

UNIVERZA V LJUBLJANI
BIOTEHNIŠKA FAKULTETA
ODDELEK ZA LESARSTVO

Mihael GABROVŠEK

**ANALIZA TEHNOLOŠKIH IN
KONSTRUKCIJSKIH PARAMETROV ZA
IZDELAVO REZKALNEGA ORODJA**

DIPLOMSKI PROJEKT

Visokošolski strokovni študij – 1. stopnja

Ljubljana, 2015

UNIVERZA V LJUBLJANI
BIOTEHNIŠKA FAKULTETA
ODDELEK ZA LESARSTVO

Mihael GABROVŠEK

**ANALIZA TEHNOLOŠKIH IN
KONSTRUKCIJSKIH PARAMETROV ZA
IZDELAVO REZKALNEGA ORODJA**

DIPLOMSKI PROJEKT
Visokošolski strokovni študij – 1. stopnja

**ANALYSIS OF TECHNOLOGICAL AND
CONSTRUCTIONAL PARAMETERS FOR
MILLING TOOL MANUFACTURING**

B. Sc. THESIS
Professional Study Programme

Ljubljana, 2015

Diplomski projekt je zaključek Visokošolskega strokovnega študija Lesarstvo – 1. stopnja. Delo je bilo opravljeno v Delovni skupini za mehanske obdelovalne tehnologije.

Senat Oddelka za lesarstvo je za mentorico diplomskega projekta imenoval doc. dr. Dominiko Gornik Bučar, za somentorja doc. dr. Mirana Merharja in za recenzenta prof. dr. Željka Goriška.

Mentorica: doc. dr. Dominika Gornik Bučar

Somentor: doc. dr. Miran Merhar

Recenzent: prof. dr. Željko Gorišek

Komisija za oceno in zagovor:

Predsednik:

Član:

Član:

Datum zagovora:

Podpisani izjavljam, da je naloga rezultat lastnega dela. Izjavljam, da je elektronski izvod identičen tiskanemu. Na univerzo neodplačno, neizključno, prostorsko in časovno neomejeno prenašam pravici shranitve avtorskega dela v elektronski obliki in reproduciranja ter pravico omogočanja javnega dostopa do avtorskega dela na svetovnem spletu preko Digitalne knjižnice Biotehniške fakultete.

Mihail Gabrovšek

KLJUČNA DOKUMENTACIJSKA INFORMACIJA

ŠD	Dv1
DK	UDK 630*823
KG	les/mehanska obdelava/rezkanje
AV	GABROVŠEK, Mihael
SA	GORNIK-BUČAR, Dominika (mentorica)/MERHAR, Miran (somentor)/ GORIŠEK, Željko (recenzent)
KZ	SI–1000 Ljubljana, Rožna dolina c.VIII/34
ZA	Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za lesarstvo
LI	2015
IN	ANALIZA TEHNOLOŠKIH IN KONSTRUKCIJSKIH PARAMETROV ZA IZDELAVO REZKALNEGA ORODJA
TD	Diplomski projekt (Visokošolski strokovni študij – 1. stopnja)
OP	XI, 31 str., 10 pregl., 45 sl., 4 pril., 9 vir.
IJ	sl
JI	sl/en
AI	Raziskovali smo vpliv tehnoloških in konstrukcijskih parametrov rezkalnega orodja za odrezovanje lesa v prečni smeri (0° – 90°). Odrezovali smo zračno suho bukovino, kjer smo spremenjali orientiranost tkiva (0° , 30° , 60° in 90°), prsnik kot rezila (10° , 20° , 30° , 40° in 50°) ter debelino odrezka (0,05 mm, 0,10 mm in 0,15 mm). Za vsako kombinacijo smo naredili dva reza, nato pa smo izmerili profil novo nastale površine. Iz izmerjenega profila smo izračunali parametre za vrednotenje hrapavosti površine: Ra – aritmetična srednja vrednost hrapavosti, Rz – srednja globina hrapavosti, Rq – standardni odklon, Rsk – poševnost, Rku – sploščenost in parameter krivulje nosilnosti. V raziskavi smo ugotovili, da je najboljša kakovost površine pri odrezovanju s prsnim kotom 40° , najmanjši debelini odrezka ter orientiranosti tkiva 90° , kar ustreza radialni površini. Iz navedene raziskave sledi, da je pri obdelavi bukovine v prečni smeri (0° – 90°) smiseln uporabiti namensko izdelano rezkalno orodje z večjimi prsnimi koti, kot jih imajo standardna na trgu dobavljava rezkalna orodja (okrog 20°).

KEY WORDS DOCUMENTATION

ND	Dv1
DC	UDC 630*823
CX	wood/ wood machining/milling
AU	GABROVŠEK, Mihael
AA	GORNIK-BUČAR, Dominika (supervisor)/MERHAR, Miran (co - supervisor)/GORIŠEK, Željko (reviewer)
PP	SI–1000 Ljubljana, Rožna dolina c.VIII/34
PB	University of Ljubljana, Biotechnical Faculty, Department of wood science and technology
PY	2015
TY	ANALYSIS OF TECHNOLOGICAL AND CONSTRUCTIONAL PARAMETERS FOR MILLING TOOL MANUFACTURING
DT	B. Sc. Thesis (Professional study programmes)
NO	XI, 31 p., 10 tab., 45 fig., 4 ann., 9 ref.
LA	sl
AL	sl/en
AB	The effect of the technological and construction parameters of a milling tool for cutting across the grain (0° – 90°) was studied. Air – dried beech was cut, whereby the orientation of the material (0° , 30° , 60° and 90°), the tool rake angle (10° , 20° , 30° , 40° and 50°), as well as the thickness of the chip (0,05 mm, 0,10 mm and 0,15 mm) were altered. For each combination two cuts were made and then the profile of the new surface was measured. Using the profile measured, the parameters for evaluating the roughness of the surface: Ra – the arithmetic mean roughness, Rz – the mean depth of roughness, Rq – standard deviation, Rsk – skewness, Rku – kurtosis and Abbot – Firestone curve parameter were calculated. In the study was found that the best surface quality when cutting across the grain is achieved at 40° , the smallest chip thickness and material orientation at 90° , which corresponds to the radial surface. Therefore, as the aforementioned study indicates, for cutting wood across the grain (0° – 90°) it is best to use a purpose – built milling tool with larger rake angles than those milling tools that are available on the market (which have an angle of approx. 20°).

KAZALO VSEBINE

KLJUČNA DOKUMENTACIJSKA INFORMACIJA	III
KEY WORDS DOCUMENTATION.....	IV
KAZALO VSEBINE	V
KAZALO PREGLEDNIC	VII
KAZALO SLIK	VIII
KAZALO PRILOG.....	X
OKRAJŠAVE IN SIMBOLI	XI
1 UVOD	1
1.1 OPREDELITEV PROBLEMA	1
1.2 DELOVNE HIPOTEZE.....	1
1.3 CILJI NALOGE	1
2 PREGLED LITERATURE	2
2.1 BUKOVINA (<i>FAGUS SYLVATICA L.</i>).....	2
2.1.1 Uporaba bukovine v proizvodnji struženih in rezkanih elementov.....	2
2.2 MEHANSKI POSTOPKI OBDELAVE IN PREDELAVE LESA	3
2.2.1 Odrezovanje.....	3
2.2.2 Les–nehomogen, anizotropen naravni material.....	4
2.2.3 Dejavniki v procesu odrezovanja (Bučar, 2007).....	5
2.2.4 Osnove odrezovanja	5
2.2.5 Preoblikovanje	6
2.3 PRINCIPI MERJENJA KAKOVOSTI POVRŠINE	6
2.3.1 Parametri za vrednotenje obdelanih površin	8
3 MATERIALI IN METODE	13
3.1 MATERIALI	13
3.1.1 Izdelava preizkušancev	13
3.1.2 Debelina odrezka	14
3.2 METODE DELA	16
3.2.1 Naprava za premočrtno odrezovanje	16
3.2.2 Laserski meritnik hrapavosti	17
3.2.3 Potek raziskave	19
4 REZULTATI IN RAZPRAVA	21

4.1	PRIMERJAVA REZULTATOV	21
4.1.1	Srednja mera hrapavosti–R_a	21
4.1.1.1	Vpliv debeline odreza na parameter R_a	23
4.1.2	Srednja globina hrapavosti–R_z	24
4.1.2.1	Vpliv debeline odreza na parameter R_z :	25
4.1.3	Standardni odklon– R_q	26
4.1.4	Poševnost (angl.: skewness) – R_{sk}	27
4.1.5	Sploščenost (angl.: kurtosis)–R_{ku}	28
4.1.6	Krivilja nosilnosti (angl.: Abbot–Firestone curve)	29
5	SKLEPI.....	31
6	VIRI.....	32

KAZALO PREGLEDNIC

Preglednica 1:	Dejanska debelina odrezka h_m	16
Preglednica 2:	R_a , debelina odreza 0,10 mm	21
Preglednica 3:	Vpliv debeline odreza na parameter R_a , prsni kot 10°	23
Preglednica 4:	Vpliv debeline odreza na parameter R_a , prsni kot 40°	24
Preglednica 5:	R_z pri debelini odreza 0.10 mm.....	25
Preglednica 6:	Vpliv debeline odreza na parameter R_z , prsni kot 10°	25
Preglednica 7:	Vpliv debeline odreza na parameter R_z , prsni kot 40°	26
Preglednica 8:	R_q pri debelini odreza 0.10 mm	26
Preglednica 9:	Poševnost (angl.: skewness) R_{sk}	28
Preglednica 10:	Sploščenost (angl.: kurtosis)– R_{ku}	29

KAZALO SLIK

Slika 1 :	Surovi bukovi elementi pred obdelavo	2
Slika 2 :	Rezkan in stružen izdelek po obdelavi.....	3
Slika 3 :	Rezkanje končne oblike	3
Slika 4 :	Vzdolžno, prečno krojenje lesa.....	3
Slika 5 :	Makroskopska in mikroskopska zgradba lesa.....	4
Slika 6 :	Glavne smeri obdelave.....	4
Slika 7 :	Cepljenje s klinom	5
Slika 8 :	Nastanek odrezka	5
Slika 9 :	Značilnosti površine.....	6
Slika 10 :	Princip delovanja profilometra	7
Slika 11 :	Profilometer iz naše raziskave	7
Slika 12 :	Primerjalne ploščice	8
Slika 13 :	Srednja mera hrapavosti R_a	9
Slika 14 :	Največja izbočina in vbočina.....	9
Slika 15 :	Srednja globina hrapavosti – R_z	10
Slika 16 :	Poševnost – R_{sk}	11
Slika 17 :	Sploščenost – R_{ku}	11
Slika 18 :	Abbot–Firestonova krivulja.....	12
Slika 19 :	Oblike krivulje nosilnosti	12
Slika 20 :	Element pred krojenjem	13
Slika 21 :	Relativna smer potovanja rezila	13
Slika 22 :	Usmeritve preizkušancev: 0° , 30° , 60° in 90°	14
Slika 23 :	Preizkušanci.....	14
Slika 24 :	Srednja debelina odrezka h_m	15
Slika 25 :	Dejanska debelina obdelave	16
Slika 26 :	Naprava za premočrtni pomik	17
Slika 27 :	Nastanek odrezka.....	17
Slika 28 :	Laserski meritnik hrapavosti	18
Slika 29 :	Program za obdelavo podatkov: LabVIEW	18
Slika 30 :	Snemanje hrapavosti- LabVIEW	19

Slika 31 :	Vrednosti pred in po korekciji	20
Slika 32 :	R_a , debelina odreza 0,10 mm.....	21
Slika 33 :	Preizkušanec; prsni kot 10°, usmeritev 30°, debelina odreza 0,1 mm	22
Slika 34 :	Preizkušanec; prsni kot 40°, usmeritev 90°, debelina odreza 0,1 mm	22
Slika 35 :	Primerjava najbolj in najmanj hrapavega profila	23
Slika 36 :	Vpliv debeline odrezovanja na R_a pri prsnem kotu 10°.....	24
Slika 37 :	Vpliv debeline odrezovanja na R_a pri prsnem kotu 40°.....	24
Slika 38 :	R_z , debelina odreza 0,10 mm	25
Slika 39 :	Vpliv debeline odrezovanja na R_z pri prsnem kotu 10°	25
Slika 40 :	Vpliv debeline odrezovanja na R_z pri prsnem kotu 40°	26
Slika 41 :	R_q , debelina odreza 0,10	27
Slika 42 :	Primerjava R_{sk} pri najbolj in najmanj hrapavi površini.....	27
Slika 43 :	Poševnost (angl.: skewness) R_{sk}	28
Slika 44 :	Sploščenost (angl.: kurtosis)– R_{ku}	29
Slika 45 :	Primerjava profilov in krivulj nosilnosti za najbolj in najmanj hrapavi površini pri debelini odreza 0,10 mm.....	30

KAZALO PRILOG

PRILOGA A – Grafi za parametre Ra, Rz, Rsk in Rku

PRILOGA B – Profili površin

PRILOGA C – Porazdelitvene krivulje profilov (poševnost)

PRILOGA D – Parameter nosilnost

OKRAJŠAVE IN SIMBOLI

Ψ	zasučni kot
a	debelina obdelave
e_z	pomik obdelovanca na 1 zob
h_m	srednja debelina odrezka
l	dolžina profila
n	vrtilna hitrost orodja
r	polmer rezalnega orodja
Ra	srednja mera hrappavosti ali aritmetična srednja vrednost vseh absolutnih vrednosti merjenega profila
Rku	sploščenost (angl.: kurtosis)
Rp	največja višina izbočin profila
Rq	standardni odklon
Rsk	poševnost (angl.: skewness)
Rt	vsota največje vbočine (doline) in izbočine (vrha)
Rv	največja globina vbočin profila
Rz	srednja globina hrappavosti (po DIN 4768)
v_p	hitrost podajanja
z	število rezil

1 UVOD

Okrogli leseni elementi, ki sestavljajo razne pohištvene izdelke (omare, oblazinjeno pohištvo...) se večinoma izdelujejo s struženjem. Njihove oblike so lahko zelo raznolike, zato je potrebno končno obliko obdelovanca izdelati s pomočjo profilnega noža. Konica noža je nameščena vzporedno z vzdolžno smerjo obdelovanca, medtem ko je smer odrezovanja pravokotna glede na lesna vlakna. Obdelava materiala poteka torej v prečni smeri ($0^\circ - 90^\circ$).

Redkeje se za obdelavo takih proizvodov uporabljam rezkalna orodja, predvsem v nekaterih primerih, ko je potrebno izdelati profil v element ovalne (ali pravokotne, itd.) oblike. V primeru da se med obdelavo oblike proizvoda istočasno na istem stroju izdeluje tudi izvrtina (za pritrditveni vijak ipd.), je primernejše uporabiti rezkalni stroj.

1.1 OPREDELITEV PROBLEMA

Pri rezkanju okroglih, ovalnih ali pravokotnih masivnih bukovih elementov specifične oblike prihaja do izmenjujoče se obdelave lesnega tkiva v vzdolžni in prečni smeri. Običajna orodja iz karbidnih trdin imajo nameščena rezila s prsnimi koti okoli 20° in so namenjena predvsem vzdolžni ($90^\circ - 0^\circ$) in čeln obdelavi lesa ($90^\circ - 90^\circ$), zato prihaja pri obdelavi v prečni smeri ($0^\circ - 90^\circ$), ko je konica noža vzporedna s potekom lesnega tkiva in smer obdelave pravokotna, do nekakovostne – hrapave površine. Na kakovost obdelane površine lahko do določene mere vplivamo s tehnološkimi parametri, kar lahko povzroči neželeno zmanjšanje kapacitete obdelave.

1.2 DELOVNE HIPOTEZE

Z ustrezeno izbiro tehnoloških parametrov in konstrukcijskih značilnosti lesnoobdelovalnega orodja lahko vplivamo na kakovost obdelane površine. Za različno usmeritev lesnega tkiva se optimalni tehnološki parametri in konstrukcijske značilnosti orodja med seboj razlikujejo.

1.3 CILJI NALOGE

Osnovni cilj naloge je proučiti vpliv tehnoloških parametrov obdelave ter konstrukcijske značilnosti lesnoobdelovalnega orodja na kakovost obdelane površine v prečni smeri lesnega tkiva ($0^\circ - 90^\circ$).

2 PREGLED LITERATURE

2.1 BUKOVINA (*Fagus Sylvatica L.*)

Bukovina (*Fagus Sylvatica L.*) je med listavci najpogostejsa lesna vrsta v Sloveniji. Uvrščena je v skupino difuzno poroznih listavcev. Barva lesa je od bledo rumene do rdečkasto rjave (barva se lahko spreminja zaradi tehnoških postopkov), pri starejših drevesih je možna prisotnost sekundarnega obarvanja (rdeče srce).

Spada med lesove z visoko gostoto – srednja vrednost absolutno suhega lesa bukovine znaša 680 kg/m^3 . Les, ki ne vsebuje vraščenih napak, je precej homogen (ker nima beljave) in se lepo obdeluje (Čufar, 2006).

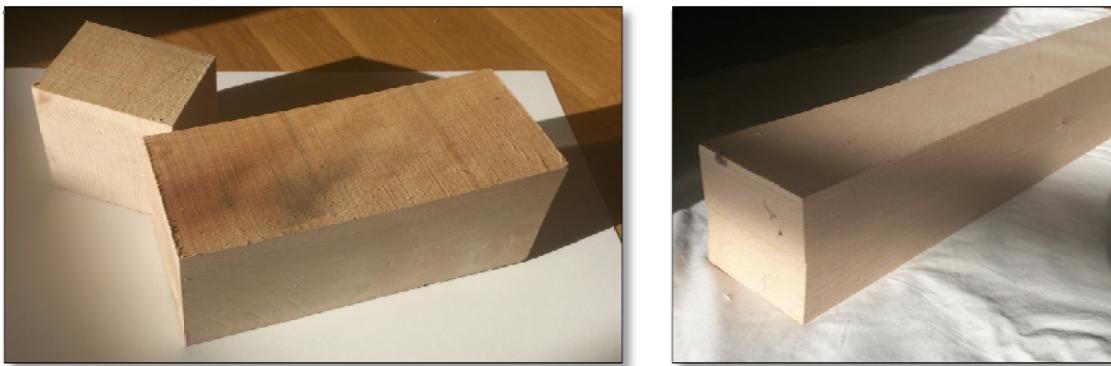
Uporaba bukovega lesa je zelo pестra – v lesni industriji za talne obloge, stopnice, stopniščne ograje, pohištvo, stole, mize, za železniške pragove...

2.1.1 Uporaba bukovine v proizvodnji struženih in rezkanih elementov

Struženi in rezkani elementi, zaradi katerih smo preučevali vpliv geometrijskih lastnosti rezalnega orodja na novonastalo površino, so predvsem razne okrogle lesene noge za potrebe industrije oblazinjenega pohištva, okrogli leseni ročaji in obešalniki ter nekateri sestavnici elementi za pohištvo, nepravilnih, krivih (vendar ne okroglih) oblik.

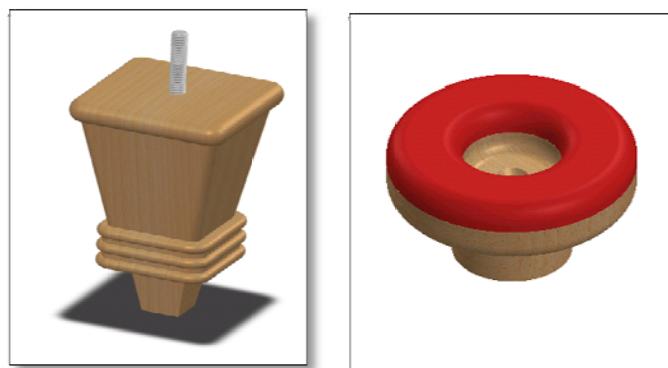
Večina teh proizvodov se izdeluje iz bukovih elementov (glej sliko 1). Surove obdelovance se izdeluje iz žaganic debeline 25 mm do 80 mm, za proizvode večjega premera (od 90 mm do 150 mm) je potrebno lepiti dve ali več žaganic skupaj.

Postopki mehanske obdelave struženja so pogosto obravnavani v strokovni literaturi. Princip obdelave se odvija tako, da se obdelovanec vrti, medtem ko se rezalno orodje pomika vzdolž osi vrtenja in ga obdeluje. Rezalno hitrost določa torej obodna hitrost na mestu obdelave.



Slika 1 : Surovi bukovi elementi pred obdelavo

V naši raziskavi smo ugotavljali, kako bi s postopkom mehanske obdelave – rezkanjem, dosegli ustrezno kakovostno površino, primerljivo tisti pri struženju. Slika 2 prikazuje dva takia izdelka. V strokovni literaturi je bilo izvedenih malo podobnih študij.



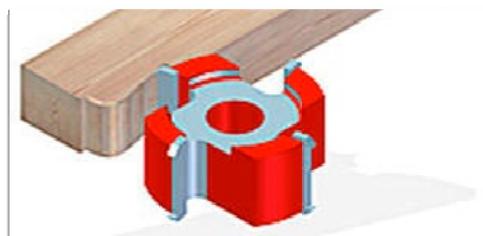
Slika 2 : Rezkan in stružen izdelek po obdelavi

2.2 MEHANSKI POSTOPKI OBDELAVE IN PREDELAVE LESA

2.2.1 Odrezovanje

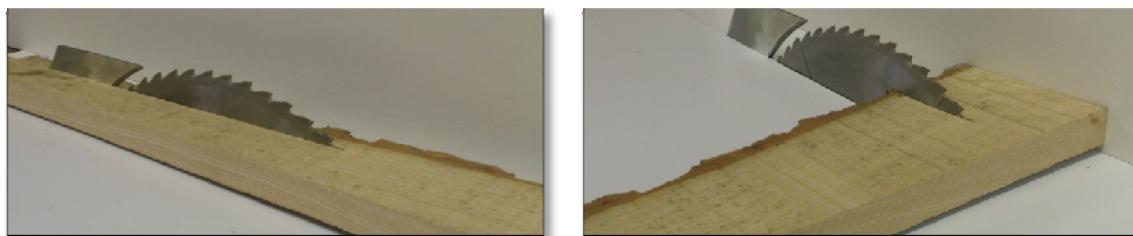
Odrezovanje je postopek postopnega odvzemanja materiala. Obdelava lesa, ki je naravni kompozitni material, poteka nadzorovano, nastaja nova površina. Postopki odrezovanja se delijo na:

- oblikovanje lesnega materiala, kjer se oblikuje končna površina (slika 3)in



Slika 3 : Rezkanje končne oblike

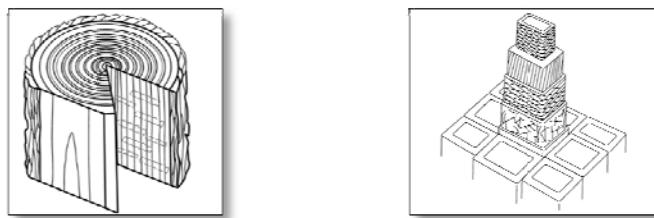
- ločevanje – vzdolžno, prečno krojenje materiala (slika 4).



Slika 4 : Vzdolžno, prečno krojenje lesa

2.2.2 Les – nehomogen, anizotropen naravni material

Zgradba lesa je heterogena. V okviru iste lesne vrste lahko prihaja do velike variabilnosti (različna gostota, neenaka vsebnost ekstraktivov...) predvsem zaradi različnih rastnih pogojev. Heterogena zgradba se kaže tako na mikroskopskem kot makroskopskem nivoju. V procesu rasti (slika 5) nastaja torej heterocelularni kompozitni polimerni material. Na makroskopskem nivoju je sestavljen iz celuloze, polioz, lignina in le majhnega deleža ekstraktivov, na mikroskopskem nivoju se njegova kompozitna zgradba zrcali v večplastni sestavi celične stene (Gorišek, 2009). Ima tri anatomske ravnine: vzdolžno, radialno in tangencialno.

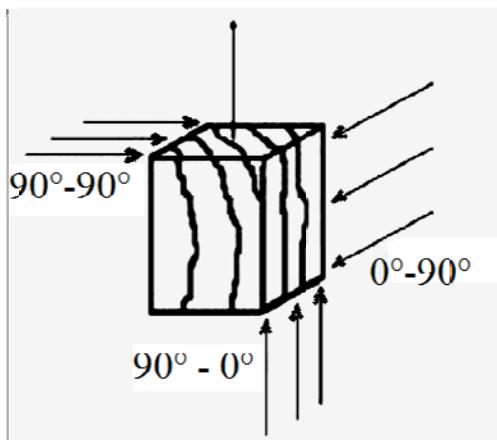


Slika 5 : Makroskopska in mikroskopska zgradba lesa (Dinwoodie J. M. 1989)

Obdelava lesa lahko poteka v različnih smereh, vendar se glede na potek lesnih vlaken loči tri glavne smeri obdelave, ki jih prikazuje slika 6:

- $90^\circ - 90^\circ$ čelno odrezovanje,
- $90^\circ - 0^\circ$ vzdolžno odrezovanje in
- $0^\circ - 90^\circ$ prečno odrezovanje.

Prva vrednost določa kot med rezalnim robom orodja (noža) glede na smer poteka lesnih vlaken in druga kot med smerjo gibanja orodja in smerjo poteka lesnih vlaken (Naylor in Hackney, 2013).



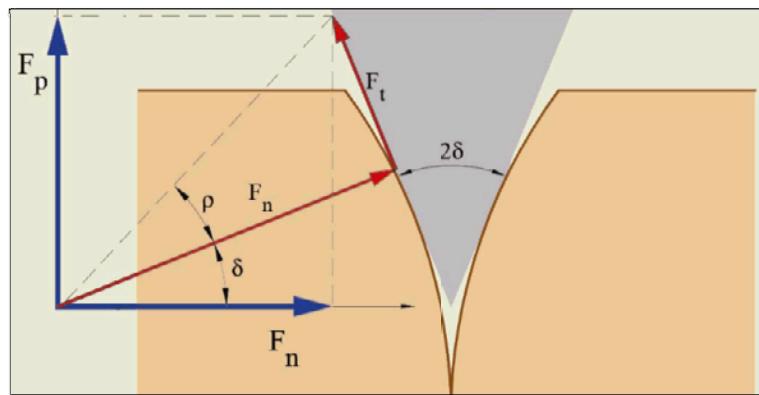
Slika 6 : Glavne smeri obdelave (Naylor in Hackney, 2013)

2.2.3 Dejavniki v procesu odrezovanja (Bučar, 2007)

- Geometrija rezalnega orodja,
- smer poteka lesnih vlaken,
- inherentne lastnosti lesa,
- vlažnost lesa in
- debelina odrezka.

