

## 4.13 Model završnog izveštaja

Univerzitet: Kragujevac  
Fakultet: Mašinski fakultet u Kragujevcu

Školska godina: 2010



# ZAVRŠNI IZVEŠTAJ o realizovanoj studentskoj praksi

**Student: Ivana Dobričić**

**ID broj studenta: 54/2003**

**Godina studija: V godina**

**Modul: proizvodno mašinstvo**

**Ime akademskog mentora: dr Vesna Mandić**

**Ime industrijskog mentora: dipl.maš.ing. Vladan Stojković**

*Godina, Mesto*

## 1. Opšte informacije

Student			
Ime studenta: Ivana Dobričić		Nivo studija: <input type="checkbox"/> BSc <input type="checkbox"/> MSc	
ID broj: 54/2003	E-mail: pajcilogm@gmail.com		Telefon: 0603114769
Vremenski period prakse	Od:	Do:	Broj sati:
Akademska institucija			
Univerzitet: Kragujevac			
Fakultet: Mašinski fakultet			
Adresa: Sestre Janjić		Grad: Kragujevac	
Ime akademskog mentora: Vesna Mandić		Pozicija: Profesor	
E-mail:		Broj telefona:	
Institucija u kojoj se realizuje praksa (preduzeće/institucija)			
Ime: Metalac INKO			
URL:			
Adresa:		Grad: Gornji Milanovac	
Ime industrijskog mentora: Vladan Stojković		Pozicija:	
E-mail:		Broj telefona:	

## 2. Zahvalnice

### 3. Uvod (minimum ½ strane)

U savremenoj industriji prerade metala duboko izvlačenje tankih limova predstavlja, prema brojnim kriterijumima, jednu od dominantnih tehnologija.

Cilj ovog načina prerade je da se sa najmanjim mogućim otpadkom materijala i sa najmanjim brojem radnih operacija dobiju komadi u konačnom obliku, tako da se isti mogu neposredno upotrebiti ili ugraditi u odgovarajući sklop, kao sastavni elementi istog.

Složenost uslova obrade i mnoštvo uticajnih faktora čine proces oblikovanja lima izvlačenjem veoma kompleksnim pri čemu se definisanje tehnologije i konstruisanje alata oslanja na višegodišnje iskustvo inženjera. Softveri za simulaciju procesa obrade lima pružaju velike mogućnosti da se kroz detaljniju analizu procesa, prateći tečenje materijala i rezultate simulacije, kao što su promena debljine lima, distribucija deformacija i napona i dijagram granične deformabilnosti, proveri preliminarno projektno rešenje i razreše dileme koje se javljaju kod inženjera. Pored toga simulacija procesa obrade dubokim izvlačenjem omogućava da se brzo identifikuju najvažniji uticajni parametri i izaberu njihove optimalne vrednosti bez prethodne izrade alata i njihovih proba, što u tradicionalnim postupcima projektovanja i kontrole zahteva značajna finansijska ulaganja, i pri čemu osnovano postoji rizik neuspešnog oblikovanja materijala i pojave raznih defekata.

U okviru prakse urađena je, u saradnji sa fabrikom „Metalac INKO“ iz Gornjeg Milanovca, simulacija oblikovanja monoblok sudopere. Izvršeno je nekoliko numeričkih eksperimenata sa variranjem vrednosti sile držanja i koeficijenta trenja. Ulazni podaci (parametri procesa, materijal, CAD modeli konstrukcije alata) dobijeni su od projektanata iz fabrike Metalac INKO, a za simulaciju procesa dubokog izvlačenja korišćen je softver *STAMPACK*.

#### 4. Ciljevi PSP i metodologija (minimum 1 strana)

Primena numeričkih simulacija je dobro proveren i ekstremno koristan alat za predviđanje problema u industrijskoj proizvodnji i smanjenje vremena i troškova u razvoju novih proizvoda. Skupo testiranje alata i korekcije u više navrata su prisutne u tradicionalnom «trial-and-error» projektovanju procesa. Iako je baziran na bogatom iskustvu eksperata iz industrije, takav način ne može zadovoljiti potrebe kompanija da na brz i efikasan način, razviju nove konkurentne proizvode za globalno tržište.

Njihova osnovna prednost je mogućnost izvođenja «šta-ako» simulacija, omogućavajući projektantima da procene različite projektne alternative na virtuelnim modelima procesa, koji se planiraju u izradi proizvoda. Već je istaknuto da je od esencijalnog značaja za uspešnost projektovanja rana procena projektnih alternativa i smanjenje projektnih izmena u ranoj fazi projektovanja. Kako su virtuelni modeli procesa jako fleksibilni, omogućavaju ispitivanje uticaja projektnih izmena, kako geometrije proizvoda tako i parametara procesa, na kvalitet proizvoda i troškove proizvodnje. U takvim uslovima moguća je optimizacija projektovanja i proizvoda i procesa, predviđanje otkaza i pojave defekata u proizvodu, optimalno korišćenje proizvodne opreme i alata, povećavajući njihov vek smanjenjem habanja i prevencijom loma. Optimalni izbor relevantnih parametara proizvodnje ima pozitivne konsekvence na troškove proizvodnje, troškove materijala i alata, finalni kvalitet proizvoda i njegov životni vek.

Smanjenje vremena do plasmana proizvoda na tržištu može se postići primenom numeričkih simulacija, u ranoj fazi projektovanja, pre same izrade alata za proizvodnju i probne proizvodnje, jer se svi eventualni problemi mogu uočiti i izbeći.

Alati za numeričku simulaciju proizvodnih procesa su ne samo podrška razvoju proizvoda i optimizaciji proizvodnih procesa, već i sredstvo za donošenje pravih odluka u ranoj fazi projektovanja, jer omogućuju između ostalog:

- pravi izbor proizvodnih tehnologija za proizvodnju proizvoda,
- pravi izbor materijala za proizvod,
- verifikaciju geometrije alata,
- smanjenje broja prototipova alata,
- optimizaciju parametara procesa za specifične proizvodne tehnologije,
- pravilan izbor proizvodne opreme kroz procenu deformacione sile.

Numeričke simulacije koriste se za predviđanje tečenja materijala, određivanje distribucija deformacija, napona, temperatura, naprezanja na alatima, potencijalnih izvora defekata i lomova, osobina i mikrostrukture proizvoda, kao i procenu elastičnog ispravljanja i zaostalih napona.

Pri izboru i aplikaciji alata za numeričku simulaciju procesa obrade treba uzeti u razmatranje:

- koncept plastičnog tečenja;
- karakteristike materijala dela i alata;
- definisanje geometrije;
- definisanje kontaktnih uslova;
- automatsko generisanje i regenerisanje mreže (*remeshing*);
- kompjutersko vreme.

Metoda konačnih elemenata (FEM) je, svakako, najšire primenjivani i najmoćniji "alat" za numeričku simulaciju procesa obrade. Zahvaljujući brzom razvoju kompjuterske tehnike, razvijeno je dosta komercijalnih programskih paketa, na bazi metode konačnih elemenata, za rešavanje problema u procesima obrade metala. Korisnički interfejs se kontinuirano unapređuje u cilju veće aplikativnosti u industriji.

Ova metoda nastala je iz potrebe za izračunavanjem napona i deformacija, a sa razvojem samog metoda povećavao se i broj veličina koje se mogu izračunati u okviru statičke, dinamičke, termičke, elektromagnetne analize.

Metod konačnih elemenata (FEM) spada u metode diskretne analize. Zasniva se na fizičkoj diskretizaciji posmatranog domena. Posmatrani kontinuum sa beskonačnim brojem stepeni slobode se aproksimira diskretnim modelom međusobno povezanih konačnih elemenata sa konačnim brojem stepeni slobode. Suština aproksimacije kontinuuma po FEM se sastoji u sledećem:

- Posmatrani domen kontinuuma se deli na poddomene konačnih dimenzija koji se nazivaju konačnim elementima i zajedno čine mrežu konačnih elemenata,
- Konačni elementi su međusobno povezani u konačnom broju tačaka koje se nalaze na konturi elemenata i nazivaju se čvorovi,
- Stanje promenljive polja u svakom konačnom elementu se opisuje pomoću interpolacionih funkcija (ili funkcija oblika),
- Interpolacione funkcije su unapred zadate funkcije za jedan tip konačnog elementa i predstavljaju vezu između vrednosti promenljive polja u bilo kojoj tački konačnog elementa i vrednosti promenljive polja u čvorovima.

Konačni elementi su izuzetno bitan faktor, jer je njihov izbor važan za dobijanje tačnih rezultata. Osnovne osobine konačnih elemenata su: oblik, broj i vrsta čvorova, broj stepeni slobode u pojedinim čvorovima, vrsta interpolacionih funkcija. Ove osobine predstavljaju parametre kojima je konačni element potpuno definisan.

Konačne elemente možemo podeliti na *linijske*, *ravanske* i *prostorne*. Uslovno se može navesti i tačkasti element koji je predstavljen samo jednim čvorom i on predstavlja tešku tačku i ima masu kao jedinu karakteristiku.

Za simulaciju procesa izvlačenja limova korišćen je softver **STAMPACK**. **STAMPACK** je specijalizovan softverski paket razvijen od strane **Quantech ATZ** za kompjutersku 2D i 3D simulaciju procesa oblikovanja limova (postupcima dubokog izvlačenja, razvlačenja, hidrooblikovanja) oblikovanja cevi i limenki. Zasniva se na metodi konačnih elemenata (FE).

## 5. Opis posla (minimum 5 strana)

Cilj analize je izvršiti numeričku simulaciju operacije dubokog izvlačenja, monoblok sudopere, i prikazati izlazne rezultate zbog ocene kritičnih mesta i sticanja uvida u procesu oblikovanja. Simulacija nam omogućava praćenje ponašanja materijala (tečenje materijala, promena debljine lima, kontakt materijala i alata, distribucija napona i deformacije, zone sa naborima, ...) kroz proces obrade dubokim izvlačenjem, a samim tim i dobijanje rezultata na osnovu kojih možemo vršiti korekciju nekih ulaznih parametara (sila držanja, trenje između alata i lima, sile na zateznim rebrima i sl.). Na osnovu ovoga možemo dosta poboljšati proces obrade, uštedeti na materijalu, smanjiti troškove obrade itd.



*Slika 1.1 Finalni izgled sudopere*

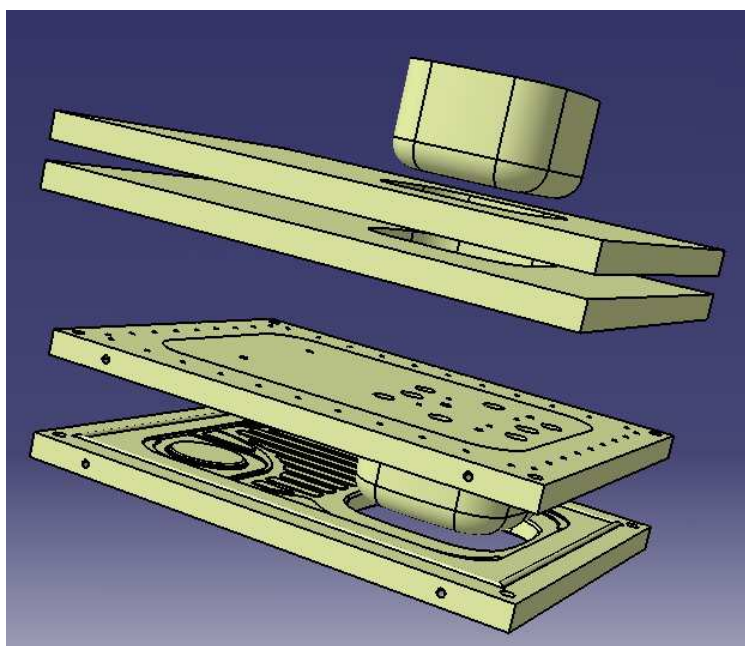
U ovom radu prikazana je simulacija oblikovanja monoblok sudopere. Izvršeno je nekoliko numeričkih eksperimenata sa variranjem vrednosti sile držanja, sile na zateznim rebrima i koeficijenta trenja između kontaktnih parova.

## Ulazni podaci za analizu

### Podaci o procesu i konstrukciji alata dobijeni od projektanata

Ulazni podaci o parametrima procesa, materijalu alata i obratka, kao i CAD modeli konstrukcije alata (u IGES formatu) dobijeni su od projektanata iz firme Metalac INKO.

