



MODIFIKACIJA POČETNOG OBLIKA IZRATKA SA CILJEM SMANJENJA UŠIĆAVOSTI U POSTUPKU CILINDRIČNOG DUBOKOG VUČENJA EDD ČELIČNOG LIMA

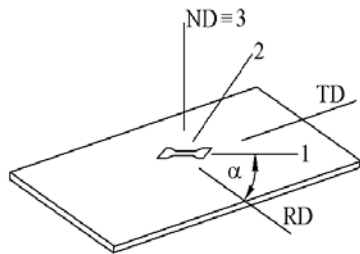
Vedrana Cvitanić, Mario Malić, Frane Vlak

Fakultet elektrotehnike, strojarstva i brodogradnje, Sveučilište u Splitu

vcvit@fesb.hr, mario.malic@gmail.com, fvlak@fesb.hr

LINATEK (Linearna i nelinearna analiza tankostjenih konstrukcija) - FESB, Split
Razvoj fenomenoloških elasto-plastičnih modela anizotropnih materijala (limovi)

1. karakterizacija materijala

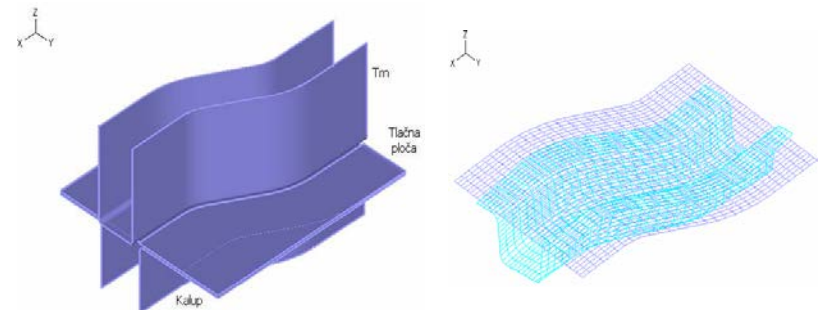
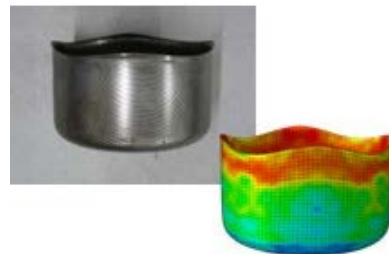


2. konstitutivne jednađbe

- funkcija tečenja / plastični potencijal
- pravilo tečenja
- opis očvršćavanja

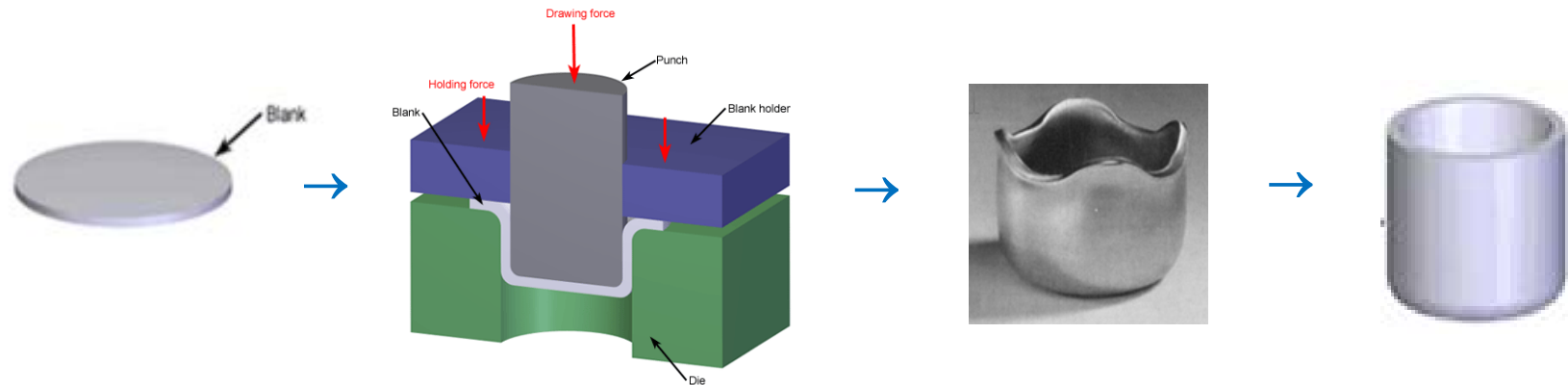
3. algoritmi integracije konstitutivnih jednađbi i implementacija u FEM program ADINA

