

**Saša MILOJEVIĆ**  
**Radivoje PEŠIĆ**  
**Stevan VEINOVIĆ**

## **ISTRAŽIVANJE UTICAJA STEPENA KOMPRESIJE NA EMISIJU I DRUGE KARAKTERISTIKE MOTORA SUS**

### **1. UVOD**

Evropsko zakonodavstvo uvodi sve strožije granice za emisiju toksičnih produkata sagorevanja. Sledeći korak su **Euro 5** propisi predviđeni za 2008. godinu, koji zahtevaju dodatna pooštrenja, sa fokusom na emisiju čestica sa izduvnim gasovima iz dizel motora.

Evropski proizvođači automobila planiraju smanjenje "efekta staklene bašte", do 2008. godine, uvođenjem vozila koja emituju manje od 140 g(CO<sub>2</sub>)/km. Saglasno tome, treba smanjiti potrošnju goriva za oko 25 % u odnosu na nivo iz 1995. godine. Ozbiljno se razmatra i naredno smanjenje emisije ugljen dioksida na nivo od 120 g/km do 2012. godine /1,2/.

U isto vreme, kupci očekuju bolje performanse, veći nivo bezbednosti i komfor, koji se u većini slučajeva ostvaruju uz povećanje ukupne mase vozila, što protivreči zahtevu za manjom potrošnjom goriva.

Današnji automobilski dizel motori sa direktnim ubrizgavanjem goriva, ekonomičniji su do 30 % u odnosu na vozila iste klase sa benzinskim motorima. Sa ovim rezonom kao što je aktuelna praksa u Evropi, dizel motori su dobra solucija za smanjenje potrošnje goriva i emisije CO<sub>2</sub>.

Saglasno tome, u zemljama članicama EU, dizel motorom je opremljeno do 50 % putničkih automobila, što predstavlja značajnu ekspanziju u odnosu na njihovu zastupljenost u evropskim vozilima od 27 % 1997. godine /3/.

Osnovne promene na dizel motorima su usmerene u pravcu postizanja niske emisije NO<sub>x</sub> i čestica, bez negativnog uticaja na njihovu izvanrednu ekonomičnost goriva.

Koje tehnologije treba primeniti za postizanje ekoloških i zahteva u pogledu ekonomičnosti, zavisi od ukupne mase vozila. Za sada je moguće zadovoljiti propise Euro 4 u oblasti malih i automobila srednje klase.

Jedan od novih tehnoloških doprinosa, važnih za sve dizel automobile, su brizgači sa piezo—električnim upravljanjem. Ova tehnologija ima preciznije odmeravanje, predubrizgavanje i naknadno ubrizgavanje veoma malih količina dizel goriva. Na slici 1 je prikazan piezo brizgač Bosch-Siemens.



**Slika 1: Piezo brizgač dizel goriva**

**Mr Saša MILOJEVIĆ, saradnik**  
*E-mail: sasa\_milojevic@yahoo.com*  
**Prof. dr Radivoje PEŠIĆ; pesicr@kg.ac.yu**  
**Prof. dr Stevan VEINOVIĆ; vpst@kg.ac.yu**  
*Mašinski fakultet u Kragujevcu*

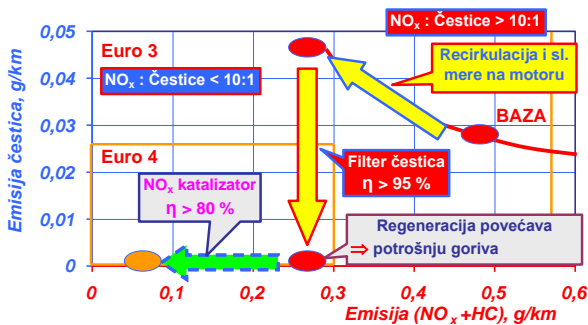
Primenom DeNO<sub>x</sub> katalizatora, moguće je ostvariti nisku emisiju NO<sub>x</sub>, dok filtri čestica zadržavaju više od 95 % čestica. Obzirom da sadržaj sumpora u gorivu smanjuje stepen korisnosti katalizatora za obradu produkata sagorevanja, goriva sa niskim sadržajem sumpora moraju biti svima dostupna.

Na osnovu dostupnih tehničkih rešenja, prema firmi VW, realno je primeniti sledeće mogućnosti za poboljšanje ekoloških karakteristika dizel motora /3/:

- Optimiranje procesa sagorevanja
- Povećanje stepena korisnosti oksidacionog katalizatora
- Smanjenje sadržaja sumpora u gorivu
- Ugradnja filtra čestica i NO<sub>x</sub> katalizatora.

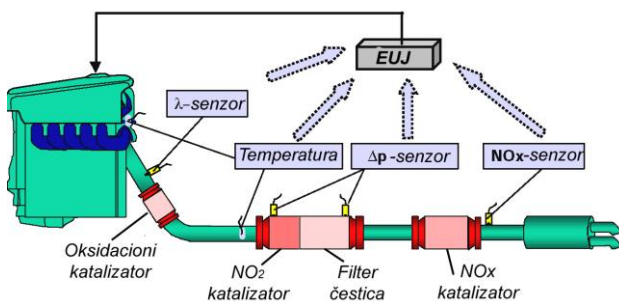
Na slici 2 su prikazane neke od strategija za razvoj novih dizel motora za putnička vozila /3/.

Strategije razvoja dizel motora za putnička vozila:



Slika 2: Strategije za razvoj dizel motora /3/

Danas su dostupne brojne konstrukcije sistema za katalitičku obradu NO<sub>x</sub> i čestica. Na slici 3 je dat prikaz jedne od koncepcija koja se koristi na vozilima firme VW /3/.

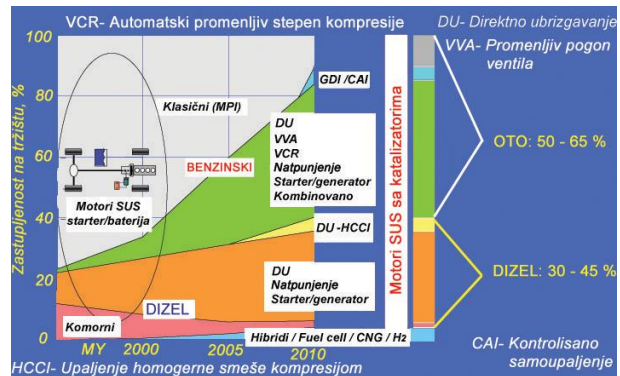


Slika 3: VW sistem za filtriranje čestica i katalitičku konverziju NO<sub>x</sub> /3/

Primenom navedenih sistema za visokopritisno ubrizgavanje i katalizatora, ne mogu se u potpunosti zadovoljiti granice propisa Euro 4 i Euro 5.

