

UNIVERZA V LJUBLJANI
BIOTEHNIŠKA FAKULTETA
ODDELEK ZA LESARSTVO

Uroš RUDOLF

**ANALIZA VPLIVA SPREMENLJIVIH
GEOMETRIJSKIH ZNAČILNOSTI
OBDELOVALNEGA ORODJA NA MORFOLOŠKE
ZNAČILNOSTI OBDELANIH POVRŠIN
VLAKNATEGA KOMPOZITA**

DIPLOMSKO DELO

Visokošolski strokovni študij

Ljubljana, 2009

UNIVERZA V LJUBLJANI
BIOTEHNIŠKA FAKULTETA
ODDELEK ZA LESARSTVO

Uroš RUDOLF

**ANALIZA VPLIVA SPREMENLJIVIH GEOMETRIJSKIH
ZNAČILNOSTI OBDELOVALNEGA ORODJA NA MORFOLOŠKE
ZNAČILNOSTI OBDELANIH POVRŠIN VLAKNATEGA
KOMPOZITA**

DIPLOMSKO DELO
Visokošolski strokovni študij

**IMPACT ANALYSIS OF VARIABLE GEOMETRIC CUTTING TOOL
FEATURES ON MORPHOLOGICAL CHARACTERISTIC OF THE
MACHINED SURFACES OF THE FIBREBOARD COMPOSITES**

GRADUATION THESIS
Higher professional studies

Ljubljana, 2009

Diplomsko delo je zaključek Visokošolskega študija lesarstva. Delo je bilo opravljeno na Katedri za mehanske obdelovalne tehnologije na Oddelku za lesarstvo na Biotehniški fakulteti Univerze v Ljubljani.

Senat Oddelka za lesarstvo je za mentorja diplomskega dela imenoval izr. prof. dr. Bojana Bučarja, za recenzentko pa doc. dr. Dominiko Gornik Bučar.

Komisija za oceno in zagovor:

Predsednik:

Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za lesarstvo

Član:

izr. prof. dr. Bojan Bučar

Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za lesarstvo

Član:

doc.dr. Dominika Gornik Bučar

Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za lesarstvo

Datum zagovora:

Naloga je rezultat lastnega raziskovalnega dela.

Uroš RUDOLF

KLJUČNA DOKUMENTACIJSKA INFORMACIJA

ŠD	Vs
DK	UDK 674.05:630*862.3
KG	MDF plošča/geometrija orodja/obraba orodja/hrapavost površine
AV	RUDOLF, Uroš
SA	BUČAR, Bojan (mentor)/ GORNIK BUČAR, Dominika (recenzent)
KZ	SI-1000 Ljubljana, Rožna dolina, c. VIII/34
ZA	Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za lesarstvo
LI	2009
IN	ANALIZA VPLIVA SPREMENLJIVIH GEOMETRIJSKIH ZNAČILNOSTI OBDELOVALNEGA ORODJA NA MORFOLOŠKE ZNAČILNOSTI OBDELANIH POVRŠIN VLAKNATEGA KOMPOZITA
TD	Diplomsko delo (visokošolski študij)
OP	XII, 55 str., 5 pregl., 73 sl., 5 pril., 25 vir.
IJ	sl
JI	sl/en
AI	Vlaknati kompoziti v pohištveni industriji predstavljajo vse večji delež materialov, uporabljenih za izdelavo pohištva. Zaradi njihove specifične zgradbe se pri strojni obdelavi srečujemo s problemi, povezanimi s hrapavostjo površine. Zato smo proučevali vpliv geometrije orodja na morfologijo obdelanih površin. Zasnovali in izdelali smo primerno geometrijsko prilagodljivo orodje in z njim izvedli poizkuse na robovih MDF plošč. Ugotavljali smo, kaj se dogaja z obdelano površino in obrabo orodja. Površino vzorcev smo pregledali z napravo Mitutoyo SJ-301 po standardih za merjenje hrapavosti DIN 4768 in ISO 4287/1. Rezultati primerjav med MDF-om in bukovino so pokazali, da obstaja korelacija med geometrijo prsnega kota in hrapavostjo površine, da se z naraščanjem prsnega kota hrapavost površine manjša. Ker obrabe rezila nismo zaznali preko hrapavosti obdelane površine, smo obrabo rezalnega robu pregledali pod mikroskopom. Ugotovili smo, da prsni kot pri 25 ° najbolj obrabi orodje; primeren prsni kot za obdelavo vlaknastih kompozitov je nekje od 10 ° do 15 °.

KEY WORDS DOCUMENTATION

DN Vs
DC UDC 674.05:630*862.3
CX medium density fibreboard/tool geometry/tool wear/surface roughness
AU RUDOLF, Uroš
AA BUČAR, Bojan (supervisor)/GORNIK BUČAR, Dominika (co-advisor)
PP SI-1000 Ljubljana, Rožna dolina, c. VIII/34
PB University of Ljubljana, Biotechnical Faculty, Department of Wood Science and Technology
PY 2009
TI IMPACT ANALYSIS OF VARIABLE GEOMETRIC CUTTING TOOL FEATURES ON MORPHOLOGICAL CHARACTERISTICS OF THE MACHINED SURFACES OF THE FIBREBOARD COMPOSITES
DT Graduation Thesis (Higher professional studies)
NO XII, 55 p., 5 tab., 73 fig., 5 ann., 25 ref.
LA sl
AL sl/en
AB Fibreboard composites represent an increasing share of the materials used to manufacture furniture. At machining processing, due to their specific structure, we have problems related to the surface roughness. We examined how geometry of tools affected the morphology of treated surfaces and that of tool life. Appropriate geometric flexible tool was designed and manufactured to carry out experiments at the edges of MDF boards, and to identify what was happening with the surface and tool wear. The surface was examined with Mitutoyo SJ-301 device according to standards for measuring the roughness of DIN 4768 and ISO 4287/1. The results of comparative tests between the MDF and beech show that there is a correlation between the geometry of rake angle and the surface roughness, increasing the rake angle reduces the surface roughness. As we did not detect the wear of the blade through the roughness of the processed surface, we inspected the wear of the cutting edge under microscope. We came to the conclusion that the rake angle of 25 ° causes the largest abrasion of tool. The most appropriate rake angle for treatment of fibreboard composites is somewhere between 10 ° to 15 °.