4. primjena - obrada limova deformiranjem





Cilindrično duboko vučenje - Ušićavost



Ušićavost je prvenstveno uzrokovana anizotropnim plastičnim ponašanjem materijala lima.

M. Malić – Diplomski rad (FESB, 2018) –

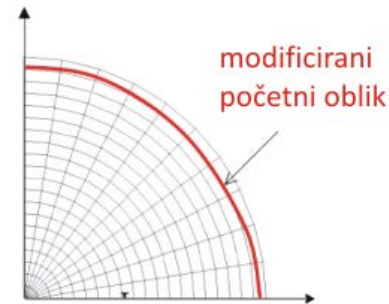
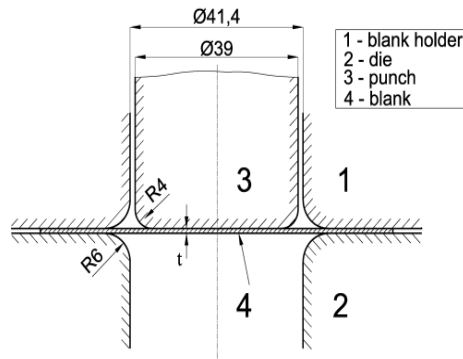
Optimiranje postupka cilindričnog dubokog vučenja sa ciljem redukcije ušićavosti

- modifikacija početnog oblika izratka
- primjena nejednolikog opterećenja na tlačnoj površini





Cilj rada – Modifikacija početnog oblika izratka – EDD čelični lim – FEM ADINA 8.6



- geometrija alata EDD lim
($d = 84,52\text{mm}$; $t = 1,0\text{ mm}$)

- modelirana četvrtina izratka i rezultat simulacije - ADINA 8.6

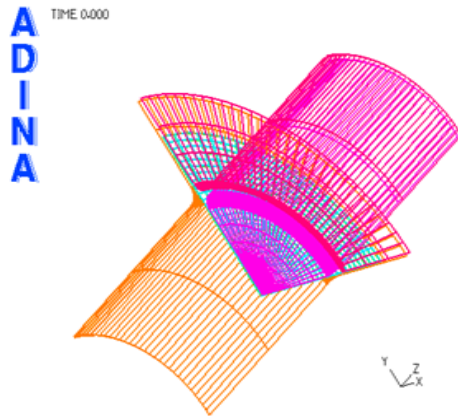
Modifikacija početnog oblika izratka provedena je na dva načina:

1. modifikacija temeljena na Lankfordovim koeficijentima
2. modifikacija temeljena na B-spline krivuljama





Osnovne značajke primjenjenog numeričkog modela (ADINA 8.6)



- izradak: ljuskasti konačni element
- kontaktni algoritam: funkcija ograničenja Coulombov zakon trenja ($\mu = 0,15$)
- površine alata modelirane kao krute
- sila na tlačnoj površini: $F = 20$ kN

- *ortotropan elasto-plastičan model materijala*

- pridruženo pravilo tečenja (funkcija tečenja \equiv plastični potencijal)

- model izotropnog očvršćavanja ($\sigma = 431(0,0133 + \varepsilon^p)^{0,237}$ MPa)

