

# ZBORNİK REZİMEA RADOVA

---

- >> Impresum**
- >> Predgovor**
- >> Sponzori**
- >> Počasni odbor**
- >> Naučno stručni i Organizacioni odbori**
- >> Organizatori**
- >> Program skupa**
- >> In memoriam**
- >> Sadržaj**
- >> Oglasni deo**

**ZBORNİK REZIMEA RADOVA**  
**Dvadeset prvi međunarodni kongres o procesnoj industriji**  
**PROCESING 2008**

**Dvadeset peto savetovanje sa međunarodnim učešćem**  
**ZAVARIVANJE 2008**

**Dvadeset peto savetovanje sa međunarodnim učešćem**  
**IBR 2008**

(Subotica, 4–6. jun 2008)

**Izdavači**

Savez mašinskih i elektrotehničkih  
inženjera i tehničara Srbije (SMEITS)  
Sekcija za procesnu tehniku  
Kneza Miloša 7a/II  
11000 Beograd

Društvo za unapređivanje  
zavarivanja u Srbiji (DUZS)  
Grčića Milenka 67  
11000 Beograd

Srpsko društvo za ispitivanje  
bez razaranja (SDIBR)  
Grčića Milenka 67  
11000 Beograd

**Glavni urednik**

Ilija Kovačević, dipl. inž.

Juna, 2008. god.

**Uređivački odbor**

Dr Srbislav Genić, dipl. inž.,  
Vencislav Grabulov, dipl. inž.,  
Radoljub Došić, dipl. inž.

**Kompjuterska  
priprema**

„Kvartet V“, Beograd

**Štampa**

„Paragon“, Beograd

**Tiraž**

400 primeraka

---

*Ministarstvo nauke Republike Srbije  
finansijski je pomoglo organizovanje  
skupa „Zavarivanje 2008“*

# PREDGOVOR

*Ideja o objedinjavanju skupova čija je problematika komplementarna, potekla 2006. godine, a delimično ostvarena na „Procesingu 2007“, u 2008. godini spremna je za realizaciju.*

*Naime, Savez mašinskih i elektrotehničkih inženjera i tehničara Srbije (SMEITS), Društvo za unapređivanje zavarivanja Srbije (DUZS) i Srpsko društvo za ispitivanje bez razaranja (SDIBR) odlučili su da zajednički organizuju svoje tradicionalne skupove u želji da na taj način ostvare: objedinjeno razmatranje komplementarne problematike („Procesinga 2008“, „Zavarivanja 2008“ i „IBR 2008“); da na jednom mestu, u isto vreme i sa jednom kotizacijom stručnjaci jednog preduzeća učestvuju na tri respektabilna naučno-stručna skupa; dopunjavanje tematskih oblasti koje omogućava učesnicima da slede logičan niz u životu jednog proizvoda (projekta, izrade - zavarivanja, ispitivanja, puštanja u rad, održavanja, popravke itd.); da radovi koji se pripremaju za skup budu sa tematikom iz svakodnevnog inženjerskog rada, kako bi se omogućilo učesnicima da reše ili dobiju ideju kako da reše konkretne probleme iz prakse; povećanje broja učesnika i članstva u SMEITS-u, DUZS-u i SDIBR-u; međusobno povezivanje učesnika, privrednih društava i organizatora kongresa odnosno savetovanja u cilju promovisanja struke i stalnog poslovnog kontakta u periodima između dva skupa; prvi zajednički skup, kao embrion organizovanja budućih regionalnih skupova, itd.*

*U ovom zborniku nalaze se rezimei radova pisani za sva tri skupa, dok se radovi u celini nalaze na kompakt-disku koji je priložen zborniku.*

*Pored osnovnih informacija o skupu - naziva pokrovitelja i sponzora, sastava odborâ, programa skupa i oglasnog dela, u ovoj knjizi je i nekrolog nedavno preminulom profesoru Mašinskog fakulteta u Beogradu Dragutinu Popoviću Šoći, kao i predlog „Pravilnika o tehničkim propisima za punjenje, transport, skladištenje i distribuciju boca i baterija boca sa tehničkim gasovima“, kome je u programu skupa posvećen okrugli sto.*

*U Beogradu,  
maja 2008.*

Dvadeset prvi međunarodni kongres o procesnoj industriji  
**PROCESING 2008**

Dvadeset peto savetovanje sa međunarodnim učešćem  
**ZAVARIVANJE 2008**

Dvadeset peto savetovanje sa međunarodnim učešćem  
**IBR 2008**

održavaju se pod pokroviteljstvom  
Ministarstva rudarstva i energetike Republike Srbije  
Ministarstva nauke Republike Srbije  
Sekretarijata za energetiku AP Vojvodine  
Privredne komore Srbije  
Inženjerske komore Srbije  
Grada Subotice

