

UNIVERZA V LJUBLJANI
BIOTEHNIŠKA FAKULTETA
ODDELEK ZA LESARSTVO

Andrej GORIŠEK

**VPLIV TEHNOLOŠKIH IN GEOMETRIJSKIH
PARAMETROV REZILA NA KAKOVOST
OBDELANE POVRŠINE SMREKOVINE**

DIPLOMSKO DELO
Visokošolski strokovni študij

Ljubljana, 2016

UNIVERZA V LJUBLJANI
BIOTEHNIŠKA FAKULTETA
ODDELEK ZA LESARSTVO

Andrej GORIŠEK

**VPLIV TEHNOLOŠKIH IN GEOMETRIJSKIH PARAMETROV REZILA NA
KAKOVOST OBDELANE POVRŠINE SMREKOVINE**

DIPLOMSKO DELO
Visokošolski strokovni študij

**INFLUENCE OF TECHNOLOGICAL AND GEOMETRICAL BLADE
PARAMETERS ON THE QUALITY OF MACHINED SPRUCE WOOD SURFACE**

GRADUATION THESIS
Higher professional studies

Ljubljana, 2016

Diplomsko delo je zaključek Visokošolskega strokovnega študija lesarstva. Opravljeno je bilo v Laboratoriju za mehanske obdelovalne tehnologije na Oddelku za lesarstvo, Biotehniške fakultete, Univerze v Ljubljani.

Senat Oddelka za lesarstvo je za mentorja diplomskega dela imenoval doc. dr. Mirana Merharja, za recenzentko pa doc. dr. Dominiko Gornik Bučar.

Komisija za oceno in zagovor:

Predsednik:

Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za lesarstvo

Član: doc. dr. Miran MERHAR

Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za lesarstvo

Član: doc. dr. Dominika GORNIK BUČAR

Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za lesarstvo

Datum zagovora:

Diplomsko delo je rezultat lastnega raziskovalnega dela. Podpisani se strinjam z objavo svoje naloge v polnem tekstu na spletni strani Digitalne knjižnice Biotehniške fakultete. Izjavljam, da je naloga, ki sem jo oddal v elektronski obliki, identična tiskani verziji.

Andrej Gorišek

KLJUČNA DOKUMENTACIJSKA INFORMACIJA

ŠD	Vs
DK	UDK 630*822.33
KG	odrezovanje/hrapavost površine/smrekovina
AV	GORIŠEK, Andrej
SA	MERHAR, Miran (mentor)/GORNIK BUČAR, Dominika (recenzent)
KZ	SI-1000 Ljubljana, Rožna dolina, c. VIII/34
ZA	Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za lesarstvo
LI	2016
IN	VPLIV TEHNOLOŠKIH IN GEOMETRIJSKIH PARAMETROV REZILA NA KAKOVOST OBDELANE POVRŠINE SMREKOVINE
TD	Diplomsko delo (visokošolski strokovni študij)
OP	XII, 57 str., 13 preg., 69 sl., 4 pril., 20 vir.
IJ	sl
JI	sl/en
AI	Raziskovali smo vplive tehnoloških in geometrijskih parametrov rezila na kakovost obdelane površine smrekovine. Odrezovali smo premočrtno v vzdolžni smeri (90° - 0°). Eksperiment je bil razdeljen na štiri dele. V prvem delu smo spremenjali rezalno hitrost za 0,5 m/s od 0,2 m/s do 4,2 m/s, prsni kot je znašal 20° . V drugem delu smo odrezovali z različnimi prsni koti (5° , 10° , 15° , 20° , 25° , 30° , 35° in 40°) in rezalno hitrostjo 1,2 m/s. V tretjem delu smo pri prsnem kotu 30° in rezalni hitrosti 1,2 m/s spremenjali inklinacijske kote (0° , 20° , 30° , 40° in 50°). V četrtem delu smo odrezovali glede na različno usmeritev tkiva (0° , 30° , 60° in 90°), prsni kot je znašal 20° in rezalna hitrost 1,2 m/s. Debeline odrezkov so bile 0,05 mm, 0,1 mm in 0,15 mm. Za vsako kombinacijo parametrov smo naredili tri reze in izmerili profil površine na ranem in kasnem lesu. Glede na izmerjen profil površine so bili izračunani parametri R_a , R_z in R_{max} . Najkakovostnejša površina je bila pri prsnem kotu 15° , kotu inklinacije 40° , usmerjenostjo tkiva 0° , rezalno hitrostjo med 1,7 m/s in 2,2 m/s ter debelino odrezka 0,05 mm.

KEY WORDS DOCUMENTATION

DN	Vs
DC	UDC 630*822.33
CX	cutting/surface roughness/spruce wood
AU	GORIŠEK, Andrej
AA	MERHAR, Miran (supervisor)/GORNIK BUČAR, Dominika (co-advisor)
PP	SI-1000 Ljubljana, Rožna dolina, c. VII/34
PB	University of Ljubljana, Biotechnical Faculty, Department of Wood Science and Technology
PY	2016
TI	INFLUENCE OF TECHNOLOGICAL AND GEOMETRICAL BLADE PARAMETERS ON THE QUALITY OF MACHINED SPRUCE WOOD SURFACE
DT	Graduation Thesis (Higher professional studies)
NO	XII, 57 p., 13 tab., 69 fig., 4 ann., 20 ref.
LA	sl
AL	sl/en
AB	The influence of technological and geometrical blade parameters on the surface quality of machined spruce wood surface has been investigated. The orthogonal linear cutting technique along the grain (90° - 0°) was used. The experiment was divided in four parts. In the first part the cutting speed was altered for 0.5 m/s from 0.2 m/s to 4.2 m/s and the rake angle was 20° . Different rake angles (5° , 10° , 15° , 20° , 25° , 30° , 35° and 40°) and cutting speed 1.2 m/s were used in the second part. At rake angle 30° and cutting speed 1.2 m/s oblique angles were altered (0° , 20° , 30° , 40° and 50°) in the third part. In the fourth part we were cutting with different grain direction (0° , 20° , 30° , 40° and 50°) at rake angle 20° and cutting speed of 1.2 m/s. The chip thicknesses were 0.05 mm, 0.1 mm and 0.15 mm. For each combination of parameters three cuts were made and then the profile of the surface was measured, separately on early wood and late wood. Based on the profile the surface parameters R_a , R_z and R_{max} were calculated. The best surface quality was at the rake angle 15° , oblique angle 40° , cutting speed between 1.7 m/s and 2.2 m/s and chip thickness 0.05 mm.

KAZALO VSEBINE

	Str.
KLJUČNA DOKUMENTACIJSKA INFORMACIJA	III
KEY WORDS DOCUMENTATION	IV
KAZALO VSEBINE	V
KAZALO PREGLEDNIC	VII
KAZALO SLIK	VIII
KAZALO PRILOG	XI
OKRAJŠAVE IN SIMBOLI	XII
1 UVOD	1
1.1 OPREDELITEV PROBLEMA	1
1.2 DELOVNE HIPOTEZE	1
1.3 CILJI IN NALOGE	1
2 PREGLED LITERATURE	2
2.1 SMREKA	2
2.2 REZALNA ORODJA	3
2.2.1 Geometrija rezalnega orodja	3
2.2.2 Vrste rezalnega orodja	5
2.2.3 Rezalni materiali	6
2.2.3.1 Orodna jekla	6
2.2.3.2 Hitrorezna jekla (HSS)	6
2.2.3.3 Karbidne trdine (HM)	6
2.2.3.4 Prevlečeni rezalni materiali	7
2.2.3.5 Diamant	7
2.3 ODREZOVANJE	7
2.3.1 Premočrtno odrezovanje	8
2.3.2 Krožno odrezovanje	8
2.3.3 Smeri odrezovanja	9
2.3.4 Tip odrezka	10

2.3.4.1	Odrezek tip I	10
2.3.4.2	Odrezek tip II	11
2.3.4.3	Odrezek tip III	12
2.3.5	Inklinacija	12
2.3.6	Rezalna hitrost	13
2.3.7	Podajalna hitrost	13
2.4	MERJENJE HRAPAVOSTI OBDELANIH POVRSIN	13
2.4.1	Parametri hrapavosti	14
3	MATERIALI IN METODE	19
3.1	MATERIALI	19
3.1.1	Priprava testnih vzorcev	19
3.1.2	Rezilo	19
3.2	METODE DELA	20
3.2.1	Premočrtno odrezovanje	20
3.2.2	Vpenjalo	21
3.2.3	Merilnik hrapavosti	22
3.2.4	Potek eksperimenta	22
3.2.4.1	Rezalna hitrost	23
3.2.4.2	Prsni kot	23
3.2.4.3	Kot inklinacije	24
3.2.4.4	Usmeritev tkiva	24
4	REZULTATI IN RAZPRAVA	25
4.1	REZALNA HITROST	26
4.2	PRSNI KOT	32
4.3	KOT INKLINACIJE	40
4.4	USMERITEV TKIVA	48
5	SKLEPI	54
6	POVZETEK	55
7	VIRI	56

KAZALO PREGLEDNIC

Preglednica 1: R_a (μm) pri različnih rezalnih hitrostih in debelini odrezovanja 0,05 mm in 0,1 mm ter prsnim kotom 20°	26
Preglednica 2: R_z (μm) pri različnih rezalnih hitrostih in debelini odrezovanja 0,05 mm in 0,1 mm ter prsnim kotom 20°	27
Preglednica 3: R_{max} (μm) pri različnih rezalnih hitrostih ter debelini odrezovanja 0,05 mm in 0,1 mm ter prsnim kotom 20°	29
Preglednica 4: R_a (μm) pri različnih prsnih kotih in debelini odrezovanja 0,05 mm, 0,1mm in 0,15 mm ter rezalni hitrosti 1,2 m/s.....	32
Preglednica 5: R_z (μm) pri različnih prsnih kotih in debelini odrezovanja 0,05 mm, 0,1 mm in 0,15 mm ter rezalni hitrosti 1,2 m/s.....	34
Preglednica 6: R_{max} (μm) pri različnih prsnih kotih in debelini odrezovanja 0,05 mm, 0,1 mm in 0,15 mm ter rezalni hitrosti 1,2 m/s.....	36
Preglednica 7: R_a (μm) pri različnih kotih inklinacije ter debelini odrezovanja 0,05 mm in 0,1 mm, prsnem kotu 30° in rezalni hitrosti 1,2 m/s	40
Preglednica 8: R_z (μm) pri različnih kotih inklinacije ter debelini odrezovanja 0,05 mm in 0,1 mm, prsnem kotu 30° in rezalni hitrosti 1,2 m/s	41
Preglednica 9: R_{max} (μm) pri različnih kotih inklinacije ter debelini odrezovanja 0,05 mm in 0,1 mm, prsnem kotu 30° in rezalni hitrosti 1,2 m/s	43
Preglednica 10: Rezultati meritev parametrov R_a , R_z in R_{max} v μm pri odrezovanju s prsnim kotom 30° , rezalno hitrostjo 1,2 m/s in debelino odrezka 0,1 mm.....	47
Preglednica 11: R_a (μm) pri različnih usmeritvah tkiva ter debelini odrezovanja 0,05 mm in 0,1 mm, prsnem kotu 20° in rezalni hitrosti 1,2 m/s	48
Preglednica 12: R_z (μm) pri različnih usmeritvah tkiva ter debelini odrezovanja 0,05 mm in 0,1 mm, prsnem kotu 20° in rezalni hitrosti 1,2 m/s	49
Preglednica 13: R_{max} (μm) pri različnih usmeritvah tkiva ter debelini odrezovanja 0,05 mm in 0,1 mm, prsnem kotu 20° in rezalni hitrosti 1,2 m/s	51

KAZALO SLIK

Slika 1: Smrekovina (Meier, 2016).....	3
Slika 2: Koti rezalnega klina (Grošelj in sod., 1999).....	4
Slika 3: Elementi rezalnega klina (Grošelj in sod., 1999).....	5
Slika 4: Vrste rezalnega orodja: A – monolitno, B – sestavljeni, C – sestavljeni (Stegne, 2011)	6
Slika 5: Geometrijski pogoji odrezovanja (h – nominalna debelina odrezka, Δh – elastična deformacija, ρ – radij rezalnega roba, α – prosti kot, β – ostrinski kot, γ – prsnii kot (Bučar & Bučar, 2002).....	8
Slika 6: Premočrtno odrezovanje s tračno žago (Grošelj in sod., 1999).....	8
Slika 7: Krožno odrezovanje (A - skobljanje, rezkanje; B - krožna žaga) (Grošelj in sod., 1999)	9
Slika 8: Glavne smeri odrezovanja (Hoadley, 2000)	9
Slika 9: Odrezovanje v smeri vlaken (A) in proti vlaknom (B), (Hoadley, 2000)	10
Slika 10: Nastajanje odrezka tipa I (Franz, 1958)	11
Slika 11: Nastajanje odrezka tipa II (Franz, 1958)	11
Slika 12: Nastajanje odrezka tipa III (Franz, 1958).....	12
Slika 13: Kot inklinacije (λ), (Csanády & Magoss, 2012)	13
Slika 14: Profil površine; (a) hravavost, (b) valovitost, (c) oblika, (Jiang in sod., 2007).....	14
Slika 15: Srednja aritmetična hravavost profila R_a (Simončič, 2016).....	15
Slika 16: Parametri hravavosti R_p , R_v in R_t (Simončič, 2016)	15
Slika 17: Srednja globina hravavosti R_z	16
Slika 18: Koeficient asimetrije R_{sk} (Davim, 2010)	17
Slika 19: Sploščenost R_{ku} (Davim, 2010).....	17
Slika 20: Krivulja nosilnosti $R_{mr}(c)$ (Ramrez M., 2013)	18
Slika 21: Nosilni del rezila za ortogonalno odrezovanje (A) in inklinirano odrezovanje (B).....	19
Slika 22: Nastanek odrezka pri ortogonalnem odrezovanju (A) in inklinacijskem odrezovanju (B).....	20
Slika 23: Stroj za premočrtno odrezovanje, na katerem smo opravili eksperiment	21
Slika 24: Sistem pritrditve vzorca pri odrezovanju	21
Slika 25: Merjenje hravavosti po odrezovanju na novonastali površini	22
Slika 26: Kot 40° med robom odrezovanja in potekom tkiva	23
Slika 27: Vrednosti, ki jih prikazuje kvartilni grafikon	25
Slika 28: Vrednosti R_a pri debelini odrezovanja 0,05 mm in prsnim kotom 20°	26
Slika 29: Vrednosti R_a pri debelini odrezovanja 0,1 mm in prsnim kotom 20°	27
Slika 30: Primerjava povprečnih vrednosti R_a pri debelini odrezovanja 0,05 mm in 0,1 mm ter prsnim kotom 20°	27
Slika 31: Vrednosti R_z pri debelini odrezovanja 0,05 mm in prsnim kotom 20°	28

Slika 32: Vrednosti R_z pri debelini odrezovanja 0,1 mm in prsnim kotom 20°	28
Slika 33: Primerjava povprečnih vrednosti R_z pri debelini odrezovanja 0,05 mm in 0,1 mm ter prsnim kotom 20°	29
Slika 34: Vrednosti R_{max} pri debelini odrezovanja 0,05 mm in prsnim kotom 20°	30
Slika 35: Vrednosti R_{max} pri debelini odrezovanja 0,1 mm in prsnim kotom 20°	30
Slika 36: Primerjava povprečnih vrednosti R_{max} pri debelini odrezovanja 0,05 mm in 0,1 mm in prsnim kotom 20°	31
Slika 37: Vrednosti R_a pri debelini odrezovanja 0,05 mm in rezalni hitrosti 1,2 m/s	32
Slika 38: Vrednosti R_a pri debelini odrezovanja 0,1 mm in rezalni hitrosti 1,2 m/s	33
Slika 39: Vrednosti R_a pri debelini odrezovanja 0,15 mm in rezalni hitrosti 1,2 m/s	33
Slika 40: Primerjava povprečnih vrednosti R_a pri debelini odrezovanja 0,05 mm, 0,1 mm in 0,15 mm ter rezalni hitrosti 1,2 m/s.....	34
Slika 41: Vrednosti R_z pri debelini odrezovanja 0,05 mm in rezalni hitrosti 1,2 m/s.....	35
Slika 42: Vrednosti R_z pri debelini odrezovanja 0,1 mm in rezalni hitrosti 1,2 m/s.....	35
Slika 43: Vrednosti R_z pri debelini odrezovanja 0,15 mm in rezalni hitrosti 1,2 m/s.....	35
Slika 44: Primerjava povprečnih vrednosti R_z pri debelini odrezovanja 0,05 mm, 0,1 mm in 0,15 mm ter rezalni hitrosti 1,2 m/s.....	36
Slika 45: Vrednosti R_{max} pri debelini odrezovanja 0,05 mm in rezalni hitrosti 1,2 m/s	37
Slika 46: Vrednosti R_{max} pri debelini odrezovanja 0,1 mm in rezalni hitrosti 1,2 m/s	37
Slika 47: Vrednosti R_{max} pri debelini odrezovanja 0,15 mm in rezalni hitrosti 1,2 m/s	37
Slika 48: Primerjava povprečnih vrednosti R_{max} pri debelini odrezovanja 0,05 mm, 0,1 mm in 0,15 mm ter rezalni hitrosti 1,2 m/s	38
Slika 49: Površina pri debelini odrezovanja 0,05 mm in prsnim kotom 5° (A) ter debelini odrezovanja 0,05 mm in prsnim kotom 30° (B)	38
Slika 50: Vrednosti R_a pri debelini odrezovanja 0,05 mm, prsnem kotu 30° in rezalni hitrosti 1,2 m/s.....	40
Slika 51: Vrednosti R_a pri debelini odrezovanja 0,1 mm, prsnem kotu 30° in rezalni hitrosti 1,2 m/s.....	41
Slika 52: Primerjava povprečnih vrednosti R_a pri debelini odrezovanja 0,05 mm in 0,1 mm, prsnem kotu 30° in rezalni hitrosti 1,2 m/s	41
Slika 53: Vrednosti R_z pri debelini odrezovanja 0,05 mm, prsnem kotu 30° in rezalni hitrosti 1,2 m/s.....	42
Slika 54: Vrednosti R_z pri debelini odrezovanja 0,1 mm, prsnem kotu 30° in rezalni hitrosti 1,2 m/s.....	42
Slika 55: Primerjava povprečnih vrednosti R_z pri debelini odrezovanja 0,05 mm in 0,1 mm, prsnem kotu 30° in rezalni hitrosti 1,2 m/s	43
Slika 56: Vrednosti R_{max} pri debelini odrezovanja 0,05 mm, prsnem kotu 30° in rezalni hitrosti 1,2 m/s	44
Slika 57: Vrednosti R_{max} pri debelini odrezovanja 0,1 mm, prsnem kotu 30° in rezalni hitrosti 1,2 m/s.....	44

Slika 58: Primerjava povprečnih vrednosti R_{max} pri debelini odrezovanja 0,05 mm in 0,1 mm, prsnem kotu 30° in rezalni hitrosti 1,2 m/s	45
Slika 59: Odvisnost efektivnega prsnega kota od kota inklinacije pri prsnem kotu 30°	46
Slika 60: Primerjava povprečnih vrednosti meritev pri odrezovanju s prsnim kotom 30°, rezalno hitrostjo 1,2 m/s in debelino odrezka 0,1 mm	47
Slika 61: Vrednosti R_a pri debelini odrezovanja 0,05 mm, prsnem kotu 20° in rezalni hitrosti 1,2 m/s.....	48
Slika 62: Vrednosti R_a pri debelini odrezovanja 0,1 mm, prsnem kotu 20° in rezalni hitrosti 1,2 m/s.....	49
Slika 63: Primerjava povprečnih vrednosti R_a pri debelini odrezovanja 0,05 mm in 0,1 mm, prsnem kotu 20° in rezalni hitrosti 1,2 m/s	49
Slika 64: Vrednosti R_z pri debelini odrezovanja 0,05 mm, prsnem kotu 20° in rezalni hitrosti 1,2 m/s.....	50
Slika 65: Vrednosti R_z pri debelini odrezovanja 0,1 mm, prsnem kotu 20° in rezalni hitrosti 1,2 m/s.....	50
Slika 66: Primerjava povprečnih vrednosti R_z pri debelini odrezovanja 0,05 mm in 0,1 mm, prsnem kotu 20° in rezalni hitrosti 1,2 m/s	51
Slika 67: Vrednosti R_{max} pri debelini odrezovanja 0,05 mm, prsnem kotu 20° in rezalni hitrosti 1,2 m/s	52
Slika 68: Vrednosti R_{max} pri debelini odrezovanja 0,1 mm, prsnem kotu 20° in rezalni hitrosti 1,2 m/s.....	52
Slika 69: Primerjava povprečnih vrednosti R_{max} pri debelini odrezovanja 0,05 mm in 0,1 mm, prsnem kotu 20° in rezalni hitrosti 1,2 m/s	53

KAZALO PRILOG

PRILOGA A – Rezalne hitrosti (rezultati meritev)

PRILOGA B – Prsni koti (rezultati meritev)

PRILOGA C – Kot inklinacije (rezultati meritev)

PRILOGA D – Usmeritev tkiva (rezultati meritev)

OKRAJŠAVE IN SIMBOLI

α	prosti ali hrbtni kot [°]
β	ostrinski kot ali kot klina [°]
γ	cepilni ali prsni kot [°]
δ	rezni kot [°]
λ	kot inklinacije [°]
a	debelina odrezka [mm]
v_r	rezalna hitrost [m/s]
d	premer [m]
n	vrtilna hitrost [min^{-1}]
R_a	srednja aritmetična hrapavost profila [μm]
R_p	največja vrednost odmika nad srednjo linijo [μm]
R_v	največja vrednost odmika pod srednjo linijo [μm]
R_t	razdalja med najvišjo in najnižjo točko profila [μm]
R_q	kvadratična srednja hrapavost [μm]
R_z	srednja globina hrapavosti [μm]
R_{sk}	koeficient asimetrije
R_{ku}	koeficient sploščenosti
$R_{mr}(c)$	nosilnost profila [%]
Q_1	prvi kvartil
Q_2	drugi kvartil
Q_3	tretji kvartil
oz.	oznaka
št.	število
mm	milimeter
μm	mikrometer
min.	minimalno
max.	maksimalno
npr.	na primer

1 UVOD

Les je nehomogen in anizotropen material, zato je odrezovanje lesa kompleksen proces na katerega vpliva vrsta različnih dejavnikov. Da bi dosegali čim kakovostnejšo površino pri odrezovanju pa moramo dobro poznati vse te dejavnike, da lahko izberemo ustrezone tehnološke parametre in orodje z ustrezeno geometrijo. Z namenom, da bi poiskali najustreznejše parametre smo naredili eksperiment, kjer smo odrezovali smrekovino in merili hrapavost obdelane površine.

1.1 OPREDELITEV PROBLEMA

Kakovost obdelane površine je deloma odvisna od ustrezne izbire geometrijskih lastnosti rezila in tehnoloških parametrov obdelave. Geometrija rezil je prilagojena različnim drevesnim vrstam, ki se med seboj razlikujejo v svojih fizikalnih in mehanskih lastnostih, zato enaka geometrija ni za vse vrste optimalna. Z ustreznim rezilom lahko pri odrezovanju dosežemo bolj gladko površino, ki nam omogoča učinkovitejšo nadaljnjo obdelavo, brez dodatnih delovnih operacij, ki so potrebne zaradi slabo obdelane, zatrgane površine.

1.2 DELOVNE HIPOTEZE

Pri odrezovanju lesa lahko vplivamo na kakovost obdelave s pravilno izbiro geometrije rezila in tehnoloških parametrov obdelave in tako dosežemo optimalno kakovost obdelane površine.

1.3 CILJI IN NALOGE

Cilj naloge je proučiti vplive geometrijskih lastnosti rezila in tehnoloških parametrov obdelave na kakovost površine pri odrezovanju smrekovine v vzdolžni smeri lesnega tkiva.

2 PREGLED LITERATURE

2.1 SMREKA

Navadna smreka (*Picea abies*) je pri nas zelo razširjena, saj so jo z gozdarskimi ukrepi v zadnji 200 letih z njenih naravnih gorskih rastišč razširili tudi v nižje ležeče gozdove (Čufar, 2008). Uspeva v severni in hribovitih predelih severne Evrope. Ima ravno in polnolesno deblo predvsem kadar raste v strnjениh gozdovih. Krošnja je stožčasta oziroma piramidalna. V višino zraste 30 do 50 m in doseže prsni premer do 2 m. Skorja je tanka, rjavo rdečkaste barve in pri starejših drevesih razpoka v obliki zaokroženih lusk. Iglice so trde, ošiljene, štirioglate in razporejene okrog vej. Storži so viseči in odpadejo (Pipa, 1990).

Smrekov les je rumeno bele barve in ima svilnat lesk (slika 1). Beljava in jedrovina se barvno ne ločita. Les s časoma potemni. Branike so razločne, prehod svetlejšega ranega lesa v temnejši kasni les je postopen. Les vsebuje smolne kanale. Pojavljajo se tudi večji smolni žepki, ki predstavljajo napako v lesu (Čufar, 2008). Les je podoben jelovini, ki nima smolnih kanalov in je nekoliko bolj belkasta in ima pogosto modrikast odtenek.

Srednja gostota absolutno suhega (r_0) lesa je 430 kg/m^3 . Les se zmerno krči, in je razmeroma trden. Dobro se suši in lepi, prav tako je dobra strojna in površinska obdelava. Dobro se tudi žeblja in vijači. Železo ob stiku s smrekovino ne korodira, vendar se les zaradi železovih ionov lahko sivkastoobarva. Pri uporabi na prostem mora biti pravilno vgrajena in površinsko zaščitena. V primerjavi z borovino se precej slabše impregnira. Smrekovina ni odporna proti insektom in glivami, kar je ena njegovih glavnih pomanjkljivosti (Čufar, 2008). Ima tudi napake med katere prištevamo grčavost, smolike, modrivost, trohnobo in rove insektov.

Smrekovina se uporablja kot gradbeni in konstrukcijski les, za ostrešja, skidle, ogrodne konstrukcije, notranje in zunanje obloge, okna, vrata, fasade, balkone, pergole, ograje, stopnice, pohištvo, ... Iz smrekovine se proizvajajo tudi lesni kompoziti kot so iverne in vlaknene plošče, sredice mizarskih plošč, furnir, plošče iz lesne volne. Prednost smrekovega lesa je, da ima ravna polnolesna debla, razmeroma visoko trdnost ob razmeroma nizki gostoti, široko uporabnost in je na razpolago v zadostnih količinah po dostopni ceni. Glavna slabost smrekovine pa je njen biološka neodpornost (Čufar, 2008).



Slika 1: Smrekovina (*Meier, 2016*)

2.2 REZALNA ORODJA

Pri obdelavi lesa uporabljamo različna rezalna orodja, ki pa imajo zelo pomembno vlogo. Rezalna orodja lahko ločimo na orodje, ki ima geometrijsko določeno rezilo, npr. žaga, sveder, nož, rezkar in orodje, ki nima geometrično določenega rezila, npr. brusni papir. Vsa orodja imajo rezalni klin, ki zaradi sile prodira v material in tako razdvaja izdelke (Geršak, 1990).

2.2.1 Geometrija rezalnega orodja

Geometrija rezalnega orodja je eden izmed bistvenih parametrov strojne obdelave lesa in je podobna ne glede na vrsto in namen rezalnega orodja. Neposredno vpliva na kvaliteto obdelane površine, obstojnost rezil in potrebne sile pri odrezovanju.

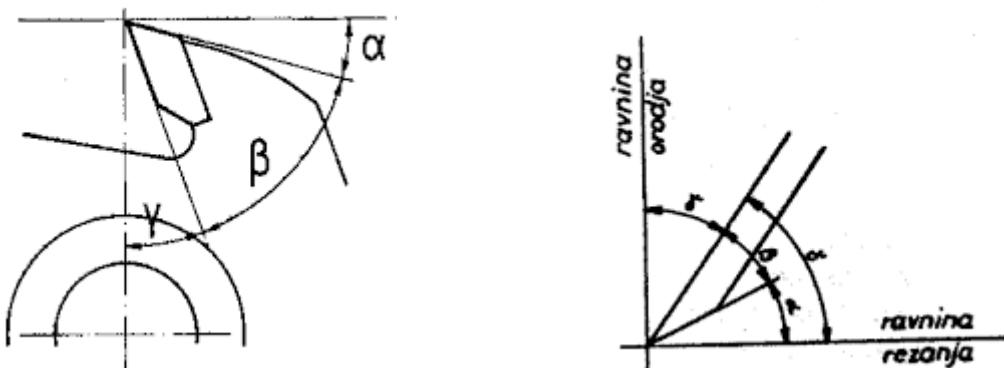
Velikost posameznih kotov je odvisna od vrste materiala, ki ga obdelujemo (masivni les, iverne plošče, MDF...), smeri odrezovanja, trdote lesa, vlažnosti lesa in vrste materiala, iz katerega je izdelano orodje (Stegne, 2011).