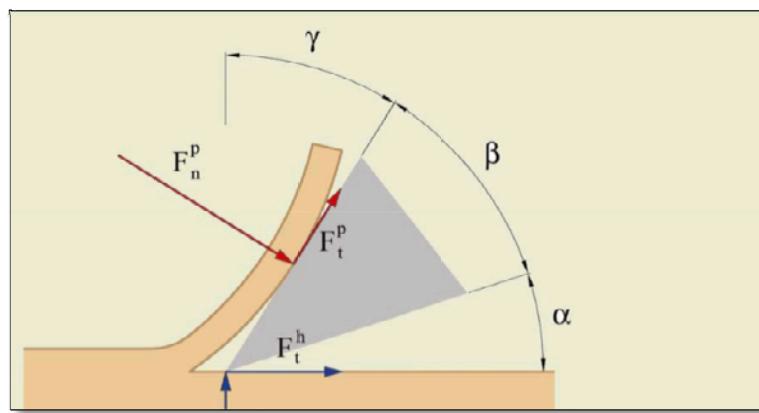
2.2.4 Osnove odrezovanja

Odrezovanje lahko opišemo kot cepljenje s klinom (slika 7). Sila s katero klin pritiska na površino se koncentrira v stični ravnini, ki je zaradi oblike klina majhna. Vedno večji tlak povečuje trenje v stičnem delu med klinom in materialom do tiste meje, ko se le – ta ne more več podati, zato pride do frakture – cepljenja. Nadaljnje prodiranje klina ovira le sila trenja.



Slika 7 : Cepljenje s klinom (Merhar, 2013)

Slika 8. prikazuje kako rezilno orodje, ki je v obliki klina, prodira v material in ga cepi.



Slika 8 : Nastanek odrezka (Merhar, 2013)

2.2.5 Preoblikovanje

Preoblikovanje lesa se izvaja predvsem z raznimi postopki krivljenja, stiskanja, zgoščevanja lesnega materiala.

2.3 PRINCIPI MERJENJA KAKOVOSTI POVRŠINE

Določitev kakovosti površine pri obdelavi lesa je težavna, saj ni predpisanih standardov, ki bi določali toleranco površine. Hrapavost novonastale površine po obdelavi je odvisna od:

- usmerjenosti lesnega materiala in
- poteka smeri obdelave.

Površino opišemo s pomočjo njenih značilnosti (slika 9) :

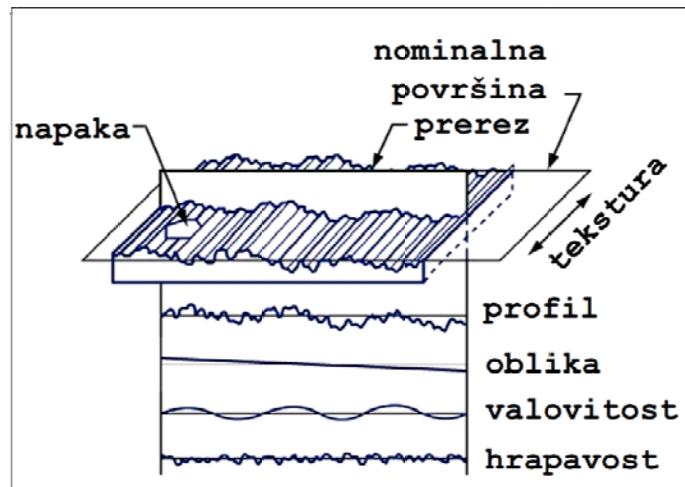
Profil površine je ponavljanje ali naključno odstopanje površine od namišljene nominalne ravnine.

Kljub temu lahko pri vrednotenju površine (lesnega materiala) uporabljam standardne (ISO 468–1982, ISO 4287–1997), ki opisujejo meritne postopke in količine, ki opisujejo teksturo.

Hrapavost površine po definiciji določajo mikro – geometrične nepravilnosti na površini predmeta. Dimenzijske nepravilnosti so večkratno manjše od dimenzijske opazovane površine – l_r (Medič, 2001).

Valovitost prav tako predstavlja nepravilnosti na površini, vendar se od hrapavosti razlikuje, ker zavzema nekajkrat večje področje in se približno periodično ponavlja.

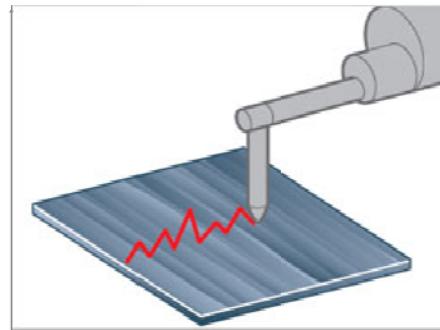
V naši raziskavi smo se osredotočili predvsem na merjenje hrapavosti, vpliv valovitosti na izmerjene rezultate pa smo zmanjšali tako, da smo dobljene podatke ustrezno filtrirali.



Slika 9 : Značilnosti površine (<http://lab.fs.uni-lj.si/lat/uploads/metrologija...2012>)

Meritve hrapavosti je mogoče izvajati na več načinov:

- kontaktne metode (slika 10, 11) – s profilometri, kjer (diamantna) konica drsi po površini in beleži neravnine. S tako metodo smo opravili našo raziskavo,

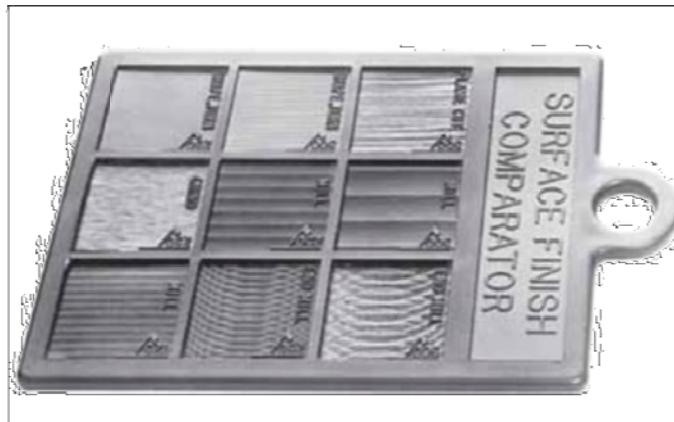


Slika 10 : Princip delovanja profilometra



Slika 11 : Profilometer iz naše raziskave

- ne – kontaktne optične metode,
- taktilne metode, kjer se uporablja ploščice z različno hrapavostjo (slika 12), ki služijo za primerjavo z vzorčnimi površinami.



Slika 12 : Primerjalne ploščice (Flexbar machine corporation)

Naprave za merjenje hrapavosti posnamejo profil površine. Večina sodobnih naprav dobljene podatke ustrezno filtrira in statistično obdela.

Z enim samim (najosnovnejšim) kazalnikom za vrednotenje – R_a , ki podaja aritmetično sredino izmerjenih vrednosti, ne moremo zadovoljivo opisati profila površine. Povprečna vrednost namreč ne prikazuje morebitnih posebnosti, ki se pojavijo na merjeni površini (npr. pogostnost zatrganin itd.), zato je potrebno izračunati še druge kazalnike, ki nam podrobneje opišejo izmerjeni profil.

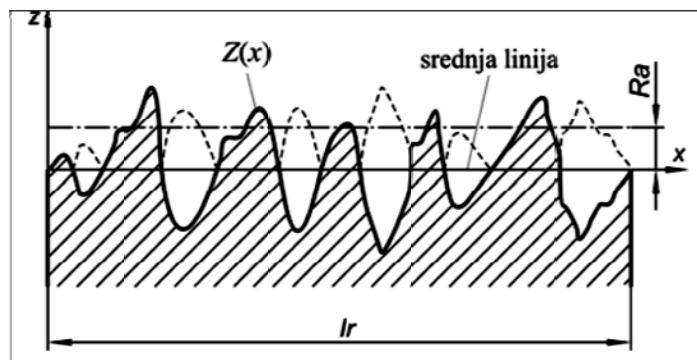
Izmerjene vrednosti se lahko gibljejo okoli aritmetične sredine brez večjih odstopanj v eno ali drugo smer (kar bi pomenilo precej gladko površino), oziroma se pojavljajo velika odstopanja v obe smeri (to pomeni precej grobo površino). V obeh primerih bi bil parameter R_a (aritmetična srednja vrednost) lahko skoraj enak, navkljub zelo različnim površinama. Če torej želimo natančneje opredeliti topografijo površine, izračunamo še parametre, ki jih v matematični statistiki imenujemo *mere variabilnosti*, z njimi opisujemo ali se odkloni vrednosti približujejo večjim ali manjšim vrednostim. Povedo nam ali so ti odkloni zanemarljivi oziroma znatni in ali se bolj odklanjajo v eno oziroma drugo smer.

2.3.1 Parametri za vrednotenje obdelanih površin

Obdelane površine vrednotimo z različnimi kazalniki:

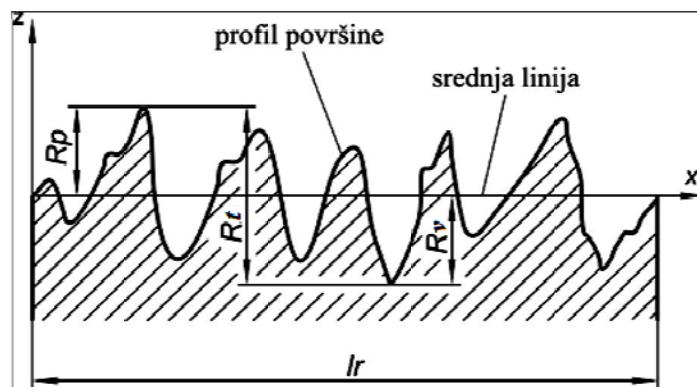
- **R_a** – I. centralni moment – srednja mera hrapavosti ali aritmetična srednja vrednost (slika 13) vseh absolutnih vrednosti merjenega profila. Računa se z enačbo:

...(1)



Slika 13 : Srednja mera hrapavosti R_a

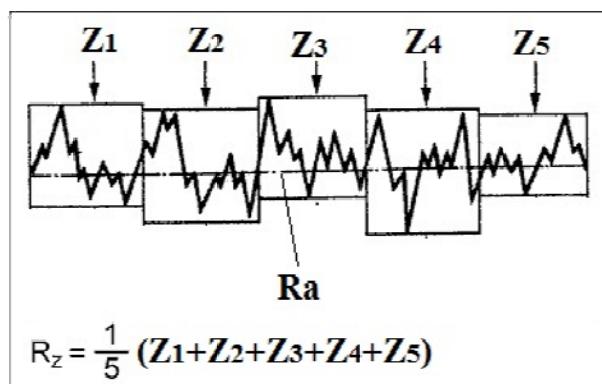
- R_p – največja višina izbočin profila (slika 14),
- R_v – največja globina vbočin profila (slika 14),
- R_t – vsota največje vbočine (doline) in izbočine (vrha) prikazuje slika 14:



Slika 14 : Največja izbočina in vbočina

- R_z – srednja globina hrapavosti (po DIN 4768) je povprečje razlik med petimi izmerki največjih izbočin ($Z_1 - Z_5$) in globin ($z_1 - z_5$) na petih enako dolgih odsekih vzorčne dolžine (slika 15). Od aritmetične sredine se razlikuje v tem, da upošteva povprečje petih ekstremnih vrednosti in ne vseh. Računa se z enačbo:

...(2)



Slika 15 : Srednja globina hrapavosti – Rz

- **Rq** – II. centralni moment (standardni odklon):

1

... (3)

Standardni odklon je osnovna mera variabilnosti in predstavlja kvadratni koren od variance, ki je povprečje kvadratov odklonov od aritmetične sredine. Opiše nam odklone, ne pove pa, v katero smer težijo vrednosti.

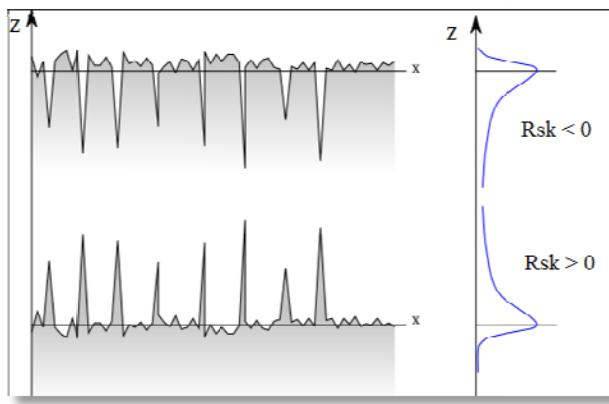
Manjša vrednost nam pove, da je tudi razlika med dejanskimi (izmerjenimi) vrednostmi in aritmetično sredino – R_a manjša.

- **Rsk** – III. centralni moment – poševnost (angl.: skewness):

... (4)

Parameter R_{sk} – poševnost nam pove v katero smer se bolj odklanjajo izmerjene vrednosti (slika 16). Kadar je le – ta negativen, takrat je večina izmerjenih vrednosti visokih in le malo ekstremno nizkih, obratno pa je vrednost R_{sk} pozitivna, ko je večina vrednosti nizkih in le malo ekstremno visokih.

Kadar velja, da je $R_{sk} = 0$, takrat so vrednosti normalno (enakomerno) porazdeljene.



Slika 16 : Poševnost – Rsk

- Rku – IV.centralni moment–sploščenost (angl.:kurtosis):

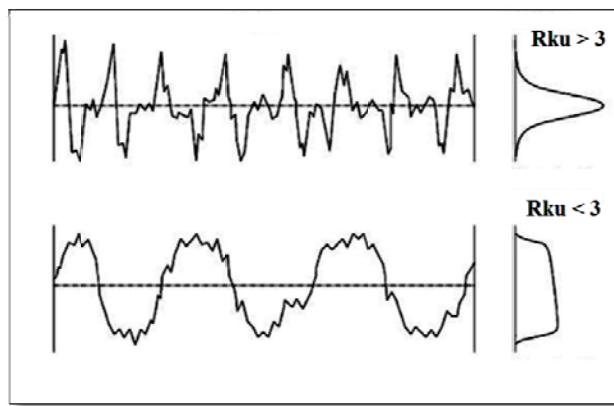
— —

...(5)

Parameter Rku – sploščenost. S tem parametrom lahko določimo (ocenimo) kolikšen je delež mejnih vrednosti profila (slika 17).

Koničasta oblika krivulje nam pove, da je velik delež vrednosti, ki so večje od aritmetične sredine, bolj kot je koničasta, več je ekstremno velikih vrednosti (v pozitivno ali negativno smer).

Sploščena oblika krivulje kaže, da so razlike vrednosti bolj posledica srednje velikih odstopanj od aritmetične sredine, izrazitih odstopanj je malo.



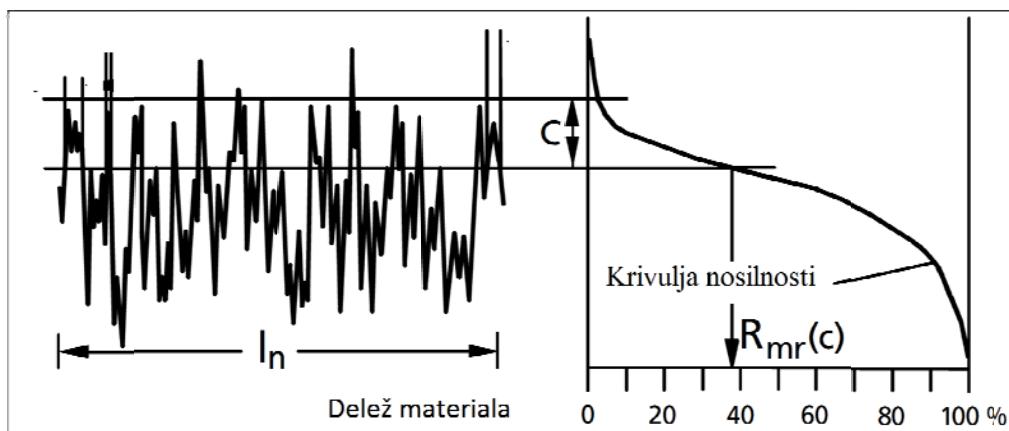
Slika 17 : Sploščenost – Rku

Kadar velja $Rku = 3$ so vrednosti spremenljivke normalno porazdeljene.

- *Nosilnost profila* (angl.: Abbot – Firestone curve):

Parameter, ki se uporablja predvsem v strojništву, z njim se ocenjuje npr. mazalne lastnosti površin v cilindrih motorjev, lepilne lastnosti površin, odpornost proti obrabi..., opisuje porazdeljenost profila površine okoli srednje aritmetične vrednosti s pomočjo kumulativne frekvenčne porazdelitve.

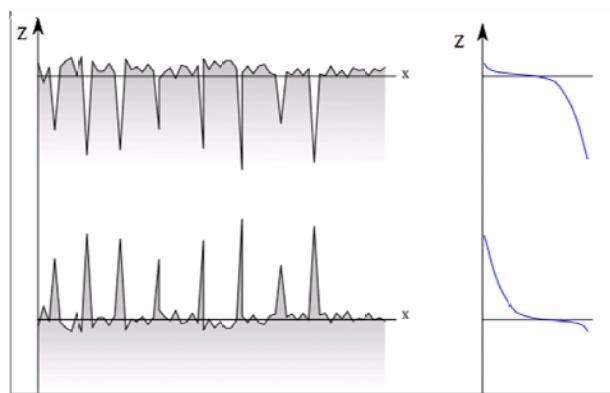
Ko rišemo graf nosilnosti (slika 18), na abscisno os nanašamo vrednosti deleža materiala (v odstotkih) in na ordinatno os pripadajočo višino profila:



Slika 18 : Abbot–Firestonova krivulja

S krivuljo nosilnosti ugotavljamo pogostnost izrazitejših odstopanj v novonastali površini kot so: zatrganine ali dvignjena lesna vlakna zaradi deformacij, kot posledice odrezovanja. Tista krivulja, ki najmanj strmo pada in katere začetni in končni del je najkrajši, predstavlja profil, ki ima najmanjši delež ekstremnih vrednosti.

Na grafu (glej sliko 19) tudi lahko razberemo kolikšen je delež bodisi visokih vrednosti (ki jih lahko opišemo kot izruvana lesna vlakna) oziroma nizkih (ki predstavljajo zatrganine v profilu).



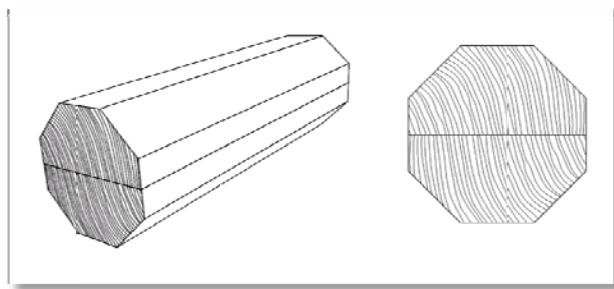
Slika 19 : Oblike krivulje nosilnosti

3 MATERIALI IN METODE

3.1 MATERIALI

3.1.1 Izdelava preizkušancev

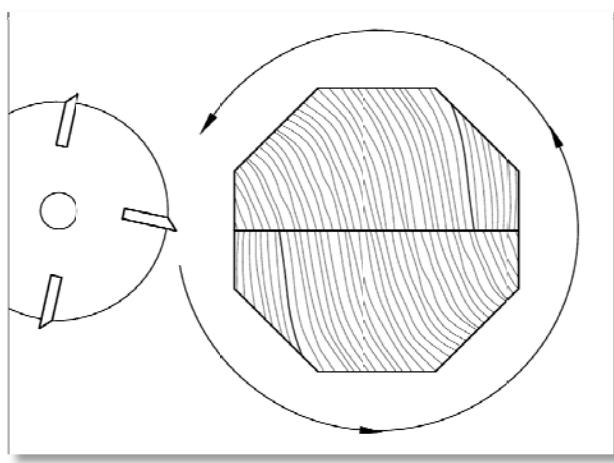
Za potrebe diplomske naloge smo uporabili preizkušance iz zračno suhe bukovine. Izdelali (krojili) smo jih iz istega elementa (slika 20), ki je bil zlepljen iz dveh kosov (iz iste žaganice), tako smo zagotovili čim bolj podobne pogoje pri obdelavi – odrezovanju za vse meritve. Izbrani les je imel enakomerne branike v povprečju široke 3,5 mm. Dimenzijske elementa pred krojenjem so bile 120 mm x 120 mm x 800 mm.



Slika 20 : Element pred krojenjem

Predpostavljali smo, da se zaradi spreminjačajočih se lastnosti lesnega materiala, pri krožni obdelavi v prečni smeri ($0^\circ - 90^\circ$) razmere spreminjajo.

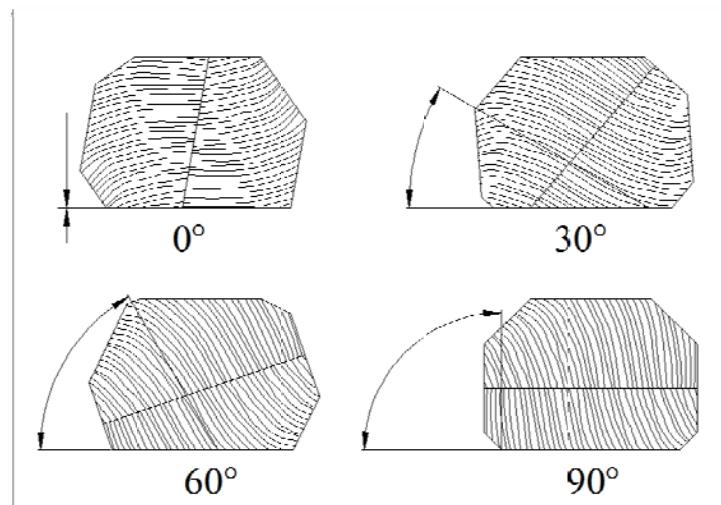
Na sliki 21 je prikazana relativna smer potovanja orodja v prečni smeri obdelave pri izdelavi izdelkov okroglih oblik. Rezalna hitrost orodja je določena z njegovim premerom in številom vrtljajev. Podajanje je izvedeno tako, da se obdelovanec zavrti za polni krog torej za 360° . Hitrost obdelave je torej določena s kotno hitrostjo (ω) obdelovanca.



Slika 21 : Relativna smer potovanja rezila

Rezalni rob orodja potuje iz radialne v tangencialno ravnino obdelovanca in obratno. Zato smo se po premisleku odločili izdelati štiri različno orientirane preizkušance (slika 22)

Orientacijo je določal kot med rezalno ravnino in tangencialnim potekom branik v prečnem prerezu obdelovanca. Koti orientacije so bili 0° , 30° , 60° in 90° in so nam omogočili ovrednotiti spremenljajoče se obdelovalne razmere po celotni poti rezkalnega orodja (krožnici). Debelina preizkušancev je znašala 10 mm (slika 23):



Slika 22 : Usmeritve preizkušancev: 0° , 30° , 60° in 90°



Slika 23 : Preizkušanci

3.1.2 Debelina odrezka

Debeline odrezovanja smo v naši raziskavi določili na podlagi izračuna dejanskih debelin odrezkov pri izdelavi okroglih izdelkov na rezkalnem stroju. Srednja debelina odrezka h_m :

... (6)

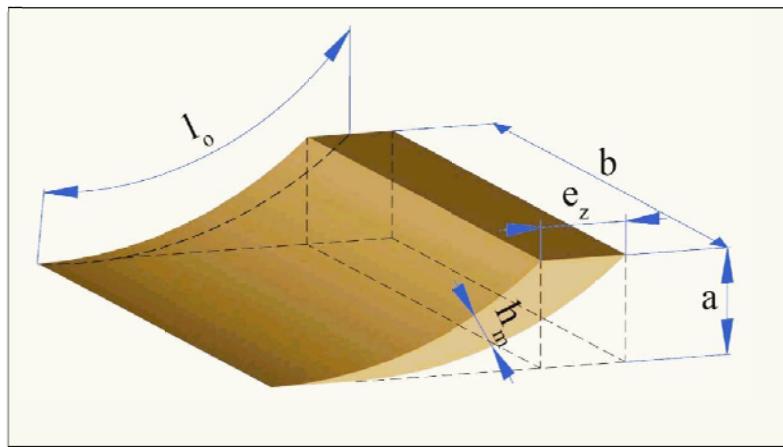
Tehnoloških parametri rezkalnega stroja določajo pomik obdelovanca na 1 zob e_z :

... (7)

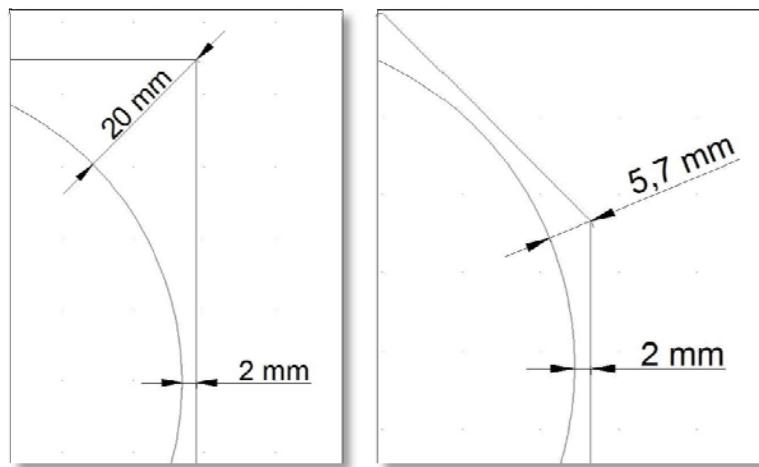
- Hitrost podajanja obdelovanca: $v_p = 5 \text{ m / min}$
- Polmer rezkalnega orodja $r = 60 \text{ mm}$
- Število rezil: $z = 3$
- Vrtilna hitrost orodja: $n = 6000 \text{ obr / min}$
- Debelina obdelave: $a_{MIN} = 2 \text{ mm} ; a_{MAX} = 20 \text{ mm}$
- Zasučni kot Ψ pove za koliko se zasuka orodje od točke ko posamezno rezilo začne odrezovati, do točke ko preneha odrezovati in se računa z enačbo:

... (8)

Slika 24 kaže dejansko debelino obdelave a pri rezkanju okroglih oblik. Le – ta neposredno vpliva na debelino odrezka h_m . Pri kvadratnih neobdelanih kosih dimenzijs 90/90 mm se debelina obdelave spreminja od 2 mm (minimalna nadmerna) do največ 20 mm v diagonalni smeri (slika 25 levo). Za obdelovance večjih dimenzijs (kot npr. preizkušanci v naši raziskavi) je smiseln izdelati osemkotne obdelovance (slika 25 desno), s tem se zmanjša debelina odjema, zato je podajanje lahko hitrejše (kar povečuje hitrost izdelave).



Slika 24 : Srednja debelina odrezka h_m (Merhar, 2013)



Slika 25 : Dejanska debelina obdelave

Preglednica 1: Dejanska debelina odrezka h_m

$a [mm]$	$\Psi [^\circ]$	$h_m [mm]$
2	14,3	0,034
20	46,2	0,106

V industrijski obdelavi je pri danih parametrih največja debelina odrezka torej 0,106 mm.