KAZALO VSEBINE

	str.
Ključna dokumentacijska informacija	III
Key words documentation	IV
Kazalo vsebine	V
Kazalo slik	VII
Kazalo preglednic	VII
Kazalo prilog	XI
Okrajšave in simboli	XII
1 UVOD	1
1.1 UVODNA OBRAZLOŽITEV	1
1.2 OPREDELITEV PROBLEMA	1
1.3 CILJI NALOGE	2
1.4 DELOVNE HIPOTEZE	2
2 PREGLED OBJAV	3
3 MATERIALI IN METODE	11
3.1 MATERIALI	11
3.1.1 MDF vlaknene plošče	11
3.1.2 Eksperimentalno orodje	12
3.2 IZDELAVA EKSPERIMENTALNEGA ORODJA	13
3.2.1 AutoCAD	13
3.2.2 SolidWorks	13
3.2.3 Zahteve	15
3.2.4 Idejna zasnova	15
3.2.4.1 Načini pritrditve izmenljivih rezil	16
3.2.5 Modeliranje in konstruiranje orodja	17
3.2.5.1 Sestavni elementi eksperimentalnega orodja	18
3.2.5.2 Vloga sestavnih delov orodja	19
3.2.5.3 Bistvene značilnosti orodja	20
3.2.5.4 Koraki sestavljanja orodja	21
3.2.6 Izdelano eksperimentalno orodje	21
3.3 METODE	23
3.3.1 Rezkanje na miznem rezkalnem stroju	23
3.3.2 Izračun dolžine loka in efektivne poti rezila	23
3.3.3 Priprava vzorcev	25
3.3.4 Merjenje hrapavosti	26
3.3.5 Mikroskopsko slikanje obrabe rezalnega robu	29

4	REZULTATI	30
4.1	REZULTATI PRELIMINARNIH POIZKUSOV	30
4.1.1	Preliminarni poizkusi spremljanja hrapavosti glede na spremembo geometrije orodja	30
4.1.2	Gostotni profil MDF plošče	32
4.1.3	Preliminarni poizkusi ugotavljanja obrabe rezil preko površine	34
4.2	PRIMERJAVA HRAPAVOSTI POVRŠINE BUKOVINE IN MDF PLOŠČ GLEDE NA SPREMEMBO GEOMETRIJE ORODJA	37
4.3	OBRABA REZIL IN HRAPAVOST POVRŠINE	40
4.4	VIDNA OBRABA REZALNEGA ROBU	42
5	RAZPRAVA IN SKLEPI	49
6	POVZETEK	51
7	VIRI	53
	ZAHVALA	

KAZALO SLIK

	str.
Slika 1: Pozicije merjenja obrabe razila	4
Slika 2: Prikaz obrabe rezalnega robu glede na vrsto materiala orodja	4
Slika 3: Prikaz obrabe rezalnega robu glede na ostrinski kot	4
Slika 4: Skica obdelave MDF robu	5
Slika 5: Skica merjenja obrabe robu	5
Slika 6: Skica eksperimenta in obdelovalno orodje	6
Slika 7: Primer poškodb okoli izvrtin	7
Slika 8: Prikaz poškodb pri vrtanju MDF plošče	8
Slika 9: Prikaz razcepitvenega faktorja v odvisnosti od premera orodja in hitrosti vretena (a – vhod v izvrtino, b – izhod iz izvrtine)	8
Slika 10: Prikaz rezkane površine s parametri podajanja 0,5 m/min	9
Slika 11: Prikaz rezkane površine s parametri podajanja 5 m/min	9
Slika 12: Prikaz geometrije visokofrekvenčnega rezila	9
Slika 13: Prikaz poti, ki jo opravlja visokofrekvenčno rezilo med rezanjem	9
Slika 14: Visokofrekvenčno rezanje	10
Slika 15: Prikaz orodja z izmenljivimi rezili	12
Slika 16: Shematski prikaz osnovnih kotov pri rezilu	12
Slika 17: Prikaz programskega okolja SolidWorks	14
Slika 18: Izmenljiva standardna rezila proizvajalca Leitz	15
Slika 19: Idejna skica eksperimentalnega orodja, narejena v programu AutoCAD	16
Slika 20: Prikaz pritrditve izmenljivih rezil z zagozdo	17
Slika 21: Prikaz pritrditve rezil z vijakom	17
Slika 22: Klinasti rezkar	17
Slika 23: Rezilo klinastega rezkarja	17
Slika 24: Model eksperimentalnega orodja	18
Slika 25: Slika razstavljena eksperimentalnega orodja	18
Slika 26: Skica bistvenih značilnosti orodja	20
Slika 27: Vpenjalna glava – pogled na pozicionirne žlebove	22
Slika 28: Pogled na razstavljeno orodje	22
Slika 29: Vpenjalna glava – pogled na vpenjalni sistem z zagozdo	22
Slika 30: Pogled na sestavljeno orodje	22
Slika 31: Mizni rezkalni stroj	23
Slika 32: Eksperimentalno orodje, vpeto na glavno vreteno	23
Slika 33: Prikaz dolžine loka, po kateri potuje konica noža in odrezuje lesno tkivo	24
Slika 34: Jemanje vzorcev iz plošče	25
Slika 35: Vzorec za določitev hrapavosti površine in njegove dimenzije	26

Slika 36:	Stranski pogled na vzorec in pozicije merjenja hrapavosti površine	26
Slika 37:	Igla sledi le nepopolni obliki površine	27
Slika 38:	Shematski prikaz sodobnega merilnika površine	27
Slika 39:	Naprava Mitutoyo SJ-301 za merjenje hrapavosti površine	28
Slika 40:	Priprava za nastavljanje pozicije meritve hrapavosti površine	28
Slika 41:	Lupa, na katero smo namestili kamero	29
Slika 42:	Mikroskop Olympus	29
Slika 43:	Priprava za opazovanje proste ploskve noža	30
Slika 44:	Prikaz aritmetične srednje hrapavosti v odvisnosti od prsnega kota pri preliminarnih poizkusih	31
Slika 45:	Prikaz povprečne globine hrapavosti v odvisnosti od prsnega kota pri preliminarnih poizkusih	32
Slika 46:	Shematski prikaz vzorca za določanje gostotnega profila	33
Slika 47:	Prikaz že porezanih vzorcev za merjenje gostotnega profila	33
Slika 48:	Prikaz povprečnega gostotnega profila po debelini MDF plošče	34
Slika 49:	R_z v odvisnosti od efektivne obdelave pri meritvah 1 mm od roba	36
Slika 50:	R_z v odvisnosti od efektivne obdelave pri meritvah 5 mm od roba	36
Slika 51:	R_z v odvisnosti od efektivne obdelave pri meritvah 9 mm od roba	37
Slika 52:	R_z v odvisnosti od spremembe prsnega kota v primeru MDF plošče	38
Slika 53:	Srednja višina neravnin v odvisnosti od spremembe prsnega kota v primeru bukovine	39
Slika 54:	Indeks rasti hrapavosti površine v odvisnosti od spremembe prsnega kota pri primeru MDF-a in bukovine	40
Slika 55:	R_z v odvisnosti od efektivne dolžine odrezovanja in kotov rezanja na različnih pozicijah merjenja hrapavosti	41
Slika 56:	Leva stran proste ploskve pri kotu 5°	42
Slika 57:	Desna stran proste ploskve pri kotu 5°	42
Slika 58:	Leva stran proste ploskve pri kotu 15°	42
Slika 59:	Desna stran proste ploskve pri kotu 15°	42
Slika 60:	Leva stran proste ploskve pri kotu 25°	43
Slika 61:	Desna stran proste ploskve pri kotu 25°	43
Slika 62:	Rezalni rob proste ploskve pri prsnem kotu 5°	43
Slika 63:	Rezalni rob cepilne ploskve pri prsnem kotu 5°	43
Slika 64:	Rezalni rob proste ploskve pri prsnem kotu 15°	44
Slika 65:	Rezalni rob proste ploskve pri prsnem kotu 25°	44
Slika 66:	Rezalni rob cepilne ploskve pri prsnem kotu 15°	44
Slika 67:	Rezalni rob cepilne ploskve pri prsnem kotu 25°	44
Slika 68:	Obraba rezila po 4500 m efektivne obdelave robu MDF plošče pri prsnem kotu 5°	45