Zbog toga se istražuju i mogućnosti optimiranja dizel procesa sagorevanja. Poboľšan proces sagorevanja, ACCP (engl. Advanced Common Rail Combustion Process), zasniva se na radu sa homogenom smešom goriva i vazduha. Ispitivanjem prototipa motora, izmerene su ekstremno niske emisije čestica i NO<sub>x</sub>.

Na slici 4 je prikazana procena zastupljenosti u prodaji određenih koncepcija vozila na tržištu EU /3/. Predviđanje je zasnovano na bazi dostupnih tehnologija, uz analizu cene.



Slika 4: Prognoze zastupljenosti koncepcija motora za putnička vozila u Evropi /3/

Dizel motori sa direktnim ubrizgavanjem, brzo će zameniti sve komorne dizele. Ukupan procenat dizela se povećava sa poboljšanjem karakteristika ovih motora i očekuje se zastupljenost u putničkim vozilima do 50 %.

Benzinski motori sa direktnim ubrizgavanjem, GDI, biće zastupljeni sa oko 30 % na tržištu automobila do 2010. godine, i neki od ovih motora će raditi pouzdano sa homogenom smešom uz primenu DeNO<sub>x</sub> katalizatora i goriva sa niskim sadržajem sumpora. Uvođenjem Valvetronic-a, BMW uvodi motore sa potpuno varijabilnom šemom razvoda.

Putem smanjenja težine i zapremine motora (engl. Downsizing), i uvođenjem natpunjenja, ostvaruje se veći specifični rad, smanjuju se gubici na trenje, i bitno smanjuje potrošnja u gradskim uslovima vožnje, koja je u najvećem stepenu srazmerna radnoj zapremini. Od 2005. godine aktivno se primenjuju obe navedene tehnologije.

Prirodni gas kao alternativno gorivo je postao aktuelan u Evropi. U Nemačkoj se predviđa dupliranje broja pumpnih stanica svake godine.

U oblasti hibrida, prvi paralelni hibridi sa optimiranim oto motorima su uvedeni u Japanu tokom poslednjih godina.

U Evropi se očekuje primena starter – generator sistema. Prve gorive ćelije u automobilima se predviđaju za 2006. godinu i uzimaće sve veće učešće, saglasno smanjenju cene i ukupne mase istih, ali se ozbiljnija primena ne očekuje pre 2020. godine.

## 2. KONSTRUKCIJE NEKIH MOTORA SA PROMENLJIVIM STEPENOM KOMPRESIJE

U literaturi se može naći dosta opisa konstrukcijskih rešenja motora sa promenljivim stepenom kompresije. Kod većine mehanizama, stepen kompresije se menja promenom kompresione zapremine. To se ostvaruje putem mehanizama za promenu zapremine komore za sagorevanje, rastojanja između glave cilindra i ose rotacije kolenastog vratila, efektivne dužine klipnjače, rastojanja između ose osovinice klipa i položaja spoljašnje mrtve tačke.

U Laboratoriji za motore, na Mašinskom fakultetu u Kragujevcu, realizovan je prototip benzinskog "A motora" sa samoregulacijom stepena kompresije, slika 5 /4,5/.

Stepen kompresije se menja asinhronim kretanjem klipova u cilindarskom paru motora sa dva kolenasta vratila. Pogonsko i gonjeno kolenasto vratilo motora su međusobno spregnuti parom cilindričnih zupčanika sa kosim zubcima.

Asinhronost klipova u cilindarskom paru se može kontrolisati odgovarajućim regulatorom (mehaničko–hidraulički efekti kombinovano).

Sinhrono kretanje klipova daje najviši stepen kompresije, dok povećanje ugla asinhronosti (*fazni pomak između kretanja klipova u cilindarskom paru*), dovodi do smanjenja stepena kompresije. Pri tome, promena asinhronosti se može ostvariti na račun promene obrtnog momenta kolenastih vratila.

Dakle, kod ovog motora pri promeni asinhronosti dolazi do promene položaja SMT i saglasno tome, do promene šeme razvoda /4/.

Kompresiona zapremina motora je ograničena: glavom cilindra, čeonim površinama dva radna

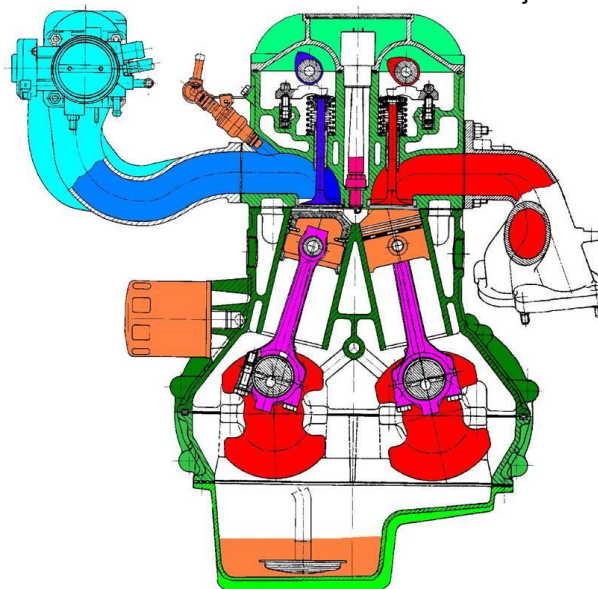
klipa i zajednička je za svaki cilindarski par motora.

Zbog značaja konstruktivnih rešenja koja su dokazana kod oto motora, ista su analizirana i za primenu kod dizela.

SERBIAN PATENTS: 3899/80 and 1012/92

Prof. dr Stevan Veinović

Prof. dr Radivoje Pešić



**Slika 5:** "A motor" sa samoregulacijom stepena kompresije /4,5/

Inženjeri firme Hispano–Suiza konstruisali su dizel motor sa promenljivim stepenom kompresije, putem hidrauličkog mehanizma za promenu kompresione zapremine, tj. zapremine vihorne komore, slika 6 /6/.

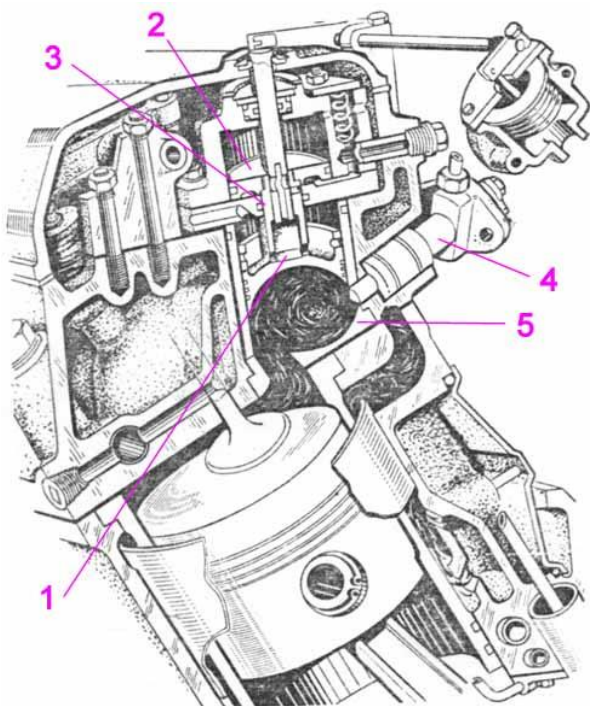
Zapremina vihorne komore se menja putem pomeranja pomoćnog klipa (1) u glavi cilindra, čiji donji deo oblika polu–sfere predstavlja deo površine vihorne komore. Pomoćni klip (1) se relativno pomera u odnosu na nepokretni deo vihorne komore, dejstvom hidrauličkog servo mehanizma sa klipom i razvodnikom (2,3).

