

UNIVERZA V LJUBLJANI
BIOTEHNIŠKA FAKULTETA
ODDELEK ZA LESARSTVO

Matej MAKUC

**VPLIV TEHNOLOŠKIH PARAMETROV OBDELAVE
NA KAKOVOST OBDELANE POVRŠINE
JAVORJEVINE**

DIPLOMSKI PROJEKT

Visokošolski strokovni študij - 1. stopnja

Ljubljana, 2015

UNIVERZA V LJUBLJANI
BIOTEHNIŠKA FAKULTETA
ODDELEK ZA LESARSTVO

Matej MAKUC

**VPLIV TEHNOLOŠKIH PARAMETROV OBDELAVE NA
KAKOVOST OBDELANE POVRŠINE JAVORJEVINE**

DIPLOMSKI PROJEKT
Visokošolski strokovni študij - 1. stopnja

**INFLUENCE OF TECHNOLOGICAL PARAMETERS ON THE
QUALITY OF MACHINED MAPLE WOOD SURFACE**

B. SC. THESIS
Professional Study Programmes

Ljubljana, 2015

Diplomski projekt je zaključek Visokošolskega strokovnega študija Tehnologije lesa in vlaknatih kompozitov – 1. stopnja. Delo je bilo opravljeno v Laboratoriju za mehanske obdelovalne tehnologije na Oddelku za lesarstvo, Biotehniška fakulteta, Univerza v Ljubljani.

Senat Oddelka za lesarstvo je za mentorja diplomskega dela imenoval doc. dr. Mirana Merharja, za somentorico doc. dr. Dominiko Gornik Bučar, za recenzenta pa izr. prof. dr. Gorazda Fajdigo.

Komisija za oceno in zagovor:

Predsednik:

Član:

Član:

Datum zagovora:

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

Matej Makuc

KLJUČNA DOKUMENTACIJSKA INFORMACIJA

ŠD	Dv1
DK	UDK 684.4.057
KG	javorjevina/odrezovanje/hrapavost/kakovost površine
AV	MAKUC Matej
SA	MERHAR Miran (mentor)/GORNIK BUČAR Dominika (somentorica)/ FAJDIGA Gorazd (recenzent)
KZ	SI-1000 Ljubljana, Rožna dolina c. CIII/34
ZA	Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za lesarstvo
LI	2015
IN	VPLIV TEHNOLOŠKIH PARAMETROV OBDELAVE NA KAKOVOST OBDELANE POVRŠINE JAVORJEVINE
TD	Diplomski projekt (Visokošolski strokovni študij - 1. stopnja)
OP	IX, 54 str., 6 pregl., 45 sl., 11 vir.
IJ	sl
JJ	sl/en
AI	Raziskali smo vpliv tehnoloških parametrov na kakovost obdelane površine javorjevine pri premočrtnem odrezovanju. Eksperiment je bil sestavljen iz 2 delov. Najprej smo raziskali vpliv kota poteka tkiva, kjer smo spreminjali kot od 0° do 90° v stopnjah po 22,5° (0° pomeni radialno teksturo, 90° pa tangencialno). Cepilni kot rezila je znašal 20°, debelina odrezka pa 0,1 mm. Zatem smo proučili vpliv cepilnega kota rezila ter debeline odrezka na kvaliteto obdelane površine; koti so znašali: 5°, 15°, 25° in 35°; debeline odrezka pa: 0,05 mm, 0,1 mm in 0,15 mm. Za vsako kombinacijo parametrov smo naredili 2 reza, pri vsakemu rezu pa smo z merilnikom hrapavosti naredili 2 meritvi na ranem in kasnem lesu in tako določili parametre R_a , R_z in R_{max} . Ugotovili smo, da je najboljša kvaliteta površine pri kotu tkiva 22,5°, debelini odrezka 0,05 mm ter cepilnim kotom rezila 15°.

KEY WORDS DOCUMENTATION

ND Dv1
DC UDC 684.4.057
CX maple wood/cutting/roughness/surface quality
AU MAKUC Matej
AA MERHAR Miran (supervisor)/GORNIK BUČAR Dominika (co-supervizor)/
FAJDIGA Gorazd (co-advisor)
PP SI-1000 Ljubljana, Rožna dolina c. CIII/34
PB University of Ljubljana, Biotechnical Faculty, Department of Wood Science and
Technology
PY 2015
TY INFLUENCE OF TECHNOLOGICAL PARAMETERS
ON THE QUALITY OF MACHINED MAPLE WOOD SURFACE
DT B. Sc. Thesis (Professional Study Programmes)
NO IX, 54 p., 6 tab., 45 fig., 11 ref. .
LA sl
Al sl/en
AB The influence of technological parameters on the surface quality of machined maple
wood in the orthogonal linear cutting was studied. The experiment was carried out
in 2 parts. First the impact of the tissue angle was studied, where the tissue angle
ranged from 0° to 90° in stages of 22.5° (0° is radial texture and 90° tangential
texture). The blade rake angle and the chip thickness was 20° and 0.1 mm,
respectively. Then the influence of the blade rake angle and the chip thickness on
the machined surface was studied. The rake angles were: 5°, 15°, 25° and 35°; and
the chip thicknesses: 0.05 mm, 0.1 mm and 0.15 mm. In both parts of the
experiment 2 cuts for each combination were made, and after each cut 2 surface
profiles on earlywood and latewood with surface roughness tester were made.
Based on those measurements the parameters R_a , R_z in R_{max} were determined. The
results show that the best surface quality is at tissue angle of 22.5°, chip thickness
0.05 mm and the blade rake angle of 15°.

KAZALO VSEBINE

KLJUČNA DOKUMENTACIJSKA INFORMACIJA	III
KEY WORDS DOCUMENTATION	IV
KAZALO VSEBINE	V
KAZALO PREGLEDNIC	VII
KAZALO SLIK	VIII
1 UVOD	1
1.1 OPREDELITEV PROBLEMA.....	1
1.2 DELOVNE HIPOTEZE.....	1
1.3 CILJ NALOGE	1
2 PREGLED OBJAV	2
2.1 GORSKI JAVOR.....	2
2.2 REZILNA ORODJA.....	7
2.2.1 Krožni žagni listi.....	8
2.2.2 Orodja za skobljanje	9
2.2.3 Profilni rezkarji	11
2.2.4 Stebelni rezkarji.....	13
2.2.5 Vrtalni svedri	14
2.2.6 Obtočna orodja	15
2.3 MATERIALI ZA REZILNA ORODJA	16
2.3.1 Orodna jekla	17
2.3.2 Hitrorezna jekla (HSS).....	18
2.3.3 Steliti (ST).....	18
2.3.4 Karbidne trdine (KT).....	19
2.3.5 Prevlečena jekla (MC) in karbidne trdine (HC).....	20
2.3.6 Diamantna rezila	21
2.4 REZILO V OBLIKI KLINA	22
2.5 TIPI ODREZKOV	24
2.5.1 Odrezek tip I	24
2.5.2 Odrezek tip II.....	26
2.6 HRAPAVOST POVRŠINE.....	28

2.6.1	R_a – aritmetična srednja hrapavost	30
2.6.2	R_z – Srednja višina neravnin.....	31
2.6.3	R_{max} , R_p in R_v	32
3	MATERIAL IN METODE	33
3.1	IZDELAVA PREIZKUŠANCEV	33
3.2	VPENJALNI SISTEM.....	35
3.3	PODAJALNA HITROST	37
3.4	MERJENJE HRAPAVOSTI.....	38
3.5	OPIS EKSPERIMENTA	39
3.5.1	Del 1 – vpliv poteka tkiva na kakovost obdelane površine	39
3.5.2	Del 2 – vpliv cepilnega kota in debeline odrezka na kakovost obdelane površine	39
4	REZULTATI IN RAZPRAVA.....	40
4.1	REZULTATI 1. DELA EKSPERIMENTA	41
4.1.1	Komentar 1. dela eksperimenta	44
4.2	REZULTATI 2. DELA EKSPERIMENTA	45
4.2.1	Komentar 2. dela eksperimenta	51
5	SKLEPI	52
6	VIRI	53
ZAHVALA		

KAZALO PREGLEDNIC

Preglednica 1: Meritve R_a – potek tkiva.....	41
Preglednica 2: Meritve R_z – potek tkiva	42
Preglednica 3: Meritve R_{max} – potek tkiva.....	43
Preglednica 4: Meritve R_a – cepilni koti.....	45
Preglednica 5: Meritve R_z – cepilni koti.....	47
Preglednica 6: Meritve R_{max} – cepilni koti.....	49

KAZALO SLIK

Slika 1: Drevo gorski javor (GUMP, 2015)	2
Slika 2: Skorja gorskega javorja (Mojalbum, 2015)	3
Slika 3: Listi, cvetovi in plod gorskega javorja (GUMP, 2015).....	4
Slika 4: Javor rebraš	6
Slika 5: Ptičji javor (Aples d.o.o., 2015)	6
Slika 6: Krožni žagni list	8
Slika 7: Skobeljno vreteno.....	9
Slika 8: Sestavljena segmentirana skobeljna glava	10
Slika 9: Sestavljiva segmentirana skobeljna glava	10
Slika 10: Razstavljen dvodelni profilni rezkar	11
Slika 11: Sestavljen dvodelni profilni rezkar	12
Slika 12: Stebelna rezkarja	13
Slika 13: Sveder mozničar in skožnji sveder.....	14
Slika 14: Razperjen tračni žagni list z vodikom.....	15
Slika 15: Ročni orodji iz orodnih jekel.....	17
Slika 16: Skobeljni nož iz HSS	18
Slika 17: Rezilna ploščica iz KT	19
Slika 18: Stebelni rezkar prevlečen s titanovim nitridom.....	20
Slika 19: Stebelni rezkar z diamantnimi rezili (Leitz, 2015).....	21
Slika 20: Rezilo v obliki klina in rezilni koti	22
Slika 21: Odrezek tip I (Merhar, 2013)	24
Slika 22: Odrezek tip II (Merhar, 2013)	26
Slika 23: Odrezek tip III (Merhar, 2013).....	27
Slika 24: Profili površin (Glodež, 2015)	28
Slika 25: Parameter R_a (Glodež, 2015).....	30
Slika 26: Parameter R_z (fs. Uni – Lj, 2015).....	31
Slika 27: Parametri R_{max} , R_p in R_v	32
Slika 28: Preizkušanece	34
Slika 29: Kot med potekom branik in obdelanim robom	34
Slika 30: Prva možnost vpetja (a) in druga možnost vpetja (b).....	35
Slika 31: Rezilo vpeto na voziček	36

Slika 32: Slika celotnega eksperimenta	37
Slika 33: Merilnik hrapavosti	38
Slika 34: Graf R_a – potek tkiva	41
Slika 35: Graf R_z – potek tkiva	42
Slika 36: Graf R_{max} – potek tkiva	43
Slika 37: Graf R_a rani les - cepilni koti	45
Slika 38: Graf R_a kasni les - cepilni koti	46
Slika 39: Graf R_a povprečje - cepilni koti	46
Slika 40: Graf R_z rani les - cepilni koti	47
Slika 41: Graf R_z kasni les - cepilni koti	48
Slika 42: Graf R_z povprečje - cepilni koti	48
Slika 43: Graf R_{max} rani les - cepilni koti	49
Slika 44: Graf R_{max} kasni les - cepilni koti	50
Slika 45: Graf R_{max} povprečje - cepilni koti	50

1 UVOD

1.1 OPREDELITEV PROBLEMA

Pri skobljanju javorjevega lesa z na trgu dobavljivimi orodji prihaja do »zatrgovanja« obdelane površine in posledično brušenja z velikimi odvzemi, saj so rezkalna orodja prilagojena za vse drevesne vrste. V diplomskem projektu smo poiskali najustreznejše parametre odrezovanja za javorjevino. Izvedli smo eksperiment v dveh delih. V prvem delu smo spreminjali kot poteka branik, tako, da smo ugotovili vpliv razlike zaradi nehomogenosti lesa na kvaliteto obdelane površine, v drugem delu pa smo spreminjali cepilne kote in debelino odrezka. V obeh delih eksperimenta smo merili hrapavost na odrezani površini. Dobljene podatke smo obdelali in ugotovili, kakšno bi bilo najprimernejše orodje za skobljanje javorjevine.

1.2 DELOVNE HIPOTEZE

Predvidevamo, da splošni tehnološki in geometrijski parametri, ki jih dobimo s kupljenim rezilom niso optimalni za obdelavo javorjevine. Z ustrezno izbiro tehnoloških parametrov obdelave javorjevine lahko zagotovimo optimalno kakovost obdelane površine.

1.3 CILJ NALOGE

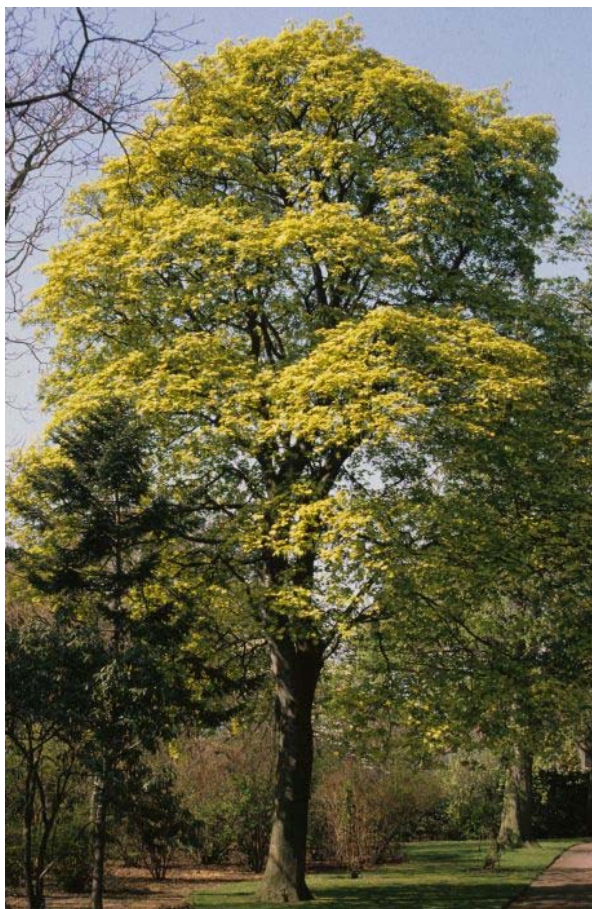
Cilj naloge je proučiti optimalne tehnološke parametre za obdelavo javorjevine v vzdolžni smeri, tako, da bo obdelana površina dovolj kvalitetna in ne bo potrebe po dodatnem brušenju.

2 PREGLED OBJAV

2.1 GORSKI JAVOR

Gorski ali beli javor *Acer pseudoplatanus* L. je listopadno drevo (Slika 1). Zraste do 40 m v višino in do 2 m v debelino. Drevo lahko dosega starost do 500 let. Ima pravilno razvito krošnjo in močno deblo. V mladosti hitro požene glavno korenino, a se njena rast kmalu upočasni, nato razvije globoke močno razvejene stranske korenine.