Slika 69:	Povečava obrabe pri prsnem kotu 5° na mestu, kjer je rezilo rezalo rob MDF plošče	45
Slika 70:	Obraba rezila po 4500 m efektivne obdelave robu MDF plošče pri prsnem kotu 15°	46
Slika 71:	Povečava obrabe pri prsnem kotu 15° na mestu kjer je rezilo rezalo rob MDF plošče.	46
Slika 72:	Obraba rezila po 4500 m efektivne obdelave robu MDF plošče pri prsnem kotu 25°	47
Slika 73:	Povečava obrabe pri prsnem kotu 25° na mestu, kjer je rezilo rezalo rob MDF plošče	47

KAZALO PREGLEDNIC

	str.
Preglednica 1: Prikaz oznak rezil z različnimi materiali in ostrinskimi koti	3
Preglednica 2: Prikaz sestavnih delov eksperimentalnega orodja in opis njihovih vlog	19
Preglednica 3: Prikaz korakov sestavljanja eksperimentalnega orodja	21
Preglednica 4: Osnovni podatki o geometriji orodja in tehnoloških parametrih pri preliminarjih poizkusih obrabe rezila	35
Preglednica 5: Osnovni podatki o geometriji orodja in tehnoloških parametrih pri poizkusih obrabe rezila	40

KAZALO PRILOG

- Priloga A: Idejna eksperimentalna orodja
- Priloga B: Tehnični načrt eksperimentalnega orodja
- Priloga C: Preliminarni rezultati hrapavosti površine pri različnih prsnih kotih
- Priloga D: Preliminarni rezultati obrabe orodja pri različnih prsnih kotih
- Priloga E: Primerjava hrapavosti površine bukovine in MDF plošč glede na spremembo geometrije orodja – srednje odstopanje profila R_a

OKRAJŠAVE IN SIMBOLI

m	–	meter
mm	–	milimeter
max.	–	maksimalno
min.	–	minimalno
oz.	–	oziroma
t.i.	–	tako imenovan
R_z	–	srednja višina neravnin [μm]
R_a	–	srednje odstopanje profila [μm]
R_q	–	kvadratična srednja hrapavost [μm]
R_{max}	–	največja globina hrapavosti [μm]
R_p	–	globina zaglajevanja [μm]
D	–	globina odzema materiala [mm]
R	–	polmer orodja [m]
z	–	število zob orodja
α	–	prosti kot [°]
β	–	rezalni kot [°]
γ	–	prsni kot [°]
F_v	–	sila vijaka [N]
F_z	–	sila zagozde [N]
F_{ZB}	–	bočna sila zagozde [N]
f_z	–	podajanje na zob [mm]
v_p	–	podajalna hitrost [m/min]
n	–	število obratov vretena [min^{-1}]
Z	–	posamična globina [μm]
r_v	–	globina vala [mm]
l	–	dolžina loka [mm]
L	–	dolžina elementa [mm]
ρ	–	gostota [kg/m^3]
F_d	–	faktor krušenja

1 UVOD

1.1 UVODNA OBRAZLOŽITEV

V lesni industriji se zaradi pocenitve produktov in želenih specifičnih lastnosti materialov, velikokrat zatečemo k uporabi lesnih kompozitov. Le-ti nam omogočajo poleg cenejše izvedbe produktov tudi boljše mehanske lastnosti. Seveda pa taka izbira poleg prednosti prinese tudi slabosti. Tako moramo zaradi specifične sestave lesnih plošč le-te obdelovati z različnim tehnološkimi postopki. Kot vemo, morajo obdelovanci skozi več vrst obdelave, da dobimo končni izdelek. Izbira obdelave pa je v prvi fazi odvisna od materiala.

Kadar omenjamo lesne kompozite, imamo v mislih predvsem lesne plošče; OSB (oriented straight board), iverne, vezane, vlaknene (MDF, HDF). V našem primeru se bomo osredotočili predvsem na MDF plošče. To so vlaknene plošče srednje gostote, narejene iz finih lesnih vlaken. Bistvena razlika med ploščami MDF in masivnim lesom je seveda v sestavi, zgradbi le-teh. Medtem ko masivni les obravnavamo kot heterogen material, za plošče največkrat rečemo, da so homogeno zgrajene. V osnovi lahko rečemo, da so homogene, ko pa jih začnemo bolj natančno analizirati, vidimo, da temu ni tako. Če pogledamo samo gostotni profil po debelini plošče, vidimo, da se le-ta spreminja, in tako že ne moremo reči, da je plošča homogene zgradbe. To pa pomeni, da imamo različne pogoje pri strojni obdelavi. Ravno ta problem bo predmet naše raziskave v tej diplomski nalogi.

Obdelava ploščnih kompozitov je zelo delikatna. Ko skušamo doseči gladko površino pri masivnem lesu, ga v večini primerov brusimo. Pri MDF ploščah pa ne moremo reči, da je to ugodna rešitev za doseg gladke površine. Problem nastane zaradi iztrgavanja vlaken iz plošče. Ta efekt je seveda nekoliko milejši pri odrezovanju, zato smo se za doseg boljše kvalitete površin teh plošč posvetili tehnološko tehničnim parametrom. Osredotočili smo se predvsem na tehnične parametre orodja in tako s spreminjanjem geometrije orodja poizkušali vplivati na kvaliteto obdelanih površin. Seveda pa tudi s samim odrezovanjem ne moremo zagotoviti površine, ki bi bila pripravljena na površinsko obdelavo. Strojno obdelane površine vlaknenih plošč največkrat površinsko oplemenitimo z mikrofolijami ali pa jih kitamo, brusimo in barvamo.

1.2 OPREDELITEV PROBLEMA

Vlaknene plošče s srednjo gostoto (MDF) so primerne za razne notranje in zunanje konstrukcije ter za industrijsko uporabo. Proizvodnja večjih kapacitet tega tehnično

predelanega lesa se je začela v 80 letih. Stopnja hrapavosti površine MDF plošč pa igra pomembno vlogo pri zmanjšanju končne kvalitete, ker se pri končni površini vsaka nepravilnost vidi skozi tanek zaščitni sloj. Površinska hrapavost je funkcija karakteristik surove plošče in proizvodnega procesa.

Zadovoljiva kvaliteta obdelanih površin ploščnih kompozitov je odvisna od številnih dejavnikov, kot so način odrezovanja, geometrija rezalnega orodja in obdelavnostne lastnosti samega materiala. Najvplivnejši dejavnik je nedvomno geometrija rezalnega orodja. Zaradi tega smo se odločili, da raziščemo, kako geometrija orodja vpliva na morfologijo obdelanih površin. Navedeno raziskavo je žal moč izvesti samo v primeru, ko imamo primerno, geometrijsko prilagodljivo orodje. Ker tega na trgu ni moč dobiti, smo se odločili, da ga zasnujemo in izdelamo kar sami.