- Materijal razvijenog stanja austenitni čelik ( *Wr.N.1.4301* )
- Debljina lima 0.6 mm
- Dimenzije razvijenog stanja 1060 x 850 mm
- Sila držanja 310 t
- Uslovi trenja između lima i izvlakača stavlja se folija
- Mašina hidraulična presa
- Brzina deformisanja 40 mm/s



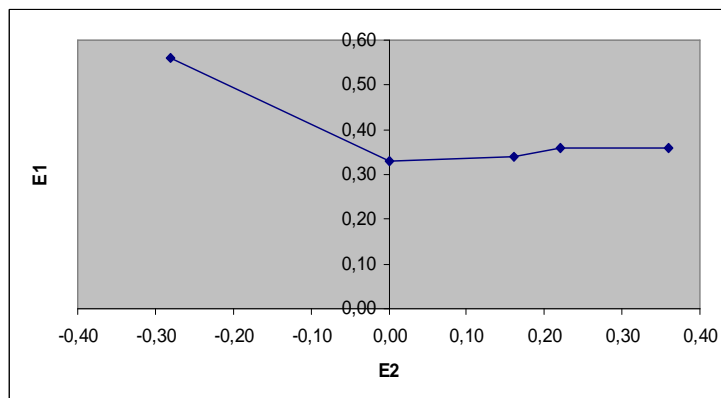
Slika 1.2 Alati za I i II operaciju u CATIA V5 editoru

### Tabela 1.1

#### Karakteristike materijala ( *Wr.N.1.4301* )

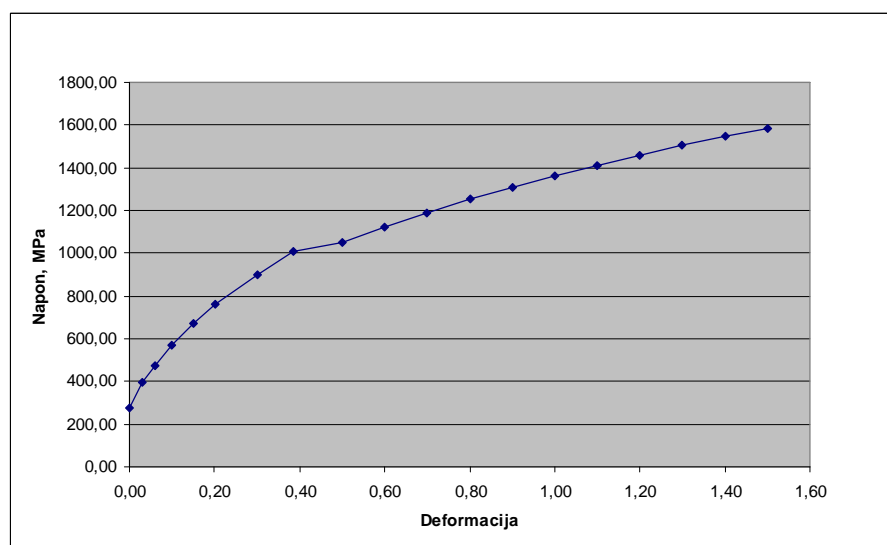
Sens	Epaisseur	Rm	Rp-0.2	Rp-1.0	Ag	Aman	r-20%	n
-	mm	$N/mm^2$	$N/mm^2$	$N/mm^2$	%	%	-	-
L	0.396	680.5	291.6	329.2	48.6	52.5	0.946	0.43
T	0.392	640.6	279.8	313.8	57.9	62.5	0.827	0.45
45°	0.396	619.4	268.7	303.3	55.1	60.6	1.445	0.437

E1	E2
0,56	-0,28
0,33	0,00
0,34	0,16
0,36	0,22
0,36	0,36



Slika 1.3 Dijagram granične deformabilnosti (DGD) za austenitni čelik (Wr.N.1.4301)

Deformacija	Napon
$\epsilon$	$\sigma$
(-)	(MPa)
0,00	273,42
0,03	398,93
0,06	476,60
0,10	570,97
0,15	672,21
0,20	760,52
0,30	902,59
0,39	1006,80
0,50	1047,51
0,60	1122,27
0,70	1189,63
0,80	1251,24
0,90	1308,22
1,00	1361,39
1,10	1411,35
1,20	1458,56
1,30	1503,38
1,40	1546,10
1,50	1586,96

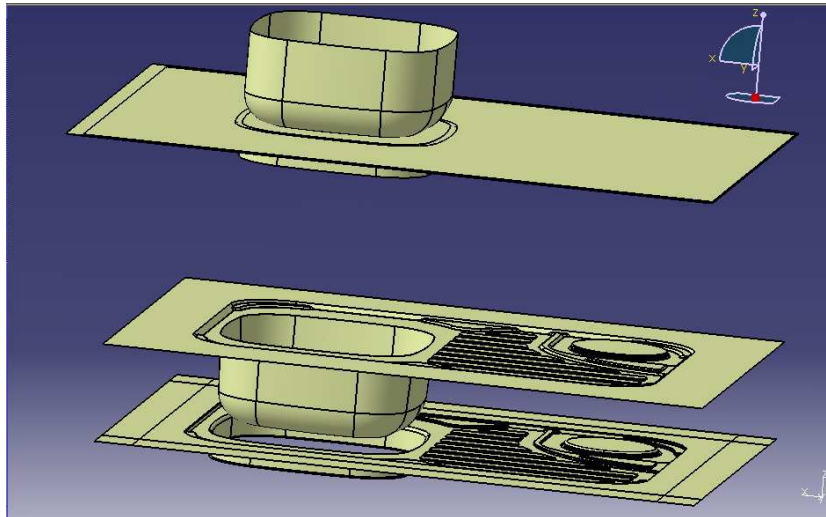


Slika 1.4 Kriva tečenja za austenitni čelik (Wr.N.1.4301)

### Ulazni podaci za simulaciju procesa

- a) Priprema geometrije alata i razvijenog stanja

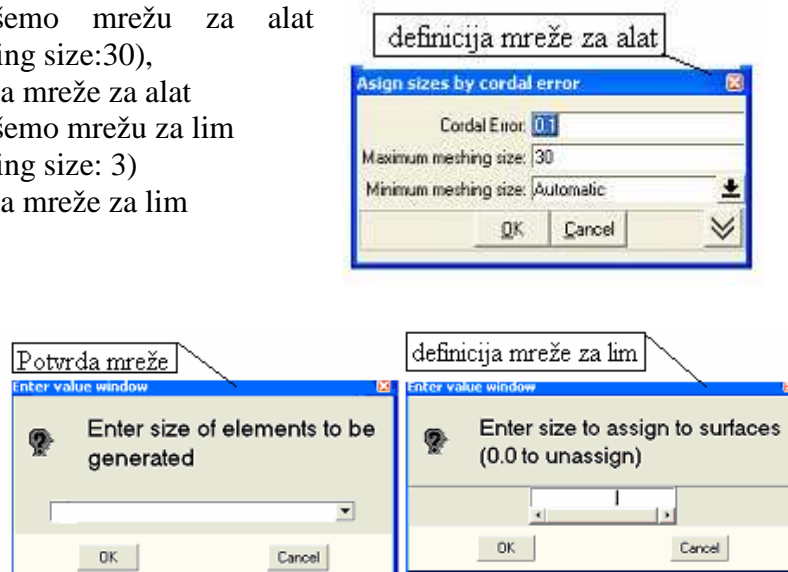
Modeli alata su dobijeni u IGES formatu od projekatana. Zatim su u softveru *CATIA V5* u modulu *Generative Shape Design* izdvojeni površinski modeli alata koji su u direktnom kontaktu sa limom. Takvi površinski modeli alata i lima se uvoze, u IGES formatu, u *Stampack*. Apsolutni koordinatni sistemi ova dva softvera se poklapaju. Na slici 1.5 pokazan je površinski prikaz alata i razvijenog stanja.



Slika 1.5 Geometrija i pozicije alata ( I i II operacija) i razvijenog stanja u CATIA V5 editoru

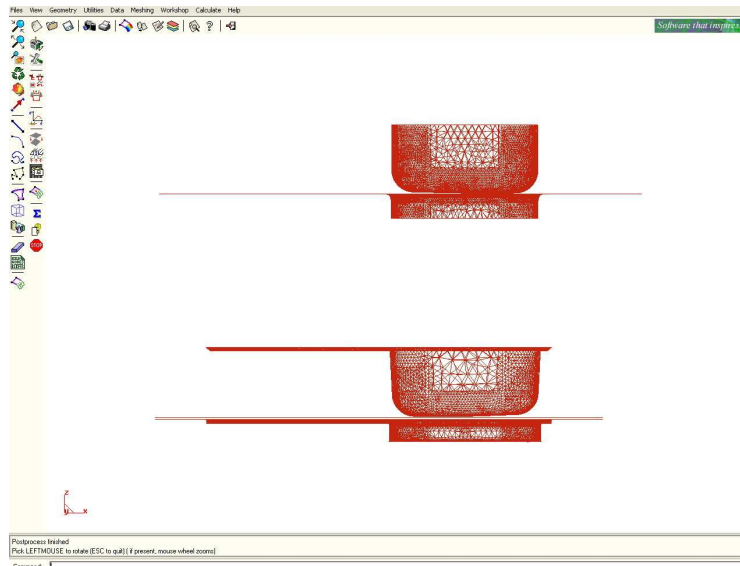
Unos geometrije u Stampack se vrši u IGES – formatu, pri čemu se svaki alat i lim posebno unosi u poseban *layer*, kome se dodeljuje naziv i boja zbog bolje preglednosti. Zatim, se pristupa generalisanju mreže. Mreža se posebno pravi za delove alata, a posebno za lim.

- definišemo mrežu za alat (meshing size:30),
- potvrda mreže za alat
- definišemo mrežu za lim (meshing size: 3)
- potvrda mreže za lim



Slika 1.6 Prikaz kartica za definiciju i potvrdu mreže u Stampack editoru

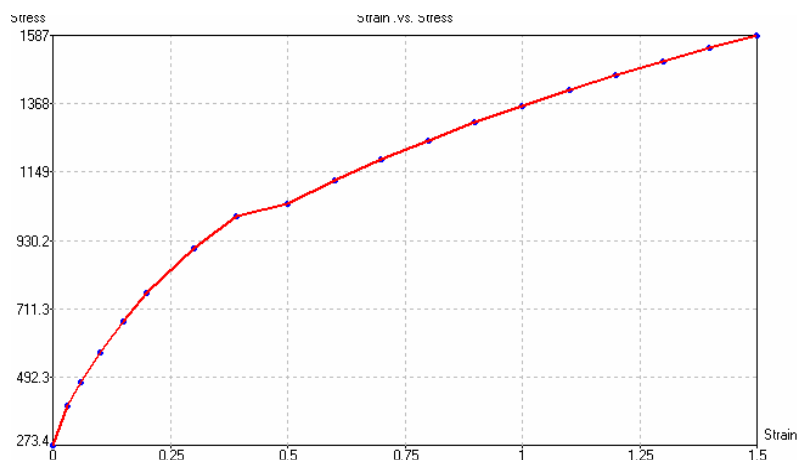
Na slici 1.7 dat je mrežni prikaz geometrije alata i razvijenog stanja kao i njihove pozicije u Stampack editoru.



Slika 1.7 Mrežni prikaz geometrija i pozicije alata ( I i II operacija) i razvijenog stanja u Stampack editoru

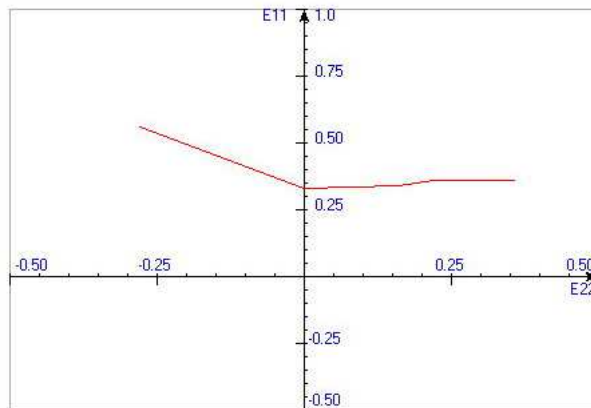
b) Definisanje karakteristika materijala razvijenog stanja

Razvijeno stanje predstavlja pravougaonu ploču lima debljina 0.6 mm, dimenzija 1060x850 mm. Materijal priprema je austenitni čelik (*Wr.N.1.4301*). Napon na granici tečenja za ovaj materijal je  $R_p=290$  MPa, a faktori anizotropije ovog materijala su:  $r_0=0.946$ ,  $r_{45}=0.827$ ,  $r_{90}=1.445$ . Kriva tečenja ovog materijala je opisana tabelarno preko parova vrednosti napon-deformacija, preuzetih sa krive tečenja dobijene od proizvođača (v.sl.1.4).



Slika 1.8 Kriva tečenja materijala u Stampack editoru

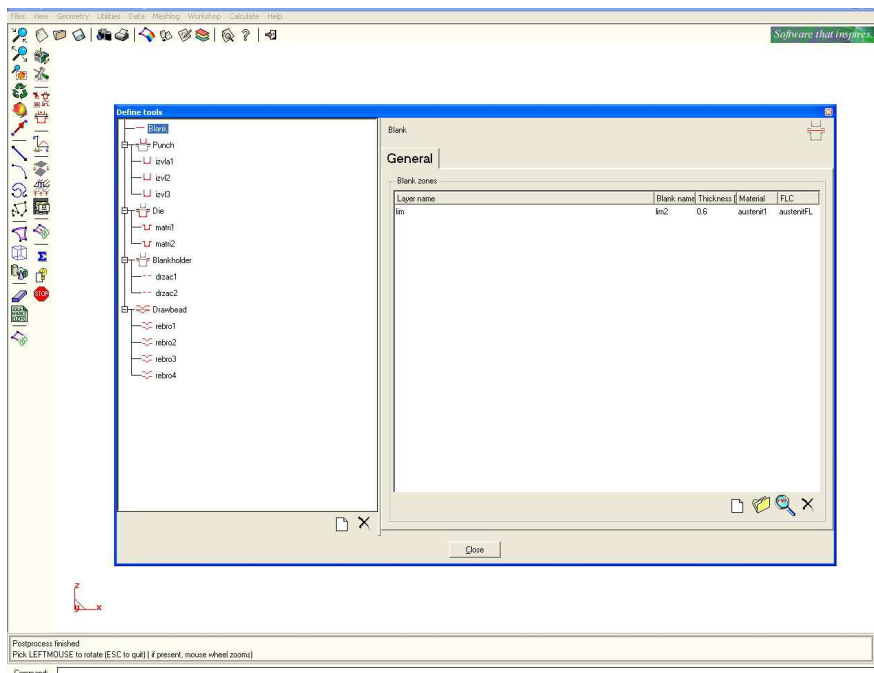
Na slici koja sledi prikazan je dijagram granične deformabilnosti za materijal razvijenog stanja koji je preuzet sa dijagrama granične deformabilnosti dobijenog od proizvođača (v.sl.1.3).



