

# 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

## 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. Milašinović, 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

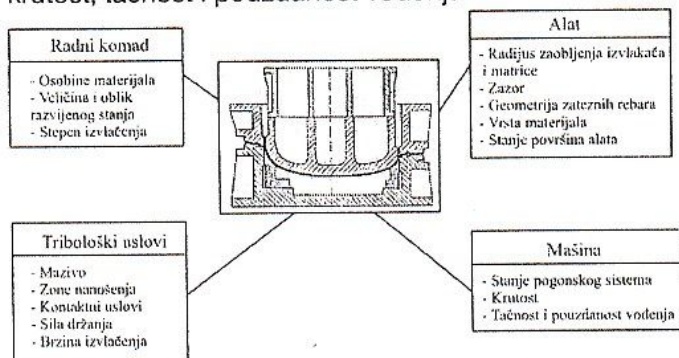


**Milica Samardžić**  
**Milentije Stefanović**  
**Milan Milovanović**  
**Srbislav Aleksandrović**

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

### 1. UVOD

Izvlačenje delova složene geometrije (na pr. delovi karoserije automobila) predstavlja jedan od najkompleksnijih postupaka u oblasti obrade metala deformisanjem, zbog postojanja složenih uslova obrade i mnoštva uticajnih parametara. Faktori uticaja se mogu podeliti na četiri grupe, kao što je prikazano na slici 1. Radni komad u sebi sadrži veći broj elemenata koji se posmatraju zasebno kao što su: osobine materijala, veličina i oblik razvijenog stanja, stepen izvlačenja. Izmenom triboloških uslova može se vrlo efikasno uticati na obradni proces. To se može ostvariti izborom maziva odgovarajuće viskoznosti, zona nanošenja kao i preko karakteristika površina alata i radnog komada, sile držanja, brzine izvlakača. Sledeća grupa uticajnih faktora se odnosi na alat, gde spadaju: radijus zaobljenja izvlakača i matrice, zazor između matrice i izvlakača, geometrija zateznih rebara (širina i visina), položaj i rastojanje rebara u odnosu na matricu, stanje površina delova alata. Mašina takođe ima određeni uticaj na odvijanje procesa izvlačenja i obuhvata sledeće elemente: stanje pogonskog sistema, krutost, tačnost i pouzdanost vođenja.



**Slika 1. Elementi značajni pri dubokom izvlačenju**

Uspešno oblikovanje karoserijskih delova podrazumeva dobijanje delova bez naprsina, nabora, lokalnih zona sa izraženim stanjenjem, odgovarajuće dimenzione tačnosti i površine bez ogrebotina i oštećenja. Identifikacijom kritičnih parametara omogućava se efikasnija analiza i uspešnije upravljanje procesom. Pri tome se u velikoj meri koriste dijagrami granične deformabilnosti kao i kompjuterska simulacija procesa. Određivanje naponsko-deformacionog stanja, sile izvlačenja, granične deformabilnosti i drugih relevantnih veličina na delu koji se izvlači, isključivo teorijskim postupkom je izuzetno teško. Zato se u velikoj meri koriste eksperimentalni postupci

identifikacije lokalnih deformacija, njihove distribucije, istorije deformisanja i dr.

### 2. GRANIČNA DEFORMABILNOST I DEFORMACIONA ANALIZA

Projektovanje tehnologije izvlačenja karoserijskih delova je u tesnoj vezi sa poznavanjem granične deformabilnosti, koja se može opisati kao sposobnost ostvarivanja maksimalnih deformacija u zadatim obradnim uslovima (naponsko-deformaciona šema, brzina deformisanja, temperatura, tribo-uslovi i sl). Kriterijumi za ostvarivanje granične obradivosti su dosta široki. Obradivost nije definisana samo pojavom razaranja već uključuje i pojave nestabilnosti (izvijanje, nabori, lokalizacija, defleksione pojave), granična otpornost alata. Pri izvlačenju karoserijskih delova, posebno kada oni imaju složenu geometriju, stepen deformacije je različit u pojedinim zonama. U zavisnosti od spoljašnjeg uticaja lokacije zona nestabilnog deformisanja se mogu pomerati. Zbog toga je od velikog značaja određivanje ostvarenog stepena deformacije i poznavanje distribucije glavnih deformacija u pojedinim presecima ili po čitavoj površini komada. Upoređivanjem ostvarenih vrednosti sa onima iz dijagrama granične deformabilnosti (DGD) može se doneti zaključak o stepenu kritičnosti izvučenog dela /slika 2/. U slučaju kada ostvarene deformacije imaju dosta niže vrednosti u odnosu na granične može se reći da je izabran kvalitetniji materijal u odnosu na stvarne potrebe. Kada se izvrši pažljiviji izbor materijala vrednosti deformacija su manje od graničnih. Ako su deformacije na izvučenom delu jednake ili veće od graničnih treba razmišljati o izmeni postojećih obradnih uslova na neki od sledećih načina: promena tribo-uslova, upotreba materijala boljih karakteristika, izmene u geometriji alata i dr.