1.3 CILJI NALOGE

Pri nalogi smo si zadali dva cilja. Prvi je bil izdelati rezkalno orodje, ki bo omogočalo spremembo prsnih kotov, drugi pa, da se s tem orodjem izvede poizkuse na robovih MDF plošč in spremlja kvaliteta površine pri različnih prsnih kotih. Potrebno je bilo ugotoviti življenjsko dobo rezil pri različni geometriji orodja. Tako smo pri obdelavi robov spremljali efektivno dolžino obdelave in ugotavljali, kaj se dogaja s hrapavostjo površine. Sprejeli smo konsenz med obrabo rezila pri različnih prsnih kotih in kvaliteto dobljene površine.

1.4 DELOVNE HIPOTEZE

S primerno zasnovanim rezalnim orodjem in s pravilno izbrano kombinacijo relevantnih tehnoloških parametrov, je v veliki meri možno vplivati na morfologijo obdelanih površin ploščnih vlaknatih kompozitov.

2 PREGLED OBJAV

Sama kvaliteta obdelanih površin vlaknatih kompozitov je v prvi vrsti odvisna od zgradbe same plošče. Z gotovostjo moremo trditi, da lahko na obdelavnostne značilnosti vplivamo že v samem procesu izdelave vlaknenih plošč. Veliko število raziskav je bilo narejenih na področju priprave vlaken, ki se v končnem produktu izkaže kot izboljšanje nekaterih fizikalnih in mehanskih lastnosti plošč.

Mohebbi in sodelavci (2008) so raziskovali, kako hidrotermična modifikacija vlaken vpliva na fizikalne in mehanske lastnosti, kot so razslojna trdnost, modul elastičnosti, natezna trdnost, debelinski nabrek in absorpcija. Ugotovili so, da je s hidrotermično obdelavo vlaken možno spreminjati omenjene lastnosti in tako posredno vplivati na obdelavnostne značilnosti plošč.

Sicer pa se z dobrimi obdelovalnimi značilnostmi vseeno ne bi izognili problemom ob strojni obdelavi teh kompozitov. Prav gotovo bi še vedno naleteli na probleme obrabe orodja. Z ukrepi, da izdelamo plošče z boljšimi obdelavnostnimi značilnostmi, bi lahko življenjsko dobo orodja tudi zmanjšali. Ker je problem kompleksne narave, se moramo osredotočiti tudi na raziskave na tehnološko tehničnem področju, kar je bila tudi naša prioriteta naloga.

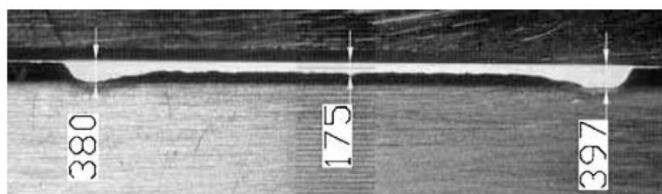
Na tem področju imamo opraviti z vrsto dejavnikov, ki vplivajo na kvaliteto obdelave. Opravljenih je bilo veliko raziskav, ki so povezane s tehnološkimi parametri obdelave, tehničnimi parametri orodja, z različnimi materiali rezil itd.

Tako je Kowaluk s sodelavci (2009) raziskoval, kako različni materiali in geometrija orodja vplivajo na življenjsko dobo orodja. V svoji raziskavi so uporabljali tri različne materiale rezil in štiri različne ostrinske kote, in sicer hitrorezno jeklo (HSS), jeklo z dodanim kromom (Cr) ter karbidne trdine (HM) pri ostrinskih kotih 25 °, 40 °, 45 °, in 55 °. Razvrstitev rezil je vidna v spodnji preglednici.

Preglednica 1: Prikaz oznak rezil z različnimi materiali in ostrinskimi koti (Kowaluk in sod., 2009)

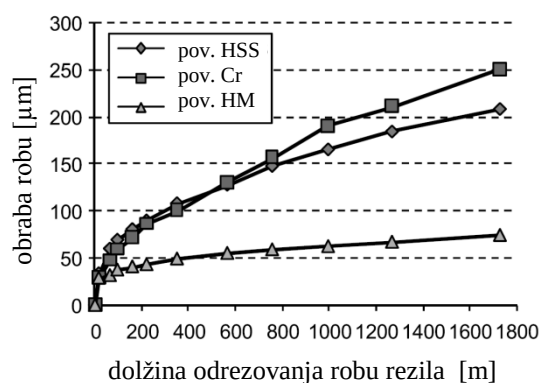
<i>Material rezil</i>	<i>Ostrinski kot [°]</i>			
	25	40	45	55
	<i>Naziv rezil</i>			
<i>Hitrorezno jeklo</i>	HSS25	HSS40	HSS45	HSS55
<i>Jeklo z dodanim kromom</i>	Cr25	Cr40	Cr45	Cr55
<i>Karbidne trdine</i>	HM25	HM40	HM45	HM55

Z navedenimi rezili so izvajali poizkuse na robovih MDF plošč debeline 10 mm. Teste so izvajali na rezkalnem stroju, z rezkalno glavo premera 104 mm, pri vrtilni hitrosti vretena 4500 min^{-1} in podajalne hitrosti 6 m/min. Ugotavljali so, kako različni orodni materiali in različni ostrinski koti vplivajo na življenjsko dobo rezil. Obrabo rezila so zajemali z merjenjem otopelosti na treh mestih, kot prikazuje slika 1, in beležili povprečje teh treh meritev.

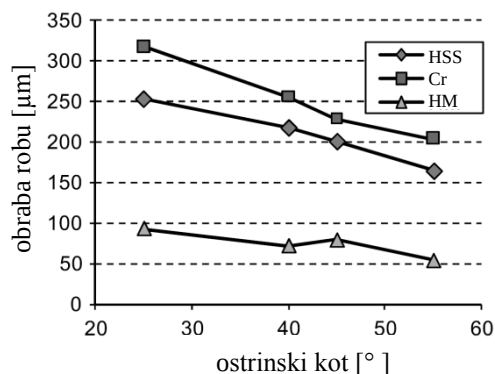


Slika 1: Pozicije merjenja obrabe razila (Kowaluk in sod., 2009)

Obrabo rezalnega robu so opazovali glede na pot, ki jo je rezalni rob rezila opravil po lesu. V začetni fazi so obrabo spremljali na krajše intervale, nato pa na daljše, vse do 1731 m. Podatke o obrabi rezalnega robu so prikazali na grafih (slika 2 in slika 3).