Slika 1.9 Dijagram granične deformabilnosti (DGD) za austenitni čelik (Wr.N.1.4301) u Stampack editoru

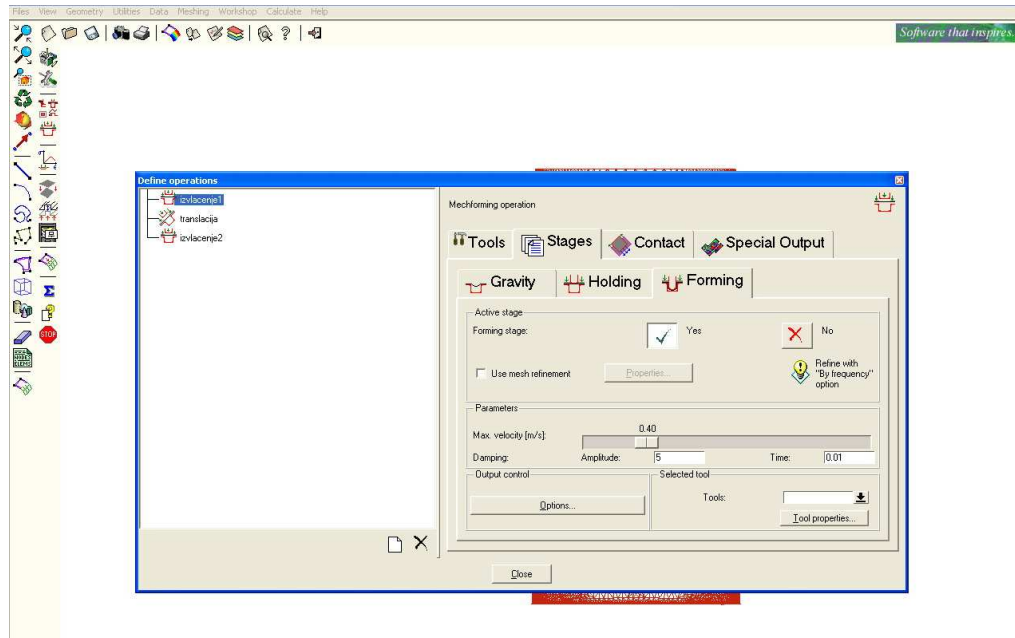
### c) Definisane parametara procesa

Najpre se vrši definisanje parametara alata tako što se određuje koji je alat pokretan (izvlakač, držač), a koji nije (matrica), veličina hoda pokretnog alata, vrsta kretanja pokretnog alata (translacija) i pravac kretanja alata (u negativnom pravcu ose Z). Na slici 4.10 dat je prikaz stabla alata i razvijenog stanja.



Slika 1.10 Stablo alata i razvijenog stanja u Stampack editoru

Potom se pristupa definisanju operacija. U ovom delu potrebno je definisati alate koji se koriste u izvođenju pojedinih operacija-kartica "Tool". Na kartici "Stages" definišemo brzine kretanja izvlačka i definiše se držanje. Kartica "Contact" služi za definisanje kontaktnih uslova između delova u kontaktu kao i koeficijenta trenja. Na slici 4.11 prikazano je stablo operacija .



Slika 1.11 Stablo operacija u Stampack editoru

Uslovi kontaktnog trenja se opisuju raspoloživim matematičkim modelom u softveru, preko Coulomb-ovog zakona. U industrijskom procesu u kontaktu, izvlačka i radnog komada i držača i radnog komada, koristi se folija koja se podmazuje emulzijom za smanjenje trenja u kontaktu, a takođe, i kontaktne površine matrice i radnog komada se podmazuju emulzijom koja se meša sa vodom u odnosu 13:1. Vrednosti uticajnih parametara (sile držanja, koeficijenta trenja između kontaktnih parova i sile na zateznim rebrima), koji su varirani u numeričkim eksperimentima, prikazane su u tabeli 1.2 .

Numerička simulacija procesa dubokog izvlačenja monoblok sudopere urađena je u tri operacije. U prvoj operaciji vrši se izvlačenje korita do dubine od 140 mm. Druga operacija je operacija izvlačenja ocedne ploče, nakon koje sledi treća operacija izvlačenja korita do dubine od 150 mm u kojoj alat ocedne ploče ima ulogu držača sa silom držanja  $F_{op}$ .

Kada se izvrši definisanje alata, razvijenog stanja i operacija pristupa se izboru karakteristika hardvera i izlaznih rezultata nakon čega softver započinje proračun. Završetak proračuna omogućava ulazak u postprocesor i pregled dobijenih rezultata simulacije.

Tabela 1.2 Pregled uticajnih parametara u numeričkim eksperimentima

Num. eks.	Operacije		Fdrž	Fop	Fzr				Kof. trenja m		
					I	II	III	IV	P/L	D/L	M/L
SUD.1.	I	izvlačenje	310 t	/	/	/	/	/	0.05	0.05	0.06
	II	/	/	/	/	/	/	/	/	/	
	III	/	/	/	/	/	/	/	/	/	
SUD.2.	I	izvlačenje	310 t	/	/	/	/	/	0.05	0.05	0.1
	II	/	/	/	/	/	/	/	/	/	
	III	/	/	/	/	/	/	/	/	/	
SUD.3.	I	izvlačenje	310 t	/	/	/	/	/	0.01	0.01	0.01
	II	izvlačenje ocedne ploče	80 t	/	10	10	10	10	0.09	0.09	0.09
	III	izvlačenje korita	150 t	150 t	10	10	10	10	0.09	0.09	0.09
SUD.4.	I	izvlačenje	310 t	/	/	/	/	/	0.01	0.01	0.01
	II	izvlačenje ocedne ploče	80 t	/	10	10	10	10	0.09	0.09	0.09
	III	izvlačenje korita	200 t	150 t	20	20	10	20	0.09	0.09	0.09
SUD.5.	I	izvlačenje	310 t	/	20	20	10	20	0.01	0.01	0.01
	II	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/
	III	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/

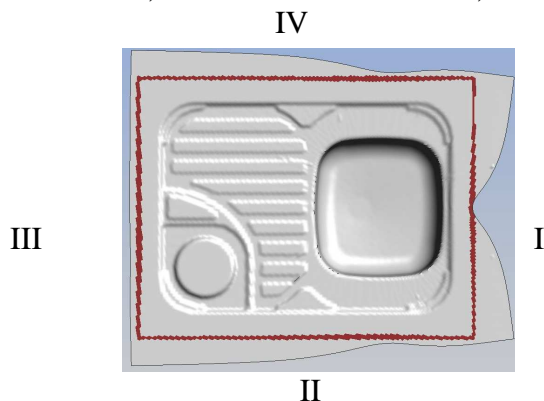
Nazivi oznaka koje su korišćene u tabeli 1.2:

**Fdrž** - sila držanja na držaču;

**Fop** – sila držanja na ocednoj ploči;

**Fzr** – sila na zateznim rebrima I, II, III, IV (v.sl 1.12);

**P/L** – kontakt pritiskivač-lim; **D/L** – kontakt držač-lim; **M/L** – kontakt matrica-lim



Slika 1.12 Položaj zateznih rebara

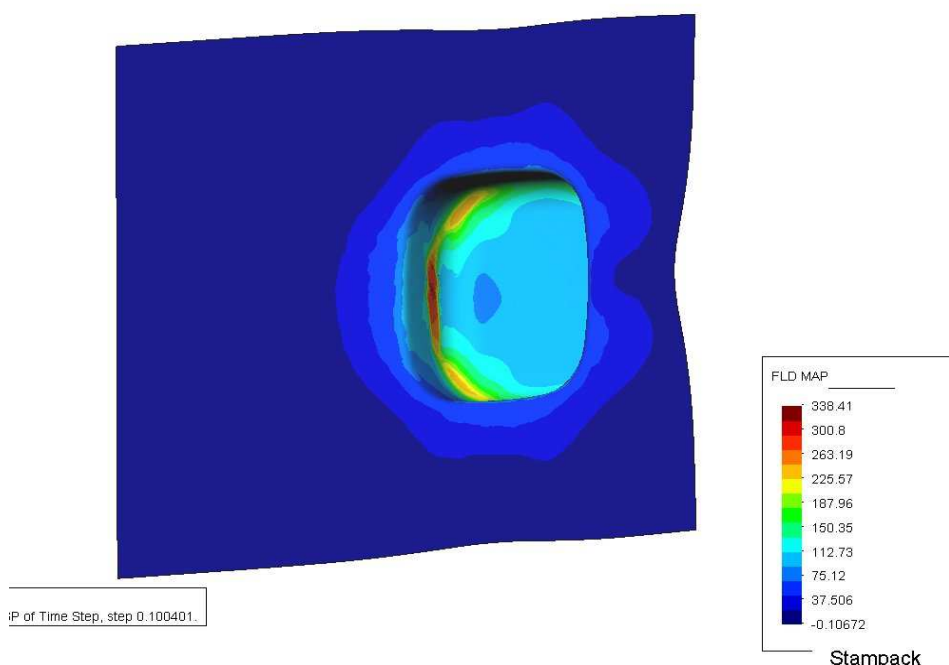
## 6. Rezultati (minimum 8 strana)

Na osnovu prethodno definisanih podataka izvedena je FE numerička simulacija operacije dubokog izvlačenja. Softver omogućava da se prikaže završni oblik komada i da se prati oblikovanje lima po fazama, definisanih prema vremenu ili hodu pritiskivača.

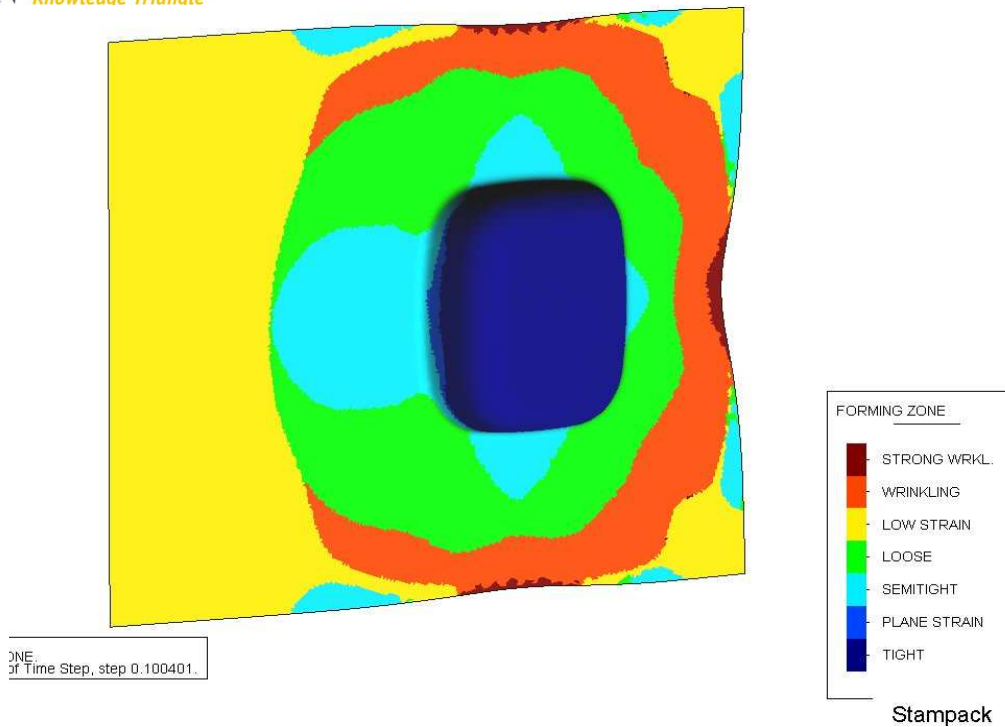
Softver nudi pregled velikog broja izlaznih rezultata, koji omogućavaju tehnolozima i konstruktorima alata da ocene kritična mesta na komadu i steknu uvid u proces oblikovanja (tečenje materijala, promenu relativne debljine lima u toku procesa, kontakt materijala i alata, distribuciju napona i deformacija, distribuciju glavnih deformacija u DGD dijagramu, zone oblikovanja sa procenom tzv. „sigurnih zona“, i još mnogo toga).