Raste predvsem na globokih, humusnih odcednih tleh na apnenčasti podlagi. Pogosto ga najdemo na vlažnih pobočjih, vrtačah in jarkih z počasi tekočo vodo, ki ne zastaja. Sušo, vročino in mestno okolje slabo prenaša, dobro pa prenaša nizko temperaturo. V zgodnji mladosti lahko uspeva tudi, če je precej zasenčen, kasneje rabi nekoliko več svetlobe za svojo rast (Brus, 2012).



Slika 1: Drevo gorski javor (GUMP, 2015)

Gorski javor ima v mladosti sivkasto in gladko skorjo (Slika 2), ki pozneje razpoka in se lušči v obliki ploščatih krp (Brus, 2012). Prisotne pa so lahko tudi rastne napake, med katere sodijo krivost, spiralen potek aksialnih elementov, necentričnost, suhe grče, odmrli sekundarni poganjki, razpokanost, rovi insektov, diskoloriran les, oksidativna obarvanja in druga obarvanja zaradi gliv in bakterij (Čufar, 2006).



Slika 2: Skorja gorskega javorja (Mojalbm, 2015)

Naravno je razširjen v vzhodni, srednji in južni Evropi. Najdemo ga še na zahodu v Pirenejih, v Veliki Britaniji in Skandinaviji, na vzhodu raste do Poljske in Ukrajine, na jugu pa do Sicilije. V Sloveniji raste avtohtono po vsej državi. Navadno ga najdemo v mešanih gozdovih gorskega pasu, kjer raste posamično ali v manjših skupinah. V nižjih legah ima raje senčna rastišča, v višjih pa sončna. Z 2,4% skupne lesne zaloge ga uvrščamo kot našo sedmo najpogostejšo drevesno vrsto (Brus, 2012).

Njegovi listi so dlanasto krpasti (Slika 3) od 8 do 16 cm dolgi in do 20 cm široki na 4 do 25 cm dolgem peclju. So iz petih krp, pri katerih sta spodnji dve nekoliko manjši. Krpe so jajčaste oblike in so žagasto nazobčane. List je zgoraj temno zelen, spodaj pa svetlo zelen in dlakav po žilah.

Cvetovi tvorijo v 6 do 12 cm dolga zelena viseča grozdna socvetja, večinoma dvospolni lahko pa se pojavijo tudi enospolni. Cveti v maju po olistanju in je žužkocvetna vrsta.

Plodovi, ki jih imenujemo tudi pokovec ali samara so sestavljeni iz dveh delnih plodičev, ki oklepata kot nekaj manj kot 90°. Vsak posebej imata približno 3 cm dolgo mrežasto žilnato krilce (Brus, 2012).



Slika 3: Listi, cvetovi in plod gorskega javorja (GUMP, 2015)

Javorjev les ali javorjevina je rumenkasto bel les s svilnatim leskom brez obarvane jedrovine. Lahko je prisoten tudi črno rjav diskoloriran les. Letnice so ostro vidne. Spada med difuzno porozne listavce. Pore so na prečnem prerezu vidne z lupo, na vzdolžnih prerezih pa tudi s prostim očesom v obliki finih raz. Trakov ima veliko in so dokaj široki. V radialnem prerezu so vidni kot majhna zrcalca. Les uvrščamo med srednje goste vrste z gostoto absolutno suhega lesa $480 \text{ kg/m}^3 \dots 590 \text{ kg/m}^3 \dots 750 \text{ kg/m}^3$. Je zelo homogen, zmerno trd, žilav, elastičen in trden, ni pa odporen proti atmosferilijam in okužbam z glivami.

Les se dobro obdeluje, struži in rezlja. Previdni moramo biti pri rokovanju s hlodovino in žaganim lesom, saj se ta lahko hitro nezaželeno obarva. Tudi površinsko se ga lepo obdeluje, lahko ga tudi lužimo in belimo, ne smemo pa ga pariti, saj se hitro obarva.

Na trgu dobimo poleg žaganega lesa tudi visoko kakovostne furnirje. Zelo sta iskana predvsem »javor rebraš« (Slika 4) z valovitim potekom aksialnih elementov in »ptičji javor« (Slika 5), ki je luščen furnir s številnimi drobnimi vejicami. Tradicionalni izdelek je javorjeva kmečka miza oziroma mizna plošča iz javorjevega lesa. Uporablja pa se še za razne kuhinjske pripomočke, pohištvo, parkete, ročaje orodij in podobno. Javor rebraš z ozkimi branikami se uporablja tudi kot resonančen les za godala in blok flavte (Čufar, 2006).



Slika 4: Javor rebraš



Slika 5: Ptičji javor (Aples d.o.o., 2015)

2.2 REZILNA ORODJA

Orodja za obdelavo lesa v grobem delimo na enodelna ali monolitna orodja, kjer je celotno orodje narejeno iz enega materiala, sestavljena, kjer je rezilni rob iz drugega materiala kot je nosilno telo orodja, ta pa je nalepljen ali nalotan na nosilno telo in sestavljiva, kjer se rezila oziroma rezilne ploščice lahko zamenja. Rezilne ploščice se lahko brusi ali pa se jih vsakič obrne ali zamenja odvisno od izvedbe. Pri teh sestavljivih orodjih je tudi premer vedno enak in nimamo problemov z nastavitvami strojev.

Orodja pa lahko delimo tudi na osnovi delovnih operacij, ki jih z njimi vršimo (Merhar, 2013).

2.2.1 Krožni žagni listi

Krožni žagni listi (Slika 6) imajo različna ozobljenja, glede na material in smer v kateri ga žagamo. Ta orodja so v večini primerov sestavljena. Zaradi geometrije orodja (velik premer 300 mm, 400 mm in čim tanjši rez 3,2 mm) je ta orodja težko izdelati. Hitro lahko pride do nestabilnosti žagnega lista med njegovo uporabo.. Ta orodja imajo običajno pozitivne cepilne kote, zaradi čim manjših rezalnih sil, poznamo pa tudi take z negativnimi cepilnimi koti. Ta se uporabljajo predvsem za tankostene profile in čeljenje lesa, saj obdelovanec pritiskajo ob mizo stroja (Merhar, 2013).



Slika 6: Krožni žagni list

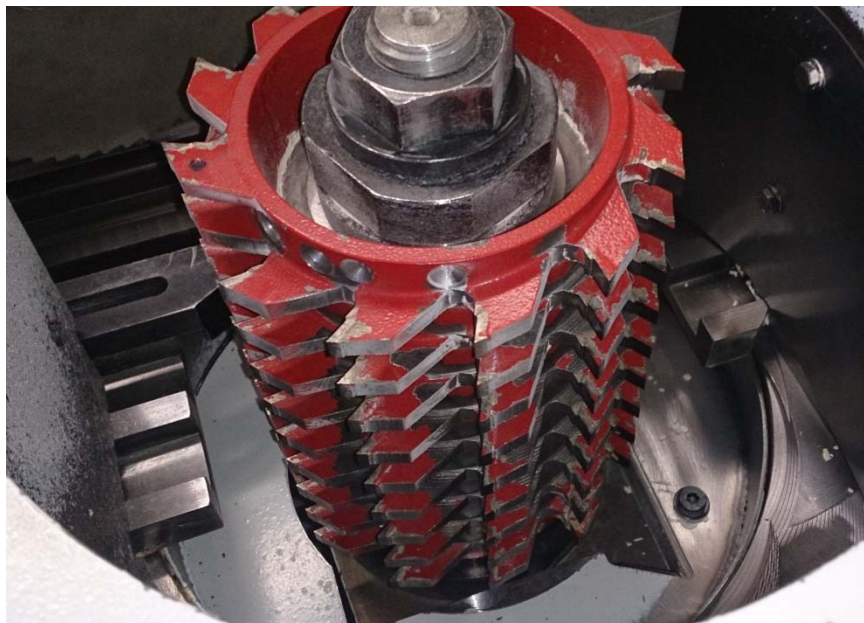
2.2.2 Orodja za skobljanje

Orodja za skobljanje delimo na skobeljna vretena (Slika 7) in skobeljne glave (Slika 8 in Slika 9). Skobeljna vretena se uporabljajo na poravnalnih in debelinski skobeljnih strojih in so trajno nameščena na stroj. Spadajo med sestavljiva orodja, saj se rezila iz hitroreznih jekel (HSS) vstavlja v skobeljno vreteno.



Slika 7: Skobeljno vreteno

Skobeljne glave se uporabljajo na štiristranskih skobeljnih strojih. Lahko so sestavljena (Slika 8) ali pa sestavljiva (Slika 9). Lahko imajo tudi narebričen rezilni rob ali pa so segmentna, da preprečujejo cepitev materiala pred rezilom. Pri strojih z velikimi podajalnimi hitrostmi poznamo tudi hidravlična vpetja za točno centriranje orodja na gred in HSK vpetje (Merhar, 2013).



Slika 8: Sestavljena segmentirana skobeljna glava



Slika 9: Sestavljiva segmentirana skobeljna glava

2.2.3 Profilni rezkarji

Profilni rezkarji (Slika 10) so lahko monolitni, sestavljeni ali sestavljivi. Poznamo tudi sisteme, kjer na eno nosilno telo lahko vpenjamo različne profilne rezilne ploščice za obdelavo različnih profilov .



Slika 10: Razstavljen dvodelni profilni rezkar

Kadar gre za obdelavo zaprtih profilov – obdelava s treh strani, so ti monolitni ali sestavljeni rezkarji običajno narejeni iz dveh delov (Slika 11), zaradi možnosti prilagajanja debeline po brušenju. Pri uporabi sestavljivih rezkarjev, kjer se menja rezilne ploščice, tega problema nimamo (Merhar, 2013).



Slika 11: Sestavljen dvodelni profilni rezkar

2.2.4 Stebelni rezkarji

Stebelni rezkarji (Slika 12) se uporabljajo za vse vrste obdelav. Imajo manjše premere in velike vrtilne hitrosti – majhna podajanja na zob. Rezilo ima dolgo steblo, ki je podvrženo upogibnim napetostim. Zgornji del je vpenjalni, spodnji pa rezilni. Rezilni materiali so lahko karbidne trdine (KT) za celo telo, lahko pa ima tudi izmenljiva rezila. Za obdelavo iverala in vlaknenih plošč uporabljamo tudi diamantna rezila (PCD). Kot vijačnice je lahko pozitiven ali negativen, poznamo pa tudi orodja za obdelavo plošč, kjer je na istem orodju pozitiven in negativen da ne pride do »zatrgovanja« ne na zgornjem ne na spodnjem robu plošče. Pri pozitivnih kotih vijačnice je po navadi rezilo tudi s čelne strani, da lahko rezkamo tudi aksialno, a je bolj priporočljivo krožno rezkanje v globino. Za groba rezkanja uporabljamo rezila z valovitim profilom, kateri lomi odrezke, posledično so manjše rezalne sile in so možne večje podajalne hitrosti (Merhar, 2013).



Slika 12: Stebelna rezkarja

2.2.5 Vrtalni svedri

Svedre (Slika13) ločimo na svedre s katerimi prevrtamo celotno debelino obdelovanca (»skoznji sveder«) in svedre s katerimi vrtamo izvrtine do določene globine (»sveder mozničar«). »Skoznji« imajo konico z majhnim kotom, da ne »zatrgujejo« na izhodni strani. »Mozničarji« pa imajo centrino špico za vodeno vrtanje, stranski rezalni rob za gladko steno luknje in rezalni rob na robu, ki preprečuje »zatrgovanje« roba luknje. Ločimo svedre za masivni les in lesna tvoriva. Za masivni les so izdelani iz HSS in KT za lesna tvoriva pa iz KT in PCD. Za masivni les imajo tudi večji kot vijačnice, za boljše lomljenje odrezkov. Za zelo globoke izvrtine pa poznamo Levinov sveder z enim rezilnim robom in eno vijačnico. Imamo pa še posebne specialne svedre za razna okovja in podobno (Merhar, 2013).



Slika 13: Sveder mozničar in skoznji sveder

2.2.6 Obtočna orodja

Kadar govorimo o obtočnih orodjih gre za rezila tračnih žagalnih strojev. Ti žagni trakovi ali rezila imajo lahko nalotana stelitna rezila predvsem v primarni obdelavi lesa, lahko pa so enodelni, kjer so zobje razperjeni (Slika 14). Zaradi obremenitev in segrevanja morajo biti žagni listi ustrezno prednapeti. To dosežemo z valjanjem. Zaradi stabilnosti takega žagnega lista morajo imeti stroji kjer jih uporabljamo vodila tračnega žagnega lista, katera lahko nastavljamo glede na dimenzije obdelovanca (Merhar, 2013).



Slika 14: Razperjen tračni žagni list z vodilom

2.3 MATERIALI ZA REZILNA ORODJA

Materiali, ki jih uporabljamo za rezilna orodja morajo imeti zelo dobre lastnosti, da zadostujejo pogojem uporabe. Imeti morajo veliko trdnost, žilavost in trdoto tudi pri višjih temperaturah in hkrati koeficient toplotnega raztezanja čimbolj podoben materialu iz katerega je nosilno telo. Zelo dobra mora biti odpornost proti obrabi, da orodje čim dlje kvalitetno opravlja svojo nalogo, mora pa se tudi dobro obdelovati, da lahko oblikujemo željene oblike. Zaradi hlajenja mora imeti dobro toplotno prevodnost, da se toplota, ki nastaja zaradi trenja pri odrezovanju na rezilnem robu čim hitreje prenaša na celo orodje in posledično odvaja (Merhar, 2013).

Zaradi teh lastnosti se za rezilna orodja uporabljajo naslednji materiali:

2.3.1 Orodna jekla

Orodna jekla se delijo na nelegirana (SP) in legirana (HL) orodna jekla. Nelegirana vsebujejo le do 5 % legur od tega je ogljika med 0,6 % in 1,3 %. Njihova trdota znaša do 60 HRC. Legirana pa vsebujejo več kot 5 % legur, med njimi krom, kobalt, vanadij, wolfram,... Trdota znaša do 63 HRC. Tako trdoto orodna jekla ohranjajo nekje do temperature 300 °C.

Uporabljajo se za obdelavo masivnega lesa predvsem tam, kjer so nizke rezilne hitrosti in ročna orodja (Slika 15) (Merhar, 2013).