Slika 2: Prikaz obrabe rezalnega robu glede na vrsto materiala orodja (Kowaluk in sod., 2009)

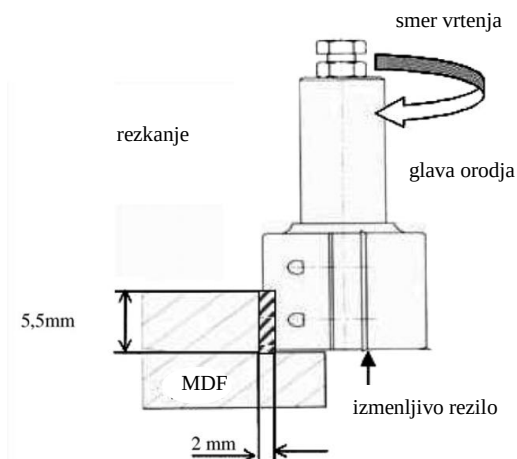


Slika 3: Prikaz obrabe rezalnega robu glede na ostrinski kot (Kowaluk in sod., 2009)

Graf na levi prikazuje obrabo rezalnega robu različnih materialov rezila v odvisnosti od dolžine obdelave, na grafu desno pa je prikazano, kako ostrinski kot (edge angle) prav tako vpliva na obrabo rezalnega robu. Cilj te naloge je bil ugotoviti optimalno geometrijo orodja za obdelavo MDF plošč za rezila iz različnih materialov. S to raziskavo so ugotovili, da je z geometrijo mogoče vplivati na obrabo in življenjsko dobo rezila. Prišli so do zaključkov, da moramo sprejeti kompromis med izbiro rezila z manjšim ostrinskim kotom, da pridobimo na kvaliteti obdelave z ozirom na večjo obrabo rezalnega robu. Ker med ostrinskim kotom 40° in 45° ni bilo bistvenih razlik v obrabi, so se odločili, da je kot 40° najboljša izbira. Glede poizkusov uporabe različnih orodnih materialov so prišli do

sklepov, da ima modifikacija HSS rezil s kromom in z drugimi prevlekami določene prednosti, zato bodo raziskave potekale v tej smeri.

Tako je Nouveau (2006) s sodelavci preučeval, kako krom aluminij nitridna (CrAlN) obloga vpliva na obrabo rezalnega robu pri rezkanju MDF plošč. Pripravo rezil so izvajali tako, da so po različnih postopkih nanašali CrAlN oblogo na karbidne ploščice. Pri tem postopku so uporabili varjenje s plazmo z različnim odstotkom dodanega dušika in tako dobili različne lastnosti površin. V drugem primeru pa so pred oblaganjem CrAlN na karbidne ploščice izvajali Murakamijev postopek obdelave površine. S pripravljenimi rezili so izvajali rezkanje do dolžine 1700 m. Po obdelavi robov MDF plošč (slika 4) so na dvajsetih mestih izmerili obrabo (slika 5) in izračunali njeno povprečje.

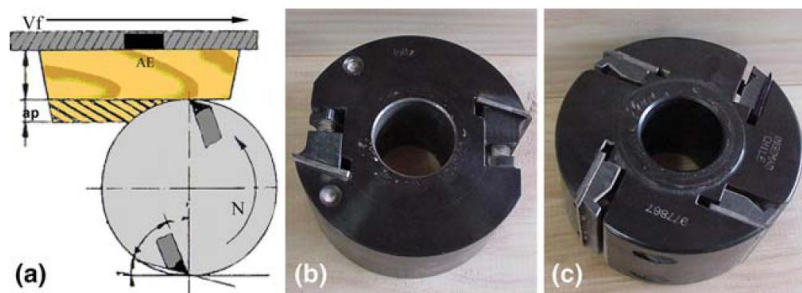


Slika 4: Skica obdelave MDF robu (Nouveau in sod., 2006)

Slika 5: Skica merjenja obrabe robu (Nouveau in sod., 2006)

Pri tej raziskavi so prišli do ugotovitev, da najbolj optimalne fizikalno-kemijske in mehanske lastnosti obložene površine s CrAlN oblogo nudi postopek, pri katerem se upošteva 4 μ bar tlaka, 900 V napetosti, 90 min oblagalnega časa ter dodaja okoli 20 % dušika. Predpriprava površine karbidnih ploščic z Murakamijevim postopkom se ni izkazala za pravo.

Aguliera in njegovi sodelavci (2006) so ugotavljali, kako usmerjenost lesnih vlaken vpliva na zvočno emisijo in hrapavost površine. Med procesom rezkanja kalifornijskega bora so poizkušali ugotoviti povezavo med zvočno emisijo in hrapavostjo površine. Pri raziskavi so spreminjali vrtilno hitrost vretena, podajalno hitrost, število rezil na orodju, krožnice razanja in usmerjenost lesnih vlaken pri obdelovancu. Na sliki 6 je prikazana skica eksperimenta in orodje, s katerim so poizkuse izvajali. Usmerjenost vlaken pri poizkusih prikazuje šrafirano mesto na skici. Za poizkuse so uporabili tri kote usmerjenja vlaken, in sicer 0°, 30° in 60°.



Slika 6: Skica eksperimenta in obdelovalno orodje (Aguilera in sod., 2006)

Efekt spreminjanja usmerjenosti vlaken se je izkazal kot signifikantna sprememba v signalu zvočne emisije. Ugotovili so, da je zvočna emisija uporaben indikator za zaznavanje spremenljivih pogojev rezanja in posledično tudi kvalitete površine.

Dippon s sod. (2000) je raziskoval premočrtne rezalne mehanizme pri MDF plošči. Modelirana je bila mehanika premočrtnega odrezovanja brez inklinacije orodja. Premočrtni rezalni testi so bili narejeni vzporedno in pravokotno na površino plošče. Pri bočni in poševni ploskvi je bil upoštevan Coulombov model trenja. Rezultati eksperimenta so pokazali, da je trenje na poševni ploskvi dokaj majhno in da pritisk, ki ga ustvarja še neodrezen delec, v glavnem predstavlja glavnino sile na poševni ploskvi. Ti rezultati so uporabni pri opisovanju mehanizmov vrtanja in rezkanja MDF delov.

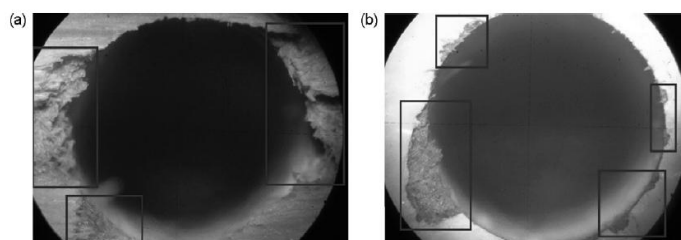
Lin in sod. (2006) so predstavili študijo o obdelavi MDF. Raziskovali so obnašanje plošče med odrezovanjem z orodjem pri relativno nizki hitrosti. Ti so tudi pokazali, kako pomembno vlogo pri obdelavi igrajo nerafinirani delci. Ugotovili so, da ima gostota plošče velik vpliv na obdelovalne karakteristike plošče.

Gordon in Hillery (2003) sta na kratko predstavila poročilo o raziskavi, predvidevanju rezalnih sil pri rezanju MDF plošče s posebnim poudarkom na delu Altintasa (2000) in Dippona (2000) s sodelavci. Ta raziskava je prilagodila glavni mehanski in dinamični model za obdelovanje kovin s spiralno zaključenimi svedri/rezkarji, da ga lahko uporabimo za predvidevanje rezalnih sil pri obdelovanju MDF plošče. V kasnejših študijah sta Gordon in Philbin (2006) študirala aplikacijo PCD-ja (polikristaliziran diamand) pri obdelovanju MDF-a. Po njunem mnenju je glavna prednost uporabe PCD materiala podaljšana življenjska doba orodja.