### Rezultati numeričkog eksperimenta SUD.1.

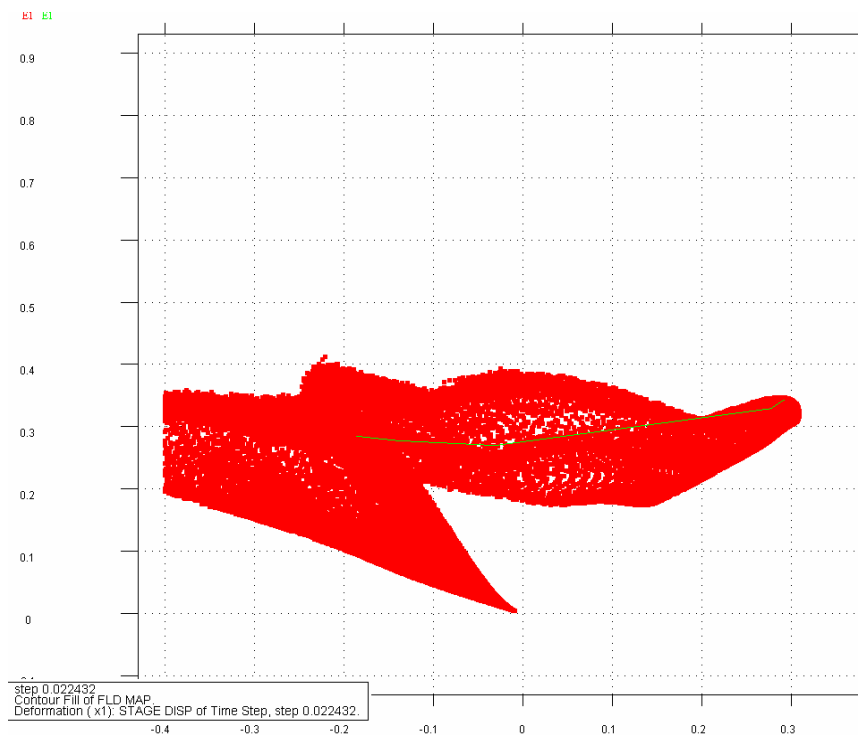
U ovom numeričkom eksperimentu prikazana je I operacija dubokog izvlačenja monoblok sudopere u kojoj je zadana sila držanja kao u industrijskim uslovima (310 t), a koeficijent trenja sa gornje strane lima ima vrednost 0.05, a sa donje 0.06. Pri tim uslovima je došlo do pucanja dna korita u toku izvlačenja što se vidi na slikama koje slede u kojima su prikazani izlazni rezultati procesa.



Slika 2.1 Distribucija granične deformabilnosti



Slika 2.2 Zone obradivosti

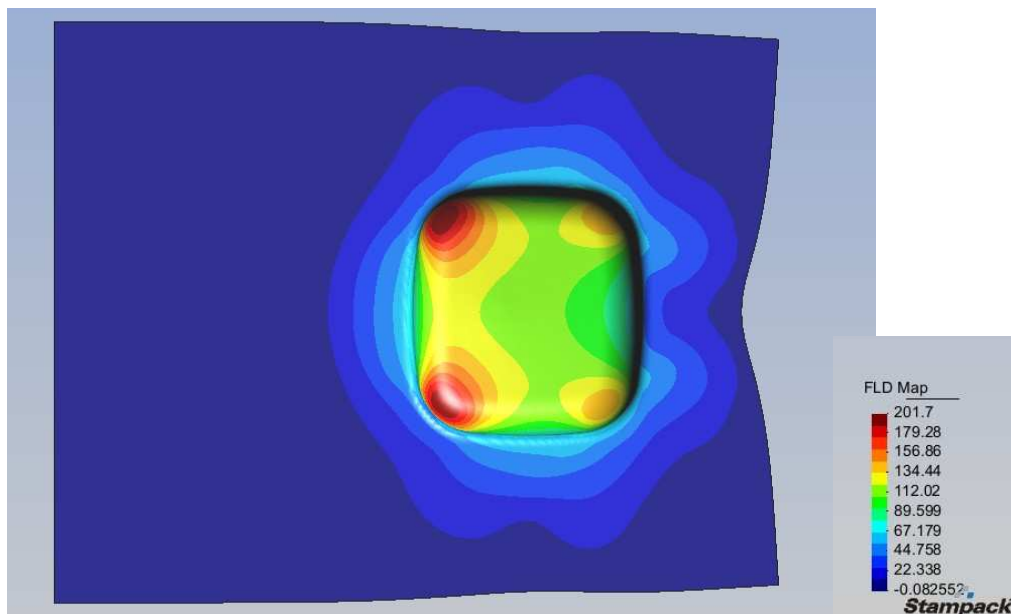


Slika 2.3 Dijagram granične deformabilnosti

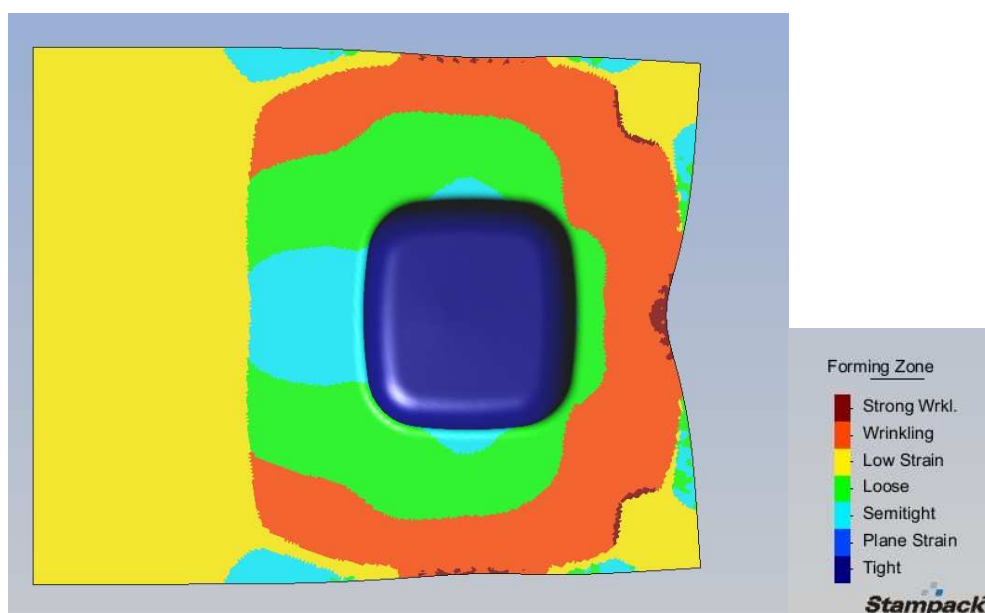
Analizom dobijenih rezultata došlo se do zaključka da bi trebalo poboljšati uslove kontaktnog trenja, da bi se izbeglo pucanje u dnu korita i da bi vrednosti na DGD dijagramu ušle u zonu sigurne obrade.

## Rezultati numeričkog eksperimenta SUD.2.

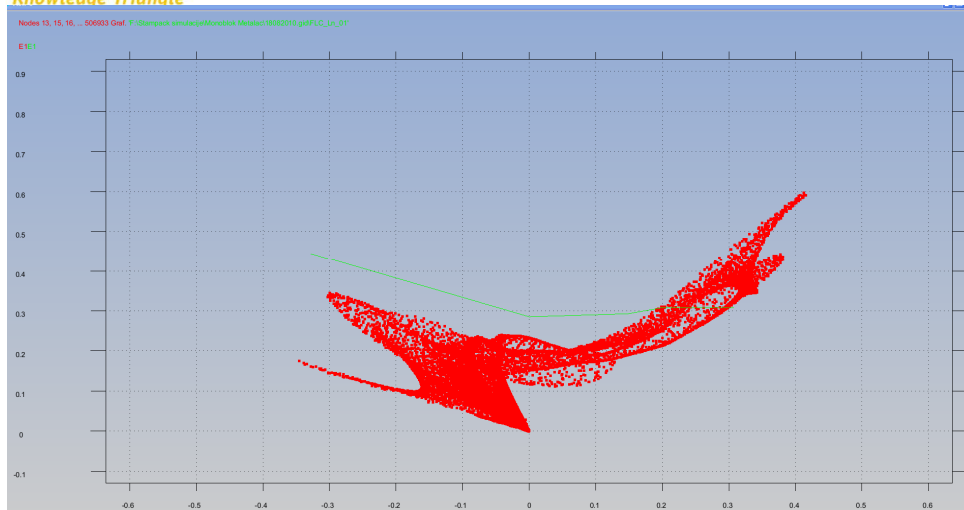
U odnosu na prethodni eksperiment, u ovom eksperimentu smanjene su vrednosti koeficijenta trenja u kontaktu matrice i lima (0.01), a sa strane gde je folija koeficijent trenja ostao je isti (0.05), vrednost sile držanja je ista kao prethodna (310 t), u I operaciji. Ovo je dalo rezultate u vidu pomeranja vrednosti na dijagramu granične deformabilnosti ka sigurnoj zoni, ali i dalje dolazi do pucanja dna korita pri kraju izvlačenja što prikazuju slike koje slede.



Slika 2.4 Distribucija granične deformabilnosti



Slika 2.5 Zone obradivosti



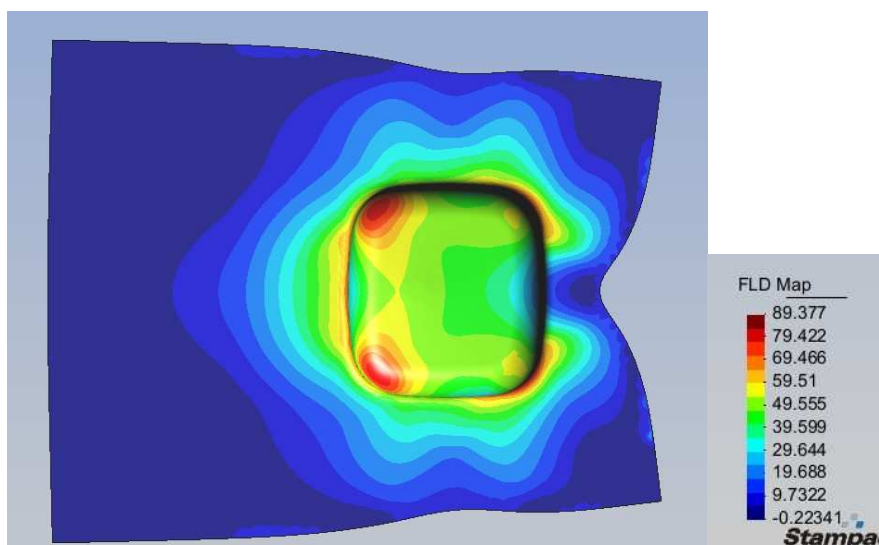
*Slika 2.6 Dijagram granične deformabilnosti*

Pregledom dobijenih rezultata vidi se da su se vrednosti na dijagramu granične deformabilnosti pomerile ka sigurnoj zoni, s tim da su i dalje neke vrednosti u kritičnoj zoni pucanja. Da bi se uticalo na potpuno povlačenje tačaka u sigurnu zonu preporuka je da se smanji koeficijent trenja.

### **Rezultati numeričkog eksperimenta SUD.3.**

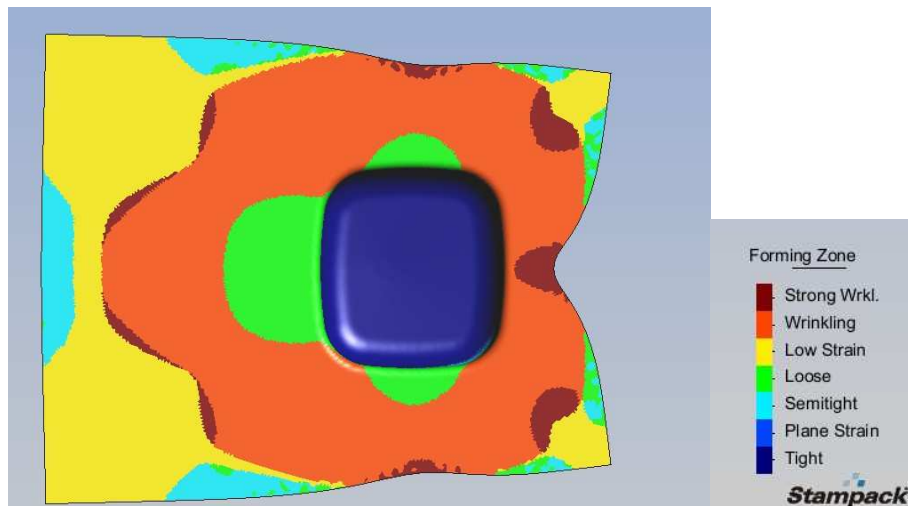
Prva operacija u ovom numeričkom eksperimentu urađena je, uz promenu koeficijeta trenja (u svim kontaktnim parovima 0.01), bez pucanja ali sa naborima, sila držanja nije menjana (310 t). Nakon I operacije urađene su i II operacija (izvlačenje ocedne ploče) i III operacija (izvlačenje korita), u kojima je došlo do vrlo male promene nabora. Na slikama koje slede prikazani su dobijeni rezultati po operacijama.

#### **I operacija**

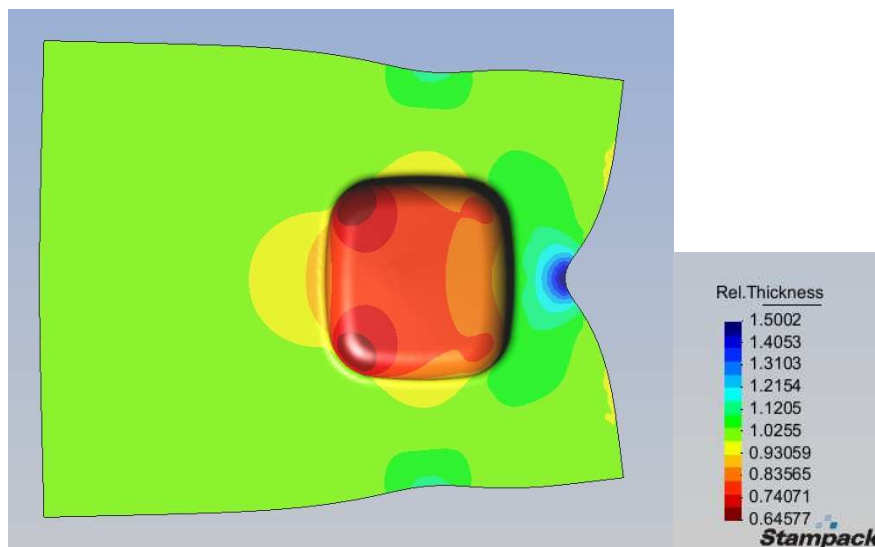


*Slika 2.7 Distribucija granične deformabilnosti*

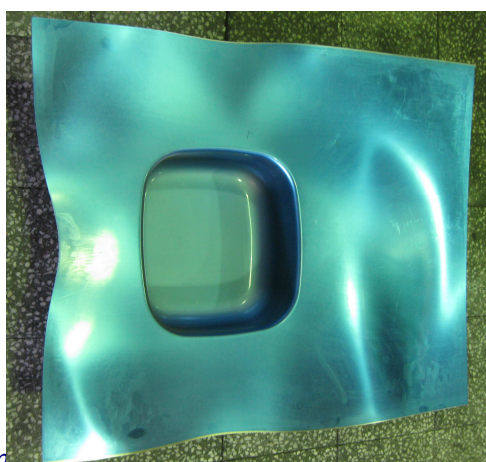
Na slici 2.8 vidi se zona nabora koji nastaju u toku I operacije, a koji predstavljaju problem i u realnim industrijskim uslovima, a na slici 5.9 vidi se promena relativne debljine lima. Na slici 5.10 dat je izgled dela dobijenog u industriji radi upoređivanja dobijenog oblika u numeričkom eksperimentu.