Motor sa promenljivim stepenom kompresije **Hispano–Suiza**, tipa HS–110, je pokazao dobre karakteristike u borbenom oklopnom vozilu A.M.X. 30 PLUTON, proizvedenom za potrebe Francuske Armije. Pored višegorivosti i pouzdanog starta, koji su u skladu sa primarnim vojnim zahtevima, primenom ovog mehanizma na motoru, postiže se i ograničenje maksimalnog pritiska sagorevanja u cilindru, što je posebno važno kod natpunjenih dizel motora.



U toku procesa sagorevanja, raste pritisak gasova u cilindru i vihornoj komori, koji u jednom trenutku savlada unutrašnje sile hidrauličnog mehanizma i pomera pomoćni klip na gore. To dovodi do povećanja kompresione zapremine u cilindru, odnosno do smanjenja stepena kompresije.

Tokom usisavanja, pritisci u cilindru i komori su znatno niži, posredstvom hidrauličnog mehanizma pomoćni klip se vraća u najniži položaj i motor radi sa visokim stepenom kompresije, jer je zapremina vihorne komore, a time i kompresiona, najmanja.



**Slika 6:** Poprečni presek dizel motora "Hispano-Suiza" sa vihornom komorom za promenu stepena kompresije /6/

Natpunjenje je obavezno kod ovih motora, jer je zbog malog prostora gotovo neizvodljivo primeniti tehniku 4- ventila po cilindru.

Ulje iz sistema za podmazivanje motora se doprema do hidrauličnog mehanizma i služi za hlađenje odnosno podmazivanje sklopa pomoćni klip-cilindar. Sklop je problematičan jer lako može doći do slivanja ulja u komoru za sagorevanje, kao i do isticanja gasova.

Gorivo se brizgačem (4) ubrizgava u vihornu komoru (5), pri čemu su uslovi za pripremu smeše i samoupaljenje različiti, uglavnom zbog promene zapremine komore, što može bitno uticati na emisiju i potrošnju goriva.

### 3. UTICAJ STEPENA KOMPRESIJE NA EMISIJU DIZEL MOTORA

Pogonski agregati motornih vozila su izloženi veoma strogim i različitim zahtevima. Sa jedne strane, od motora se očekuje veća snaga, obrtni moment i istovremeno drastično smanjenje emisije štetnih produkata sagorevanja i potrošnje goriva. U slučaju motora sa unutrašnjim sagorevanjem koji ostaju osnovni pogonski agregati saobraćajnih sredstava, takvi ciljevi, se mogu postići usavršavanjem procesa sagorevanja i njegovim prilagođavanjem uslovima opterećenja, broju obrtaja i uslovima okoline.

Stepen kompresije motora ( $\epsilon$ ) predstavlja važan konstruktivni parametar, i ima direktan uticaj na emisiju i performanse.

Emisija dizel motora u velikoj meri zavisi od vrednosti stepena kompresije. To pokazuju i poređenja izmerenih vrednosti emisije klasičnog dizel motora CUMMINS 4BTA i prototipa istog motora sa promenljivim stepenom kompresije /7/.

Promenom stepena kompresije, menja se kompresiona zapremina cilindra i intenzitet vrtloga punjenja. Time je određena količina raspoloživog vazduha u komori za sagorevanje, dok stepen punjenja i pritisak ubrizgavanja, preko dometa mlaza i drugih parametara, imaju odlučujuću ulogu za kvalitetniju pripremu smeše goriva i vazduha.

Izmerene vrednosti emisije čestica, HC i  $\text{NO}_x$  prototipa motora su prikazane na slici 7, kao zavisnost od emisije oksida azota. Rezultati su dobijeni ispitivanjem na režimu koji odgovara broju obrtaja motora pri maksimalnoj snazi i opterećenju od 50 %, kao i na broju obrtaja pri maksimalnom obrtnom momentu sa delimičnim opterećenjem od 25 %.

Na istoj slici, radi poređenja je naznačena vrednost emisije tipičnog dizel motora sa direktnim ubrizgavanjem, koji je ispunjavao tadašnje USA propise za emisiju 1991. god.

Slika je potpunija ako se izmerene vrednosti uporede i sa emisijom tipičnog kamionskog dizel motora u EU na početku '80-ih godina, koja je takođe prikazana na istoj slici.

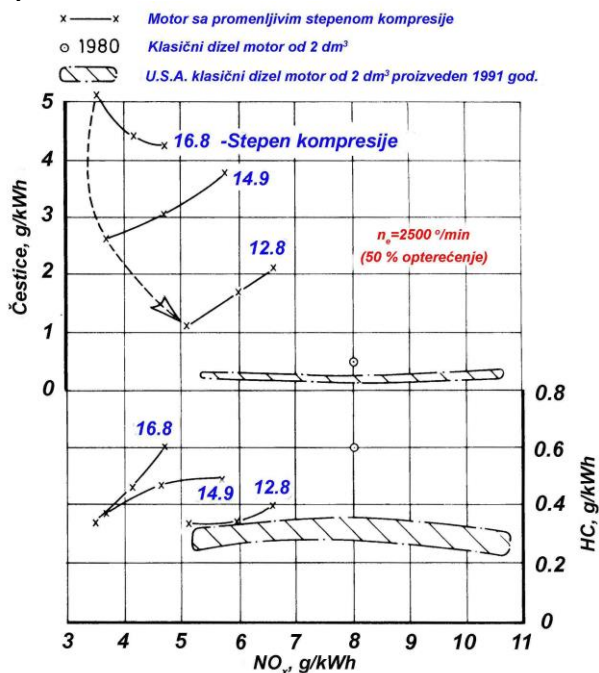
Važno je naglasiti, da su uporedni motori u toku ispitivanja bili opremljeni ekvivalentnom

opremom za ubrizgavanje dizel goriva, tipa RICARDO i CUMMINS kao prototip motora sa promenljivim stepenom kompresije.