Orodje oziroma rezilo ima kote, ki jih prikazuje slika 2:

- α je prosti ali hrbtni kot (kot med prosto ploskvijo in ravnino rezanja),
- β je ostrinski kot ali kot klina (kot med prosto ploskvijo in cepilno ploskvijo klina),
- γ je cepilni ali prsn kot (kot med cepilno ploskvijo klina in ravnino orodja)

Prosti kot nam zagotavlja, da hrbtna površina rezila ne povzroča trenja oz. se ne dotika obdelane površine. Velikost prostega kota znaša okoli 10° - 15° . Ostrinski kot ali kot klina vpliva na trdnost in ostrino rezila in odvaja toploto, ki nastaja med odrezovanjem stran od konice rezila. Trd rezalni material je krhek, zato mora imeti večji ostrinski kot, da ne pride do krušenja roba rezila. Od prsnega kota rezila je odvisno kako se bo odrezek formiral. Večji prsni koti omogočajo manjšo sila rezanja in povzročajo manjšo obrabo rezila. Pri zelo majhnih kotih rezilo strga po površini zato je obraba velika. Trd rezalni material ima manjše prsne kote saj ima večji ostrinski kot (Csanády in Magoss, 2012).

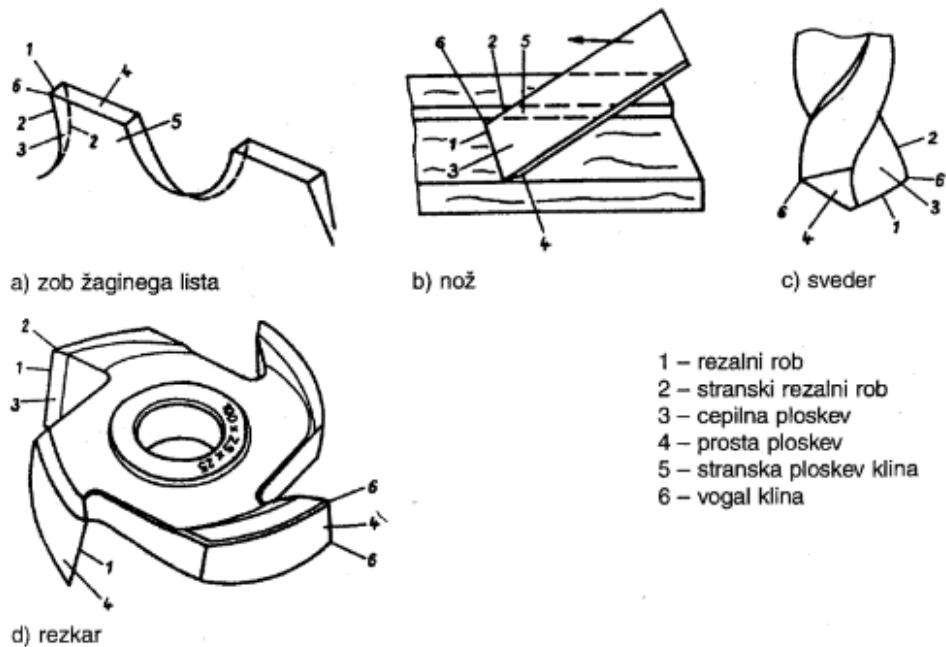
Vsota kotov α , β in γ je vedno 90° . Prsni kot γ je lahko negativen. Rezni kot δ je seštevek prostega kota α in ostrinskega kota β . Ravnina orodja in ravnina rezanja sta med seboj pravokotni.



Slika 2: Koti rezalnega klina (*Grošelj in sod.*, 1999)

Rezilo sestavlja površine in rezalni robovi, kot je prikazuje slika 3:

- rezalni rob, ki je dejansko vedno zaokrožen (radij od $10 \mu\text{m}$ pri ostrih do $0,1 \text{ mm}$ pri skrhanih rezilih), je linija na preseku prsne in hrbtnne površine
- prsna površina ali cepilna ploskev, po kateri drsi odrezek
- hrbtna površina ali prosta ploskev meji na rezalni rob in je obrnjena proti ploskvi obdelovanca
- bočna površina ali stranska ploskev tvori stranski rezalni rob
- vogal klina je točka, kjer se stikata glavni rezalni rob in stranski rezalni rob (Abram, 2011).



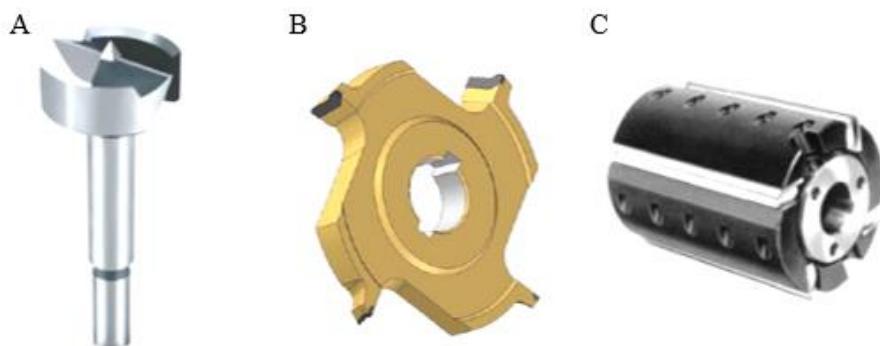
Slika 3: Elementi rezalnega klina (*Grošelj in sod.*, 1999)

2.2.2 Vrste rezalnega orodja

Na rezalnem orodju ločimo nosilno telo in rezilo. Nosilno telo ima obliko, ki je prilagojena funkciji in pritrditvi orodja na obdelovalni stroj, rezilo pa ima obliko klina, da prodira v les (Grošelj in sod., 1999). Vrste rezalnega orodja prikazuje slika 4.

Glede na izdelavo razlikujemo:

- monolitno (enodelno) rezalno orodje, ki je v celoti izdelano iz enega materiala in je običajno iz legiranega jekla (krožni žagni listi, rezkarji, svedri...),
- sestavljeni orodje ima nosilno telo iz žilavega materiala (jeklo) in rezilo (karbidne trdine) v obliki ploščic, ki so z lotanjem ali lepljenjem pritrjena na nosilno telo (krožni žagni listi, rezkarji, svedri...),
- sestavljeni orodje je zgrajeno iz več delov, pri katerih se lahko rezila zamenjajo (skobeljne glave, rezkalne glave ...).



Slika 4: Vrste rezalnega orodja: A – monolitno, B – sestavljen, C – sestavljivo (*Stegne, 2011*)

2.2.3 Rezalni materiali

Rezilo mora biti izdelano iz posebnega materiala, ki ga imenujemo rezalni material in mora ustrezati naslednjim zahtevam:

- imeti mora veliko trdoto, ki jo mora obdržati tudi pri visokih temperaturah,
- imeti mora veliko trdnost in čim večjo žilavost, da prenese tudi vibracije in sunkovite obremenitve, ki nastanejo pri odrezovanju,
- biti mora odporen proti koroziji.

Za orodje se uporablajo različni rezalni materiali:

2.2.3.1 Orodna jekla

Dopuščajo zelo majhne rezalne hitrosti. Trdoto obdržijo le do temperature 300 °C, zato se jih uporablja le za izdelavo ročnih orodij (Abram, 2011).

2.2.3.2 Hitrorezna jekla (HSS)

Hitrorezna jekla so močno legirana jekla. Visoko trdoto obdržijo tudi pri povišanih temperaturah. Trdota sicer ni tako visoka kot pri karbidnih trdinah vendar pa imajo hitrorezna jekla večjo žilavost in odpornost proti udarcem (Rezalno ..., 2016).

2.2.3.3 Karbidne trdine (HM)

Karbidne trdine imajo visoko trdoto, višjo od HSS in so jo sposobne obdržati tudi pri višjih temperaturah tudi nad 1000 °C. Njihova trdnost je nizka. Izdelujejo jih s sintranjem. To je postopek, kjer drobne delce stisnejo in segrejejo pri visoki temperaturi da se spojijo (Rezalno ..., 2016).

2.2.3.4 Prevlečeni rezalni materiali

Uporabljajo se za rezalno orodje manjših dimenzij (rezkarji, svedri...), kje na površino nanesejo več tankih prevlek debelin $2 \mu\text{m}$. Prevleka zmanjšuje trenje in obrabno odpornost ter odpornost proti difuziji. Uporablja se pri visoko hitrostni obdelavi (Grošelj in sod., 1999).

2.2.3.5 Diamant

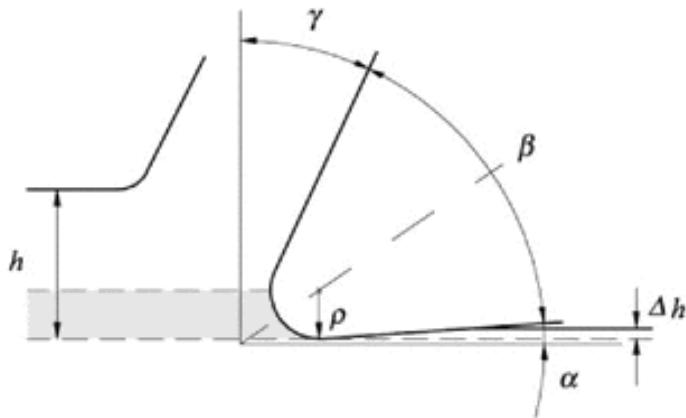
Diamantna rezila imajo zelo visoko trdoto, dobro topotno prevodnost in veliko odpornost proti obrabi vendar imajo majhno upogibno trdnost in so zelo občutljiva na sunkovite obremenitve. Uporablja se jih pri fini obdelavi, kjer prihaja do manjših rezalnih sil in imamo tog ter mirno delujoč stroj (Rezalno ..., 2016).

2.3 ODREZOVANJE

Les ima določene lastnosti, po katerih se razlikuje od drugih materialov, zato je obdelava lesa dokaj zapleten postopek. Je nehomogen, higroskopičen, anizotropen in ima različne smeri odrezovanja glede na potek rasti (Stegne, 2011).

Odrezovanje je najpomembnejša mehanska metoda v obdelavi lesa. Pri odrezovanju nastajajo odrezki, ki predstavljajo odvzeti material in nove površine, ki pomenijo ravnine lokalnih porušitev strukture obdelovalnega materiala. Odrezovanje je proces deformacije in porušitve materiala v lokaliziranem območju, ki se odraža v relativnem gibanju med obdelovancem in orodjem oziroma rezilom (Bučar, 1991).

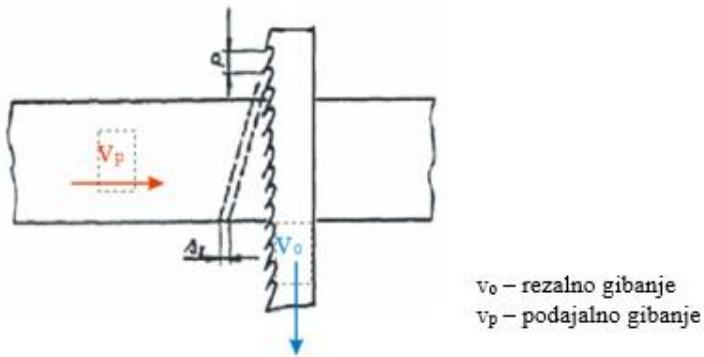
Pri prodiranju rezila v les se le ta v deformacijskem območju pred rezilom deformira. Prihaja do večinoma plastičnih deformacij v perifernem delu deformacijskega območja pa tudi do elastičnih deformacij. Snovni tok materiala je pri odrezovanju razdeljen na dva dela. Del toka prehaja v odrezek in del pod rezilo (obarvano območje na sliki 5). Zaradi materiala, ki polzi pod rezilom pride do plužnega efekta, ki ima vpliv na obe komponenti rezalne sile. Od razmerja med debelino odrezka (h) in radijem rezalnega roba (ρ) je odvisen delež materiala, ki se plastično deformira in prehaja v odrezek. Del materiala se stisne in se za vrednost elastične deformacije (Δh) zopet dvigne. Teoretično nastane odrezek iz materiala v območju $h - \rho$. Delež materiala, ki prehaja v odrezek se povečuje z večanjem nominalne debeline odrezka (Bučar in Bučar, 2002).



Slika 5: Geometrijski pogoji odrezovanja (h – nominalna debelina odrezka, Δh – elastična deformacija, ρ – radij rezalnega roba, α – prosti kot, β – ostrinski kot, γ – prsni kot) (Bučar in Bučar, 2002)

2.3.1 Premočrtno odrezovanje

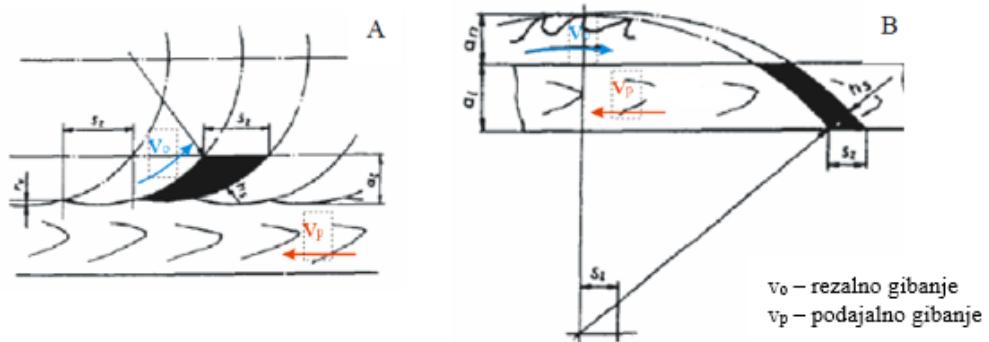
Pri ortogonalnem premočrtnem odrezovanju je rob rezila pravokoten na smer pomika. Rez poteka v ravni vzporedno s prvotno površino obdelovanca. Odrezek je po vsej dolžini enako debel. Obdelana površina je ravna. Primer premočrtnega odrezovanja je žaganje s tračnim žagnim listom (kot je razvidno na sliki 6), ročno skobljanje in rezanje furnirja (Hoadley, 2000).



Slika 6: Premočrtno odrezovanje s tračno žago (Grošelj in sod., 1999)

2.3.2 Krožno odrezovanje

Pri krožnem odrezovanju vrteče orodje z enim ali več rezili zareže v obdelovanec po krivulji imenovani cikloida. Orodje intermitentno odreže. Vsako rezilo na orodju naredi posamezni odrezek, ki na površini pušča obliko valov. Obdelana površina je valovita (Hoadley, 2000). Debelina odrezka pri krožnem odrezovanju ni enako debela po celotni dolžini odrezka ampak se z zasukom kota rezila spreminja. Primer krožnega odrezovanja je žaganje s krožnim žagnim listom (slika 7B), skobljanje in rezkanje (slika 7A).



Slika 7: Krožno odrezovanje (A - skobljanje, rezkanje; B - krožna žaga) (Grošelj in sod., 1999)

2.3.3 Smeri odrezovanja

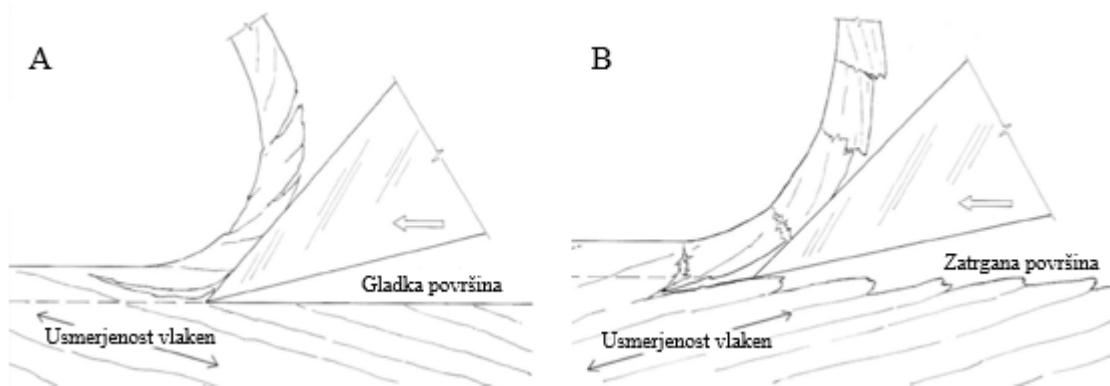
W. M. McKenzie je leta 1950 prišel do ugotovitve, da lahko smer odrezovanja opišemo z dvema številkama, kot je razvidno na sliki 8. Prvo število označuje kot med rezalnim robom in vzdolžnim potekom lesnega tkiva, drugo število pa kot med smerjo prodiranja rezalnega orodja in vzdolžnim potekom lesnega tkiva (Hoadley, 2000). Pri odrezovanju lesa je pomembno, v katerem prerezu konica rezila prodira v les in glede na to ločimo tri glavne smeri odrezovanja:

- $90^\circ-0^\circ$ (vzdolžni rez ali odrezovanje v smeri vlaken),
- $90^\circ-90^\circ$ (čelnji rez ali odrezovanje pravokotno na smer vlaken) in
- $0^\circ-90^\circ$ (prečni rez ali odrezovanje bočno na vlakna).



Slika 8: Glavne smeri odrezovanja (Hoadley, 2000)

Pri premočrtnem odrezovanju v smeri 90° - 0° na kakovost površine vpliva tudi usmerjenost vlaken (slika 9), ki pri odrezovanju v praksi večinoma niso popolnoma vzporedna s smerjo rezanja. Smer vlaken se lahko nekoliko dviga glede na ravnino rezanja in tako odrezujemo v smeri vlaken. Kadar pa smer vlaken pada, odrezujemo proti smeri vlaken. Pri odrezovanju proti smeri pa vlaken prihaja do cepljenja pod površino odrezovanja, kar povzroča zatrgano površino, zato se tej smeri odrezovanja poizkušamo izogniti z obračanjem obdelovanca (Hoadley, 2000).



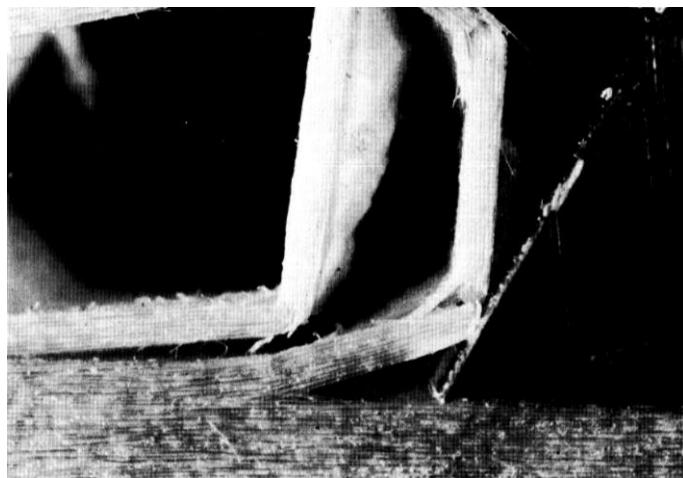
Slika 9: Odrezovanje v smeri vlaken (A) in proti vlaknom (B), (Hoadley, 2000)

2.3.4 Tip odrezka

Pri odrezovanju lesa v smeri vlaken (90° - 0°) ali pri zelo majhnih kotih glede na vlakna ločimo tri tipe odrezkov. Odrezek tip I, tip II in tip III. Odrezki so formirani z klini različnih geometrij (Franz, 1958).

2.3.4.1 Odrezek tip I

Odrezek tipa I (slika 10) nastaja v ciklu sestavljenem iz več zaporednih faz. Na začetku pride do pritiska rezila na lesna vlakna, kjer se začne ustvarjati odrezek. Prihaja do napetosti v lesu in prične se cepljenje tkiva pred rezalnim robom. Odrezek drsi po cepilni ploskvi, pri tem pa se upogiba in tako napreduje razpoka vse dokler napetost v odrezku doseže natezno porušitveno napetost lesa in pride do zloma odrezka. Rezilo se pomakne do mesta zloma in začne odrezovati nov segment odrezka. Celoten cikel se ponovi in tako dobimo nekontinuiran odrezek sestavljen iz več segmentov. Nastaja pri večjih prsnih kotih 25° in več. Trenje med prsnou površino in odrezkom je majhno prav tako tudi obraba konice, saj rezilo ne odrezuje ves čas. Pri odrezovanju v smeri proti rasti prihaja do cepitve tkiva pod ravnino odrezovanja. Rezultat je slabo obdelana površina, kjer prihaja do iztrganih in odlomljenih vlaken (Franz, 1958).



Slika 10: Nastajanje odrezka tipa I (*Franz, 1958*)

2.3.4.2 Odrezek tip II

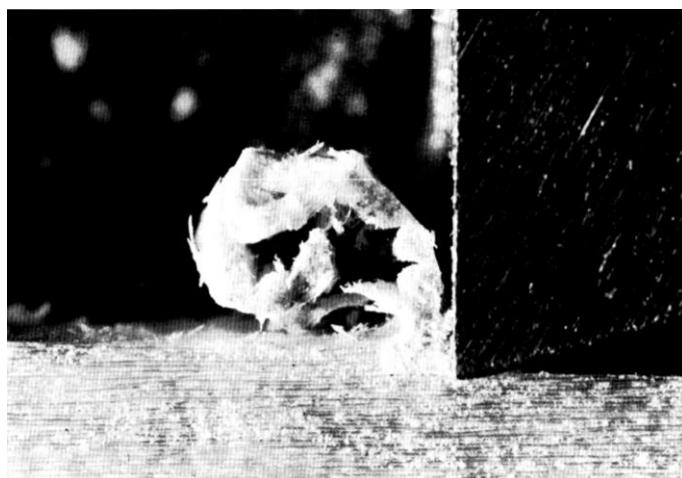
Rezilo pri odrezku tipa II (slika 11) obremenjuje lesna vlakna na tlak v vzdolžni smeri in povzroča strižne napetosti. pride do tlačnih porušitev. Odrezek nastaja v strižni ravnini, ki poteka diagonalno navzgor od rezalnega roba na površino. Odrezek je kontinuiran, gladek in zavit. Rezilo je ves čas v stiku z lesom, zato se hitreje obrabi kot pri odrezku tipa I. Trenje med odrezkom in prsnim ploskvijo je veliko. Za odrezovanje je potrebna večja moč kot pri odrezku tipa I in manjša kot pri odrezku tipa III. Odrezek tipa II nastaja pri prsnih kotih od 5° do 20° . Obdelana površina je zelo dobra (Woodson in Koch, 1970).



Slika 11: Nastajanje odrezka tipa II (*Franz, 1958*)

2.3.4.3 Odrezek tip III

Pri odrezku tipa III (slika 12) so lesna vlakna pred rezilom obremenjena na tlak in strig v vzdolžni smeri. Pri porušitvi lesnih vlaken se poškodovanje celične strukture gnetejo pred rezilom in prihaja do zbijanja materiala. Ko se nabere dovolj stisnjenega materiala se ukloni in dvigne navzgor. Pogosto prihaja do porušitve lesnih vlaken pod ravnino rezanja, na površini ostanejo nepopolno odrezana vlakna. Obdelana površina je slabše kakovosti. Trenje med odrezkom in prsno ploskvijo je zelo veliko. Do odrezka tipa III prihaja pri majhnih prsnih kotih do 5° in pri topem rezilu, kjer zaokrožen rezalni rob predstavlja negativni prjni kot (Woodson in Koch, 1970).

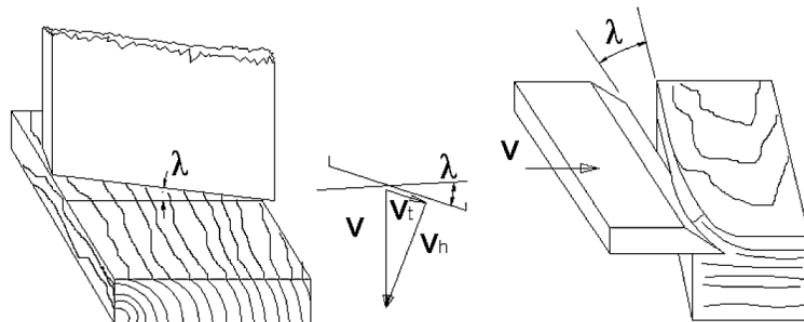


Slika 12: Nastajanje odrezka tipa III (*Franz, 1958*)

2.3.5 Inklinacija

Pri odrezovanju z inklinacijskim kotom rezalni rob ni pravokoten na smer gibanja rezila ampak je zamaknjen za določen kot. Ta kot imenujemo nagibni kot ali kot inklinacije in ga označujemo z λ (slika 13). S spremembo prsnega kota γ se spreminja tudi efektivni prjni kot γ_{ef} . Efektivni prjni kot dobimo s kombinacijo prsnega kota ter kota inklinacije in je vedno večji od prsnega kota.

Prednost inklinacijskega odrezovanja je manjša rezalna sila kar pomeni manjšo obremenitev pogonskega mehanizma in ležajev. Manjša vzbujevalna sila povzroča tudi manj vibracij na obdelovancu. Dosežemo lahko boljšo kakovost obdelane površine (Csanády in Magoss, 2012).



Slika 13: Kot inklinacije (λ), (Csanády in Magoss, 2012)

2.3.6 Rezalna hitrost

Hitrost gibanja orodja imenujemo rezalna hitrost. Pri krožnem odrezovanju oz. gibanju rezila je rezalna hitrost neposredno odvisna od premera rezalnega orodja in vrtilne hitrosti delovne gredi (Grošelj in sod., 1999). Rezalna hitrost je večja, če je večji premer orodja in višja vrtilna hitrost. Vpliva tudi na kakovost obdelane površine. Višja je rezalna hitrost bolj gladka je obdelana površina lesa.

Enačba za izračun rezalne hitrosti (1):

$$v_r = \frac{\pi \times d \times n}{60} \text{ [m/s]} \quad \dots(1)$$

d – premer orodja [m]

n – vrtilna hitrost delovne gredi [št. vrtljajev/min]

2.3.7 Podajalna hitrost

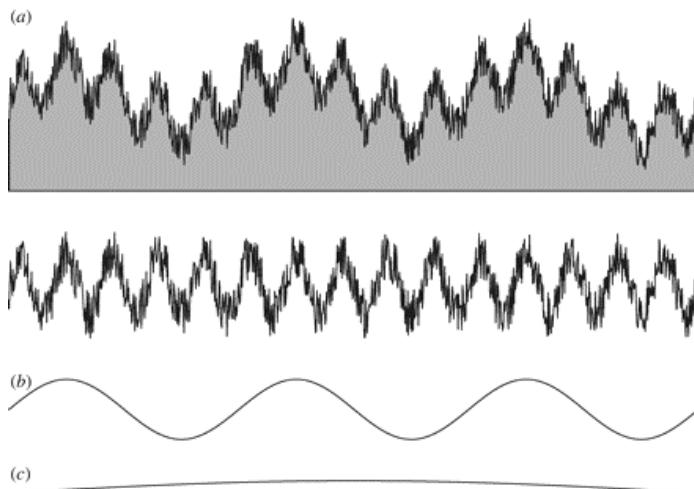
Podajalna hitrost je hitrost gibanja obdelovanca proti orodju ali hitrost pomika orodja proti pritrjenemu obdelovancu. S podajalno hitrostjo se določa kapaciteto stroja in debelino odrezka, ki je večja pri višji podajalni hitrosti (Prošek in sod., 2001 cit. po Abram, 2011).

2.4 MERJENJE HRAPAVOSTI OBDELANIH POVRSIN

Pri določevanju kakovosti površine obravnavamo njeno hrapavost in valovitost. Vsaka površina ima profil, ki je hrapav in valovit vendar hrapavosti in valovitosti ne moremo zadovoljivo določiti z samo z opazovanjem površine. Za njuno določevanje obstajajo predpisani postopki merjenja. Meritve se lahko izvaja s kontaktnimi ali optičnimi instrumenti. Kontaktni meritnik deluje s pomočjo tipala, ki drsi po površini v vodoravnih smerih, glede na profil pa se pomika v vertikalni smeri in izmeri parametre hrapavosti. Optični meritniki delujejo s pomočjo svetlobe in leč.

Profil površine ima tri prispevke k celotni hrapavosti (slika 14):

- hrapavost označujemo kot naključna odstopanja od idealne površine, ki ji lahko vsaj približno prikažemo kot zelo kratke valove,
- valovitost so pretežno periodično ponavljajoča odstopanja z večjo valovno dolžino,
- oblika, ki je nominalna površina oz. odstopanje od te površine na makro nivoju (Merjenje ..., 2016).