## SPONZORI



*BACCO, Beograd*



*BEOGAS AQUATHERM, Beograd*



*CIM GAS, Subotica*



*DELTA INŽENJERING, Beograd*



*DUCTIL - AIR LIQUIDE WELDING,  
Rumunija*



*ELIMP, Zagreb, Hrvatska*



*EURO GAS, Subotica*



*HEMOFARM STADA, Vršac*



*IMI INTERNATIONAL, Beograd*



INSTITUT ZA ZAŠTITU NA RADU d.d.  
NOVI SAD, BEOGRADA 3

*INSTITUT ZA ZAŠTITU NA RADU,  
Novi Sad*



*JP EPS, Beograd*



**KIRKA - SURI**, Beograd



**KOMMET**, Beograd



**KONTROL  
INSPEKT**

**KONTROL INSPEKT**, Beograd

**Linde**

**LINDE GAS SRBIJA - INDUSTRIJA  
GASOVA**, Bečej

**MARQUIS**

**MARQUIS COMMERCE**, Beograd

**MESSER**  
Messer Tehnogas AD

**MESSER TEHNOGAS**, Beograd



**MIP - PROCESNA OPREMA**, Čuprija

**PIPETECH**

**PIPETECH JOCIC**, Baden, Švajcarska



**ProING**

**PRO-ING**, Beograd

**RAFAKO**

**RAFAKO S.A.**, Raciborz, Poljska



**REMMING**, Novi Sad

**SAGAX >>>**

**SAGAX**, Beograd

**SGS**

**SGS**, Beograd



**SRBIJAGAS**

**SRBIJA GAS**, Beograd



**TERMoeLEKTRO**  
AKCIONARSKO DRUŠTVO

**TERMoeLEKTRO**, Beograd



**ZAVOD ZA ZAVARIVANJE**, Beograd

**WILO**

**WILO**, Beograd

## POČASNI ODBOR

<b>Danijel Avramesku</b>	<i>HEMOFARM STADA, Vršac</i>
<b>Radomir Babić</b>	<i>TERMOELEKTRO, Beograd</i>
<b>Ernst Bode</b>	<i>MESSER TEHNOGAS, Beograd</i>
<b>Nicolae Crunteanu</b>	<i>DUCTIL - AIR LIQUIDE WELDING, Rumunija</i>
<b>Miroslav Cvetićanin</b>	<i>REMMING, Novi Sad</i>
<b>Branko Cvetković</b>	<i>BACCO, Beograd</i>
<b>Ljiljana Dunderski</b>	<i>SRBIJA GAS, Beograd</i>
<b>Duško Guslov</b>	<i>OPŠTINSKI MENADŽER, Subotica</i>
<b>Vencislav Grabulov</b>	<i>DRUŠTVO ZA UNAPREĐIVANJE ZAVARIVANJA, Beograd</i>
<b>Branko Grbić</b>	<i>DELTA INŽENJERING, Beograd</i>
<b>Vladimir Lilić</b>	<i>ZAVOD ZA ZAVARIVANJE, Beograd</i>
<b>Branislav Jaćimović</b>	<i>MAŠINSKI FAKULTET, Beograd</i>
<b>Aleksandar Jakovljević</b>	<i>JP EPS, Beograd</i>
<b>Vladimir Janačković</b>	<i>MARQUIS COMMERCE, Beograd</i>
<b>Slobodan Janjušević</b>	<i>KIRKA - SURI, Beograd</i>
<b>Miša Jočić</b>	<i>PIPETECH JOCIC, Baden, Švajcarska</i>
<b>Zoran Jovanović</b>	<i>IMI INTERNATIONAL, Beograd</i>
<b>Čaba Kern</b>	<i>CIM GAS, Subotica</i>
<b>Ilija Kovačević</b>	<i>PRO-ING, Beograd</i>
<b>Geza Kučerán</b>	<i>OPŠTINA SUBOTICA, Subotica</i>
<b>Slobodan Macedonić</b>	<i>LINDE GAS SRBIJA - INDUSTRIJA GASOVA, Bečej</i>
<b>Slawomir Muszynski</b>	<i>RAFAKO, Poljska</i>
<b>Miloš Nedeljković</b>	<i>MAŠINSKI FAKULTET, Beograd</i>
<b>Tomislav Papić</b>	<i>SEKRETARIJAT ZA ENERGETIKU APV, Novi Sad</i>
<b>Ana Pešikan</b>	<i>MINISTARSTVO NAUKE RS, Beograd</i>
<b>Milutin Prodanović</b>	<i>MINISTARSTVO RUDARSTVA I ENERGEITKE RS, Beograd</i>
<b>Dragoljub Radojičić</b>	<i>SRPSKO DRUŠTVO ZA ISPITIVANJE BEZ RAZARANJA, Beograd</i>
<b>Goran Radujković</b>	<i>ELIMP, Zagreb, Hrvatska</i>
<b>Dragan Simonović</b>	<i>WILO, Beograd</i>
<b>Sreten Spasić</b>	<i>KONTROL INSPEKT, Beograd</i>
<b>Aleksandar Stanković</b>	<i>SAGAX, Beograd</i>
<b>Miodrag Stojiljković</b>	<i>MAŠINSKI FAKULTET, Niš</i>
<b>Slobodan Stošić</b>	<i>MIP - PROCESNA OPREMA, Čuprija</i>
<b>Valerij Šarenac</b>	<i>KOMMET, Beograd</i>
<b>Dragoslav Šumarac</b>	<i>INŽENJERSKA KOMORA SRBIJE, Beograd</i>
<b>Miomir A. Todorović</b>	<i>PRIVREDNA KOMORA SRBIJE, Beograd</i>
<b>Željko Tomić</b>	<i>INSTITUT ZA ZAŠTITU NA RADU, Novi Sad</i>
<b>Marinko Ukropina</b>	<i>SGS, Beograd</i>
<b>Tomislav Vojnić</b>	<i>EURO GAS, Subotica</i>
<b>Dimitrije Voronjec</b>	<i>MAŠINSKI FAKULTET, Beograd</i>
<b>Saša Vučinić</b>	<i>SKUPŠTINA OPŠTINE SUBOTICA, Subotica</i>
<b>Miloš Vukolić</b>	<i>BEOGAS - AQUATHERM, Beograd</i>

**NAUČNO-STRUČNI ODBOR  
„PROCESINGA 2008“**

Srbislav Genić *MAŠINSKI FAKULTET,  
Beograd  
(predsednik Odbora)*  
Gradimir Ilić *MAŠINSKI FAKULTET, Niš*  
Slobodan Macedonić *LINDE GAS SRBIJA, Bečež*  
Miroslav Stanojević *MAŠINSKI FAKULTET,  
Beograd*  
Ilija Kovačević *PRO-ING, Beograd*

**ORGANIZACIONI ODBOR  
„PROCESINGA 2008“**

Aleksandar Dedić *ŠUMARSKI FAKULTET,  
Beograd*  
Ilija Kovačević *PRO-ING, Beograd  
(predsednik Odbora)*  
Zoran Nikolić *MESSER TEHNOGAS, Beograd*  
Aleksandar Petrović *MAŠINSKI FAKULTET, Beograd*  
Dejan Radić *MAŠINSKI FAKULTET, Beograd*  
Aleksandar Stanković *SAGAX, Beograd*  
Slobodan Stošić *MIP - PROCESNA OPREMA,  
Čuprija*  
Dejan Vračar *BABCOCK BORSIG  
POWER USLUGE, Beograd*

**NAUČNO-STRUČNI ODBOR  
„ZAVARIVANJA 2008“**

Vencislav Grabulov *IMS, Beograd  
(predsednik Odbora)*  
Ana Nanut *HIP „PETROHEMIJA“, Pančevo*  
Zoran Odanović *IMS, Beograd*  
Aleksandar Radović *DUZS, Beograd*  
Bela Sabo *FAKULTET TEHNIČKIH NAUKA,  
Novi Sad*  
Aleksandar Sedmak *MAŠINSKI FAKULTET, Beograd*

**ORGANIZACIONI ODBOR  
„ZAVARIVANJA 2008“**

Vera Božić *DUZS, Beograd*  
Jovica Dakić *FAKULTET TEHNIČKIH NAUKA,  
Novi Sad*  
Vencislav Grabulov *IMS, Beograd*  
Vladimir Lilić *ZAVOD ZA ZAVARIVANJE, Beograd*  
Branislav Lukić *INSTITUT ZAŠTITE NA RADU,  
Novi Sad*  
Dragan Mišković *REFIT INŽENJERING, Beograd*  
Dragan Mitić *NIVAR, Niš*  
Ana Nanut *HIP „PETROHEMIJA“, Pančevo  
(predsednica Odbora)*

**ORGANIZACIONI I  
STRUČNI ODBOR  
„IBR 2008“**

<b>Đurdija Čašić</b>	<i>INSTITUT „VINČA“, Beograd</i>
<b>Radoljub Došić</b>	<i>TERMOELEKTRO, Beograd (predsednik Odbora)</i>
<b>Ljiljana Dunderski</b>	<i>JP „SRBIJA GAS“, Zrenjanin</i>
<b>Aleksandar Jakovljević</b>	<i>JP EPS, Beograd</i>
<b>Dragoljub Radojičić</b>	<i>ZAVOD ZA ZAVARIVANJE, Beograd</i>
<b>Goran Sofronić</b>	<i>ZAVOD ZA ZAVARIVANJE, Beograd</i>
<b>Sreten Spasenić</b>	<i>KONTROL INSPEKT, Beograd</i>

**ORGANIZATORI**

---

**„PROCESING 2008“**

*Savez mašinskih i elektrotehničkih inženjera  
i tehničara Srbije (SMEITS),  
Sekcija za procesnu tehniku  
Kneza Miloša 7a/II, 11000 Beograd  
Tel. 011/3230-041, 3031-696, tel./faks 3231-372  
E-mail: smeits@eunet.yu, web: www.smeits.org.yu*

**Savetovanje „ZAVARIVANJE 2008“**

*Društvo za unapređivanje zavarivanja u Srbiji (DUZS),  
Grčića Milenka 67, 11000 Beograd  
Tel. 011/2850-794  
E-mail: duzs@eunet.yu, web: www.duzs.org.yu*

**Savetovanje „IBR 2008“**

*Srpsko društvo za ispitivanje bez razaranja (SDIBR),  
Grčića Milenka 67, 11000 Beograd  
Tel. 011/2851-079, faks 2850-648  
E-mail: sdibr@sdibr.org.yu, web: www.sdibr.org.yu*