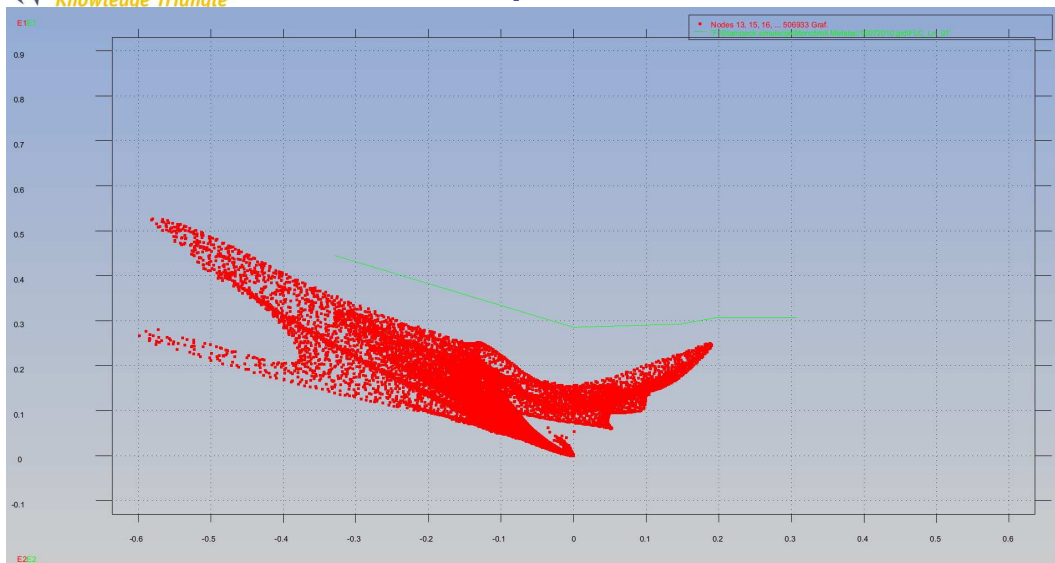
Slika 2.8 Zone obradivosti



Slika 2.9 Relativna debljina lima



Slika 2.10 Izgled industrijskog dela posle I operacije

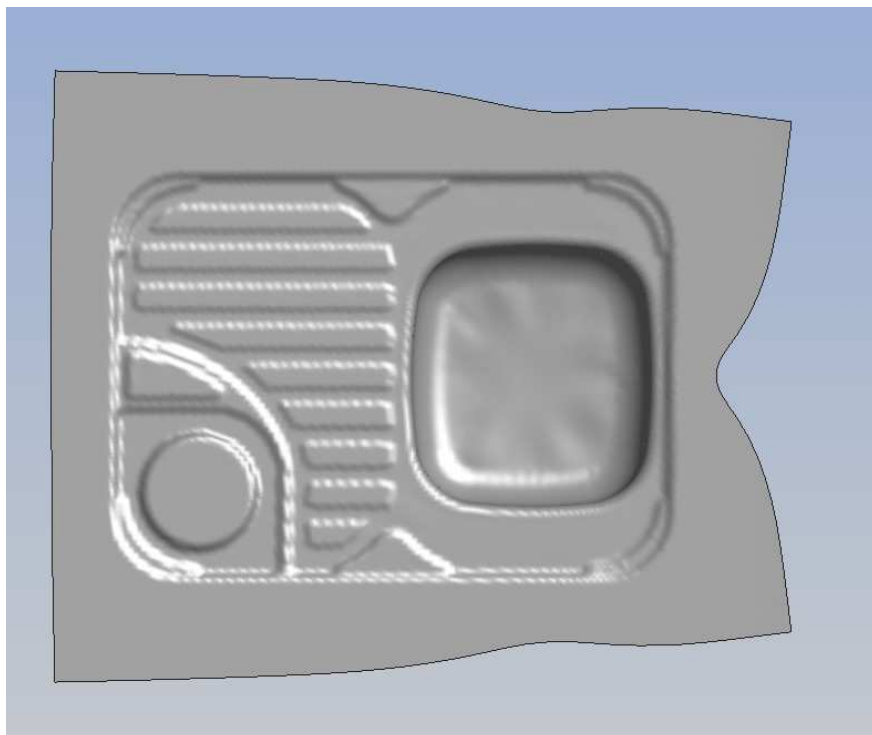


*Slika 2.11 Dijagram granične deformabilnosti*

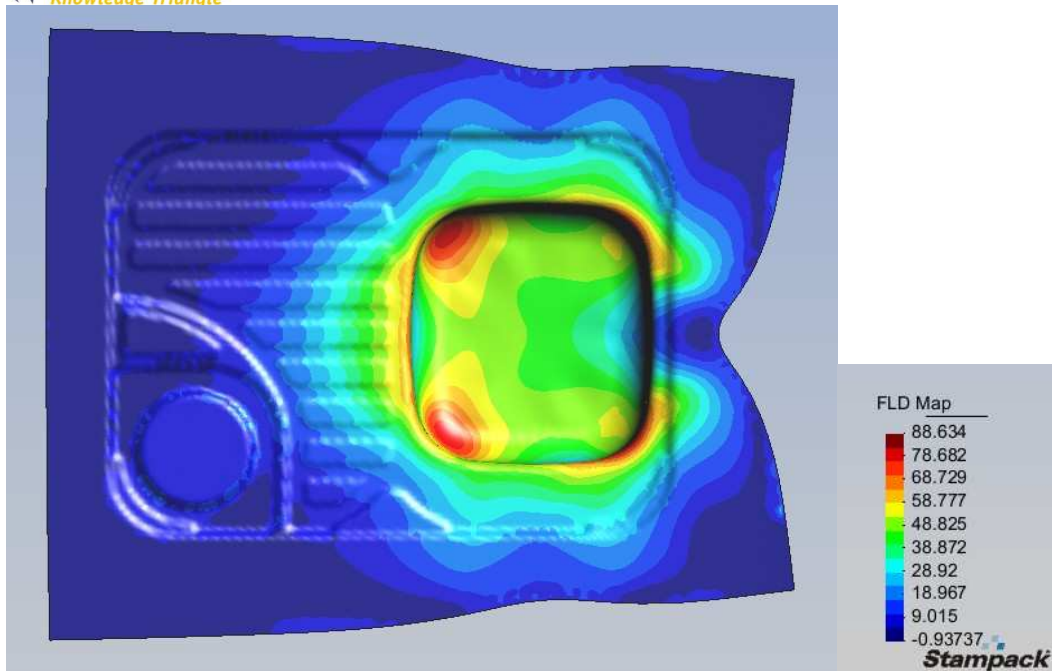
Na dijagramu granične defomabilnosti možemo da primetimo da su se vrednosti pomerile iz zone naprslina u zonu nabora.

## II operacija

Ova operacija je urađena sa silom držanja od 80 t , koeficijentima trenja u svim kontaktima od 0.09 i sile na zateznim rebrima od 10 kN/m, što je dalo rezultate prikazane na slikama.

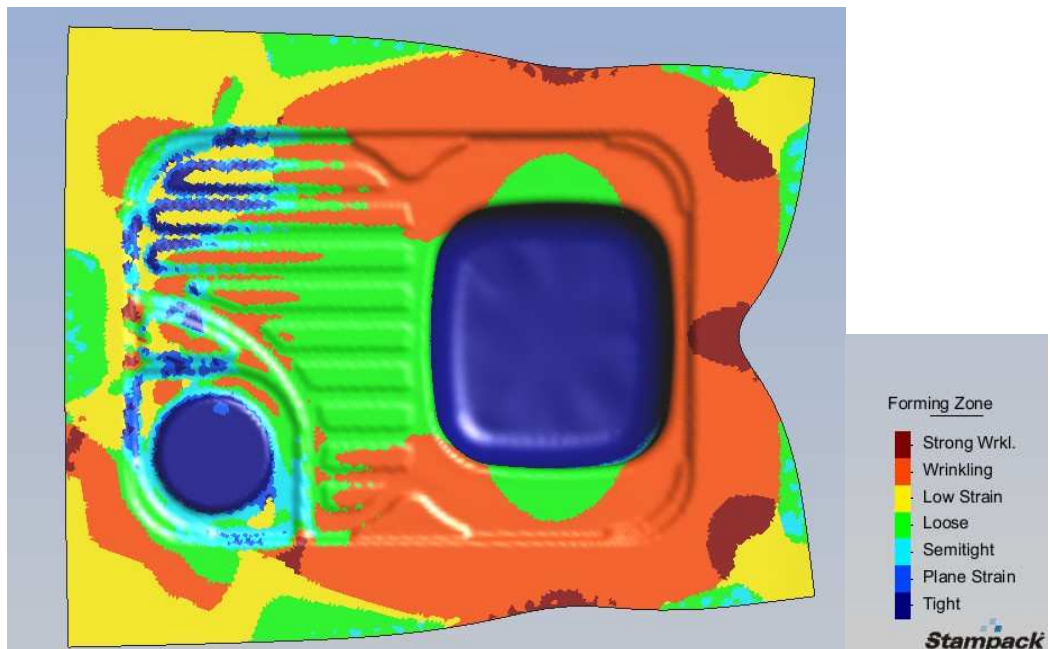


*Slika 2.12 Izgled komada nakon II operacije*

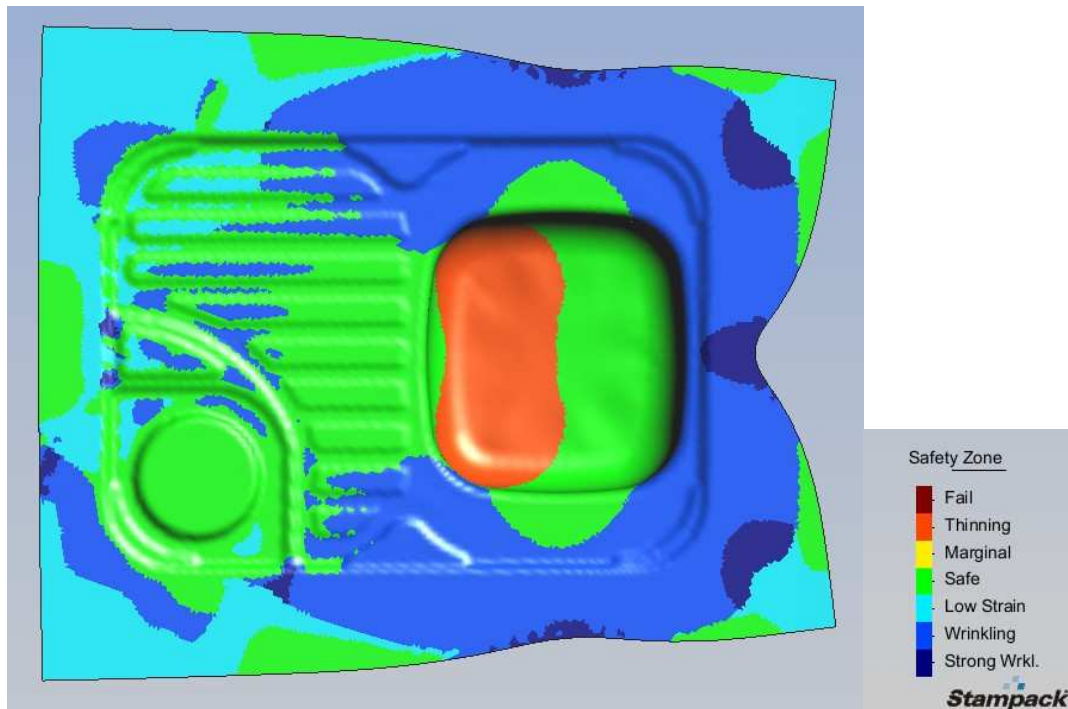


Slika 2.13 Distribucija granične deformabilnosti

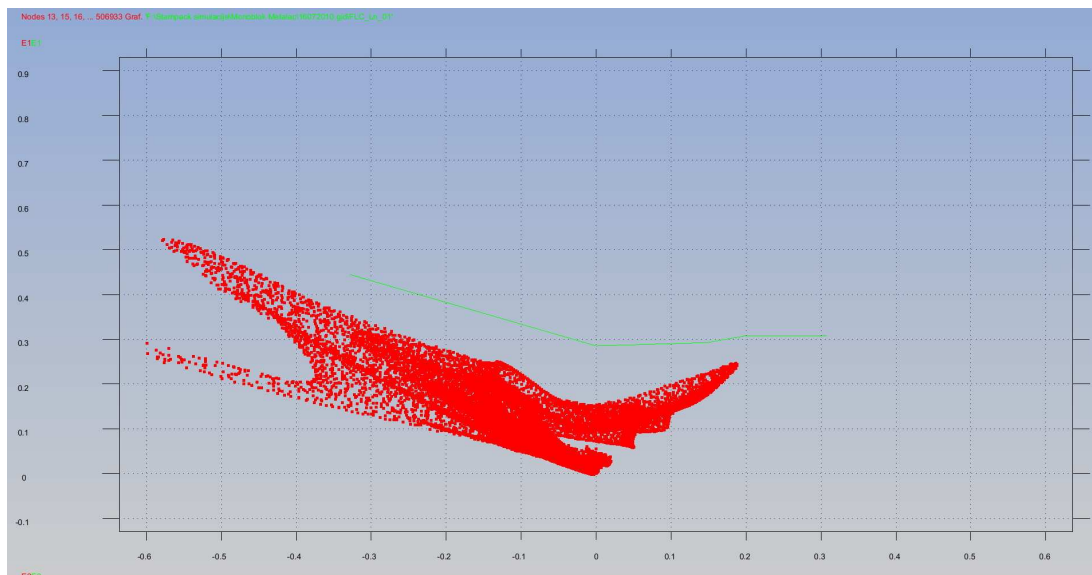
Na slici 2.14 uočava se da su se nabori u zoni ocedne ploče delimično povukli ali ostaju nabori oko korita koji su nastali još u I operaciji.