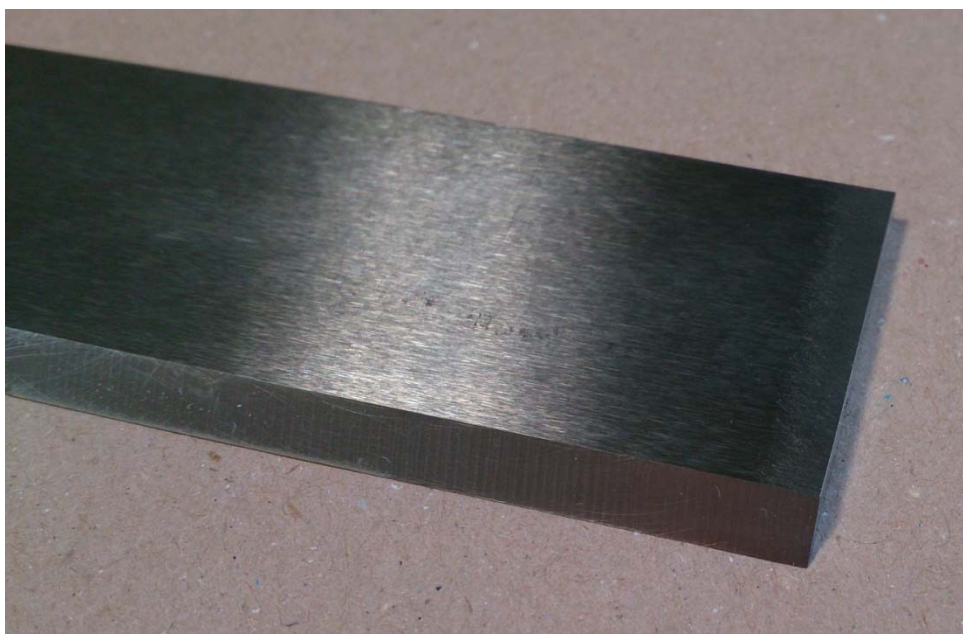


Slika 15: Ročni orodji iz orodnih jekel

2.3.2 Hitrorezna jekla (HSS)

Hitrorezna jekla so močno legirana jekla, saj vsebujejo nad 12% legur, med njimi so wolfram, ki ga je lahko do 18 %, molibden, vanadij, kobalt in ogljik. Njihova trdota znaša do 65 HRC in so obstojna do temperature 600 °C. Imajo višjo žilavost in odpornost proti udarcem od karbidnih trdin.

Uporabljajo se za obdelavo masivnega lesa predvsem za skobeljne nože (Slika 16) in svedre za ročno vrtanje (Merhar, 2013).



Slika 16: Skobeljni nož iz HSS

2.3.3 Steliti (ST)

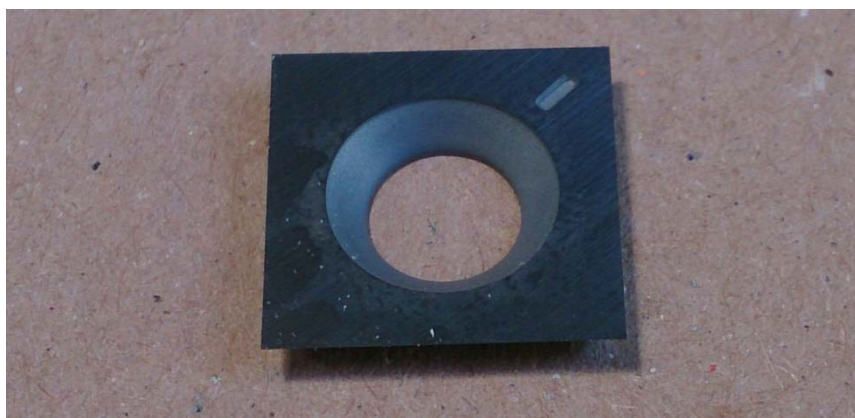
Steliti so trde zlitine s 15 do 20 % wolframa, 50 % kobalta in 25 do 30 % kroma. Steliti so že po naravi trdi in ne rabijo kaljenja. Njihova trdota znaša 40 do 58 HRC odvisno od sestave. So korozijsko in temperaturno obstojni.

Uporabljajo se predvsem v primarni predelavi lesa za tračne žagne liste in liste polnojarmenikov (Merhar, 2013).

2.3.4 Karbidne trdine (KT)

Karbidne trdine imenujemo tudi vidia. So trše od HSS. Njihova trdota znaša 1300 do 2500 HV odvisno od sestave. Izdelane so s postopkom sintranja. Sintranje je postopek, pri katerem se stiska prah kovinskega karbida in prah kovinskega veznega elementa pomešanega med seboj pri temperaturah nekoliko nižjih od tališča kovine, da posamezni atomi difundirajo preko mej posameznih prašnih delcev in jih povežejo med seboj. Za kovinski vezni element se velikokrat uporablja kobalt, za osnovni element pa wolframov karbid, molibden in podobne materiale, ki imajo visoko tališče. Nekateri proizvajalci označujejo karbidne trdine tudi HW ali HM.

Uporabljajo se za obdelavo masivnega lesa in lesnih tvoriv. Orodja iz karbidnih trdin so lahko monolitna (stebelni spiralni rezkarji), sestavljena (razni profilni rezkarji) ali pa razna sestavljiva orodja, kjer so iz karbidnih trdin izdelane rezila, ki se vstavljajo v nosilno telo (Slika 17) (Merhar, 2013).



Slika 17: Rezilna ploščica iz KT

2.3.5 Prevlečena jekla (MC) in karbidne trdine (HC)

Pri prevlečenih jeklih in karbidnih trdinah gre za orodja, katera imajo na površino nanešen 2 do 3 μm debel sloj iz nitridov ali karbidov (Slika 18). Uporabljajo se titanovi, kromovi, aluminijevi in cirkonijski nitridi in karbidi. S to prevleko se poveča odpornost proti obrabi in poviša površinska trdota na 1600 do 3500 HV, zmanjša pa se trenje.

Uporablja se za različna rezilna orodja za obdelavo masive in lesnih tvoriv (Merhar, 2013).



Slika 18: Stebelni rezkar prevlečen s titanovim nitridom

2.3.6 Diamantna rezila

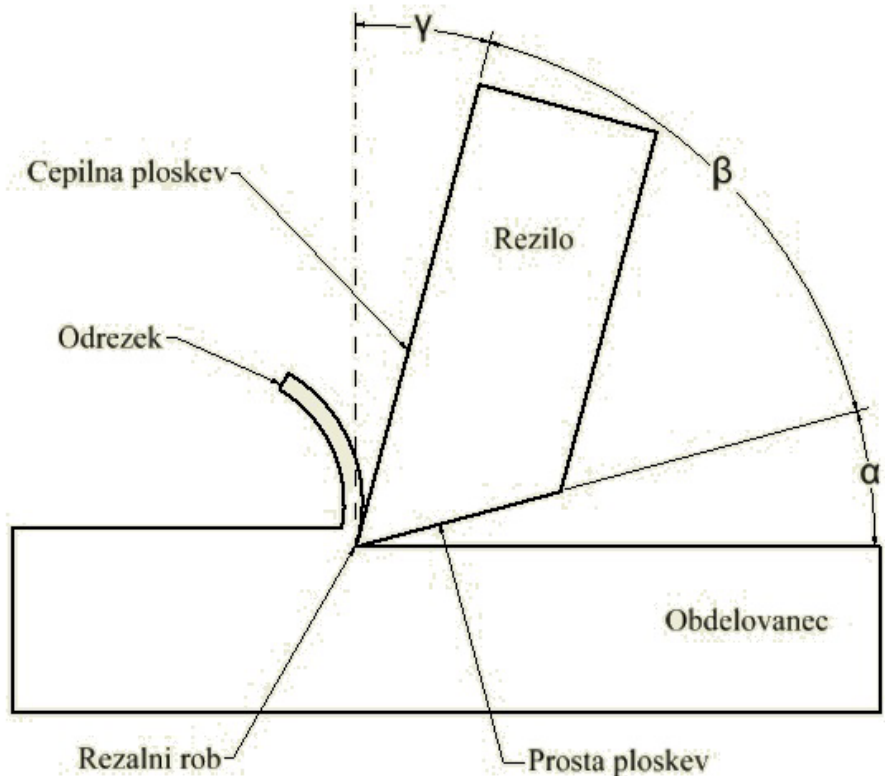
Pri diamantnih rezilih (Slika 19) gre za uporabo sintetičnega diamanta. Ta rezila imajo zelo visoko trdoto. Ta znaša med 7000 in 10000 HV. Imajo tudi visoko temperaturno obstojnost nekje do 1500 °C, nizko upogibno trdnost, žilavost in odpornost na udarce. Ločimo polikristalinični diamant (PCD) in monokristalinični diamant (MD). Monokristalinični je še trši od polikristaliničnega nekje do 12000 HV in se uporablja za zelo abrazivne prevleke laminatov in polirano površino plastike. Pri polikristaliničnem pa gre za 0,3 do 0,6 mm debele nanose diamantnih kristalov na rezila iz karbidnih trdin. Diamantna rezila imajo zelo dobro toplotno prevodnost.

Uporabljajo se za obdelavo vseh vrst lesa predvsem pa za zelo abrazivne materiale (kompoziti, laminati, krhka lepila,...). Uporablja se tudi za suhi razrez kovinskih neželeznih materialov, saj se lahko pri železnih materialih in visokih temperaturah ogljik spaja z železom (Merhar, 2013).



Slika 19: Stebelni rezkar z diamantnimi rezili (Leitz, 2015)

2.4 REZILO V OBLIKI KLINA



Slika 20: Rezilo v obliki klina in rezilni koti

Najpogostejša oblika rezil, ki se v lesarstvu uporablja je rezilo v obliki klina (Slika 20). Rezalni rob tvorita dve ploskvi in sicer prosta ploskev in cepilna ploskev po kateri drsijo odrezki. Rezalni rob se z uporabo obrablja in tako nastaja vedno večji radij. Ko je rezilo obrabljeno, ga je potrebno brusiti. Brusimo lahko prosto ali cepilno ploskev odvisno od orodja.

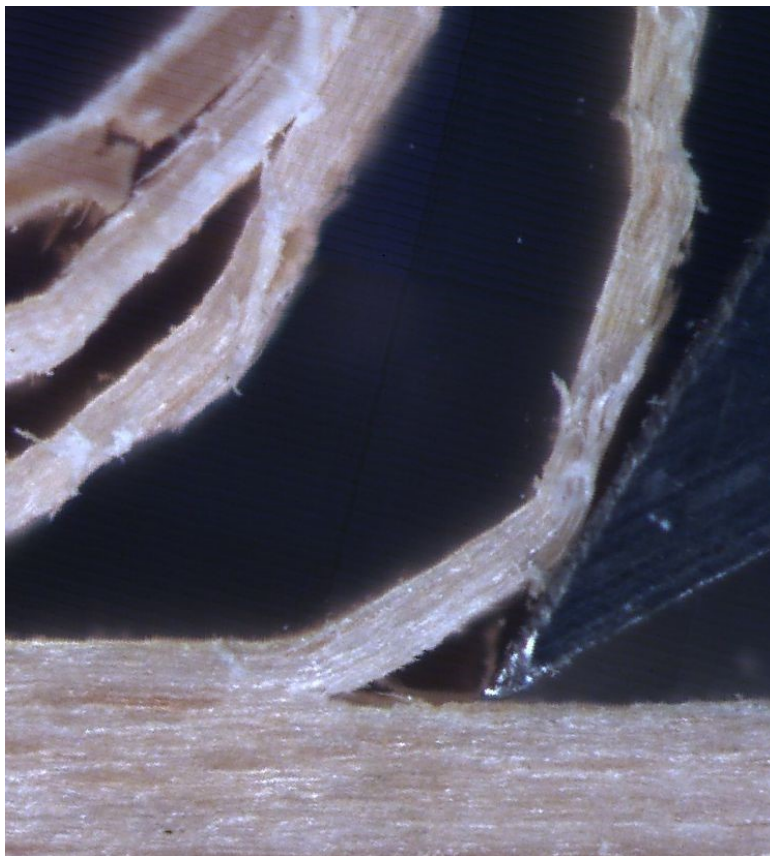
Poznamo tri rezilne kote α , β in γ . Ti trije koti skupaj tvorijo kot 90° . Kot α se imenuje prosti kot in oklepa kot med ravnino rezanja in prosto ploskvijo. Pomembno je, da je dovolj velik, da se prosta ploskev med obdelavo ne dotika obdelane površine, saj v takem primeru pride do poškodovanja obdelane površine, lahko nastane zažgana površina, skrajša pa se tudi čas obstojnosti rezila. Kot β se imenuje kot klina in oklepa kot med prosto in cepilno ploskvijo. Tega nam določa izbira rezilnega materiala, saj imajo materiali z večjo žilavostjo in manjšo trdoto (orodna jekla) lahko manjše kote klina. Materiali z večjo trdoto

in nizko žilavostjo, ki so posledično bolj krhki (diamantna rezila), pa potrebujejo večje kote klina, da ne pride do razpok, okrušenosti rezilnega roba in podobnih poškodb. Za trše lesove je prav tako primernejši večji kot klina, za mehkejše lesove pa manjši. Od tega kota je odvisna tudi obraba rezila. Kot γ pa se imenuje cepilni ali prsni kot. Ta kot oklepa kot med cepilno ploskvijo in ravnino orodja. Ravnina orodja je pravokotna na ravnino rezanja. Od tega pa je odvisno, kako se bodo tvorili odrezki in kakšna bo kakovost obdelane površine. Pri manjših cepilnih kotih je večja obraba rezil zaradi strganja lesa, je pa manjša možnost »zacepitve« lesa in nastanka manjših razpok. Za trše lesove je primernejši manjši cepilni kot, za mehkejše lesove pa lahko uporabljamo rezila z večjimi cepilnimi koti (Grošelj in sod., 1999).

2.5 TIPI ODREZKOV

Poznamo tri tipe odrezkov.

2.5.1 Odrezek tip I



Slika 21: Odrezek tip I (Merhar, 2013)

Odrezek tipa I (Slika 21) nastaja pri velikih cepilnih kotih nekje nad 25° . Pri tako velikih cepilnih kotih je omogočeno dviganje odrezka. Tako se med prodiranjem rezila v les ta dviga in nastaja razpoka, zato se cepi tkivo pred konico rezila. Z večanjem razpoke se večjo tudi napetosti v tkivu. Ko se nakopiči več energije, kot jo material prenese se ta odrezek odlomi. Rezilo nadaljuje svojo pot do mesta loma odrezka, nato zopet začne nastajati razpoka in celoten cikel se ponovi. Odrezek tipa I je torej segmentiran odrezek kot je razvidno tudi na Sliki 21. Kadar nastajajo taki odrezki rezilo ni stalno v stiku z lesom, posledično je tudi manjša obraba rezil. Čeprav odrezek pritiska rezilo k obdelovancu, je

trenje med cepilno ploskvijo in odrezkom razmeroma majhno. Potrebne so tudi nekaj manjše moči kot pri odrezku tipa II.

Pri odrezku tipa I je pomembno, da odrezujemo v smeri z rastjo, saj je v tej smeri boljša kakovost obdelane površine. Pri odrezovanju v smeri proti rasti pride do »zacepitve« tkiva pod ravnino rezanja, kar pomeni slabo obdelano površino z »zacepitvami«, »zatrgovanjem« in podobno (Merhar, 2013).