Miklaszewski s sod. (2000) je študiral mikromehanizem obrabe PCD orodja med rezkanjem materialov z lesno osnovo. Pri pregledu površine z elektronskim mikroskopom

in nanometrsko merilno skalo je ugotovil nov mehanizem obrabe PCD insertov, in sicer krušenje posameznih majhnih mikrokristalov.

Davim in sod. (2008, 2007 a) je predstavil preliminarno študijo o vrtanju dveh različnih tipov MDF plošč. Vrtalni test je pokazal, da obstaja različen sistem razcepitve okoli luknje (slika 7) pri lesu (slika a) ali melaminskem prekrivnem sloju (slika b). Cilj je bil vzpostaviti korelacijo med rezalno in podajalno hitrostjo v odvisnosti od poškodb okoli luknje.



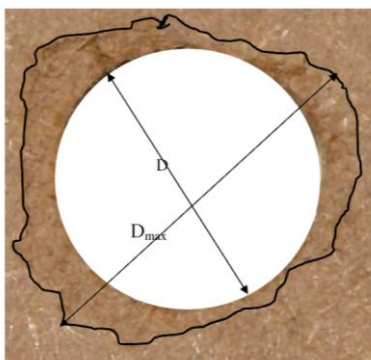
Slika 7: Primer poškodb okoli izvrtin (Davim in sod., 2008).

Ugotovili so, da se premer poškodbe pri izvrtini zmanjšuje z naraščanjem rezalne hitrosti in narašča s podajalno hitrostjo pri obeh tipih MDF plošče.

V nadaljnjih raziskavah je Davim (2007 b) s sod. raziskoval napake, opažene na vhodu in izhodu izvrtane MDF plošče, ter vzpostavil razmerje med poškodovano obliko in obdelovalnimi parametri. Uporabili so nov faktor razcepitve za označevanje napak v izvrtani luknji s pomočjo digitalne analize slike. Rezultati kažejo, da če želimo doseči večje odvzeme materiala z minimalnimi poškodbami, moramo uporabiti višje rezalne hitrosti.

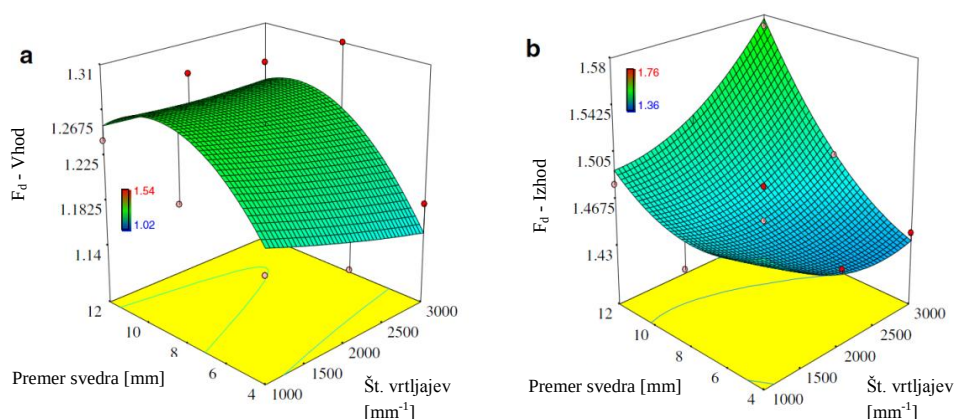
Podobno študijo je izvajal tudi Parkash s sodelavci (2009), ki je poleg podajalne in rezalne hitrosti vrtanja skozi MDF plošče spreminjal tudi premer svedra in ugotavljal, kaj se dogaja s faktorjem krušenja F_d , ki opisuje razmerje med maksimalnim premerom poškodbe in dejanskim premerom izvrtine (slika 8). S spodnjo formulo in sliko je razloženo, kaj predstavlja faktor razcepitve F_d .

$$F_d = \frac{D_{max}}{D} \quad \dots (1)$$



Slika 8: Prikaz poškodb pri vrtanju MDF plošče (Parkash in sod., 2009)

Ugotovili so, da premer svedra poveča faktor razcepitve navkljub povečanju obodne rezalne hitrosti pri konstantnih vrtljajih vretena (slika 9).

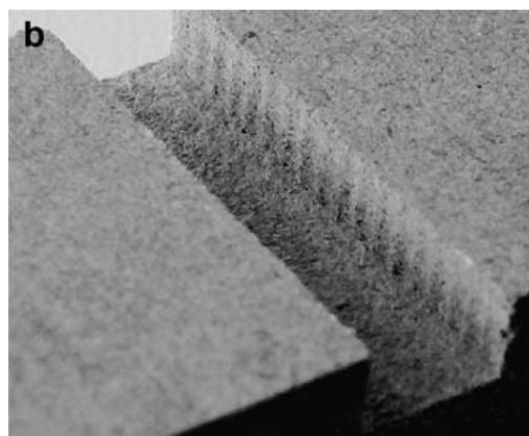


Slika 9: Prikaz razcepitvenega faktorja v odvisnosti od premera orodja in hitrosti vretena (a – vhod v izvrtino, b – izhod iz izvrtine) (Parkash in sod., 2009)

Davim in sodelavci (2007 c) so v svojem raziskovalnem delu proučevali kvaliteto površine MDF-a po rezkanju. Prišli so do sklepov, da s primernimi rezalnimi parametri lahko dobimo kvaliteto površine z $R_z \leq 10\mu\text{m}$. Rezalni test pa je pokazal, da ima hitrost vretena pomembno vlogo pri razvoju hrapavosti površine kot funkcija odvzetega materiala. Prišli so do zaključkov, da so prednosti uporabe visokih rezalnih hitrosti pri rezkanju tega materiala očitne. Na slikah 10 in 11 lahko vidimo, kako pomembna je podajalna hitrost z ozirom na končno kvaliteto površine. V obeh primerih a in b so imeli enako število vrtljajev vretena in enake parametre na rezilu. Spreminjali so le podajalno hitrost, ki je bila v primeru a 0,5 m/min, v primeru b pa 5 m/min. Razlika v končni kvaliteti površine je očitna in vidna s prostim očesom.