**mr Milica Samardžić, istraživač-saradnik**

*Institut za automobile, Zastava automobili, Kragujevac*

**prof.dr Milentije Stefanović,**

*Mašinski fakultet u Kragujevcu*

**dr Milan Milovanović, naučni savetnik,**

*Institut za automobile, Zastava automobili, Kragujevac*

**doc. dr Srbislav Aleksandrović,**

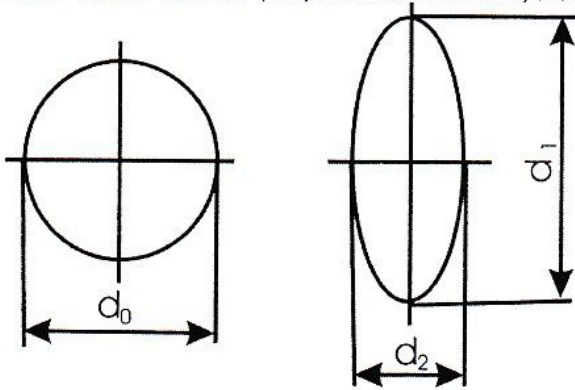
*Mašinski fakultet u Kragujevcu*







grafometrijskom metodom, u svetu se sve više koristi visokoautomatizovan rad u oblasti merenja i obrade podataka dobijenih korišćenjem mernih mreža uz pomoć računarske i video tehnike (na pr. sistem ARGUS) /4/.



Slika 5. Izgled mreže pre i posle deformisanja

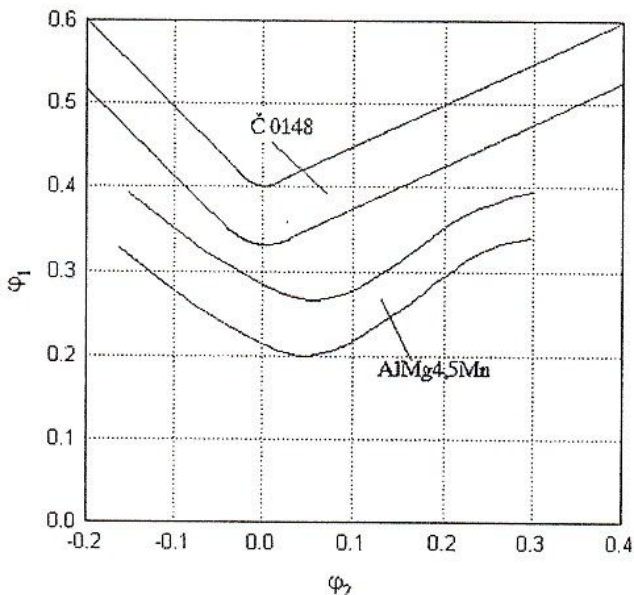
Glavne deformacije (meridijalna, tangencijalna i po debljini) računaju se prema sledećim izrazima:

$$\varphi_1 = \ln \frac{d_1}{d_0}; \varphi_2 = \ln \frac{d_2}{d_0}; \varphi_3 = -(\varphi_1 + \varphi_2)$$

Preko izmerenih deformacija ( $\varphi_1, \varphi_2$ ) na osnovu postavke teorije plastičnog tečenja mogu se odrediti glavni normalni naponi ( $\sigma_1, \sigma_2$ ) koji odgovaraju određenoj ekvivalentnoj deformaciji ( $\varphi_e$ ) i odgovarajućoj vrednosti stvarnog napona (sa krive ojačanja  $K = K(\varphi)$ ).