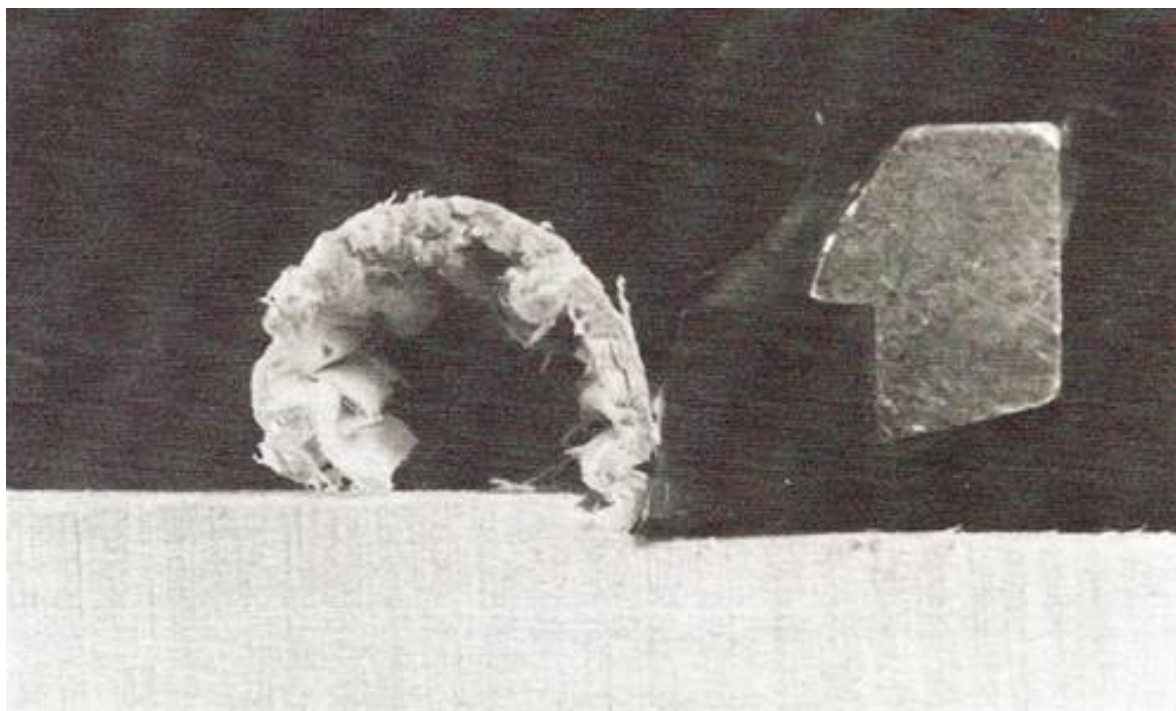
2.5.2 Odrezek tip II



Slika 22: Odrezek tip II (Merhar, 2013)

Odrezek tipa II (Slika 22) nastaja pri manjših cepilnih kotih nekje od 5° pa do 20° . Pri tako majhnih kotih je onemogočeno dvigane odrezka in ne pride do cepljenja tkiva. K temu pripomore tudi veliko trenje med cepilno ploskvijo in odrezkom, slaba stran tega pa je, da to povzroča dviganje orodja. Pri tej vrsti odrezka je tkivo obremenjeno na tlak v vzdolžni smeri in prihaja do tlačnih porušitev, v strižni coni nastaja gladek zviti in kontinuiran odrezek, kot prikazuje Slika 22. Strižna cona poteka nekje od rezalnega roba diagonalno navzgor, kjer se tvori odrezek. Obdelana površina pri takem odrezku je dobra, saj ne prihaja do »zacepitev« pod ravnino rezanja. Potrebne pa so večje moči in tudi obraba rezila je večja kot pri odrezku tipa I, saj je rezilo stalno v stiku z obdelovancem (Merhar, 2013).

Odrezek tip III

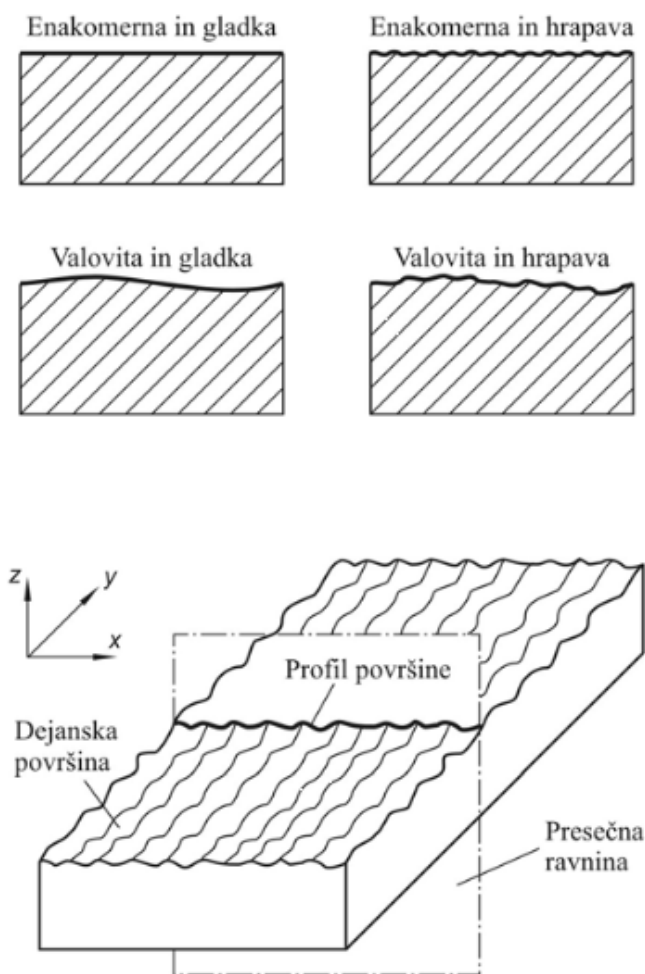


Slika 23: Odrezek tip III (Merhar, 2013)

Do odrezka tipa III (Slika 23) pa prihaja pri zelo majhnih cepilnih kotih skoraj 0° , ali pa pri zelo obrabljenem rezilu, kjer ima rezilni rob že zelo velik radij in ta povzroča efekt negativnega cepilnega kota. Tako rezilo tkivo obremenjuje na tlak in strig v vzdolžni smeri. Ko se nakopiči dovolj tkiva, se to izboči in dvigne, posledično prihaja do zelo velikega trenja med cepilno ploskvijo in odrezkom. Pri tej vrsti odrezka je obdelana površina slabše kvalitete, saj prihaja do cepitve tkiva pod ravnino rezanja (Merhar, 2013).

2.6 HRAPAVOST POVRŠINE

Površine v osnovi delimo na gladke in hrapave. Hrapave so lahko periodične, kot je na primer cikloida pri krožnem odrezovanju, ali pa neperiodične poljubno hrapave. V praksi sploh v lesarstvu je popolnoma gladko površino skoraj nemogoče doseči, saj nam to omejuje že sama zgradba lesa, ki vsebuje ogromno število por, zaradi take oblike osnovnega gradnika lesa, ki ga imenujemo celica. Površina pa je lahko tudi enakomerna, da poteka v eni sami ravnini ali pa valovita. Kadar govorimo o merjenju hrapavosti navadno govorimo o profilu površine (Slika 24). Tega dobimo tako, da čez objekt na katerem merimo hrapavost površine postavimo presečno ravnino, ki je pravokotna na površino, ki jo merimo in presek na tej ravnini nam predstavlja profil površine.



Slika 24: Profili površin (Glodež, 2015)

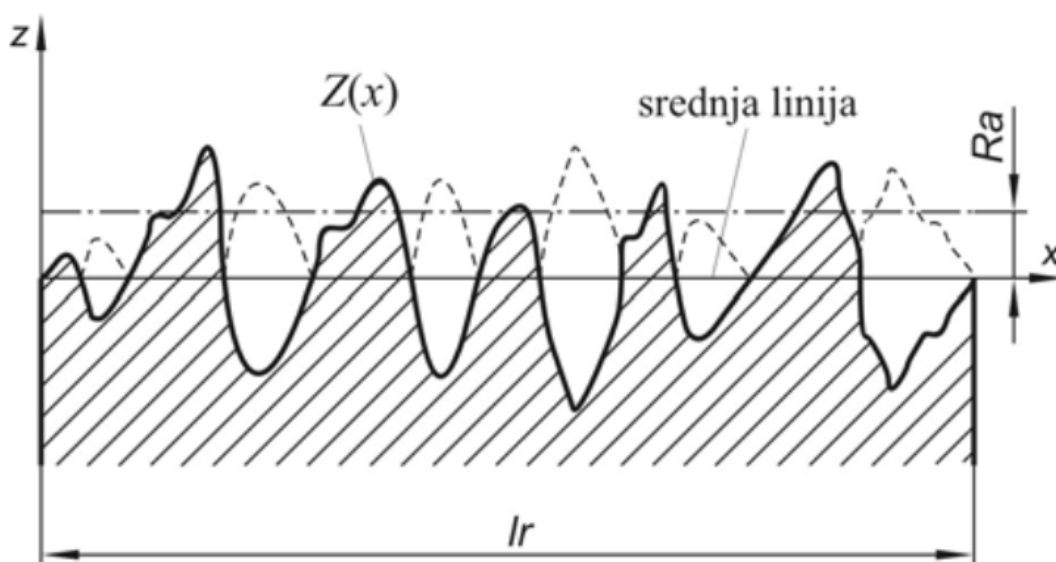
Hrapavost lahko merimo na različne načine. Poznamo različne izvedbe profilometrov in sicer kontaktne in optične. Optični delujejo s pomočjo raznih mikroskopov in virov svetlobe oziroma žarkov, ki jih usmerjajo na merjeno površino pod določenimi koti in opazujejo njihov odboj. Kontaktni merilniki pa so sestavljeni iz tipala, ki je pritrjeno na ročico merilnika in pritiska ob površino merjenca. Merilnik vleče ročico po površini merjenca (smer X), tipalo pa sledi profilu površine in se tako giblje v vertikalni smeri (smer Z) in nam ta profil izriše oziroma izmeri parametre hrapavosti.

Hrapavost podamo z naslednjimi parametri:

- R_a
- R_z
- R_{max}
- R_p
- R_v

2.6.1 R_a – aritmetična srednja hrapavost

Aritmetično srednjo hrapavost (Slika 25) dobimo tako, da vse vbočine profila prezrcalimo čez srednjo linijo profila, tako, da imamo samo izbočine. Sedaj izračunamo novo linijo, katera nam predstavlja površino novonastalega profila v obliki pravokotnika, ki ima eno stranico dolgo toliko kot je bila dolžina merjenja, druga stranica pa je višina in je odvisna od hrapavosti profila. Razlika med novo izračunano linijo in srednjo linijo nam predstavlja parameter R_a . Srednja linija nam razpolovi dejanski profil tako, da je površina izbočin nad linijo in površina vbočin pod linijo enaka.



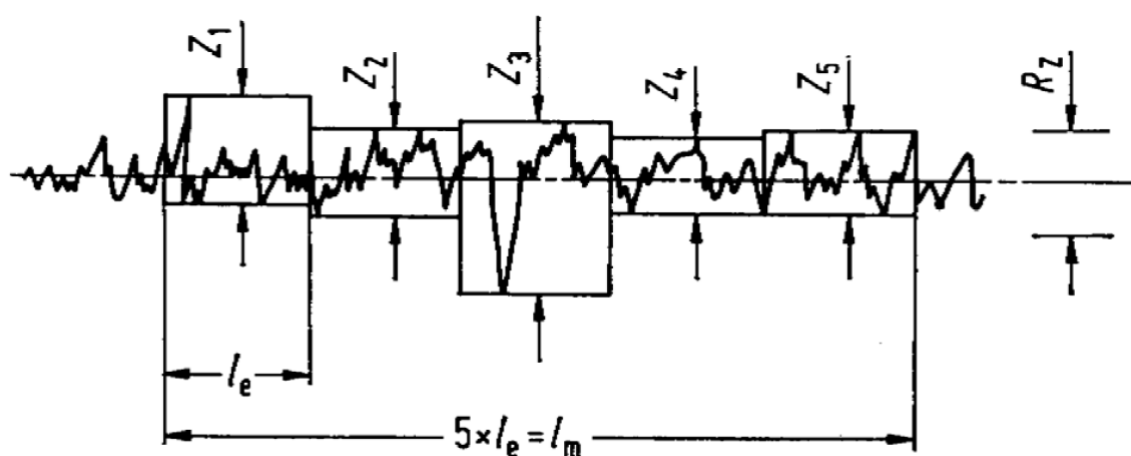
Slika 25: Parameter R_a (Glodež, 2015)

Matematično ta parameter izrazimo po naslednji formuli:

$$R_a = \frac{1}{l_r} \cdot \int_0^{l_r} |Z(x)| \cdot dx \quad \dots(1)$$

2.6.2 R_z – Srednja višina neravnin

Srednjo višino neravnin (Slika 26) dobimo tako, da izmerjeno dolžino razdelimo na 5 enakih delov. Nato na vsakem tem delu izmerimo Z razliko med najnižjo točko (najgloblja vbočina) in najvišjo točko (najvišja izbočina). Iz teh vrednosti nato izračunamo povprečno vrednost, kar nam predstavlja R_z . Dobra lastnost tega parametra je, da nekoliko omili vpliv določene vrednosti, ki zaradi svoje velikosti izstopa zgolj na enem mestu in nikjer drugje.



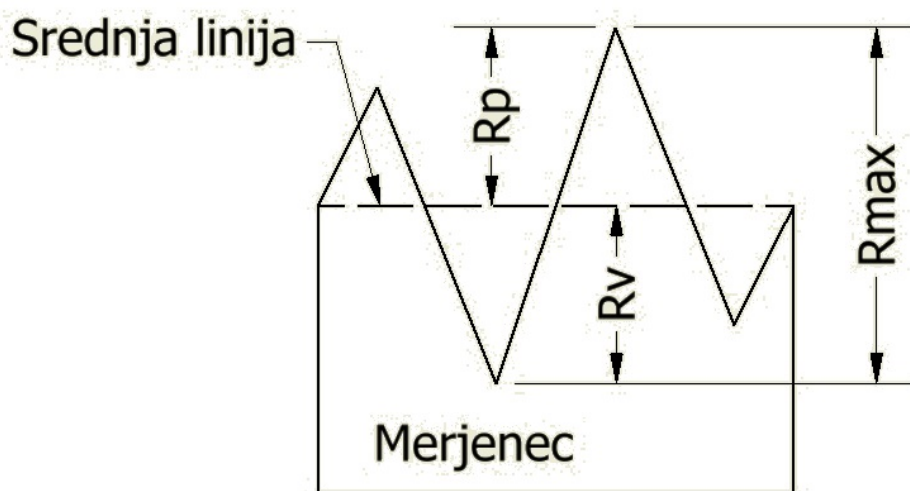
Slika 26: Parameter R_z (fs. Uni – Lj, 2015)

Matematično ta parameter izrazimo po naslednji formuli:

$$R_z = \frac{Z_1 + Z_2 + Z_3 + Z_4 + Z_5}{5} \quad \dots(2)$$

2.6.3 R_{max} , R_p in R_v

Te parametre pa zgolj izmerimo in jih ne računamo. R_{max} nam predstavlja največjo razliko višine na celotnem območju merjenja, torej enako kot pri parametru R_z le, da tukaj pogledamo celotno dolžino in ne računamo povprečne vrednosti. R_p nam predstavlja največjo razliko višine med srednjo linijo in najvišjo izbočino, R_v pa največjo razliko višine med srednjo linijo in najglobljo vbočino (Slika 27).