Slika 2.14 Zone obradivosti



Slika 2.15 Sigurne zone

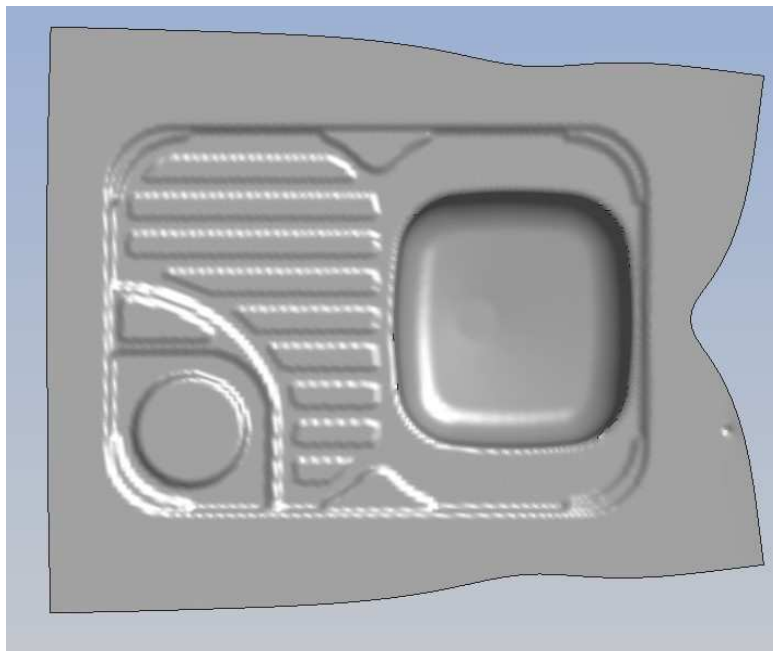


Slika 2.16 Dijagram granične deformabilnosti

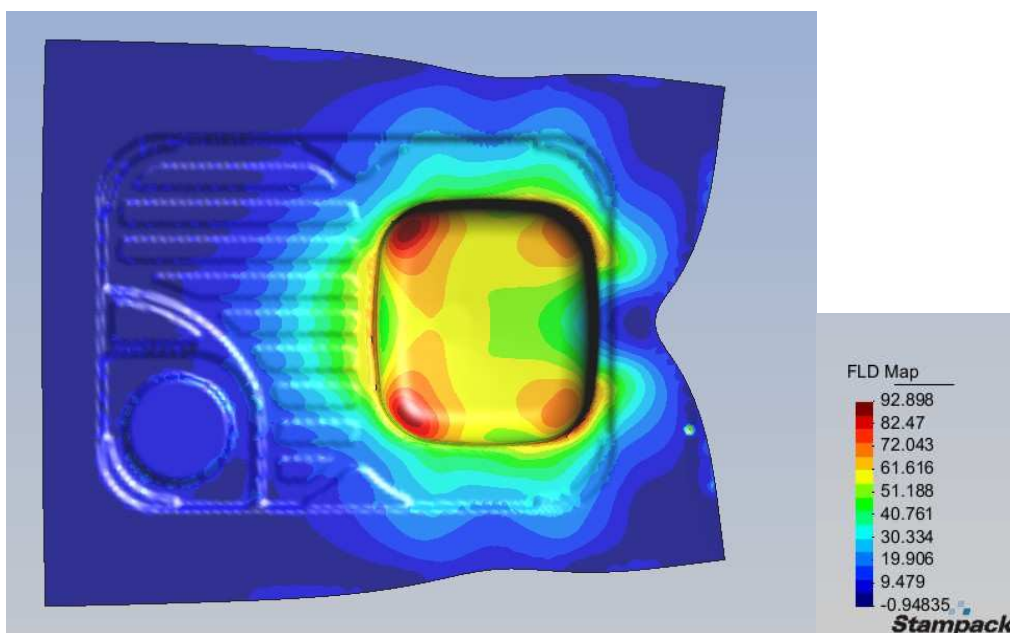
Sa DGD dijagrama može se zaključiti da su se vrednosti neznatno pomerile iz zone nabora u odnosu na I operaciju, ali problem nabora i dalje postoji. Pokušano je da se u III operaciji u toku izvlačenja korita utiče na nabore povećanom silom držanja.

### III operacija

Ova operacija je urađena, nakon II operacije, sa silom držanja na oba držača od 150 t, koeficijentima trenja u svim kontaktima od 0.09 i sile na zateznim rebrima od 10 kN/m, što je dalo sledeće rezultate.

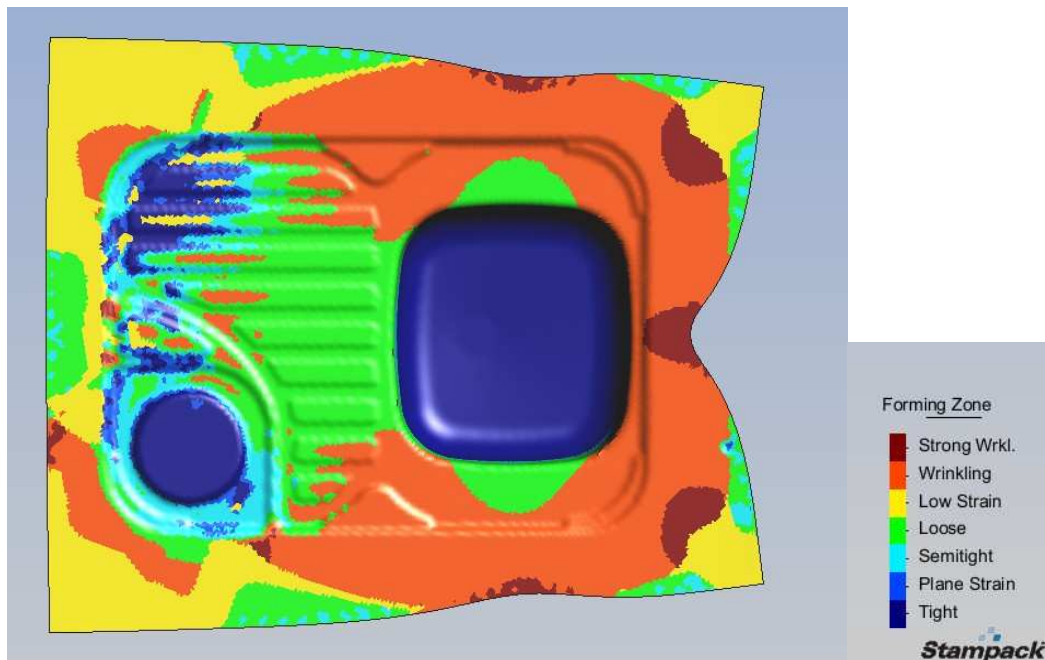


Slika 2.17 Izgled komada nakon III operacije



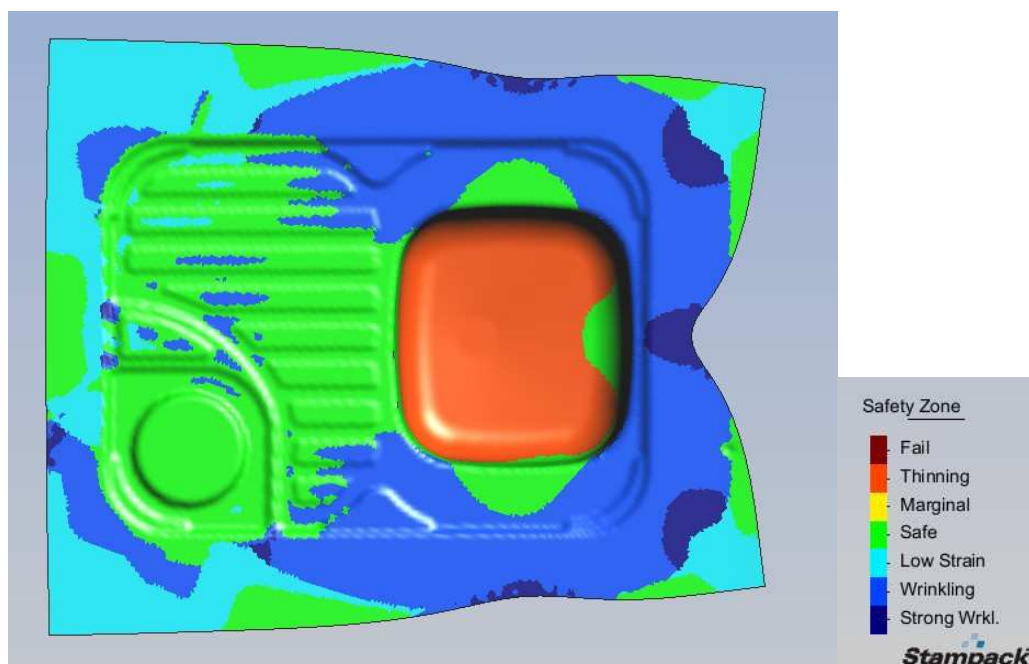
Slika 2.18 Distribucija granične deformabilnosti

Iz prikaza distribucije granične deformabilnosti vidi se da je dubina korita od 150 mm u potpunosti izvučena bez opasnosti od pucanja lima.

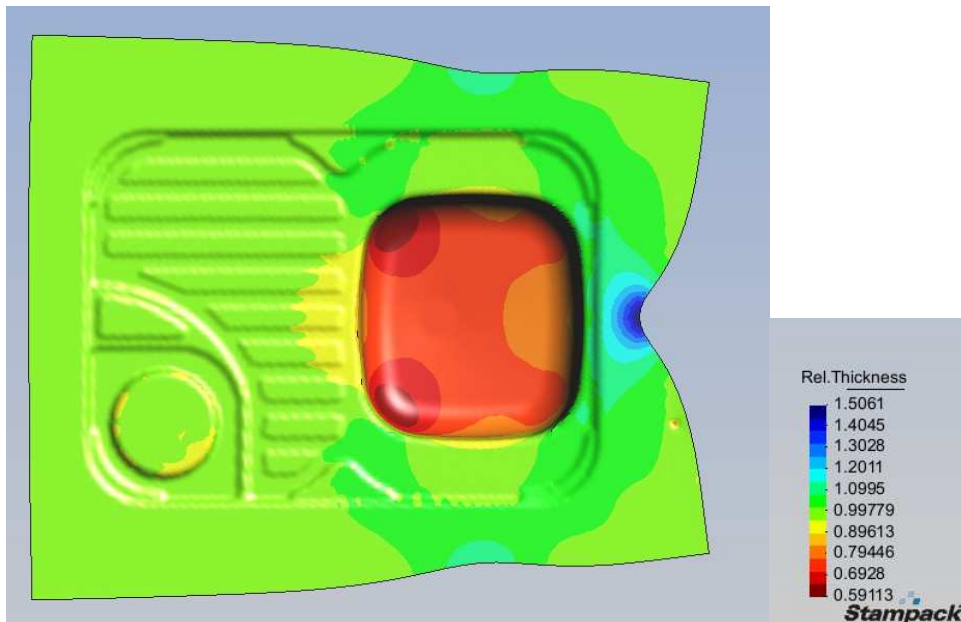


Slika 2.19 Zone obradivosti

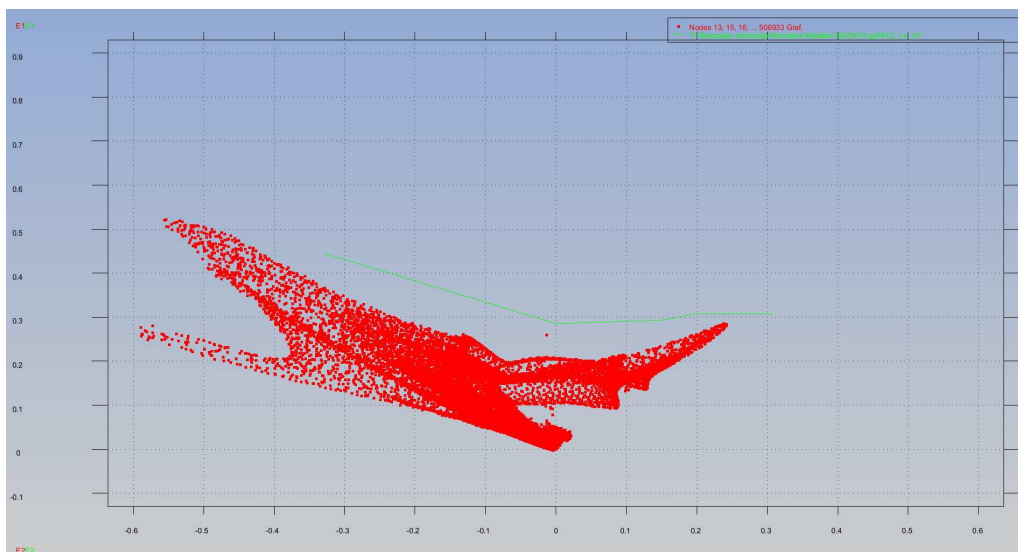
Nabori koji su ostali posle II operacije u maloj meri su se povukli u toku izvlačenja korita, ali nedovoljno. U sledećem eksperimentu povećane su vrednosti sile držanja, sile na zateznim rebrima u cilju smanjenja nabora.