### 3.2 Određivanje DGD

Određivanje DGD vršeno je po Nakazima postupku koji se zasniva na razvlačenju lima u obliku traka promenljivih širina čvrstim izvlakačem. Radni elementi alata su imali sledeće dimenzije: izvlakač sfernog oblika prečnika 50 mm, matrica za prosecanje prečnika 120 mm sa utiskujućim rebrom prečnika 88 mm. Za određivanje DGD korišćene su trake dužine 130 mm i različitih širina 30-120 mm. Pri ispitivanju je fiksiran obod. Brzina deformisanja tj. brzina kretanja izvlakača je iznosila 20 mm/min. Pre razvlačenja na trake je naneta mreža sa kružnim elementima.



Slika 6. DGD

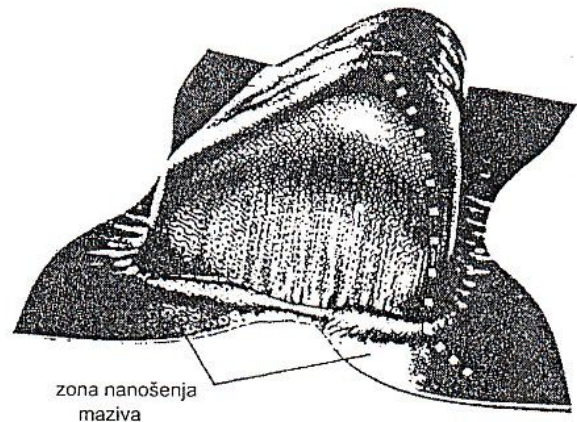
Na slici 6 prikazan je DGD za ispitivane materijale: Č0148 i leguru AlMg4,5Mn /5/. Zapaža se da su kod čelika ostvarene veće vrednosti graničnih deformacija što ukazuje na generalno lošiju obradivost Al-legura pri izvlačenju delova karoserije. Linija razaranja (gornja linija) odgovara deformaciji elipse na mestu pukotine, a linija lokalizacije (donja linija) deformaciji suprotno od mesta razaranja.

### 3.3 Analiza stepena kritičnosti izvučenih karoserijskih delova

#### 3.3.1 Otpresak nalivnog grla

Na slici 7 je prikazan otpresak nalivnog grla vozila SKALA, posle prve faze izvlačenja sa obeleženim kritičnim presekom /6/. Materijal komada je Č0148 a izvlačenje se vrši na mehaničkoj presi dvostrukog dejstva u uslovima velikoserijske proizvodnje.

Usled neodgovarajućih uslova obrade (neadekvatno razvijeno stanje, visok stepen izvlačenja) i izražen uticaj podmazivanja dolazilo je do povećanog procenta neispravnih delova. Otežani uslovi izvlačenja na obodu uticali su na porast tangencijalnih napona i izraženu pojavu nabora. Razaranja se dešavalo u zoni koja prenosi silu, u blizini čela izvlakača. Sa rekonstrukcijom alata (promena geometrije zateznih rebara, radijusi matrice) ostvareno je uspešnije oblikovanje a procenat neuspešnih sveden u dozvoljene granice. Na slikama 8 i 9 je pokazana promena debljine i raspodela u DGD za kritični presek za različite uslove podmazivanja. Početno merno polje se nalazi na vrhu komada a poslednje na obodu. Može se zapaziti da postoje dva polja lokalizacije deformacije.