Slika 27: Parametri R_{max} , R_p in R_v

3 MATERIAL IN METODE

3.1 IZDELAVA PREIZKUŠANCEV

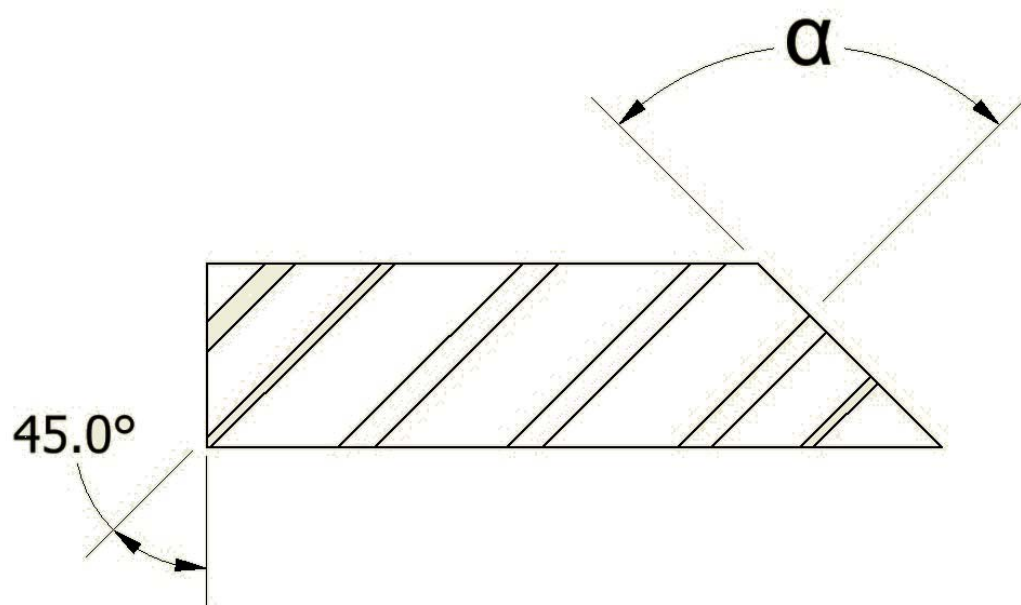
Material za preizkušance smo pripravili v domačem podjetju Masiva splošno mizarstvo Ivan Makuc s.p. Poiskali smo elemente, ki so imeli kot med stranskim robom in letnicami čim bližje kotu 45° (Slika 29). To nam je omogočilo, da smo pri eksperimentu dobili različne teksture na robu preizkušanca, kjer smo odrezovali in merili hrapavost. Preizkušanec smo lahko nagibali do kota 45° nato smo ga obrnili, da smo dobili radialno in tangencialno teksturo lesa, ter teksture pod ostalimi vmesnimi koti. Vse preizkušance, ki smo jih uporabili smo izrezali iz enega elementa, saj smo na tak način omilili vpliv nehomogenosti lesa in razlik, ki bi se lahko pokazale, če bi uporabili les različnih dreves ali pa z različnih delov debla.

Cel element smo na štiristranskem skobeljnem stroju poskobljali, da smo dobili ravne površine. Skobljali smo ga na debelino 15 mm, saj se nam je med odrezovanjem pod različnimi koti dolžina stranskega roba spreminjala. Omejeni smo bili na dolžino 30 mm, saj je toliko merilo rezilo s katerim smo odrezovali.

Na dolžino smo preizkušance odžagali na šolskem miznem krožnem žagalnem stroju po potrebi kolikor smo rabili.



Slika 28: Preizkušane

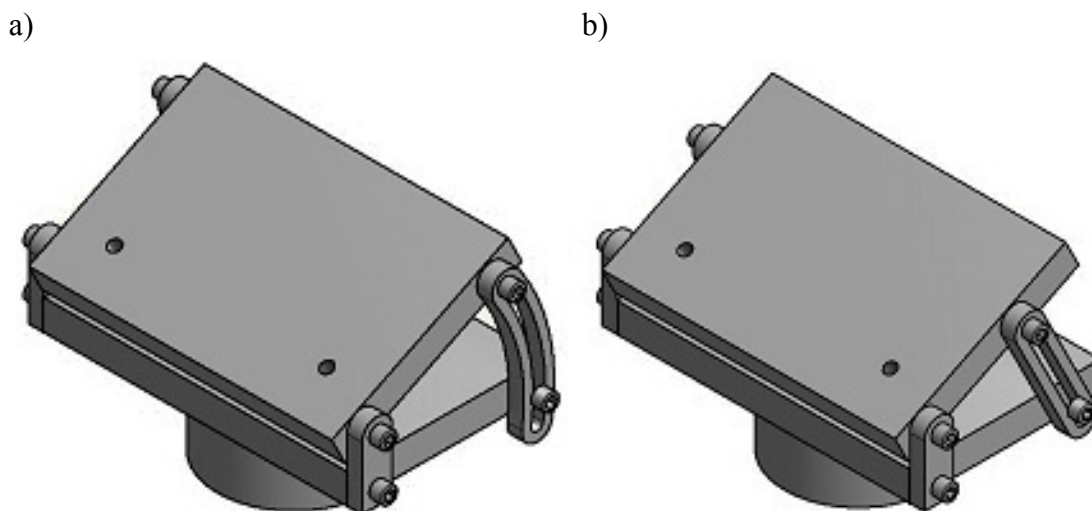


Slika 29: Kot med potekom branik in obdelanim robom

3.2 VPENJALNI SISTEM

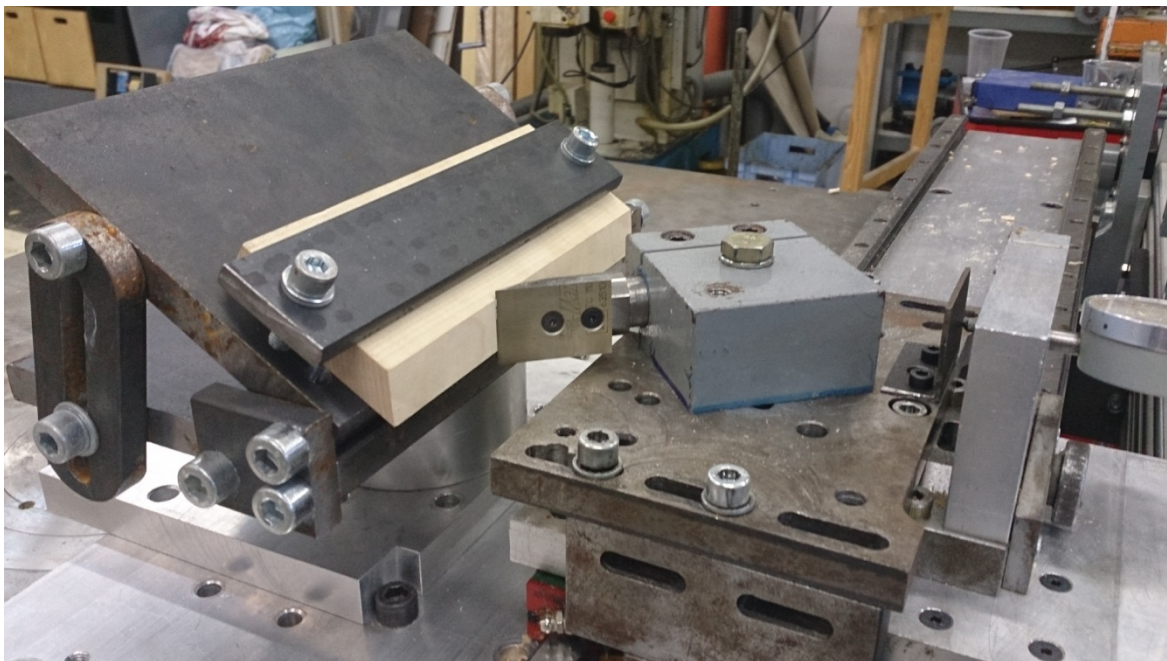
Vpetje smo izdelali na Oddelku za lesarstvo, Biotehniške fakultete. Zasnovali smo dve izvedbi (Slika 30a in 30b). Prva izvedba je imela oporo v obliki krožnega loka, kjer bi odvijali in privijali le dva vijaka na vsaki strani in sicer prvega, ki nam je služil tudi kot tečaj in zadaj spodnjega pri opori (Slika 30a). Pri drugi možnosti pa je bila opora ravna in bi morali odvijati in privijati vse tri vijake na vsaki strani pri spremembi kota (Slika 30b). Odločili smo se za drugo možnost, saj je bila lažja za izdelavo in tudi ni bilo tako zelo velike potrebe po natančnosti izdelave, kljub temu pa je svojo vlogo vršila korektno.

Preizkušance smo na to vpetje vpeli tako, da smo čez nje položili kovinski kotnik (Slika 31), ki je imel dve izvrtini. Skozi ti dve izvrtini smo vstavili vijake in jih privili v izvrtini na mizici vpetja, ki sta vidni tudi na modelih na sliki 30. Ti dve izvrtini sta imeli vrezan tudi navoj, saj spodaj ni bilo prostora za matico.



Slika 30: Prva možnost vpetja (a) in druga možnost vpetja (b)

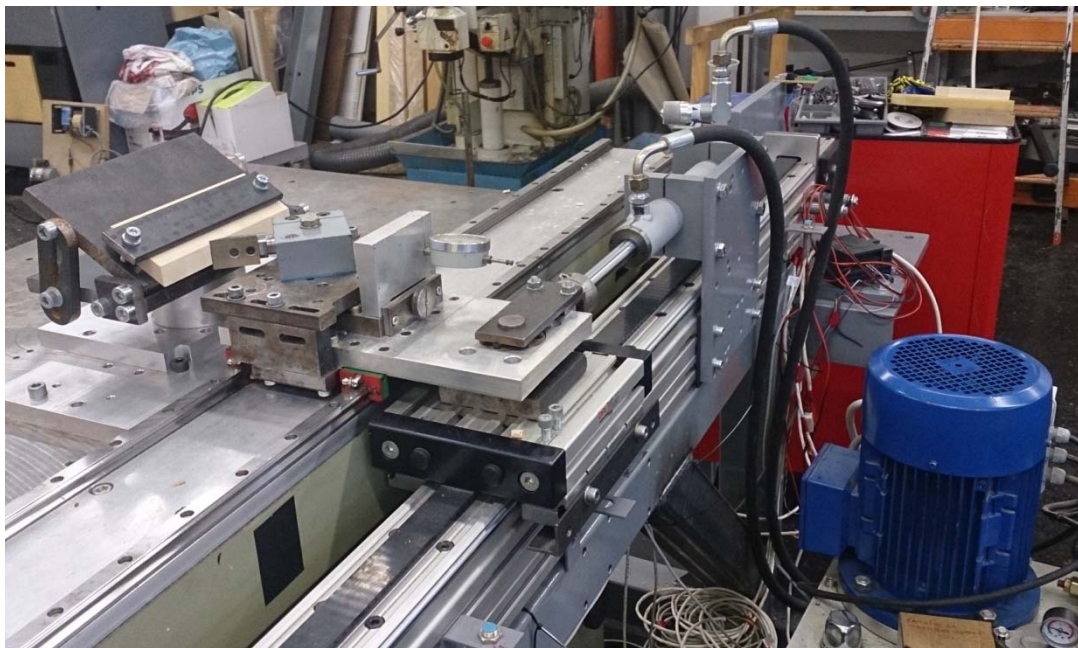
Ostro HSS rezilo (Slika 31) je bilo v obliki klina z kotom klina 30° in je bilo vpeto na voziček. Cepilno ploskev je imelo prevlečeno s titanovim nitridom zaradi večje površinske trdote, manjše obrabe in manjšega trenja med odrezkom in cepilno ploskvijo. Vpetje za rezilo je bilo narejeno tako, da smo lahko nastavljali različne cepilne kote. V kolikor pa bi rabili, bi lahko nastavljali tudi kot inklinacije.



Slika 31: Rezilo vpeto na voziček

Na vozičku so bila narejena tudi prečna vodila, po katerih smo rezilo približevali obdelovancu in s tem nastavljali debelino odrezka. Debelino odrezka smo nastavljali za vsak odrezek posebej, saj smo za vsak rez ročno približali rezilo k preizkušancu. Za to nastavitev smo morali odviti vijake na ogrodju nosilca rezila in nato z vijakom nastaviti novo debelino odrezka, oziroma potisniti rezilo naprej in nato zopet priviti. Nameščeno smo imeli tudi merilno uro, da smo lahko točno nastavili debelino odrezka. V našem primeru smo nastavljali debeline 0,05 mm, 0,1 mm in 0,15 mm.

Za podajanje smo uporabili hidravlični cilinder, ki je bil priključen na hidravlično črpalko in pripet na voziček. Če bi rabili hitrejša pomika, bi lahko priključili tudi elektromotor in bi voziček gnali z zobatim jermenom. Nameščen smo imeli tudi dušilni ventil, s katerim bi lahko regulirali hitrost pomika bata, oziroma v našem primeru podajalno hitrost (Slika 32).



Slika 32: Slika celotnega eksperimenta

3.3 PODAJALNA HITROST

Podajalno hitrost smo izračunali tako, da smo izmerili čas, ki je bil potreben, da je hidravlični bat opravil celotno pot, oziroma maksimalno dolžino. Ta čas je bil 2,07 s, dolžina pomika pa je bila 250 mm. Iz teh podatkov smo izračunali podajalno hitrost po naslednji formuli:

$$V_p = \frac{x}{t} \quad \dots(3)$$

$$V_p = \frac{x}{t} = \frac{0,25m}{2,07s} = 0,121 m/s = 7,25 m/min$$

3.4 MERJENJE HRAPAVOSTI

Hrapavost smo merili s merilnikom hrapavosti Mitutoyo Surftest MST – 211 (Slika 33). Ta merilnik spada med kontaktne merilnike. Tipalo je v obliki konice z radijem $5\mu\text{m}$. Vleče ga s podajalno hitrostjo $0,5\text{ mm/s}$ in sicer $12,5\text{ mm}$ po površini preizkušanca. Ročico pritika s silo 4mN ob površino preizkušanca. Ko opravi meritev iz njega lahko odčitamo R_a , R_z in R_{max} . Te parametre smo tudi upoštevali za meritve.