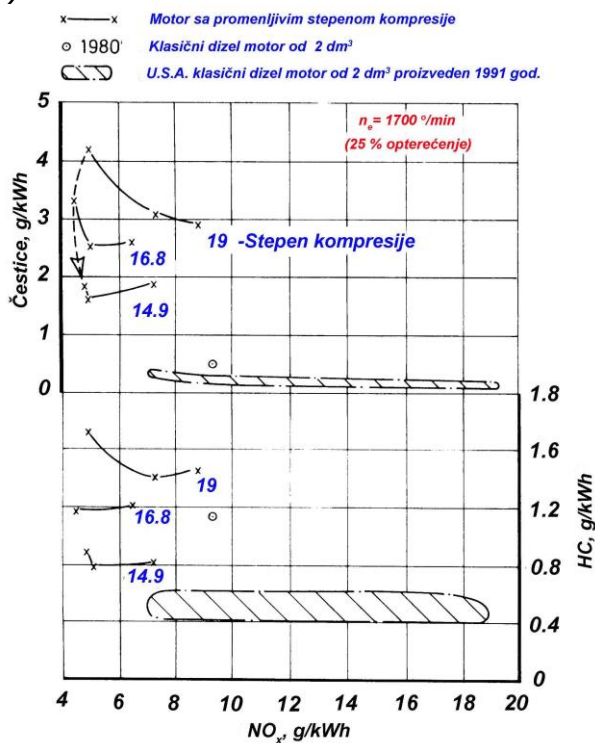
Tokom rada motora na oba režima, pri smanjenju stepena kompresije, došlo je do pojave znatnog smanjenja emisije čestica.

Prema tome, motor sa promenljivim stepenom kompresije ima prednost u odnosu na klasičnu konstrukciju, u pogledu znatno niže emisije  $NO_x$ . Time je sugerisan i dalji razvoj ove koncepcije, naročito što motor radi sa nižom emisijom  $NO_x$ , bez značajnijeg pogoršanja ekonomičnosti.

a)



b)



Slika 7: Tok emisije motora CUMMINS sa promenljivim stepenom kompresije /7/

#### 4. NAŠI EKSPERIMENTI

Ispitivanja su realizovana u Laboratoriji za motore sa unutrašnjim sagorevanjem i pogonske materijale na Mašinskom fakultetu u Kragujevcu, na klasičnom jednocilindričnom dizel motoru tipa "3 LD 450", čija je radna zapremina 454 cm<sup>3</sup>. Motor je proizveden u fabrici "21 maj –Beograd", slika 8 /1,8/.

Stepen kompresije eksperimentalnog motora je menjan zamenom klipova. Prototipovi klipova su izrađeni u fabrici "Petar Drapšin" u Mladenovcu. Klipovi su se razlikovali samo u prečniku komore u čelu klipa, zavisno od vrednosti stepena kompresije, slika 9. Klasična verzija motora sa stepenom kompresije 17.5, ima komoru prečnika  $\Phi 43$  mm, čija je zapremina 20 ml (20 cm<sup>3</sup>) /1/.

Motor je ispitivan pri radu sa komercijalnim dizel gorivom D-2:

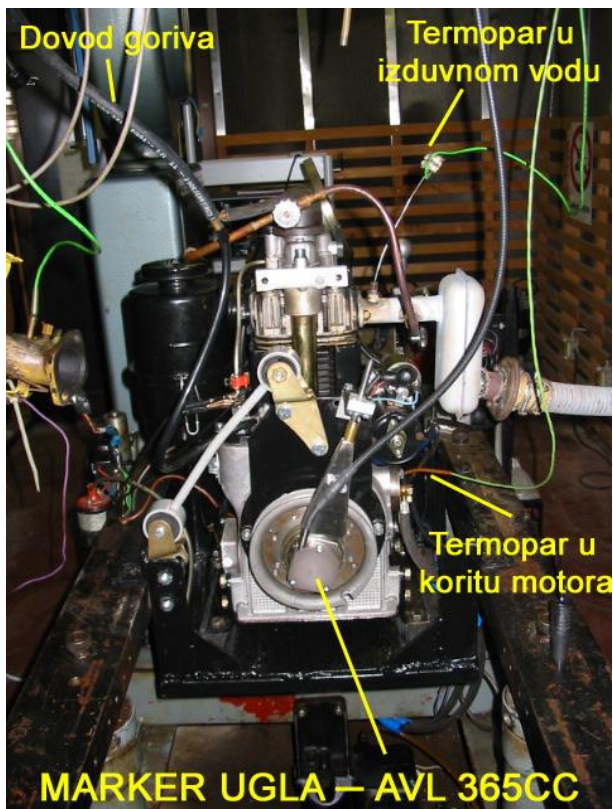
➤ cetanski broj 52 :

gustina na oko 20 °C, 0.839 g/cm<sup>3</sup> i kinematska viskoznost na oko 20 °C, 3.964 mm<sup>2</sup>/s, sadržaj sumpora 0.5 % /1/.

Realizovan je merni lanac za snimanje toka pritiska u cilindru motora. Registrovanje i obrada signala pritiska u cilindru motora su izvršeni uz primenu računara, programom "AVL IndiCom, Indicating Software Version 1.2", /1/.

Za analizu sastava produkata sagorevanja korišćen je uređaj "AVL Dicom 4000". Nezavisno je merena i dimnost produkata sagorevanja BOSCH metodom, pa su onda dobijene vrednosti pomoću standardnih jednačina preračunate u odgovarajuću emisiju čestica /1/.