70. ISPITIVANJE GASOVODA U RADU METODOM MAGNETNOG FLUKSA INTELIGENTNIM KRACEROM  
Ljiljana M. Dunderski
71. METODOLOGIJA KVALIFIKACIJE ISPITIVANJA BEZ RAZARANJA PREMA DOKUMENTU CEN/TR 14748:2004  
Đurđija Čašić
72. ISO/TR 25108:2006(E) - SMERNICE ZA CENTRE ZA OBUKU OSOBLJA KOJE SE BAVI ISPITIVANJIMA BEZ RAZARANJA - PRIKAZ I ZNAČAJ DOKUMENTA  
Tatjana Samardžić
73. RADIJACIONE KARAKTERISTIKE Se-75 U IBR  
Srpk Marković i Đorđe Lazarević
74. THE ANALYSIS OF TYPICAL CORROSION DAMAGE PROCESSES OF POWER PLANT COMPONENTS  
A. Hernas, J. Dobrzański i J. Wodzyński
75. STANDARD ZA PRIHVATLJIVOST NEPRAVILNOSTI U ZAVARENIM SPOJEVIMA  
Boško Aleksić

## **RADOVI NA ZAVARIVANJU '08**

### **I. Konvencionalni i nekonvencionalni postupci zavarivanja**

76. TEHNOLOGIJA NAVARIVANJA KANALA NA TRAMVAJSKIM SRCIMA  
D. Mitić i D. Milčić i D. Momčilović
77. STT PROCES PRENOSA MATERIJALA  
Dragan Mitić, Sava Đurić i Miomir Vukićević
78. SUČEONO ZAVARIVANJE POLIETILENSKIH CEVI ZAGREJANIM ALATOM  
D. Runčev, i Lj. Trpkovski
79. TEHNOLOGIJA NAVARIVANJA U EKSPLOATACIJI POLJOPRIVREDNE MEHANIZACIJE  
Lazar Brestovački i Jovica Dakić
80. AKTIVACIJA FIZIČKO-HEMIJSKIH PROCESA PRI ZAVARIVANJU U ZAŠTITI INERTNIH GASOVA  
A. M. Savickij, E. M. Savickaja, M. M. Savickij i D. Bajić
81. PRIMENA INDIRECTNOG GENERISANJA TOPLOTE TRENJEM  
Miroslav Đurđanović i Dušan Stamenković
82. EKSPERIMENTALNO ODREĐIVANJE KOEFICIJENTA TERMIČKE EMISIJE POVRŠINE PRI ZAVARIVANJU  
S. Pašić, S. Kovačić i E. Džih
83. PRIMENA CADWELD® POSTUPKA ZAVARIVANJA ELEKTRIČNIH SPOJEVA UZEMLJIVAČA  
Gojko Dotlić
84. RAZVOJ TEHNOLOGIJE ZAVARIVANJA DVOSLOJNIH ČELIKA VISOKE ČVRSTOĆE  
Z. Odanović, V. Grabulov i B. Katavić
85. PRIMENA NAVARIVANJA POHABANIH DELOVA VELIKIH DIMENZIJA IZRAĐENIH OD SIVOG LIVA  
Miodrag Arsić, Vujadin Aleksić i Aleksandar Veljović
86. OCENA KVALITETA TAČKASTO ZAVARENOM SPOJA STANDARDNIM I NOVIM METODAMA KONTROLE SA RAZARANJEM - 1. deo  
Vukić Lazić, Marina Vuković, Milorad Jovanović, Srbislav Aleksandrović i Radun Vulović

87. EKSPERIMENTALNO-NUMERIČKO ODREĐIVANJE  
NAJPOVOLJNIJE TEHNOLOGIJE TAČKASTOG ZAVARIVANJA  
ODGOVORNIH SKLOPOVA AUTOMOBILA - 2. deo  
Vukić Lazić, Marina Vuković, Milorad Jovanović,  
Miroslav Živković i Srbislav Aleksandrović
88. FRICTION STIR WELDING OF ALUMINUM  
MAGNESIUM DISSIMILAR JOINTS  
D. Dehelean, R. Cojocar, L. Boțilă i B. Radu

## **II. Osnovni, dodatni i pomoćni materijali**

89. UTICAJ TEHNOLOGIJE TERMIČKE OBRADJE NA  
KVALITET ZAVARENOG SPOJA KOMBINACIJE MATERIJALA  
SA RAZLIČITIM SADRŽAJEM HROMA  
Nadežda Filipović
90. RASPODJELA LEGIRAJUĆIH ELEMENATA U STRUKTURNIM  
KOMPONENTAMA ŠAVA NISKOLEGIRANIH ČELIKA U  
FUNKCIJI BAZICITETA OBLOGE  
Ž. Blečić, D. Blečić, D. Čabarkapa i D. Martinović
91. TRIBOLOŠKE I METALURŠKE KARAKTERISTIKE ZUBACA  
ZUPČANIKA REPARATURNO NAVARENIH TIG POSTUPKOM  
DODATNIM MATERIJALOM DUR 600-IG  
Svetislav Lj. Marković, Danica Josifović,  
Slobodan Tanasijević i Svetislav Jovičić
92. NAPONSKA KOROZIJA MARTENZITNOG NERĐAJUĆEG  
ČELIKA U MORSKOJ VODI  
Igor Anđelković i Goran Radenković
93. ELEKTROLUČNO NAVARIVANJE OBLOŽENOM  
ELEKTRODOM ELEMENATA MALE ŠIRINE PRIMENOM  
ŠAMOTNIH OGRANIČAVAČA RASTOPA  
B. Sabo, K. Gerić, J. Dakić i A. Konja
94. UTICAJ MIKROSTRUKTURE METALNE OSNOVE  
NA MEHANIČKE KARAKTERISTIKE SUČEONO  
ZAVARENOG SPOJA NODULARNOG LIVA  
Lazar Brestovački, Leposava Šiđanin, Katarina Gerić i Bela Sabo
95. METALNE PUNJENE ŽICE  
Ivan Lakota, Marjan Bregant i Mojca Šolar
96. SHOT PEENING OF ALUMINIUM ALLOY 7075  
Uroš Zupanc i Janez Grum
97. OSVAJANJE PROIZVODNJE ELEKTRODNE PUNJENE  
ŽICE NAMENJENE EPP POSTUPKU ZAVARIVANJA  
N. Bajić, D. Čabarkapa, B. Blečić, A. Vukosavljević i M. Rakin
98. MODELSKA ISPITIVANJA DODATNIH  
MATERIJALA NAMENJENIH REGENERACIJI  
OŠTEĆENIH DELOVA GRAĐEVINSKIH MAŠINA  
Milan Mutavdžić, Rajko Čukić, Milorad Jovanović,  
Vukić Lazić i Dejan Đorđević
99. APSORPCIONE PREVLAKE ZA USPEŠNO LASERSKO  
LEMLJENJE I VARENJE ZLATNOG NAKITA  
Z. Karastojković, R. Perić, M. Srećković,  
Z. Janjušević i Z. Kovačević
100. METODE REPARACIJE POHABANIH POVRŠINA  
MAŠINSKIH DIJELOVA EPP POSTUPKOM SA PUNJENIM ŽICAMA  
Dušan Martinović, Blagutin Blečić i Aleksandar Vukosavljević

# EKSPERIMENTALNO-NUMERIČKO ODREĐIVANJE NAJPOVOLJNIJE TEHNOLOGIJE TAČKASTOG ZAVARIVANJA ODGOVORNIH SKLOPOVA AUTOMOBILA - deo 2

Vukić Lazić<sup>1</sup>, Marina Vuković<sup>2</sup>, Milorad Jovanović<sup>1</sup>, Miroslav Živković<sup>1</sup>,  
Srbislav Aleksandrović<sup>1</sup>

<sup>1</sup>) *Mašinski fakultet u Kragujevcu, Sestre Janjić 6, 34000 Kragujevac*

<sup>2</sup>) *Fabrika Preseraj, Zastava automobili, Trg topilivaca 4, 34000 Kragujevac*

E-mail: [vlazic@kg.ac.yu](mailto:vlazic@kg.ac.yu)