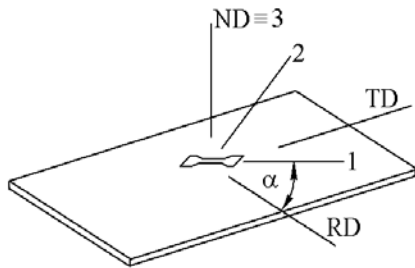
- ortotropna Hill (1948) funkcija naprezanja (Lankfordovi koeficijenti)

$$f_y = \sqrt{\lambda_1 \sigma_{xx}^2 + \lambda_2 \sigma_{yy}^2 - 2\nu \sigma_{xx} \sigma_{yy} + 2\rho \sigma_{xy}^2} = \sigma_y, \quad \lambda_1, \lambda_2, \nu, \rho - \text{parametri ortotropije}$$

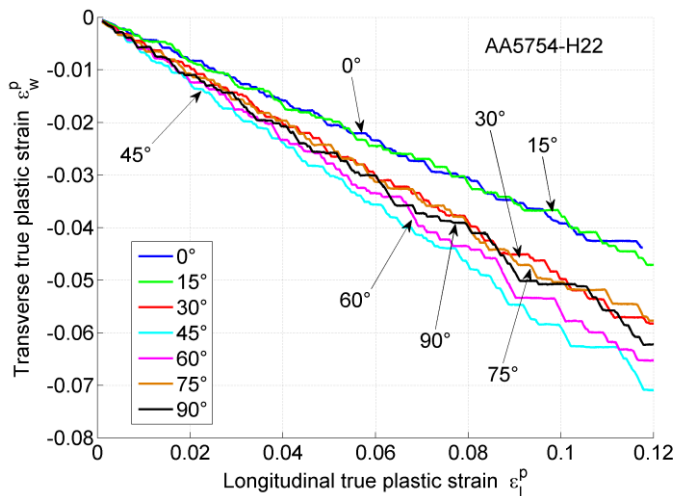




Lankfordov koeficijent (*r*-vrijednost) - mjera anizotropije plastičnog toka materijala



$$r_{\alpha} = \frac{d\varepsilon_{22}^p}{d\varepsilon_{33}^p}$$

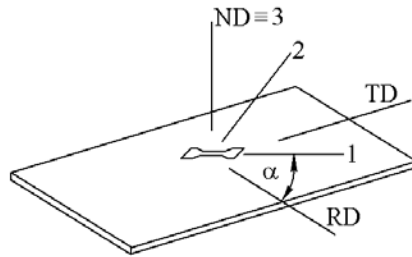


- uvjet plastične nestlačivosti:

$$d\varepsilon_{11}^p + d\varepsilon_{22}^p + d\varepsilon_{33}^p = 0$$

$$r_{\alpha} = \frac{d\varepsilon_{22}^p}{d\varepsilon_{33}^p} = - \frac{d\varepsilon_{22}^p}{d\varepsilon_{11}^p + d\varepsilon_{22}^p} = - \frac{m_r}{1 + m_r}$$

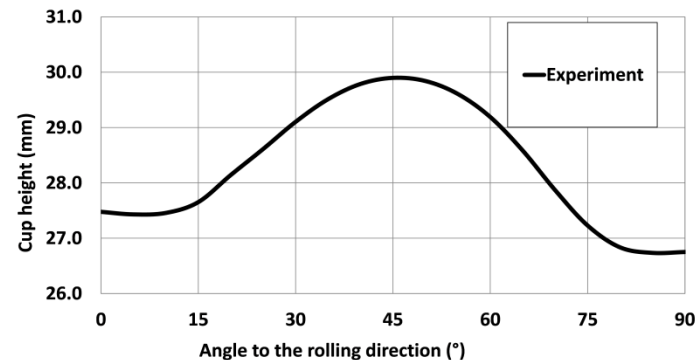
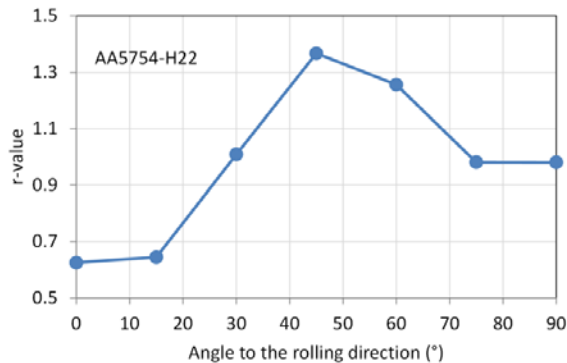
$$m_r = \frac{d\varepsilon_{22}^p}{d\varepsilon_{11}^p} \text{ - nagib aproksimacije}$$