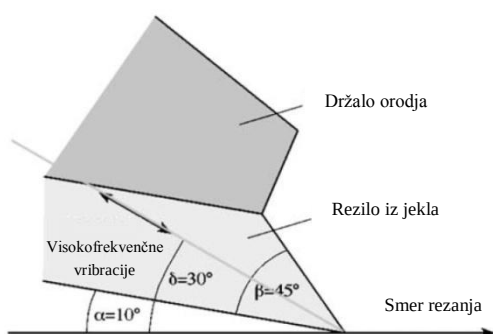


Slika 10: Prikaz rezkane površine s parametri podajanja 0,5 m/min (Davim in sod., 2007)

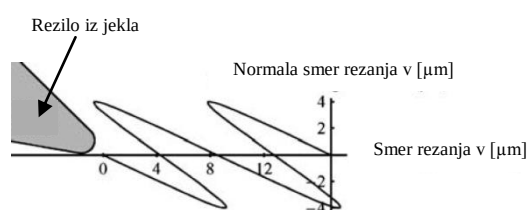


Slika 11: Prikaz rezkane površine s parametri podajanja 5 m/min (Davim in sod., 2007)

Sinn in sod. (2005) so v svoji študiji o visokofrekvenčnem rezanju preučevali kvaliteto površine MDF plošč. Efekt visokofrekvenčnega rezanja se ni izkazal za učinkovitega z vidika hrapavosti površin. Kvaliteto obdelane površine je skušal preveriti s spremljanjem kota omakanja in ugotovil, da ni bistvenih razlik pri navadnem linearnem rezanju in rezanju z visoko frekvenco. Tudi parametri hrapavosti, kot so R_a , R_q in R_z niso pokazali bistvenih razlik glede na proces odrezovanja. Slika 12 prikazuje geometrijo orodja, s katerim so izvajali poizkuse z rezanjem z visoko frekvenco, medtem ko slika 13 prikazuje gibanje rezila z amplitudo 8 μm , frekvenco 20 kHz in podajalno hitrostjo 170 mm/s.



Slika 12: Prikaz geometrije visokofrekvenčnega rezila (Sinn in sod., 2005)



Slika 13: Prikaz poti, ki jo opravlja visokofrekvenčno rezilo med rezanjem (Sinn in sod., 2005)

Na sliki 14 lahko vidimo visokofrekvenčno rezilo in preizkušane. Vidi se držalo orodja in nož, ki potuje linearno v smeri obdelovanja, nihanje z visoko frekvenco pa je usmerjeno v liniji 30 ° znotraj orodja glede na ploskev obdelovanja.



Slika 14: Visokofrekvenčno rezanje (Sinn in sod., 2005)

Aguilera s sod. (2000) je proučeval rezalne sile in površinsko hrapavost v različnih plasteh MDF plošče. Ugotovili so, da se s povečanjem odvzema kvaliteta površine zmanjšuje in da je standardni odklon v plasteh z manjšo gostoto večji. Primerjali so MDF plošče z masivnim lesom in ugotovili, da sta faktorja gostote in debeline odvzema ključnega pomena z vidika hrapavosti površine. Prišli so do zaključka, da kombinacija visoke gostote in majhnih odvzemov nudi dobro kvaliteto površine.

3 MATERIALI IN METODE

3.1 MATERIALI

3.1.1 MDF vlaknene plošče

V splošnem sta znani dve definiciji vlaknenih plošč (Medved, 2003):

- Vlakninska lesna tvoriva so tvoriva različnih prostorninskih mas, ki so narejena iz lesnih ali drugih lignoceluloznih vlaken. Vezivna sredstva in/ali drugi dodatki so lahko dodani s ciljem izboljšanja trdnosti, odpornosti proti vlagi, ognju, glivam in insektom (FAO).
- Po ISO definiciji pa so vlaknene plošče tvorivo, ki je debelejša od 1,5 mm in je izdelano iz lignoceluloznih vlaken, pri čemer so vlakna med seboj povezana predvsem z lastnim naravnim vezivom. Dodana so lahko vezivna sredstva in/ali drugi dodatki s ciljem izboljšanja lastnosti.

Razlika med definicijama je v tem, da definicija po sistemu FAO ne definira minimalne debeline vlaknenih plošč.

Vlaknene plošče so sestavljene iz lesnih ali drugih vlaken. Prvo vlakneno ploščo so izdelali v ZDA leta 1915. Različni standardi delijo plošče na različne načine in glede na različne lastnosti.

Delitev vlaknenih plošč.

Vlaknene plošče delimo glede na zelo različne lastnosti (Medved, 2003):

- glede na prostorninsko maso,
- glede na namembnost in
- glede na vrsto uporabljenega lepila.

Glede na prostorninsko maso lahko vlaknene plošče razdelimo v štiri skupine:

- izolacijske plošče ($\rho \leq 300 \text{ kg/m}^3$),
- lahke plošče ($300 \leq \rho \leq 500 \text{ kg/m}^3$),
- srednje goste vlaknene plošče ($500 \leq \rho \leq 800 \text{ kg/m}^3$),
- trde vlaknene plošče ($\rho \geq 800 \text{ kg/m}^3$).

V industriji pohištva se največkrat uporabljajo vlaknene plošče srednje prostorninske mase, medtem ko so za rabo v gradbeništvu primernejše plošče večjih prostorninskih mas.

Glede na namembnost vlaknene plošče delimo v dve skupini (Medved, 2003):

- uporaba v splošne namene oziroma v pohištvene namene,
- uporaba v gradbeništvu.

Za uporabo v splošne namene ne zahtevamo ekstremno visokih trdnostnih lastnosti plošče, temveč bolj estetiko in enostavnost uporabe. Za uporabo vlaknenih plošč v gradbeništvu je estetika potisnjena v ozadje. Pomembnejše so trdnostne in mehanske lastnosti plošče.

Vrsta uporabljenega lepila ima velik vpliv na lastnosti vlaknenih plošč in na njihovo uporabnost. Običajno se za izdelavo vlaknenih plošč uporablja (Medved, 2003):

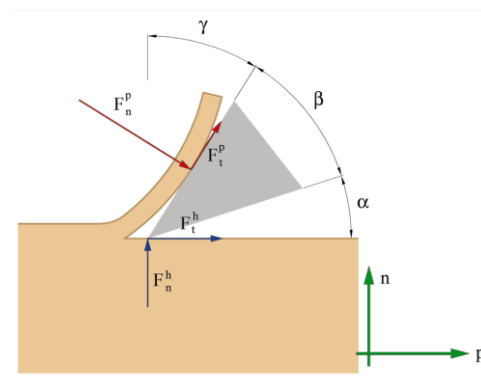
- UF lepilo (urea-formaldehidno lepilo) – za splošne namene,
- MF lepilo (melamin-formaldehidno lepilo) – za splošne namene in uporabo v gradbeništvu,
- FF lepilo (fenol-formaldehidno lepilo) – za uporabo v gradbeništvu,
- izocianatno lepilo – za vlaknene plošče s posebnimi nameni.

3.1.2 Eksperimentalno orodje

Za izdelavo poizkusov je bilo potrebno izdelati eksperimentalno orodje, kateremu se bo lahko spreminjalo prsni kot rezila. Za rezilo smo uporabili standardne rezalne ploščice proizvajalca Leitz. Primer izmenljivih rezalnih ploščic lahko vidimo na sliki 15, prsni kot pa je označen s črko γ na sliki 16.



Slika 15: Prikaz orodja z izmenljivimi rezili
(Rezkalna glava za robljenje HW)



Slika 16: Shematski prikaz osnovnih kotov pri rezilu

3.2 IZDELAVA EKSPERIMENTALNEGA ORODJA

Za skice, modeliranje in konstruiranje eksperimentalnega orodja smo uporabljali programske pakete AutoCAD in SolidWorks. Programi so nam bili v veliko pomoč, saj smo z njimi lahko hitro spreminjali in dopolnjevali naše idejne skice in modele.