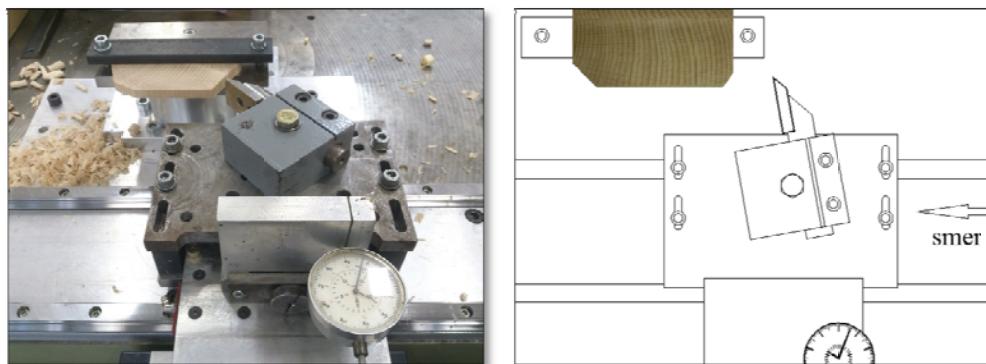
3.2 METODE DELA

3.2.1 Naprava za premočrtno odrezovanje

V naši raziskavi je vzorčna dolžina znašala 20 mm. Izvedli smo po 20.000 meritev na vsako vzorčno dolžino. Podatki so nam služili za izračun parametrov za vrednotenje hrapavosti.

Odrezovanje smo izvedli na napravi za premočrtni pomik (slika 26). Omogočila nam je natančno nastavljanje parametrov poizkusa:

- enakomerno podajalno hitrost,
- natančno nastavljanje debeline odrezka in
- nastavljanje različnih prsnih (cepilnih) kotov.



Slika 26 : Naprava za premočrtni pomik

Podajalno hitrost rezilnega orodja je določal hidravlični cilinder, ki je pomikal voziček, na katerem je bilo pritrjeno rezilno orodje in je bila za vse meritve enaka. Voziček se je pomikal po dveh tarih, brez zračnosti.

Debelino odrezka smo nastavljeni z vijačnico, na katero je bila nameščena merilna urica (na sliki 26 in 27), ki nam je zagotavljala natančno nastavljanje.

Nosilec rezilnega orodja je dopuščal nastavljanje različnih prsnih kotov.

Preizkušance smo s kovinsko letvijo pritrtili na zadostno tog kovinski podstavek, da se med odrezovanjem niso premikali. Vsak obdelovanec smo pozicionirali tako, da je bila stran namenjena za odrez, približno vzporedna s smerjo gibanja rezila, potem smo vsakokrat pred odrezovanjem naredili najprej poravnalni rez s čimer smo zagotovili vzporednost med smerjo gibanja konice noža in površine preizkušanca. Tako smo mogli nastavljati enakomerno debelino celega odrezka.



Slika 27 : Nastanek odrezka

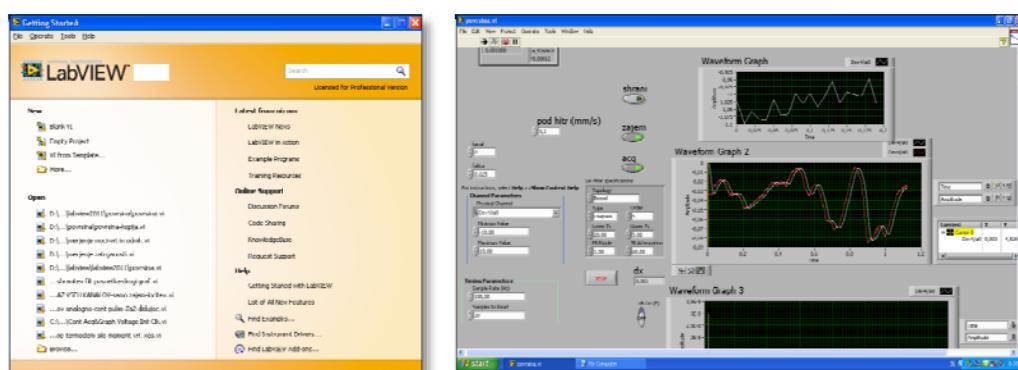
3.2.2 Laserski merilnik hrapavosti

Hrapavosti novonastale površine po obdelavi smo določali z laserskim merilnikom (slika 28). Ravnost ali neravnost površine zaznava igla na koncu ročice, ki drsi po površini. Ročica – držalo igle je vležajena v zračnem ležaju (omogoča kar najmanjše trenje), ki z majhno silo (da ne povzroča deformacij površine) pritiska navzdol proti površini, ki se meri. Hitrost pomika je $0,1 \text{ mm/s}$ in je ustrezno nizka, da ne povzroča poskakovanja merilne igle.



Slika 28 : Laserski merilnik hrapavosti

Podatke meritev smo zabeležili s programom *LabVIEW* (slika 29).



Slika 29 : Program za obdelavo podatkov: *LabVIEW*

3.2.3 Potek raziskave

V naši nalogi smo raziskovali vpliv dveh pomembnih geometrijskih dejavnikov, ki vplivata na hrapavost novonastale površine po obdelavi rezkalnega orodja:

- prsnega kota rezilnega orodja in
- debeline odrezka.

Raziskavo smo izvajali tako, da smo za vsak preizkušanec po vpetju in poravnavanju, izvedli odrezovanje ustrezne debeline (0,05 mm, 0,1 mm ali 0,15 mm), zatem smo ga takoj prestavili v laserski merilnik za merjenje hrapavosti in posneli 3 zaporedne profile. Vsak izmerjeni odsek je bil dolg 20 mm – skupno smo torej merili 60 mm dolgo površino.

Uporabili smo 20 preizkušancev. Prsni (cepilni) kot rezilnega orodja smo spremenjali. Pričeli smo z 10° in ga povečevali za deset stopinj do končnih 50° . Za vsak prjni kot smo imeli na razpolago po 4 preizkušance za vsako orientacijo lesnega tkiva: 0° , 30° , 60° in 90° . Vsak preizkušanec smo odrezovali po dvakrat za vsako od treh debelin odrezka (0,5 mm, 0,1 mm ali 0,15 mm).

Skupno število odrezovanj je bilo:

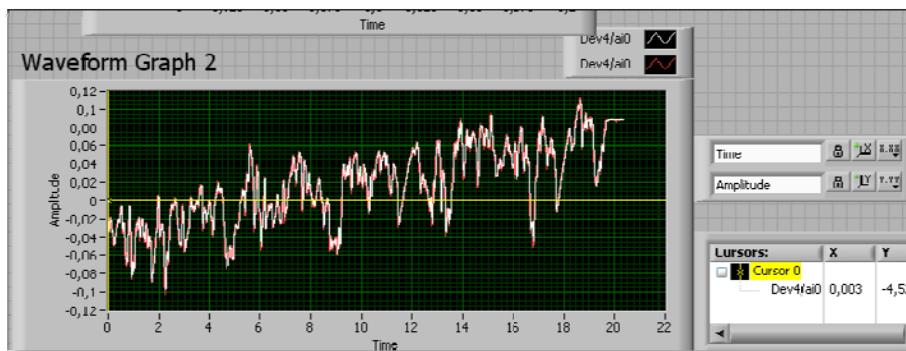
$$5 \text{ prsnih koton } \times 4 \text{ usmeritve } \times 3 \text{ debeline odrezka } \times 2 \text{ ponavljanja} = 120$$

Skupno število meritov (izvedli smo po tri meritve za vsak odrez) je bilo:

$$120 \text{ odrezov } \times 3 = 360 \text{ meritov}$$

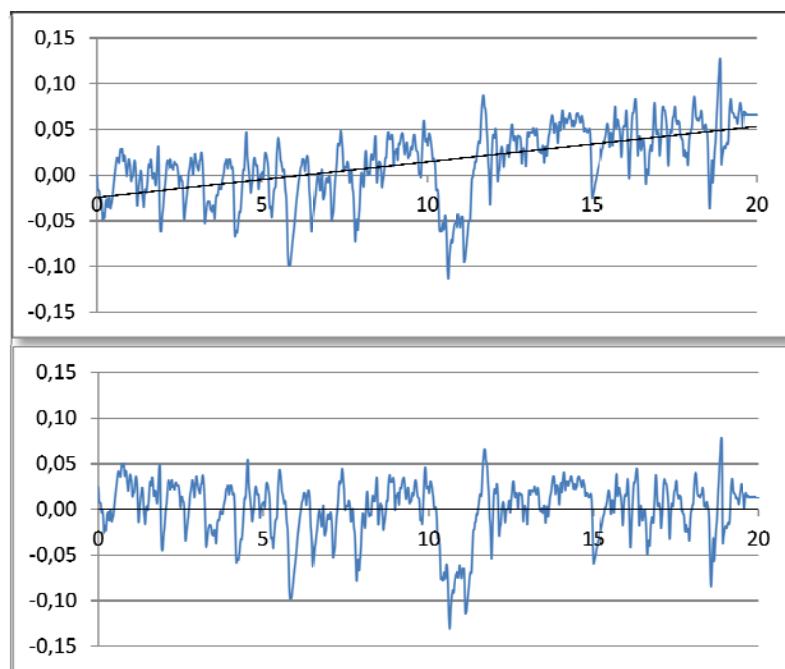
Program za obdelavo podatkov *LabVIEW* nam je omogočil snemanje hrapavosti novonastale površine. Hitrost pomikanja laserske igle je bila $0,1 \text{ mm / s}$, dolžina meritve 20 mm, torej je bilo posnetih 20.000 vrednosti za vsak odsek. Vrednosti amplitude neravnin so bile zabeležene vsako stotinko sekunde, kar pri dani hitrosti pomika pomeni po eno meritve na vsak mikro meter dolžine. Vse meritve smo potem vnesli v program *Excel*, kjer smo izračunali parametre za merjenje hrapavosti.

Kot je razvidno iz posnetka (slika 30) v programu *LabView* naj bi vrednosti hrapavosti naraščale, kar pa ne drži, saj je naraščanje posledica poševnega vpenjanja preizkušanca (glede na smer gibanja merilne igle) v nosilec – držalo na laserskem merilniku.



Slika 30 : Snemanje hrapavosti-**LabVIEW**

Ker povsem paralelno vpenjanje glede na smer gibanja laserske merilne igle ni možno, je bilo za vsako meritve potrebno izvesti korekcijo (slika 31):



Slika 31 : Vrednosti pred in po korekciji

Izračunali smo linearni trend naraščanja ali padanja vrednosti, torej smerni koeficient k (funkcija *slope* v programu *Excel*) in začetno vrednost n (funkcija *intercept* v programu *Excel*) s pomočjo katerih smo pomaknili izmerjene vrednosti v vodoravno smer. Poravnane izmerjene vrednosti smo uporabili za izračun parametrov za vrednotenje hrapavost.

4 REZULTATI IN RAZPRAVA

V raziskavi smo izvedli 360 meritev hrapavosti pri različnih prsnih kotih in debelinah odrezovanja, vendar smo se v razpravi osredotočili predvsem na najmanj in najbolj kakovostno novonastalo površino. Preostali rezultati so dodani v prilogah (glej priloge A, B,C in D).

Ker je bilo uporabljenih 20 preizkušancev, ki smo jih uporabili za vse tri debeline odreza (da bi bili pogoji čim bolj enaki) in smo jih odrezovali po dvakrat, sledi, da je vsak dobljeni rezultat povprečna vrednost šestih meritev, s čimer smo želeli zmanjšati vpliv morebitnih napak pri merjenju.

Odločili smo se predstaviti in primerjati predvsem rezultate za debelino odreza – 0,10 mm, ker smo smatrali, da je ta debelina odrezka tista, ki bi se, glede na izračune (glej poglavje 3.1.2.), v praksi pokazala kot najverjetnejša.

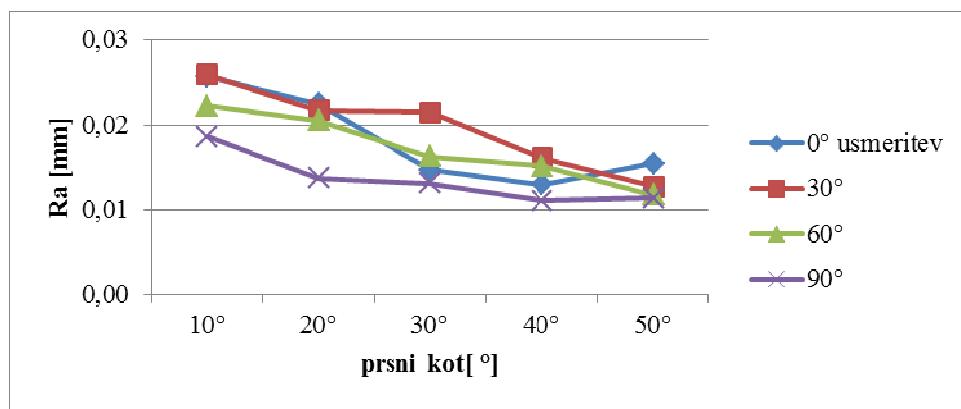
4.1 PRIMERJAVA REZULTATOV

4.1.1 Srednja mera hrapavosti– R_a

V preglednici 2 in na sliki 32 so prikazane vrednosti za parameter R_a (aritmetična srednja hrapavost). Ugotovili smo, da so največje vrednosti, torej najbolj hrapava površina, pri najmanjšem prsnem kotu (10°), kar smo tudi predvidevali. Rezilo torej kar »potiska« lesno tkivo pred seboj in ustvarja veliko poškodb – zatrganin in dvignjenih »izruvanih« vlaken (glej slika 33).

Preglednica 2: R_a , debelina odreza 0,10 mm

R_a usmeritev	prsn kot				
	10°	20°	30°	40°	50°
0°	0,0257	0,0225	0,0146	0,0130	0,0154
30°	0,0259	0,0217	0,0215	0,0161	0,0127
60°	0,0222	0,0205	0,0163	0,0151	0,0117
90°	0,0186	0,0137	0,0131	0,0110	0,0114



Slika 32 : R_a , debelina odreza 0,10 mm

Ugotavljam, da orientacija lesa (usmerjenost branik) bistveno vpliva na kakovost obdelave. Graf (slika 32) prikazuje hrapavost pri različnih orientacijah lesnega tkiva. Usmeritev lesa 0° in zlasti 30° sta povzročali slabšo kakovost novonastale površine. Za obdelavo najugodnejši bi bili elementi z usmerjenostjo branik 90° , vendar pri izdelavi okroglih izdelkov tega žal ni mogoče doseči, ker se obdelava vrši v vseh smereh.

S povečevanjem prsnega kota smo dosegli boljšo površino, vrednosti parametra R_a so padale. Pri usmeritvi lesa 0° (ki smo jo smatrali kot najslabšo za obdelavo), smo opazili, da vrednost parametra R_a doseže najnižjo vrednost pri 40° prsnem kotu, zaradi česar sklepamo, da večji prsni kot (ki pri ostalih dveh usmeritvah sicer še vpliva na nižanje R_a) ni primeren, ker je potrebno upoštevati geometrijske pogoje za izdelavo rezila. Pri prsnem kotu 40° in minimalnemu prostemu kotu 5° bi znašal ostrinski kot rezila največ 45° . Majhen ostrinski kot pa je neugoden tudi zaradi hitrejše obrabe rezila.

Slika 33 kaže preizkušanec po obdelavi pri neugodnih pogojih, medtem ko na sliki 34 vidimo preizkušanec pri najbolj kakovostni obdelavi. Razlika je očitna.

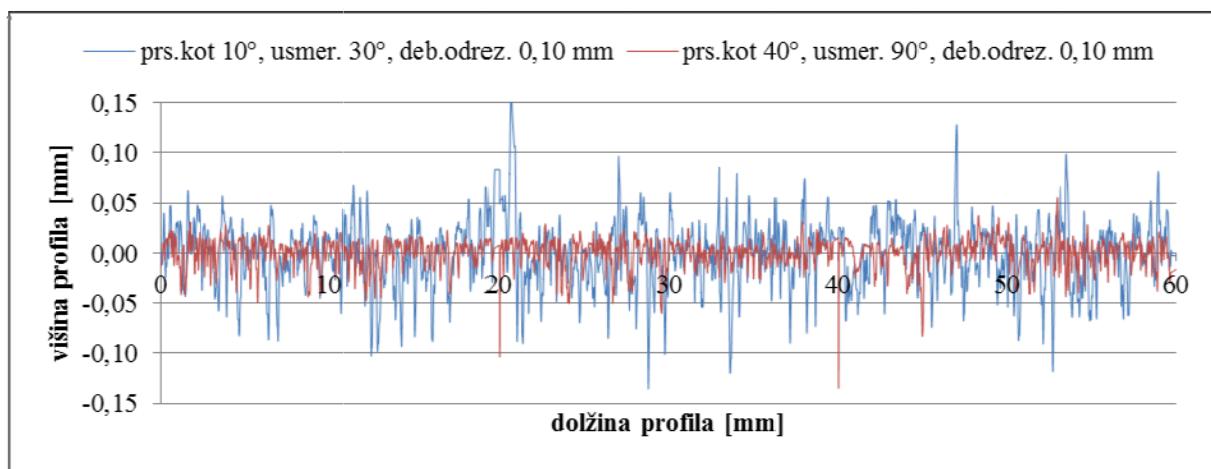


Slika 33 : Preizkušanec; prsni kot 10° , usmeritev 30° , debelina odreza 0,1 mm



Slika 34 : Preizkušanec; prsni kot 40° , usmeritev 90° , debelina odreza 0,1 mm

Graf na sliki 35 prikazuje primerjavo obeh skrajnih profilov – najmanj in najbolj kakovostnega. Posnetek profilov le še potrjuje veliko razliko v hrapavosti, ki je opazna tudi na fotografijah 33 in 34.



Slika 35 : Primerjava najbolj (prsn. kot 10° , usmeritev 30° , deb. odreza $0,10\text{ mm}$) in najmanj (prsn. kot 40° , usmeritev 90° , deb. odreza $0,10\text{ mm}$) hrapavega profila

4.1.1.1 Vpliv debeline odreza na parameter R_a

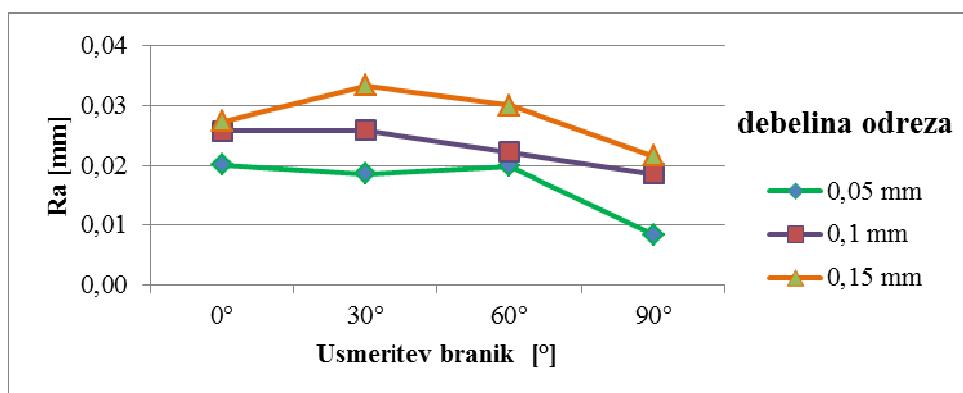
Preglednici 3 in 4 ter grafa na slikah 36 in 37 nam pokažejo kako vpliva debelina odrezovanja na kakovost novonastale površine. Predvidevali smo, da večja debelina odreza povzroča večjo hrapavost. Vendar smo opazili znatne razlike v hrapavosti med površino, ki smo jo odrezovali s prsnim kotom 10° in tisto s 40° .

Pri obdelavi z majhnim prsnim kotom (10°) orientiranost preizkušancev povzroča veliko variabilnost v hrapavosti novonastale površine, medtem ko se pri prsnem kotu 40° (ki smo ga ocenili kot najugodnejšega) vpliv usmeritve lesa bistveno zmanjša. Prav tako se zmanjša vpliv debeline odreza.

Lahko smatramo, da je v naši raziskavi odrezovanje s prsnim kotom 40° povzročalo najmanjšo hrapavost. Pri tem prsnemu kotu debelina odreza in usmeritev le malo vplivata na variabilnost rezultatov – razlika med največjo in najmanjšo vrednostjo znaša le $0,008\text{ mm}$, medtem ko je pri prsnem kotu 10° razlika kar $0,025\text{ mm}$.

Preglednica 3: Vpliv debeline odreza na parameter R_a , prsn. kot 10°

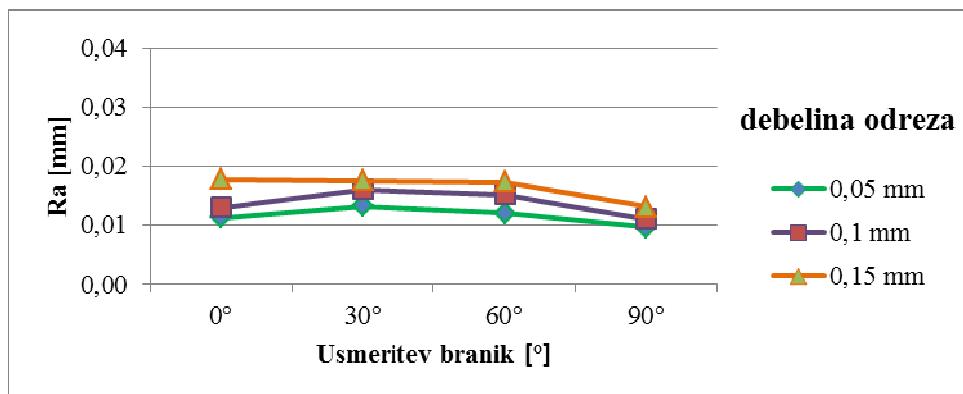
R_a prsn. kot 10°	usmeritev				
	deb. odr.	0°	30°	60°	90°
0,05 mm		0,0201	0,0185	0,0199	0,0084
0,10 mm		0,0257	0,0259	0,0222	0,0186
0,15 mm		0,0274	0,0334	0,0301	0,0216



Slika 36 : Vpliv debeline odrezovanja na R_a pri prsnem kotu 10°

Preglednica 4: Vpliv debeline odreza na parameter R_a , prjni kot 40°

Ra prjni kot 40°	usmeritev			
	0°	30°	60°	90°
deb. odr.				
0,05 mm	0,0113	0,0132	0,0120	0,0097
0,10 mm	0,0130	0,0161	0,0151	0,0110
0,15 mm	0,0177	0,0175	0,0174	0,0131



Slika 37 : Vpliv debeline odrezovanja na R_a pri prsnem kotu 40°

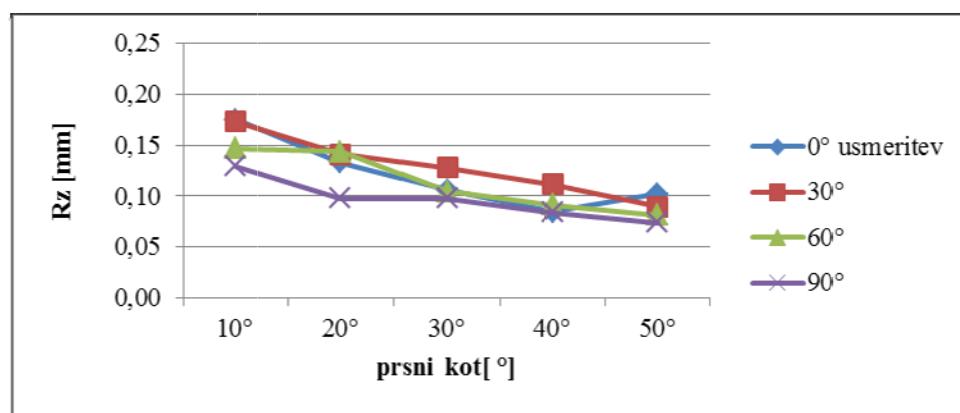
4.1.2 Srednja globina hrapavosti– R_z

V preglednici 5 so navedene vrednosti za parameter R_z (srednja globina hrapavosti po DIN 4768), to je povprečje razlik med najvišjo in najnižjo točko profila na petih enako dolgih odsekih profila. Pomen parametra je, da zmanjšuje vpliv morebitne ene same zelo ekstremne vrednosti (npr. zelo globoke zatrganine).

Na grafu (slika 38) opazimo podoben trend padanja vrednosti, kot pri parametru R_a . Največje vrednosti so bile pri usmeritvi 0° in 30° . Vse vrednosti so padale s povečevanjem prsnega kota. Na grafu (slika 38) opazimo, da R_z pada do prsnega kota 40° , potem njegova vrednost ponovno prične naraščati. Tako smo ugotovili, da tudi parameter R_z kaže na to, da je prjni kot 40° najugodnejši.