*U ovom radu sprovedena su opsežna eksperimentalna i numerička istraživanja u cilju utvrđivanja najpovoljnije tehnologije tačkastog zavarivanja odgovornih sklopova automobila na preklopno tačkasto zavarenim spojevima i različitim debljinama limova (0.8+0.8) i (1.2+1.2) mm. Obimna eksperimentalna istraživanja poslužila su kao osnova za verifikaciju, razvoj i dogradnju primenjenog numeričkog modela.*

## **Ključne reči:**

*tačkasto zavarivanje, eksperimentalne metode, numeričke metode, kontrola.*

## EXPERIMENTAL-NUMERICAL DETERMINATION OF BEST TECHNOLOGY OF SPOT WELDINGS OF RELIABLE AUTOMOTIVE ASSEMBLIES – part 2

*In present paper are given results of experimental and numerical investigations with aim to establish the most suitable technology of spotted welding of reliable automotive assemblies on overlapped bonds of sheets with different thickness (0.8+0.8) and (1.2+1.2) mm.*

*Comprehensive experimental data were used as a base for verification, development and upgrade of applied numerical model.*

## **Key words:**

*spot welding, experimental methods, numerical methods, control.*

## **1. UVODNE NAPOMENE**

Pre izbora tehnologije zavarivanja, najpre su određena mehanička svojstva limova u različitim pravcima na većem broju epruveta. Određivani su: zatezna jačina, napon tečenja, izduženje, modul elastičnosti, kao i faktori krivih deformacionih ojačanja ( $n$  i  $r$ ) [1-4].

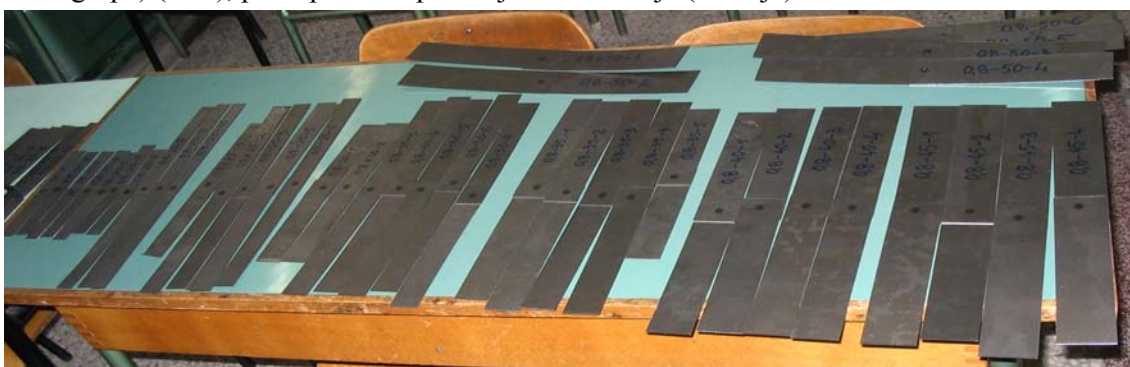
Probna zavarivanja izvođena su na osnovu usvojenih najvažnijih preporučenih parametara zavarivanja, kao što su: prečnik vrha elektrode, jačina struje zavarivanja, vreme zavarivanja i sila na elektrodama. Posle zatezanja i kidanja probnih uzoraka definitivno su usvajani parametri zavarivanja ili je izvođena njihova korekcija. Kriterijum je bio taj da sila kidanja mora nadmašiti minimalnu standardnu silu za datu debljinu i vrstu materijala. Takođe, na zavarenim spojevima izvedena su i metalografska ispitivanja radi utvrđivanja oblika i geometrije zavarenog spoja, merenja tvrdoće i ocene mikrostrukture pojedinih zona tačkastog spoja [1, 2, 4, 8, 9, 10].

## **2. EKSPERIMENTALNA ISPITIVANJA**

U radu [1] detaljno su obrađeni rezultati ispitivanja različitih tačkasto zavarenih spojeva: preklopnih, u obliku L-profila, u obliku U-profila - sa umetkom i bez umetka, krstato zavarenih i tsl. U ovom radi biće analizirani samo preklopno tačkasto zavareni spojevi, različitih debljina i širina, podvrgnuti ispitivanju na zatezanje.

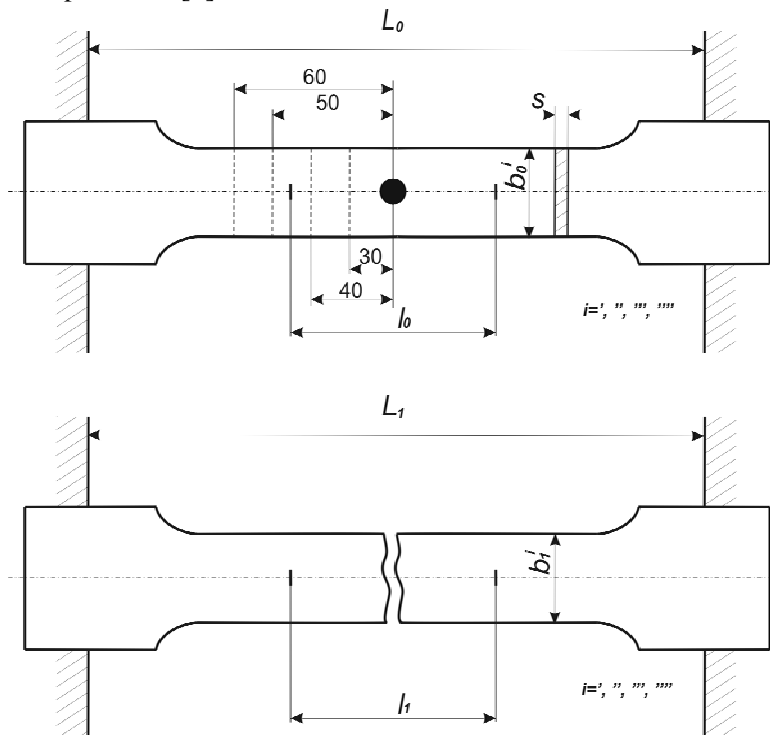
## 2.1 Ispitivanje zatezanjem

Za potrebe ovog ispitivanja pripremljene su epruvete u obliku traka debljine 0.8 i 1.2 mm i širine: 20, 25, 30, 40, 45 i 50 mm. Posle preklopnog tačkastog zavarivanja (3-6 spojeva svakog tipa) (sl. 1), pristupilo se ispitivanju na zatezanje (kidanje).



Slika 1. Izgled preklopno tačkasto zavarenih epruveta različitih debljina i širina

Schema ispitivanja preklopno tačkasto zavarenih spojeva, pre i posle ispitivanja zatezanjem, prikazana je na slici 2. Ispitivanje je izvedeno kako na mehaničkoj kidalici WPM 0÷10000 daN, tako i na najnovijoj kidalici (Zwick/Roell Z100) opremljenoj računarom za automatsku obradu podataka [1].



Slika 2. Merene dimenzije na epruvetama pre i posle kidanja

U tablici 1 i 2 navode se obrađeni rezultati ispitivanja zatezanjem preklopno zavarenih limova debljine 0.8 i 1.2 mm, samo u slučaju kada je početna širina lima bila 25 mm [1].