Slika 8: Fotografija eksperimentalnog motora



Slika 9: Fotografije klipova motora pre eksperimenta

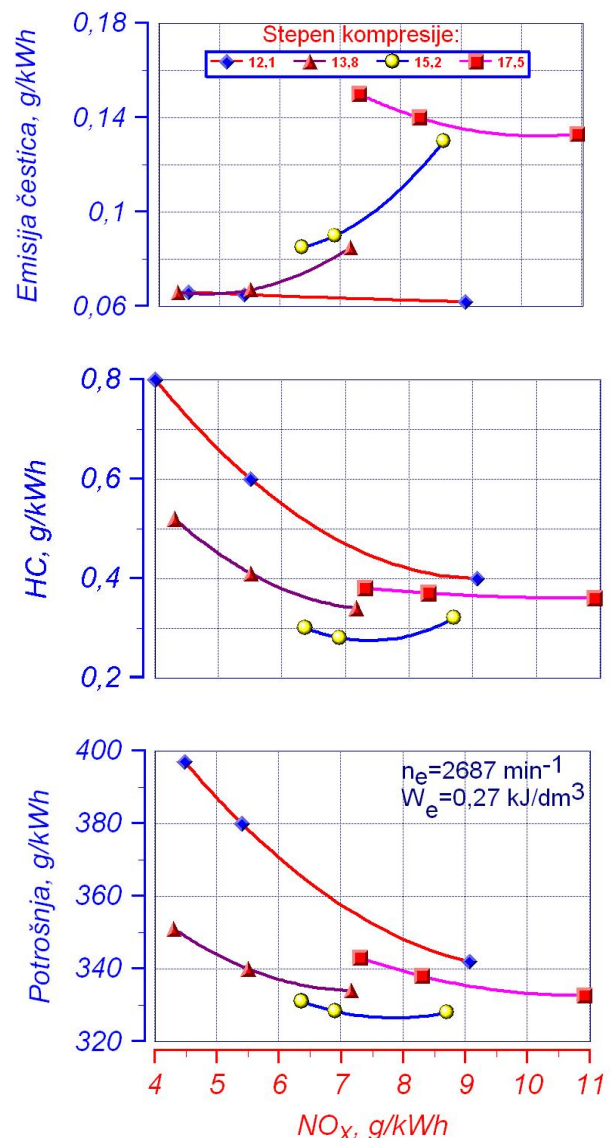
## 5. PRIKAZ REZULTATA EKSPERIMENTA

Rezultati prikazani na slici 10 su dobijeni ispitivanjem eksperimentalnog motora na srednjem opterećenju i konstantnom, visokom broju obrtaja, pri jednom optimalnom i dva kasnija početka ubrizgavanja /1/.

Analizom ovog složenijeg dijagrama, može se uočiti trend promene emisije i specifične potrošnje goriva u odnosu na emisiju  $NO_x$  /1/, koji ima sličan tok promene sa već prikazanim rezultatima na slici 7.

Sa povećanjem emisije  $NO_x$ , motor radi ekonomičnije, dok emisija čestica opada u slučaju najnižeg i najvišeg stepena kompresije, dok pri ostalima intenzivno raste. Pri tome je najniža potrošnja i emisija HC ostvarena sa stepenom kompresije 15.2.

To povećanje ekonomičnosti, može se dovesti u vezu sa smanjenjem mehaničkog opterećenja i trenja delova motora pri nižim vrednostima stepena kompresije.

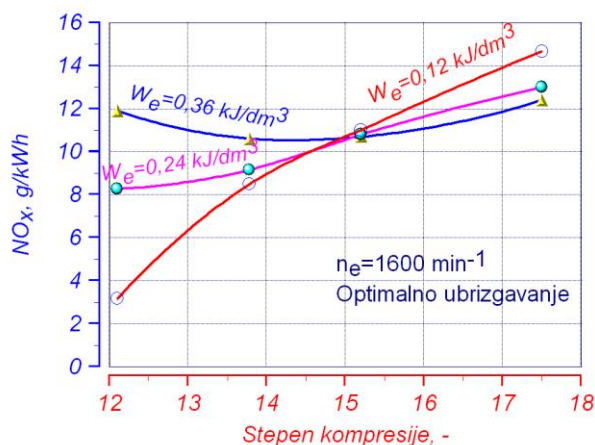


Slika 10: Tok promene emisije i specifične potrošnje goriva u odnosu na emisiju  $NO_x$

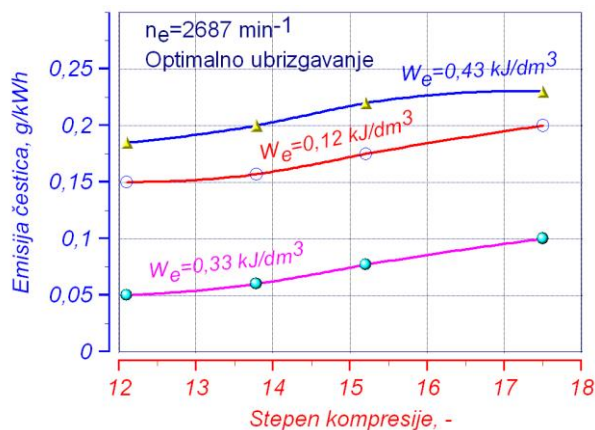
Pri optimalnom ubrizgavanju, i niskom opterećenju, emisija  $NO_x$  raste sa povećanjem stepena kompresije, dok je na srednjem opterećenju, taj porast nešto manji, slika 11. Na visokom opterećenju emisija  $NO_x$  prvo opada, a zatim raste sa povećanjem stepena kompresije, i ima minimalnu vrednost kada je stepen kompresije oko 15, slika 11 /1/.

Pri optimalnom ubrizgavanju, emisija čestica je najmanja na srednjem opterećenju, i raste ako motor radi sa niskim ili visokim opterećenjima. Istovremeno, emisija čestica raste sa povećanjem stepena kompresije, pri svim opterećenjima, slika 12, tako da je optimalan stepen kompresije 12, slika 12 /1/.

Optimum emisije NO<sub>x</sub> se postiže kasnijim ubrizgavanjem, dok se minimalna potrošnja i emisija čestica postižu ranijim ubrizgavanjem.



Slika 11: Uticaj stepena kompresije na emisiju NO<sub>x</sub>



Slika 12: Uticaj stepena kompresije na emisiju čestica

## 6. ZAKLJUČCI

➡ Najkraće rečeno, motori sus moraju da zadovolje stroge zakonske propise, uz prihvatljivu cenu, i istovremeno bolje performanse, i bolju ekonomičnost u odnosu na klasične motore.

➡ Automatska promena stepena kompresije kod motora sus, obećava ispunjenje mnogih zahteva.

➡ Pri radu dizel motora na visokom broju obrtaja i srednjem opterećenju, smanjuje se potrošnja, a time i emisija CO<sub>2</sub> sa povećanjem emisije NO<sub>x</sub>. Potrošnja je najniža pri stepenu kompresije 15.2 za sve vrednosti ugla predubrizgavanja.

➡ Kada dizel motor radi sa optimalnim ubrizgavanjem na niskom broju obrtaja, emisija NO<sub>x</sub> jako zavisi od opterećenja i može se u velikoj meri kontrolisati automatskom promenom stepena kompresije.

➡ Emisija čestica pri radu eksperimentalnog motora na visokom broju obrtaja raste sa povećanjem stepena kompresije pri svim opterećenjima.