Lankfordov koeficijent (r -vrijednost)

$$r_{\alpha} = \frac{d\varepsilon_{22}^p}{d\varepsilon_{33}^p} = -\frac{m_r}{1 + m_r}$$

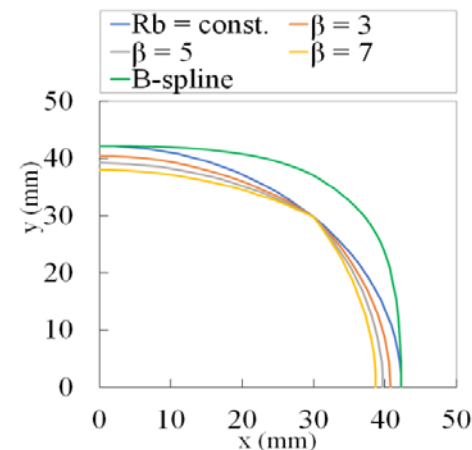
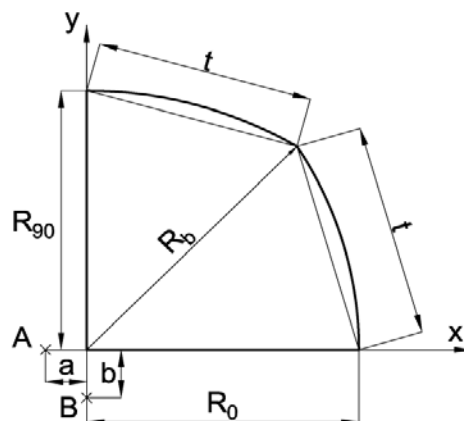
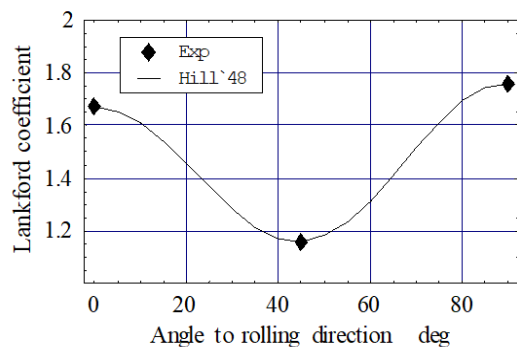
Lankfordovi koeficijenti ← (zrcalna slika) → visine posudice



Profil izvučene posudice je izrazito povezan s orijentacijskom ovisnosti Lankfordova koeficijenta!



Modifikacija početnog oblika izratka temeljena na Lankfordovim koeficijentima



• Lankfordovi koef. - EDD lim

• geometrija oblika

• usporedba oblika

$$R_{45} = R_b$$

$$R_0 = R_b - \beta(r_0 - r_{45})$$

$$R_{90} = R_b - \beta(r_{90} - r_{45})$$

β – težinski faktor

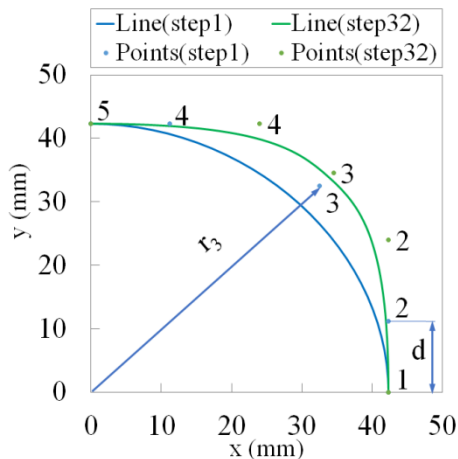
Tablica A. Dimenzije – oblici modificirani temeljem Lank. koef.