Slika 7. Otpresak nalivnog grla

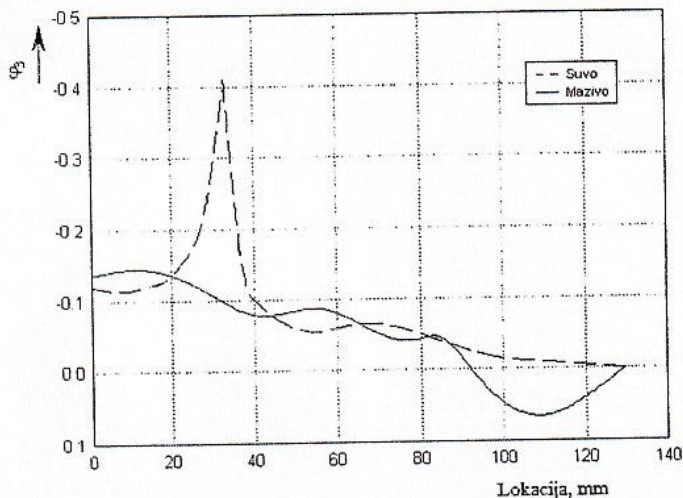
Prema prikazanim raspodelama deformacija u DGD primećuje se da deo pri izvlačenju ima osnovnu šemu sa približno  $\varphi_1 = -\varphi_2$ , karakterističnim za čisto duboko izvlačenje (zona tangencijalnog sabijanja). Razaranja se dešava u oblasti  $\varphi_2 = 0$ .

#### 3.3.2 Otpresak prednjeg blatobrana

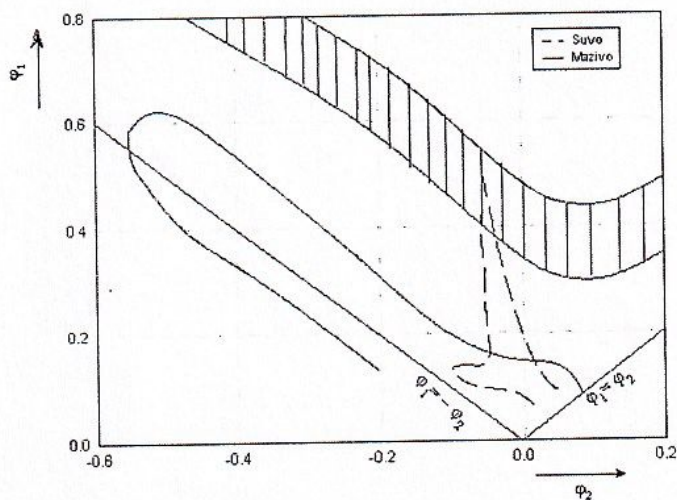
Otpresak levog blatobrana vozila KORAL se izrađuje od čeličnog lima Č0148 debljine 0,8 mm. U cilju ispitivanja obradivosti aluminijumskih legura izvršeno je izvlačenje lima od legure AlMg4,5Mn /7/. Na osnovu podataka iz literature i konsultacija sa stručnjacima Tehnološko-metalurškog fakulteta iz Beograda prema raspoloživim mo-



gućnostima u Valjaonici aluminijuma Sevojno urađen je po prvi put lim od Al-legure namenjen za izvlačenje delova karoserije automobila. Izvlačenje se vrši na mehaničkoj presi dvostrukog dejstva, u uslovima velikoserijske proizvodnje. Izgled otpreska sa obeleženim kritičnim preseccima dat je na slici 10.