## 7. LITERATURA

- 1/ Milojević S.: **Istraživanje uticaja stepena kompresije na radni proces dizel motora**, Magistarska teza, Mašinski fakultet, Kragujevac, 2005.
- 2/ Pischinger F. and Walzer P.: **Future Engine Technologies for Passenger Cars**, Auto Technology 3, 2003.
- 3/ Schlinder K. P.: **Advances in Diesel Engine Technologies for European Passenger Vehicles**, DEER Conference, San Diego, 2002.
- 4/ Pešić R.: **Motori za vozila 3 litra / 100 kilometara**, Monografija, Mašinski fakultet, Kragujevac, 2000.
- 5/ Pešić R., Golec K., Hnatko E., Kaleli H. and Veinović S.: **Experimental Engine with flexible Otto or Diesel cycle (VCR –Variable Compression Ratio)**, VI Conference and Exhibition, Koper-Portorož, Slovenia, 2003.
- 6/ Демидов Б. П.: **Двигатели с переменной степенью сжатия**, Машиностроение, Москва, 1978.
- 7/ Sobotowski R., Porter C. B. and Pilley D. A.: **The Development of a Novel Variable Compression Ratio, Direct Injection Diesel Engine**, SAE Technical Paper, 1991.
- 8/ Milojević S., Pavlović R.: **Istraživanje primene automatski promenljivog stepena kompresije kod dizel motora**, XIII Međunarodni simpozijum MVM04, Kragujevac 2004.

# ZASTAVA

---

*Časopis za nauku u praksi*  
*Godina XVIII, Broj 41, mart 2006., Kragujevac*

41

*Institut za automobile*

---

*YU ISSN 0352 292X*

*UDK - 620 : 330*



## “ZASTAVA” časopis za nauku u praksi

**Glavni i odgovorni urednik:**  
dr Milan Milovanović, naučni savetnik

**Zamenik glavnog i odgovornog urednika:**  
dr Dimitrije Obradović, v. naučni saradnik

**Redakcioni odbor:**  
dr Milan Milovanović / Tehnika  
prof.dr Ilija Rosić / Ekonomija  
dr Snežana Ignjatović / Društvene oblasti  
dr Živorad Milić, naučni saradnik / Kvalitet  
dr Vlade Urošević, docent / Informacione tehnologije  
dr Dimitrije Obradović /Aktuelnosti  
dr Branislav Nedeljković, v. naučni saradnik  
dr Dušan Nestorović, naučni saradnik  
prof. dr Miroslav Demić, Mašinski fakultet Kragujevac  
Ass.Prof. Angel Dimitrov, Tehnički univerzitet Varna  
prof. dr Čedomir Duboka, Mašinski fakultet Beograd  
prof. dr Vladeta Gajić, Fakultet tehničkih nauka Novi Sad  
prof. dr Aleksandra Janković, Mašinski fakultet Kragujevac  
dr Zoran Jovanović, naučni savetnik, Institut VINČA  
prof. dr Miloš Kojić, Mašinski fakultet Kragujevac  
Ass.Prof. Lilo Petkov-Kunchev, Tehnički univerzitet Sofija  
dr Živorad Micić, docent, Tehnički fakultet Čačak  
prof. dr Stojan Petrović, Mašinski fakultet Beograd  
prof. dr Dragoljub Radonjić, Mašinski fakultet Kragujevac  
prof. dr Endre Romhanji, Tehnološko -metalurški fakultet Beograd  
prof. dr Milentije Stefanović, Mašinski fakultet Kragujevac  
prof. dr Slobodan Vukosavić, Elektrotehnički fakultet Beograd

**Tehnički urednici:**  
Dragan Begović  
Gordana Stojanović

**Sekretar:**  
Vesna Tiosavljević

**Izdaje:**  
INSTITUT ZA AUTOMOBILE, Zastava automobili  
34000 Kragujevac, Trg topolivca 4. tel.: +381-34/323-444  
E-mail: silja@ia.kg.ac.yu  
www.institutzastava.com

**Za izdavača:**  
Milan Popović, direktor

**Štampa :** SKVER, Kragujevac

**Tiraž:** 200 primeraka

## ABSTRACTS

*Čavalek*

## SADRŽAJ:

- M. Matijević, M. Stojić, S. Vukosavić:** Novi algoritam za potiskivanje torzionih oscilacija digitalno upravljanih servosistema 7
- M. Demić, Đ. Diligenski:** Prilog projektovanju aktivnog sistema za oslanjanje vozila 13
- D. Čatić, S. Jovičić, D. Miloradović:** Analiza stabla otkaza sistema za kočenje motornih vozila 19
- D. Radonjić, T. Jurković, V. Rakić, S. Spasojević:** Perspektive primene domaćeg inoviranog motora 1.4 efi za pogon putničkih vozila iz proizvodnog programa Zastave 26
- M. Matijević, V. Milašinić, V. Ranković, D. Čatić:** Robustno upravljanje sistemom aktivnog oslanjanja vozila 34
- S. Milojević, R. Pešić, S. Veinović:** Istraživanje uticaja stepena kompresije na emisiju i druge karakteristike motora sus 40
- M. Samardžić, M. Stefanović, M. Milovanović, S. Aleksandrović:** Primena lokalne i integralne deformacione analize kod izučavanja deformabilnosti karoserijskih limova 46
- R. Vulović, V. Lazić, M. Jovanović, D. Adamović:** Elektrootporsko lemljenje mesinga i niskougleničnog čelika 51
- M. Milovanović, R. Đukić, M. Radisavljević, D. Nestorović:** Godišnji izveštaj za 2005. sa projekta TR-6301B istraživanje i rekonstrukcija vozila Zastave u cilju zadovoljenja propisa i zahteva tržišta 58



## FAULT TREE ANALYSIS OF MOTOR VEHICLE S BRAKE SYSTEM

### ABSTRACT:

The failure analysis of the light truck sbrake system with application of the Fault Tree Analysis (FTA) is presented in the paper. Description of the FTA method and the significance of the motor vehicle s brake system for the traffic safety are pointed out in the introduction of the paper. Next, a brief review of the historical development of the FTA method, the application procedure and the explanations of most frequently used symbols in forming of the fault tree are presented. The basic structure and the function of each subsystem during realization of given tasks are given in the part of the paper related to the brake system. Generally, the configuration of the fault three mainly depends on the way the peak event is defined. Considering the example of the total failure of the brake system, it has been shown how to acquire a block-diagram of the observed system sreliability based on the formed fault tree. In order to be acquainted with the brake system from the aspect of failure occurrence and to record the largest possible number of potential failure modes of the constituent elements, the fault tree for the peak event "Reduction of the performance of the brake system" has been formed. The fault tree for drum brakes used at front and rear wheels of the light trucks is considered in detail. In conclusion, the paper presents possible applications of the achieved results.