Slika 14: Profil površine; (a) hrapavost, (b) valovitost, (c) oblika, (Jiang in sod., 2007)

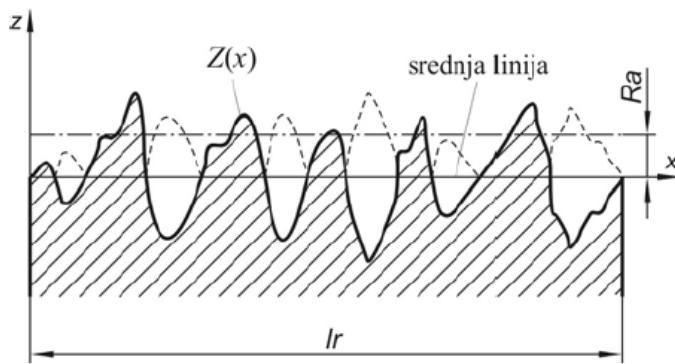
2.4.1 Parametri hrapavosti

Za določanje hrapavosti je definirana vrsta parametrov, ki se uporabljajo kot merilo površinske obdelave. Prvi korak analize je izračun srednje linije profila z metodo najmanjših kvadratov. Vsa nadaljnja analiza sloni na odmikih od srednje linije. (Čekada, 2002)

R_a – srednja aritmetična hrapavost profila je definirana kot aritmetično povprečje absolutnih vrednosti odmikov od srednje linije na referenčni dolžini lr , slika 15. Vrednost je izražena v μm .

Enačba za izračun parametra R_a (2):

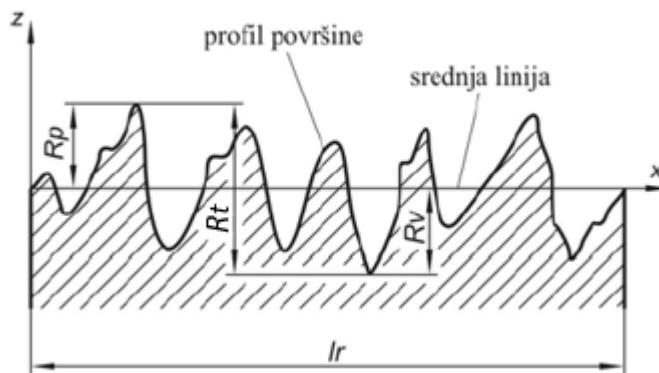
$$R_a = \frac{1}{lr} \int_0^{lr} |z(x)| dx \quad \dots(2)$$



Slika 15: Srednja aritmetična hrapavost profila R_a (Simončič, 2016)

R_p – največja vrednost odmika nad srednjo linijo (najvišja točka profila),
 R_v – največja vrednost odmika pod srednjo linijo (najnižja točka profila),
 R_t – razdalja med najvišjo in najnižjo točko profila na referenčni dolžini lr , slika 16.

$$R_t = R_p + R_v \quad \dots(3)$$



Slika 16: Parametri hrapavosti R_p , R_v in R_t (Simončič, 2016)

R_q – kvadratična srednja hrapavost je kvadratni koren vsote posamičnih višin profila na dolžini merjenja lr . Pri parametru R_q dobimo enake informacije o profilu kot pri parametru R_a , vendar je bolj občutljiv na vrhove in doline, ker upošteva kvadratne vrednosti.

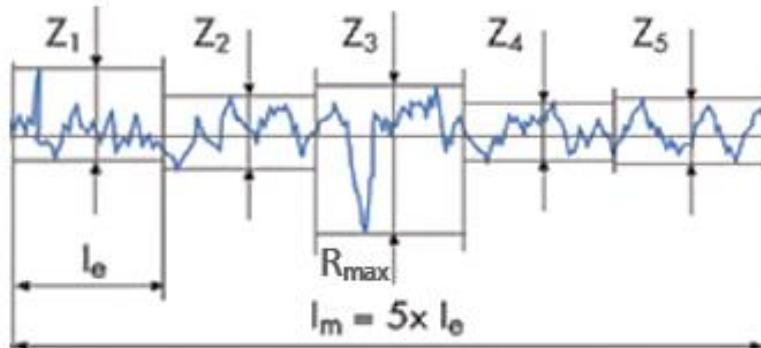
Izračuna se po enačbi (4):

$$R_q = \sqrt{\frac{1}{lr} \int_0^{lr} z^2(x) dx} \quad \dots(4)$$

R_z – srednja globina hrapavosti je povprečna vrednost petih posamičnih globin hrapavosti na izbrani dolžini merjenja l_m , slika 17. Vrednost Z je razdalja med min. in max. vrednostjo profila znotraj dolžine l_e . Prednost parametra R_z je, da v manjši meri upošteva neko izjemno veliko vrednost Z , ki morda nastopa le na enem mestu (Merjenje ..., 2016).

Izračuna se po enačbi (5):

$$R_z = \frac{1}{5} (Z_1 + Z_2 + Z_3 + Z_4 + Z_5) \quad \dots(5)$$



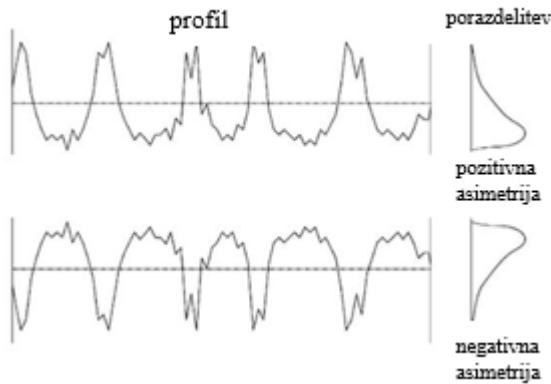
Slika 17: Srednja globina hrapavosti R_z

R_{max} – predstavlja največjo vrednost delnega profila hrapavosti Z_i na dolžini merjenja l_m . Primer, na sliki 17 ustreza vrednosti Z_3 .

R_{sk} – koeficient asimetrije (Skewness) prikaže kakšna je simetrija profila okoli srednje linije, slika 18. Njegova vrednost je označena kot pozitivna ali negativna. Negativna asimetrija pomeni, da je površina polna (Davim, 2010). Večina izmerjenih vrednosti je nad sredno linijo in le malo je izrazito nizkih vrednosti. Pozitivni asimetrija pa ima obratno porazdelitev, večino vrednosti je pod srednjo linijo malo pa je izrazito visokih vrednosti.

Koeficient R_{sk} se izračuna po enačbi (6):

$$R_{sk} = \frac{1}{R_q^3} \left[\frac{1}{lr} \int_0^{lr} z^3(x) dx \right] \quad \dots(6)$$

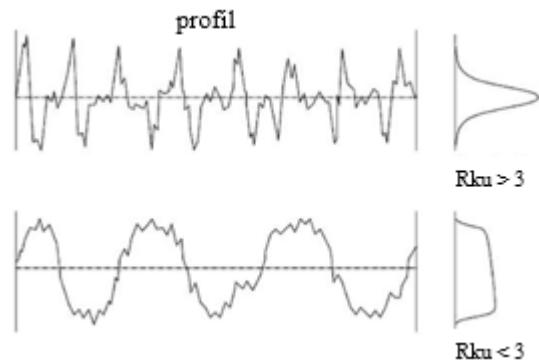


Slika 18: Koeficient asimetrije R_{sk} (Davim, 2010)

R_{ku} – koeficient sploščenosti (Kurtosis) nam poda ostrino površine, slika 19. Vrednost $R_{ku} = 3$ pomeni normalno površino, $R_{ku} > 3$ ostro površino, kjer je veliko izrazitih odstopanj nad ali pod srednjo linijo in $R_{ku} < 3$ topo površino, kjer je malo izrazitih odstopanj nad in pod srednjo linijo (Davim, 2010).

Izračuna se po enačbi (7):

$$R_{ku} = \frac{1}{R_q^4} \left[\frac{1}{lr} \int_0^{lr} z^4(x) dx \right] \quad \dots(7)$$

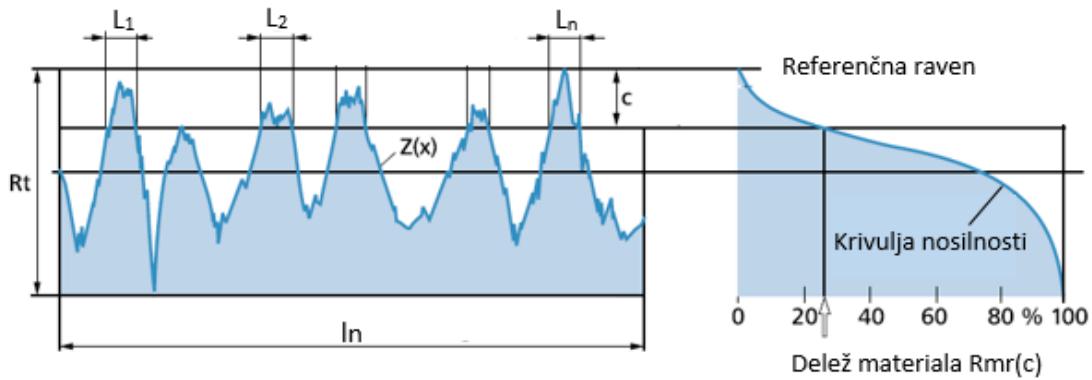


Slika 19: Sploščenost R_{ku} (Davim, 2010)

$R_{mr}(c)$ – krivulja nosilnosti ali Abbot-ova krivulja nam pove kakšen je delež materiala pri profilu, slika 20. Je razmerje med vsoto odsekov Li in dolžino ln . Odseki se merijo na presečni liniji, ki je za razdaljo c odmaknjena od najvišje točke profila proti srednji liniji. Bolj položna kot je krivulja, večja je nosilnost površine.

Izračuna se po enačbi (8):

$$R_{mr}(c) = \frac{1}{l_n} (L_1 + L_2 + \dots + L_n) 100 \quad [\%] \quad \dots(8)$$



Slika 20: Krivulja nosilnosti $R_{mr}(c)$ (Ramrez M., 2013)

3 MATERIALI IN METODE

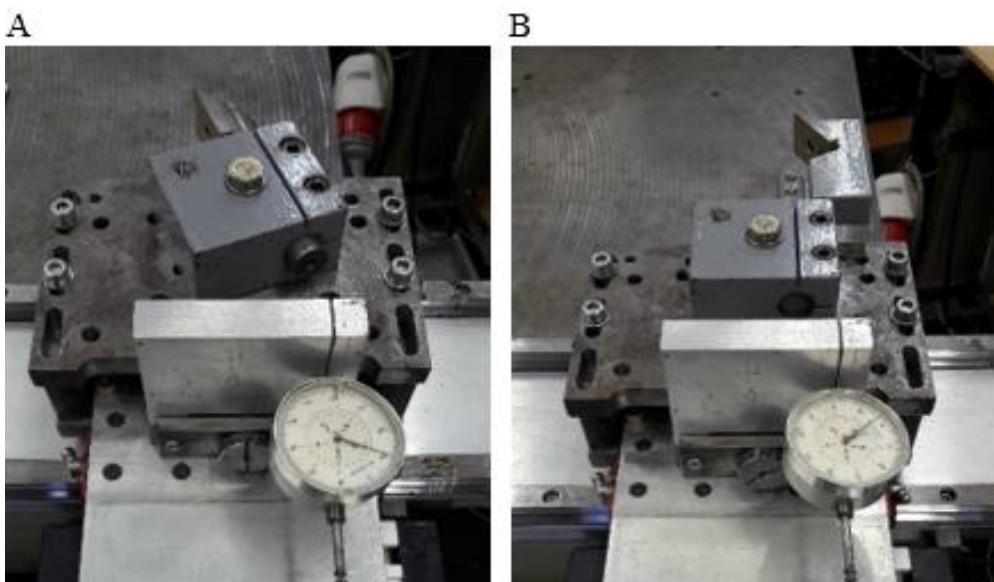
3.1 MATERIALI

3.1.1 Priprava testnih vzorcev

Za eksperiment smo uporabili smrekovino z vlažnostjo 8-9%. Les je bil brez napak (grč, razpok, smolnih kanalov), z enakomerno hitrostjo priraščanja in ravnimi letnicami. Iz smrekovega ploha debeline 80 mm smo izrezali vzorčni element dolžine 400 mm in sicer tako, da smo dobili približno kot 45° med usmeritvijo branik in robom kjer smo odrezovali. Vzorčni element smo širinsko zlepili zaradi možnosti vpetja vzorčnega kosa v vpenjalo. Skobljali smo ga na debelino 15 mm, ker smo bili pri odrezovanju omejeni s širino rezila. Širina robu, ki smo ga odrezovali se je namreč z nagibnim kotom povečevala. Element smo nazadnje razžagali na pol in dobili dva vzorčna kosa dolžine 180 mm, širine 150 mm in debeline 15 mm. Oba vzorca smo torej izrezali iz enega elementa, saj smo s tem zmanjšali vpliv nehomogenosti lesa, ki bi lahko vplivala na rezultate meritev.

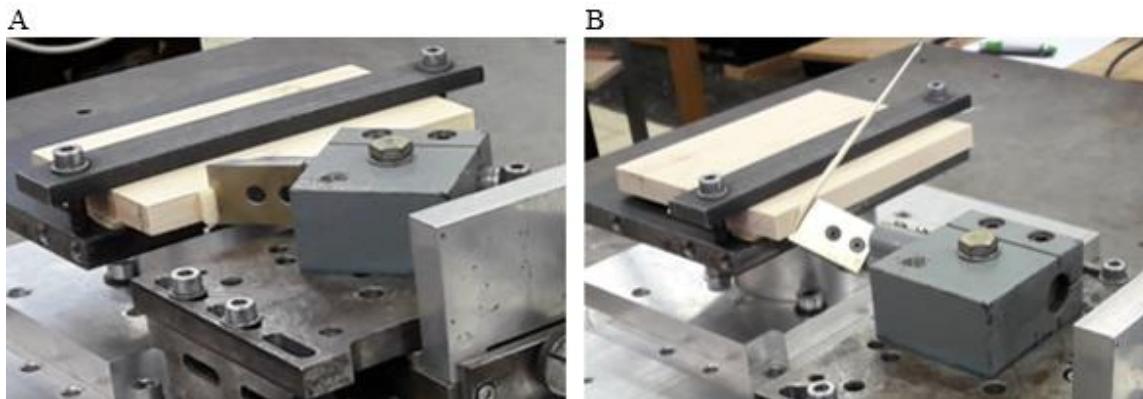
3.1.2 Rezilo

Rezilo s katerim smo odrezovali je bilo sestavljivo. Rezilna ploščica je bila pritrjena na nosilni del z dvema vijakoma. Uporabili smo dva nosilna dela. Prvi je bil namenjen za ortogonalno premočrtno odrezovanje in drugi za inklinirano premočrtno odrezovanje (slika 21). Rezilo je bilo izdelano iz hitroreznega jekla (HSS) in oplemeniteno. Kot klina (β) je znašal 30° . Rezilo je bilo naostreno, radij zaobljenosti rezalne konice je bil $5\text{-}10 \mu\text{m}$.



Slika 21: Nosilni del rezila za ortogonalno odrezovanje (A) in inklinirano odrezovanje (B)

Slika 22 prikazuje primerjavo pri nastanku odrezka med ortogonalnim in inklinacijskem premočrtnim odrezovanjem. Pri ortogonalnem odrezovanju prihaja do spiralnega odrezka. Pri inklinacijskem odrezovanju prav tako prihaja do spiralnega odrezka spirala pa ima kot, ki je enak kotu inklinacije.



Slika 22: Nastanek odrezka pri ortogonalnem odrezovanju (A) in inklinacijskem odrezovanju (B)

3.2 METODE DELA

3.2.1 Premočrtno odrezovanje

Eksperiment smo izvedli na stroju (slika 23) za premočrtno odrezovanje. Na mizi stroja je bilo pritrjeno vpenjalo, ki je omogočalo dovolj togo vpetje vzorca, da se med odrezovanjem ta ni premaknil. Podajanje je bilo izvedeno preko zobatega jermena, ki ga je gnal elektromotor. Podajalno hitrost smo lahko spremajali in tako odrezovali z različnimi hitrostmi. Zaradi premočrtnega odrezovanja je bila rezalna hitrost enaka hitrosti podajanja. Voziček se je brez zračnosti pomikal po dveh vodilih s krogličnimi ležaji. Na vozičku je bil nosilec kamor smo vpeli rezilo in je omogočal nastavljanje različnih prsnih kotov. Prečna vodila na vozičku so dopuščala pomik rezila k obdelovancu s pomočjo vijačnice. Na posebnem nosilcu je bila pritrjena merilna ura, s pomočjo katere smo nastavljali debelino odrezka do 0,01 mm natančno.



Slika 23: Stroj za premočrtno odrezovanje, na katerem smo opravili eksperiment

3.2.2 Vpenjalo

Vpenjalo za pritrditev vzorca, ki ga prikazuje slika 24 je bilo zasnovano tako, da je dopuščalo nagib do 45° , kar nam je omogočalo da smo lahko odrezovali od tangencialne do radialne usmeritve tkiva (0° do 90°). Vzorec je bilo potrebno vmes obrniti in odrezovati iz nasprotne smeri, da smo lahko nastavili vse kote, ki smo jih želeli odrezovati. Vpet je bil s pomočjo kovinske letve in dvema vijakoma.



Slika 24: Sistem pritrditve vzorca pri odrezovanju

3.2.3 Merilnik hrapavosti

Meritve hrapavosti površin smo opravili z merilnikom Mitutoyo Surftest MST-211 (slika 25). To je kontaktni merilnik, ki ima diamantno konico z radijem $5 \mu\text{m}$ pritrjeno na ročico in v fazi merjenja potuje horizontalno 12,5 mm po površini merjenca s hitrostjo 0,5 mm/s in s pritisno silo 4mN. Konica se pri merjenju pomika v vertikalni smeri in beleži profil površine. Po končani meritvi se ročica vrne v prvotni položaj s hitrostjo 1 mm/s. Odčitamo lahko izmerjene parametre hrapavosti R_a , R_z in R_{max} . Merilnik je bil nastavljen na standard DIN, ki nekoliko drugače izračuna meritev kot pri standardu JIS. Parameter R_{max} je pri standardu DIN 4768 izračunan tako, da je celotna dolžina merjenja razdeljena na pet enakih delov (Cutoff). R_{max} je največja vrednost enega izmed petih delov merjenja. Pri standardu JIS pa je parameter R_{max} razdalja med najnižjo in najvišjo točko profila na celotni dolžini merjenja.



Slika 25: Merjenje hrapavosti po odrezovanju na novonastali površini

3.2.4 Potek eksperimenta

Pri odrezovanju smo raziskovali vplive rezalne hitrosti, prsnega kota, kota inklinacije, usmerjenost lesnega tkiva in debeline odrezka na hrapavost obdelane površine. Odrezovanje je potekalo tako, da smo pritrdili vzorec v vpenjalo in naredili poravnalni rez. S poravnalnim rezom smo zagotovili, da je bila pri naslednjem rezu površina vzorca vzporedna z smerjo gibanja rezila in s tem omogočili enakomerno debelino odrezka po celotni dolžini vzorca. Nato smo nastavili debelino odrezovanja, naredili rez in vzorec vzeli iz vpenjala ter na novonastali površini izmerili hrapavost. Vzorec smo pri vsakem vpenjanju obrnili enako, da smo vedno odrezovali v isti smeri. Pri vsaki spremembi parametra smo naredili tri reze. Po vsakem rezu smo štirikrat izmerili hrapavost in sicer dvakrat na ranem in dvakrat na kasnem

lesu. Skupaj smo izvedli dvanajst meritev, šest na ranem in šest na kasnem lesu. Iz merilnika hrapavosti smo odčitali parametre hrapavosti R_a , R_z in R_{max} . Rezultate meritev smo izpisali in obdelali v programu Excel. Eksperiment je bil razdeljen na štiri dele.

3.2.4.1 Rezalna hitrost

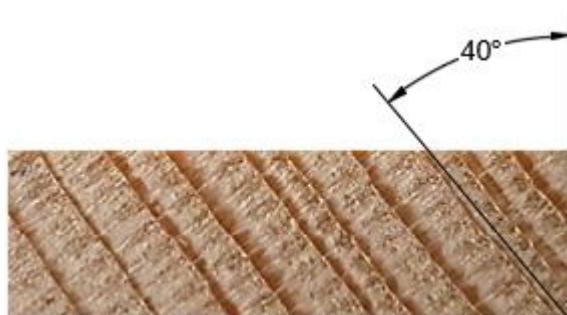
V prvem delu smo raziskovali vpliv rezalne hitrosti na kakovost obdelane površine. Pri rezusu hitrostjo 0,12 m/s je bila površina precej hrapava, zato smo se odločili za odrezovanje z višjimi hitrostmi. Odrezovali smo s hitrostmi 0,2 m/s, 0,7 m/s, 1,2 m/s, 1,7 m/s, 2,2 m/s, 2,7 m/s, 3,2 m/s, 3,7 m/s in 4,2 m/s. Pri vsaki hitrosti smo odrezovali dve debelini odrezka 0,05 mm in 0,1 mm. Prsni kot rezila je bil pri vseh hitrostih enak in je znašal 20° , odrezovali pa smo pod kotom 35° - 40° na potek tkiva (slika 26).

Spreminjajoča parametra: rezalna hitrost in debelina odrezka

Št. kombinacij: (9 rezalnih hitrosti x 2 debeline odrezka) = 18

Št. odrezovanj: (3 rezi x 18 kombinacij) = 54

Št. meritev: (4 meritve x 54 odrezovanj) = 216 meritev



Slika 26: Kot 40° med potekom tkiva in robom odrezovanja

3.2.4.2 Prsni kot

V drugem delu smo raziskovali vpliv prsnega kota rezila na kakovost obdelane površine. Odrezovali smo s prsnimi koti 5° , 10° , 15° , 20° , 25° , 30° , 35° in 40° . Pri vsakem kotu smo odrezovali tri debeline odrezka 0,05 mm, 0,1 mm in 0,15 mm. Hitrost odrezovanja je bila pri vseh prsnih kotih enaka in je znašala 1,2 m/s, odrezovanje pa je potekalo pod kotom 40° - 45° glede na potek tkiva. Odrezovali smo isti vzorčni kos kot pri prvem delu eksperimenta.

Spreminjajoča parametra: prsni kot in debelina odrezka

Št. kombinacij : (8 rezalnih hitrosti x 3 debeline odrezka) = 24

Št. odrezovanj: (3 rezi x 24 kombinacij) = 72

Št. meritev: (4 meritve x 72 odrezovanj) = 288 meritev

3.2.4.3 Kot inklinacije

V tretjem delu smo raziskovali vpliv inklinacije rezila na kakovost obdelane površine. Odrezovali smo z inklinacijskimi koti 0° , 20° , 30° , 40° in 50° . Z večjimi koti nismo mogli odrezovati, ker smo bili omejeni z širino rezila. Pri vseh kotih smo odrezovali dve debelini odrezka 0,05 mm in 0,1 mm. Nazivni prsni kot je znašal 30° , hitrost odrezovanja je bila 1,2 m/s odrezovali pa smo pod kotom 45° na potek tkiva. Odrezovali smo drug vzorčni kos.

Spreminjajoča parametra: kot inklinacije in debelina odrezka

Št. kombinacij: (5 kotov inklinacije $\times 2$ debelini odrezka) = 10

Št. odrezovanj: (3 rezi $\times 10$ kombinacij) = 30

Št. meritov: (4 meritve $\times 30$ odrezovanj) = 120 meritov

3.2.4.4 Usmeritev tkiva

V četrtem delu smo raziskovali vpliv usmerjenosti lesnega tkiva na kakovost obdelane površine. Odrezovali smo pod koti 0° , 30° , 60° in 90° glede na potek tkiva pri čemer je 0° tangencialni rez in 90° radialni rez. Pri vsakem kotu smo odrezovali dve debelini 0,05 mm in 0,1 mm. Prsni kot rezila je znašal 20° in rezalna hitrost 1,2 m/s. Pri kotu 90° in 60° smo vzorec odrezovali v isti smeri kot pri tretjem delu eksperimenta, kjer smo spremenjali kot inklinacije. Pri kotu 30° in 0° pa smo odrezovali v nasprotni smeri saj nam je vpenjalo omogočalo nagib le do 45° zato smo morali vzorec obrniti.

Spreminjajoča parametra: usmeritev tkiva in debelina odrezka

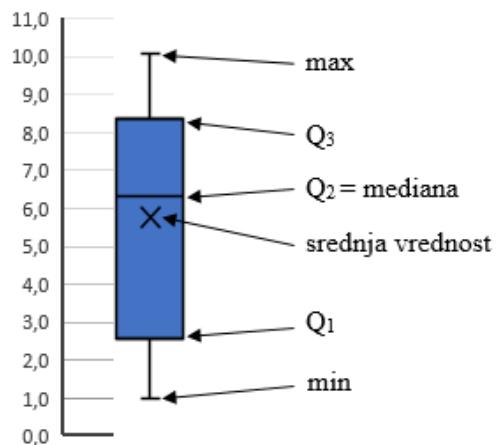
Št. kombinacij: (4 usmeritve tkiva $\times 2$ debelini odrezka) = 8

Št. odrezovanj: (3 rezi $\times 8$ kombinacij) = 24

Št. meritov: (4 meritve $\times 24$ odrezovanj) = 96 meritov

4 REZULTATI IN RAZPRAVA

Rezultati so prikazani s tabelami in grafikoni kvartilov. Grafikon zajema vse vrednosti, ki smo jih dobili iz meritev pri odrezovanju z določenimi parametri. Iz grafikona lahko razberemo (slika 27) min., max. in srednjo vrednost meritev ter prvi (Q_1), drugi (Q_2) in tretji (Q_3) kvartil. Drugi kvartil je enak mediani. Mediana razdeli zaporedje vrednosti na dva enako velika dela. Če vsakega od teh dveh delov spet razdelimo na dva enaka dela, potem dobljene delilne točke imenujemo kvartili. Razpon od prvega do tretjega kvartila imenujemo kvartilni razmik. To število prikazuje razpršenost vrednosti. Druga mera razpršenosti pa je variacijski razmik, ki je razpon od min. do max. vrednosti. Pri kvartil (Q_1) pove, da je četrta vseh izmerjenih vrednosti manjših in tri četrtiny večjih od njegove vrednosti, drugi kvartil (Q_2), da je polovica vrednosti manjših in polovica večjih ter tretji kvartil (Q_3), da je tri četrtiny vrednosti manjših in četrta vrednosti večjih. Na vseh grafikonih nizi povprečja vsebujejo dvanaest podatkov oz. meritev, nizi za rani in kasni les pa šest.



Slika 27: Vrednosti, ki jih prikazuje kvartilni grafikon

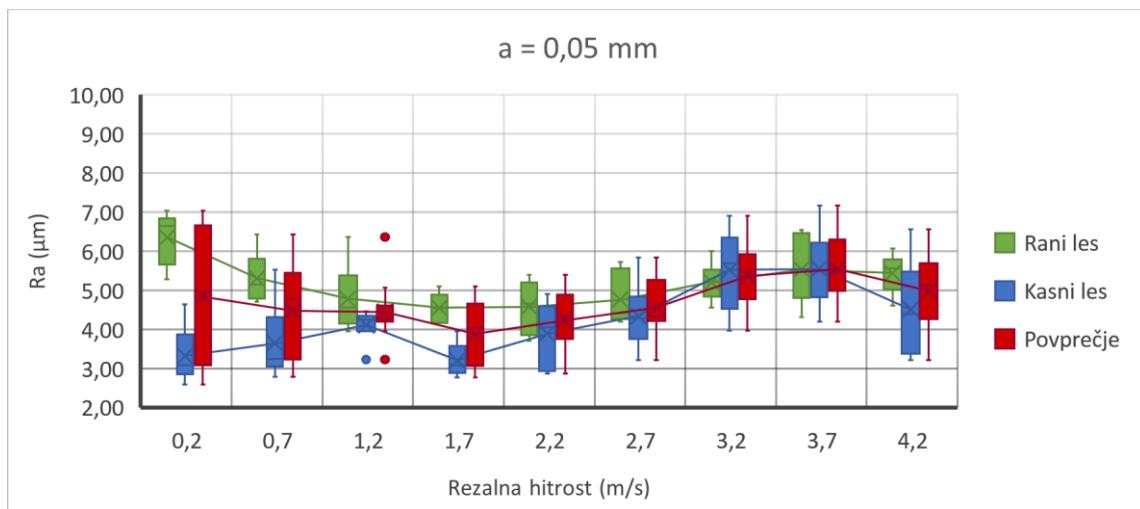
4.1 REZALNA HITROST

Preglednica 1 prikazuje povprečne vrednosti meritev parametra R_a , preglednica 2 parametra R_z in preglednica 3 parametra R_{max} pri odrezovanju z različnimi rezalnimi hitrostmi in debelinami odrezka. Povprečne vrednosti so izračunane iz šestih meritev.