	R_b	R_0	R_{90}	a	b	t_{0-45}	t_{45-90}
$\beta = 3$	42,26	40,73	40,46	5,85	7,03	31,79	31,70
$\beta = 5$	42,26	39,71	39,26	10,63	13,04	31,46	31,32
$\beta = 7$	42,26	38,69	38,06	16,41	20,63	31,15	30,98





Modifikacija početnog oblika izratka temeljena na B-spline krivuljama



- usporedba oblika

- kubne B-spline krivulje s 5 kontrolnih točaka

$$R_0 = R_{90} = R_b$$

$$d, r_3 \Rightarrow R_{45} > R_b$$

- *step-1* – početno rješenje – oblik najbliži krugu:

$$d = 11,2 \text{ mm}, r_3 = 46,0 \text{ mm}$$

- za odabrane vrijednosti d određuje se vrijednost r_3 koja rezultira najpovoljnijim oblikom izvučene posudice

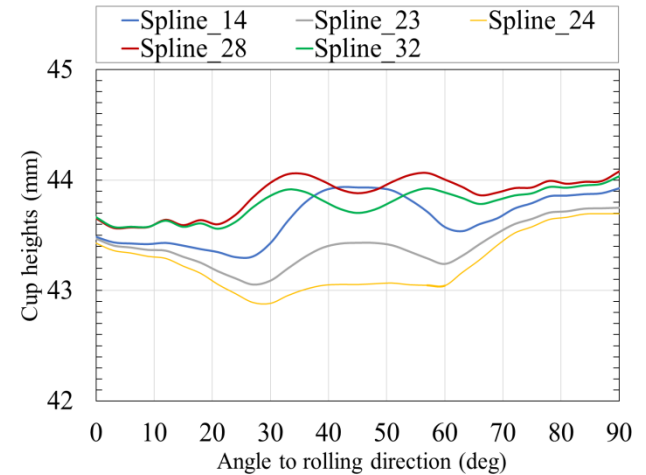
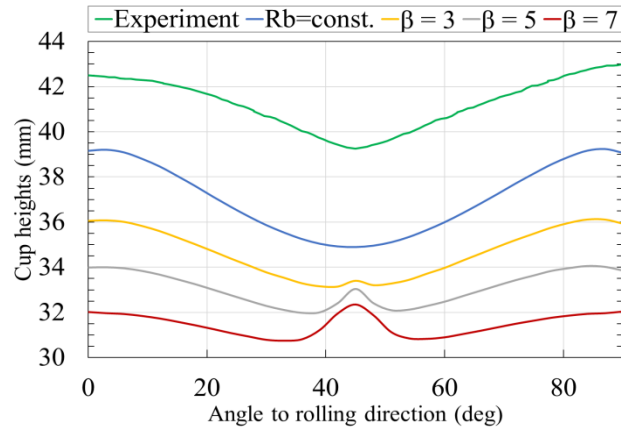
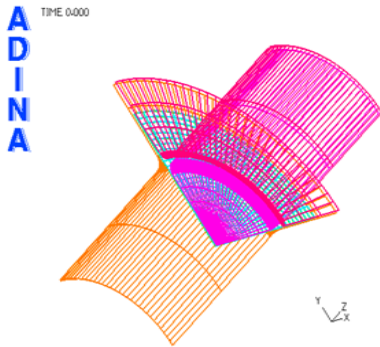
Tablica B. Dimenzije – odabrani oblici dobiveni korištenjem B-spline krivulja

	<i>step-14</i>	<i>step-23</i>	<i>step-28</i>	<i>step-32</i>
d (mm)	20,0	20,0	24,0	24,0
r_3 (mm)	52,0	51,4	49,0	48,8