Tablica 1. Rezultati ispitivanja na zatezanje ( $s=0.8\text{ mm}$ ,  $b_0=25\text{ mm}$ ,  $v=10\text{ mm/min}$ )

Red. br.	Oznaka epruvete	Maksimalna sila, $F_m, daN$	Početno i krajnje merno rastojanje		Izduženje $\Delta l, mm$	Širina		Rastojanje	
			$l_0, mm$	$l_1, mm$		$b_0, mm$	$b_1, mm$	$L_0, mm$	$L_1, mm$
1	0.8-25-1	469.7	79.6	87	7.4	-	-	-	-
2	0.8-25-2	454.3	79.8	86.7	6.9	-	-	89	92.8
3	0.8-25-3	448.8	79	85.8	6.8	$b_0^{\cdot}=24.90$ $b_0^{\cdot\cdot}=24.87$ $b_0^{\cdot\cdot\cdot}=24.89$ $b_0^{\cdot\cdot\cdot\cdot}=24.88$	$b_1^{\cdot}=24.67$ $b_1^{\cdot\cdot}=24.67$ $b_1^{\cdot\cdot\cdot}=24.66$ $b_1^{\cdot\cdot\cdot\cdot}=24.66$	-	-
4	0.8-25-4	448.8	80	86.5	6.5	-	-	89	92.3

Tablica 2. Rezultati ispitivanja na zatezanje ( $s=1.2\text{ mm}$ ,  $b_0=25\text{ mm}$ ,  $v=10\text{ mm/min}$ )

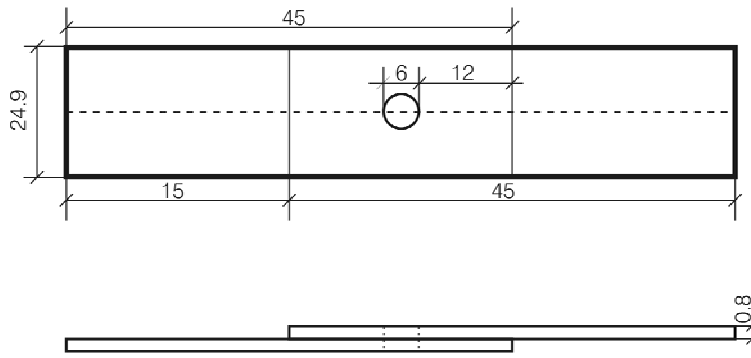
Red. br.	Oznaka epruvete	Maksimalna sila, $F_m, daN$	Početno i krajnje merno rastojanje		Izduženje $\Delta l, mm$	Širina		Rastojanje	
			$l_0, mm$	$l_1, mm$		$b_0, mm$	$b_1, mm$	$L_0, mm$	$L_1, mm$
1	1.2-25-1	756.8	80	91.6	11.6	-	-	88.8	98
2	1.2-25-2	683.1	80	89	9.0	-	-	88.9	93.6
3	1.2-25-3	730.4	80	90.4	10.4	-	-	89.4	95.4
4	1.2-25-4	704	79.6	89	9.4	$b_0^{\cdot}=25.12$ $b_0^{\cdot\cdot}=25.12$ $b_0^{\cdot\cdot\cdot}=25.10$ $b_0^{\cdot\cdot\cdot\cdot}=25.05$	$b_1^{\cdot}=24.41$ $b_1^{\cdot\cdot}=24.45$ $b_1^{\cdot\cdot\cdot}=24.43$ $b_1^{\cdot\cdot\cdot\cdot}=24.44$	88.5	94.9

### 3. REZULTATI NUMERICĀKIH PRORAČUNA

#### 3.1 Primer 1 - Smicanje preklopno tačkasto zavarenih epruveta debljine 0.8 mm

Analizirane su dve epruvete debljine  $0.8\text{ mm}$ , širine  $24.9\text{ mm}$  preklopno zavarene, dužine  $L=45\text{ mm}$ . Razmatrana je geometrijski i materijalno nelinearna analiza zavarenog spoja. Usvojeno je da je prečnik zavarene tačke  $d \approx 6\text{ mm}$ . Epruvete su modelirane sa solidima (976) kao parabolničnim elementima [7, 8]. Zbog ravanske simetrije, modelirana je samo polovina modela uz primenu odgovarajućih graničnih uslova simetrije. Korišćen je Misesov elastoplastični materijalni model sa izotropnim ojačanjem [7, 8].

Materijalni podaci za Ramberg - Osgood krivu ojačanja su:  $E=200000\text{ MPa}$ ,  $\nu=0.3$ ,  $\sigma_y = \sigma_{yv} + C_y \bar{\epsilon}_p^n$ ,  $\sigma_{yv} = 188.44\text{ N/mm}^2$ ,  $C_y = 357.26\text{ N/mm}^2$  i  $n=0.3945$  [1, 10]. Zona metala tačke (šava) ojačana je sa  $C_y = 520\text{ N/mm}^2$  i  $n=1$ . Geometrija modela je prikazana na slici 3.

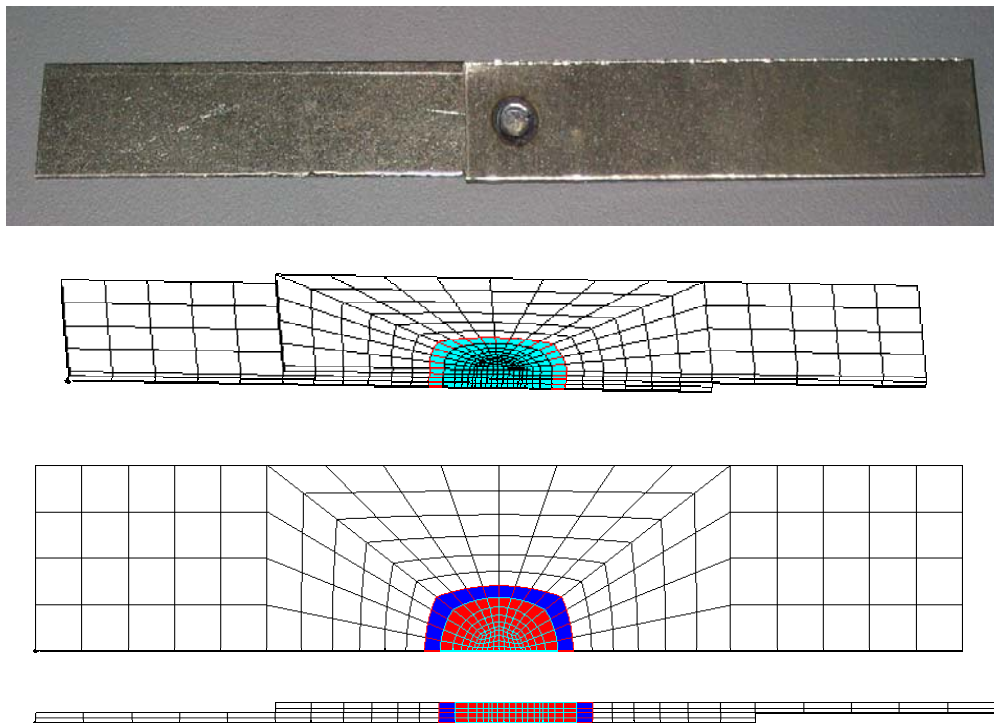


**Slika 3. Geometrija modeliranih epruveta**

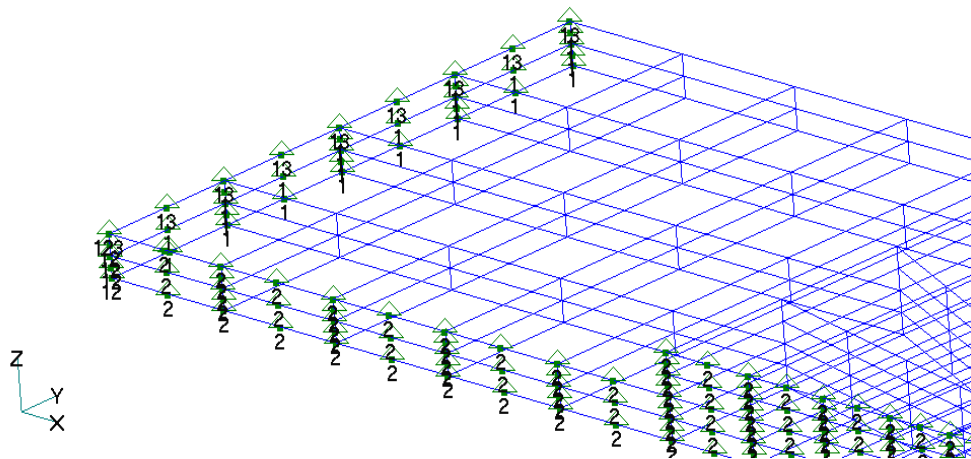
Mreža konačnih elemenata je prikazana na slici 4 [6]. Crvenom bojom je prikazana zona metala šava, a plavom bojom oblast ZUT-a širine oko 1 mm koja nastaje kao posledica uticaja unete toplote (sl. 4).