**KEY WORDS:** fault tree, motor vehicle, brake system, drum brake

Strana 26

Page 26

**prof.drDragoljub Radonjić** UDK:629.113"ZASTAVA":621.43.06  
**Tadija Jurković**  
**mr Vojin Rakić**  
**Saša Spasojević** (stručni rad)

## PERSPEKTIVE PRIMENE DOMAĆEG INOVIRANOG MOTORA 1.4 EFI ZA POGON PUTNIČKIH VOZILA IZ PROIZVODNOG PROGRAMA ZASTAVE

### REZIME:

Pogonski agregati vozila "Zastave" su konstrukcije starijeg datuma koje ne mogu u potpunosti da prate savremene trendove razvoja zakonske regulative u oblasti toksičnosti izduvnih gasova. Otuda se relativno rano javila potreba njihovog osavremenjavanja ili zamene sa novijim konstrukcijama motora. Dva karakteristična primera ovakvih aktivnosti, koje su rezultirale konkretnim rešenjima, su svakako opremanje motora 1.3 I, koji je ugrađivan u vozilo "Yugo-A", sistemom za naknadnu obradu izduvnih gasova u cilju ispunjavanja strogih američkih propisa i uvođenje sistema EFI na isti motor u saradnji sa firmom "Bosch". Poseban problem se javio kod izbora i primene pogonskog agregata vozila "Florida". U početnoj varijanti bila su predviđena dva tipa motora od 1.4 i 1.6 I, karburatorske verzije iz proizvodnog programa "FIAT-đ. Serijska proizvodnja ovog vozila je započela sa motorom 1.4 I, ali se zbog određenih problema u njegovoj proizvodnji u domaćoj motorskoj industriji, kao alternativni pogonski agregat koristio i motor 1.3 EFI. Zadnjih godina ovaj problem je rešen ugradnjom motora savremenije konstrukcije od 1.6 I francuskog proizvođača "Peugeot". Inicirani upravo ovakvim problemima, istraživački timovi u Fabrici motora "21 maj", Mašinskim fakultetima u Beogradu i Kragujevcu i "Institutu za automobile-Zastava automobili", pristupili su inoviranju motora 1.4 I karburatorske verzije u cilju poboljšanja njegovih karakteristika u skladu sa savremenim zahtevima. Kao rezultat ovakvih aktivnosti nastao je inovirani motor 1.4 EFI čije će karakteristike biti ukratko prikazane u ovom radu.

**KLJUČNE REČI:** pogonski agregat, inoviranje, karakteristike, EFI-sistem

## PERSPEKTIVES OF DOMESTIC INNOVATED ENGINE 1.4 EFI APPLICATION AS A DRIVE UNIT FOR PASSENGER CARS FROM "ZASTAVA" PRODUCTION PROGRAMME

### ABSTRACT:

The "Zastava" cars driving-units are constructions of older date which can't completely follow the current development trends of the regulations in exhaust gases toxicity domain. Therefore, a necessity for

their modernizing or replacement with latter engine constructions has appeared relatively early. Two characteristic examples of these activities, which resulted with concrete solutions, were, by all means, the equipping of 1.3 I engine for "Yugo-A" car with a system for supplementary exhaust gases treatment in order to fulfill the rigorous American regulations and the introduction of EFI system on the same engine in co-operation with "Bosch" firm. Separate problem appeared in selection and application of "Florida" car driving-unit. At initial variant, two engine types were anticipated with carburetor of 1.4 and 1.6 I from "FIAT" production programme. The serial production of this vehicle has started with 1.4 I engine, but due to certain problems in its production in domestic engine factory, an alternative driving-unit, the 1.3 EFI engine, was used. In the last years, this problem is solved by application of a modern, 1.6 I engine, of French manufacturer "Peugeot". Initiated with such problems, the research teams from the engine Factory "21 maj", Faculties of Mechanical Engineering from Belgrade and from Kragujevac and "Zastava" Institute for automobiles, commenced the innovation of 1.4 I carburetor engine in order to improve its characteristics in accordance with current demands. As a result of these activities, the innovated 1.4 EFI engine is developed, which characteristics are presented in short, in this paper.

**KEY WORDS:** driving-unit, innovating, characteristics, EFI system

Strana 34

Page 34

**doc.dr Milan Matijević**  
**Vladimir Milašinić**  
**doc.dr Vesna Ranković**  
**doc.dr Dobrivoje Čatić**

UDK: 629.113.098  
(prethodno saopštenje)

## ROBUSTNO UPRAVLJANJE SISTEMOM AKTIVNOG OSLANJANJA VOZILA

### REZIME:

U radu je razmotrena mogućnost projektovanja sistema aktivnog oslanjanja vozila korišćenjem IMC (Internal Model Control) strukture sa ubrzanjem oslonjene mase kao direktno upravljano promenljivom. Objasnjeno je projektovanje robustnog i kontinualnog i digitalnog IMC kontrolera. Pokazano je da predloženi upravljački metod daje dobre rezultate. U odnosu na konvencionalne metode sinteze sistema aktivnog oslanjanja, predloženi postupak je jednostavniji i obezbeđuje visok nivo robustnosti. Zbog zahteva na konkretnoj aplikaciji, predložene su izvesne modifikacije konvencionalne IMC strukture.

**KLJUČNE REČI:** aktivni sistemi oslanjanja, IMC sturktura, robusni algoritmi upravljanja

## ROBUST CONTROL OF ACTIVE VEHICLE SUSPENSION SYSTEM

### ABSTRACT:

Design of both digital and continuous robust control algorithm for active vehicle suspension system based on Internal Model Control (IMC) structure is presented. Sprung mass acceleration is used as controlled variable. It is shown that suggested control method gives satisfactory results. Compared to conventional control algorithms for suspension systems, presented method is simpler and ensures high degree of robustness. Because of specific demands, some modifications of IMC structure are also suggested.

**KEY WORDS:** active suspension systems, internal model control (IMC), robust control algorithms

Strana 40

Page 40

**mr Saša Milojević**  
**prof. dr Radivoje Pešić**  
**prof. dr Stevan Veinović**

UDK: 621.43.068.001.5  
(stručni rad)

## ISTRAŽIVANJE UTICAJA STEPENA KOMPRESIJE NA EMISIJU I DRUGE KARAKTERISTIKE MOTORA SUS

### REZIME:



Današnji automobilski dizel motori sa direktnim ubrizgavanjem goriva, ekonomičniji su do 30 % u odnosu na vozila iste klase sa benzinskim motorima. Sa ovim rezonom kao što je aktuelna praksa u Evropi, dizel motori su dobra solucija za smanjenje potrošnje goriva i emisije CO<sub>2</sub>. Međutim, problemi sa emisijom NO<sub>x</sub> i čestica su i dalje dominantni kod dizel motora. U cilju davanja odgovarajućeg doprinosa smanjenju emisije otrovnih i štetnih produkata sagorevanja dizel motora, pokrenuli smo istraživanje njegovog radnog procesa sa promenljivim stepenom kompresije. U dizel motorima, promenljiv stepen kompresije poboljšava hladan start, rad na niskim opterećenjima, omogućava višegorivost, povećava ekonomičnost goriva i daje suštinski doprinos smanjenju emisije. U ovom radu su prikazani rezultati sopstvenih teorijskih i eksperimentalnih istraživanja uticaja automatski promenljivog stepena kompresije na parametre radnog procesa eksperimentalnog dizel motora.