Slika 33: Merilnik hrapavosti

3.5 OPIS EKSPERIMENTA

3.5.1 Del 1 – vpliv poteka tkiva na kakovost obdelane površine

V prvem delu eksperimenta smo želeli ugotoviti, pri katerem kotu poteka branik je odrezana površina najboljše kakovosti in pri katerem kotu poteka branik je najslabše. Odrezovali smo s cepilnim kotom 20° , debelina odrezka pa je bila 0,1 mm za vse poizkuse iz prvega dela. Spreminjali smo kot poteka branik tako, da smo preizkušanec vpenjali pod različnimi koti. Koti med potekom branik in odrežanim robom na katerem smo merili hrapavost so bili 0° , $22,5^\circ$, 45° , $67,5^\circ$, 90° , kjer pomeni 0° tangencialno teksturo in 90° radialno teksturo lesa. Pri vsakem kotu smo naredili štiri reze. Na vsakem rezu smo dvakrat izmerili hrapavost, enkrat na ranem lesu in enkrat na kasnem lesu, tako, da smo na koncu imeli osem meritev za vsak različen kot. Izpisali smo parametre R_a , R_z in R_{max} . Te podatke smo nato obdelali in iz njih narisali grafe.

3.5.2 Del 2 – vpliv cepilnega kota in debeline odrezka na kakovost obdelane površine

V drugem delu eksperimenta pa smo želeli ugotoviti pri katerem cepilnem kotu in pri kateri debelini odrezka je kvaliteta obdelane površine najboljša. Cepilni kot smo spreminjali po 10° . Odrezovali smo z cepilnimi koti 5° , 15° , 25° , 35° . Pri vsakem kotu smo odrezali tri različne debeline odrezka. Debeline so bile 0,05 mm, 0,1 mm in 0,15 mm. Pri vsaki spremembi cepilnega kota ali spremembi debeline smo štirikrat odrezali in vsakič na novonastali površini merili hrapavost. Hrapavost smo merili enako kot pri delu 1, torej za vsak odrezek dvakrat, od tega enkrat na ranem lesu in enkrat na kasnem lesu, tako, da smo na koncu imeli osem meritev za vsak različen parameter odrezovanja. Tudi tukaj smo merili R_a , R_z in R_{max} . Te podatke smo prav tako obdelali in narisali grafe.

4 REZULTATI IN RAZPRAVA

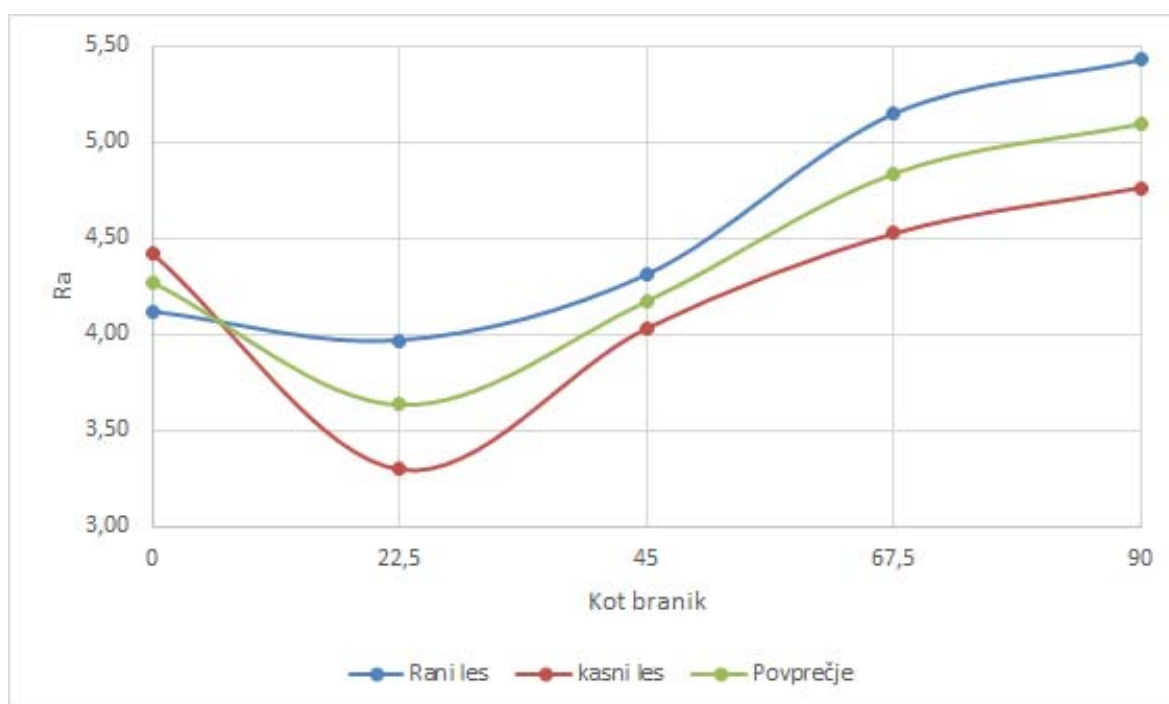
Iz izmerjenih meritev smo izračunali povprečno vrednost za rani in kasni les, ter na koncu še povprečno vrednost za vse meritve pri enakih parametrih odrezovanja. Iz teh izračunanih vrednosti smo nato narisali grafe.

4.1 REZULTATI 1. DELA EKSPERIMENTA

Preglednica 1 in slika 34 prikazujeta rezultate meritev parametra R_a , preglednica 2 in slika 35 parameter R_z , preglednica 3 in slika 36 pa parameter R_{max} .

Preglednica 1: Meritve R_a – potek tkiva

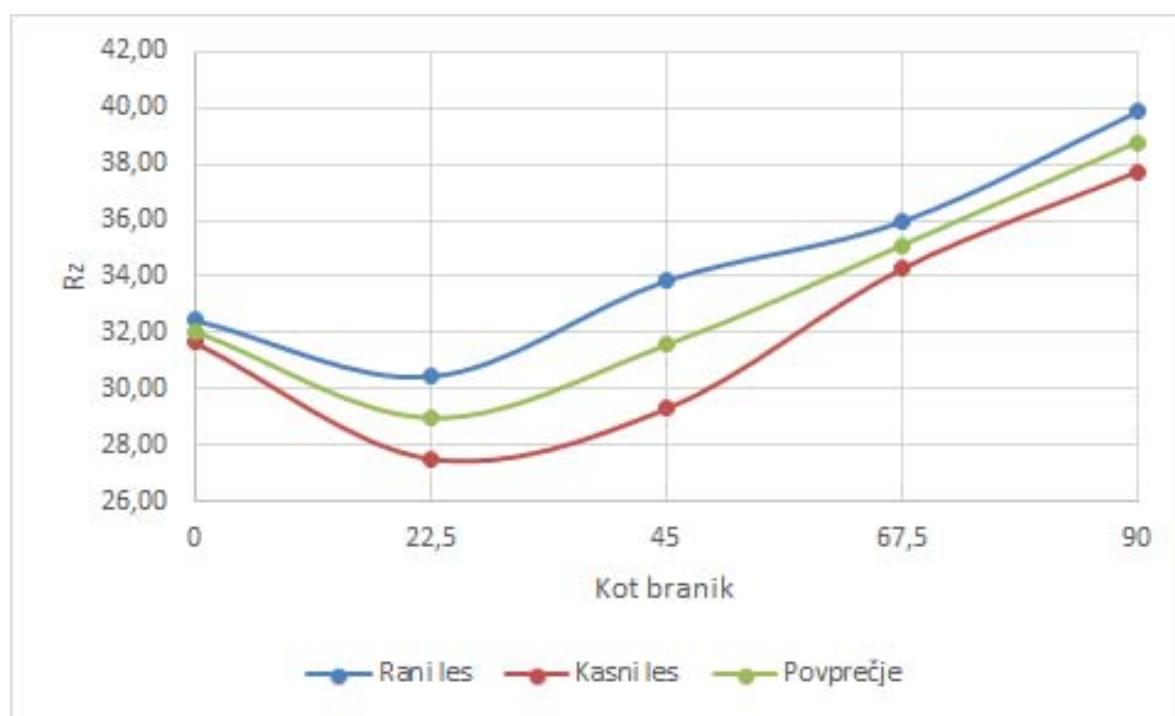
R_a (mm)											
Kot (°)	Rani les				Pov. R.	Kasni les				Pov. K.	Povp.
0	4,69	4,61	3,62	3,56	4,12	4,22	4,76	4,52	4,18	4,42	4,27
22,5	3,56	4,10	4,05	4,17	3,97	3,25	3,26	3,69	2,99	3,30	3,63
45	4,11	4,89	4,05	4,20	4,31	4,20	4,06	3,59	4,28	4,03	4,17
67,5	4,82	4,66	5,97	5,14	5,15	4,10	4,09	5,41	4,50	4,53	4,84
90	4,95	5,83	6,35	4,58	5,43	5,63	4,54	4,96	3,92	4,76	5,10



Slika 34: Graf R_a – potek tkiva

Preglednica 2: Meritve R_z – potek tkiva

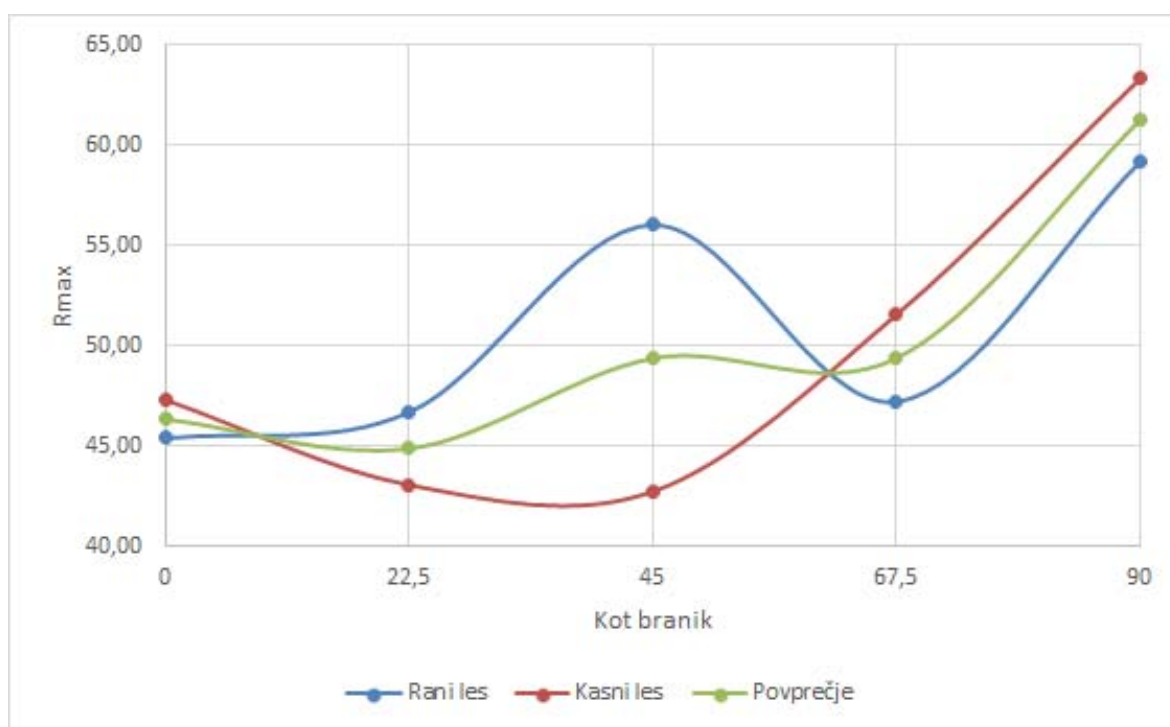
R_z (mm)											
Kot (°)	Rani les				Pov. R.	Kasni les				Pov. K.	Povp.
0	38,40	34,50	26,80	30,10	32,45	31,40	29,10	34,60	31,50	31,65	32,05
22,5	28,20	29,40	30,20	34,00	30,45	25,60	34,30	23,60	26,60	27,53	28,99
45	35,50	37,70	29,30	32,90	33,85	29,70	25,90	24,50	37,10	29,30	31,58
67,5	31,10	37,10	43,00	32,60	35,95	34,80	32,00	40,10	30,20	34,28	35,11
90	39,10	47,00	38,40	34,90	39,85	44,60	38,90	38,40	29,00	37,73	38,79



Slika 35: Graf R_z – potek tkiva

Preglednica 3: Meritve R_{max} – potek tkiva

R_{max} (mm)											
Kot (°)	Rani les				Pov. R.	Kasni les				Pov. K.	Povp.
0	51,20	52,40	40,90	37,10	45,40	52,40	35,80	46,00	55,00	47,30	46,35
22,5	44,80	44,80	40,90	56,30	46,70	41,90	60,10	26,80	43,50	43,08	44,89
45	47,30	80,60	41,20	55,00	56,03	48,60	32,90	48,60	40,90	42,75	49,39
67,5	38,00	49,90	60,10	40,90	47,23	51,20	47,60	55,00	52,40	51,55	49,39
90	66,50	72,90	56,30	40,90	59,15	58,80	75,50	65,20	53,70	63,30	61,23



Slika 36: Graf R_{max} – potek tkiva

4.1.1 Komentar 1. dela eksperimenta

Iz dobljenih rezultatov, katere prikazujejo preglednice od 1 do 3 ter slike 33 do 35 je razvidno, da potek tkiva zelo vpliva na kvaliteto obdelane površine. Površina je bila najboljša pri kotu med potekom branik in obdelovanim robom $22,5^\circ$. Ta podatek bi lahko uporabili že pri razžagovanju hlodovine, tako, da bi med razžagovanjem hlodovino obračali tako, da bi dobili čim več lesa oziroma desk, ki bi imele kot med potekom branik in površino čim bližje kotu $22,5^\circ$. Razvidno je tudi, da se les dosti boljše obdeluje na tangencialnem prerezu 0° , kot pa na radialnem 90° . Na te podatke pa lahko vpliva tudi to, da smo preizkušanec lahko nagibali le na eno stran in če smo hoteli pridobiti vse kote med 0° in 90° na enem preizkušancu, smo morali ta preizkušanec tudi obrniti. S tem pa se zgodi to, da smo enkrat odrezovali z rastjo, enkrat pa proti rasti. Pri odrezovanju proti rasti je lahko prišlo do manjših »zatrgovanj«, ki s prostim očesom niso bila vidna in do katerih pri odrezovanju z rastjo ni prišlo. Z gotovostjo pa tega iz teh podatkov ne moremo trditi, saj je trend padanja kvalitete površine viden že od kota $22,5^\circ$ naprej, pod kotom 45° pa smo še vedno odrezovali v isti smeri kot pri kotu $22,5^\circ$ in 0° .