Ograničenja:

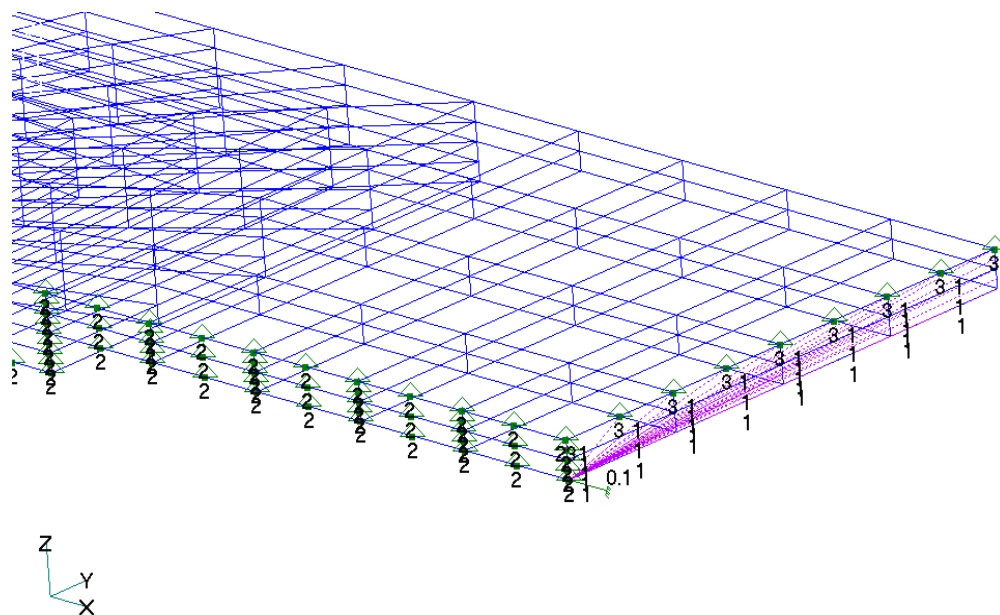
- Leva strana modela u ravni  $zy$  ima ograničenje po celoj površini u  $x$  pravcu i dodatno ograničenje po gornjoj ivici u  $z$  pravcu koja je u toj ravni na rastojanju 0.8 mm od koordinatnog početka. Čvorovi u ravni simetrije modela imaju ograničenje u  $y$  pravcu (sl. 5).
- Desna strana modela ima ograničenja analognoj levoj osim što je umesto ograničenja u  $x$  pravcu zadato pomeranje u jednom čvoru u  $x$  pravcu (čvor 5485) i 36 povezanih pomeranja u  $x$  pravcu (sl. 6) sa brojem koraka 70 i inkrementom 0.1. Globalna ograničenja su ograničene rotacije.



**Slika 4. Mreža konačnih elemenata; zona metala šava i okološavna zona (ZUT i O.M.)**



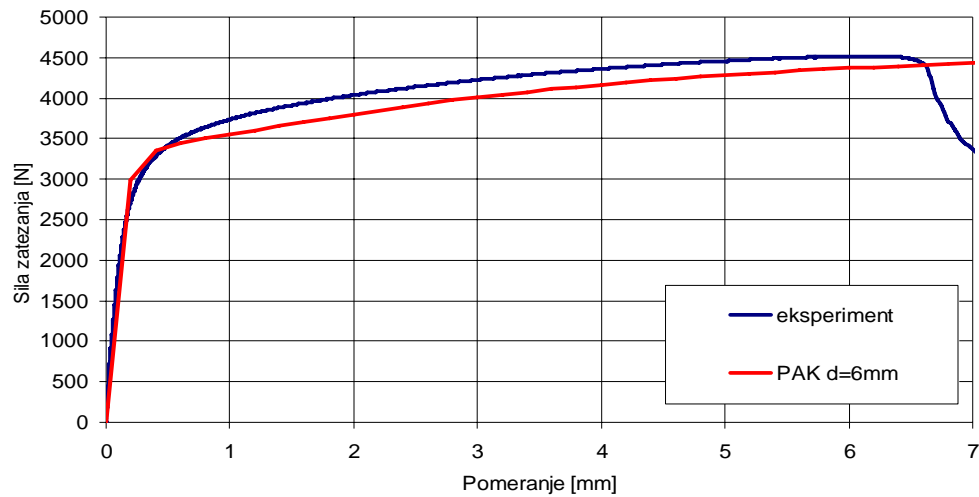
**Slika 5. Ograničenja na levoj strani i u ravni simetrije modela**



**Slika 6. Ograničenja na desnoj strani i u ravni simetrije modela; zadato pomeranje u jednom čvoru i povezana pomeranja u 36 čvorova**

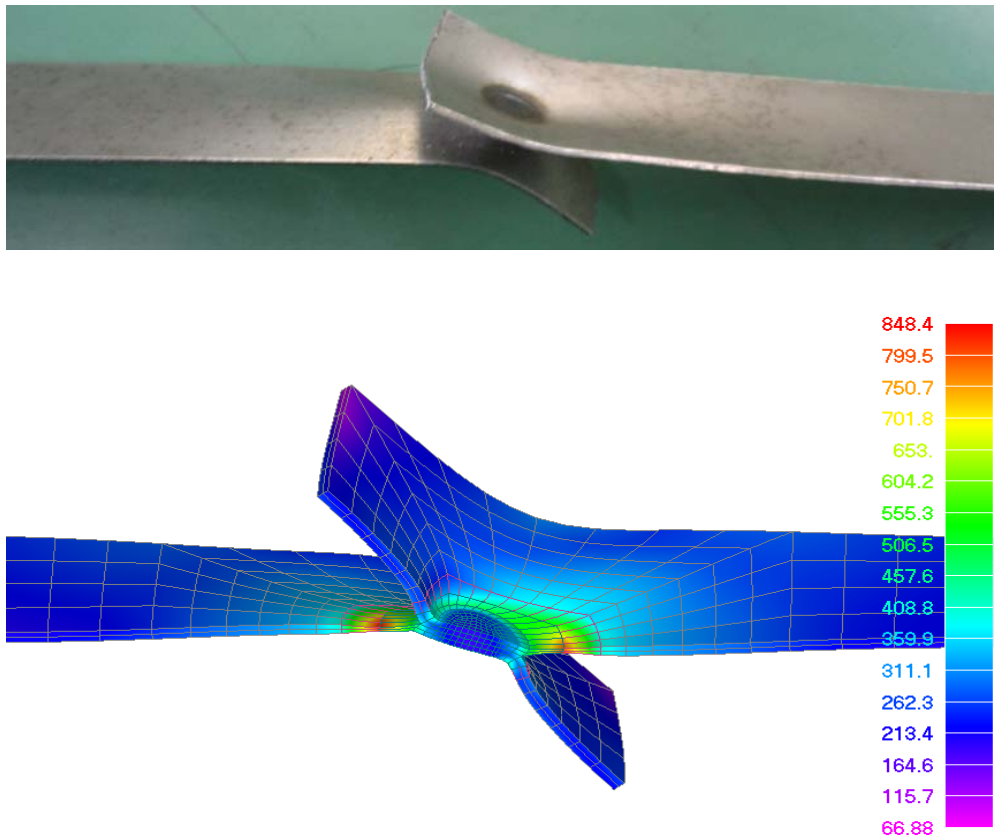
Rezultati eksperimentalnih ispitivanja preklapno zavarenih spojeva za debljinu lima  $0.8 \text{ mm}$  obrađeni su u radovima [1, 10] (tab. 1). Pri analizi velikih deformacija korišćena je logaritamska i rotirana Green-Lagrange-ova mera deformacije pri čemu je dobijena ista zavisnost sila-pomeranje [1, 10].