**KLJUČNE REČI:** motor SUS, emisija, ekonomičnost, radni proces, stepen kompresije

## RESEARCH OF THE IMPACT COMPRESSION RATIO HAS ON EMISSION AND OTHER CHARACTERISTICS OF IC ENGINES

### ABSTRACT:

Today diesel automobile engines with fuel direct injection, are up to 30 % more economical when compared with gasoline engines from the same class. With this reason, as it is actual practice in Europe, diesel engines are good solutions for lower fuel consumption and CO<sub>2</sub> emission. However, a remaining problem dominating diesel engines is the reduction of NO<sub>x</sub> and particle emissions. The main objective or goal is to reduce the toxic exhaust emission from the diesel engine during the combustion process. Therefore, this study was started with research on his working process with variable compression ratio. In diesel engines, variable compression ratio improve cold startability, light load operation, enabling of multi-fuel capability, increase fuel economy and a reduction of emission. This paper describes results both, theoretical and laboratory research of the impact automatic variable compression ratio has on working process parameters in experimental diesel engine.

**KEY WORDS:** IC engine, exhaust emission, fuel economy, working process, compression ratio

Strana 46

Page 46

**mr Milica Samardžić**  
**prof.dr Milentije Stefanović**  
**dr Milan Milovanović**  
**doc.dr Srbislav Aleksandrović**

UDK: 629.113.011.5:629.024  
(*stručni rad*)

## PRIMENA LOKALNE I INTEGRALNE DEFORMACIONE ANALIZE KOD IZUČAVANJA DEFORMABILNOSTI KAROSERIJSKIH LIMOVA

### REZIME:

Ispitivanje obradivosti karoserijskih delova je dosta kompleksno zbog postojanja složenih uslova obrade i mnoštva uticajnih parametara. Koristeći lokalnu i integralnu analizu može da se dobija jasnija slika tehnološkičnosti otpreska i proceni stepen kritičnosti izvlačenja. Jedna od glavnih prednosti primene deformacione analize je mogućnost poređenja više slučajeva izvlačenja različitih po geometriji radnog komada, materijalu, konstrukciji alata i sl. U radu je dat postupak određivanja vrednosti deformacija za dva izvučena karoserijska dela, unošenja vrednosti na DGD i prikazivanje raspodele deformacija u kritičnim preseccima. Na osnovu položaja unetih tačaka u DGD, koji je određen za ispitivane materijale, izvršena je analiza procesa izvlačenja i predložene su određene mere u cilju poboljšanja uslova tečenja materijala i ostvarivanja uspešnijeg oblikovanja.

**KLJUČNE REČI:** obradivost, dijagram granične deformabilnosti, deformaciona analiza

## APPLICATION LOCAL AND INTEGRAL DEFORMATION ANALYSIS FOR RESEARCHING FORMABILITY AUTOBODY PANELS

### ABSTRACT:

Investigation of formability of car body parts is very complex due to existence of complex forming conditions and numerous influential parameters. By application of local and integral analysis, a more comprehensible idea of technological ability of pressed piece can be obtained and degree of critical condition of drawing can be estimated. One of the main advantages of applying strain analysis is the possibility to compare many cases of drawing which differ in work piece geometry, material, construction etc. This paper presents the procedure for determining values of strain for two drawn car body pieces, input of values on FLD and display of strain distribution in critical sections. Based on position of input points in FLD, which was determined for investigated materials, analysis of drawing process was performed and certain measures were proposed with the aim of improving the conditions of material flow and realisation of more successful forming.

**KEY WORDS:** formability, forming limit diagram, deformation analysis

Strana 51

Page 51

**Radun Vulović**  
**doc. dr Vukić Lazić**  
**prof. dr Milorad Jovanović**  
**doc. dr Dragan Adamović**

UDK: 621.791.3: 669.35"24:669.14  
(*stručni rad*)

## ELEKTROTPORSKO LEMLJENJE MESINGA I NISKOUGLJENIČNOG ČELIKA

### REZIME:

U ovom radu se najpre razmatra opšta teorijska problematika elektrootporskog lemljenja različitih metala uz primenu lema i topitelja za tvrdo lemljenje. Oprema za lemljenje je ista kao i za elektrootporsko zavarivanje, ali se elektrode moraju posebno konstruisati i korigovati tehnološki parametri lemljenja. To proizilazi iz same suštine lemljenog spoja koji nastaje difuzijom, a ne topljenjem kao zavaren spoj. Za potrebe eksperimentalnih istraživanja elektrode su izrađivane od visokolegiranog volframskog čelika, zatim od bakra sa grafitnim umecima i sa umetkom od volframa. Na ovaj način je postignuto simetrično temperaturno polje, koje omogućuje lokalizaciju zagrevanja u zoni kontakta mesinganih i čeličnih limova. Uspešnost lemljenja proverava se ispitivanjem mehaničkih osobina, mikrovrdoće i mikrostrukture lemljenog spoja. Rezultati merenja tvrdoće izvedenog spoja ukazuju na deformaciono ojačanje čeličnog lima što nameće potrebu rekristalizacionog žarenja radi popravljivanja strukture, odnosno mehaničkih osobina. Za obrazovanje spoja neophodna je upotreba ne samo topitelja, već i srebrog lema, jer su bakar i gvožđe malo uzajamno rastvorljivi. Kada je ovako rešena metalurška problematika i izabrani optimalni parametri lemljenja, postignute su i eksperimentalno potvrđene tražene mehaničke osobine. Sve je to omogućilo da se razvije tehno-ekonomski prihvatljiva tehnologija lemljenja ove kombinacije metala.

**KLJUČNE REČI:** Otporsko lemljenje, elektrode, dodatni metal, topitelj, čelik, mesing, parametri lemljenja, mehaničke osobine, mikrostruktura.

## RESISTANCE BRAZING OF BRASS AND LOW-CARBON STEEL

### ABSTRACT:

In this paper, the first is considered the general theoretical problems of resistance brazing of various metals with application of solder and flux for brazing. Equipment for brazing is the same as for resistance welding, but electrodes must be specially designed and technological parameters of brazing have to be corrected. This stems from the very essence of the brazed joint, which is realized by diffusion, and not by melting as the welded joint. For the needs of experimental investigations electrodes were manufactured from the high alloyed tungsten steel, then from copper with graphite inclusions and with tungsten inclusions as well. In this way the symmetrical temperature field was achieved, namely the brazed layer is localized to the contact zone of the brass and steel thin sheets. Success of soldering is being tested by investigation of mechanical properties, microhardness and microstructure of the soldered joint. Results of hardness measurements point to strain hardening of the steel thin sheets, what requires the necessity of recrystallization annealing for improving the structure, namely the mechanical properties. For realizing the joint it is necessary to apply, not only the flux but also the silver solder, since copper and iron are weakly mutually soluble. When the metallurgical problems are solved in this way and the optimum brazing parameters