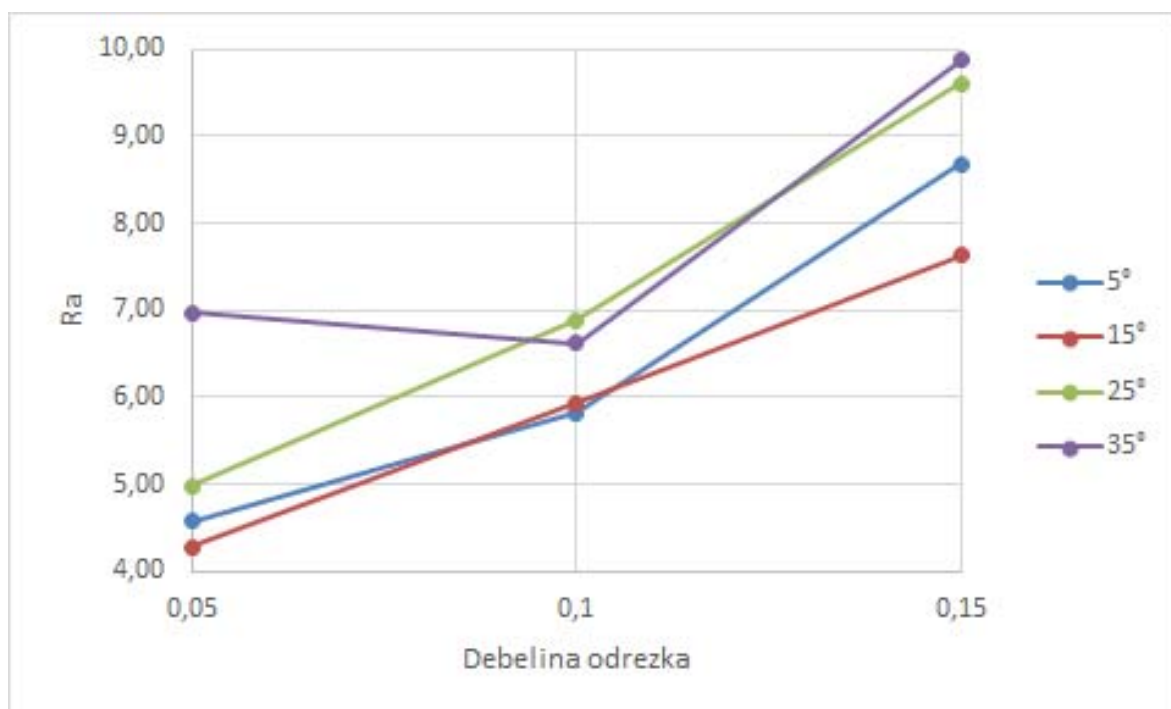
Razvidno je tudi, da se veliko lepše obdeluje kasni les kot rani, to pa verjetno zaradi same zgradbe osnovnih gradnikov lesa celic, saj imajo te v ranem lesu velike lumne in tanjše celične stene, v kasnem pa manjše lumne in debelejšje celične stene, zato je tudi les tam gostejši in bolj homogen, ter prenese večje obremenitve in sile, katere nastajajo tudi pri odrezovanju.

4.2 REZULTATI 2. DELA EKSPERIMENTA

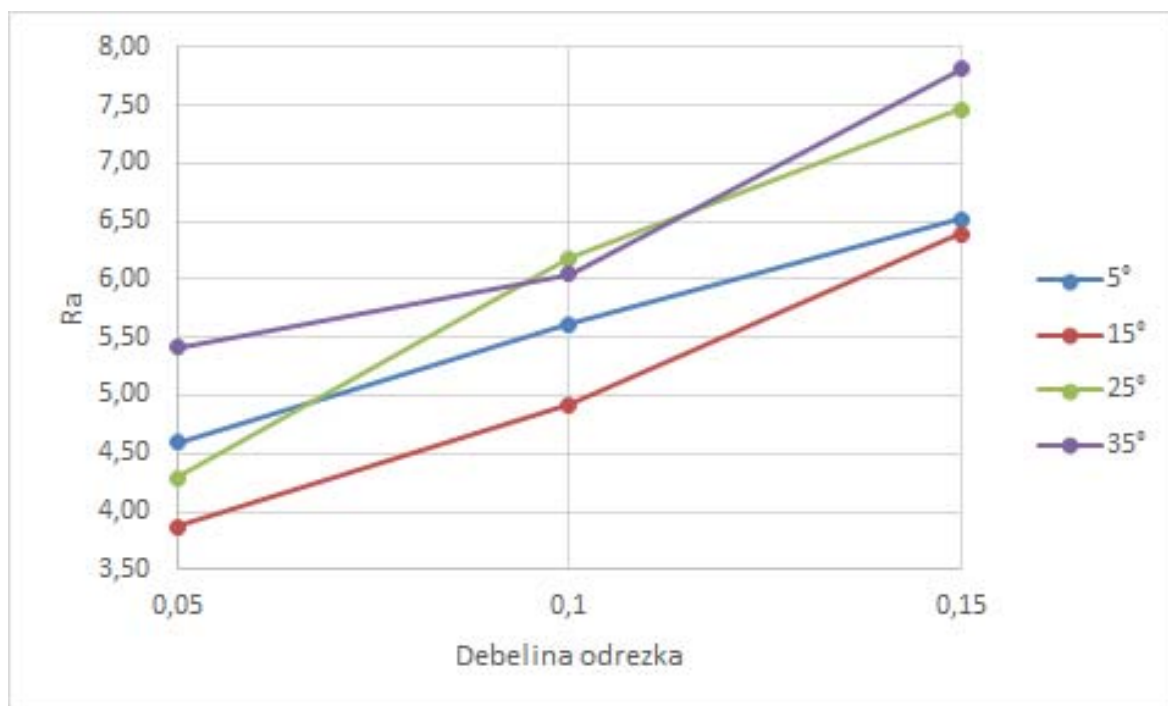
Preglednica 4 in slike od 37 do 39 prikazujejo rezultate meritev parametra R_a , preglednica 5 in slike od 40 do 42 parameter R_z , preglednica 6 in slike od 43 do 45 pa parameter R_{max} , za rani, kasni les ter povprečje obeh skupaj pri različnih cepilnih kotih.

Preglednica 4: Meritve R_a – cepilni koti

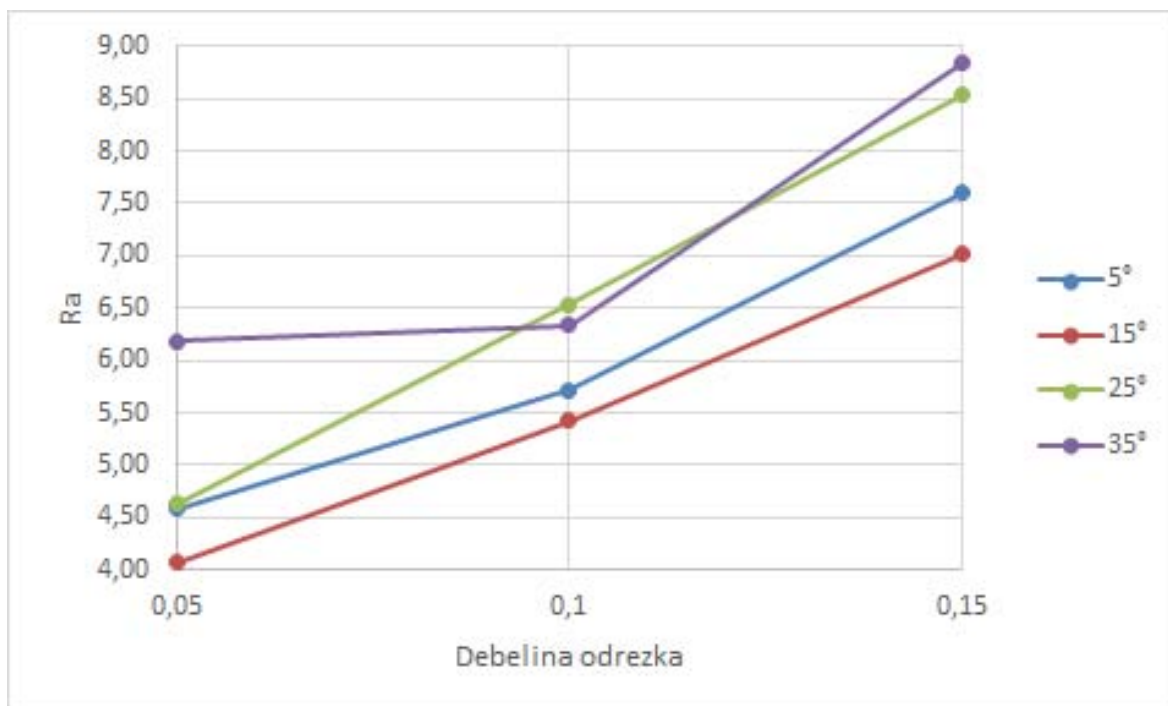
R_a (mm)									
	Rani les			Kasni les			Povprečje		
Deb v mm	0,05	0,1	0,15	0,05	0,1	0,15	0,05	0,1	0,15
5°	4,57	5,82	8,69	4,60	5,61	6,52	4,58	5,72	7,60
15°	4,28	5,94	7,64	3,87	4,92	6,39	4,07	5,43	7,01
25°	4,98	6,88	9,60	4,29	6,19	7,47	4,63	6,53	8,53
35°	6,97	6,62	9,87	5,41	6,05	7,81	6,19	6,33	8,84



Slika 37: Graf R_a rani les - cepilni koti



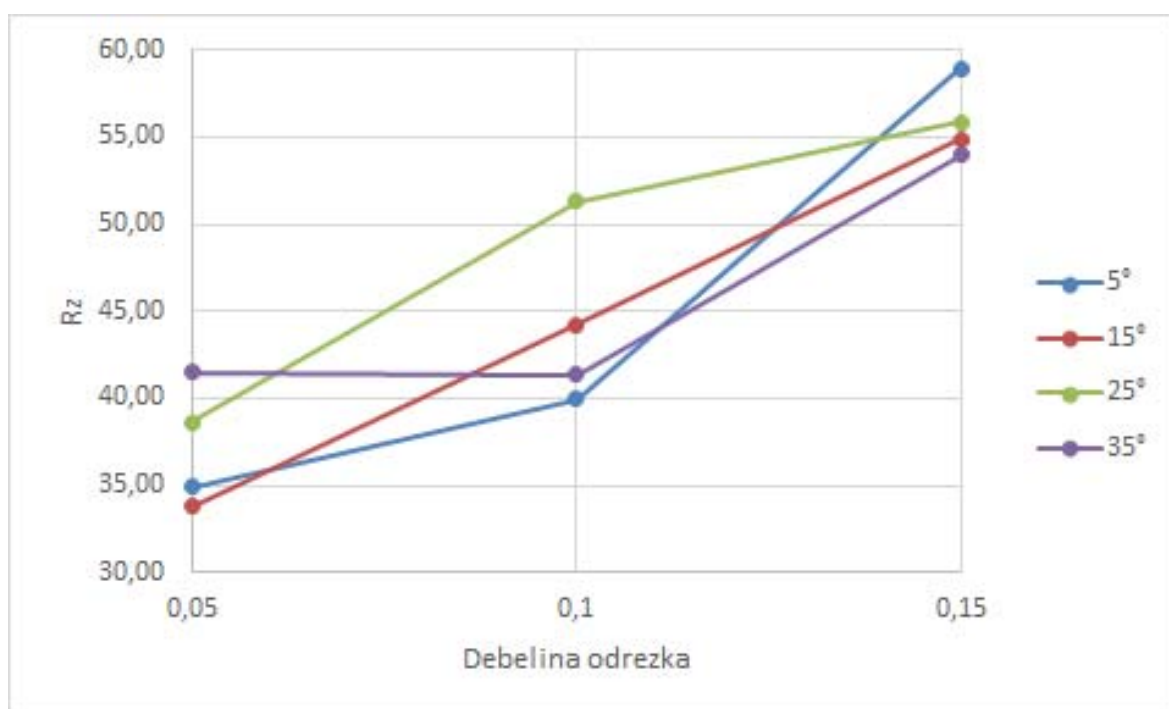
Slika 38: Graf R_a kasni les - cepilni koti



Slika 39: Graf R_a povprečje - cepilni koti

Preglednica 5: Meritve R_z – cepilni koti

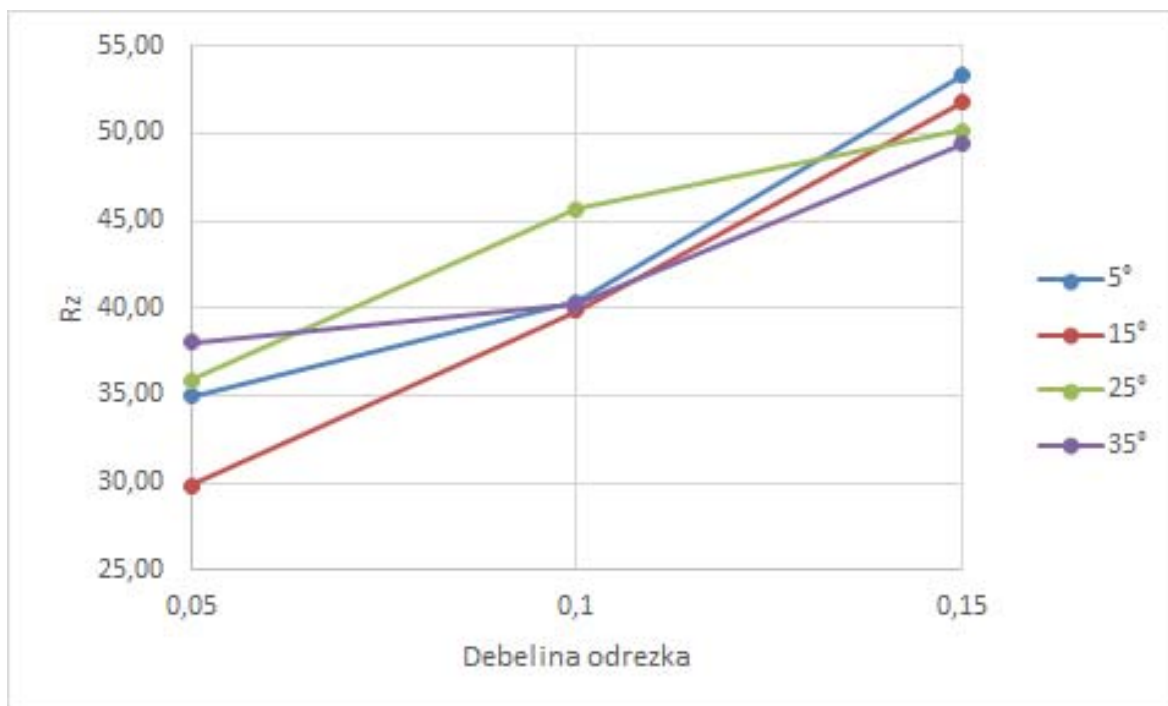
R_z									
	Rani les			Kasni les			Povprečje		
Deb v mm	0,05	0,1	0,15	0,05	0,1	0,15	0,05	0,1	0,15
5°	34,93	39,93	58,95	35,05	40,83	47,68	34,99	40,38	53,31
15°	33,80	44,23	54,88	25,93	35,48	48,70	29,86	39,85	51,79
25°	38,60	51,30	55,83	33,08	40,10	44,55	35,84	45,70	50,19
35°	41,53	41,35	53,98	34,53	39,13	44,75	38,03	40,24	49,36