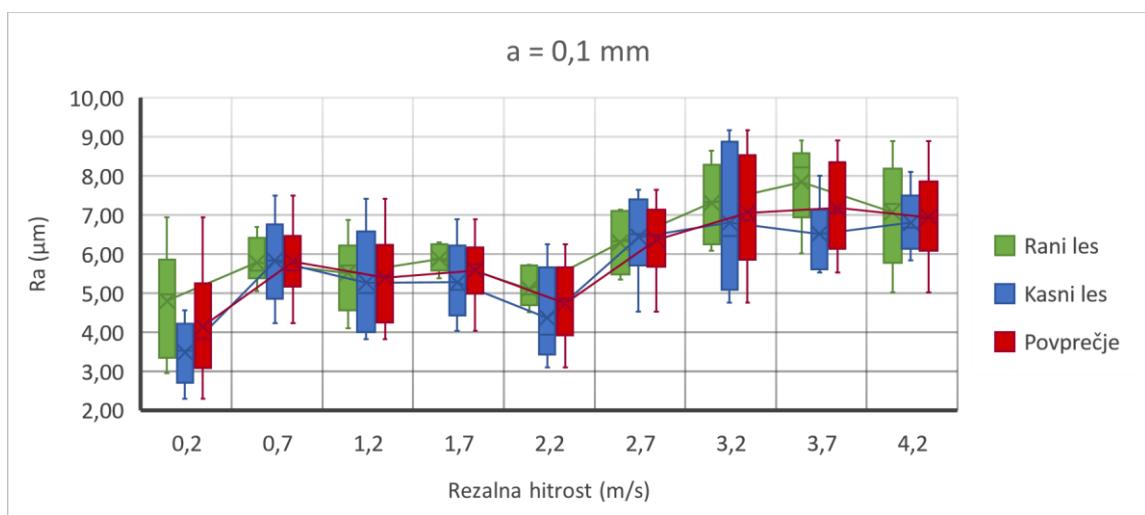
Preglednica 1: R_a (μm) pri različnih rezalnih hitrostih in debelini odrezovanja 0,05 mm in 0,1 mm ter prsnim kotom 20°

Hitrost (m/s)	Rani les		Kasni les		Povprečje	
	0,05 mm	0,1 mm	0,05 mm	0,1 mm	0,05 mm	0,1 mm
0,2	6,36	4,80	3,32	3,48	4,84	4,14
0,7	5,31	5,79	3,64	5,83	4,47	5,81
1,2	4,78	5,51	4,11	5,27	4,45	5,39
1,7	4,55	5,88	3,21	5,27	3,88	5,58
2,2	4,58	5,11	3,89	4,37	4,23	4,74
2,7	4,76	6,29	4,34	6,43	4,55	6,36
3,2	5,21	7,31	5,52	6,80	5,36	7,06
3,7	5,53	7,85	5,55	6,51	5,54	7,18
4,2	5,44	7,08	4,51	6,80	4,98	6,94

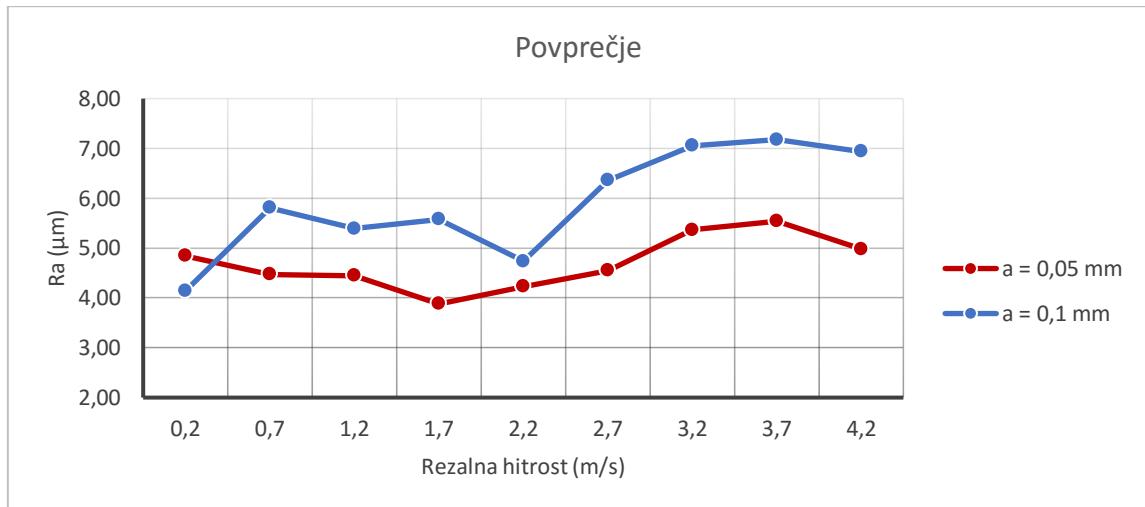
Slika 28 prikazuje rezultate meritev parametra R_a pri različnih rezalnih hitrostih za rani les, kasni les in povprečje pri debelini odrezovanja 0,05 mm, slika 29 pri debelini 0,1 mm, slika 30 pa prikazuje primerjavo povprečnih vrednosti R_a pri debelini odrezovanja 0,05 mm in 0,1 mm.



Slika 28: Vrednosti R_a pri debelini odrezovanja 0,05 mm in prsnim kotom 20°



Slika 29: Vrednosti R_a pri debelini odrezovanja 0,1 mm in prsnim kotom 20°

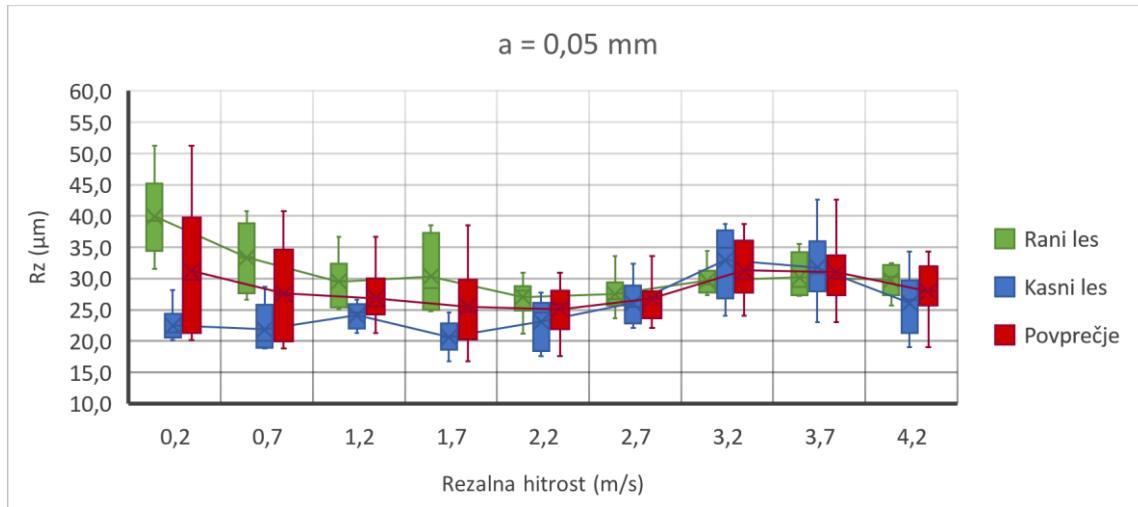


Slika 30: Primerjava povprečnih vrednosti R_a pri debelini odrezovanja 0,05 mm in 0,1 mm ter prsnim kotom 20°

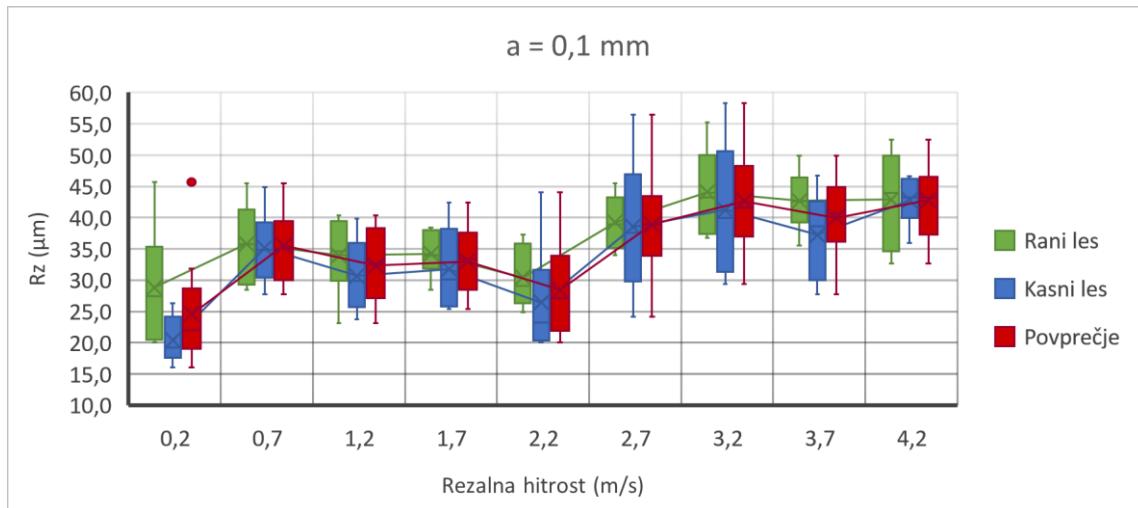
Preglednica 2: R_z (μm) pri različnih rezalnih hitrostih in debelini odrezovanja 0,05 mm in 0,1 mm ter prsnim kotom 20°

Hitrost (m/s)	Rani les		Kasni les		Povprečje	
	0,05 mm	0,1 mm	0,05 mm	0,1 mm	0,05 mm	0,1 mm
0,2	39,92	28,82	22,45	20,37	31,18	24,59
0,7	33,37	35,82	21,87	35,13	27,62	35,48
1,2	29,52	33,97	24,13	30,70	26,83	32,33
1,7	30,33	34,22	20,63	31,77	25,48	32,99
2,2	27,05	30,40	23,10	26,40	25,08	28,40
2,7	27,50	39,23	26,03	38,53	26,77	38,88
3,2	29,63	44,05	32,93	41,25	31,28	42,65
3,7	30,18	42,68	31,75	37,25	30,97	39,97
4,2	29,73	42,88	26,08	42,72	27,91	42,80

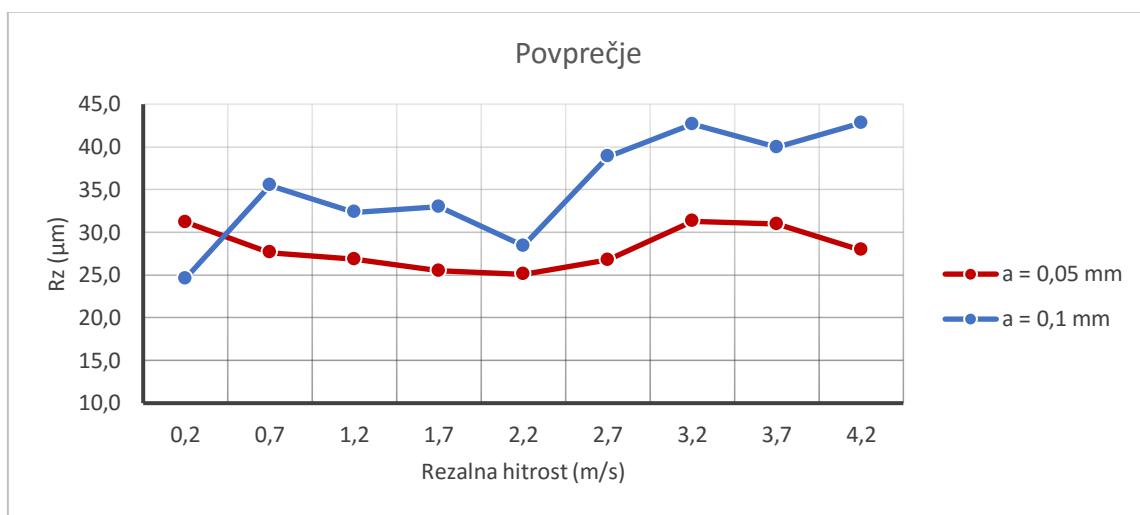
Slika 31 prikazuje rezultate meritev parametra R_z pri različnih rezalnih hitrostih za rani les, kasni les in povprečje pri debelini odrezovanja 0,05 mm, slika 32 pri debelini 0,1 mm, slika 33 pa prikazuje primerjavo povprečnih vrednosti R_z pri debelini odrezovanja 0,05 mm in 0,1 mm.



Slika 31: Vrednosti R_z pri debelini odrezovanja 0,05 mm in prsnim kotom 20°



Slika 32: Vrednosti R_z pri debelini odrezovanja 0,1 mm in prsnim kotom 20°

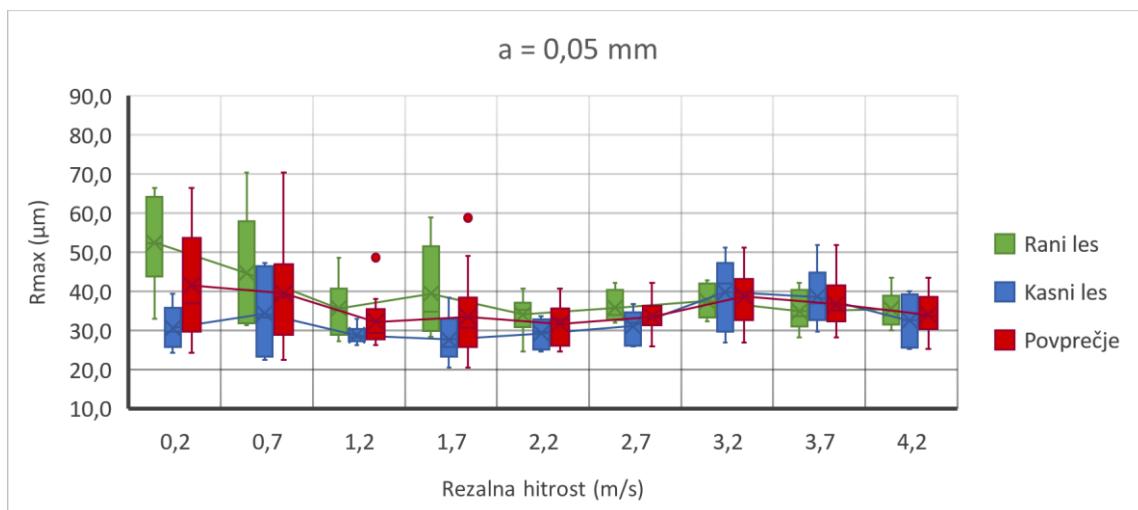


Slika 33: Primerjava povprečnih vrednosti R_z pri debelini odrezovanja 0,05 mm in 0,1 mm ter prsnim kotom 20°

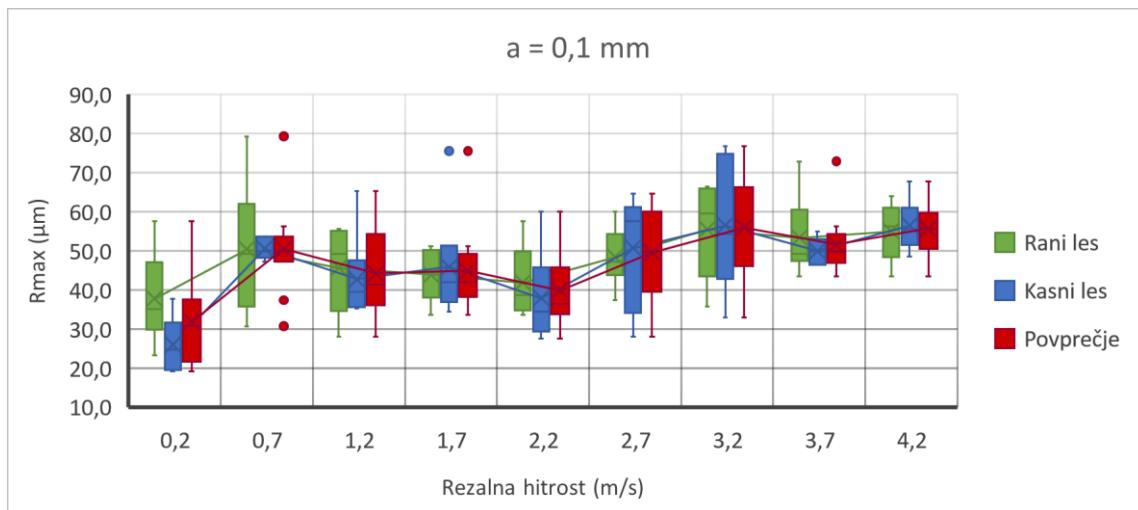
Preglednica 3: R_{max} (μm) pri različnih rezalnih hitrostih ter debelini odrezovanja 0,05 mm in 0,1 mm ter prsnim kotom 20°

Hitrost (m/s)	Rani les		Kasni les		Povprečje	
	0,05 mm	0,1 mm	0,05 mm	0,1 mm	0,05 mm	0,1 mm
0,2	52,45	37,78	30,60	25,93	41,53	31,86
0,7	44,67	50,37	34,30	50,52	39,48	50,44
1,2	35,58	45,65	28,75	42,78	32,17	44,22
1,7	39,35	43,87	27,62	45,83	33,48	44,85
2,2	34,08	41,85	29,20	37,92	31,64	39,88
2,7	35,75	48,42	31,13	50,68	33,44	49,55
3,2	37,47	55,50	39,80	56,43	38,63	55,97
3,7	34,85	53,30	38,57	50,00	36,71	51,65
4,2	35,48	55,00	32,50	56,48	33,99	55,74

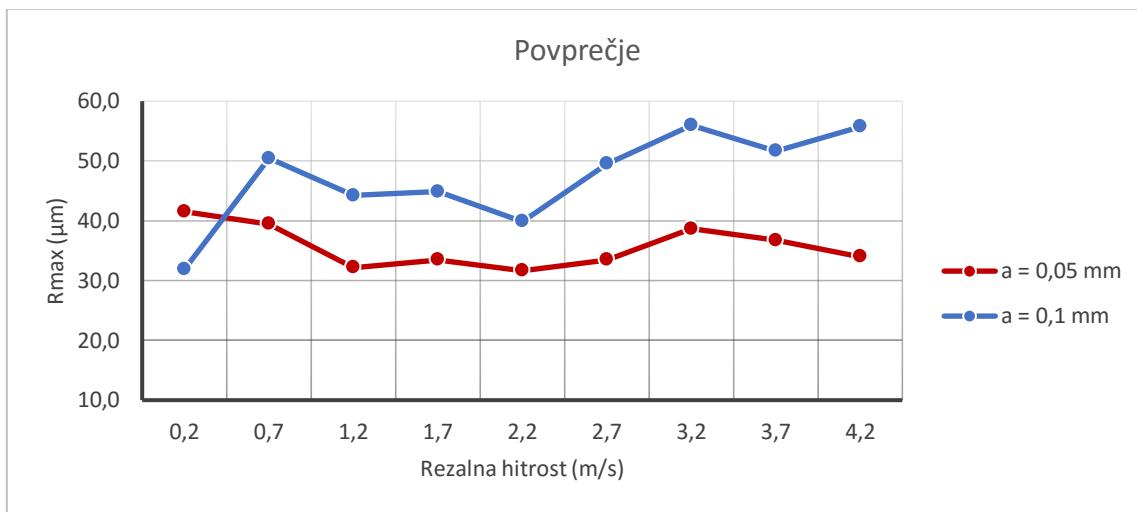
Slika 34 prikazuje rezultate meritev parametra R_{max} pri različnih rezalnih hitrostih za rani les, kasni les in povprečje pri debelini odrezovanja 0,05 mm, slika 35 pri debelini 0,1 mm, slika 36 pa prikazuje primerjavo povprečnih vrednosti R_{max} pri debelini odrezovanja 0,05 mm in 0,1 mm.



Slika 34: Vrednosti R_{max} pri debelini odrezovanja 0,05 mm in prsnim kotom 20°



Slika 35: Vrednosti R_{max} pri debelini odrezovanja 0,1 mm in prsnim kotom 20°



Slika 36: Primerjava povprečnih vrednosti R_{max} pri debelini odrezovanja 0,05 mm in 0,1 mm in prsnim kotom 20°

Iz rezultatov meritev ki jih prikazujejo slike 28 do 36 je razvidno, da rezalna hitrost vpliva na kakovost obdelane površine oz. njeno hrapavost. Vpliv spremembe hitrosti na kakovost površine je pri tanjših odrezkih manjši kot pri debelejših odrezkih.

Debelina odrezka 0,1 mm je povzročila večjo hrapavost površine pri vseh rezalnih hitrostih. Izjema je bila pri hitrosti 0,2 m/s, kjer pa je bila hrapavost manjša kot pri debelini odrezovanja 0,05 mm, kar nas je nekoliko presenetilo. Pri hitrosti 0,2 m/s in debelini odrezka 0,1 mm se rani, predvsem pa kasni les zelo dobro obdelujeva v primerjavi z višjimi hitrostmi. Vidimo, da se kakovost površine izboljšuje z višanjem rezalne hitrosti od 0,7 m/s pa do 2,2 m/s. Z višanjem rezalne hitrosti nad 2,2 m/s pa se začne kakovost površine slabšati. Hrapavost je bila zaznana podobno pri vseh treh parametrih, R_a , R_z in R_{max} .

Pri debelini odrezovanja 0,05 mm opazimo, da so pri rezalni hitrosti 0,2 m/s izmerjene vrednosti povprečja široko razpršene, ker tu rani les dosega zelo visoke vrednosti medtem, ko kasni les podobno nizke kot pri debelini 0,1 mm. Pri hitrosti 0,2 m/s in majhni debelini odrezka 0,05 mm se rani les zelo slabo obdeluje. Zaradi nizke gostote in trdnosti rezila pri nizki hitrosti potiska in stisne rani les, ga deformira namesto da bi ga odrezalo. Kakovost površine se izboljšuje z višanjem rezalne hitrosti od 0,2 m/s do 2,2 m/s, nato pa se z dodatnim višanjem hitrosti začne kakovost slabšati.

Najboljša površina pri debelini odrezka 0,1 mm je bila torej dosežena pri najnižji rezalni hitrosti 0,2 m/s, pri debelini 0,05 mm pa pri hitrosti med 1,7 m/s (R_a) in 2,2 m/s (R_z in R_{max}).

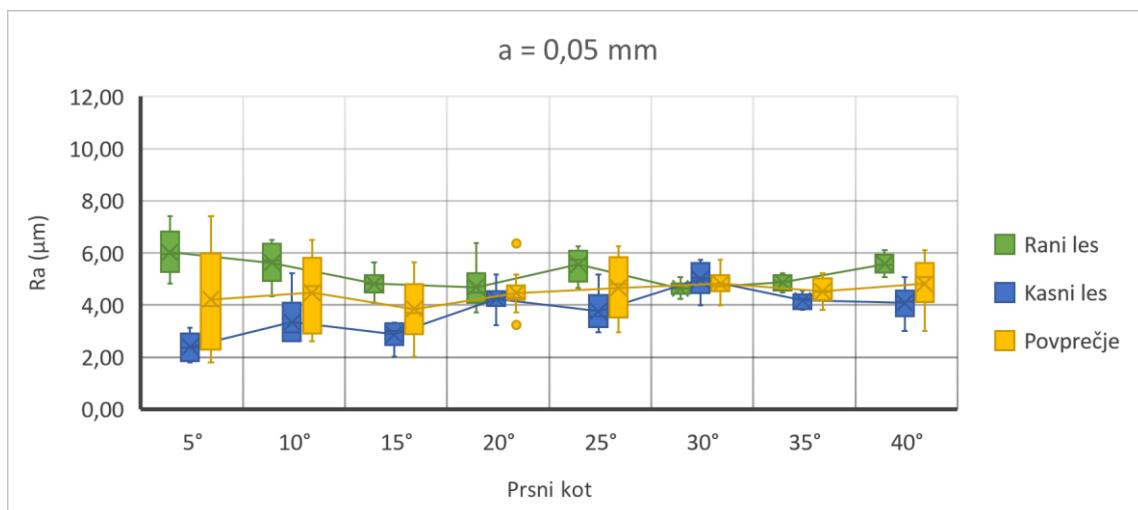
4.2 PRSNI KOT

Preglednica 4 prikazuje povprečne vrednosti meritev parametra R_a , preglednica 5 parametra R_z in preglednica 6 parametra R_{max} pri odrezovanju z različnimi prsnimi koti in debelinami odrezka. Povprečne vrednosti so izračunane iz šestih meritev.

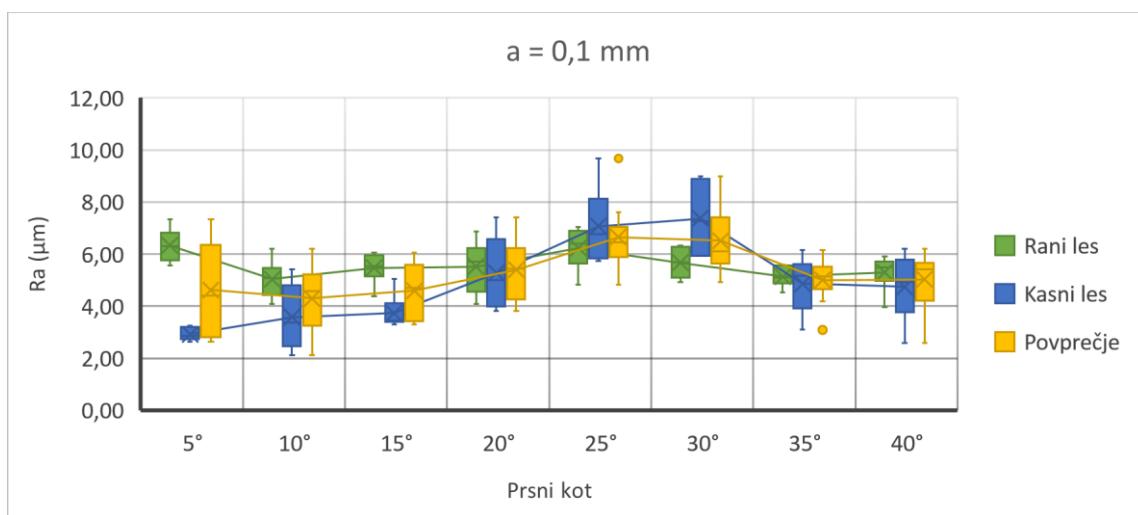
Preglednica 4: R_a (μm) pri različnih prsnih kotih in debelini odrezovanja 0,05 mm, 0,1mm in 0,15 mm ter rezalni hitrosti 1,2 m/s

Prjni kot	Rani les			Kasni les			Povprečje		
	0,05 mm	0,1 mm	0,15 mm	0,05 mm	0,1 mm	0,15 mm	0,05 mm	0,1 mm	0,15 mm
5°	6,03	6,32	6,50	2,39	2,92	3,07	4,21	4,62	4,79
10°	5,61	5,03	6,52	3,34	3,57	3,70	4,47	4,30	5,11
15°	4,81	5,47	5,66	2,87	3,73	3,94	3,84	4,60	4,80
20°	4,68	5,51	7,30	4,23	5,27	6,06	4,45	5,39	6,68
25°	5,55	6,23	6,93	3,76	7,06	6,69	4,66	6,65	6,81
30°	4,64	5,67	6,38	4,99	7,37	6,97	4,81	6,52	6,67
35°	4,86	5,14	5,65	4,17	4,87	5,56	4,52	5,00	5,61
40°	5,57	5,30	5,57	4,07	4,74	5,71	4,82	5,02	5,64

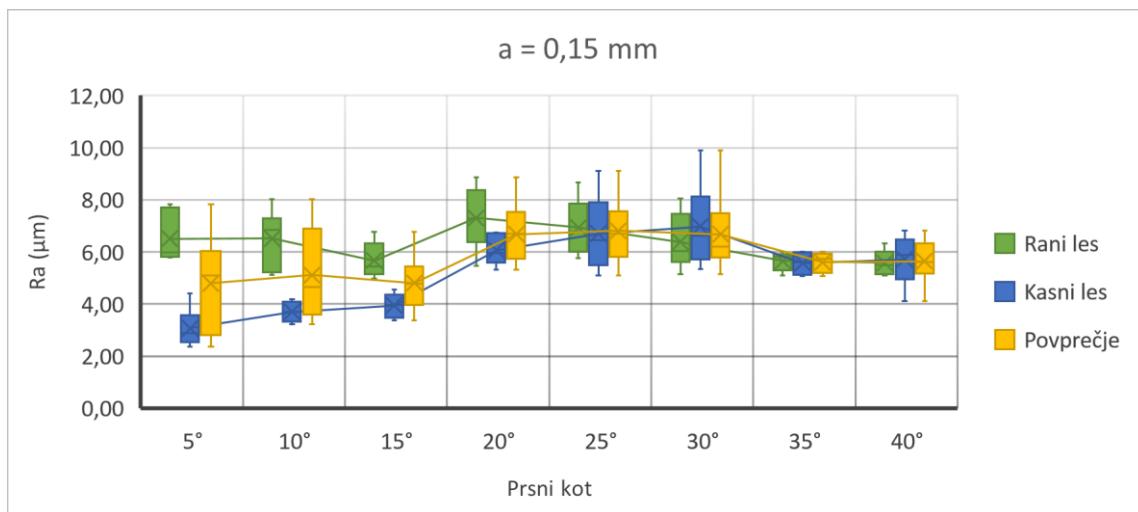
Slika 37 prikazuje rezultate meritev parametra R_a pri različnih prsnih kotih za rani les, kasni les in povprečje pri debelini odrezovanja 0,05 mm, slika 38 pri debelini 0,1 mm, slika 39 pri debelini 0,15 mm, slika 40 pa prikazuje primerjavo povprečnih vrednosti R_a pri debelini odrezovanja 0,05 mm in 0,1 mm.