Preglednica 5: R_z pri debelini odreza 0,10 mm

R_z usmeritev	prsn kot				
	10°	20°	30°	40°	50°
0°	0,1753	0,1333	0,1062	0,0847	0,1024
30°	0,1733	0,1412	0,1277	0,1117	0,0896
60°	0,1467	0,1439	0,1046	0,0915	0,0814
90°	0,1290	0,0980	0,0978	0,0841	0,0736

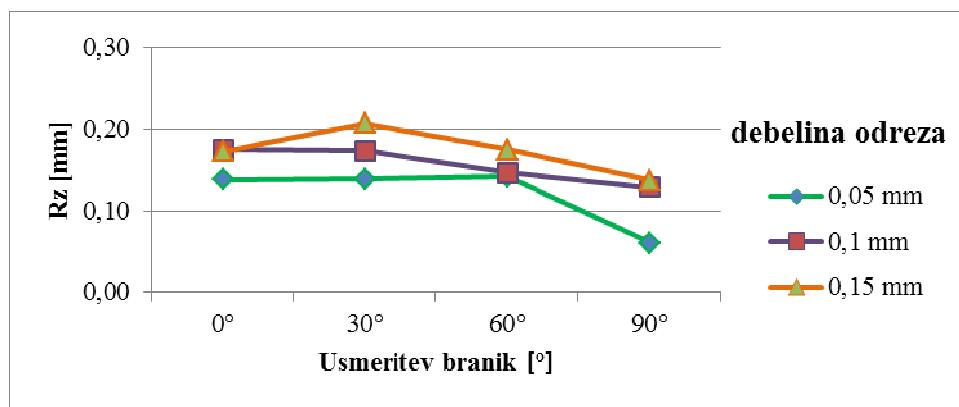


Slika 38 : R_z , debelina odreza 0,10 mm

4.1.2.1 Vpliv debeline odreza na parameter R_z :

Preglednica 6: Vpliv debeline odreza na parameter R_z , prsn kot 10°

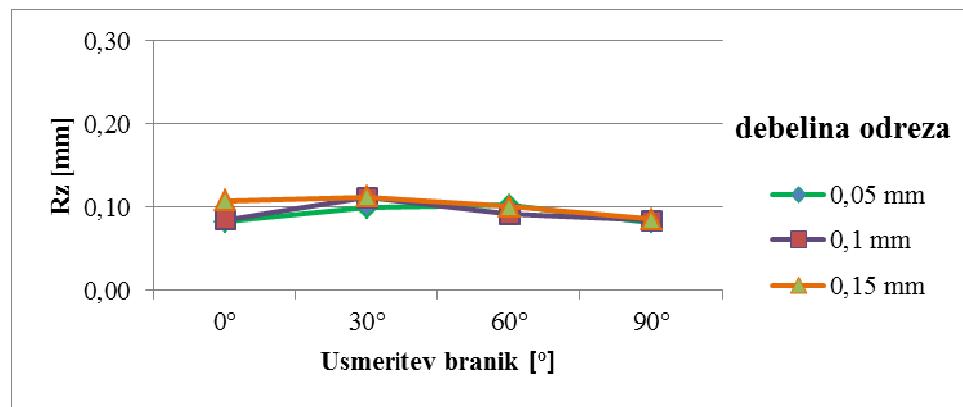
deb. odr.	usmeritev			
	0°	30°	60°	90°
0,05 mm	0,1386	0,1392	0,1420	0,0609
0,10 mm	0,1753	0,1733	0,1467	0,1290
0,15 mm	0,1729	0,2076	0,1755	0,1379



Slika 39 : Vpliv debeline odrezovanja na R_z pri prsnem kotu 10°

Preglednica 7: Vpliv debeline odreza na parameter Rz , prsní kot 40°

Rz prsní kot 40°		usmeritev			
deb. odr.		0°	30°	60°	90°
0,05 mm		0,0826	0,0995	0,1025	0,0813
0,10 mm		0,0847	0,1117	0,0915	0,0841
0,15 mm		0,1075	0,1123	0,1009	0,0853



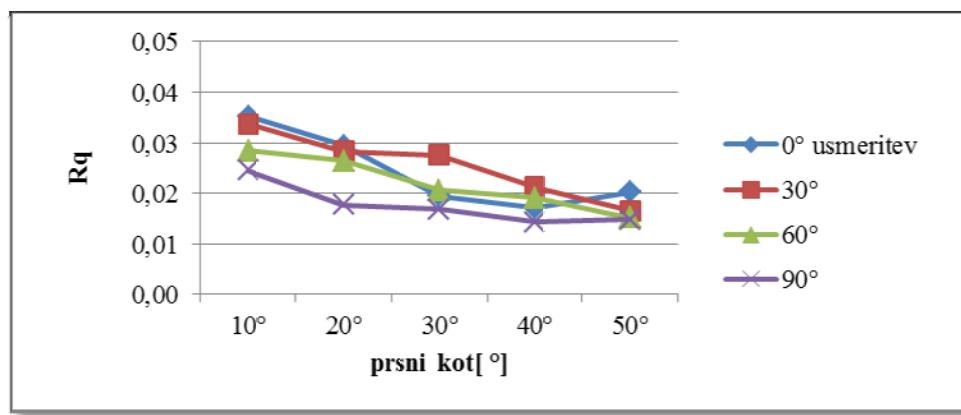
Slika 40 : Vpliv debeline odrezovanja na Rz pri prsnem kotu 40°

Ko primerjamo dobljene rezultate parametra Rz za prsní kot 10° (preglednica 6), se kaže podoben trend (slika 39) kot pri parametru Ra , medtem ko lahko ugotovimo, da pri prsnem kotu 40° (preglednica 7) debelina odreza in usmeritev preizkušancev skoraj ne vplivata na variabilnost hrapavosti (slika 40). Razlika med najvišjo in najnižjo vrednostjo je pri prsnem kotu 40° (0,031 mm) skoraj petkrat manjša od tiste pri prsnem kotu 10° (0,147 mm).

4.1.3 Standardni odklon – Rq

Preglednica 8: Rq pri debelini odreza 0,10 mm

Rq	usmeritev	prsní kot				
		10°	20°	30°	40°	50°
0°		0,0353	0,0295	0,0195	0,0172	0,0203
30°		0,0338	0,0283	0,0276	0,0213	0,0166
60°		0,0284	0,0265	0,0207	0,0192	0,0152
90°		0,0246	0,0178	0,0169	0,0144	0,0149



Slika 41 : Rq , debelina odreza 0,10

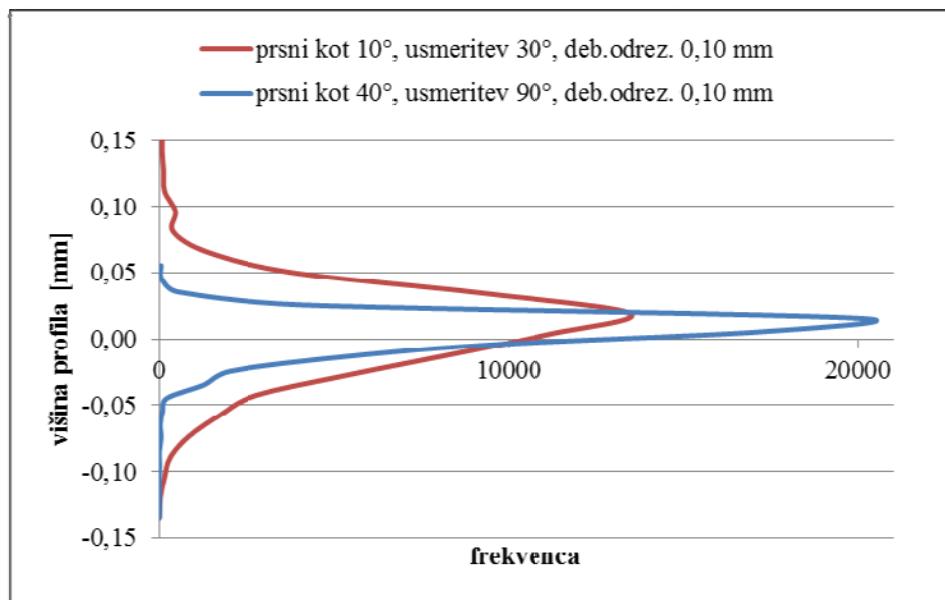
4.1.4 Poševnost (angl.: skewness) – Rsk

Parameter Rsk je statistična mera za asimetrijo porazdelitve krivulje (profila površine) glede na aritmetično srednjo vrednost – torej glede na parameter Ra .

Vsi izračuni, pri vseh pogojih obdelave, so nam dali negativne vrednosti. Zaradi tega smatramo, da površina, ki smo jo obravnavali, ni imela izrazitejših izbočin (ekstremnih vrhov), ki bi jih npr. povzročala izruvana lesna vlakna.

Na sliki 42 je graf za parameter Rsk za površini, ki smo ju opredelili kot najbolj in najmanj hrapavo. V obeh primerih sta vrednosti negativni, kar pomeni, da je delež profila, katerega vrednosti so manjše od aritmetične sredine (Ra), večji.

Vrednost parametra Rsk za prsn. kot 10° , usmeritev 30° in debelino odreza $0,10$ mm znaša $-0,354$, medtem ko za prsn. kot 40° , usmeritev 90° in debelino odreza $0,10$ mm $-1,1881$. Nižja absolutna vrednost nam pove, da so vrednosti bolj enakomerno porazdeljene v eno ali drugo stran, torej tak profil ima podobno veliko izbočin kot vbočin.



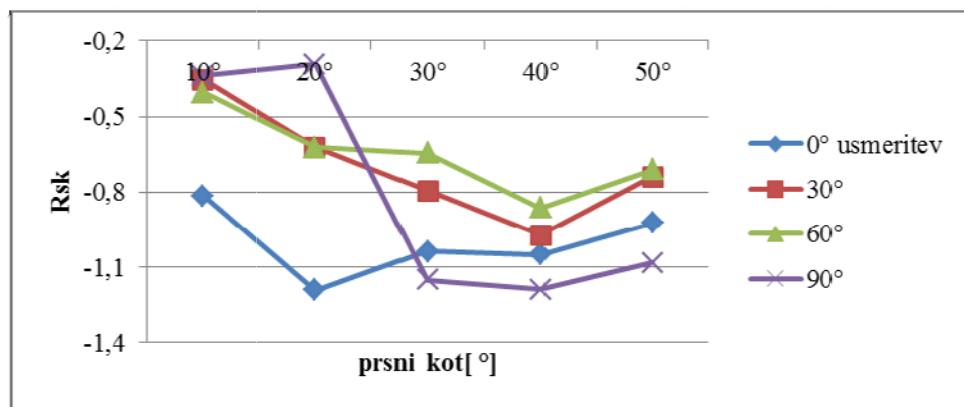
Slika 42 : Primerjava Rsk pri najbolj in najmanj hrapavi površini

Zato sklepamo, da je pri obdelavi s prsnim kotom 10° vendarle zaznati večji delež profila, nad aritmetično sredino, kot pri obdelavi s prsnim kotom 40° , kar pripisujemo večjemu deležu »izruvanih« vlaken. Tudi »širina« krivulje je znatno večja pri 10° prsnem kotu – od 0,15 mm tako v pozitivno kot negativno smer, medtem ko pri obdelavi s prsnim kotom 40° vrednosti navzgor le malo presegajo 0,05 mm, iz česar lahko trdimo, da je delež »izruvanih« vlaken res manjši.

Vrednosti parametra Rsk (slika 43) se z večanjem prsnega kota povečujejo (v absolutnem smislu), kar pomeni, da je pri večjih prsnih kotih obdelave čedalje večja gostota profila negativna – torej manjša od sredne vrednosti, od parametra Ra , kar kaže, da je vse manj »iztrganih« vlaken in predvsem vbočine vplivajo na hrapavost. Trend padanja vrednosti parametra, zaradi večanja prsnega kota, torej ne pomeni večje hrapavosti (kar sta nam pokazala že parametra Ra in Rz).

Preglednica 9: Poševnost (angl.: skewness) Rsk

Rsk	usmeritev	prsn kot				
		10°	20°	30°	40°	50°
	0°	-0,8149	-1,1915	-1,0366	-1,0500	-0,9240
	30°	-0,3540	-0,6209	-0,7933	-0,9712	-0,7388
	60°	-0,4034	-0,6209	-0,6451	-0,8624	-0,7114
	90°	-0,3386	-0,2931	-1,1524	-1,1881	-1,0840



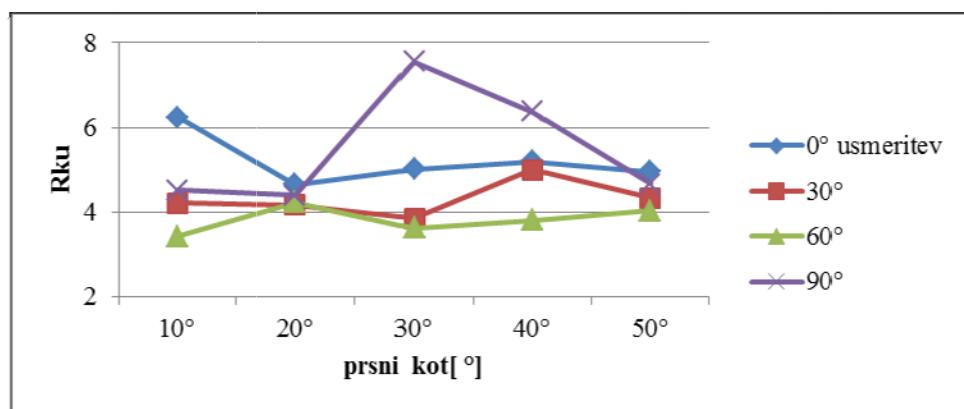
Slika 43 : Poševnost (angl.: skewness) Rsk

4.1.5 Sploščenost (angl.: kurtosis) – Rku

Vrednosti parametra Rku (preglednica 10) nimajo izrazitega trenda padanja oziroma naraščanja (slika 44). Vse vrednosti so višje od 3, oblike porazdelitve so koničaste, iz česar sledi, da imajo obravnavane površine profile, ki imajo velik delež vrednosti, ki odstopajo od aritmetične srednje vrednosti. Parameter nam ne pove, v kateri smeri je teh vrednosti več (vrhov ali dolin), smo pa že pri obravnavanju prejšnjega parametra – poševnosti ugotovili, da je delež dolin večji (ker je $Rsk < 0$).

Preglednica 10: Sploščenost (angl.: kurtosis)–**Rku**

Rku usmeritev	prsni kot				
	10°	20°	30°	40°	50°
0°	6,2332	4,6410	5,0164	5,1865	4,9513
30°	4,2084	4,1653	3,8413	4,9988	4,3355
60°	3,4273	4,2260	3,6226	3,7943	4,0340
90°	4,5091	4,3942	7,5517	6,3668	4,6574



Slika 44 : Sploščenost (angl.: kurtosis)–**Rku**

Oba parametra (Rsk in Rku) je smiselno obravnavati skupaj. Pomagata nam bistveno opisati profil površine in deleže izbočin oziroma vbočin, česar se ne da razbrati le iz parametrov srednjih vrednosti.

4.1.6 Krivulja nosilnosti (angl.: Abbot – Firestone curve)

Krivulja nosilnosti (angl.: Abbot–Firestone curve) je še en parameter, s katerim smo poskušali podrobnejše opisati značilnosti obravnavanih profилov, kot že s prejšnjima dvema parametromi – Rsk in Rku .

S pomočjo grafov smo prikazali kako je porazdeljena celotna merjena dolžina profila. Natančne matematične obravnave krivulje nosilnosti nismo naredili predvsem zaradi tega, ker ima les, ki je naravni kompozitni material, anizotropne lastnosti, zaradi katerih je mogoča variabilnost tudi med preizkušanci iste lesne vrste.

Pri obdelavi namreč nastaja nova površina, ki ima veliko naključnih topografskih značilnosti, kot so zatrganine in dvignjena – izruvana vlakna, ki so povsem neponavljaljajoče – naključne.

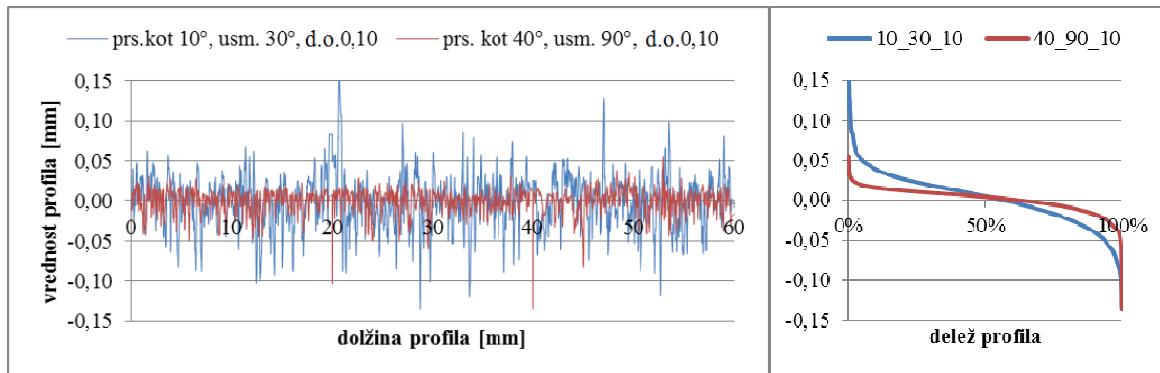
Takšne posebnosti se da razbrati iz grafov nosilnosti.

Začetni strmo padajoč del krivulje predstavlja delež dvignjenih (izruvanih) lesnih vlaken, končni strmo padajoč del krivulje pa lahko opišemo kot zatrganine, torej večje vbočine na merjenemu profilu.

Osrednji del krivulje, ki se manj strmo spušča, nam kaže delež profila, kjer je bila obdelava kvalitetnejša, površina manj hrapava.

Na sliki 45 lahko primerjamo krivulje nosilnosti za oba primera, ki sta se v naši raziskavi pri debelini odreza 0,10 mm pokazala kot najbolj (prsni kot 10°, usmeritev tkiva 30°) in

najmanj (prsni kot 40° , usmeritev tkiva 90°) hrapava. Zraven obeh krivulj nosilnosti je dodan profil treh zaporednih merjenih dolžin (celotna dolžina, ki smo jo merili – 60 mm). Razlika je precejšnja.



Slika 45 : Primerjava profilov in krivulj nosilnosti za najbolj in najmanj hrapavi površini pri debelini odreza 0,10 mm

5 SKLEPI

Cilj diplomskega projekta je bil ugotoviti ali lahko s spremjanjem tehnoloških in konstrukcijskih parametrov lesnoobdelovalnega orodja vplivamo na kakovost površine v prečni smeri obdelave.

Raziskava je pokazala, da standardna orodja, ki so običajno namenjena za vzdolžno obdelavo in imajo prsne kote okoli 20° , niso najbolj primerna za obdelavo v prečni smeri, saj je dobljena površina preveč hrapava in nadaljnji tehnološki postopki (predvsem brušenje) prezahtevni. Slaba kvaliteta obdelane površine je še posebej izrazita na predelih, kjer je usmerjenost branik pod kotom 0° . Tu se pojavljajo zatrganine in izruvana vlakna in predstavljajo še posebej velik problem pri nadaljnji obdelavi.

Ugotovili smo, da bi bilo za obdelavo bukovine v prečni smeri ($0^\circ - 90^\circ$) smiselno izdelati orodje, ki bi imelo prsni (cepilni) kot 40° . Debelina odreza pri tem kotu skoraj ne vpliva na hrapavost, medtem ko je njen vpliv pri manjših prsnih kotih izrazitejši. Prav tako je vpliv orientacije branik pri prsnem kotu 40° najmanjši.

Obrabe rezila v tej raziskavi zaradi majhnega števila odrezovanj nismo mogli obravnavati, vendar lahko predvidevamo, da bi bila le – ta večja, kot pri orodjih z manjšimi prsnimi koti. Povečevanje prsnega kota rezila zahteva zmanjšanje ostrinskega kota rezila, kar pospešuje obrabo. Material za rezila s tako velikim prsnim kotom bi torej moral zagotavljati ustrezno žilavost ob upoštevanju še minimalno dopustne trdote.

6 VIRI

- Bučar B., 2007. Mehanska obdelava. Gradivo s predavanj–Mehanska obdelava lesa.
Ljubljana, Biotehniška fakulteta, Oddelek za lesarstvo.
http://les.bf.uni-lj.si/uploads/media/predavanje08-specificna_rezalna_sila.pdf
- Čufar K., 2006. Anatomija lesa. Univerzitetni učbenik. Ljubljana, Biotehniška fakulteta,
Oddelek za lesarstvo: 185 str.
- Dinwoodie J. M. 1989. Institute of metals.
http://classes.mst.edu/civeng120/lessons/wood/cell_structure/index.html
- Flexbar machine corporation. Primerjalne ploščice.
<http://www.flexbar.com/shop/pc/SURFACE-FINISH-COMPARATOR-PLASTIC-p4483.htm>
- Gorišek Ž. 2009. Les: zгадba in lastnosti: njegova variabilnost in
heterogenost. Ljubljana, Biotehniška fakulteta, Oddelek za lesarstvo. 178 str.
- Medič M. 2001 Lesarsko strojništvo. Univerzitetni učbenik. Ljubljana, Biotehniška
Fakulteta, Oddelek za lesarstvo: 336str.
- Merhar M. 2006. Nastanek odrezka. Gradivo s predavanj – Mehanska obdelava lesa.
Ljubljana, Biotehniška fakulteta, Oddelek za lesarstvo.
http://les.bf.uni-lj.si/uploads/media/predavanje06-nastanek_odrezka.pdf
- Naylor A., Hackney P., 2013. A review of wood machining literature with a special focus
on sawing.
https://www.ncsu.edu/bioresources/BioRes_08/BioRes_08_2_3122_Naylor_Hackney_Review_Wood_Machining_Focus_Sawing_3847.pdf
- Wikipedia, Prosta enciklopedija. Surface roughness.
https://en.wikipedia.org/wiki/Surface_roughness

ZAHVALE

Zahvaljujem se doc. dr. Dominiki Gornik Bučar za mentorstvo in pomoč pri oblikovanju diplomskega projekta.

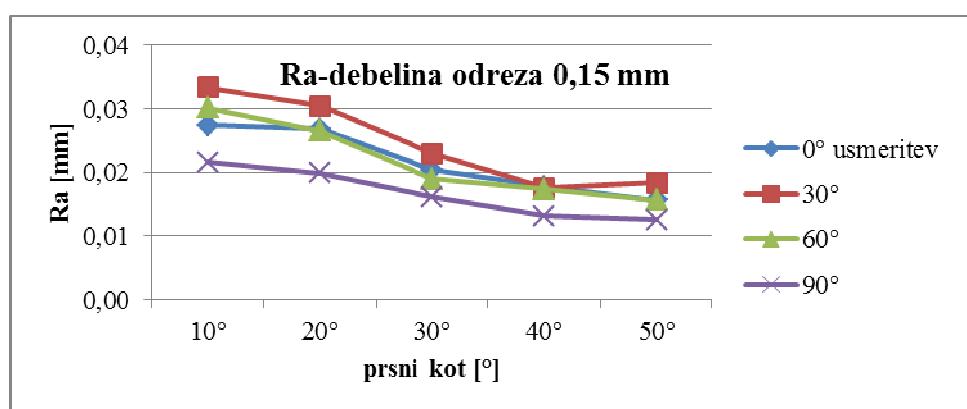
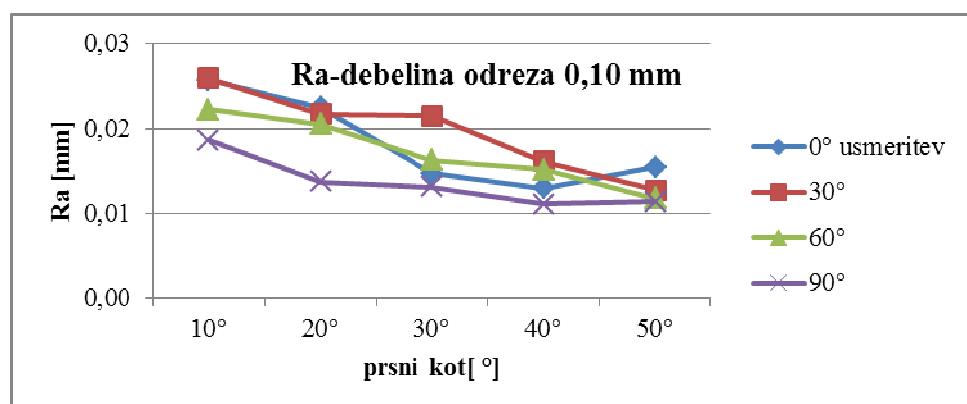
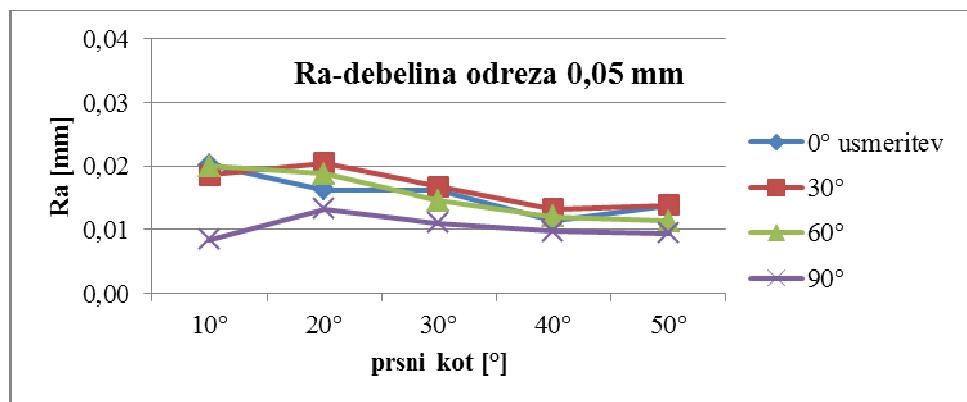
Posebej se zahvaljujem somentorju doc. dr. Miranu Merharju za odlično vodenje pri projektu, za pomoč v laboratoriju in koristne ter natančne napotke.

Prav tako se zahvaljujem prof. dr. Željku Gorišku za strokovno recenzijo.