Uporedni dijagram sila-pomeranje prikazan je na slici 7. Sa slike se vidi da su vrednosti sila dobijenih numeričkim proračunom za prečnik zavarene tačke  $d = 6 \text{ mm}$  za oko 5 % niže od vrednosti sila dobijenih eksperimentom [1, 5].



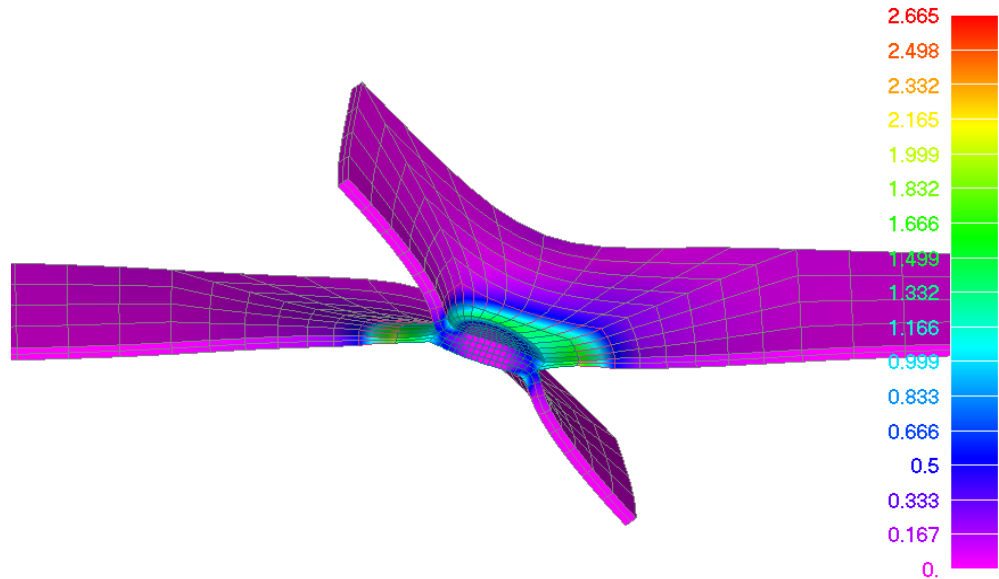
**Slika 7. Dijagram sila-pomeranje pri kidanju preklopno tačkasto zavarenih epruveta debljine 0.8 mm**

Izgled deformisane epruvete i polje efektivnog napona na deformisanoj konfiguraciji u 70-om koraku prikazan je na slici 8. Sa slike se vidi da je karakter deformisanja sličan. Polje efektivne plastične deformacije je prikazano na slici 9.



**Slika 8. Polje efektivnog napona (u 70-om koraku)**



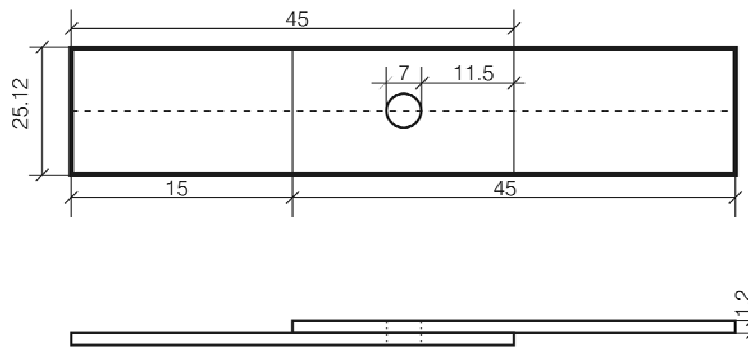


Slika 9. Polje efektivne plastične deformacije (u 70-om koraku)

### 3.2 Primer 2 - Smicanje preklopno tačkasto zavarenih epruveta debljine 1.2 mm

U ovom primeru, analizirane su dve epruvete debljine 1.2 mm, širine 25.12 mm zavarene u preklop, dužine  $L = 45$  mm. Razmatra se geometrijski i materijalno nelinearna analiza zavarenog spoja. Usvojeno je da je prečnik zavarene tačke je  $\approx 7$  mm. Epruvete su modelirane sa solidima (976) kao paraboličnim elementima. Prilikom modeliranja epruvete, zbog ravanske simetrije, modelirana je samo polovina modela uz primenu odgovarajućih graničnih uslova simetrije. Korišćen je Misesov elastoplastični materijalni model sa izotropnim ojačanjem [1, 6].

Materijalni podaci za Ramberg-Osgood krivu ojačanja su:  $E = 200000$  MPa,  $\nu = 0.3$ ,  $\sigma_y = \sigma_{yv} + C_y \bar{\epsilon}_p^n$ ,  $\sigma_{yv} = 155.34$  N/mm<sup>2</sup>,  $C_y = 374.59$  N/mm<sup>2</sup> i  $n = 0.3839$  [1, 6]. Zona metala tačke (šava) ojačana je sa  $C_y = 520$  N/mm<sup>2</sup> i  $n = 1$ . Geometrija modela je prikazana na slici 10.

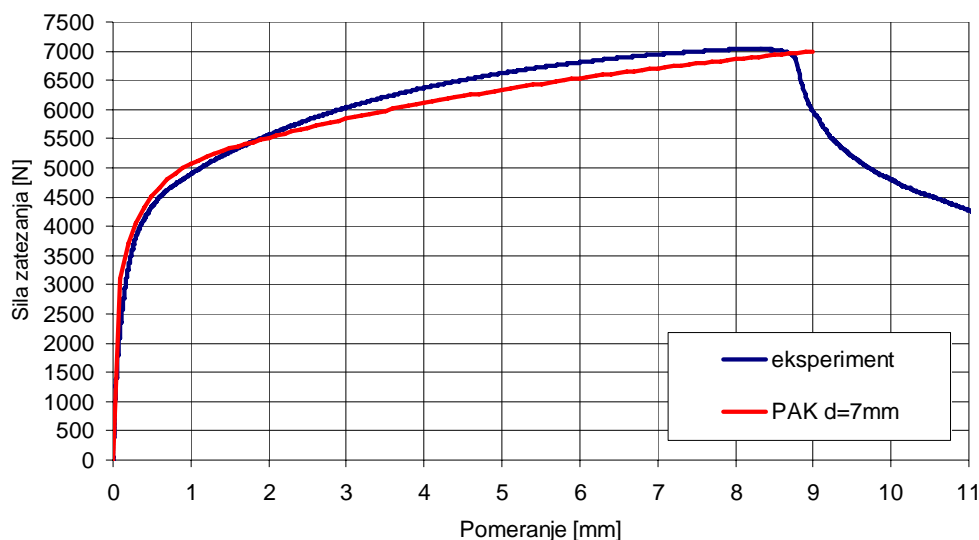


Slika 10. Geometrija modeliranih epruveta

Mreža konačnih elemenata, ograničenja i opterećenja su ista kao u prethodnom primeru. Rezultati eksperimentalnih ispitivanja preklopno zavarenih spojeva za debljinu lima 1.2 mm obrađeni su u tački 2.1. Za ovu modeliranu epruvetu podaci se nalaze u radovima [1, 10] (tab. 2).