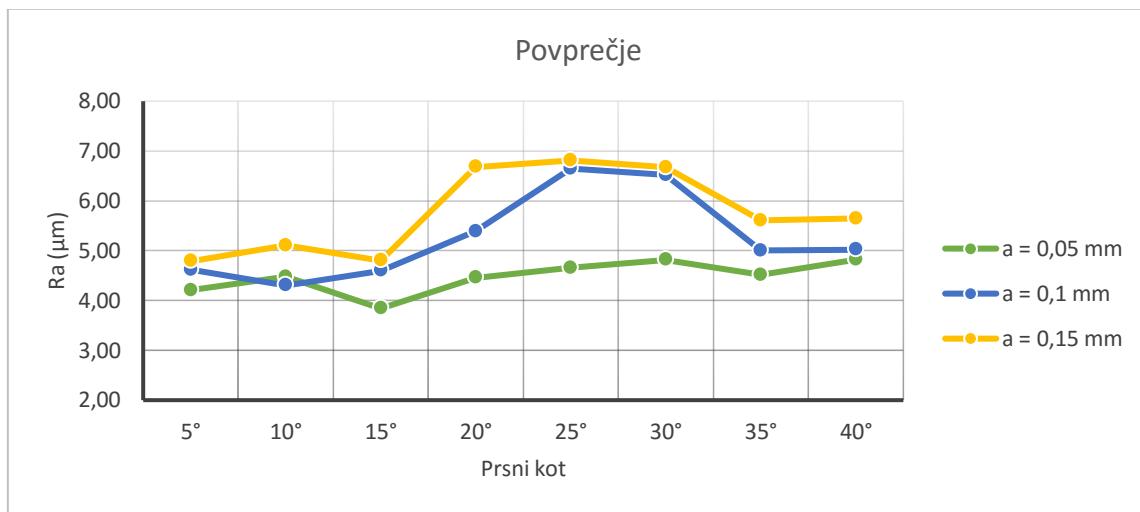
Slika 37: Vrednosti R_a pri debelini odrezovanja 0,05 mm in rezalni hitrosti 1,2 m/s



Slika 38: Vrednosti R_a pri debelini odrezovanja 0,1 mm in rezalni hitrosti 1,2 m/s



Slika 39: Vrednosti R_a pri debelini odrezovanja 0,15 mm in rezalni hitrosti 1,2 m/s

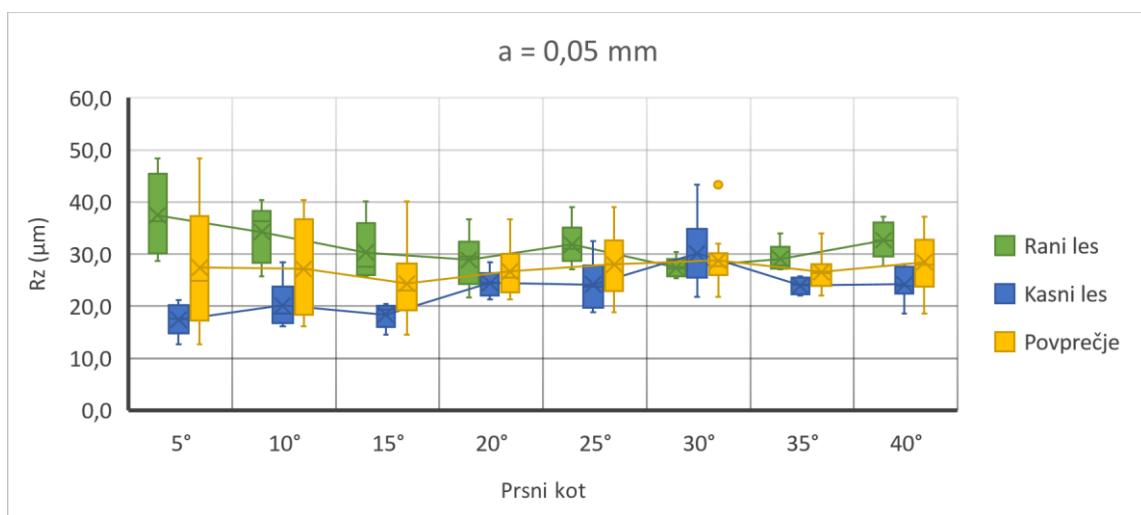


Slika 40: Primerjava povprečnih vrednosti R_a pri debelini odrezovanja 0,05 mm, 0,1 mm in 0,15 mm ter rezalni hitrosti 1,2 m/s

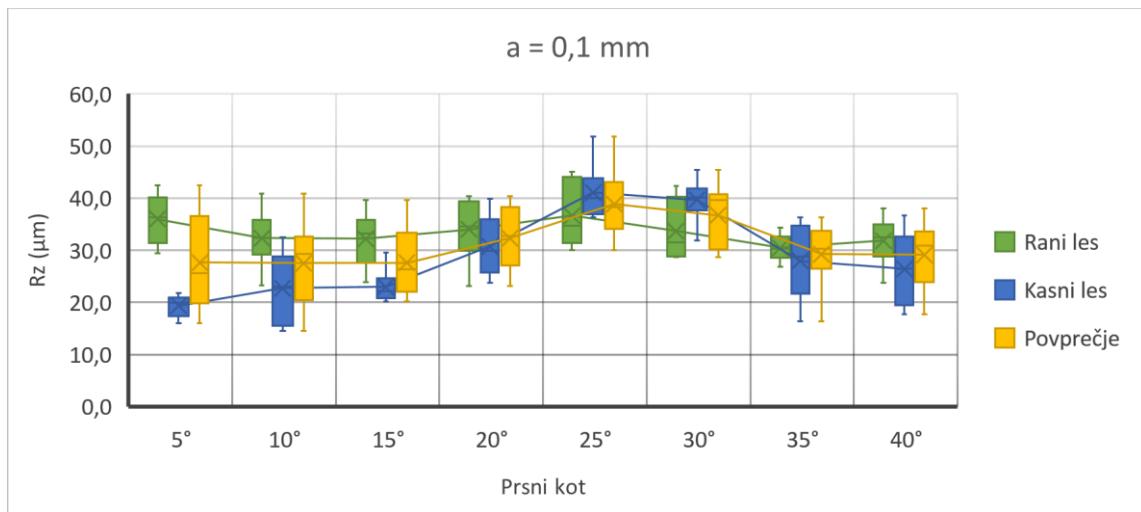
Preglednica 5: R_z (µm) pri različnih prsnih kotih in debelini odrezovanja 0,05 mm, 0,1 mm in 0,15 mm ter rezalni hitrosti 1,2 m/s

Prsn. kot	Rani les			Kasni les			Povprečje		
	0,05 mm	0,1 mm	0,15 mm	0,05 mm	0,1 mm	0,15 mm	0,05 mm	0,1 mm	0,15 mm
5°	37,43	35,95	37,88	17,37	19,32	19,88	27,40	27,63	28,88
10°	34,22	32,32	41,00	20,13	22,73	22,50	27,18	27,53	31,75
15°	30,27	32,18	34,22	18,32	22,95	23,90	24,29	27,57	29,06
20°	28,87	33,97	40,72	24,43	30,70	34,07	26,65	32,33	37,39
25°	31,83	36,63	39,18	24,15	41,07	40,42	27,99	38,85	39,80
30°	27,40	33,70	37,77	30,13	39,63	40,80	28,77	36,67	39,28
35°	29,08	30,47	35,20	23,93	27,97	32,00	26,51	29,22	33,60
40°	32,63	31,83	31,58	24,20	26,38	31,83	28,42	29,11	31,71

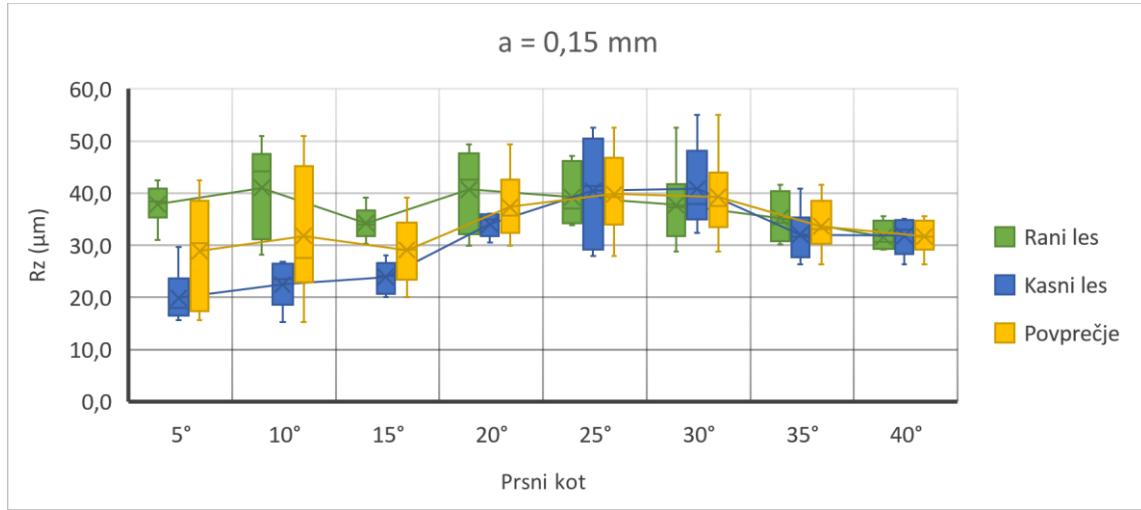
Slika 41 prikazuje rezultate meritev parametra R_z pri različnih prsnih kotih za rani les, kasni les in povprečje pri debelini odrezovanja 0,05 mm, slika 42 pri debelini 0,1 mm, slika 43 pri debelini 0,15 mm, slika 44 pa prikazuje primerjavo povprečnih vrednosti R_z pri debelini odrezovanja 0,05 mm in 0,1 mm.



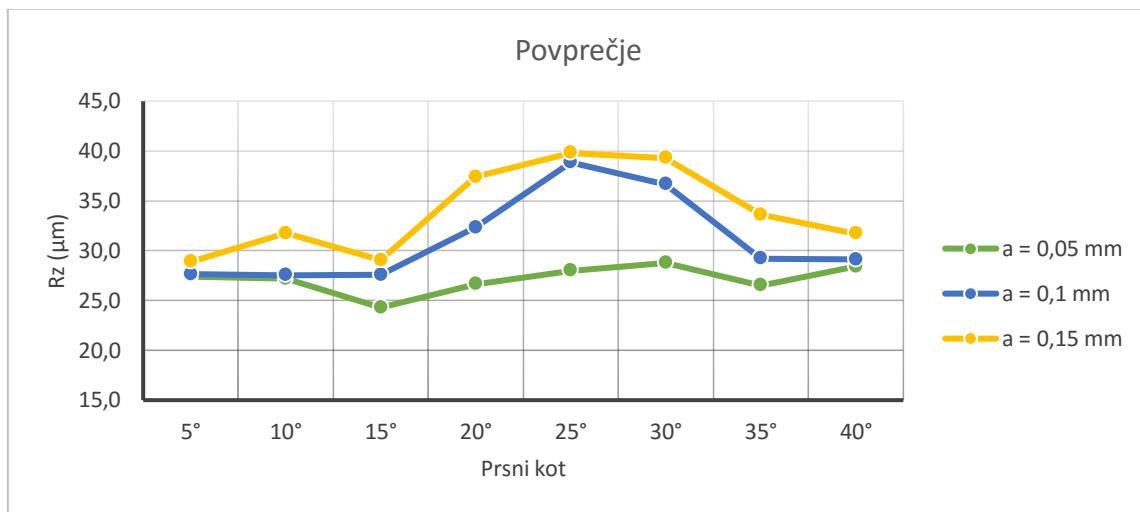
Slika 41: Vrednosti R_z pri debelini odrezovanja 0,05 mm in rezalni hitrosti 1,2 m/s



Slika 42: Vrednosti R_z pri debelini odrezovanja 0,1 mm in rezalni hitrosti 1,2 m/s



Slika 43: Vrednosti R_z pri debelini odrezovanja 0,15 mm in rezalni hitrosti 1,2 m/s

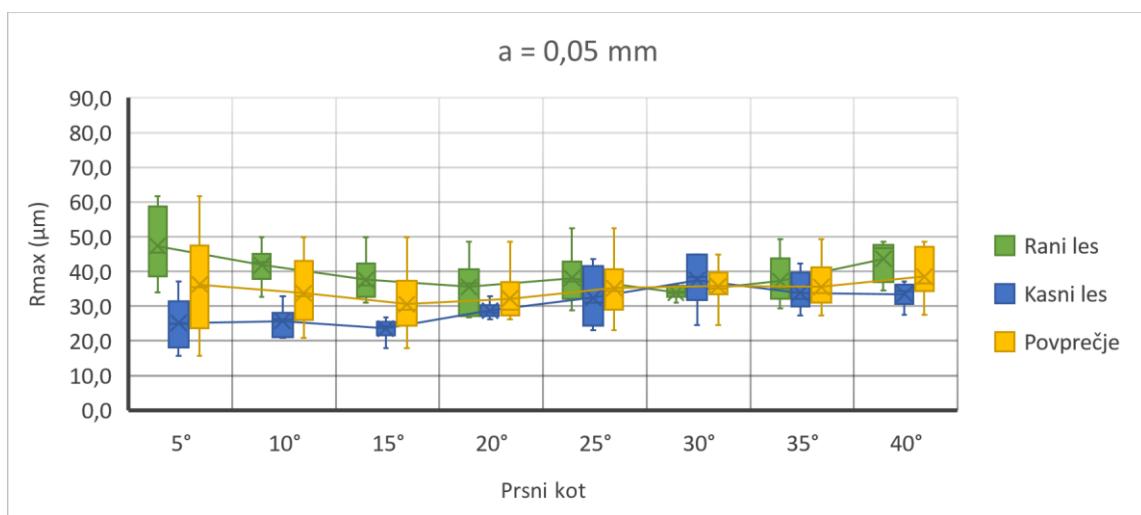


Slika 44: Primerjava povprečnih vrednosti R_z pri debelini odrezovanja 0,05 mm, 0,1 mm in 0,15 mm ter rezalni hitrosti 1,2 m/s

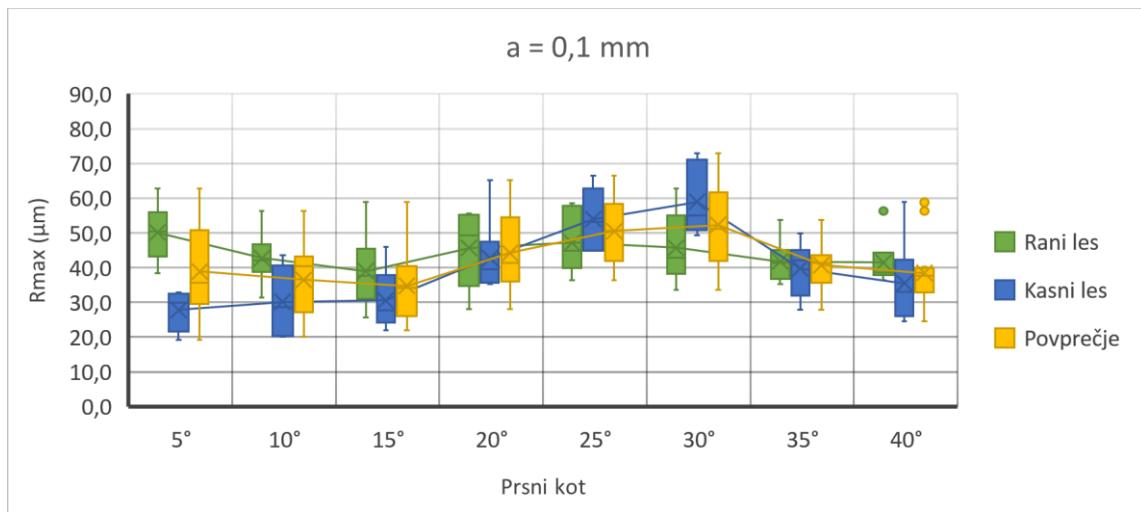
Preglednica 6: R_{max} (µm) pri različnih prsnih kotih in debelini odrezovanja 0,05 mm, 0,1 mm in 0,15 mm ter rezalni hitrosti 1,2 m/s

Prsn. kot	Rani les			Kasni les			Povprečje		
	0,05 mm	0,1 mm	0,15 mm	0,05 mm	0,1 mm	0,15 mm	0,05 mm	0,1 mm	0,15 mm
5°	47,28	50,07	52,23	25,13	27,77	23,85	36,21	38,92	38,04
10°	41,83	42,73	57,28	25,63	30,13	32,12	33,73	36,43	44,70
15°	37,62	38,93	44,32	23,52	30,57	29,68	30,57	34,75	37,00
20°	35,58	45,65	52,65	28,75	42,78	49,20	32,17	44,22	50,93
25°	38,03	47,15	47,60	32,38	53,93	60,32	35,21	50,54	53,96
30°	33,93	45,67	46,95	37,52	58,95	62,37	35,73	52,31	54,66
35°	37,23	41,78	47,58	33,83	39,75	49,55	35,53	40,77	48,57
40°	43,57	41,42	43,97	33,45	35,48	41,23	38,51	38,45	42,60

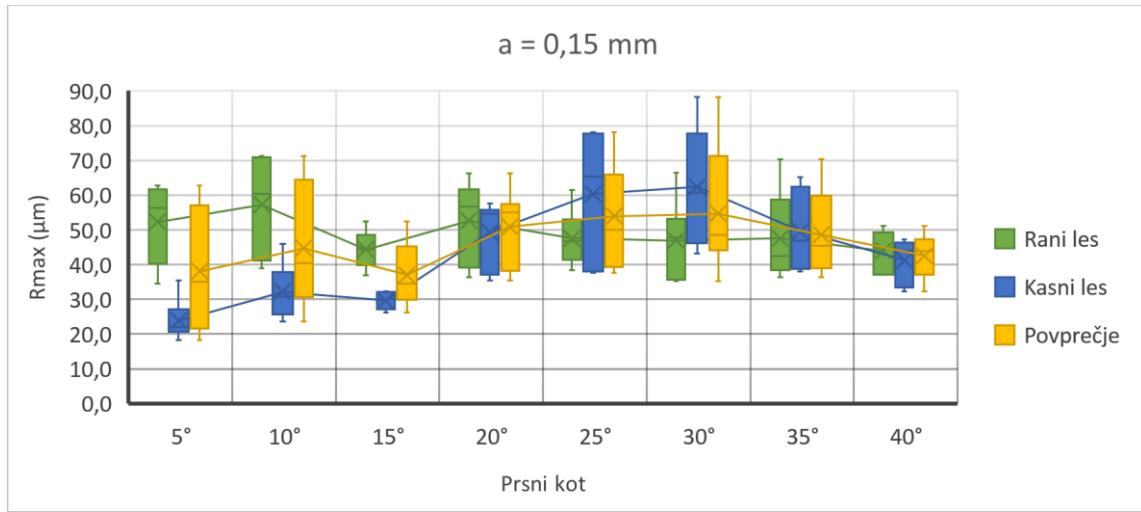
Slika 45 prikazuje rezultate meritev parametra R_{max} pri različnih prsnih kotih za rani les, kasni les in povprečje pri debelini odrezovanja 0,05 mm, slika 46 pri debelini 0,1 mm, slika 47 pri debelini 0,15 mm, slika 48 pa prikazuje primerjavo povprečnih vrednosti R_{max} pri debelini odrezovanja 0,05 mm in 0,1 mm.



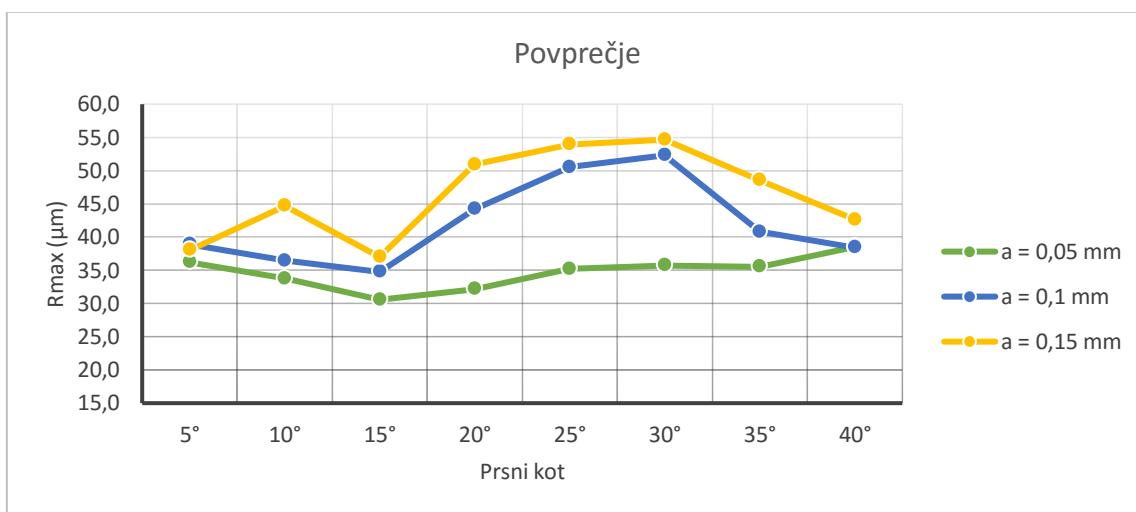
Slika 45: Vrednosti R_{max} pri debelini odrezovanja 0,05 mm in rezalni hitrosti 1,2 m/s



Slika 46: Vrednosti R_{max} pri debelini odrezovanja 0,1 mm in rezalni hitrosti 1,2 m/s

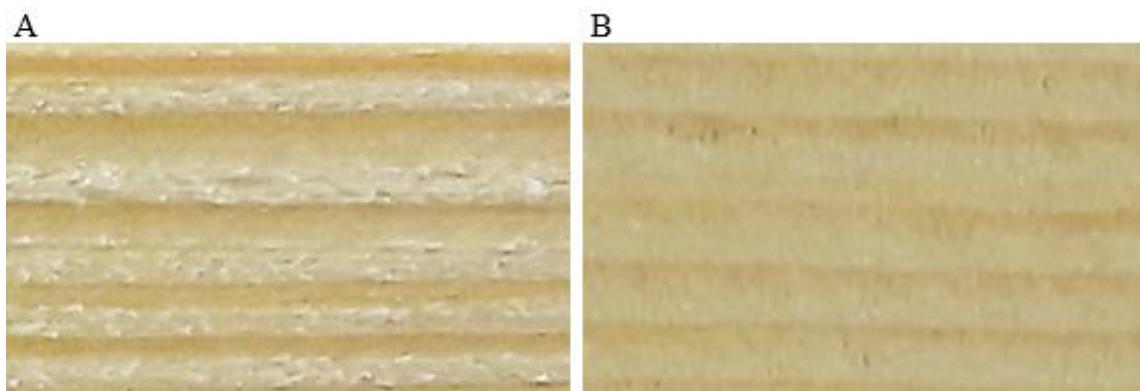


Slika 47: Vrednosti R_{max} pri debelini odrezovanja 0,15 mm in rezalni hitrosti 1,2 m/s



Slika 48: Primerjava povprečnih vrednosti R_{max} pri debelini odrezovanja 0,05 mm, 0,1 mm in 0,15 mm ter rezalni hitrosti 1,2 m/s

Slika 49 prikazuje primerjavo površin po odrezovanju s prsnim kotom 5° in 30° . Debeline odrezka v obeh primerih znaša 0,05 mm. Vidimo, da se s prsnim kotom 5° rani les zelo slabo obdeluje. Po odrezovanju ostanejo na ranem lesu nepopolno odrezana, dvignjena vlakna in s tem dobimo hrapavo površino. Pri istem prsnem kotu pa se kasni les zelo dobro obdeluje in dosega najnižje vrednosti. Pri prsnem kotu 30° je ravno obratno, rani les se dobro obdeluje in dosega najboljše vrednosti medtem, ko se kasni les najslabše v primerjavi z ostalimi prsnimi koti, po obdelavi pa dobimo površino z izruvanimi vlakni.



Slika 49: Površina pri debelini odrezovanja 0,05 mm in prsnim kotom 5° (A) ter debelini odrezovanja 0,05 mm in prsnim kotom 30° (B)

Iz diagramov je razvidno, da pri vseh treh parametrih večja debelina odrezka povzroča večjo hrapavost površine neglede na velikost prsnega kota. Pri tanjših odrezkih (0,05 mm) prsní kot nima tolikšnega vpliva kot pri debelejših odrezkih (0,1 mm in 0,15 mm), kjer je zaznati velik dvig vrednosti predvsem pri prsnih kotih 20° , 25° in 30° .

Kasni les ima nižje vrednosti od ranega lesa razen pri prsnem kotu 30° , kjer dosega višje vrednosti pri vseh treh debelinah odrezka. Tudi pri prsnem kotu 25° je opaziti, da pri debelejših odrezkih kasni les dosega višje vrednosti. Pri prsnem kotu 25° in več nastaja odrezek tipa I, kjer se tkivo cepi pred rezalnim robom, odrezek se upogiba in razpoka napreduje dokler se odrezek ne zlomi. Kasni les ima zaradi višje gostote večjo upogibno trdnost od ranega lesa, zato se kasneje zlomi medtem pa prihaja do cepitve tkiva tudi pod ravnino rezanja. Prav tako je pri debelejših odrezkih večja možnost cepitve pod ravnino rezanja. Pri obdelavi na kasnem lesu je lahko prišlo do izruvanih vlaken in smo dobili višje vrednosti.

Pri prsnem kotu 5° se opazi veliko razliko med kakovostjo obdelave ranega in kasnega lesa. Pri tem kotu in debelini odrezka 0,05 mm je imel kasni les najnižje vrednosti parametrov R_a , R_z in R_{max} , rani pa tako visoke, da jih ne nekaterih delih površine nismo mogli izmeriti, ker so presegla merilno območje naprave. Povprečne vrednosti pri tem prsnem kotu vseeno niso dosegle najvišjih vrednosti, saj smo površino na ranem lesu izmerili na boljše obdelanih predelih, kjer je to dopuščala naprava poleg tega pa so nanje vplivale tudi zelo nizke vrednosti kasnega lesa. Pri prsnem kotu 5° je verjetno prišlo do odrezka tipa III, kjer je obdelana površina slabše kakovosti. Pri tem tipu odrezka rezilo strga po površini, prihaja do večjih rezalnih sil, lesna vlakna se gnetejo pred rezilom na površini pa ostanejo dvignjena, nepopolno odrezana vlakna predvsem na ranem lesu. Rani les ima nižjo gostoto zaradi večjih lumnov in tanjših celičnih sten od kasnega lesa in se hitreje deformira.

Najboljša površina oz. najnižja vrednost pri odrezkih debeline 0,05 mm in 0,15 mm je bila pri kotu 15° pri vseh treh parametrih. Pri odrezkih debeline 0,1 mm pa je bila zaznana najboljša površina pri kotu 10° na kar nakazujeta parametra R_a in R_z , parameter R_{max} pa tudi kaže najnižje vrednosti pri kotu 15° (Slika 40, Slika 44, Slika 48).

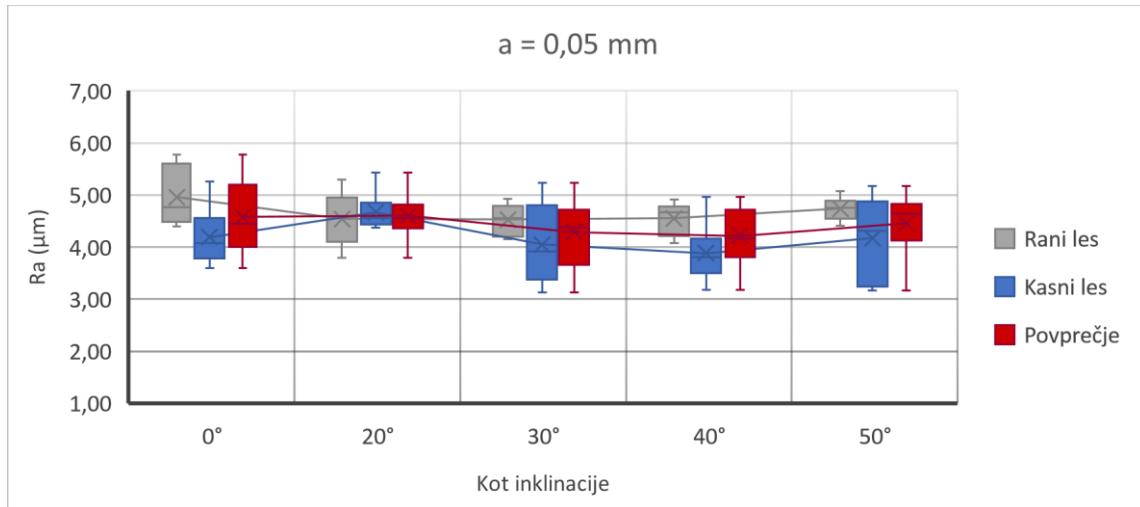
4.3 KOT INKLINACIJE

Preglednica 7 prikazuje povprečne vrednosti meritev parametra R_a , preglednica 8 parametra R_z in preglednica 9 parametra R_{max} pri odrezovanju z različnimi koti inklinacije in debelinami odrezka. Povprečne vrednosti so izračunane iz šestih meritev.