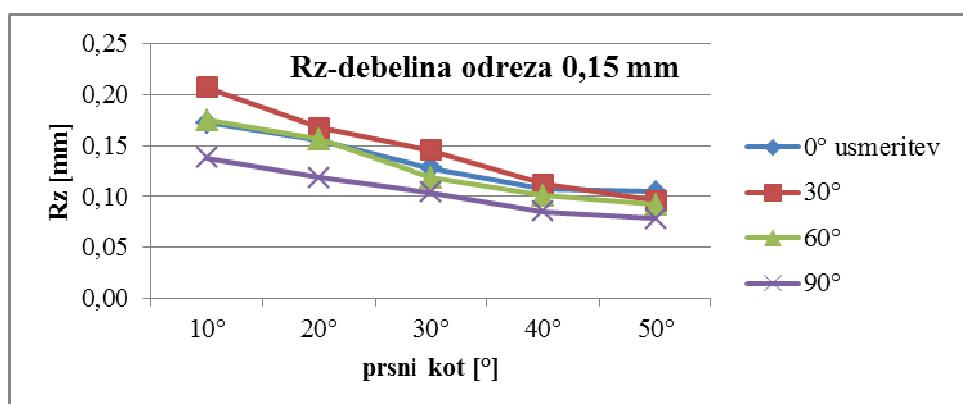
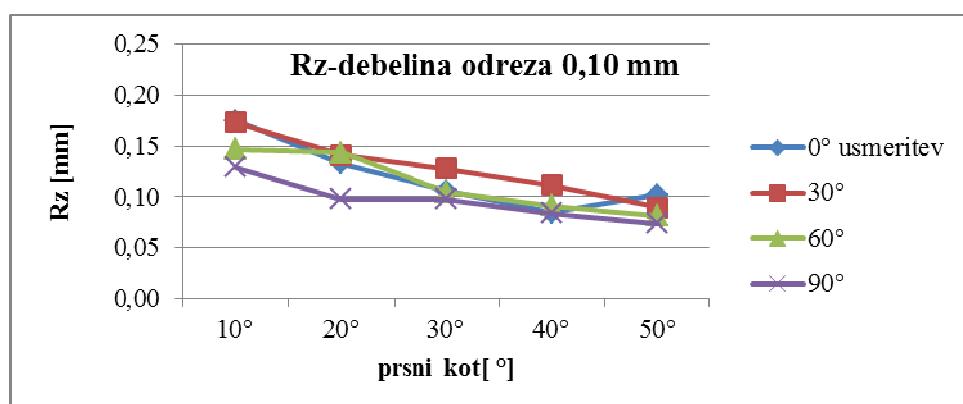
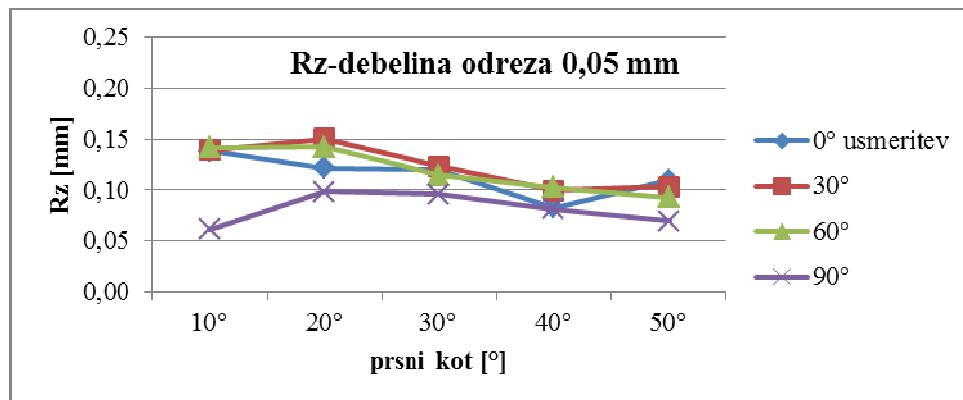
PRILOGA A

GRAFI ZA PARAMETRE Ra, Rz, Rsk IN Rku

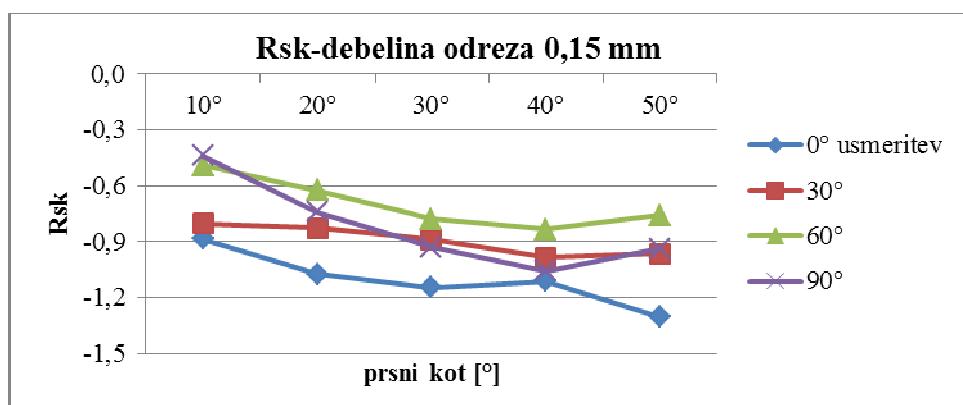
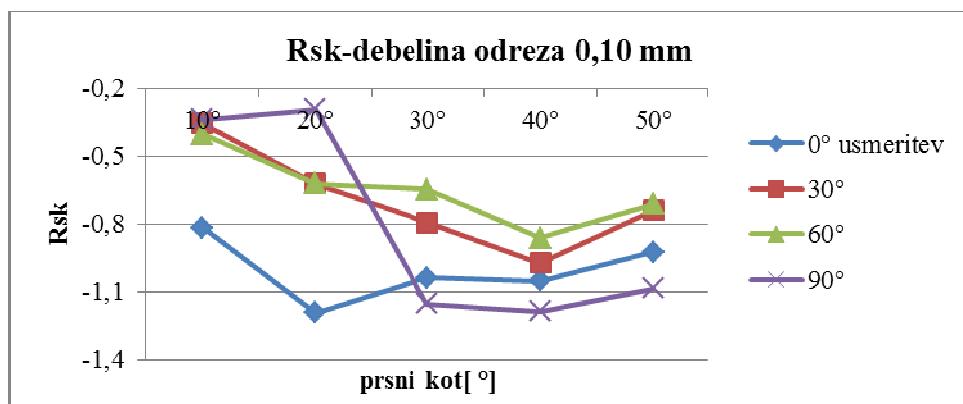
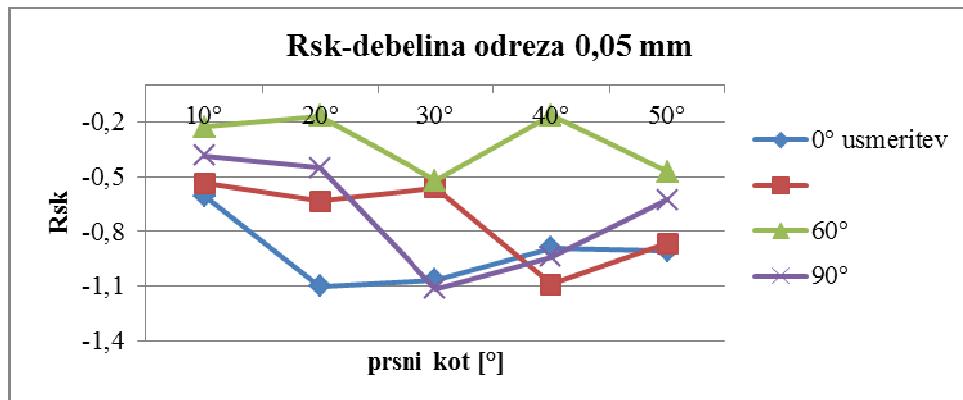
- Aritmetična srednja vrednost R_a :



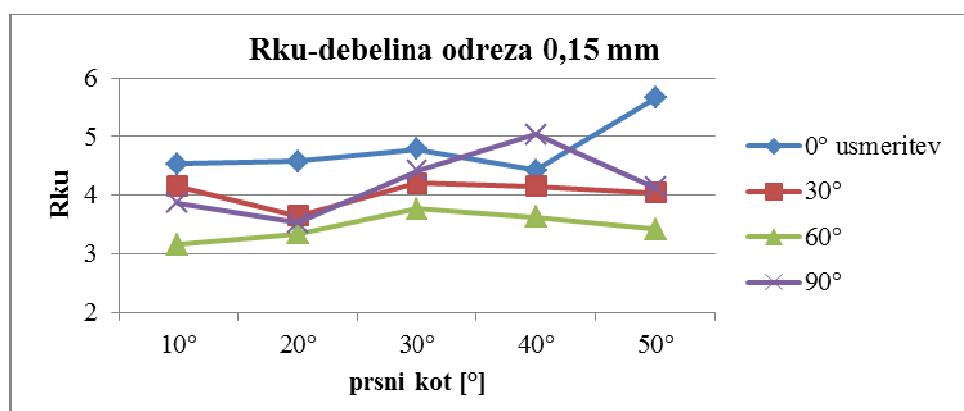
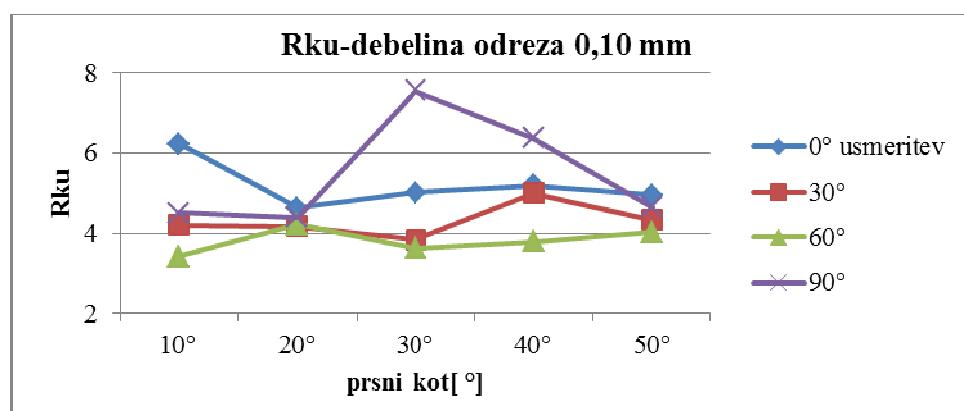
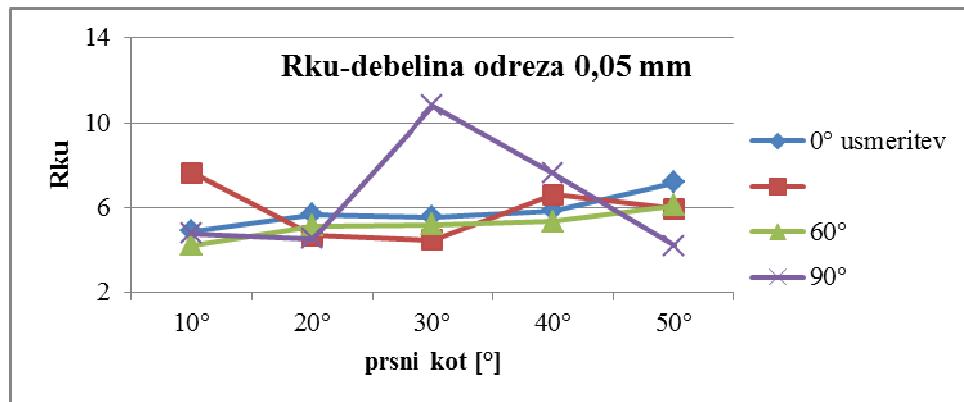
- Srednja globina hrapavosti Rz (po DIN 4768):



- Poševnost **Rsk** (angl.: skewness):

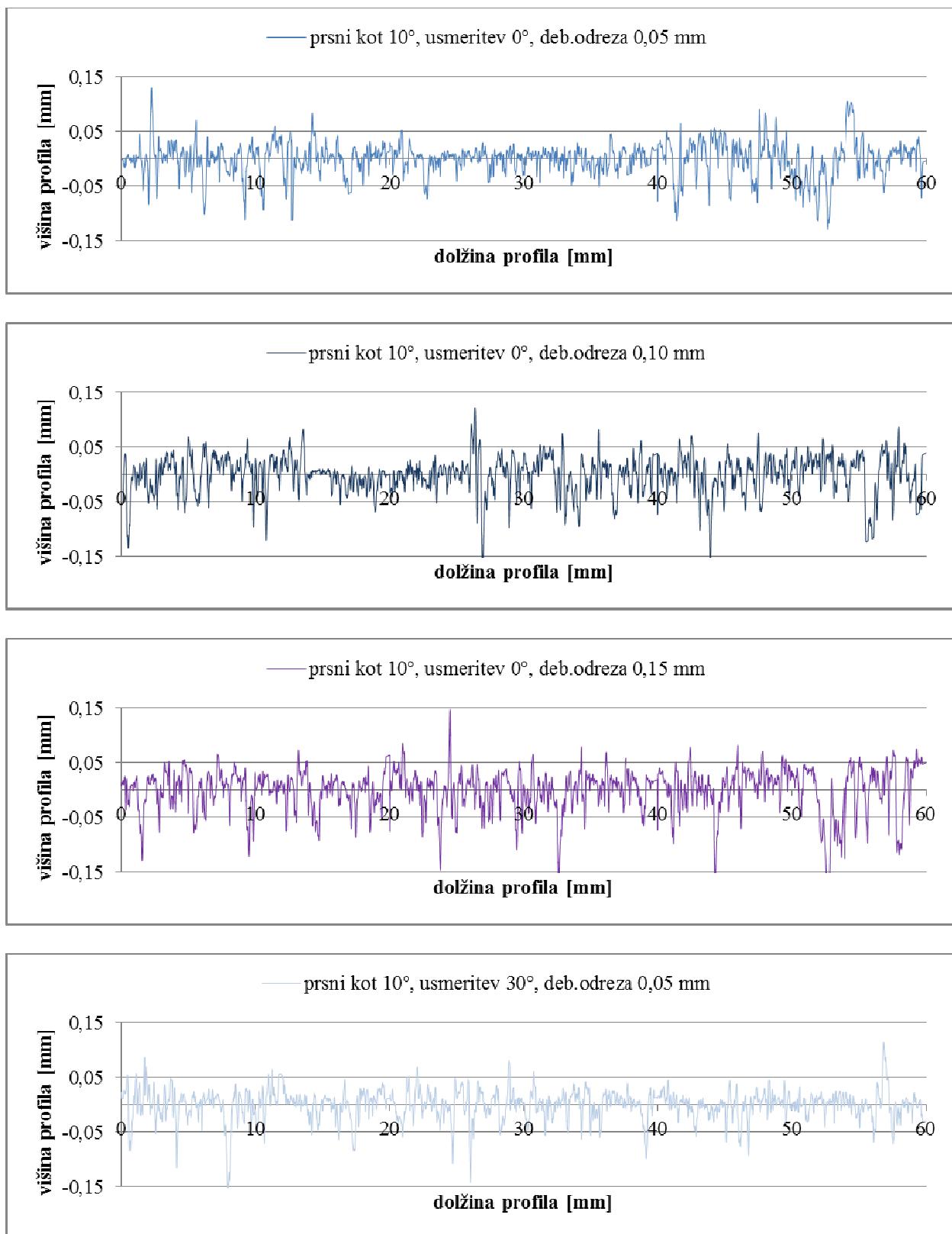


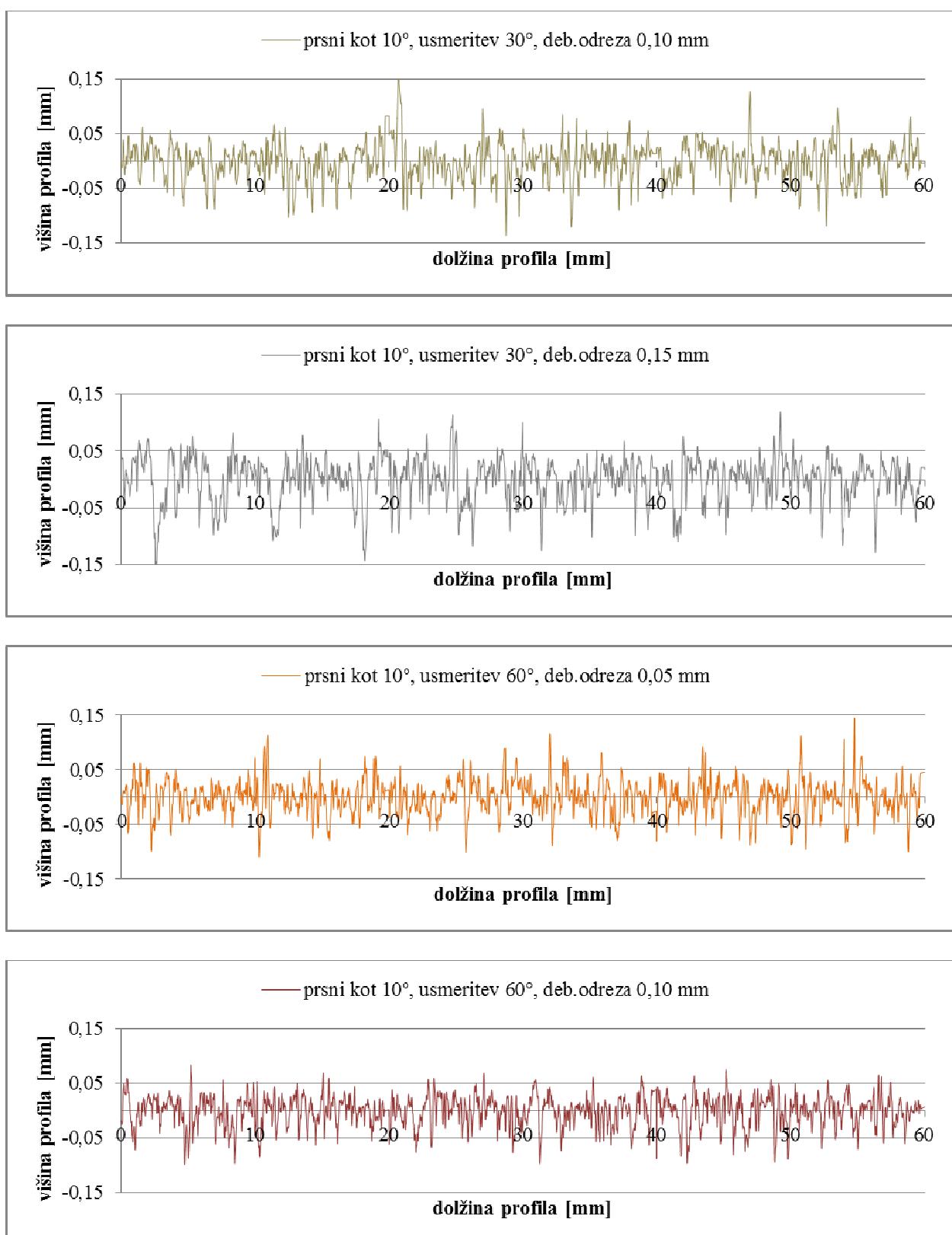
- Sploščenost **Rku** (angl.: kurtosis):