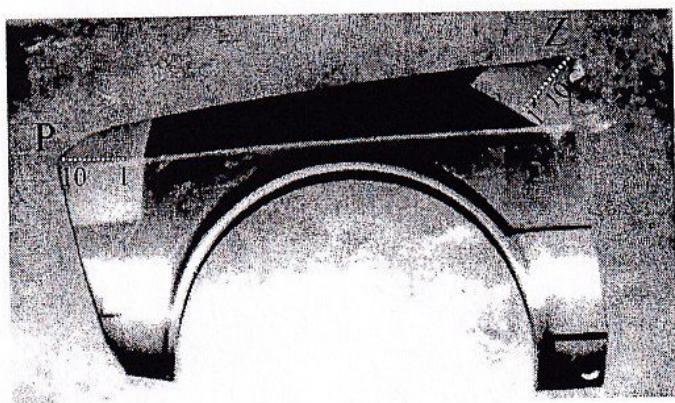


Slika 8. Promena debljine u mernom preseccu



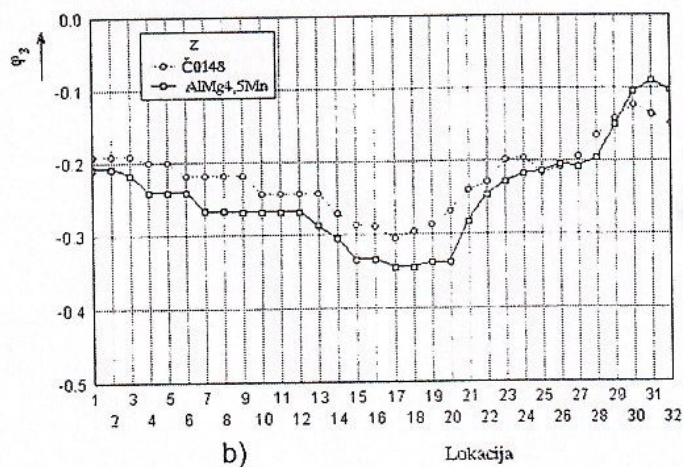
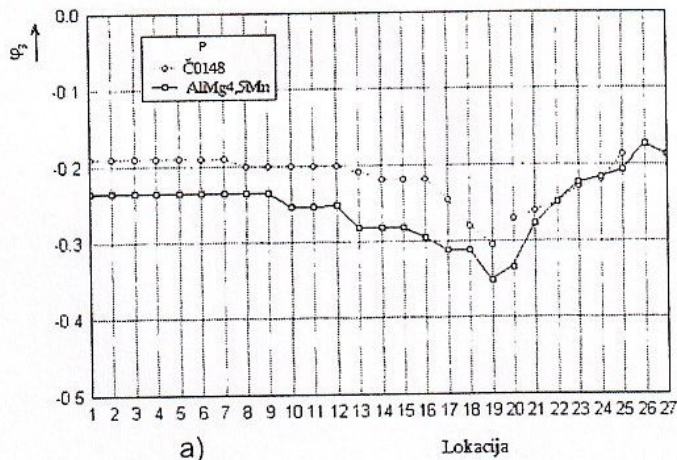
Slika 9. Raspodela deformacija u DGD

Na slici 11 prikazana je promena debljine u kritičnim preseccima P i Z pri korišćenju maziva. U poređenju sa čeličkom kod Al-legure javlja se izraženije stanjenje koje iznosi oko dvadesetak procenata. Najizraženije stanjenje javlja se na mestima zaobljenja gde upravo i dolazi do pojave razaranja.



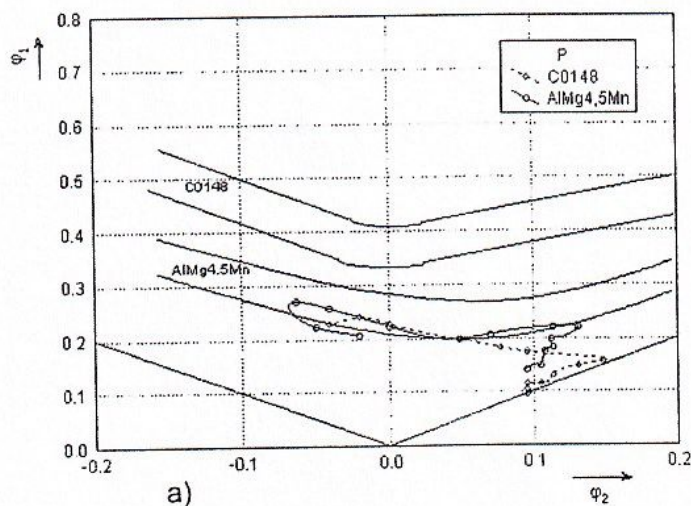
Slika 10. Otpresak sa kritičnim preseccima P i Z

Kod čeličnog lima ostvareno je uspešno oblikovanje s obzirom da ostvarene deformacije imaju niže vrednosti u odnosu na granične /slika 12/. Ostvarene deformacije su bliske i nešto više u odnosu na granične vrednosti kod Al-legure što je dovelo do pojave razaranja i nabora na obodu.