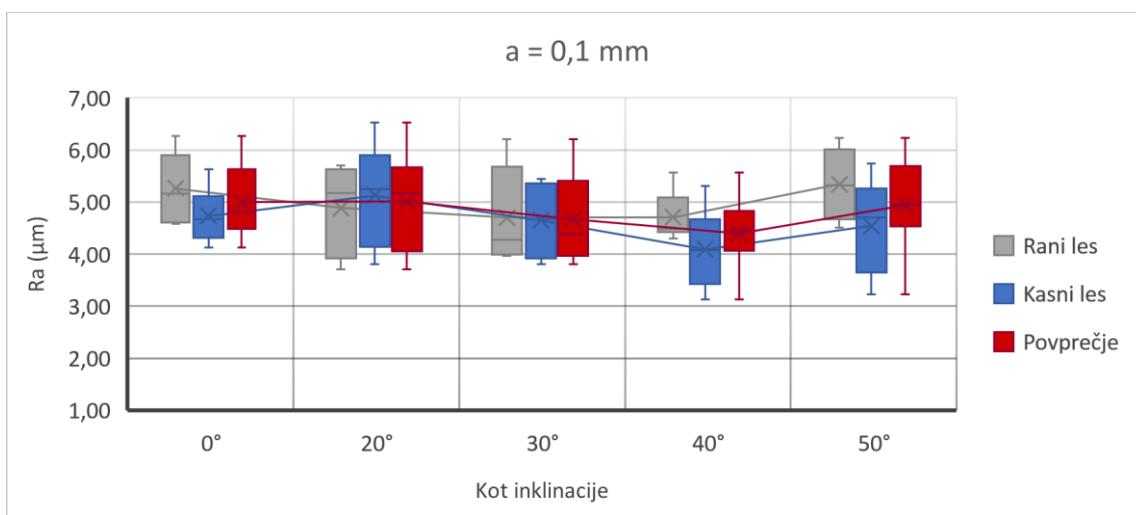
Preglednica 7: R_a (μm) pri različnih kotih inklinacije ter debelini odrezovanja 0,05 mm in 0,1 mm, prsnem kotu 30° in rezalni hitrosti 1,2 m/s

Kot inklinacije	Rani les		Kasni les		Povprečje	
	0,05 mm	0,1 mm	0,05 mm	0,1 mm	0,05 mm	0,1 mm
0°	4,96	5,26	4,19	4,73	4,58	5,00
20°	4,54	4,89	4,67	5,13	4,60	5,01
30°	4,53	4,70	4,05	4,64	4,29	4,67
40°	4,55	4,70	3,88	4,09	4,21	4,40
50°	4,74	5,34	4,17	4,54	4,45	4,94

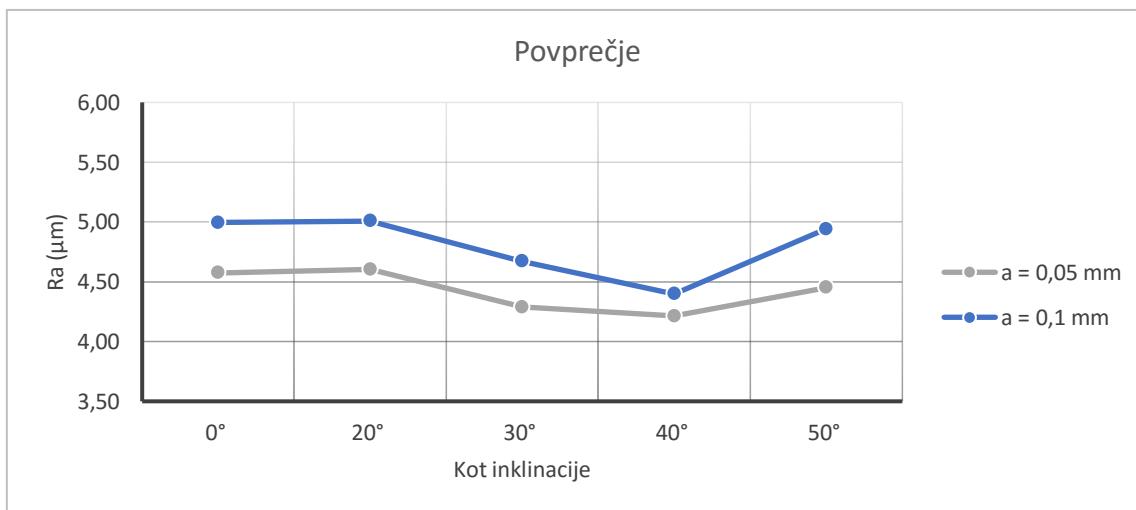
Slika 50 prikazuje rezultate meritev parametra R_a pri različnih kotih inklinacije za rani les, kasni les in povprečje pri debelini odrezovanja 0,05 mm, slika 51 pri debelini 0,1 mm, slika 52 pa prikazuje primerjavo povprečnih vrednosti R_a pri debelini odrezovanja 0,05 mm in 0,1 mm.



Slika 50: Vrednosti R_a pri debelini odrezovanja 0,05 mm, prsnem kotu 30° in rezalni hitrosti 1,2 m/s



Slika 51: Vrednosti R_a pri debelini odrezovanja 0,1 mm, prsnem kotu 30° in rezalni hitrosti 1,2 m/s

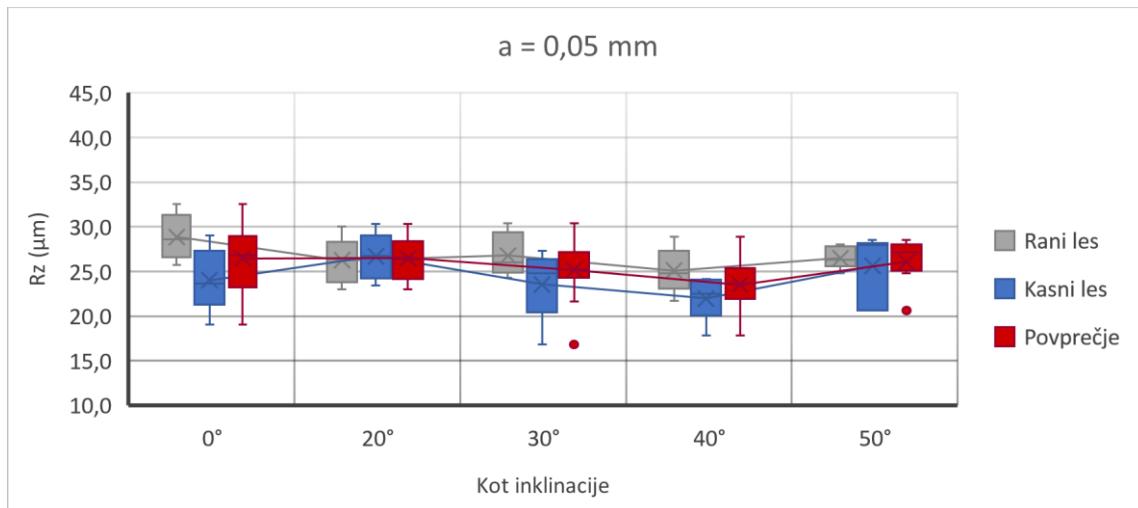


Slika 52: Primerjava povprečnih vrednosti R_a pri debelini odrezovanja 0,05 mm in 0,1 mm, prsnem kotu 30° in rezalni hitrosti 1,2 m/s

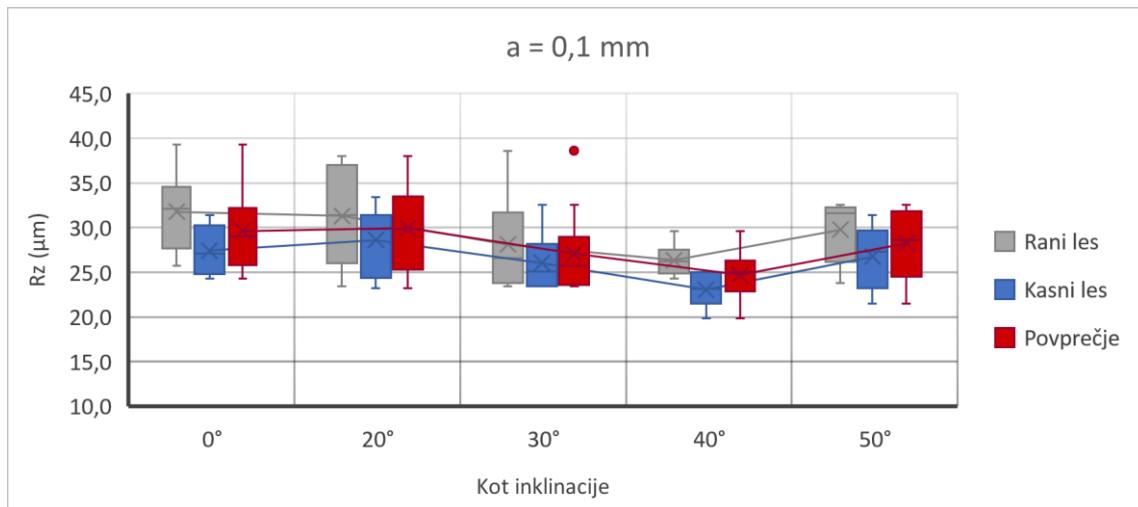
Preglednica 8: R_z (μm) pri različnih kotih inklinacije ter debelini odrezovanja 0,05 mm in 0,1 mm, prsnem kotu 30° in rezalni hitrosti 1,2 m/s

Kot inklinacije	Rani les		Kasni les		Povprečje	
	0,05 mm	0,1 mm	0,05 mm	0,1 mm	0,05 mm	0,1 mm
0°	28,87	31,75	24,00	27,43	26,43	29,59
20°	26,23	31,28	26,70	28,60	26,47	29,94
30°	26,78	28,08	23,53	26,03	25,16	27,06
40°	25,07	26,35	21,95	23,03	23,51	24,69
50°	26,48	29,77	25,60	26,73	26,04	28,25

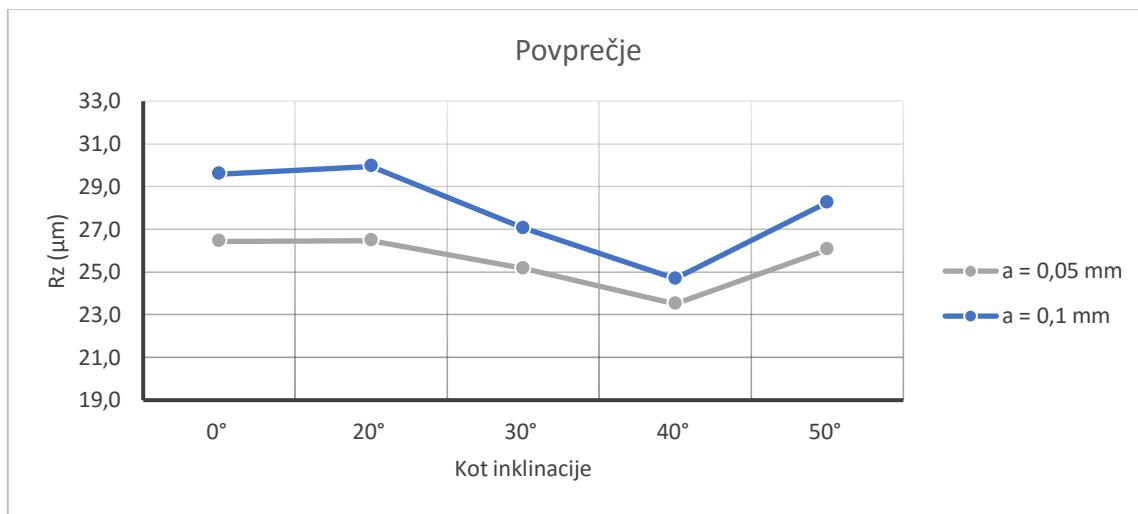
Slika 53 prikazuje rezultate meritev parametra R_z pri različnih kotih inklinacije za rani les, kasni les in povprečje pri debelini odrezovanja 0,05 mm, slika 54 pri debelini 0,1 mm, slika 55 pa prikazuje primerjavo povprečnih vrednosti R_z pri debelini odrezovanja 0,05 mm in 0,1 mm.



Slika 53: Vrednosti R_z pri debelini odrezovanja 0,05 mm, prsnem kotu 30° in rezalni hitrosti 1,2 m/s



Slika 54: Vrednosti R_z pri debelini odrezovanja 0,1 mm, prsnem kotu 30° in rezalni hitrosti 1,2 m/s

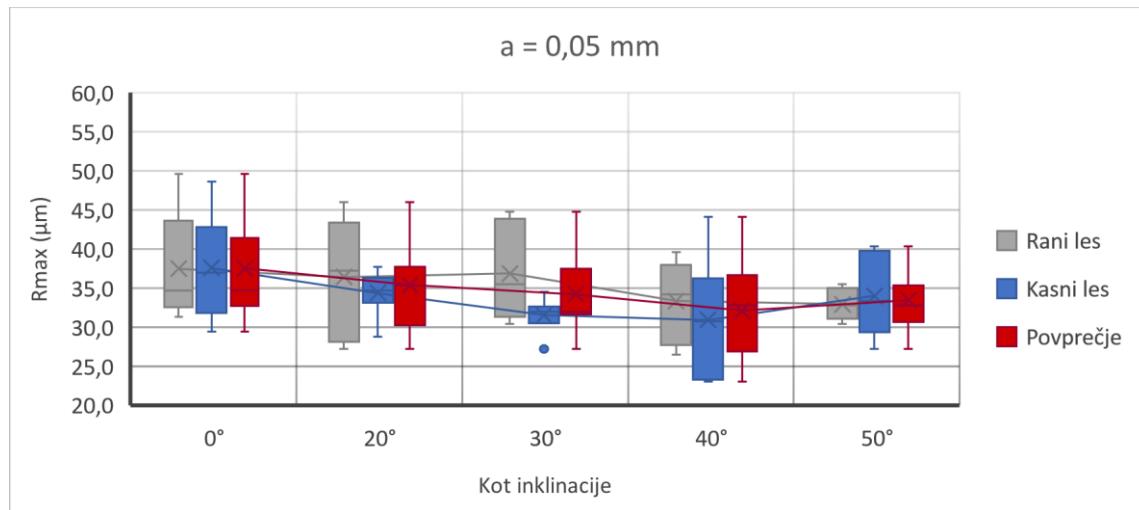


Slika 55: Primerjava povprečnih vrednosti R_z pri debelini odrezovanja 0,05 mm in 0,1 mm, prsnem kotu 30° in rezalni hitrosti 1,2 m/s

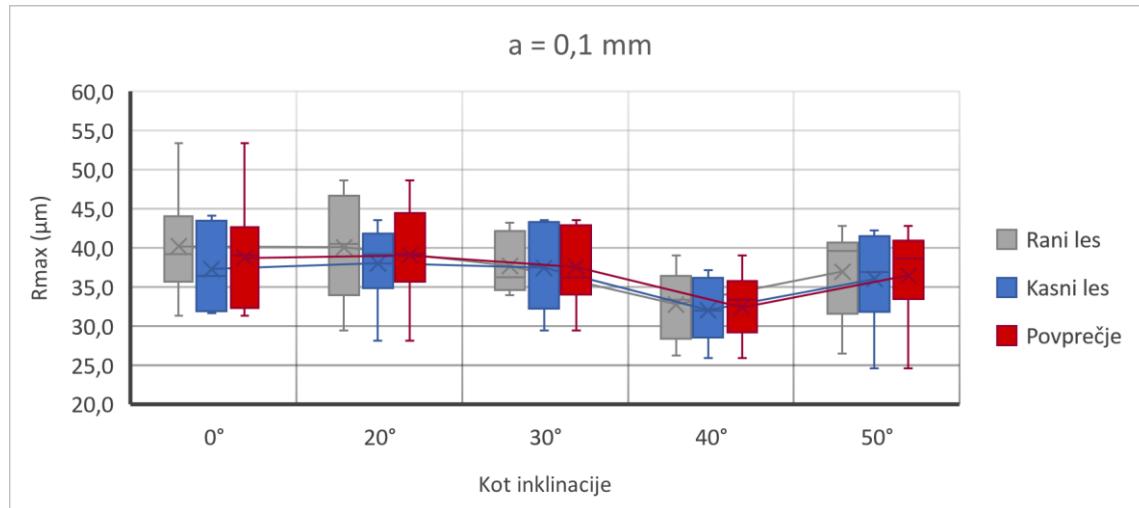
Preglednica 9: R_{max} (μm) pri različnih kotih inklinacije ter debelini odrezovanja 0,05 mm in 0,1 mm, prsnem kotu 30° in rezalni hitrosti 1,2 m/s

Kot inklinacije	Rani les		Kasni les		Povprečje	
	0,05 mm	0,1 mm	0,05 mm	0,1 mm	0,05 mm	0,1 mm
0°	37,47	40,18	37,57	37,28	37,52	38,73
20°	36,43	40,08	34,35	38,03	35,39	39,06
30°	36,88	37,70	31,55	37,45	34,22	37,58
40°	33,33	32,77	30,90	32,02	32,12	32,39
50°	32,92	36,95	33,98	36,00	33,45	36,48

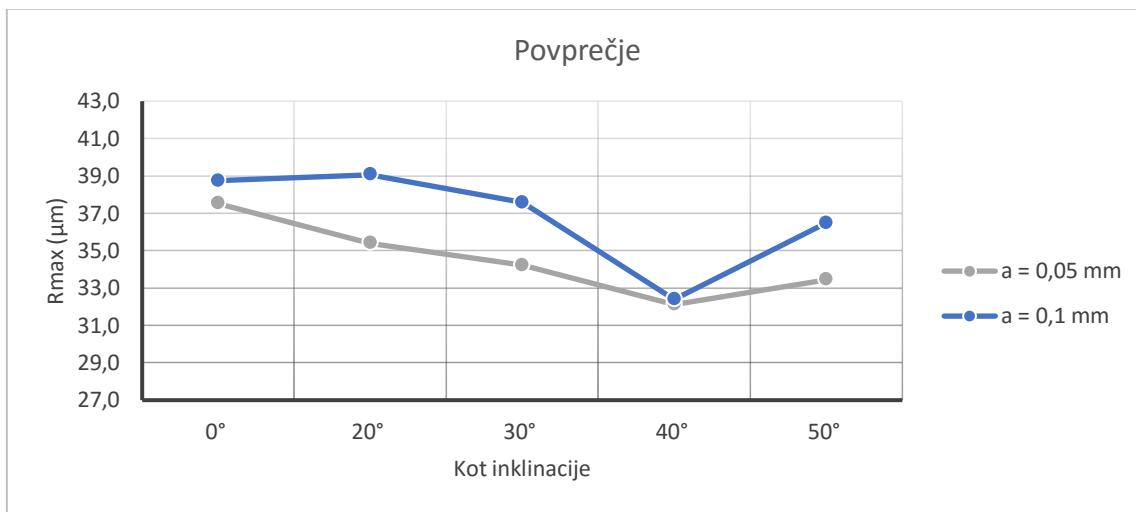
Slika 56 prikazuje rezultate meritev parametra R_{max} pri različnih kotih inklinacije za rani les, kasni les in povprečje pri debelini odrezovanja 0,05 mm, slika 57 pri debelini 0,1 mm, slika 58 pa prikazuje primerjavo povprečnih vrednosti R_{max} pri debelini odrezovanja 0,05 mm in 0,1 mm.



Slika 56: Vrednosti R_{max} pri debelini odrezovanja 0,05 mm, prsnem kotu 30° in rezalni hitrosti 1,2 m/s



Slika 57: Vrednosti R_{max} pri debelini odrezovanja 0,1 mm, prsnem kotu 30° in rezalni hitrosti 1,2 m/s



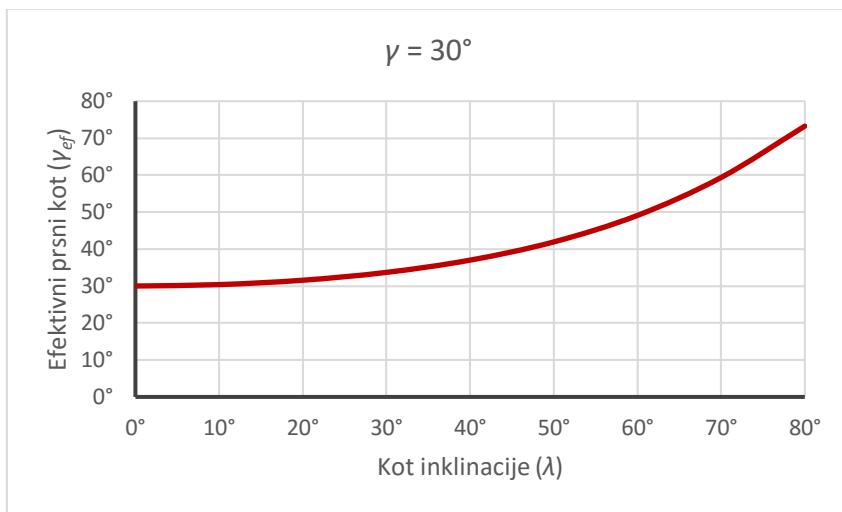
Slika 58: Primerjava povprečnih vrednosti R_{max} pri debelini odrezovanja 0,05 mm in 0,1 mm, prsnem kotu 30° in rezalni hitrosti 1,2 m/s

S povečevanjem kota inklinacije se nam ob konstantnem prsnem kotu povečuje efektivni prsni kot (γ_{ef}). Efektivni prsni kot lahko izračunamo po enačbi:

$$\gamma_{ef} = \arctan \frac{\tan \gamma}{\cos \lambda} \quad \dots(9)$$

pri čemer je γ prsni kot in λ kota inklinacije.

Slika 59 prikazuje spremjanje efektivnega prsnega kota ob spremjanju kota inklinacije pri nazivnem prsnem kotu 30° . V našem eksperimentu pri kota inklinacije 10° nismo odrezovali saj vidimo, da se efektivni prsni kot pri tem kota inklinacije spremeni le za $0,38^\circ$. Efektivni prsni kot s kotom inklinacije narašča eksponentno.



Slika 59: Odvisnost efektivnega prsnega kota od kota inklinacije pri prsnem kotu 30°

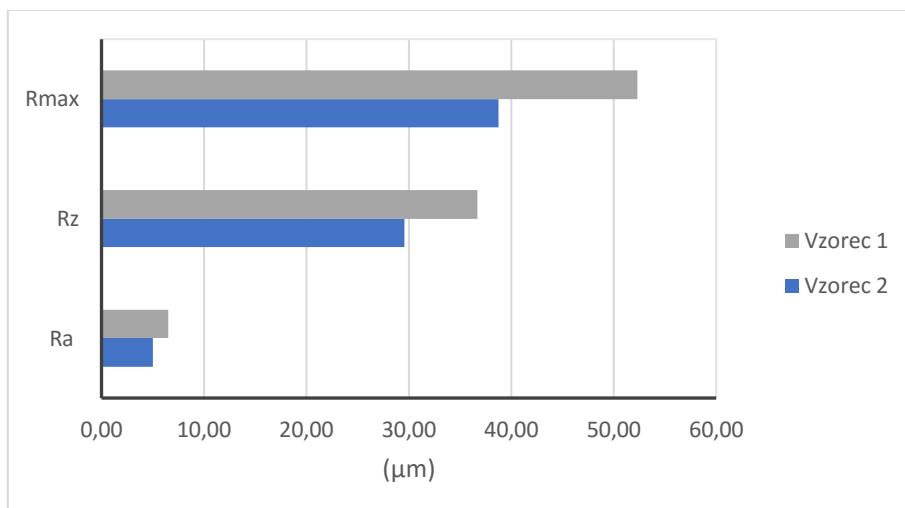
Inklinacija rezila ima pri odrezovanju tanjših odrezkov podoben vpliv kot pri debelejših odrezkih. Pri vseh kotih inklinacije so nižje vrednosti pri debelini odrezka 0,05 mm. Pri kotu inklinacije 40° se nekoliko zmanjša vpliv debeline odrezka. Pri obeh debelinah 0,05 mm in 0,1 mm vidimo, da pri kotu inklinacije 20° ni opaziti vidnejših razlik v primerjavi s kotom 0° . Pri kotu inklinacije 20° znaša efektivni prsní kot $31,5^\circ$ kar je le $1,5^\circ$ več kot znaša prsní kot rezila. Pri kotu inklinacije 30° pa se začnejo vrednosti zniževati tako pri debelini odrezka 0,05 mm kot 0,1 mm in dosežejo najnižjo vrednost pri kotu 40° .

Opazili smo, da pri kotu inklinacije 0° , kjer smo odrezovali dejansko z isto geometrijo rezila (prsní kot 30° , brez inklinacije) kot pri eksperimentu z prsnimi koti, vrednosti kasnega lesa niso večje od vrednosti ranega lesa, kot smo ugotovili pri omenjenem eksperimentu. Pri odrezovanju, kjer smo spremenjali kot inklinacije smo uporabili drug vzorčni kos kot pri odrezovanju z različnimi prsnimi koti. Verjetno smo na tem vzorcu odrezovali v smeri lesnih vlaken, kjer pa ne prihaja do cepitev pod ravnino rezanja. Tako smo dosegli boljšo površino, na kar kažejo tudi izmerjene vrednosti, ki so tu nižje kot smo jih dobili z odrezovanjem pri eksperimentu s prsnimi koti, kjer smo verjetno odrezovali proti smeri vlaken. Pri odrezovanju proti smeri vlaken prihaja do cepitve pod ravnino rezanja in s tem do slabše obdelane površine (Slika 9).

Preglednica 10: Rezultati meritev parametrov R_a , R_z in R_{max} v μm pri odrezovanju s prsnim kotom 30° , rezalno hitrostjo 1,2 m/s in debelino odrezka 0,1 mm

Parameter	Vzorec 1			Vzorec 2		
	Rani les	Kasni les	Povprečje	Rani les	Kasni les	Povprečje
R_a	5,67	7,37	6,52	5,26	4,73	5,00
R_z	33,70	39,63	36,67	31,75	27,43	29,59
R_{max}	45,67	58,95	52,31	40,18	37,28	38,73

Slika 60 prikazuje primerjavo povprečnih vrednosti meritev na dveh vzorcih pri istih pogojih odrezovanja (prsnii kot 30° , debelina odrezka 0,1 mm in rezalna hitrost 1,2 m/s). Predvidevamo, da smo pri vzorcu 1 odrezovali proti smeri vlaken in pri vzorcu 2 v smeri vlaken, zato je lahko prišlo do takšnih razlik v hrapavosti površine. Oba vzorca sta namreč iz istega vzorčnega kosa, ki smo ga po dolžini le prepolovili in s tem omilili vpliv neenakosti med vzorcema.