Rezultati simulacija – visine posudica



- predviđanja visina (Lankfordovi koeficijenti)

- predviđanja visina (B-spline)

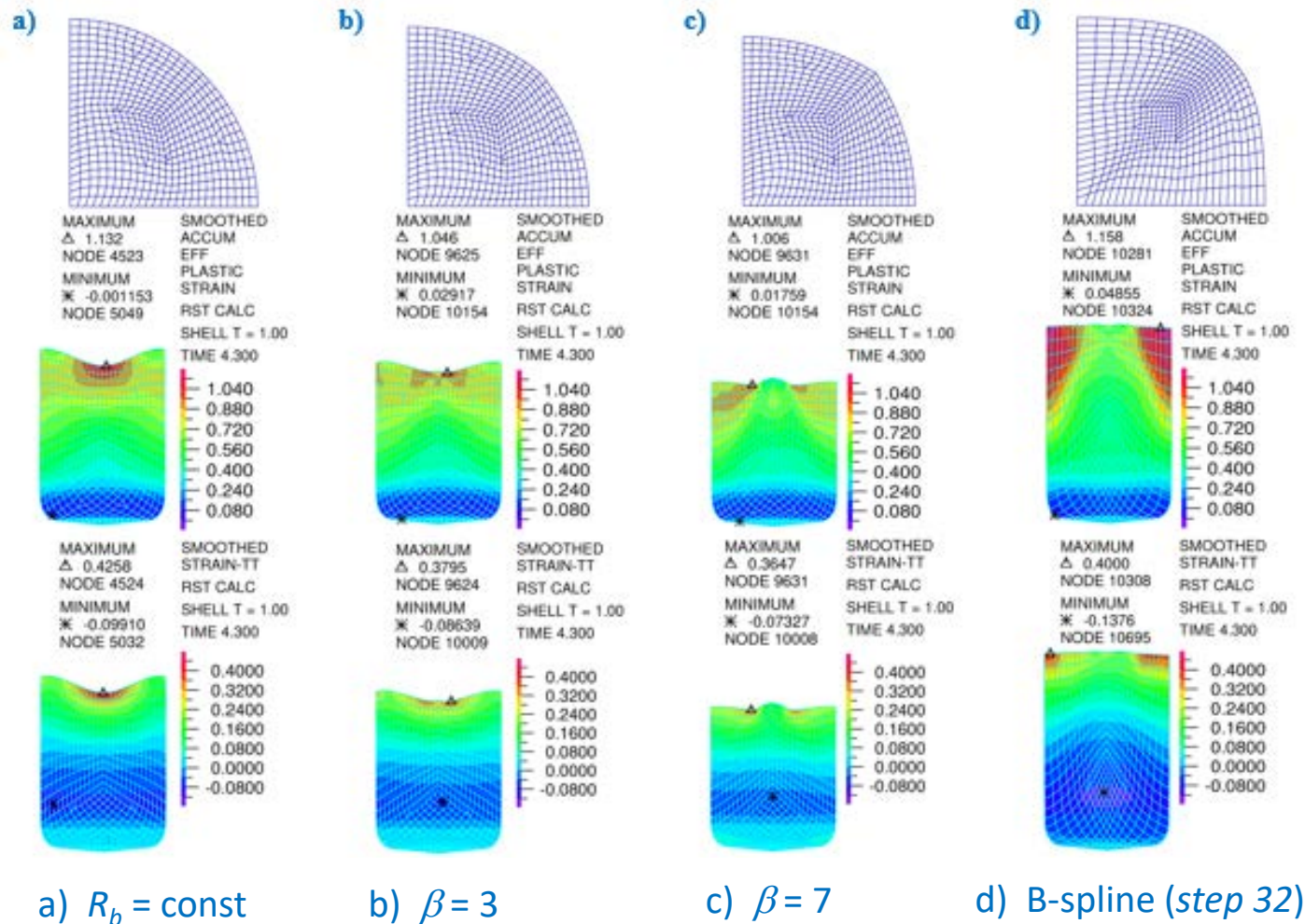
Tablica C. Dimenzije – karakteristične vrijednosti predviđanja visina