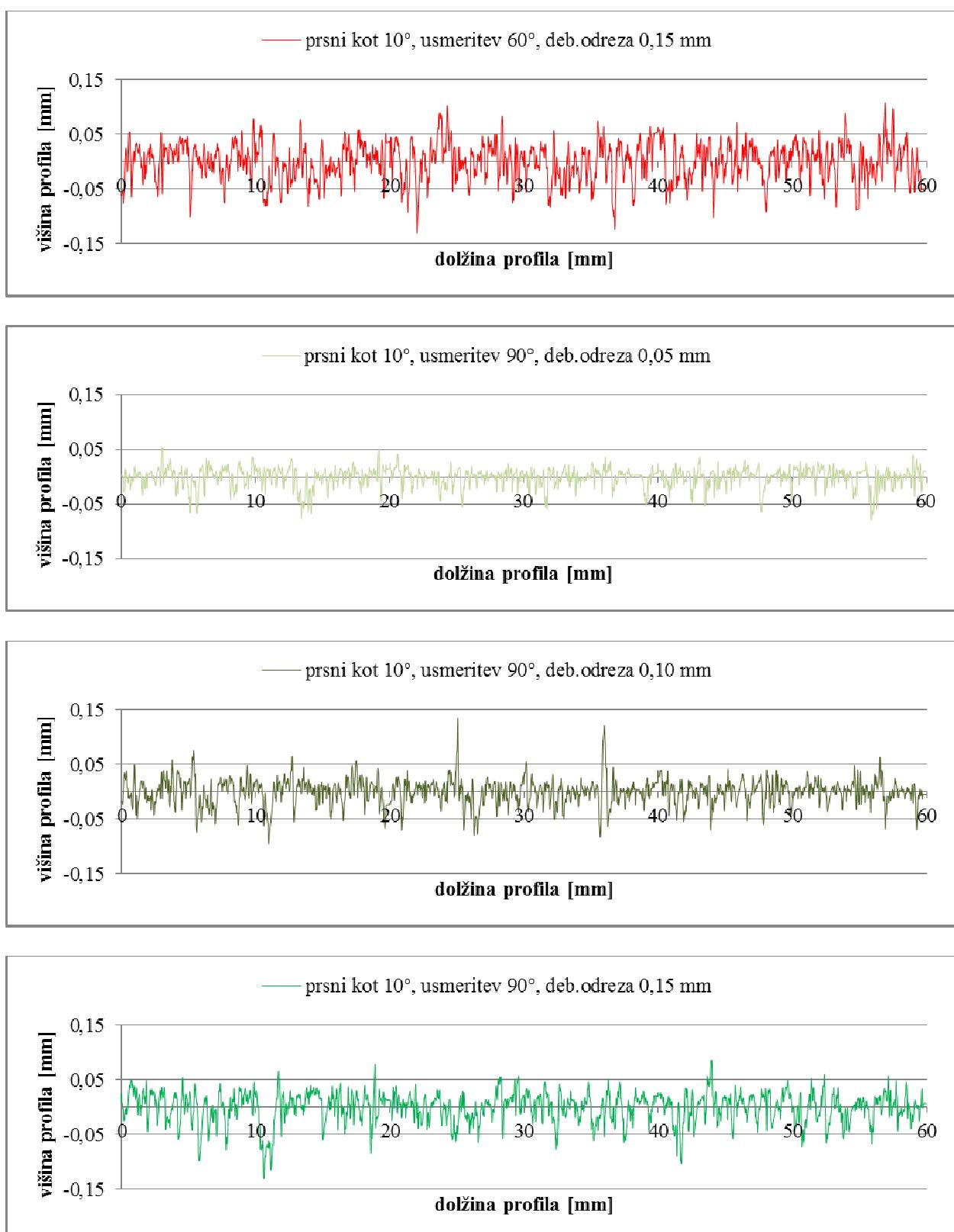


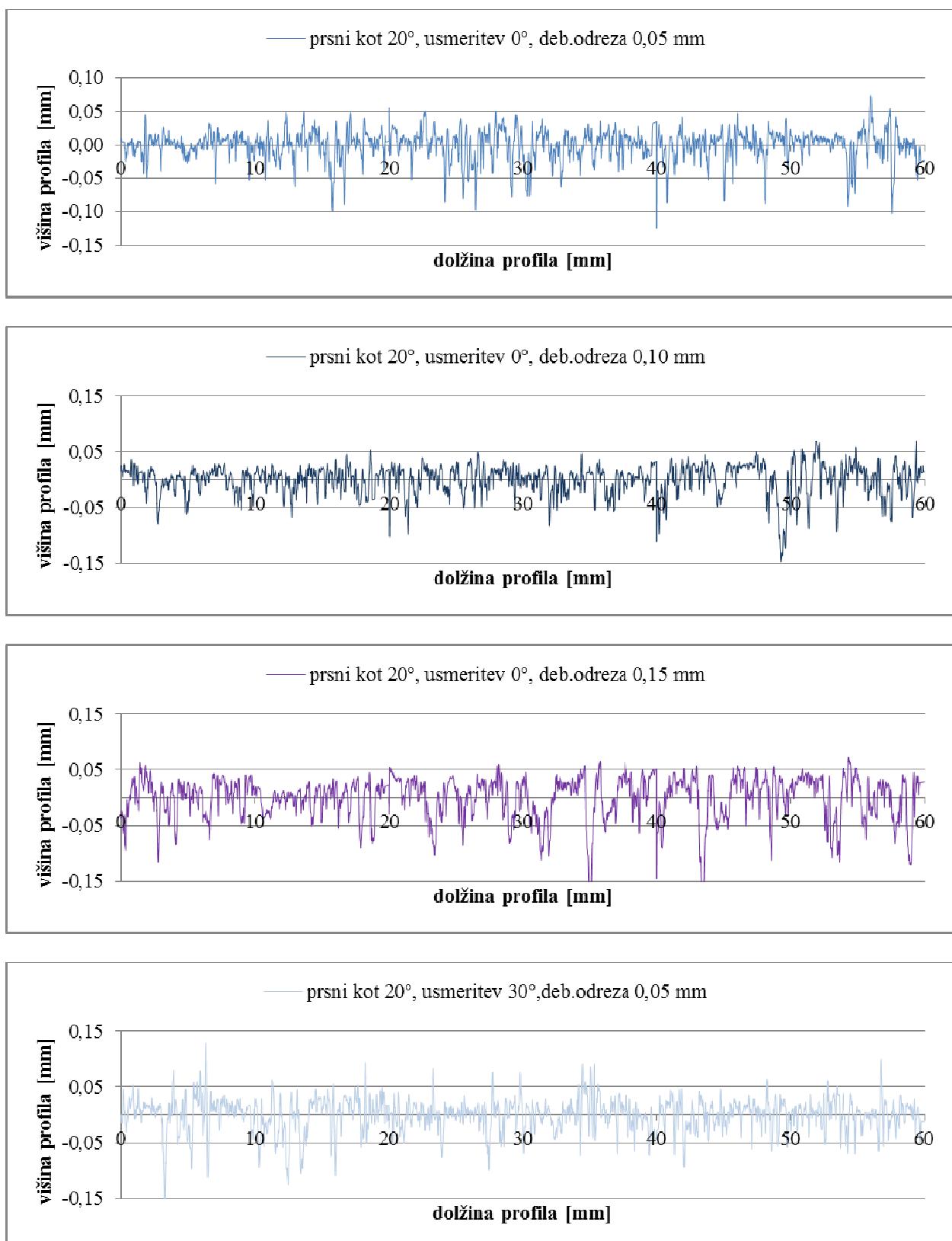
PRILOGA B

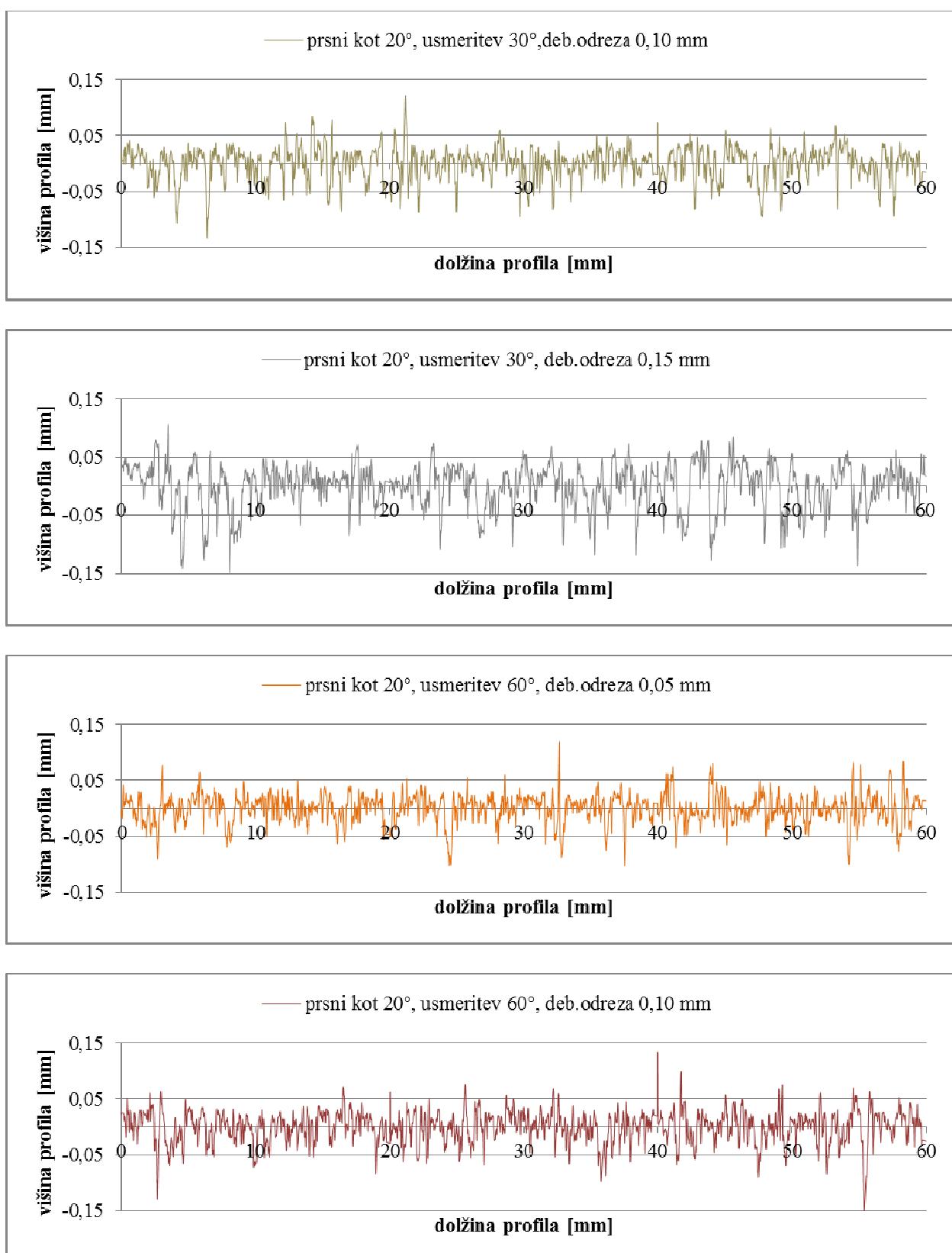
PROFILI POVRŠIN

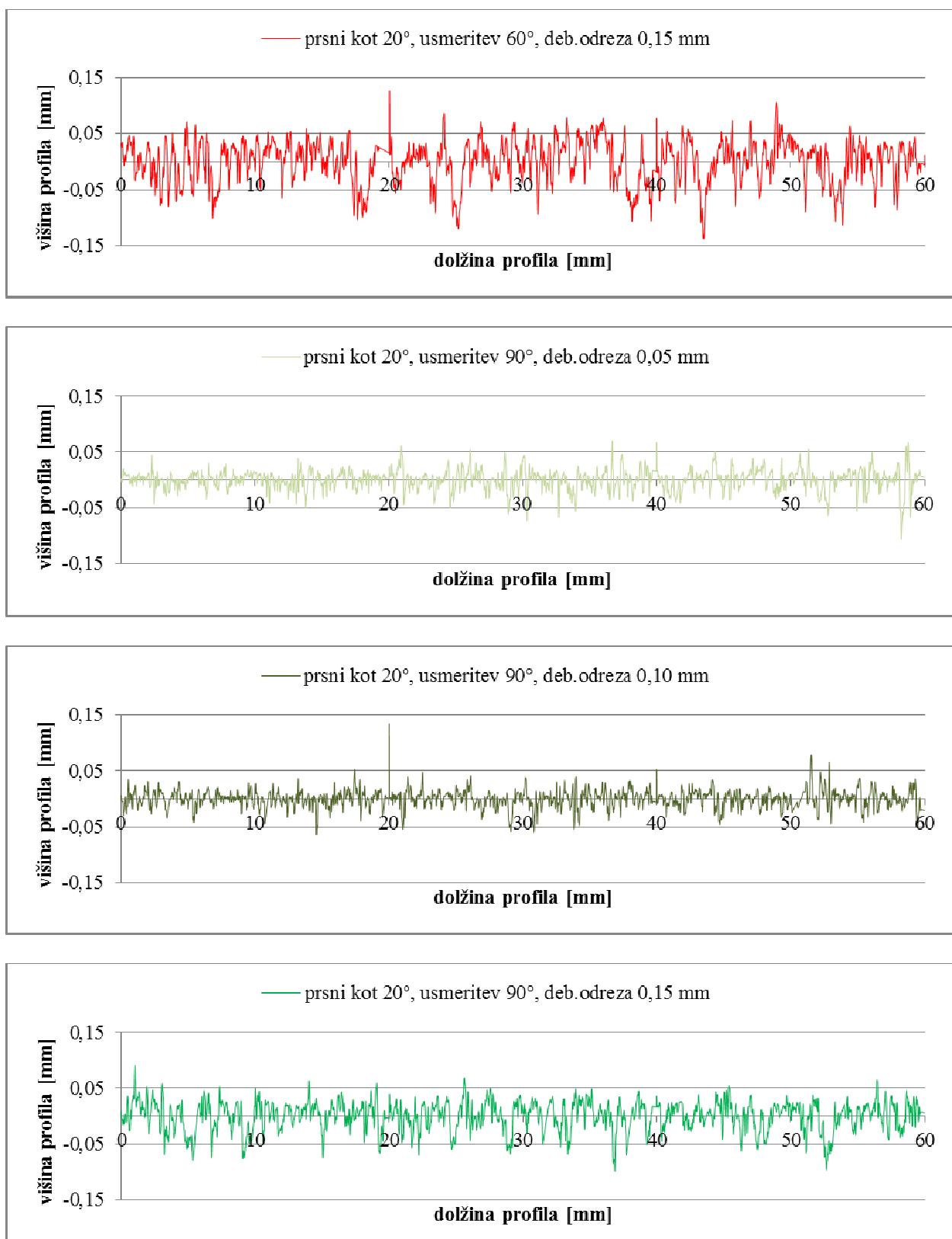


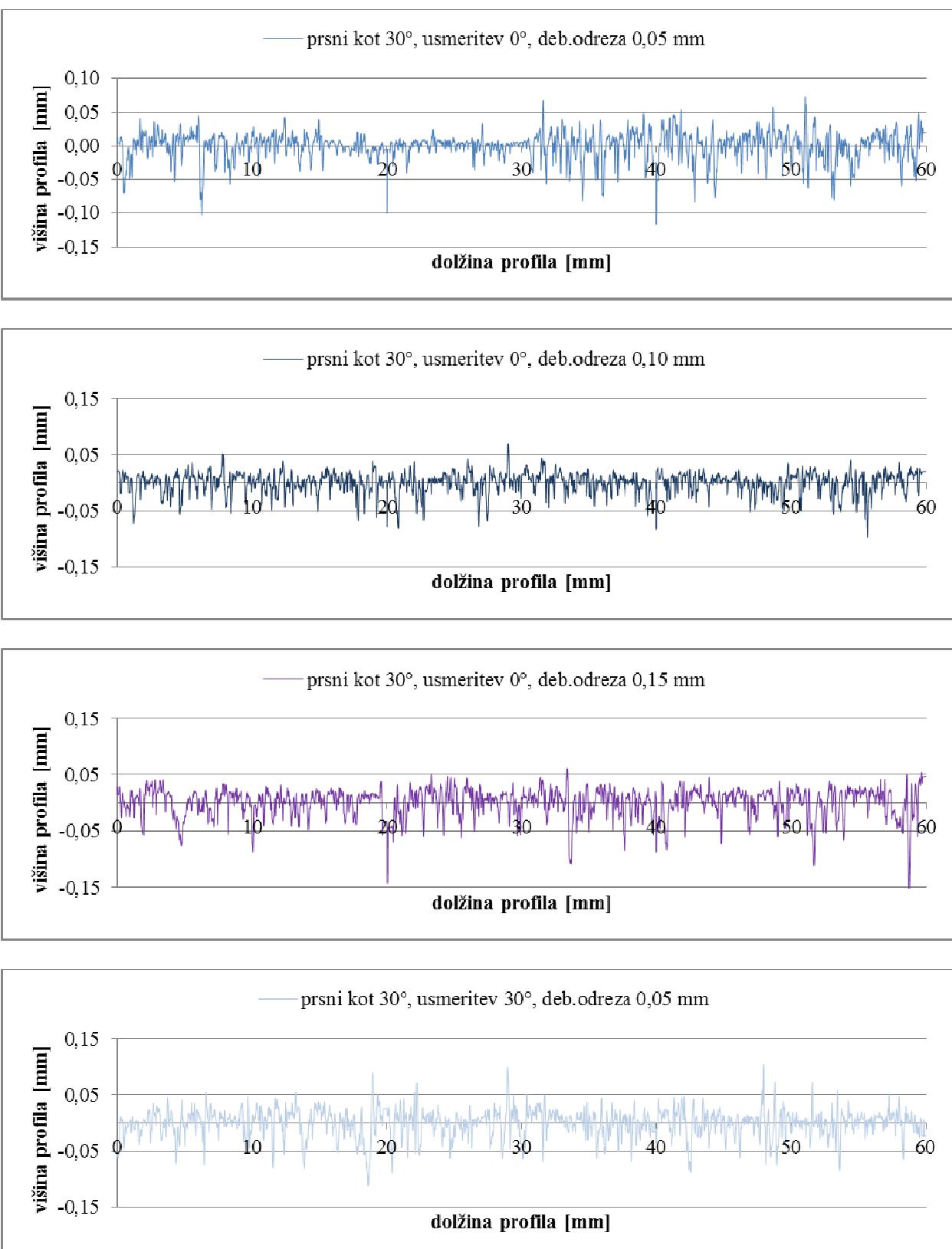


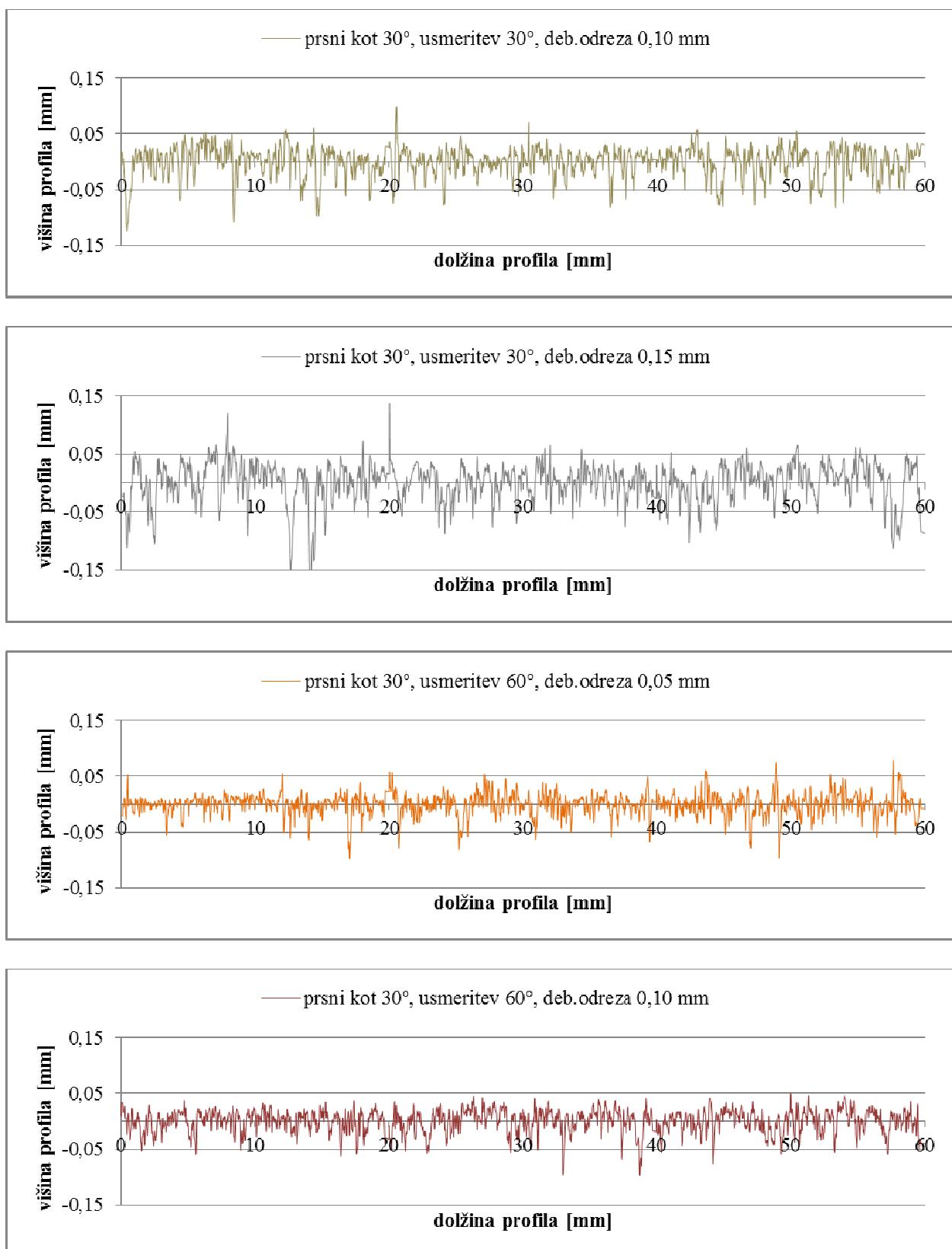


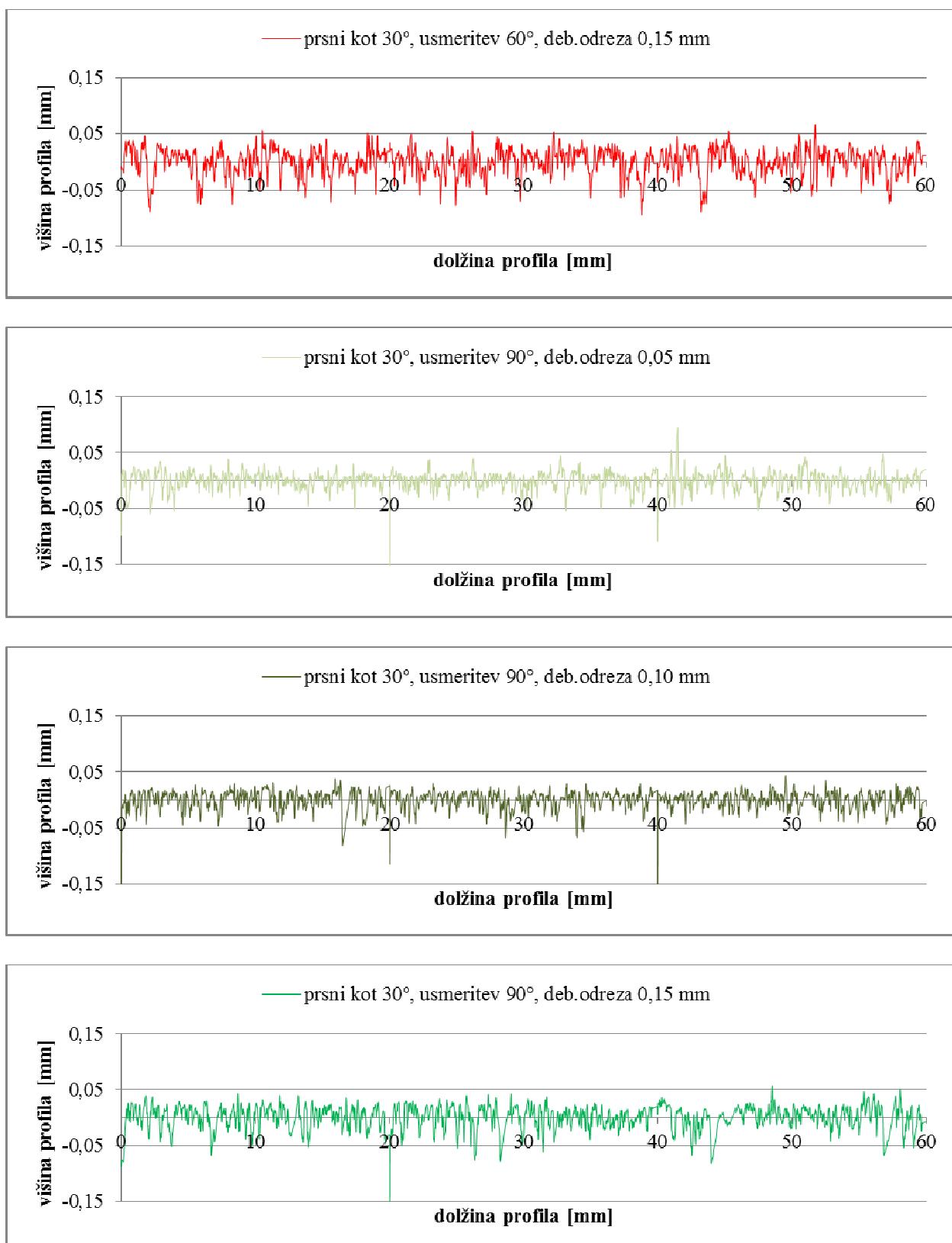


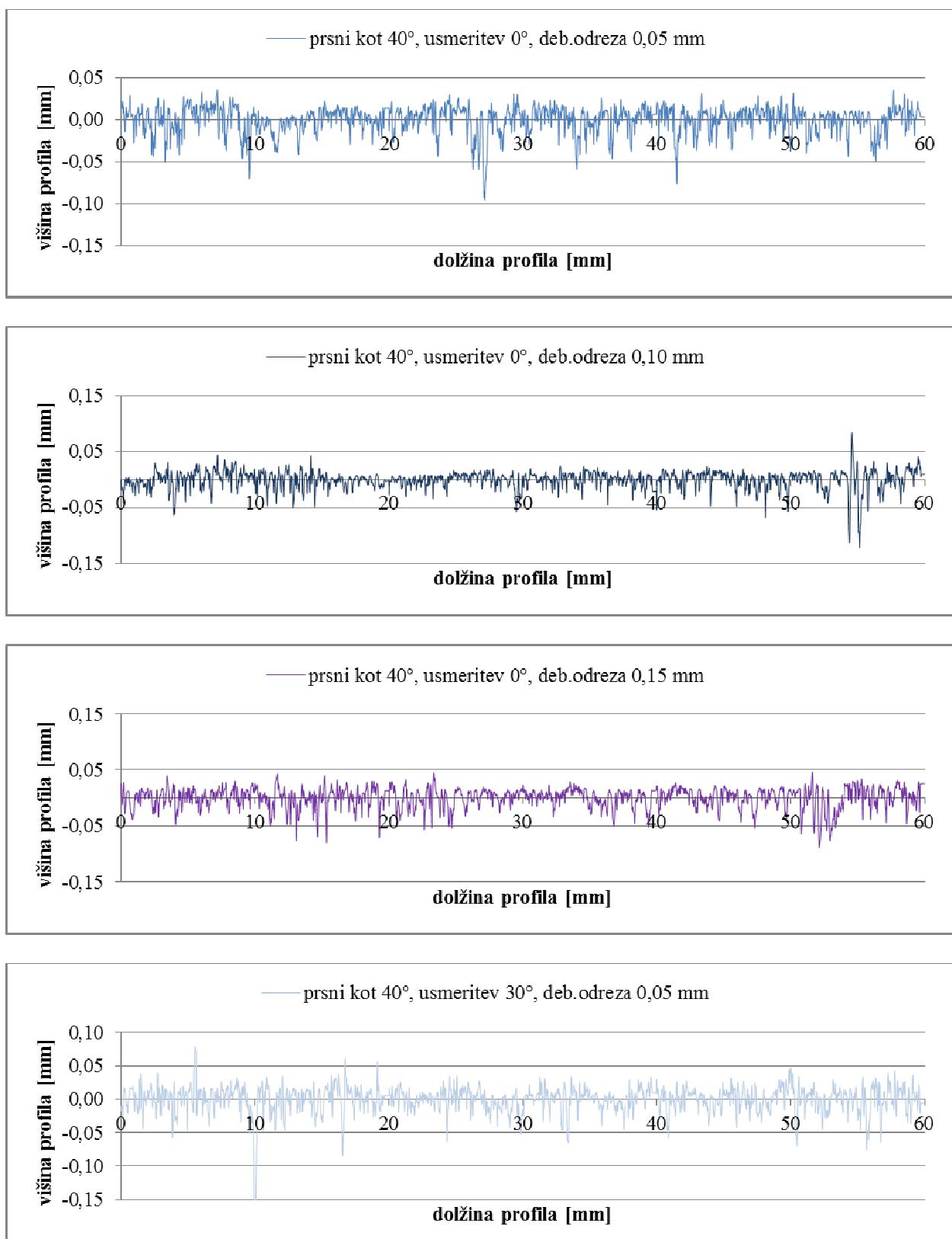


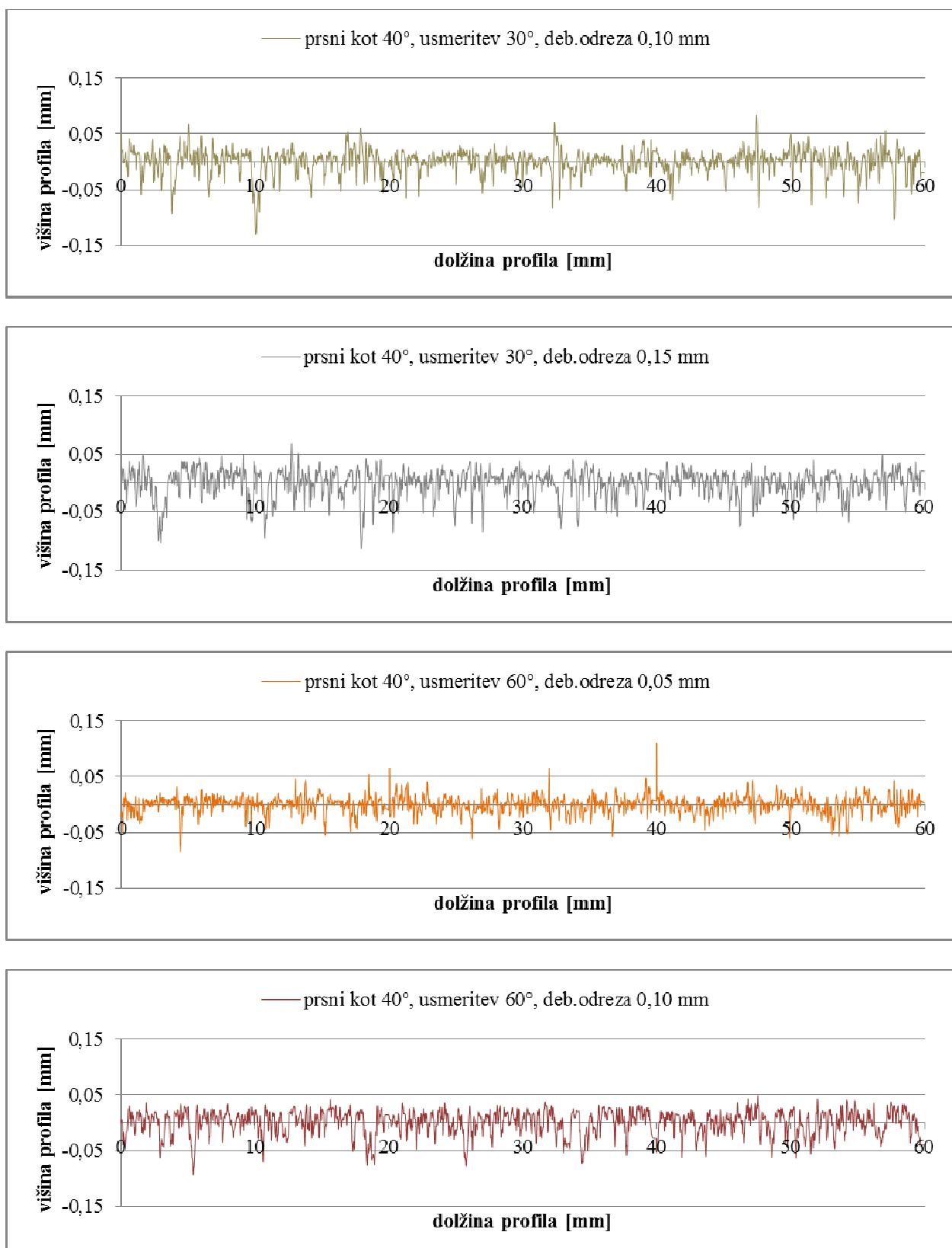


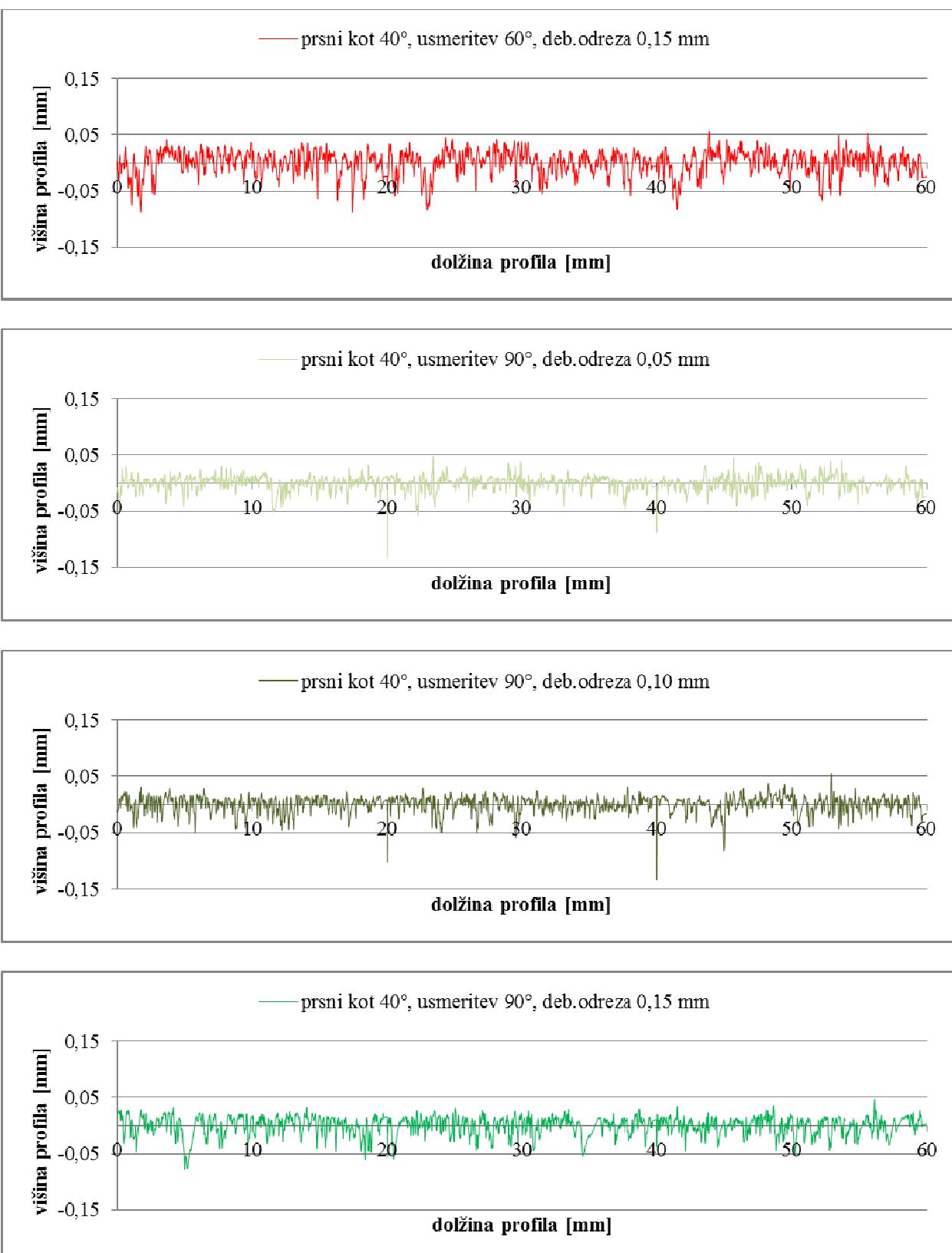


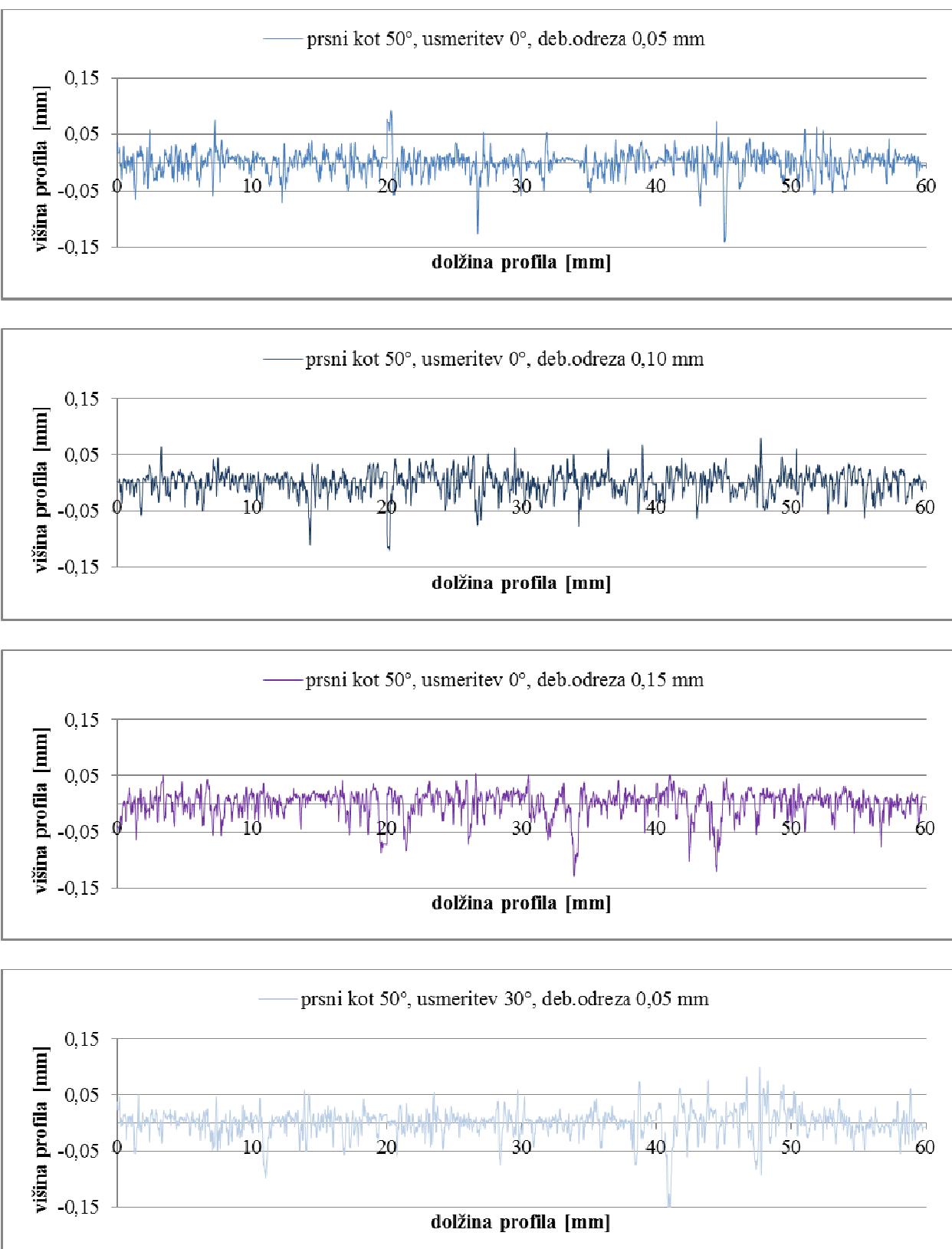