Slika 60: Primerjava povprečnih vrednosti meritev pri odrezovanju s prsnim kotom 30° , rezalno hitrostjo 1,2 m/s in debelino odrezka 0,1 mm

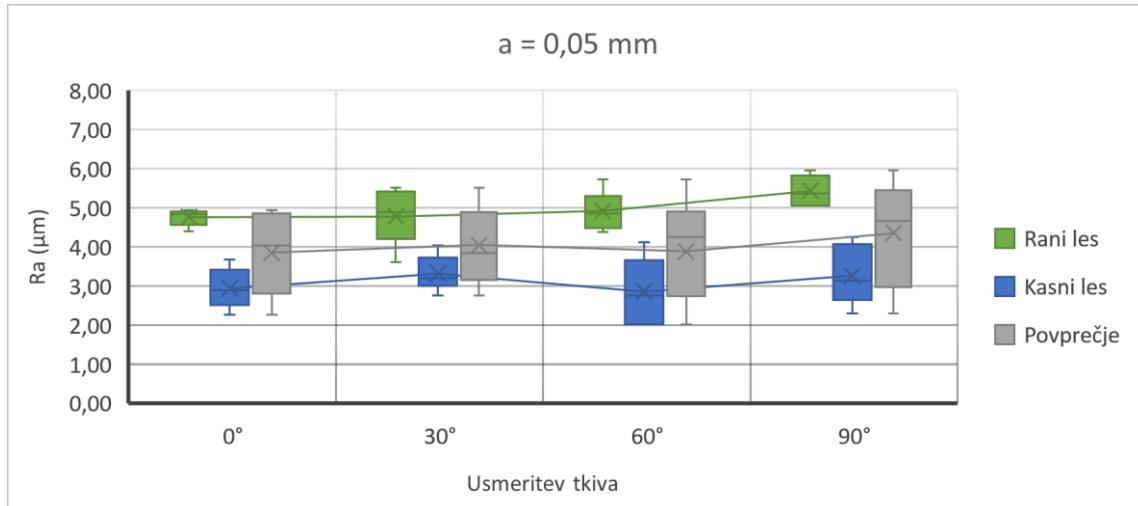
4.4 USMERITEV TKIVA

Preglednica 11 prikazuje povprečne vrednosti meritev parametra R_a , preglednica 12 parametra R_z in preglednica 13 parametra R_{max} pri odrezovanju z različnimi usmeritvami tkiva in debelinami odrezka. Povprečne vrednosti so izračunane iz šestih meritev.

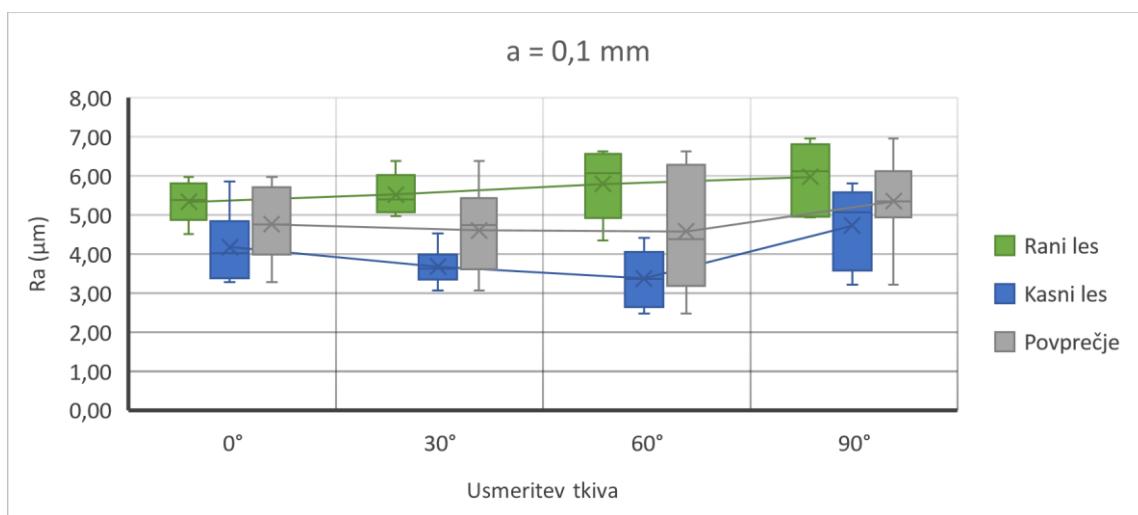
Preglednica 11: R_a (μm) pri različnih usmeritvah tkiva ter debelini odrezovanja 0,05 mm in 0,1 mm, prsnem kotu 20° in rezalni hitrosti 1,2 m/s

Kot tkiva	Rani les		Kasni les		Povprečje	
	0,05 mm	0,1 mm	0,05 mm	0,1 mm	0,05 mm	0,1 mm
0°	4,76	5,33	2,94	4,18	3,85	4,76
30°	4,78	5,53	3,31	3,68	4,04	4,60
60°	4,91	5,80	2,86	3,37	3,89	4,58
90°	5,43	5,97	3,26	4,73	4,35	5,35

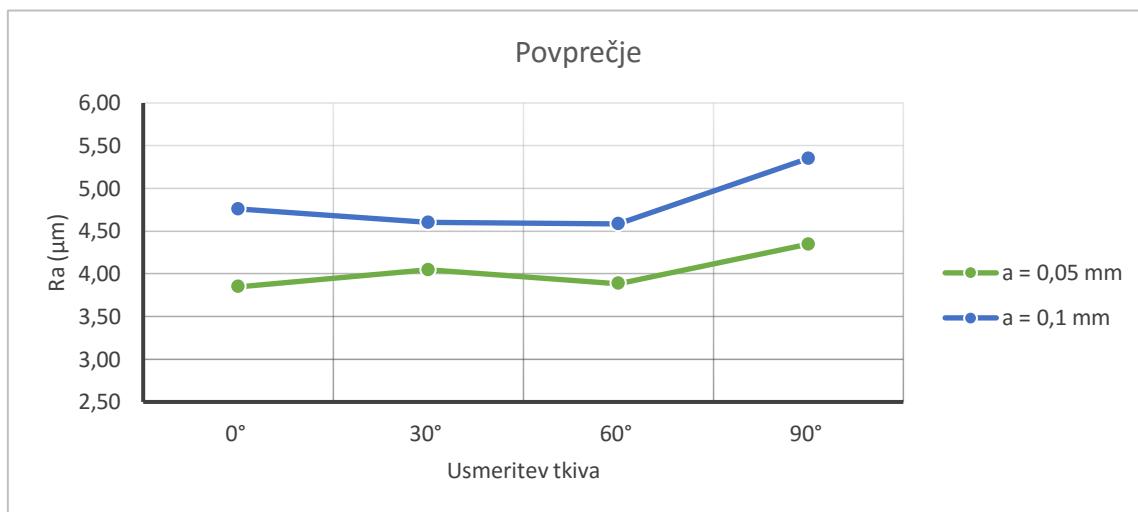
Slika 61 prikazuje rezultate meritev parametra R_a pri različnih usmeritvah tkiva za rani les, kasni les in povprečje pri debelini odrezovanja 0,05 mm, slika 62 pri debelini 0,1 mm, slika 63 pa prikazuje primerjavo povprečnih vrednosti R_a pri debelini odrezovanja 0,05 mm in 0,1 mm.



Slika 61: Vrednosti R_a pri debelini odrezovanja 0,05 mm, prsnem kotu 20° in rezalni hitrosti 1,2 m/s



Slika 62: Vrednosti R_a pri debelini odrezovanja 0,1 mm, prsnem kotu 20° in rezalni hitrosti 1,2 m/s

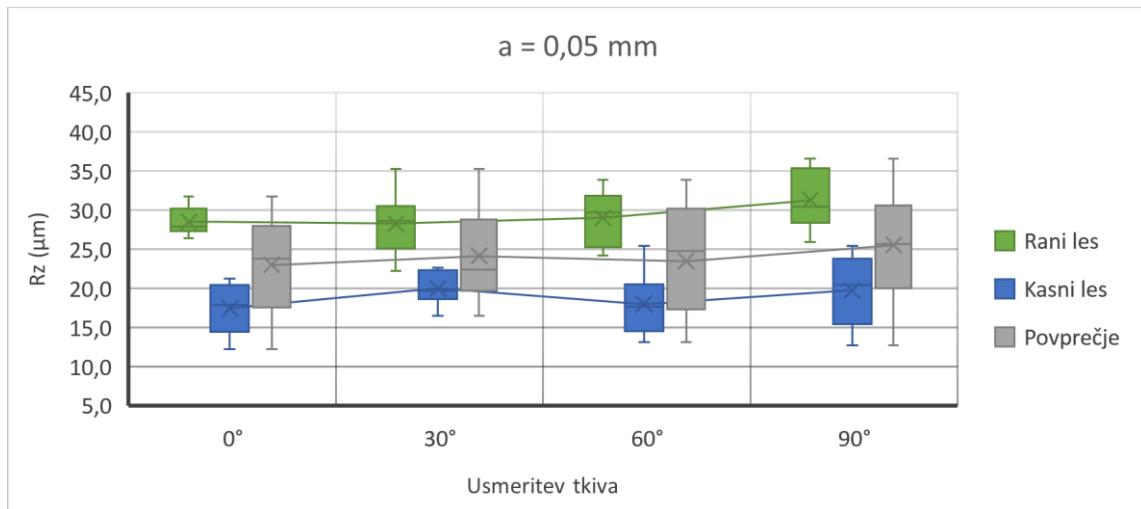


Slika 63: Primerjava povprečnih vrednosti R_a pri debelini odrezovanja 0,05 mm in 0,1 mm, prsnem kotu 20° in rezalni hitrosti 1,2 m/s

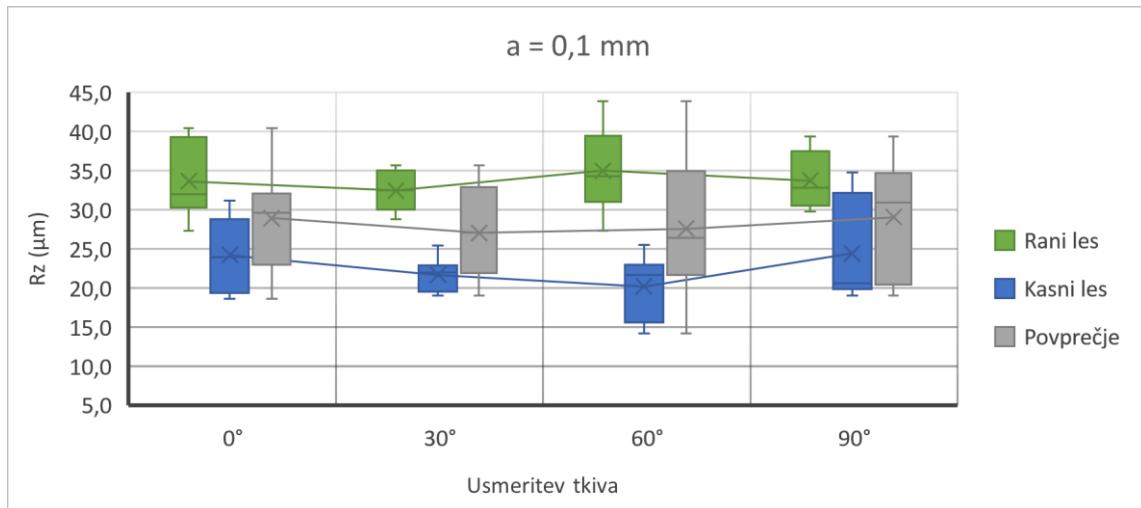
Preglednica 12: R_z (μm) pri različnih usmeritvah tkiva ter debelini odrezovanja 0,05 mm in 0,1 mm, prsnem kotu 20° in rezalni hitrosti 1,2 m/s

Kot tkiva	Rani les		Kasni les		Povprečje	
	0,05 mm	0,1 mm	0,05 mm	0,1 mm	0,05 mm	0,1 mm
0°	28,52	33,63	17,43	24,22	22,98	28,93
30°	28,28	32,45	20,00	21,67	24,14	27,06
60°	29,02	35,00	17,95	20,18	23,48	27,59
90°	31,25	33,72	19,75	24,40	25,50	29,06

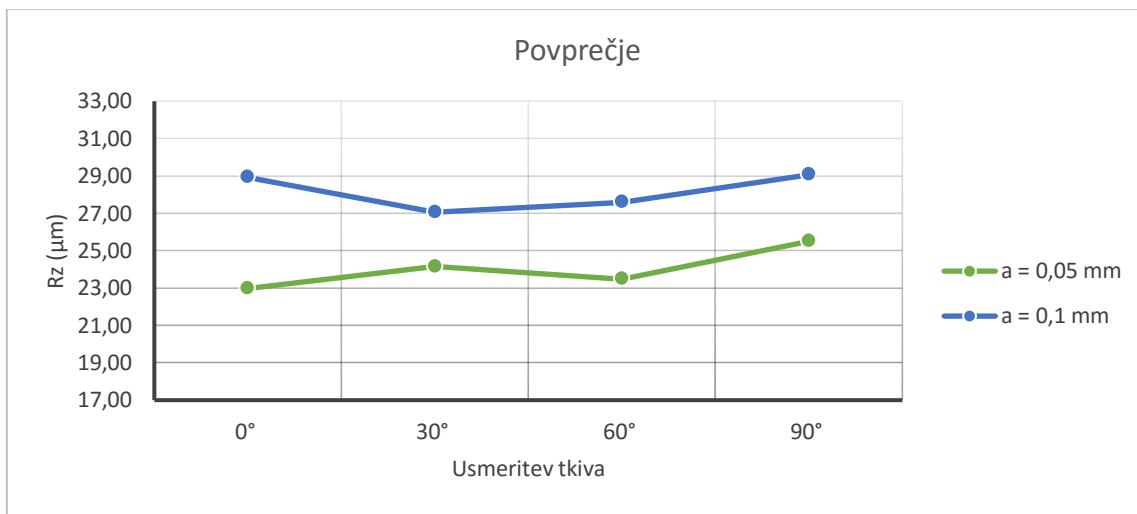
Slika 64 prikazuje rezultate meritev parametra R_z pri različnih usmeritvah tkiva za rani les, kasni les in povprečje pri debelini odrezovanja 0,05 mm, slika 65 pri debelini 0,1 mm, slika 66 pa prikazuje primerjavo povprečnih vrednosti R_z pri debelini odrezovanja 0,05 mm in 0,1 mm.



Slika 64: Vrednosti R_z pri debelini odrezovanja 0,05 mm, prsnem kotu 20° in rezalni hitrosti 1,2 m/s



Slika 65: Vrednosti R_z pri debelini odrezovanja 0,1 mm, prsnem kotu 20° in rezalni hitrosti 1,2 m/s

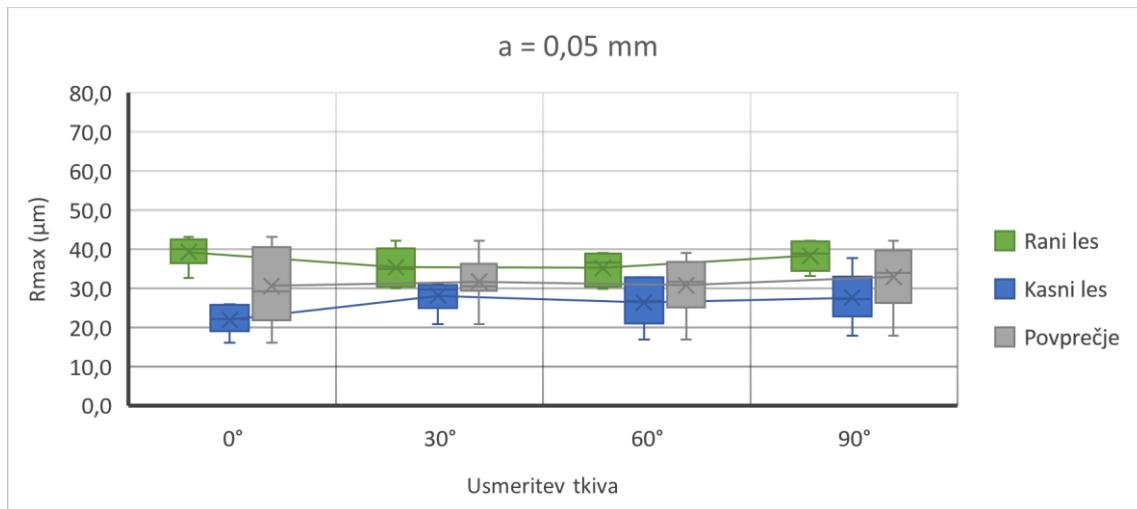


Slika 66: Primerjava povprečnih vrednosti R_z pri debelini odrezovanja 0,05 mm in 0,1 mm, prsnem kotu 20° in rezalni hitrosti 1,2 m/s

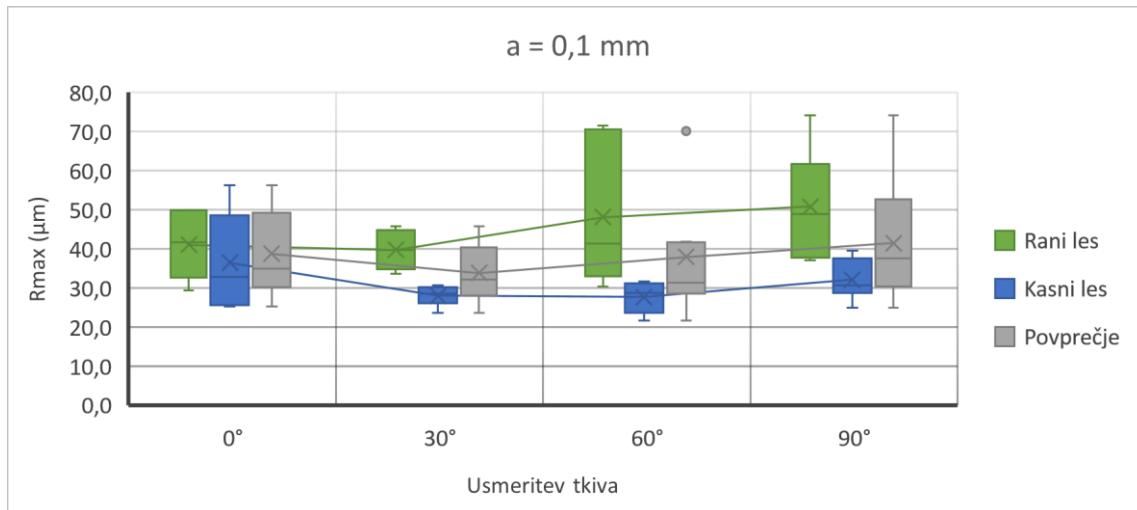
Preglednica 13: R_{max} (μm) pri različnih usmeritvah tkiva ter debelini odrezovanja 0,05 mm in 0,1 mm, prsnem kotu 20° in rezalni hitrosti 1,2 m/s

Kot tkiva	Rani les		Kasni les		Povprečje	
	0,05 mm	0,1 mm	0,05 mm	0,1 mm	0,05 mm	0,1 mm
0°	39,27	41,03	21,95	36,43	30,61	38,73
30°	35,37	39,70	28,08	27,98	31,73	33,84
60°	35,23	48,13	26,37	27,68	30,80	37,91
90°	38,30	50,80	27,58	32,10	32,94	41,45

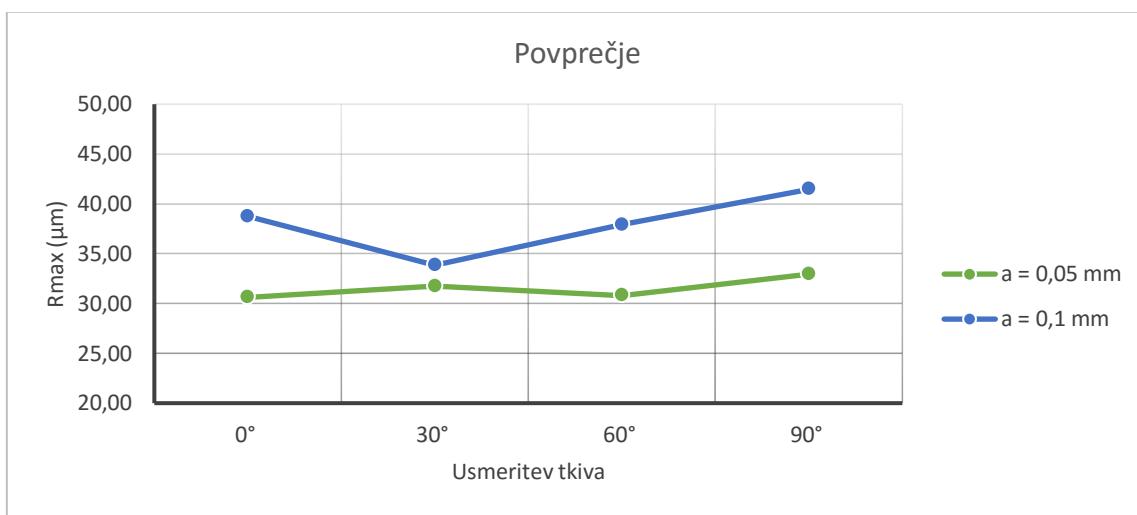
Slika 67 prikazuje rezultate meritev parametra R_{max} pri različnih usmeritvah tkiva za rani les, kasni les in povprečje pri debelini odrezovanja 0,05 mm, slika 68 pri debelini 0,1 mm, slika 69 pa prikazuje primerjavo povprečnih vrednosti R_{max} pri debelini odrezovanja 0,05 mm in 0,1 mm.



Slika 67: Vrednosti R_{max} pri debelini odrezovanja 0,05 mm, prsnem kotu 20° in rezalni hitrosti 1,2 m/s



Slika 68: Vrednosti R_{max} pri debelini odrezovanja 0,1 mm, prsnem kotu 20° in rezalni hitrosti 1,2 m/s



Slika 69: Primerjava povprečnih vrednosti R_{max} pri debelini odrezovanja 0,05 mm in 0,1 mm, prsnem kotu 20° in rezalni hitrosti 1,2 m/s

Pri debelini odrezka 0,05 mm vidimo, da je zaznavanje hrapavosti pri vseh treh parametrih podobno (slika 61, slika 64, slika 67). Najnižje vrednosti so bile izmerjene pri kotu 0°, kar pomeni, da pri tangencialni usmeritvi dosežemo najkakovostnejšo površino. Pri debelini odrezka 0,1 mm so najnižje vrednosti pri usmeritvi 30°. Tudi tu je podobno zaznavanje hrapavosti med parametri R_a , R_z in R_{max} (slika 62, slika 65, slika 68). Najvišje vrednosti meritev so bile pri radialni usmeritvi (kot 90°). Kasni les pri obeh debelinah odrezka in vseh usmeritvah v povprečju dosega nižje vrednosti od ranega lesa. Vzrok je v različni gostoti ranega in kasnega lesa. Kasni les ima višjo gostoto od ranega lesa zaradi debelejših celičnih sten in manjših lumnov. Odrezovali smo s prsnim kotom 20°. Pri tem kotu se tvori odrezek tipa II, kjer so večje rezalne sile in prihaja do tlačnih porušitev. Kasni les zaradi višje gostote prenese večje sile, ki nastanejo pri odrezovanju kot rani les, zato se rani les verjetno pri tlačni porušitvi bolj poškoduje in povzroča večjo hrapavost. Iz rezultatov meritev je razvidno tudi, da manjša debelina odrezka povzroča manjšo hrapavost površine neglede na usmeritev tkiva.

Iz eksperimentov smo dobili določene informacije, ki ji lahko uporabimo v praksi. Pri odrezovanju je pomembna pravilna izbira rezalnega orodja, predvsem velikost prsnega kota. Z orodjem, ki ima več rezil na obodu lahko pri isti vrtilni hitrosti dosežemo manjšo debelino odrezka in posledično boljšo kakovost obdelane površine. V nadaljevanju raziskave bi bilo morda zanimivo izvesti še odrezovanje, kjer bi združili parametre, ki so se izkazali za najustreznejše v različnih delih našega eksperimenta.

5 SKLEPI

Cilj diplomske naloge je bil preučiti vplive geometrijskih lastnosti rezila in tehnoloških parametrov obdelave pri odrezovanju v vzdolžni smeri lesnega tkiva. Iz dobljenih rezultatov lahko sklepamo sledeče:

- Pri rezalni hitrosti 2,2 m/s dosežemo najkakovostnejšo površino pri odrezovanju tankih odrezkov.
- Najprimernejši prjni kot za odrezovanje smrekovine v vzdolžni smeri je 15° . Pri tem kotu je bila obdelana površina najboljša. Pri odrezovanju z večjimi prnimi koti, kjer prihaja do odrezka tipa I moramo paziti na debelino odrezka, ki mora biti majhna.
- Pri kotu inklinacije nad 20° se začne kakovost obdelane površina izboljševati (glede na obdelavo brez inklinacije), najboljšo površino pa dosežemo pri kotu 40° .
- Kadar odrezujemo v tangencialni smeri 0° dosežemo najboljšo površino, najslabšo površino pa pri odrezovanju v radialni smeri oz. 90° na vlakna.
- Kadar imamo manjšo debelino odrezka dosežemo boljšo kakovost obdelane površine neglede na geometrijo rezila ali usmerjenost lesnega tkiva.
- Pri obdelavi lesa je potrebno zmanjšati podajanje na zob oz. rezilo. To storimo tako, da zmanjšamo podajalno hitrost, uporabimo orodje z večjim številom zob ali če stroj dovoljuje povečamo vrtilno hitrost delovne gredi. To so ukrepi s katerimi zmanjšamo srednjo debelino odrezka pri krožnem odrezovanju, ki je najpogostejsa oblika odrezovanja v lesarstvu.

6 POVZETEK

V naši raziskavi nas je zanimalo kakšen vpliv imajo tehnološki in geometrijski parametri rezila na kakovost obdelane površine smrekovine. Izvedli smo eksperiment, kjer smo v vzdolžni smeri (90° - 0°) premočrtno odrezovali vzorec smrekovega lesa. Da bi omilili vpliv nehomogenosti lesa smo vzorca, ki smo ju uporabili za eksperiment izrezali iz enega elementa. Les je bil brez napak, z ravnimi letnicami in enakomerno rastjo. Uporabili smo posebno orodje, na katerem smo lahko spremajali prsni in inklinacijski kot. Natančno smo lahko nastavljeni tudi debelino odrezka in rezalno hitrost. Po odrezovanju z določenimi parametri smo na vzorcu izmerili hrapavost novonastale površine. Odrezovali smo trikrat pod istimi pogoji in opravili meritev na ranem in kasnem lesu. Eksperiment smo izvedli v štirih delih. Spreminali smo rezalno hitrost, prsni kot, kot inklinacije in usmerjenost tkiva. Pri vseh spreminjačih parametrih smo odrezovali dve, pri spremjanju prsnih kotov pa tri debeline odrezka. Meritve smo opravili s kontaktnim merilnikom Mitutoyo Surftest 210, iz katerega smo lahko odčitali parametre R_a , R_z in R_{max} .

Eksperiment je pokazal, da ima rezalna hitrost vpliv na kakovost obdelave. Najustreznejša hitrost je nekje med 1,7 m/s do 2,2 m/s pri odrezovanju tanjših odrezkov. Pri debelejših odrezkih pa so bili najboljši rezultati doseženi pri hitrosti 0,2 m/s. Iz dobljenih rezultatov meritev smo ugotovili, da na kakovost obdelane površine lahko vplivamo z geometrijo rezila. Najboljšo kakovost površine smo dosegli pri odrezovanju s prsnim kotom 15° . Pri inklinaciji rezila smo ugotovili, da pri kotu 30° dobimo boljšo površino kot z rezilom brez inklinacije, najboljšo površino pa smo dobili pri kotu inklinacije 40° . Ugotovili smo tudi, da se smrekovina boljše obdeluje na tangencialnem prerezu 0° kot na radialnem 90° . Pri tanjših odrezkih je bila najboljša površina pri kotu 0° , pri debelejših odrezkih pa pri kotu 30° glede na usmerjenost vlaken. Iz rezultatov meritev je razvidno tudi, da se kasni les obdeluje boljše od ranega lesa in da pri manjši debelini odrezka dosežemo bolj kakovostno površino kot pri debelejših odrezkih.

Z raziskavo smo ugotovili, kakšni so najprimernejši geometrijski parametri rezila in tehnološki parametri obdelave smrekovine v vzdolžni smeri. Z upoštevanjem teh parametrov lahko pri odrezovanju dosežemo optimalno kakovost obdelane površine.