		modifikacije - Lankford koef.			modifikacije - B-spline krivulje			
visina posudice	<i>R=const</i>	$\beta = 3$	$\beta = 5$	$\beta = 7$	<i>step-14</i>	<i>step-23</i>	<i>step-28</i>	<i>step-32</i>
minimum (mm)	34,89	33,14	31,99	30,75	43,30	43,06	43,57	43,56
maksimum (mm)	39,24	36,11	34,06	32,36	43,94	43,75	44,08	44,04
amplituda (mm)	4,34	2,97	2,07	1,61	0,63	0,70	0,51	0,48



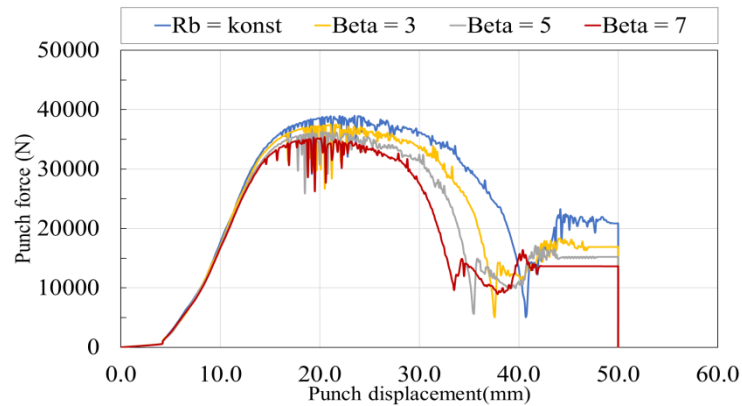


Rezultati simulacija – ekvivalentna plastična deformacija, deformacija debljine

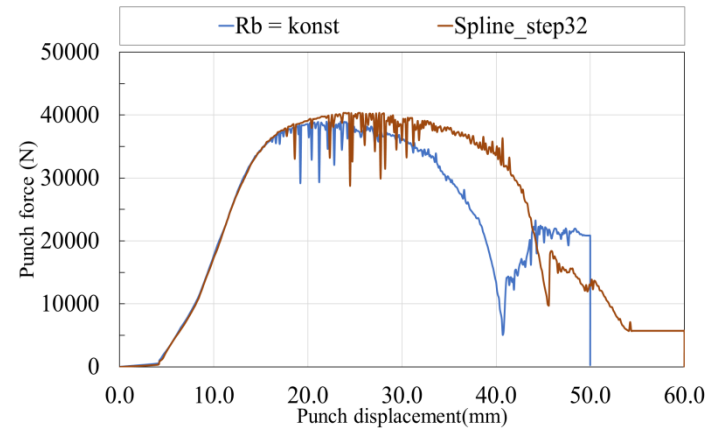




Rezultati simulacija – sila utiskivanja - pomak trna



- sila utiskivanja (Lankfordovi koeficijenti)



- sila utiskivanja (B-spline)





Zaključci

- dva načina modifikacije početnog oblika izratka EDD čeličnog lima sa ciljem smanjenja ušićavosti
- modificirani oblik (B-spline, *step 32*):
 - najmanja ušićavost
 - najveće vrijednosti ekvivalentne plastične deformacije i deformacije debljine
- zbog razlike eksperimentalnog profila i simuliranog profila ($R_b = \text{const}$) optimizacija postupka zahtjeva pouzdaniji model materijala





HVALA NA POZORNOSTI !

Autori:

Vedrana Cvitanić, Mario Malić, Frane Vlak

Fakultet elektrotehnike, strojarstva i brodogradnje, Sveučilište u Splitu

vcvit@fesb.hr, mario.malic@gmail.com, fvlak@fesb.hr