Slika 2.20 Sigurne zone



Slika 2.21 Relativna debljina lima



Slika 2.22 Dijagram granične deformabilnosti

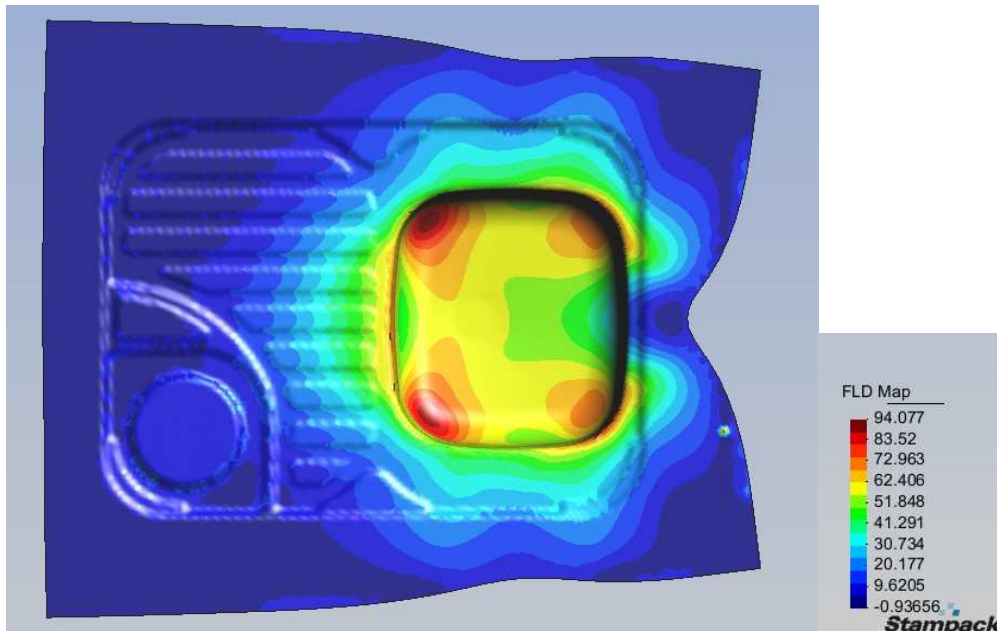
Sa dijagrama granične deformabilnosti nakon ove operacije vidi se da vrednosti ostaju u zoni nabora, ali i da ima prostora za povećanje sile držanja i da se sa povećanjem sile na držaču pokuša uticati na pojavu nabora.

## Rezultati numeričkog eksperimenta SUD.4.

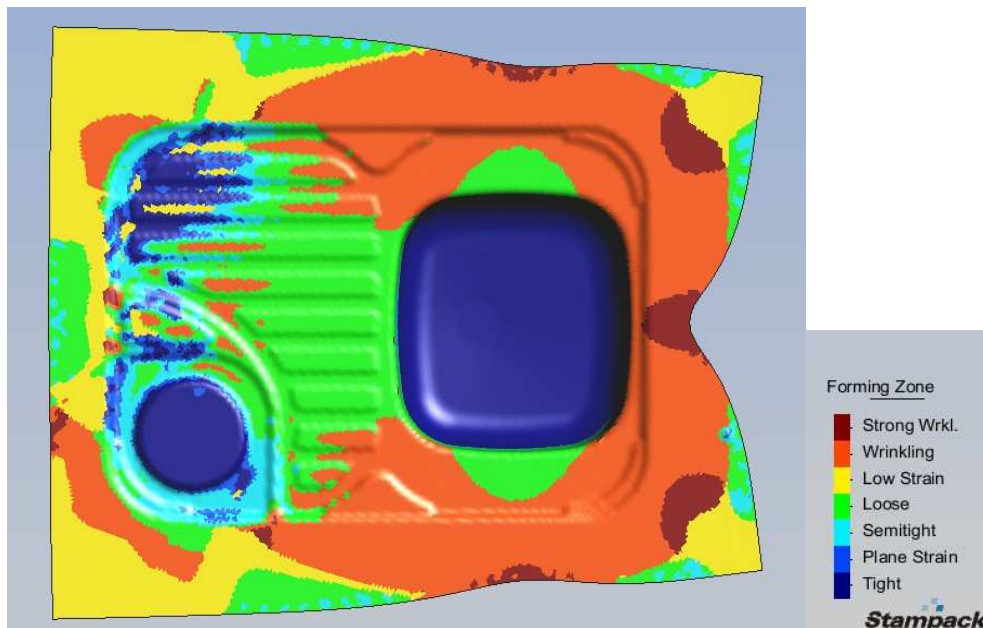
Nakon prethodnog eksperimenta urađen je ovaj numerički eksperiment u kome su zadržane karakteristike procesa za I i II operaciju, promenjena je sila držanja držača (200 t) i promenjene su  
*Program studentske prakse*

sile na tri zatezna rebra oko korita sudopere (20 kN/m) sa ciljem da se smanje nabori koji su kritični i koji se nalaze u zonama oko korita. Dobijeni su sledeći rezultati prikazani na slikama koje slede.

### III operacija

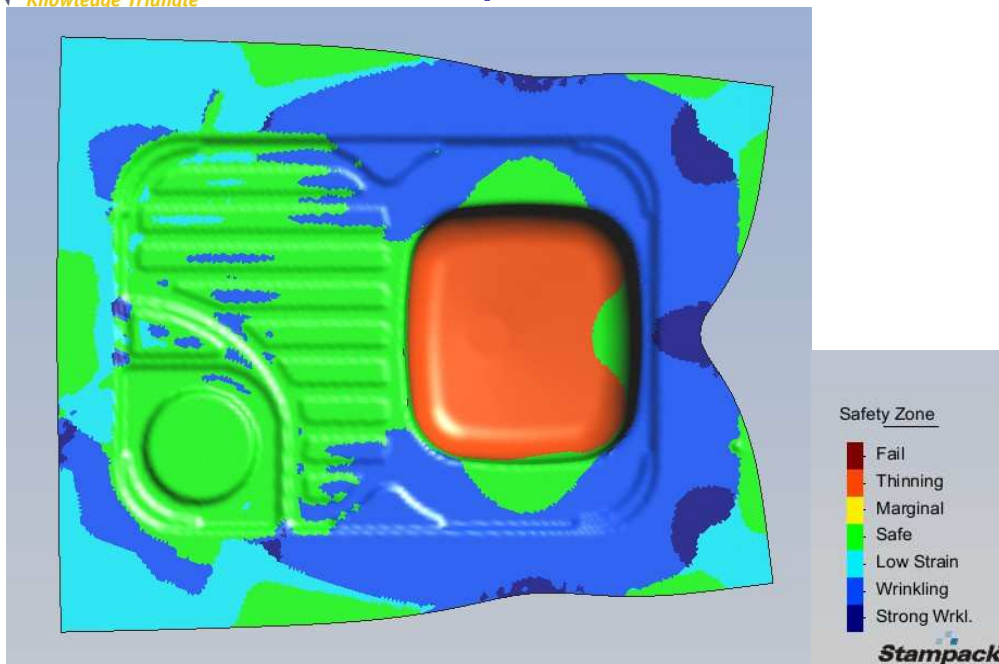


Slika 2.23 Distribucija granične deformabilnosti

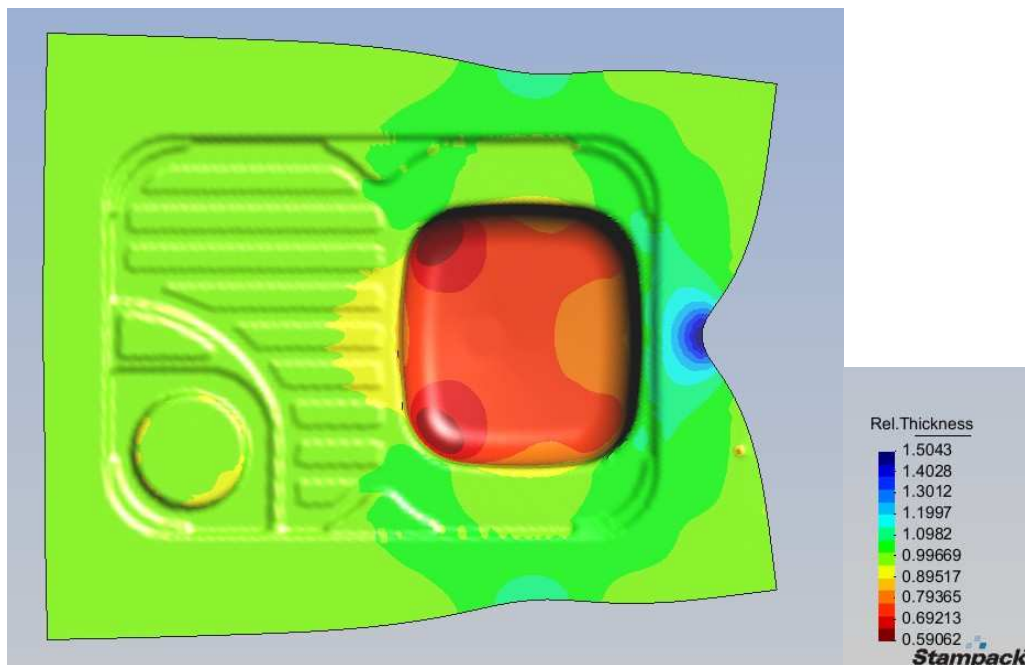


Slika 2.24 Zone obradivosti

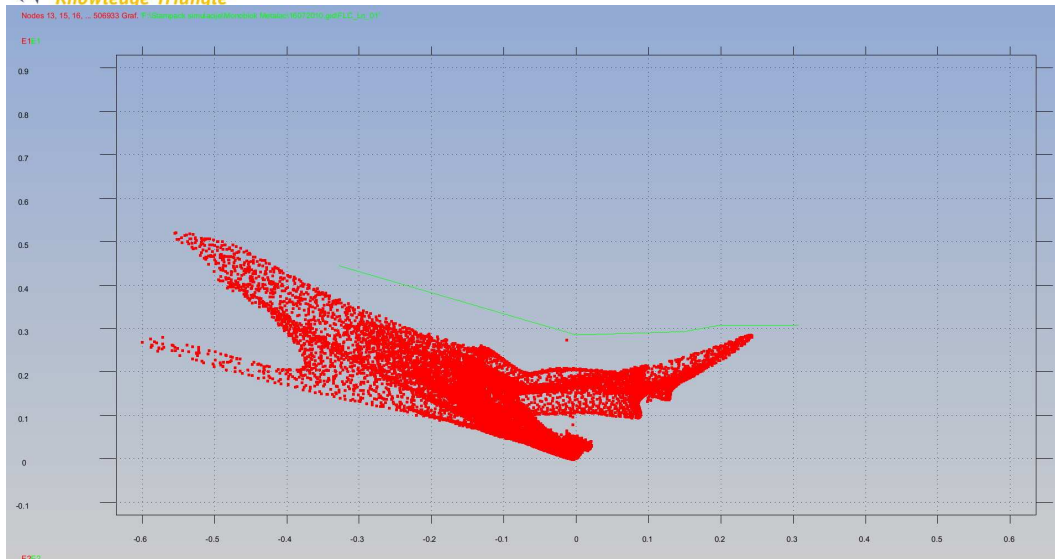
Pod uticajem veće sile držanja nabori su se neznatno povukli u zonama korita ali može se primetiti da većina nabora koji nastaju još u I operaciji nisu nestali.