7 VIRI

- Abram J. 2011. Tehnologija strojne obdelave lesa. Ljubljana, Zavod IRC, Ljubljana.
Pridobljeno iz
http://www.mizs.gov.si/fileadmin/mizs.gov.si/pageuploads/podrocje/vs/Gradiva_ES/IMPLETUM_IMPLETUM_194LESARSTVO_Tehnologija_Abram.pdf
- Bučar B. 1991. Ortogonalno premočrtno odrezovanje kot naključni stacionarni proces. Les 3-4: 65-71.
- Bučar B., Bučar D. G. 2002. The influence of the specific cutting force and cross-sectional geometry of a chip on the cutting force in the process of circular rip-sawing. Holz als Roh- und Werkstoff, 60:146-151 Pridobljeno iz
<http://link.springer.com/article/10.1007/s00107-002-0281-5#page-1>
- Csanády E., & Magos, E. 2012. Mechaning Of Wood Machining (Second Edition izd.). Springer Science & Business Media. Pridobljeno iz
https://books.google.si/books?id=GpBjNK1EtqIC&dq=oblique+cutting+advantage&hl=sl&source=gbs_navlinks_s
- Čekada M. 2002. Uporaba profilometra pri analizi površin in tankih plasti. Vakuumist, 40
- Čufar K. 2008. Lastnosti izbranih drevesnih vrst za gradnjo. Pridobljeno iz
<http://www.lesena-gradnja.si/html/pages/si-clanki-materijal-tehnologija-lastnosti-lesnih-vrst.htm>
- Davim J. 2010. Surface Integrity In Machining. Springer Science & Business Media, 2010.
Pridobljeno iz
https://books.google.si/books?id=IrIKKMFUu_IC&printsec=frontcover&hl=sl&source=gbs_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false
- Franz N. C. 1958. An analysis of the wood-cutting process. Pridobljeno iz
<http://deepblue.lib.umich.edu/handle/2027.42/4952>
- Geršak M. 1990. Lesnoobdelovalni stroji in naprave. Ljubljana: Zveza društev inženirjev in tehnikov gozdarstva in lesarstva Slovenije, Lesarska založba: 112 str.
- Grošelj A., Kovačič B., Čermak M., Geršak M. 1999. Tehnologija lesa 2. Ljubljana, Lesarska založba: 240 str.
- Hoadley R. B. 2000. Understanding wood: a craftsman's guide too wood technology. Newtown: The Taunton Press, Inc. Pridobljeno iz
http://woodtools.nov.ru/mag/understanding_wood/understanding_wood_f.pdf
- Jiang X., Scott P., Whitehouse D., Blunt L. 2007. The Royal Society. Pridobljeno iz
<http://rspa.royalsocietypublishing.org/content/463/2085/2049>

- Meier E. 2016. The Wood Database. Pridobljeno iz <http://www.wood-database.com/lumber-identification/softwoods/norway-spruce/>
- Merjenje hrapavosti. Laboratorij za alternativne tehnologije. Fakulteta za strojništvo, Ljubljana. 2016. Pridobljeno iz <http://lab.fs.uni-lj.si/lat/uploads/metrologija/hrapavost.pdf>
- Pipa R. 1990. Anatomija in tehnologija lesa. Tehnologija tvoriv. Ljubljana, Zveza inženirjev in tenikov gozdarstva in lesarstva, Lesarska založba: 136 str.
- Ramrez M., C. A. 2013. SlideShare. Pridobljeno 2016 iz <http://www.slideshare.net/CarlosAlbertoRamrezM/surface-roughness-parameters-en>
- Rezalno orodje. Egradivo. Šolski center Novo Mesto. Pridobljeno iz http://egradivo.ecnm.si/ODR/rezalni_materiali.html (pridobljeno 5.2.2016)
- Simončič D. 2016. Tehniška dokumentacija in strojni elementi. Pridobljeno iz http://ddolenc.weebly.com/uploads/2/5/3/4/25346810/4_1_kakovost_povrin_tolera_nce_sistemi_ujemov.pdf
- Stegne V. 2011. Tehnologija strojne obdelave lesa. Ljubljana, Zavod IRC, Ljubljana. Pridobljeno iz http://www.mizs.gov.si/fileadmin/mizs.gov.si/pageuploads/podrocje/vs/Gradiva_ESS/IMPLETUM_IMPLETUM_264OBLIKOVANJE_Tehnologije_Stegne.pdf
- Woodson G., Koch P. 1970. Tool Forces and Chip Formation In Orthogonal Cutting Of Loblloy Pine. Res. Pap. SO-52. New Orleans, LA, U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Southern Forest Experiment Station. Pridobljeno iz <http://www.treesearch.fs.fed.us/pubs/596>

ZAHVALA

Zahvaljujem se mentorju doc. dr. Miranu Merharju za mentorstvo, nasvete pri pisanju in oblikovanju naloge, pripravo vzorcev in pomoč pri izvajanju eksperimenta.

Zahvaljujem se doc. dr. Dominiki Gornik Bučar za recenzijo diplomskega dela.

Zahvaljujem se staršema, ki sta mi vedno stala ob strani, me podpirala in spodbujala v času študija in izdelavi diplomskega dela. Prav tako gre zahvala Atku za vso podporo in spodbudo pri nastajanju diplomskega dela.

Zahvaljujem se ga. Darji Vranjek za pomoč pri iskanju literature.

Zahvaljujem se tudi vsem, ki so mi na kakršenkoli način pomagali pri nastanku tega dela.

PRILOGA A

REZALNE HITROSTI – rezultati meritev

Parameter R_a (μm)

Hitrost	Rani les		Kasni les		Hitrost	Rani les		Kasni les	
	0,05 mm	0,1 mm	0,05 mm	0,1 mm		0,05 mm	0,1 mm	0,05 mm	0,1 mm
0,2 m/s	6,77	5,50	3,07	3,52	2,7 m/s	4,28	6,51	4,30	6,10
	5,28	6,93	3,62	2,29		4,49	5,53	4,27	6,43
	6,62	5,48	4,64	4,55		4,20	7,14	3,21	7,64
	7,04	3,48	3,09	3,54		5,73	5,34	5,83	7,31
	6,67	2,95	2,93	2,85		5,51	7,09	4,51	6,60
	5,79	4,47	2,58	4,11		4,34	6,15	3,93	4,52
0,7 m/s	5,21	5,49	3,13	6,50	3,2 m/s	6,00	8,16	6,91	8,78
	6,43	5,62	5,52	4,23		5,09	6,31	3,96	4,75
	4,82	6,69	2,79	6,19		5,36	8,08	6,15	7,14
	4,71	5,54	3,20	5,07		4,55	6,09	4,72	5,19
	5,08	6,33	3,28	5,47		4,93	8,65	5,66	9,17
	5,60	5,05	3,91	7,50		5,33	6,58	5,71	5,78
1,2 m/s	4,64	4,09	4,26	5,31	3,7 m/s	5,40	8,91	5,72	8,01
	4,21	6,87	3,23	6,30		6,43	6,01	5,27	5,63
	4,48	6,00	4,31	7,41		5,54	8,47	5,90	6,58
	5,06	4,71	4,23	4,70		4,96	7,25	4,19	5,52
	6,36	5,86	4,46	3,82		6,54	8,46	7,17	6,85
	3,95	5,55	4,19	4,05		4,31	7,97	5,04	6,48
1,7 m/s	4,79	6,29	2,93	4,03	4,2 m/s	6,06	6,97	6,56	6,48
	5,10	5,38	3,45	5,99		4,60	7,60	5,11	7,29
	4,81	5,86	3,95	6,89		5,15	8,89	4,63	6,24
	4,16	5,63	2,76	5,28		5,70	7,95	3,21	8,11
	4,16	6,23	3,09	4,88		5,68	6,03	3,43	5,84
	4,28	5,88	3,06	4,56		5,45	5,01	4,14	6,86
2,2 m/s	5,40	5,71	3,93	3,91					
	3,71	4,76	4,18	3,09					
	4,82	5,72	4,49	3,53					
	4,50	4,50	2,86	3,95					
	5,13	4,98	2,96	5,47					
	3,89	4,96	4,90	6,24					

Parameter R_z (μm)

Hitrost	Rani les		Kasni les		Hitrost	Rani les		Kasni les	
	0,05 mm	0,1 mm	0,05 mm	0,1 mm		0,05 mm	0,1 mm	0,05 mm	0,1 mm
0,2 m/s	43,1	29,4	21,5	19,5	2,7 m/s	26,4	45,5	27,7	33,9
	31,5	45,7	23,1	16,0		26,6	38,9	23,1	31,7
	35,3	31,8	28,1	26,3		23,6	35,5	22,1	56,5
	51,2	20,6	20,7	18,9		33,6	34,0	32,3	43,7
	40,3	20,0	21,2	18,1		28,0	42,5	27,4	41,3
	38,1	25,4	20,1	23,4		26,8	39,0	23,6	24,1
0,7 m/s	35,8	45,5	20,2	36,4	3,2 m/s	34,4	55,2	38,7	48,0
	38,1	33,7	18,9	27,7		28,4	37,5	24,0	32,0
	26,6	37,8	19,9	37,3		30,1	45,6	36,6	42,3
	30,9	29,6	24,8	33,2		29,7	36,8	27,7	29,4
	40,8	39,9	18,8	31,3		27,3	48,3	33,2	58,3
	28,0	28,4	28,6	44,9		27,9	40,9	37,4	37,5
1,2 m/s	28,6	33,4	25,1	30,5	3,7 m/s	27,3	49,9	33,7	46,7
	25,1	40,3	21,3	34,6		35,5	35,5	31,6	27,7
	30,9	39,1	23,9	39,8		27,4	45,2	30,0	38,9
	30,5	23,1	22,2	29,2		30,0	40,4	23,0	30,8
	36,6	35,8	26,6	23,7		33,7	41,1	42,6	41,2
	25,4	32,1	25,7	26,4		27,2	44,0	29,6	38,2
1,7 m/s	24,7	34,0	19,9	25,4	4,2 m/s	32,0	41,8	34,3	41,3
	38,5	28,4	19,2	36,8		28,6	49,1	27,4	46,6
	36,9	33,7	22,2	42,4		31,9	52,4	28,1	46,0
	25,7	38,4	21,3	31,5		32,4	46,0	19,0	43,5
	31,2	33,0	24,5	25,9		27,8	35,3	22,0	35,9
	25,0	37,8	16,7	28,6		25,7	32,7	25,7	43,0
2,2 m/s	28,1	37,3	23,9	20,4					
	26,1	28,4	25,2	20,9					
	28,1	35,3	25,6	20,0					
	27,9	26,8	17,6	25,6					
	30,9	24,9	18,6	27,5					
	21,2	29,7	27,7	44,0					

Parameter R_{max} (μm)

Hitrost	Rani les		Kasni les		Hitrost	Rani les		Kasni les	
	0,05 mm	0,1 mm	0,05 mm	0,1 mm		0,05 mm	0,1 mm	0,05 mm	0,1 mm
0,2 m/s	55,0	37,1	29,7	28,4	2,7 m/s	32,0	60,1	33,9	55,0
	32,9	57,6	29,7	19,2		39,6	47,3	26,2	36,1
	47,3	43,5	34,5	37,7		34,2	52,4	31,1	64,7
	63,4	23,3	24,2	19,5		42,2	37,4	36,8	60,1
	49,6	32,0	26,2	21,1		33,6	47,3	32,9	60,1
	66,5	33,2	39,3	29,7		32,9	46,0	25,9	28,1
0,7 m/s	53,7	79,3	23,6	47,3	3,2 m/s	41,6	65,7	46,0	74,2
	42,2	47,3	28,1	48,6		38,4	55,0	26,8	46,0
	31,3	56,3	38,4	49,9		36,1	35,8	43,2	52,4
	38,4	37,4	47,3	53,7		42,8	46,0	30,7	32,9
	70,4	51,2	22,4	49,9		33,6	64,0	40,9	76,8
	32,0	30,7	46,0	53,7		32,3	66,5	51,2	56,3
1,2 m/s	35,5	52,4	28,1	41,6	3,7 m/s	32,0	72,9	42,5	49,9
	27,2	55,6	27,5	40,9		42,2	43,5	36,1	46,4
	38,0	55,0	26,2	65,2		28,2	56,3	33,6	49,9
	34,8	28,1	28,4	38,0		33,2	48,6	29,7	46,4
	48,6	46,0	32,9	35,8		39,6	49,9	51,8	55,0
	29,4	36,8	29,4	35,2		33,9	48,6	37,7	52,4
1,7 m/s	28,4	51,2	31,1	34,5	4,2 m/s	37,4	53,7	39,0	56,3
	58,8	33,6	24,3	42,2		30,0	58,8	31,0	67,8
	49,1	41,6	25,6	75,5		37,1	60,1	40,0	55,0
	30,4	47,3	25,9	43,2		43,5	64,0	25,2	52,4
	38,4	39,6	38,4	37,7		32,9	49,9	25,6	48,6
	31,0	49,9	20,4	41,9		32,0	43,5	34,2	58,8
2,2 m/s	32,9	57,6	32,6	27,5					
	35,8	35,2	28,8	34,5					
	34,8	47,3	30,4	30,0					
	35,8	37,7	24,6	40,9					
	40,6	39,7	25,2	34,5					
	24,6	33,6	33,6	60,1					

PRILOGA B**PRSNI KOTI – rezultati meritev**Parameter R_a (μm)

Prsniki kot	Rani les			Kasni les		
	0,05 mm	0,1 mm	0,15 mm	0,05 mm	0,1 mm	0,15 mm
5°	4,81	6,41	7,65	1,79	2,64	4,40
	7,40	5,82	5,81	2,54	2,90	2,36
	5,42	7,33	5,86	3,11	2,78	2,59
	5,93	5,57	5,78	2,84	3,25	3,30
	5,98	6,64	6,09	2,20	3,17	2,72
	6,61	6,17	7,83	1,86	2,75	3,05
10°	6,30	4,53	5,11	2,60	5,42	4,19
	5,53	4,08	8,01	2,60	4,60	3,87
	5,89	4,97	6,92	2,88	2,58	4,04
	6,50	5,17	5,26	3,00	3,10	3,23
	4,34	6,21	7,03	5,22	2,10	3,50
	5,10	5,22	6,77	3,71	3,63	3,36
15°	4,80	4,38	5,40	2,78	3,45	3,94
	4,98	5,93	6,16	2,61	3,41	4,55
	5,63	5,62	6,77	2,02	3,41	3,51
	4,61	6,04	5,18	3,28	3,79	4,29
	4,77	5,44	5,46	3,21	5,03	3,37
	4,07	5,38	4,98	3,32	3,30	4,00
20°	4,46	4,09	8,85	4,26	5,31	5,89
	4,21	6,87	6,66	3,23	6,30	5,69
	4,48	6,00	5,47	4,31	7,41	6,73
	4,82	4,71	8,22	4,23	4,70	6,02
	6,36	5,86	7,76	5,16	3,82	6,70
	3,72	5,55	6,82	4,19	4,05	5,31
25°	5,95	7,04	7,00	5,17	5,86	9,10
	6,01	6,39	6,52	3,49	7,03	6,88
	4,96	5,91	5,75	4,10	6,49	6,00
	6,24	6,39	6,07	2,95	5,72	5,08
	5,50	6,85	7,57	3,62	7,60	5,61
	4,65	4,82	8,66	3,22	9,67	7,49
30°	4,22	4,91	5,78	4,92	7,55	6,15
	4,60	5,78	6,23	5,72	5,92	7,54
	4,67	5,59	5,82	5,16	8,98	7,07
	4,50	6,33	5,13	5,57	5,93	5,33
	4,75	5,14	7,25	4,60	6,99	9,89
	5,07	6,26	8,05	3,98	8,84	5,82
35°	5,13	5,58	5,35	4,12	4,18	5,73
	4,48	4,53	5,86	3,81	3,09	5,96
	4,66	4,99	6,01	3,84	5,16	5,99
	5,22	5,08	5,85	4,35	5,43	5,06
	5,13	5,54	5,09	4,54	6,16	5,15
	4,56	5,10	5,75	4,35	5,19	5,49
40°	6,09	3,95	6,33	3,77	6,21	6,82
	5,06	5,30	5,15	4,07	4,15	5,22
	5,44	5,65	5,77	5,07	5,47	5,47
	5,30	5,35	5,21	2,99	4,39	6,29
	5,86	5,64	5,88	4,36	5,64	4,11
	5,65	5,91	5,09	4,17	2,59	6,36

Parameter R_z (μm)

Prsni kot	Rani les			Kasni les		
	0,05 mm	0,1 mm	0,15 mm	0,05 mm	0,1 mm	0,15 mm
5°	28,6	42,4	40,3	12,6	16,0	29,7
	48,3	32,0	36,8	16,9	20,6	15,6
	30,6	35,9	31,0	21,1	17,7	16,7
	38,1	29,4	38,5	19,9	20,1	21,5
	34,6	39,3	38,3	15,4	19,7	16,7
	44,4	36,7	42,4	18,3	21,8	19,1
10°	40,4	31,1	32,1	16,1	32,5	26,8
	37,0	23,2	50,9	18,2	26,6	26,3
	35,5	32,0	46,4	17,0	15,8	24,8
	37,6	32,7	28,2	18,9	19,5	19,6
	25,7	34,1	46,0	28,4	14,5	22,2
	29,1	40,8	42,4	22,2	27,5	15,3
15°	26,4	23,9	30,2	19,3	20,2	20,9
	26,1	39,6	39,1	16,5	21,9	26,1
	40,1	33,5	35,9	14,5	22,9	22,7
	28,8	34,5	32,3	19,2	20,9	28,1
	34,6	32,9	34,8	20,0	29,5	20,0
	25,6	28,7	33,0	20,4	22,3	25,6
20°	28,6	33,4	49,3	25,1	30,5	34,4
	25,1	40,3	29,9	21,3	34,6	30,5
	30,9	39,1	32,9	23,9	39,8	36,0
	30,4	23,1	42,5	22,2	29,2	35,9
	36,6	35,8	47,1	28,4	23,7	35,5
	21,6	32,1	42,6	25,7	26,4	32,1
25°	32,6	43,7	38,2	32,5	40,6	52,5
	33,7	33,6	35,8	22,0	41,2	42,3
	29,5	31,8	33,8	25,4	36,3	49,8
	39,0	35,7	34,4	18,8	37,1	29,6
	27,1	45,0	45,8	26,3	39,4	27,9
	29,1	30,0	47,1	19,9	51,8	40,4
30°	25,3	28,8	28,8	27,5	40,7	37,8
	28,5	33,3	37,3	29,5	31,8	45,8
	26,6	28,6	32,7	32,0	40,7	35,8
	27,8	42,3	37,2	43,3	39,6	32,3
	25,8	29,6	38,1	26,7	39,6	55,0
	30,4	39,6	52,5	21,8	45,4	38,1
35°	27,5	34,3	30,9	22,3	23,4	33,5
	27,0	26,8	41,6	22,0	16,3	32,7
	30,5	29,1	39,9	25,4	31,2	40,8
	34,0	29,3	34,3	24,7	36,3	30,5
	28,2	32,0	30,1	25,7	34,2	28,2
	27,3	31,3	34,4	23,5	26,4	26,3
40°	32,9	23,7	34,4	24,0	31,2	35,0
	30,2	33,9	31,0	23,6	20,0	33,8
	32,2	32,7	35,5	28,1	28,3	28,9
	27,7	32,2	29,3	18,6	24,5	32,2
	37,1	30,5	30,2	23,6	36,6	26,3
	35,7	38,0	29,1	27,3	17,7	34,8

Parameter R_{max} (μm)

Prsni kot	Rani les			Kasni les		
	0,05 mm	0,1 mm	0,15 mm	0,05 mm	0,1 mm	0,15 mm
5°	41,2	62,7	62,7	15,6	19,2	35,5
	57,6	38,4	42,2	22,4	30,7	18,2
	33,9	53,7	34,5	27,5	22,4	21,4
	49,4	49,6	55,0	29,4	29,1	24,2
	40,0	44,8	57,6	18,8	32,9	22,4
	61,6	51,2	61,4	37,1	32,3	21,4
10°	49,9	42,5	39,0	25,9	43,5	46,0
	42,2	31,3	71,2	21,2	31,6	31,3
	43,2	41,2	68,3	20,8	20,4	35,2
	43,5	41,6	41,9	26,5	25,6	26,2
	32,6	43,5	70,8	32,9	20,1	30,4
	39,6	56,3	52,5	26,5	39,6	23,6
15°	33,6	25,6	36,8	26,8	22,0	27,5
	31,0	58,8	52,4	24,9	27,8	32,0
	49,9	36,4	40,9	17,9	35,2	26,2
	33,2	40,9	42,5	24,3	24,9	30,4
	39,6	39,0	47,3	24,5	46,0	29,7
	38,4	32,9	46,0	22,7	27,5	32,3
20°	35,5	52,4	66,2	28,1	41,6	55,0
	27,2	55,6	36,4	27,5	40,9	37,7
	38,0	55,0	40,0	26,2	65,2	54,4
	37,4	28,1	60,1	28,4	38,0	57,6
	48,6	46,0	56,3	32,9	35,8	35,5
	26,8	36,8	56,9	29,4	35,2	55,0
25°	35,5	58,5	50,2	43,5	61,4	78,0
	39,6	40,9	42,2	24,9	53,7	64,0
	33,2	36,4	38,4	32,3	44,8	77,7
	52,4	48,6	43,5	23,0	44,8	37,7
	28,8	57,6	49,9	40,9	52,4	38,0
	38,7	40,9	61,4	29,7	66,5	66,5
30°	35,8	39,6	35,2	44,8	58,8	43,2
	36,1	44,8	48,6	44,8	49,2	74,2
	31,0	33,6	35,8	35,8	51,2	48,6
	33,2	52,4	47,0	40,9	51,2	47,0
	33,9	40,9	48,6	34,2	72,9	88,3
	33,6	62,7	66,5	24,6	70,4	72,9
35°	29,4	53,7	40,9	42,2	40,6	65,2
	34,5	35,2	54,7	27,2	27,8	47,0
	35,5	42,2	70,4	30,7	43,5	61,4
	41,9	40,9	44,1	31,6	49,9	46,7
	32,9	37,1	36,4	38,7	43,5	39,0
	49,2	41,6	39,0	32,6	33,2	38,0
40°	47,3	36,4	42,5	35,8	36,8	43,2
	48,6	40,3	47,3	34,5	26,5	44,8
	37,7	38,4	48,6	34,2	32,6	33,9
	34,5	38,4	37,1	27,5	33,6	46,0
	46,0	38,7	51,2	31,6	58,8	32,2
	47,3	56,3	37,1	37,1	24,6	47,3

PRILOGA C

KOT INKLINACIJE – rezultati meritev

Parameter R_a (μm)

Kot inklinacije	Rani les		Kasni les	
	0,05 mm	0,1 mm	0,05 mm	0,1 mm
0°	5,77	4,61	5,26	4,45
	4,39	4,72	4,32	4,94
	4,55	4,58	4,22	4,38
	4,51	5,78	3,84	5,63
	5,54	5,59	3,92	4,12
	4,99	6,27	3,59	4,88
20°	4,21	5,60	4,37	5,36
	4,75	5,70	4,66	3,81
	3,79	3,98	4,61	6,53
	4,84	3,71	4,45	5,12
	4,35	5,21	4,49	4,25
	5,29	5,12	5,43	5,69
30°	4,22	6,20	3,46	3,80
	4,15	3,96	5,23	5,32
	4,66	4,45	3,13	3,95
	4,74	5,50	3,50	4,31
	4,93	4,10	4,66	5,44
	4,45	4,00	4,32	5,03
40°	4,68	4,49	3,61	4,09
	4,08	5,57	4,96	4,45
	4,73	4,93	3,82	5,30
	4,65	4,30	3,18	3,52
	4,25	4,47	3,90	3,13
	4,91	4,46	3,80	4,06
50°	5,07	6,23	3,16	5,74
	4,83	5,54	4,60	4,61
	4,69	5,94	4,03	3,22
	4,41	4,71	3,27	5,10
	4,59	5,10	5,17	4,79
	4,82	4,51	4,78	3,79

Parameter R_z (μm)

Kot inklinacije	Rani les		Kasni les	
	0,05 mm	0,1 mm	0,05 mm	0,1 mm
0°	30,9	32,2	26,7	25,9
	25,7	25,7	22,8	29,8
	28,4	28,3	29,0	24,9
	26,9	33,0	22,0	31,4
	28,8	32,0	24,5	24,3
	32,5	39,3	19,0	28,3
20°	26,6	33,5	23,4	29,7
	30,0	29,3	24,5	23,2
	24,0	23,4	25,6	33,4
	26,1	26,9	28,6	30,7
	23,0	38,0	27,8	24,7
	27,7	36,6	30,3	29,9
30°	24,3	38,6	21,6	23,4
	26,8	25,6	26,0	32,5
	25,0	27,6	16,8	23,4
	29,0	29,4	27,3	24,4
	25,2	23,4	25,2	26,7
	30,4	23,9	24,3	25,8
40°	28,9	26,8	24,1	23,8
	23,7	29,6	24,0	25,0
	25,8	26,1	22,4	25,1
	21,7	24,3	17,8	22,0
	23,5	26,3	22,6	19,8
	26,8	25,0	20,8	22,5
50°	28,0	32,0	20,6	31,4
	26,0	32,2	28,0	26,5
	26,6	32,5	27,9	21,5
	25,8	26,9	20,6	28,1
	24,8	31,2	28,0	29,1
	27,7	23,8	28,5	23,8

Parameter R_{max} (μm)

Kot inklinacije	Rani les		Kasni les	
	0,05 mm	0,1 mm	0,05 mm	0,1 mm
0°	41,6	38,4	40,3	33,2
	32,9	31,3	29,4	44,1
	35,2	40,9	48,6	43,2
	31,3	37,1	32,6	39,6
	34,2	40,0	40,9	32,0
	49,6	53,4	33,6	31,6
20°	36,8	44,8	28,8	38,7
	46,0	35,5	37,7	28,1
	27,2	29,4	34,8	43,5
	42,5	36,2	35,8	41,2
	28,4	48,6	34,5	39,6
	37,7	46,0	34,5	37,1
30°	31,6	41,8	27,2	33,2
	43,5	43,2	32,0	43,2
	38,4	35,8	31,6	29,4
	32,6	36,7	34,5	34,5
	30,4	34,8	32,0	43,5
	44,8	33,9	32,0	40,9
40°	34,5	35,5	44,1	29,4
	33,9	39,0	29,4	37,1
	37,4	33,2	33,6	29,4
	28,1	26,2	23,0	35,8
	26,5	33,6	32,0	25,9
	39,6	29,1	23,3	34,5
50°	35,5	40,0	27,2	42,2
	32,6	42,8	34,8	34,2
	31,3	39,6	30,0	24,6
	34,8	33,2	32,0	36,1
	30,4	39,6	40,3	41,2
	32,9	26,5	39,6	37,7

PRILOGA D**USMERITEV TKIVA – rezultati meritev**Parameter R_a (μm)

Usmeritev tkiva	Rani les		Kasni les	
	0,05 mm	0,1 mm	0,05 mm	0,1 mm
0°	4,87	5,00	2,26	3,41
	4,61	4,51	3,68	3,28
	4,40	5,76	3,31	4,49
	4,94	5,18	2,73	5,86
	4,82	5,57	2,59	4,10
	4,90	5,97	3,05	3,95
30°	4,90	4,97	3,07	3,60
	5,38	5,47	2,76	3,81
	4,39	6,38	3,11	3,65
	5,51	5,11	4,04	3,06
	4,87	5,89	3,62	3,43
	3,60	5,33	3,28	4,52
60°	5,73	6,48	3,51	4,42
	4,75	5,11	4,11	2,48
	4,96	4,34	2,74	3,00
	4,50	6,55	2,01	3,72
	4,38	6,63	2,02	3,92
	5,16	5,66	2,76	2,70
90°	5,53	6,12	3,47	5,51
	5,06	6,75	4,01	5,81
	5,21	6,12	2,76	3,21
	5,95	4,93	2,79	4,94
	5,79	6,96	2,30	3,70
	5,06	4,96	4,24	5,20

Parameter R_z (μm)

Usmeritev tkiva	Rani les		Kasni les	
	0,05 mm	0,1 mm	0,05 mm	0,1 mm
0°	29,7	27,3	12,2	18,6
	26,4	31,3	21,2	19,6
	28,1	40,4	20,2	28,0
	31,7	31,7	15,2	31,2
	27,6	32,2	17,2	26,0
	27,6	38,9	18,6	21,9
30°	28,9	30,4	19,7	25,4
	35,3	35,7	16,5	21,9
	26,1	31,8	19,3	22,0
	28,3	28,8	22,2	19,0
	28,9	33,2	22,6	19,7
	22,2	34,8	19,7	22,0
60°	30,7	35,5	18,9	25,5
	28,6	32,2	25,4	14,2
	31,1	27,3	18,3	21,6
	24,2	43,9	13,1	22,1
	25,6	38,0	15,0	21,7
	33,9	33,1	17,0	16,0
90°	25,9	31,2	21,4	21,0
	30,2	39,4	23,2	34,8
	29,2	34,4	16,3	19,0
	34,9	30,7	19,5	20,2
	36,6	36,8	12,7	20,1
	30,7	29,8	25,4	31,3

Parameter R_{max} (μm)

Usmeritev tkiva	Rani les		Kasni les	
	0,05 mm	0,1 mm	0,05 mm	0,1 mm
0°	43,1	29,4	16,0	25,2
	41,1	33,6	25,6	25,6
	32,6	49,9	25,9	32,9
	42,2	49,9	21,4	56,3
	37,6	36,1	20,1	46,0
	39,0	47,3	22,7	32,6
30°	30,4	35,2	30,4	29,4
	42,2	44,4	20,8	27,5
	39,6	38,4	26,2	29,9
	37,4	33,6	29,1	23,6
	32,6	45,7	30,7	26,8
	30,0	40,9	31,3	30,7
60°	38,8	70,1	23,6	31,6
	36,8	33,9	32,8	24,3
	36,4	30,4	32,8	31,0
	29,9	71,6	16,8	29,1
	30,4	41,9	22,4	28,4
	39,1	40,9	29,8	21,7
90°	33,2	41,6	31,3	24,9
	41,9	56,3	37,7	39,6
	34,8	57,6	25,2	30,0
	40,3	37,1	24,3	30,0
	42,2	74,2	17,9	31,3
	37,4	38,0	29,1	36,8