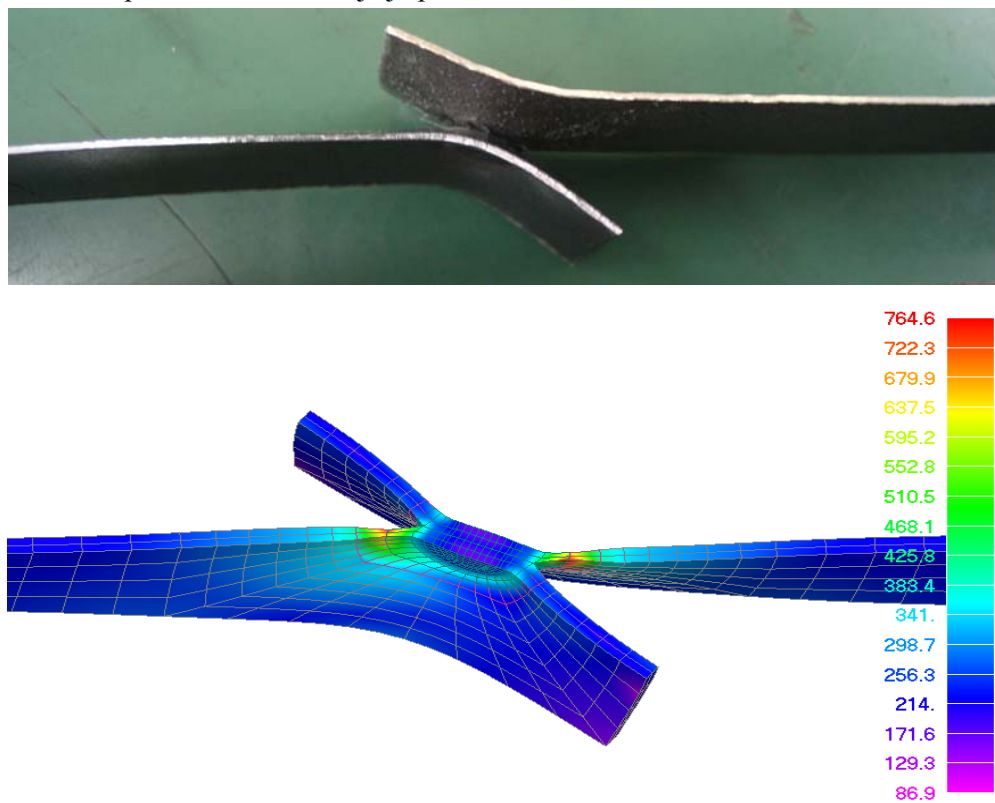
Pri analizi velikih deformacija korišćena je logaritamska i rotirana Green-Lagrange-ova

mera deformacije pri čemu je dobijena ista zavisnost sila-pomeranje [1, 6]. Uporedni dijagram sila-pomeranje prikazan je na slici 11. Sa slike se vidi da su vrednosti sila dobijenih numeričkim proračunom za prečnik zavarene tačke  $d \approx 7 \text{ mm}$  približne vrednostima sila dobijenih eksperimentom (razlike u vrednostima ne prelaze 5% u celom dijapazonu).

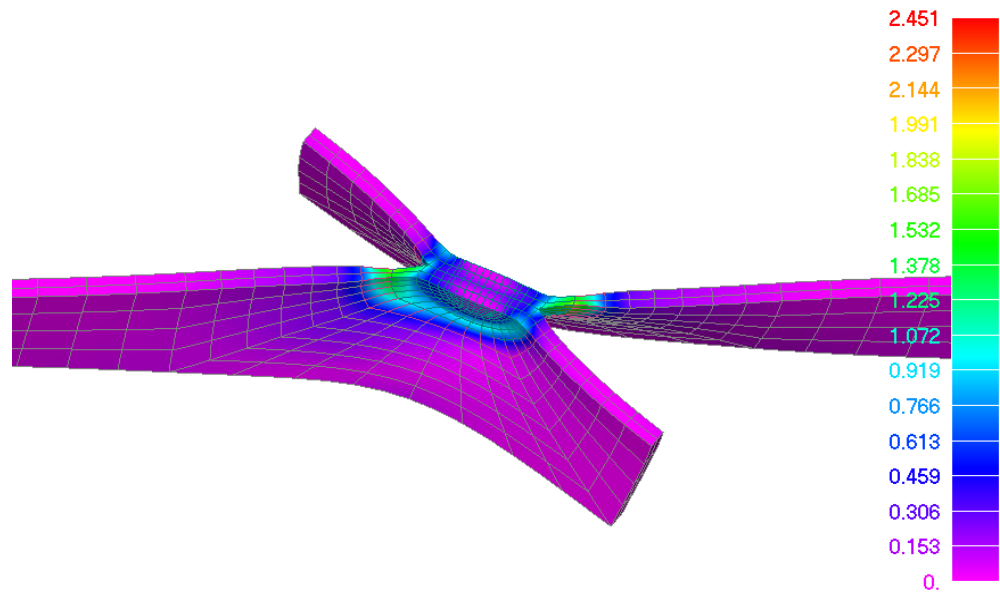


**Slika 11. Dijagram sila-pomeranje pri kidanju preklopno tačkasto zavarenih epruveta debljine 1.2 mm**

Izgled deformisane epruvete i polje efektivnog napona za deformisanu konfiguraciju u 70 - om koraku je prikazan na slici 12. Sa slike se vidi da je karakter deformisanja sličan. Polje efektivne plastične deformacije je prikazano na slici 13.



**Slika 12. Polje efektivnog napona (u 70-om koraku)**



Slika 13. Polje efektivne plastične deformacije (u 70-om koraku)

#### 4. ZAKLJUČAK

U cilju verifikacije numeričkih modela, izvršena je komparacija dobijenih rezultata sa eksperimentalnim rezultatima. Najpre je urađeno nekoliko primera za verifikaciju GAP elementa, a zatim više primera za verifikaciju eksperimenta, da bi se na kraju efikasnost razvijenog softvera potvrdila na primeru sloma tankozidnog tačkasto zavarenog nosača. Verifikacijom rezultata proračuna došlo se do ocene o valjanosti razvijene metodologije i mogućnosti da se razvijeni softver pouzdano koristi u praksi za rešavanje problema nosivosti tačkasto zavarenih spojeva i konstrukcija, odnosno posredno i za izbor najpovoljnije tehnologije tačkasto zavarenih spojeva.

#### 5. LITERATURA

##### *Teze*

1. Vuković, M: Eksperimentalna ispitivanja i numerička analiza čvrstoće tačkasto zavarenih spojeva i konstrukcija, magistarska teza, Mašinski fakultet u Kragujevcu, Kragujevac, 2006.
2. Lazić, V.: Prilog proračunu temperaturnih polja pri tačkastom zavarivanju, magistarska teza, Mašinski fakultet u Kragujevcu, Kragujevac, 1990.
3. Janota, M.: Procesy a riadenie odporoveho zvarania, Bratislava, 1985.

##### *Časopisi*

4. Lazić, V., Vuković, M., Jovanović, M., Živković, M., Aleksandrović, S.: Kontrola tačkasto zavarenih spojeva standardnim metodama i novom metodom pomoću momenta uvijanja-deo 1, Zavarivanje '08, Subotica, 2008.
5. Vural, M., Akkus, A., Eryürek, B.: Effect of welding nugget diameter on the fatigue strength of the resistance spot welded joints of different steel sheets, Journal of Materials Processing Technology, 176, 2006, Turkey, 127-132.

##### *Knjige - softverski paketi*

6. Kojić, M., Slavković, R., Živković, M., Grujović, N.: Softverski paket PAK, Mašinski

fakultet u Kragujevcu, Kragujevac.

7. Kojić, M., Slavković, R., Živković, M., Grujović, N.: Metod konačnih elemenata I - linearna analiza, Mašinski fakultet u Kragujevcu, Kragujevac, 1998.
8. Kojić, M., Bathe, K., J.: Inelastic Analysis of Solids and Structures, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2005.
9. Jovanović, M., Adamović, D., Lazić, V.: Tehnologija zavarivanja-priručnik, samostalno autorsko izdanje, Kragujevac, 1996.

*Konferencije*

10. Živković, M., Slavković, R., Kojić, M., Grujović, N., Vuković, M.: Elastic-plastic analysis of spot-welded thin-walled structures, VIII International Conference on Computational Plasticity COMPLAS VIII, E. Oñate and D. R. J. Owen (Eds), CIMNE, Barcelona, 2005.