Slika 2.25 Sigurne zone



Slika 2.26 Relativna debljina lima

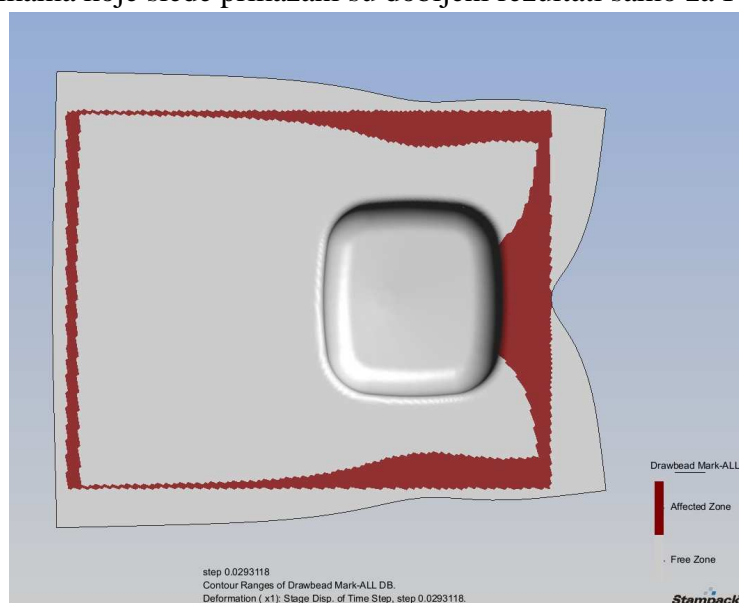


Slika 2.27 Dijagram granične deformabilnosti

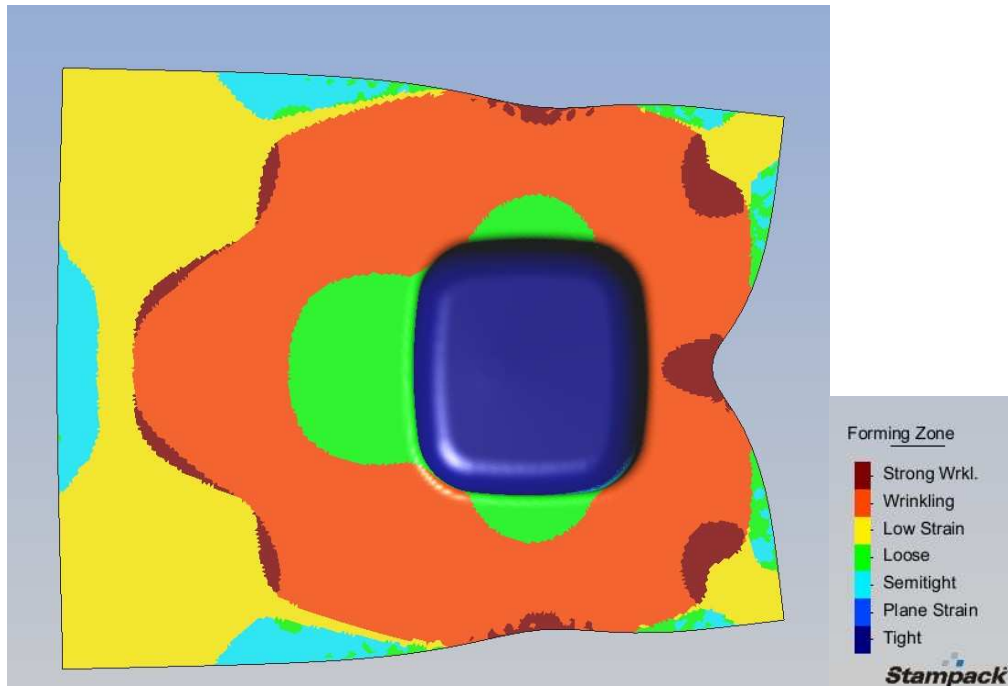
Analizom dijagrama granične deformabilnosti svih proba u I operaciji, može se zaključiti da se nabori, koji nastaju zbog karakterističnog izgleda sudopere, mogu kontrolisati promenom vrednosti sile držanja i koeficijenta trenja u kontaktnim parovima. Došlo se na ideju da se u I operaciju stave zatezna rebra, što je prikazano u sledećem eksperimentu.

## Rezultati numeričkog eksperimenta SUD.5.

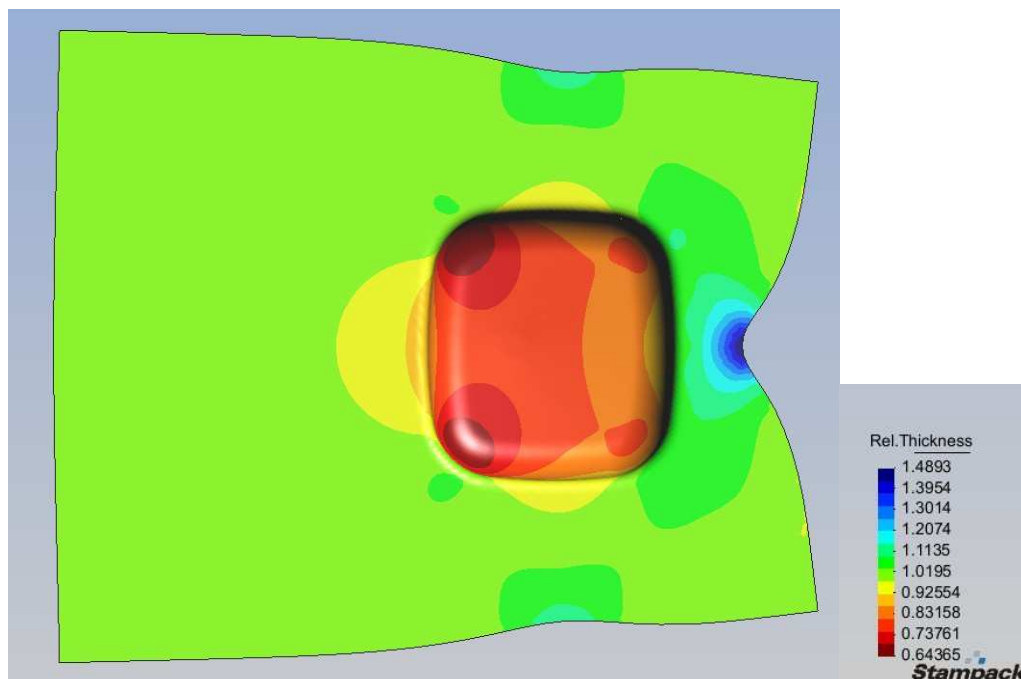
Ovaj eksperiment predstavlja pokušaj sprečavanja nabora u I operaciji postavljanjem zateznih rebara sa silama od 20 kN/m na tri rebra oko korita, a sila na kraćem rebru kod ocedne ploče od 10 kN/m. Na slikama koje slede prikazani su dobijeni rezultati samo za I operaciju.



Slika 2.28 Zone uticaja zateznih rebara



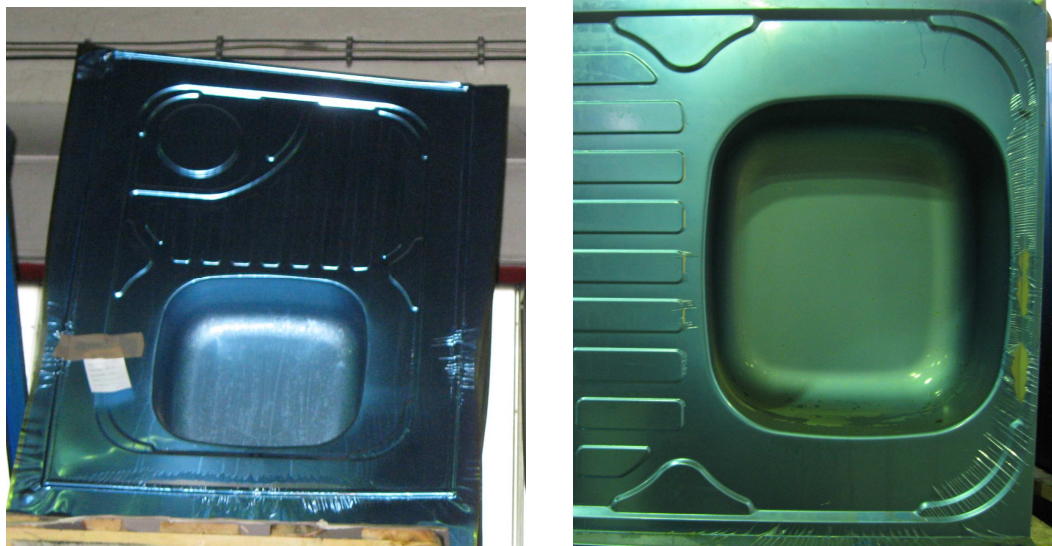
Slika 2.29 Zone obradivosti



Slika 2.30 Relativna debljina lima

Nakon analize dobijenih rezultata došlo se do zaključka da problem nabora koji se javljaju posle I operacije u industrijskim uslovima se prevazilazi različitim podmazivanjem određenih zona izvlačenja korita i zone ekscentričnog oboda što u numeričkim eksperimentima nije moguće.

Nabori koji nastaju i u industrijskim uslovima prikazani su na slici 5.31, čime je verifikovana analiza procesa.



*Slika 2.31 Nabori na industrijskom komadu posle završene obrade*

## 7. Reference (maksimum 10)

- [1] Vesna Mandić, *Modeliranje i simulacija u obradi deformisanjem*, Kragujevac, 2005
- [2] Binko Musafija, *Obrada metala plastičnom deformacijom*, Sarajevo, 1988
- [3] Milentije Stefanović, *Proizvodne tehnologije I – obrada metala deformisanjem*, Kragujevac, 2004
- [4] Milentije Stefanović, *Tribologija dubokog izvlačenja*, Kragujevac, 1994
- [5] Srbislav Aleksandrović, *Sila držanja i upravljanje procesom dubokog izvlačenja*, Kragujevac, 2005
- [6] Branislav Devedžić, *Obrada metala deformisanjem*, Beograd, 1981
- [7] Srbislav Aleksandrović,  
[http://www.mfkg.kg.ac.rs/index2.php?option=com\\_docman&task=doc\\_view&gid=112&Itemid=260](http://www.mfkg.kg.ac.rs/index2.php?option=com_docman&task=doc_view&gid=112&Itemid=260)
- [8] Dragan Adamović,  
[http://www.mfkg.kg.ac.rs/index.php?option=com\\_docman&task=cat\\_view&gid=30&Itemid=269](http://www.mfkg.kg.ac.rs/index.php?option=com_docman&task=cat_view&gid=30&Itemid=269)
- [9] <http://www.cevip.kg.ac.yu/modules.php?name=Content&pa=showpage&pid=62>
- [10] Stampack User manual

## 8. Zaključci (minimum 1/2 strane)

Simulacija procesa izvlačenja daje veliki broj informacija o odvijanju procesa izvlačenja koje omogućavaju tehnolozima i konstruktorima alata da optimiziraju proces čime se postiže smanjenje broja prototipova u projektovanju alata, smanjuje škart i vrše uštede u materijalu, skraćuje vreme razvoja proizvoda, vrši pravilan izbor prese. Složenost uslova obrade i mnoštvo uticajnih faktora čine proces oblikovanja lima izvlačenjem veoma složenim.

Na preciznost FE analize procesa značajan uticaj imaju ulazni podaci, koji opisuju relevantne parametre procesa, kao što su: sila držanja i uslovi kontaktnog trenja. FE simulacije procesa su moćan alat za kompletnu deformaciono-naponsku analizu procesa, pre same izrade alata i procesa proizvodnje, uz značajno smanjenje troškova razvoja proizvoda, procesa i projektovanja alata za njegovu proizvodnju. Proces je moguće optimizirati sa aspekta povećanja kvaliteta gotovog proizvoda, otklanjanja defekata i povećanja veka alata.

U ovom radu, tokom numeričkih eksperimenata procesa, evidentirani su sledeći problemi:

- nestabilnost procesa u I operaciji sa prekoračenjem granične obradivosti austenitnog lima, što je prevaziđeno odabirom odgovarajuće vrednosti koeficijenta trenja;
- stvaranje nabora u toku I operacije izvlačenja koji ostaju i posle III operacije, što predstavlja problem i u realnom industrijskom procesu.

U numeričkim eksperimentima problem pojave nabora u I operaciji je pokušao da se reši postavljanjem zateznih rebara. To međutim nije dalo značajnija poboljšanja. Nekoliko eksperimenata je realizovano sa variranjem koeficijenta trenja u kontaktnim parovima, međutim, tu se javljao problem pucanja lima pri čemu su nabori ostali. Kroz postizanje balansa između sile držanja i uslova kontaktnog trenja, može se doći do povoljnijeg tehnološkog rešenja procesa.

U ovom radu korišćena je konstantna sila držanja na celoj površini držanja. Međutim, u softveru Stampack moguće je upravljati procesom različitim silama držanja preko hidrocilindara što će biti predmet nekih daljih istraživanja.

Ono što je takođe preporuka za neka buduća istraživanja je da se u numeričke eksperimente uvede operacija *Springback* posle I operacije, radi što realnijeg opisivanja industrijskog procesa, i praćenja ponašanja obratka u narednoj operaciji izvlačenja. Operacija *Springback* je veoma vremenski zahtevna i zbog toga nije obuhvaćena ovim radom.

Proizvodnja monoblok sudopere dubokim izvlačenjem u fabrici Metalac INKO se realizuje, ali nije u potpunosti optimizirana jer se odvija uz probleme stvaranja nabora u I operaciji. Ovaj problem se u industrijskim uslovima rešava različitim podmazivanjem lima u zonama ocedne ploče i korita, što se u numeričkim eksperimentima ne može prikazati. Cilj ovog diplomskog rada bio je da se problemi koji su evidentirani u industriji verifikuju simulacijom procesa i da se prate trendovi pojave naprsline i nabora, i izvrši njihovo eliminisanje ciljanim menjanjem parametara procesa.

Primenjena metodologija numeričkih simulacija pokazuje napredne mogućnosti da se prati proces izrade uz ciljano variranje vrednosti parametara obrade radi dobijanja optimalnog procesa dubokog izvlačenja.

**Datum:** \_\_\_\_\_

**Mesto:** \_\_\_\_\_

**Potpis studenta:**

\_\_\_\_\_

**Potpis industrijskog mentora:**

\_\_\_\_\_