Slika 40: Graf R_z rani les - cepilni koti



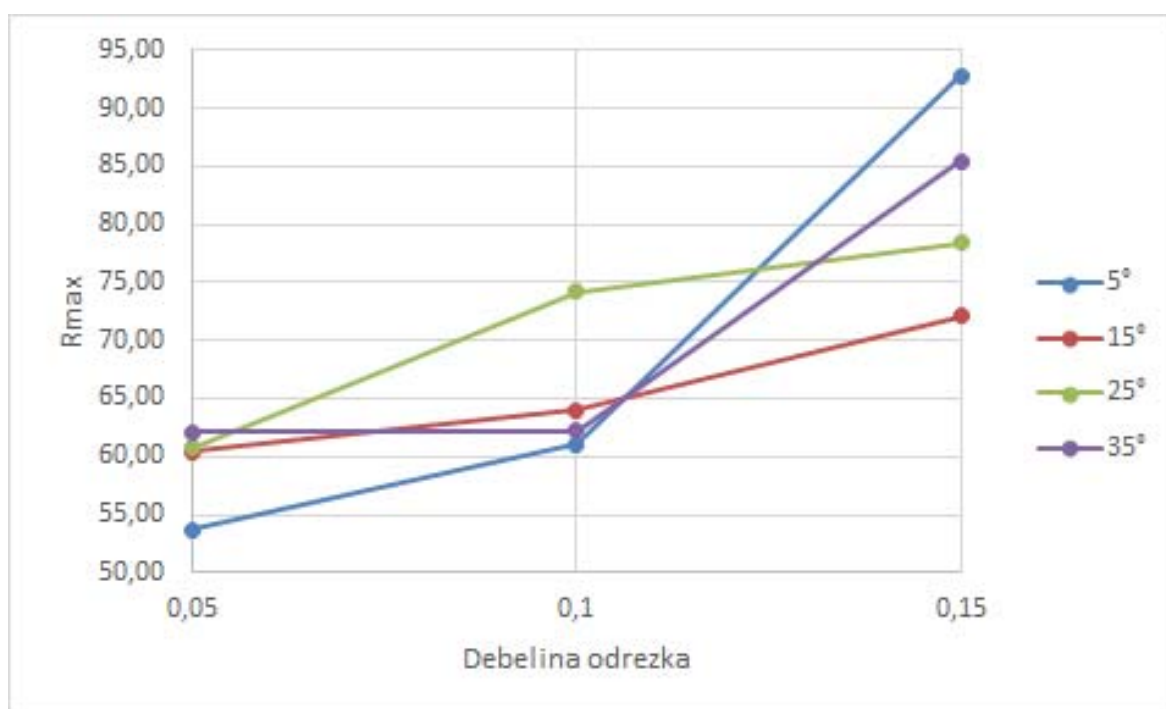
Slika 41: Graf R_z kasni les - cepilni koti



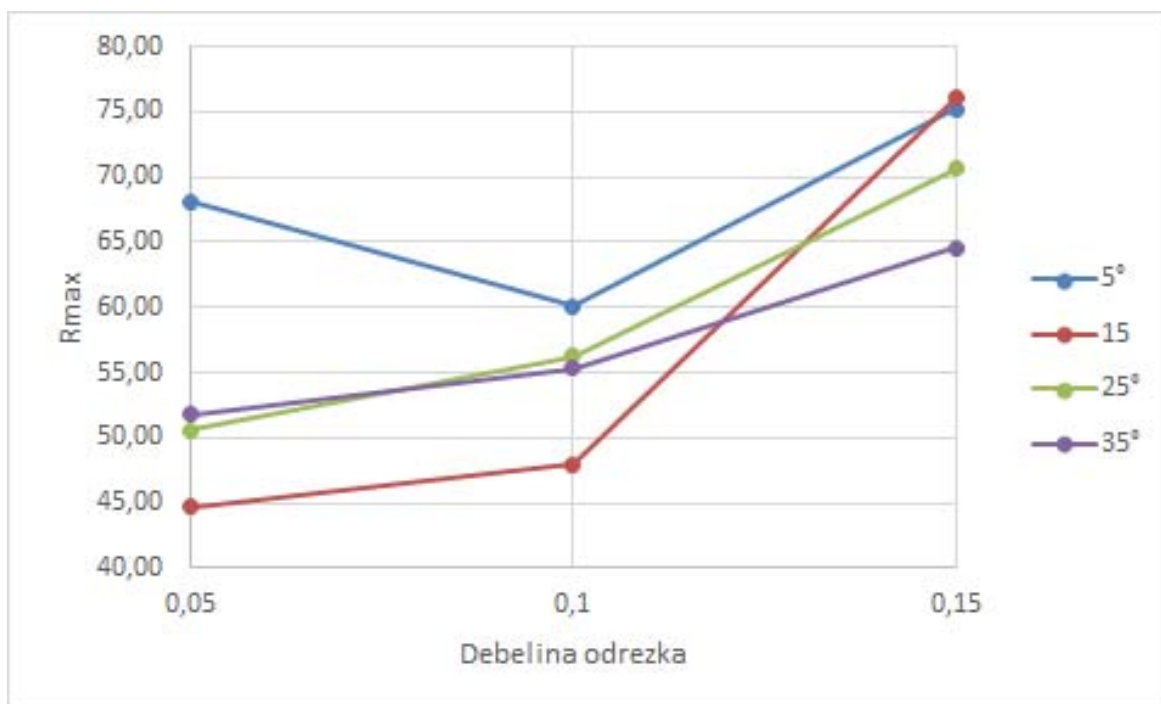
Slika 42: Graf R_z povprečje - cepilni koti

Preglednica 6: Meritve R_{max} – cepilni koti

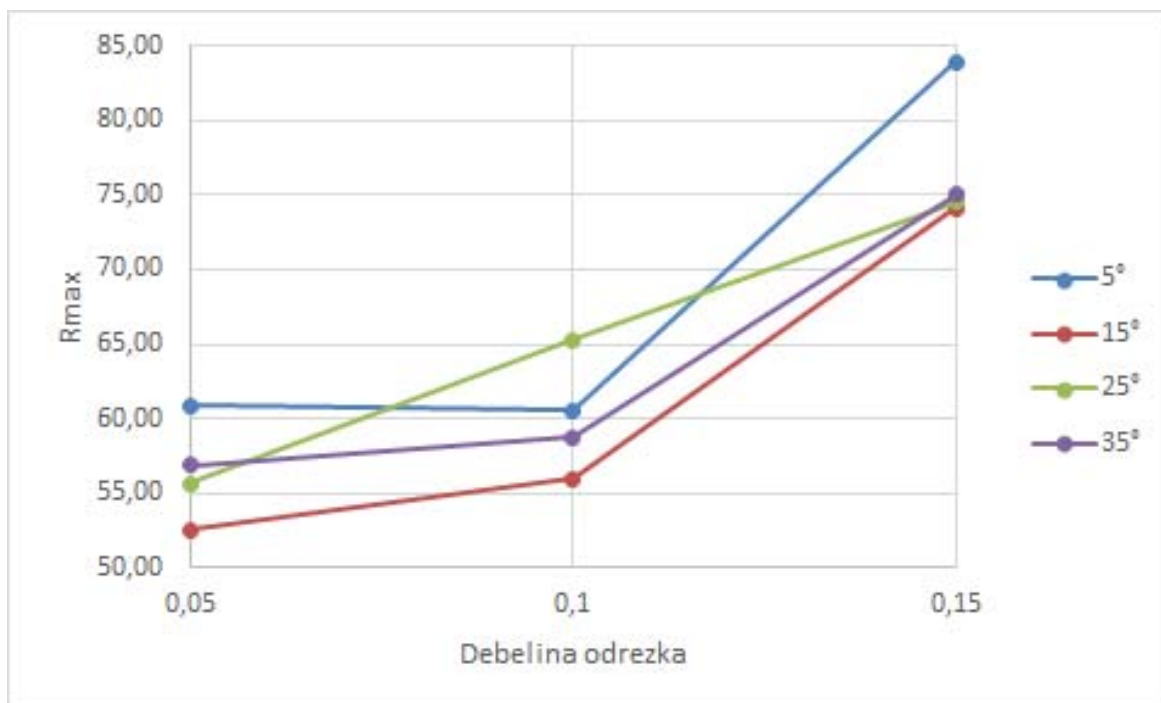
R_{max}									
	Rani les			Kasni les			Povprečje		
Deb v mm	0,05	0,1	0,15	0,05	0,1	0,15	0,05	0,1	0,15
5°	53,70	61,00	92,73	68,10	60,10	75,18	60,90	60,55	83,95
15°	60,38	63,95	72,13	44,68	47,95	76,10	52,53	55,95	74,11
25°	60,75	74,23	78,35	50,60	56,28	70,63	55,68	65,25	74,49
35°	62,1	62,2	85,4	51,8	55,3	64,6	56,9	58,8	75,0



Slika 43: Graf R_{max} rani les - cepilni koti



Slika 44: Graf R_{max} kasni les - cepilni koti



Slika 45: Graf R_{max} povprečje - cepilni koti

4.2.1 Komentar 2. dela eksperimenta

Iz diagramov pri drugem delu eksperimenta je razvidno, da kvaliteta obdelane površine zelo hitro pada z debelino odrezka. Ugotovitve so skladne s pričakovanji, saj je pri debelejših odrezkih večja možnost »zacepitve« tkiva pod ravnino odrezovanja in s tem je tudi kvaliteta novo nastale površine slabša.

Razvidno je tudi, da je po vseh treh parametrih merjenja boljša površina na kasnem lesu kot na ranem. To si razlagamo tako, da so pri ranem lesu celice z večjimi lumni in tanjšimi celičnimi stenami kot pri kasnem, kjer je ravno obratno. Tanjše celične stene pa se verjetno prej poškodujejo in počijo kot pa močnejše na kasnem.

Opazili smo tudi, da je površina najkakovostnejša pri cepilnem kotu okoli 15° . To si razlagamo tako, da pri takih pogojih odrezovanja nastaja odrezek tipa II, pri katerem je kvaliteta obdelane površine najboljša. Zanimivo pa je, da je pri kotu 35° enkrat površina zelo dobre kakovosti, enkrat pa zelo slabe v primerjavi z drugimi koti. To si razlagamo tako, da je tukaj prihajalo do odrezka tipa I. Prišlo je lahko do manjših »zacepitev« tkiva pod ravnino rezanja, katerih s prostim očesom nismo opazili in smo lahko merili tudi na tistih mestih, aparat pa jih je zaznal in upošteval. Tako je bila površina enkrat zelo dobra drugič pa slabša.

Presenetilo nas je, da je pri kotu 25° velikokrat slabša površina kot pri kotu 35° . To si razlagamo tako, da je prišlo pri kotu 25° tudi do odrezka tipa I in so bile »zacepitve« globlje kot pri kotu 35° , saj je rezilo postavljeno višje oziroma bližje pravemu kotu.

Opazili smo tudi, da pri zelo tankem in zelo debelem odrezku prihaja do manjših razlik med različnimi koti kot pa pri srednji debelini odrezka 0,1 mm. To si spet razlagamo s pomočjo sil, ki nastajajo pri odrezovanju. Pri zelo tankem odrezku so te sile majhne in ne vplivajo tako močno na kvaliteto obdelane površine. Pri zelo debelem odrezku pa ravno nasprotno, saj so te sile velike in tudi pri optimalnih pogojih odrezovanja prihaja po poškodb na obdelani površini.

Z navedeno raziskavo smo ugotovili, da na trgu dobavljiva komercialna rezila, ki imajo običajno cepilni kot okrog 20° ne dajejo optimalne kvalitete pri odrezovanju javorjevine.

5 SKLEPI

Iz rezultatov poizkusov lahko podamo naslednje sklepe:

1. Za vzdolžno obdelavo javorjevine so najbolj primerna orodja s cepilnim kotom 15° , saj je bila kvaliteta obdelane površine pri tem kotu najboljša.
2. Glede na to, da je bila kvaliteta obdelane površine najboljša pri kotu branik $22,5^\circ$ sklepamo, da bi bilo že pri razžagovanju hlodovine potrebno to upoštevati in obračati hlodovino tako, da dobimo čim več desk s tako teksturo lesa.
3. Na stroju bi morali zmanjšati podajalno hitrost, saj s tem zmanjšamo debelino odrezka, s tem pa dosežemo boljšo kvaliteto obdelane površine. Enak učinek dosežemo z uporabo stroja, kjer je omogočena višja vrtilna hitrost orodja ali pa z orodjem, ki ima več zob.

6 VIRI

1. Brus R. 2012. Drevesne vrste na Slovenskem 2., dopolnjena izdaja. Ljubljana, Mladinska knjiga: 399 str.
2. Čufar K. 2006. Anatomija lesa. Ljubljana, Biotehniška fakulteta, Oddelek za lesarstvo: 185 str.
3. Furnir prodaja in izdelava Aples d.o.o. javor - ptičji
<http://furnir.si/javor-pticji-birdseye-maple/> (2. maj 2015)
4. GUMP. Točke. Gorski javor zloženka
http://gump.vojnik.si/tocke/tocka_10.html (30. apr. 2015)
5. Grošelj A., Kovačič B., Čermak M., Geršak M. 1999. Tehnologija lesa 2. Ljubljana, Lesarska založba: 10 – 20
6. Leitz. Leitz-lexicon product pages
<http://www.leitz.org/lexikon-produktseiten.html> (13. maj 2015)
7. Merhar M. 2013. Obdelovalne tehnologije orodja in stroji. Ljubljana Biotehniška fakulteta Ljubljana Oddelek za lesarstvo (vir: izročki iz predavanj, 2013)
8. Fs. Uni – Lj, Merjenje hrapavosti
<http://lab.fs.uni-lj.si/lat/uploads/metrologija/hrapavost.pdf> (15. maj. 2015)
9. Mjenje hrapavosti tehniških površina
http://www.riteh.uniri.hr/zav_katd_sluz/zvd_kons_stroj/nas/LabVjezbe_A/Download/Lab_vj_hrapavost_slike.pdf (15. maj. 2015)
10. Mojalbum. gorski javor
<http://www.mojalbum.com/spelca88/samostojna-vaja-pedobio/3-gorski-javor-acer-pseudoplatanus/15649555> (30. apr. 2015)

11. Glodež S. Fs. Uni – Mb. tehnično risanje. označevanje kakovosti površin

<http://fs-server.uni-mb.si/si/inst/iko/lsek/Gradivo/Kvaliteta%20povr%C5%A1in.pdf>

(15. maj. 2015)

ZAHVALA

Zahvalil bi se svojemu mentorju doc. dr. Miranu Merharju za svetovanje in strokovno vodenje ob nastajanju diplomskega projekta.

Zahvala tudi somentorici doc. dr. Dominiki Gornik Bučar ter izr. prof. dr. Gorazdu Fajdigi za opravljeno recenzijo naloge.

Zahvaljujem pa se tudi tehničnemu sodelavcu g. Dragu Vidic za izdelavo vpenjalne mizice in pomoč v laboratoriju.