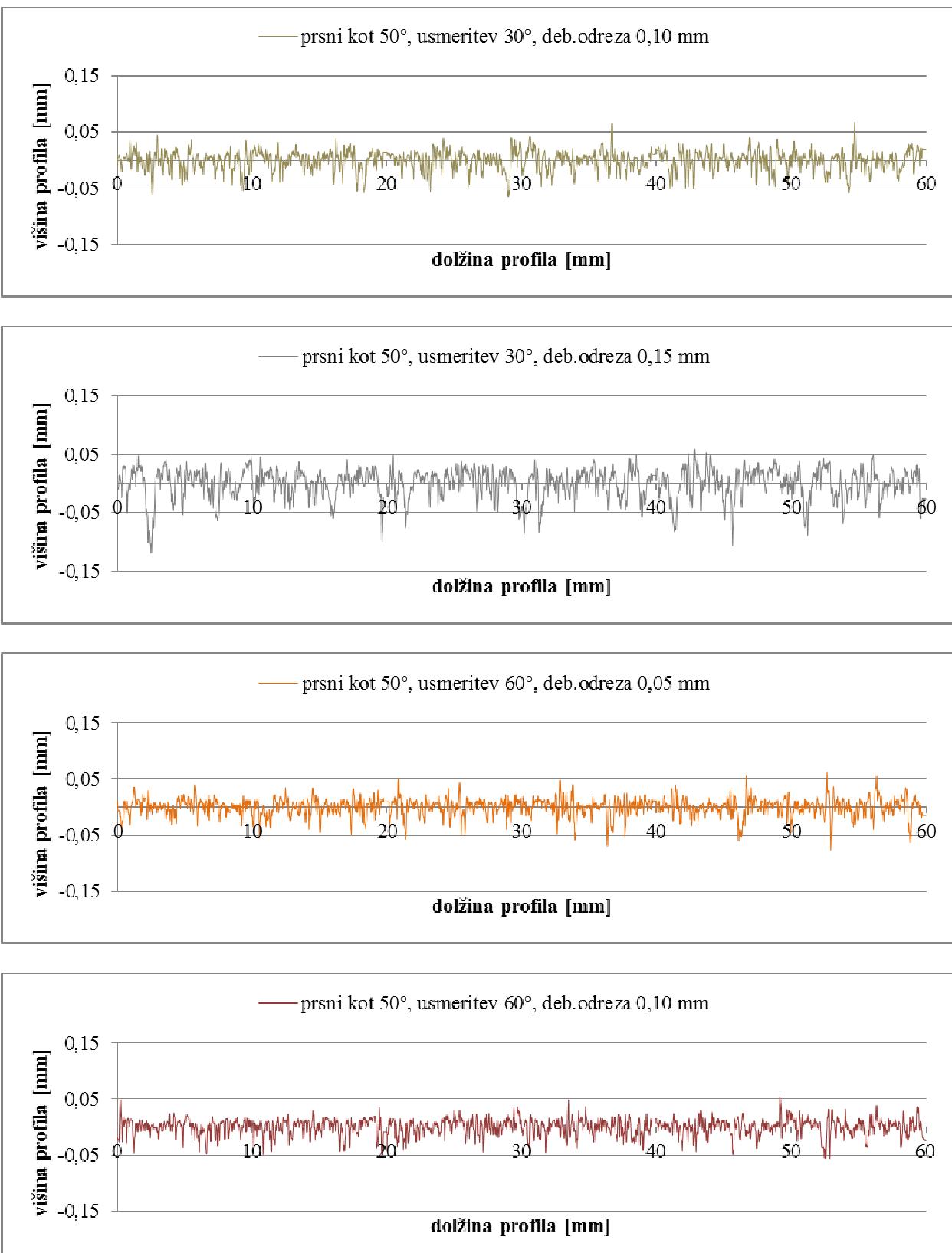


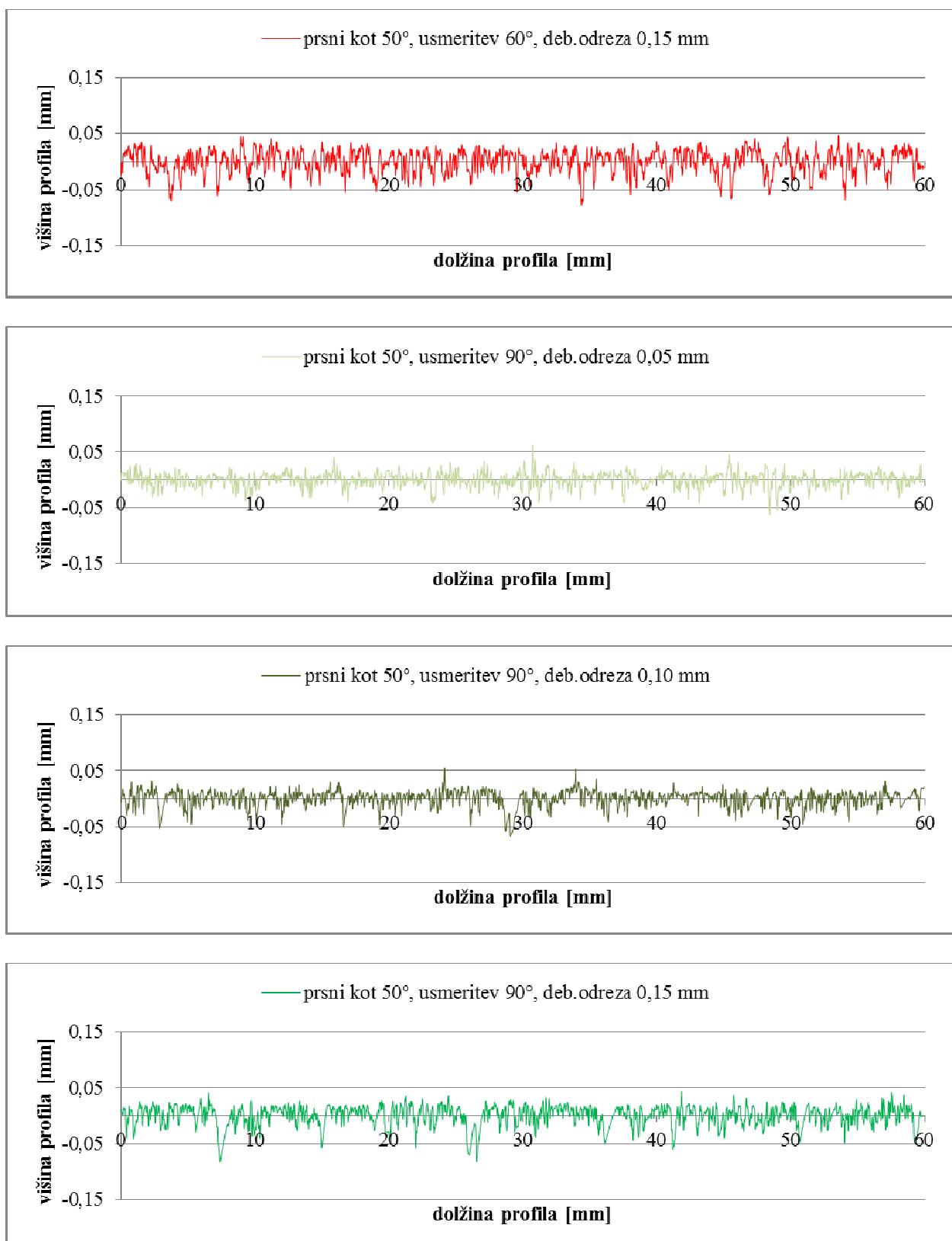






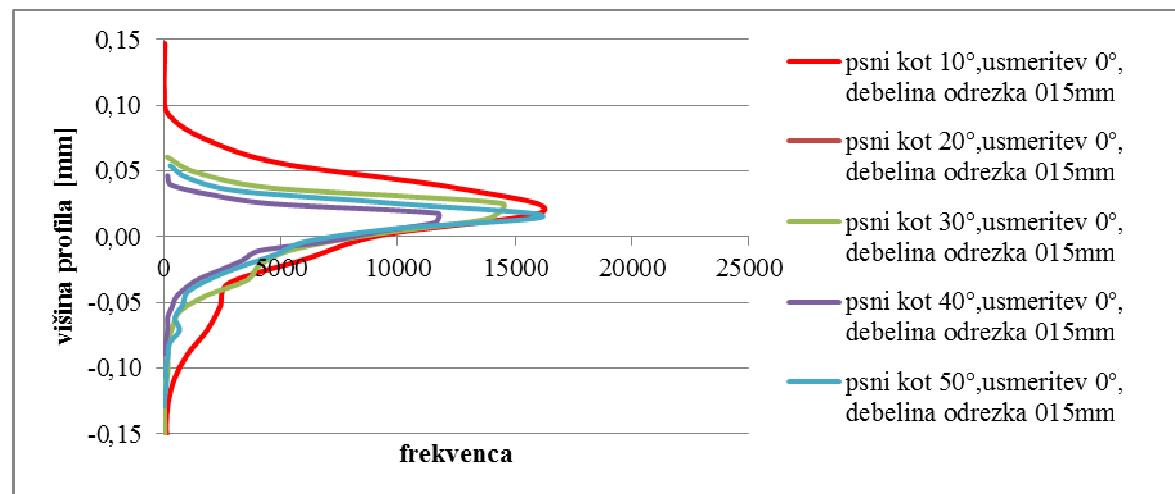
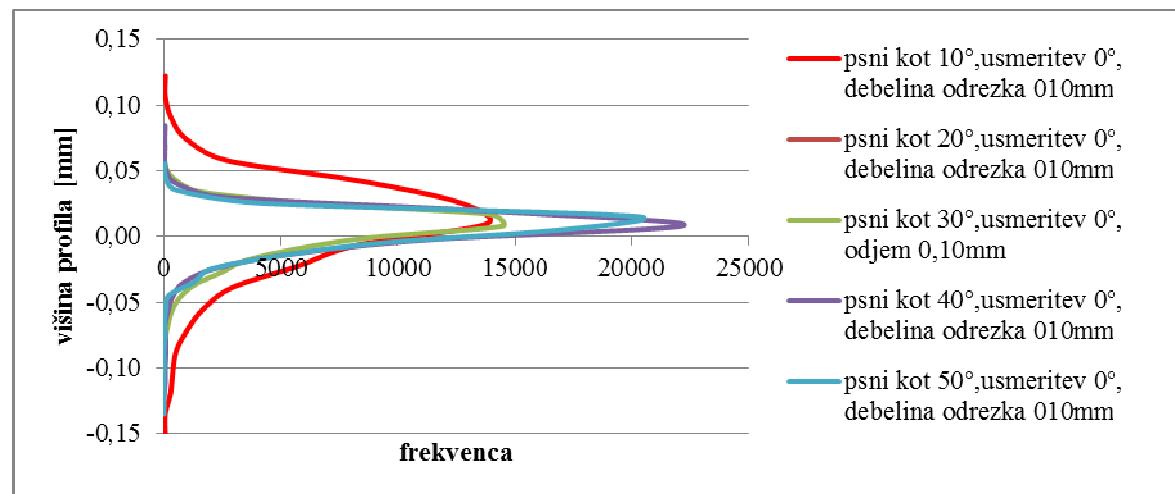
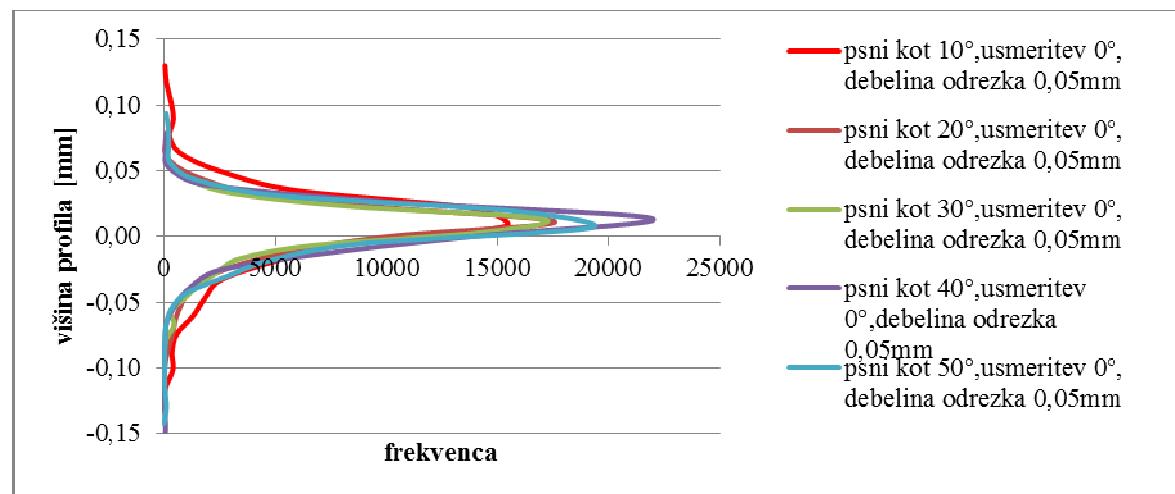


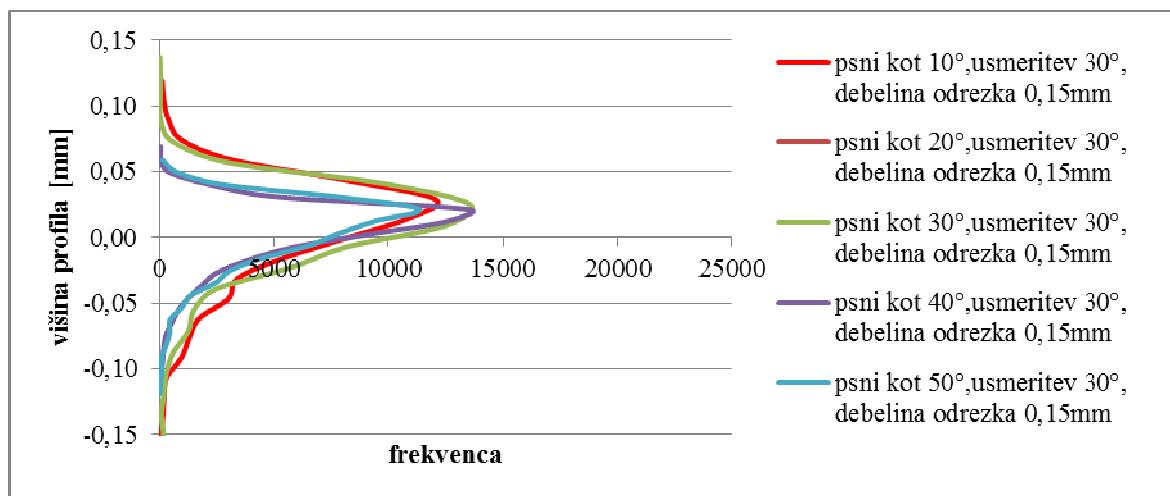
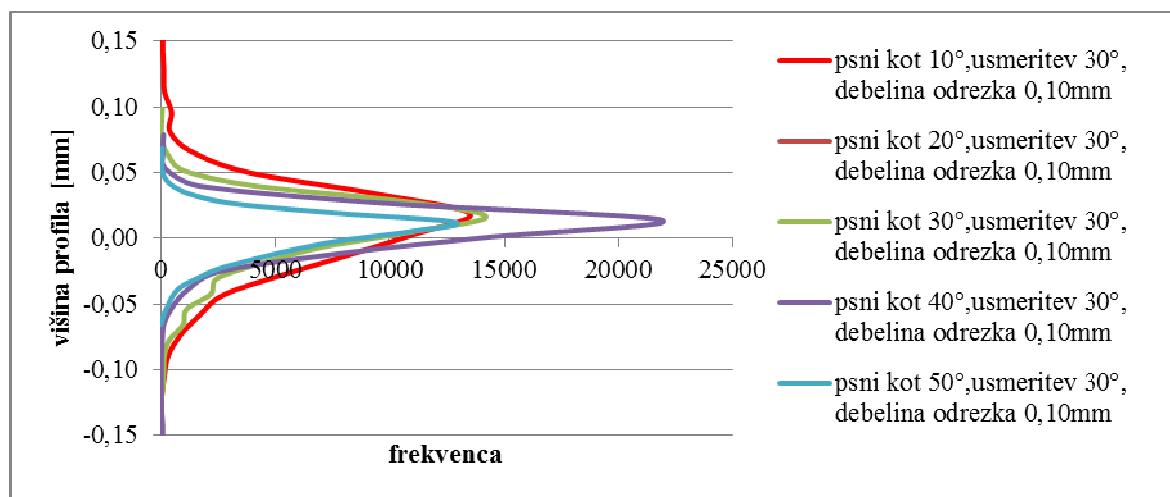
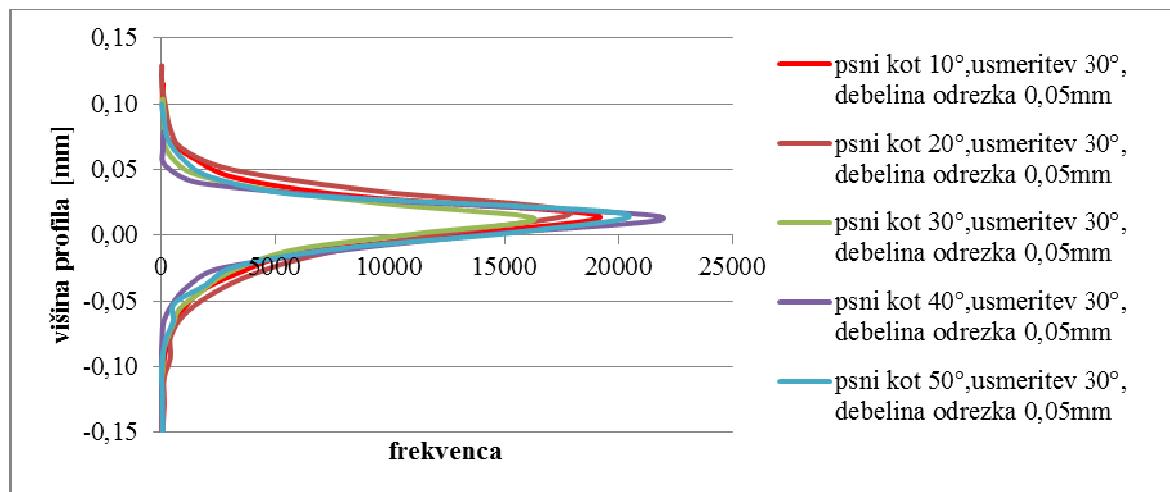


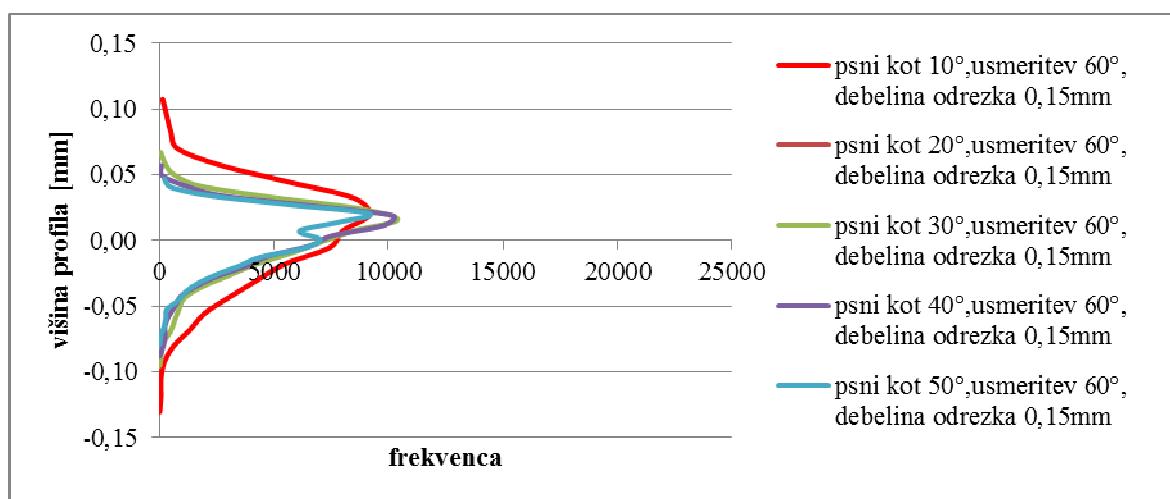
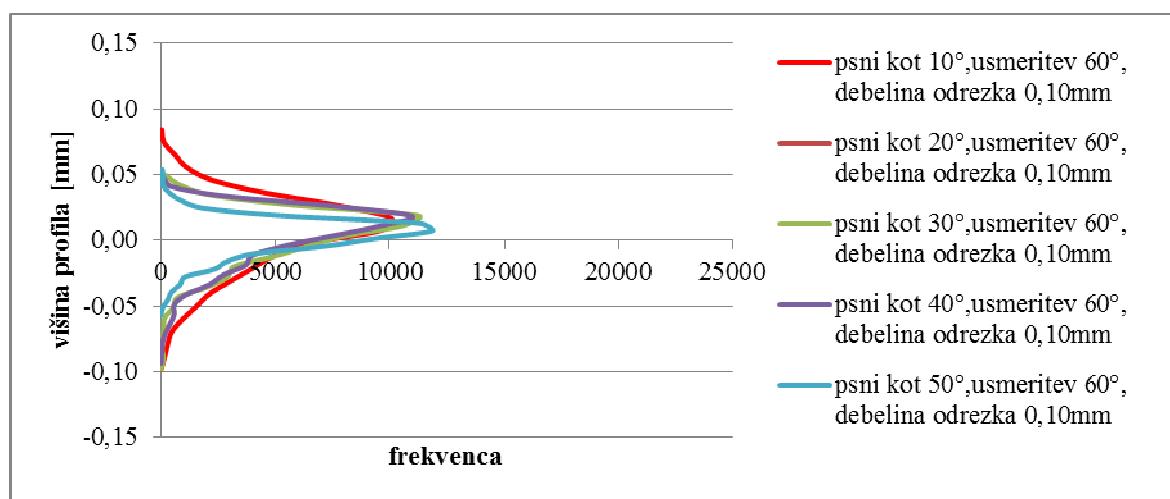
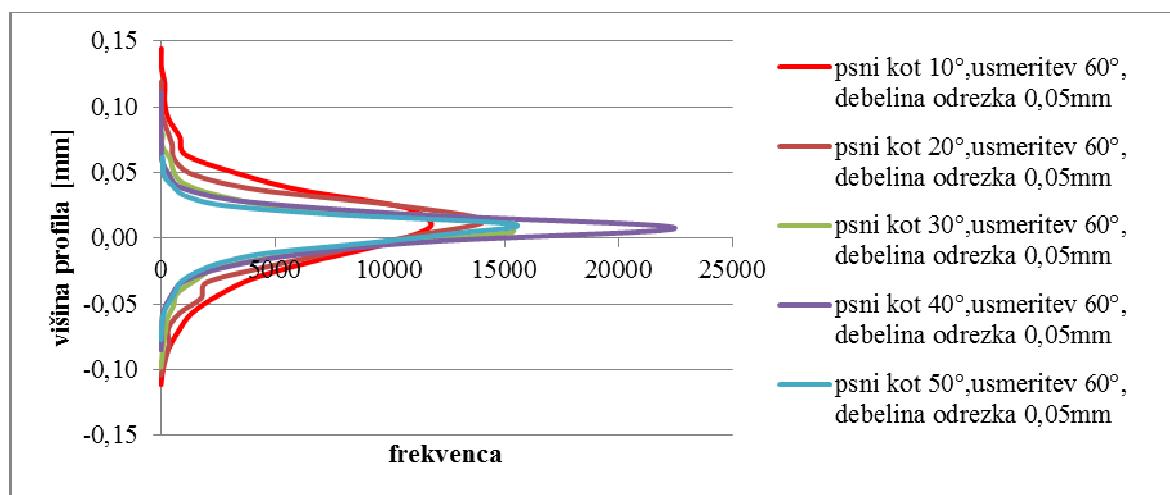


