava i problem emisije dima dizel motora tako što će na režimima velikih opterećenja, kada je emisija dima dominantna, raditi po oto ciklusu koji eliminiše problem dima, slika 6b [8].

Osnovna pretpostavka multi procesnog oto/dizel motora jeste motor sa automatski promenljivim stepenom kompresije, u skladu sa radnim režimima, i elektronskom komandom gasa. Na njega se nadgrađuje odgovarajući sistem za paljenje, sistem za napajanje gorivom (ili gorivima) i aditivima uz odgovarajući sistem elektronskog upravljanja. Jedna takva konstrukcija motora razvija se na Mašinskom fakultetu u Kragujevcu ("A motor") [5-9].

#### 4. ZAKLJUČCI

- Po zakonima prirode čoveku nije dato ni da stvori ni da uništi ni masu ni energiju. Svaka pomisao na neograničene izvore energije je put ka potpunom uništenju života na našoj Planeti. Usklađivanje demografskog rasta, na nivou svake generacije i svakog pojedinca, sa racionalnim angažovanjem energije je pitanje profesionalne savesti ne samo tehnički obrazovanih lica.

- Direktiva prirode je zaštitu okoline nametnula kao ključni cilj automobilske industrije automobila. Pri tome se o zaštiti okoline mora voditi računa u toku čitavog životnog ciklusa. Dakle negativni uticaj se mora smanjiti tokom sve četiri faze životnog ciklusa: 1. Proizvodnje sirovina i pogonskih materijala; 2. Proizvodnje vozila; 3. Upotrebe vozila i 4. Reciklaže vozila u toku i na kraju njegovog životnog ciklusa.

- Primena aluminijuma u automobilske industrije omogućuje smanjenje mase vozila i motora. Srazmerno tome je MANJA potrošnja goriva, manje zagrevanje okoline i niža emisija trokomponentnih gasova kao što su  $\text{CO}_2$  i  $\text{H}_2\text{O}$  koji prave zagušljivu atmosferu.

- Aluminijum je veoma povoljan materijal za reciklažu.

- Motor sa promenljivim stepenom kompresije i sa jednim ekološkim gorivom, posebno iz obnovljivih sirovina, kome se u skladu sa radnim režimom doziraju aditivi za povećanje oktana ili

cetana može da u istom cilindru realizuje i oto i dizel ciklus.

- Multiprocesni oto/dizel motor omogućuju realizaciju 100-godišnjeg sna inženjera u automobilske industrije, a to je stvaranje jednog motora sa dobrim osobinama i oto i dizel motora i jednog ekološki i energijski optimiranog goriva – ne samo iz nafte već po pravilu iz obnovljivih izvora!

#### LITERATURA

- [1] [http://www.acea.be/ASB/ASBv1\\_1\\_new.nsf](http://www.acea.be/ASB/ASBv1_1_new.nsf), <http://www.eaa.net/>- "European Aluminium Association"
- [2] D. Gruden: „Traffic and Environment”, Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2003, Printed in Germany, p. 1-293, ISBN 3-540-00050-x
- [3] H. Wallentowitz, Karl-Heinz von Zengen at all.: Leichtbaupotenzial eines aluminiumintensiven Fahrzeugs, ATZ 3/2003 Jahrgang 105: FORSCHUNG/Leichtbau.
- [4] R. Pešić, K. Golec, E. Hnatko, H. Kaleli & S. Veinović: Experimental engine with flexible otto or diesel cycle (VCR- Variable Compression Ratio), - IAT'03, Koper/Portorož, p. 281- 290., April 24-25, 2003.
- [5] R. Pešić: "Istraživanja iz oblasti motora sus - Laboratorija za motore sus na Mašinskom fakultetu u Kragujevcu", Mašinski fakultet u Kragujevcu, monografija od 473 strana, Kragujevac 2000.
- [6] R. Pešić: "ASMATA" Automobile steel materials parts substitution with aluminum, (Evropski projekat u okviru EUREKA tima) Mobility & Vehicle Mechanics - International Journal for Vehicle Mechanics, Engines and Transportation Systems, ISSN 1450 -5304, Volume 30, Special Edition, December 2004. p. 1-166.
- [7] R. Pešić: Automobilski oto motori sa minimalnom potrošnjom, Monografija, Specijalno izdanje časopisa Mobility & Vehicle Mechanics, Kragujevac 1994.
- [8] Sudarević D.: "Sistemi za napajanje vozila prirodnim gasom", Diplomski rad, Mašinski fakultet u Kragujevcu 2002. godine.
- [9] R. Pešić, S. Veinović, A. Davinić: Jugoslovenski patenti: 1012, 1013, 1014, 1015/ 1992, 130/2000, 1128/04 od 22.12.2004, 0499/2005