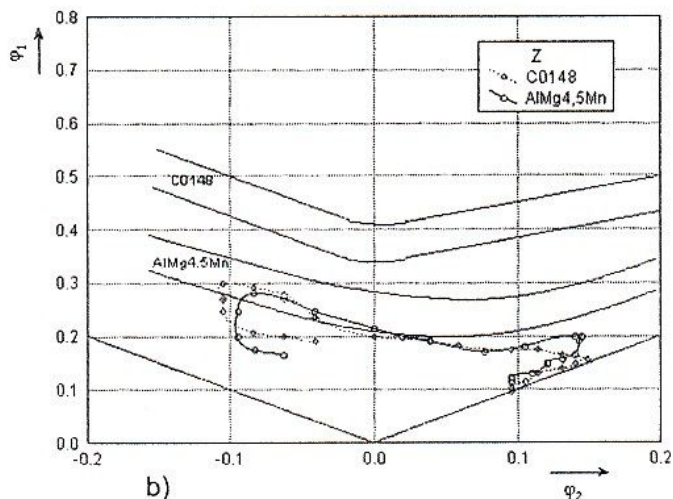


Slika 11. Promena debljine za presecc P(a) i Z(b)

Prilikom izvlačenja u proizvodnim uslovima, u prvoj probi pri istim obradnim uslovima koji su važili za čelični lim, došlo je do pojave razaranja pri izvlačenju dela od Al-legure. U sledećoj probi izvršeno je smanjenje sile držanja ali se opet desilo razaranje. Nakon ovoga, naneto je na određene zone mazivo veće viskoznosti što je omogućilo uspešno oblikovanje otpreska od Al-legure.







Slika 12. Raspona deformacija u DGD za preseke P(a) i Z(b)

#### 4. ZAKLJUČAK

Koristeći lokalnu deformacionu analizu, koja podrazumeva unošenje vrednosti deformacija u određenom preseku komada u DGD i integralnu analizu kojom se sagledava priroda deformisanja širih zona (ponekad kompletnog otpreska) može se proceniti tehnološkičnost otpreska i stepen kritičnosti izvlačenja karoserijskih delova. Primenom deformacione analize mogu se porediti različiti slučajevi izvlačenja po geometriji radnog komada, materijalu, konstrukciji alata i sl. Pri oblikovanju karoserijskih delova veliki značaj ima i distribucija deformacija. Ukoliko je ona ravnomernija situacija je povoljnija i obrnuto. Sprovođenjem određenih mera kao što su izmena razvijenog stanja, vrednosti zazora, tribo-uslova, rekonstrukcija alata može se ostvariti uspešnije oblikovanje. Današnja automobilska industrija sve više koristi komercijalne (integrisane) pakete koji se sastoje iz ure-

đaja za optičko očitavanje dimenzija elemenata merne mreže i računara sa odgovarajućim softverom koji omogućava simulaciju procesa i određivanje napona i deformacija na komadu. Na ovaj način skraćuje se vreme projektovanja dela i postiže smanjenje ukupnih troškova.

#### 5. LITERATURA

- /1/ E.Spisak, F.Stachowicz: **DEFORMATION ANALYSIS OF LARGE-SIZE AUTOBODY PANELS**, Journal of Materials Processing Technology 53, 1995, 817-826.
- /2/ M.B.Silva, R.M.S.O.Baptista, P.A.F.Martins: **STAMPING OF AUTOMOTIVE COMPONENTS: A NUMERICAL AND EXPERIMENTAL INVESTIGATION**, Journal of Materials Processing Technology, 2004, 1489-1496.
- /3/ Z.Buchar: **CIRCLE GRID ANALYSIS APPLIED TO THE PRODUCTION PROBLEMS OF THE CAR BODY PANEL**, Journal of Materials Processing Technology 60, 1996, 205-208.
- /4/ [www.trilion.com](http://www.trilion.com)
- /5/ M.Stefanović: **TRIBOLOGIJA DUBOKOG IZVLAČENJA**, monografija, Jugoslovensko društvo za tribologiju, Kragujevac, 1994.
- /6/ M.Stefanović, S.Aleksandrović, M.Milovanović, M.Samardžić: **SAVREMENI MATERIJALI ZA IZRADU LAKIH KAROSERIJA PUTNIČKIH AUTOMOBILA I NJIHOVA OBRADIVOST**, 28. Savetovanje proizvodnog mašinstva Jugoslavije, Kraljevo, 2000, 2.102-2.107.
- /7/ M.Samardžić: **OBRADIVOST LIMOVA OD ALUMINIJUMSKIH LEGURA PRI DUBOKOM IZVLAČENJU DELOVA ZA KAROSERIJE AUTOMOBILA**, Magistarska teza, Mašinski fakultet, Kragujevac, 2003.