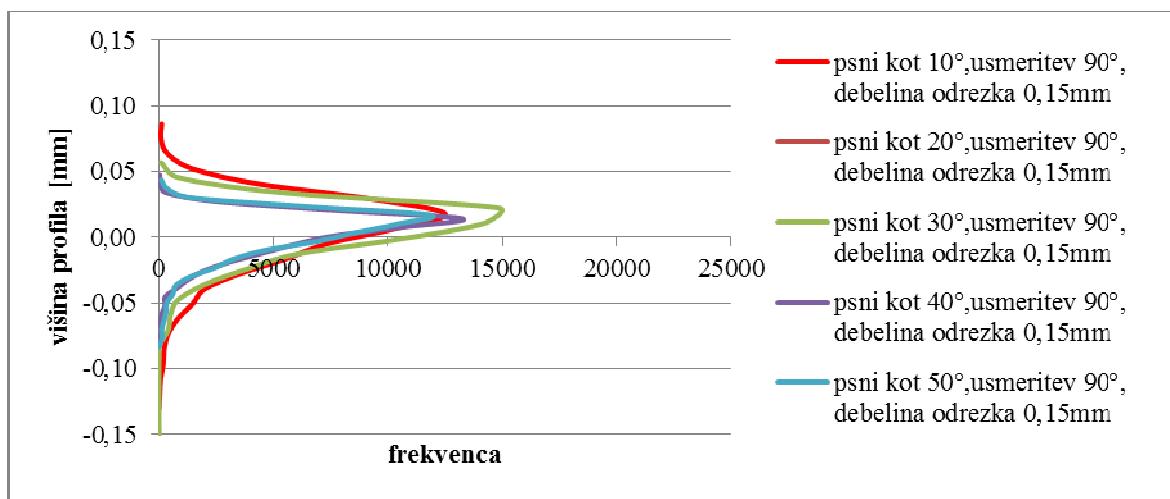
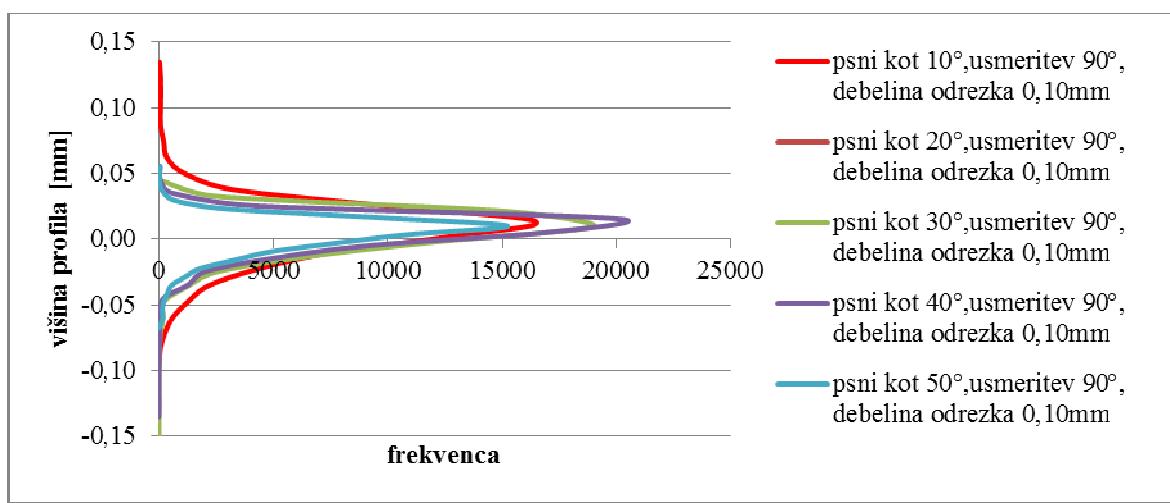
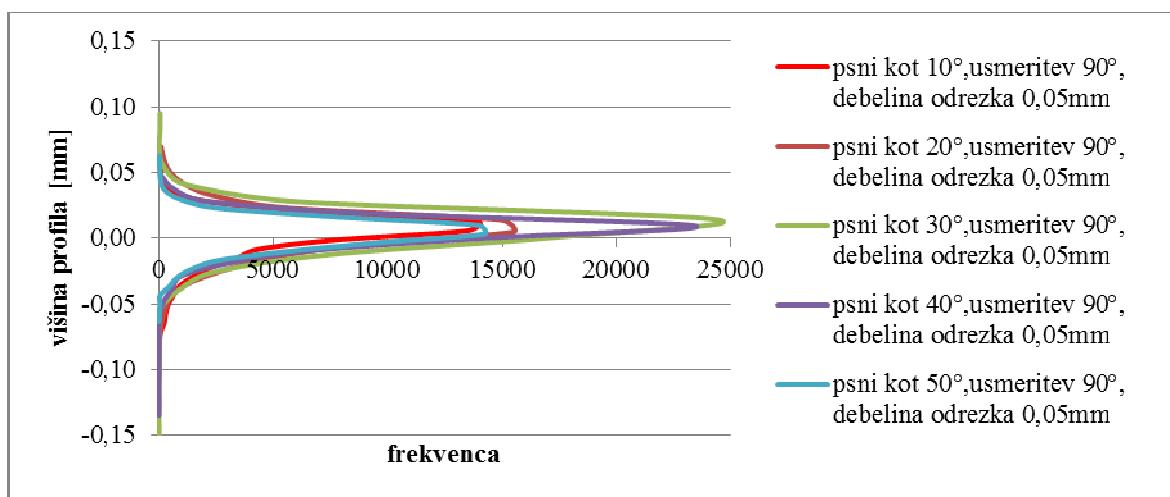
PRILOGA C

PORAZDELITVENE KRIVULJE PROFILOV (POŠEVNOST)





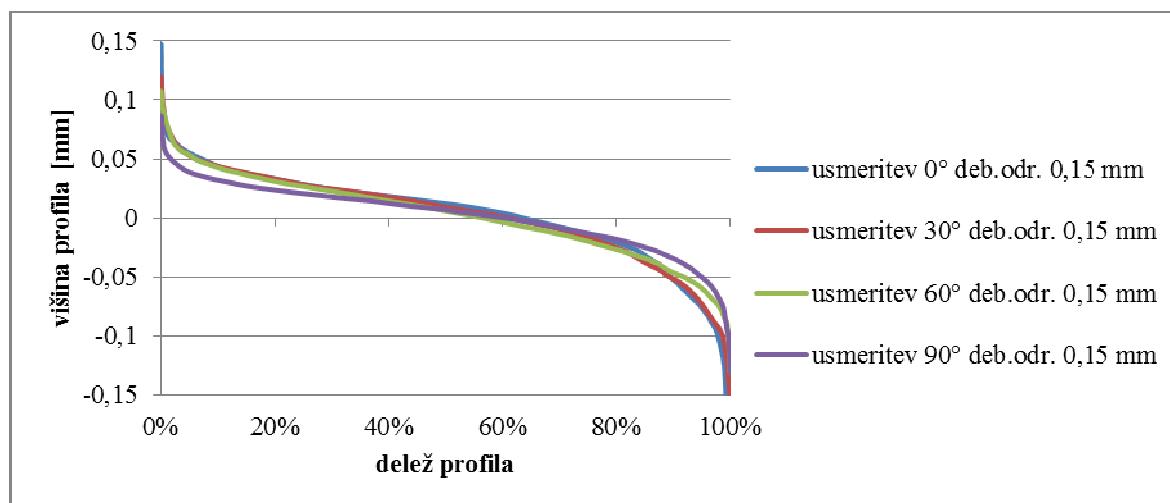
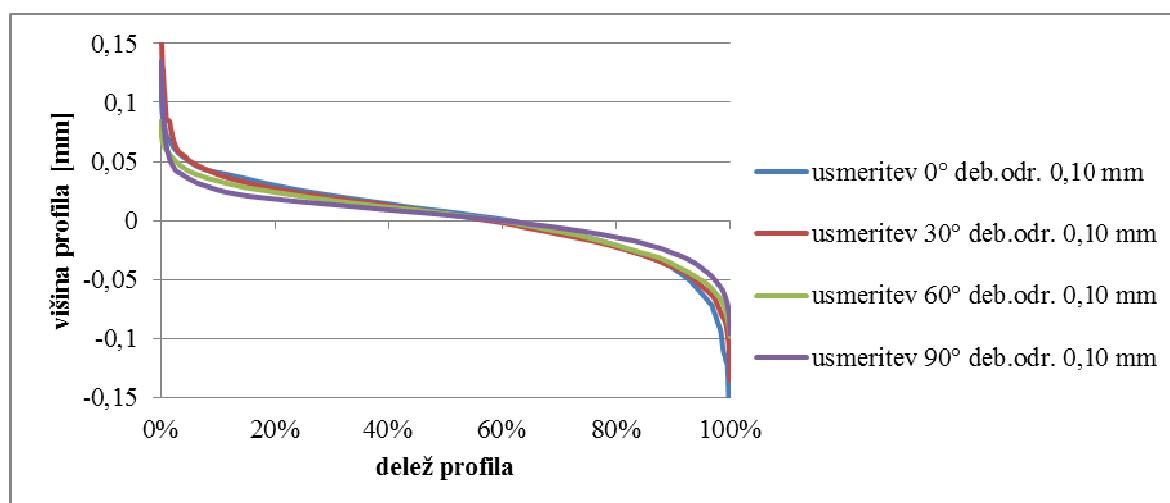
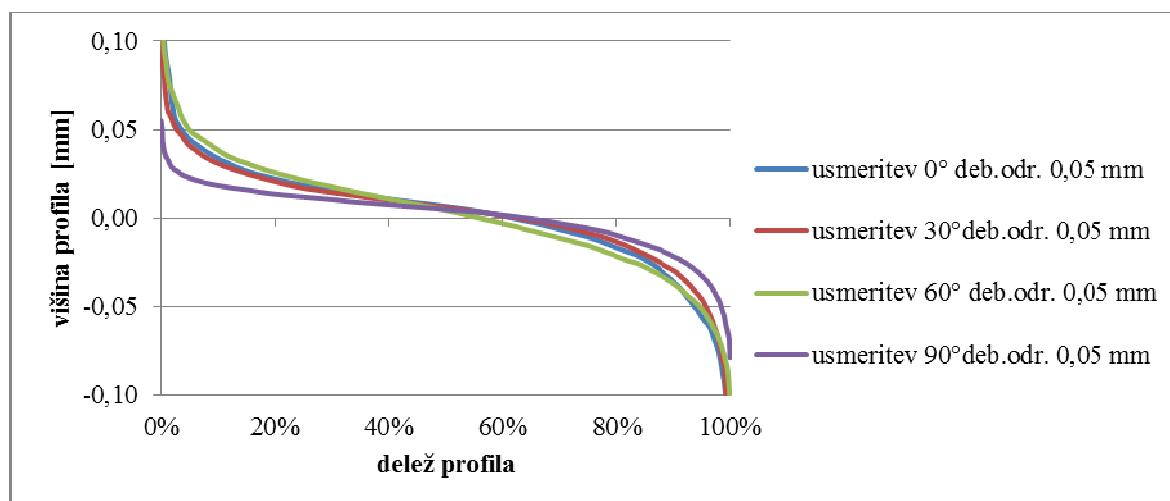




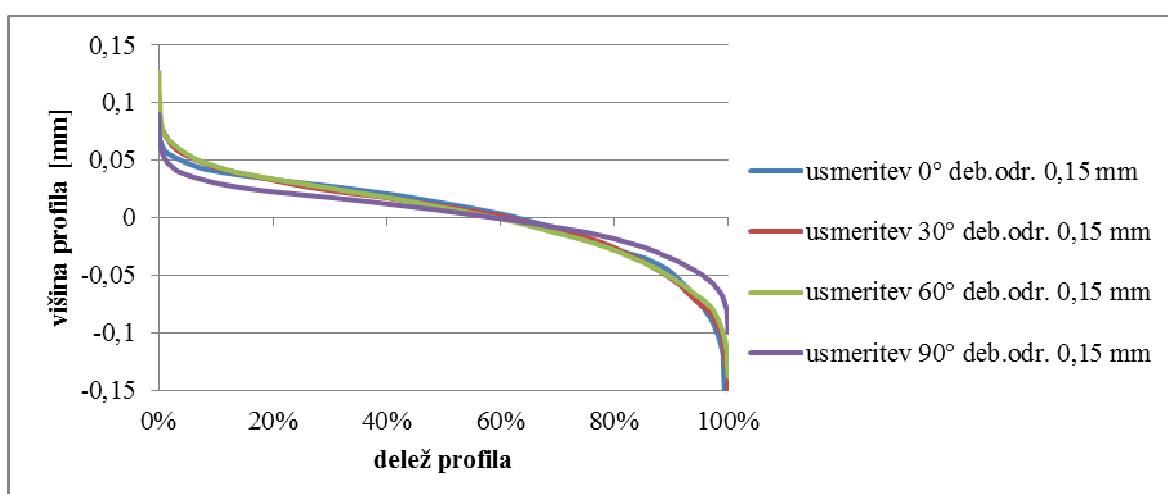
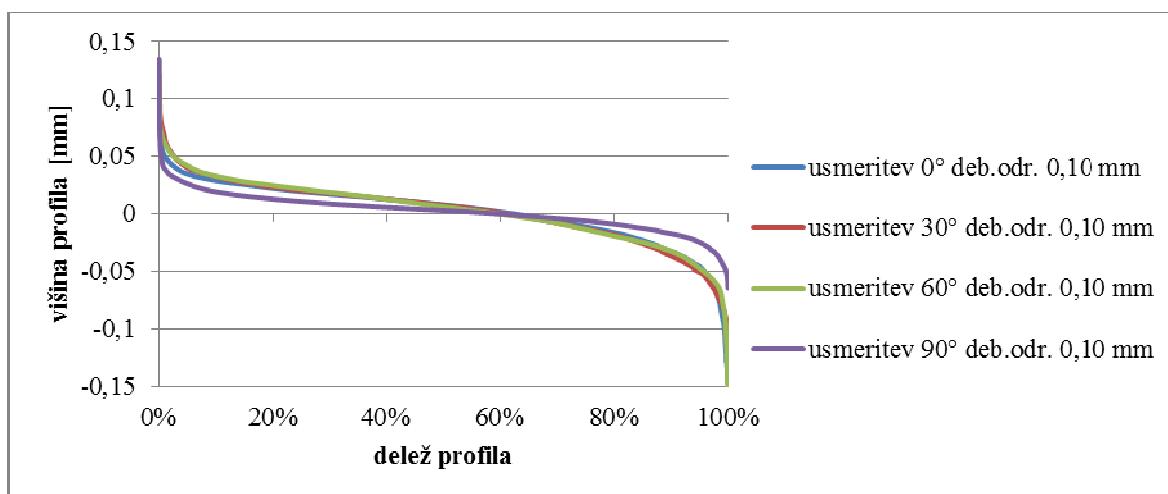
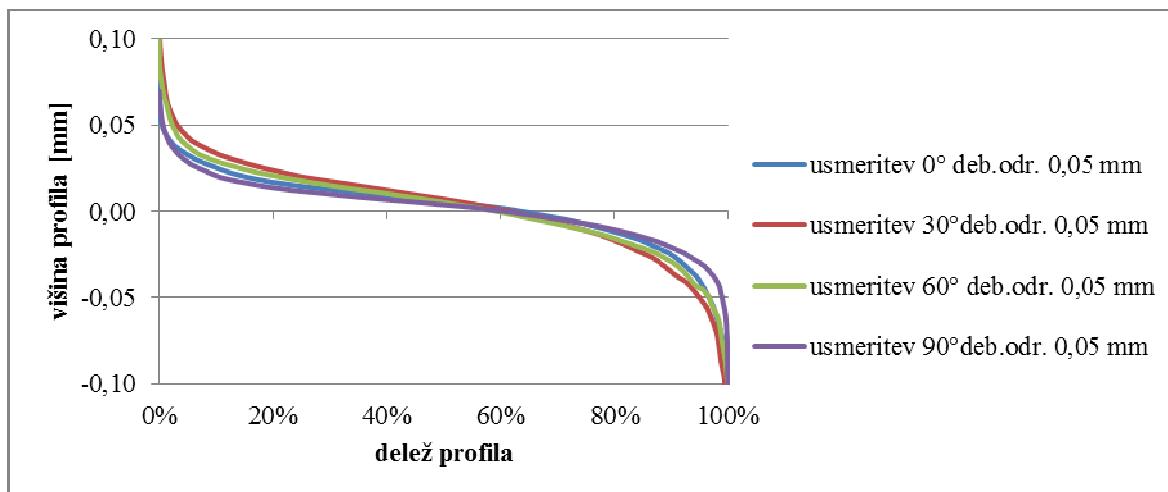
PRILOGA D

PARAMETER NOSILNOST

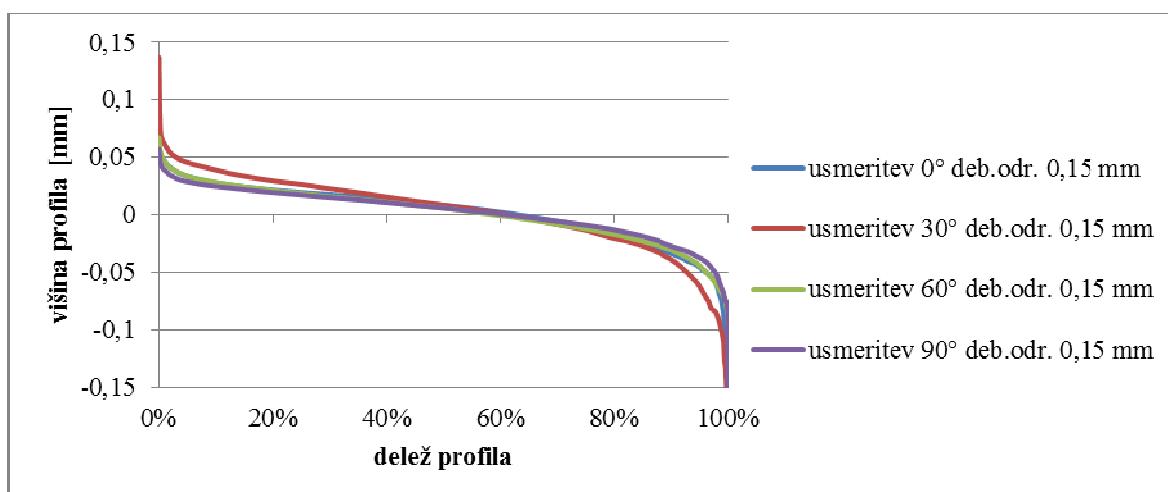
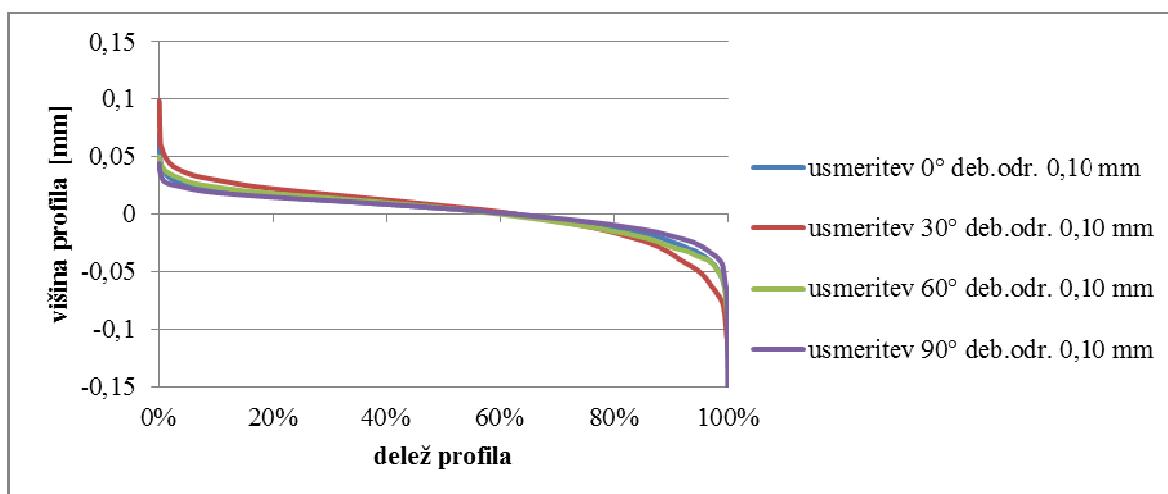
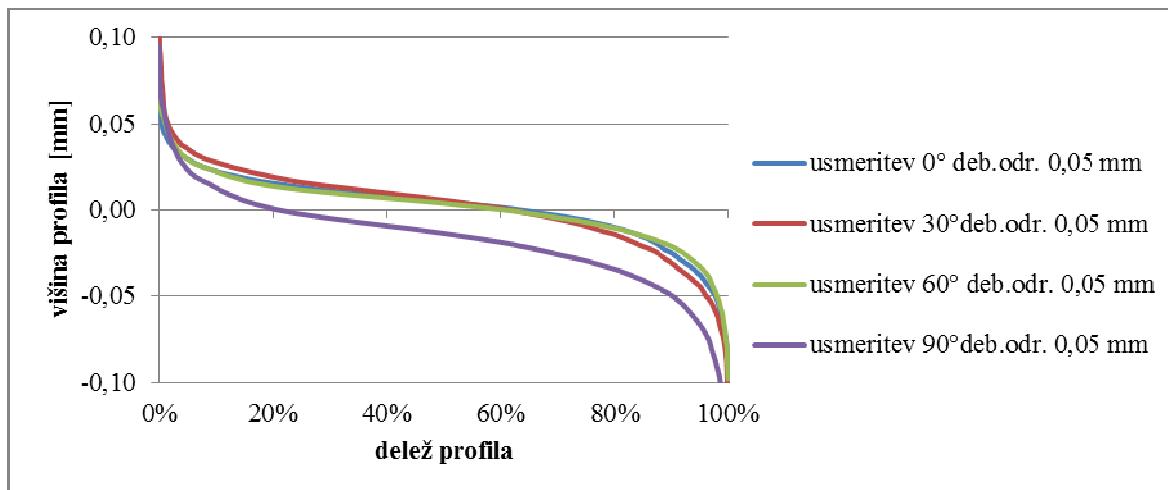
- Nosilnost za prsni kot 10° :



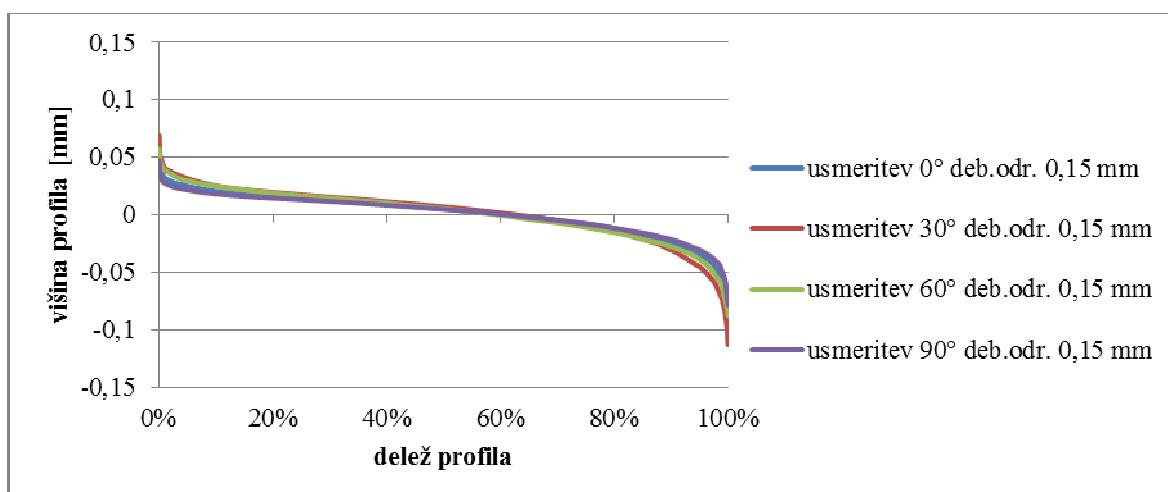
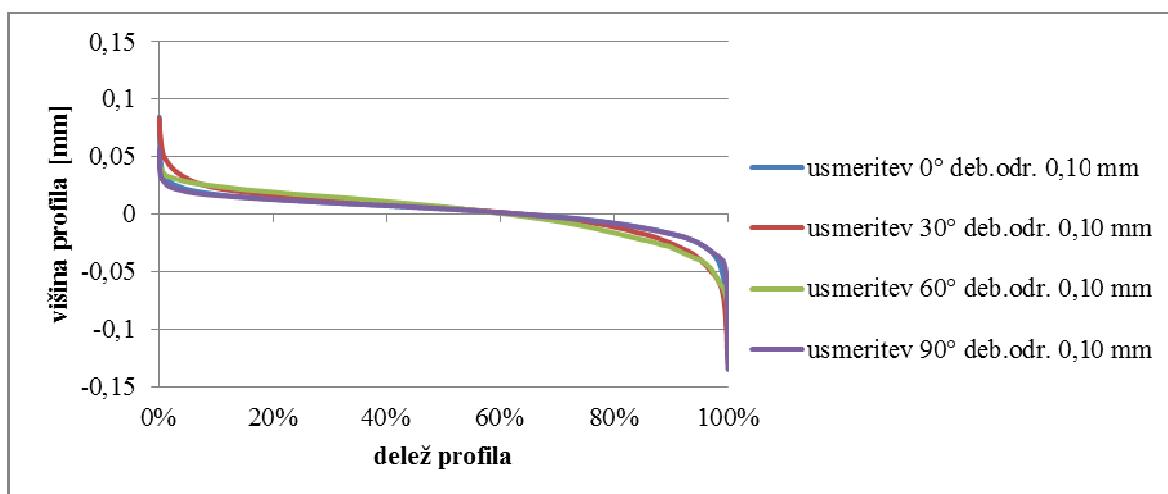
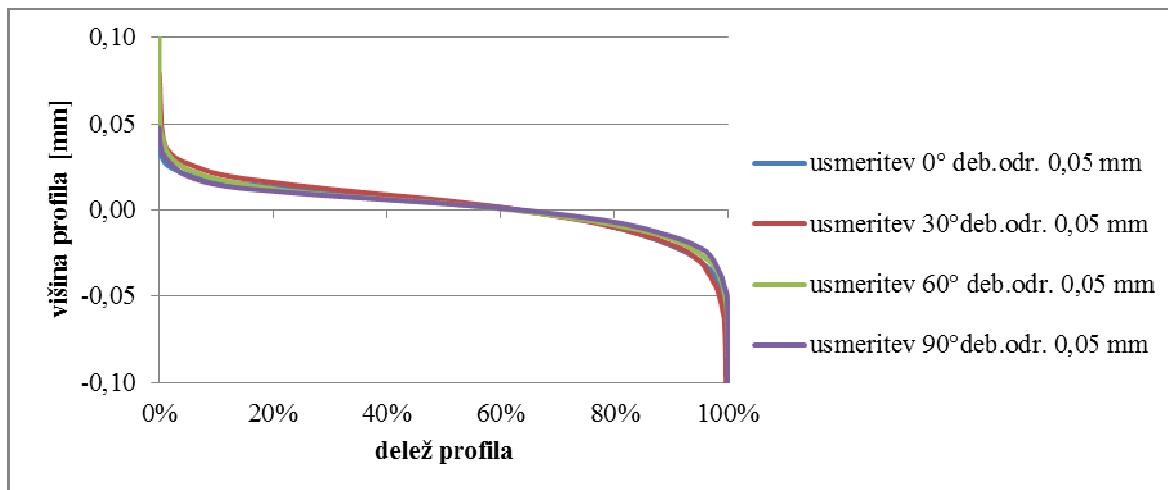
- Nosilnost za prsni kot 20° :



- Nosilnost za prsni kot 30° :



- Nosilnost za prsni kot 40° :



- Nosilnost za prsni kot 50° :