3.2.1 AutoCAD

AutoCAD je zelo razširjen programski paket za računalniško podprto konstruiranje (CAD - computer assisted design). Obsega 2D in 3D risanje, z mnogimi dodatki pa je uporaben na različnih tehniških področjih, kot so strojništvo, lesarstvo, gradbeništvo, arhitektura, geodezija in elektrotehnika. V našem primeru smo ga uporabljali predvsem za idejne skice orodja.

3.2.2 SolidWorks

SolidWorks poleg računalniško podprtega konstruiranja ponuja še inženirske analize ter izdelavo enostavnejših simulacij. V osnovi zajema 3D modelirnik, modul za sestavljanje in modul za izdelavo tehniške dokumentacije.

Izdelovanje modela v SolidWorks-u se običajno prične z 2D skico, čeprav imajo zahtevnejši uporabniki možnost 3D skice. Skica sestoji geometrijsko gledano iz točk, črt, krogov, koničnih elementov (hiperbola je izjema) in spiral. Dimenzije so dodane skici, da definirajo velikost in lokacijo geometrije. Povezave se uporabljajo za definiranje atributov, npr.: dotik, vzporednost, pravokotnost in koncentričnost. Pri SolidWorks-u pomeni parametrska narava to, da dimenzije in povezave določajo geometrijo, ne pa obratno. Dimenzije risb se lahko spreminja neodvisno ali pa v razmerju z ostalimi parametri znotraj in zunaj risbe.

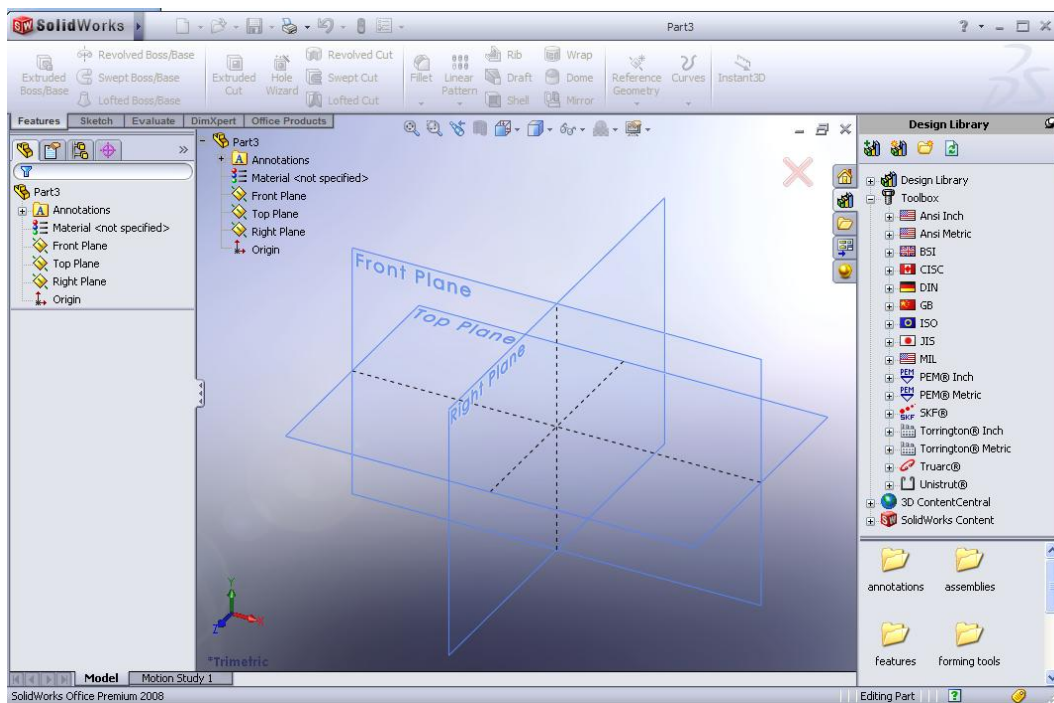
SolidWorks je eden izmed tistih programov, ki ima možnost spreminjanja in spremljanja zgodovine, ki uporabniku omogočajo povrnitve na stanje pred spremembami v modelu, dodajanje dodatnih lastnosti ali pa zamenjati vrstni red operacij, ki so bile izvedene. Kasneje so tudi ostali proizvajalci podobnih modelirnih programov uporabili to idejo.

Pri sestavljanju kosov je sistem povezovanja soroden načinu pri skici, in sicer s t. i. »mates« (združenje). Ravno tako kot pri skici povezave definirajo stanja, kot so na primer dotik, vzporednost in koncentričnost z obzirom na geometrijo risbe. Združenja sestavljenih

kosov definirajo enakovredne povezave tistim za individualne kose komponent in omogočajo enostavno sestavljanje kosov. SolidWorks vključuje tudi dodatne napredne vrste spajanja, kot sta na primer prestavna razmerja in delovanje ležajev, ki tako pokažejo, kakšno bi bilo dejansko gibanje pogonskega sklopa v realnosti.

Načrti so lahko izdelani iz enega ali pa več sestavljenih kosov. Pogledi so izdelani samodejno iz modela, po potrebi pa se enostavno doda načrtu tudi zapiske, dimenzije in tolerance. Risalni modul vključuje večino velikosti papirja in standardov (ANSI, ISO, DIN, GOST, JIS, BSI in GB) (Solidworks. 2009, Dassault systems. 2009).

Na sliki 17 lahko vidimo, kako zgleda program SolidWorks in njegovo delovno okolje.



Slika 17: Prikaz programskega okolja SolidWorks

3.2.3 Zahteve

Obdelovalno orodje je bilo potrebno izdelati po določenih zahtevah. Potrebno ga je bilo zasnovati za obdelavo na miznem rezkalnem stroju SCM T 130, ki smo ga imeli na razpolago v laboratoriju. Za rezilo smo uporabili dve standardni rezalni ploščici proizvajalca Leitz, ki ju prikazuje slika 18. Ker smo hoteli ugotoviti, kako prsni kot pri rezilu vpliva na končno kvaliteto obdelane površine, smo morali eksperimentalno rezkalno orodje skonstruirati tako, da se je omenjeni kot lahko spreminjal od 5° do 25° v intervalih po 5° .

Pri modeliranju in konstruiranju, smo morali upoštevati še vrsto drugih zahtev. Upoštevati je bilo potrebno premer pogonskega vretena za izdelavo izvrtine na orodju. Premer celotnega orodja ni smel biti prevelik. Potrebno ga je bilo zmanjšati na minimum, da masni vztrajnostni moment ni bil prevelik in da morebitna masna izsrednost okrog osi ne bi imela prevelikega vpliva na tresljaje. Seveda bi se s tem ukrepom lahko izognili balansiranju orodja in dodatnim stroškom. Upoštevati smo morali tolerance tako, da smo dosegli čim manjše odstopanje dveh rezil od rezalne krožnice. Z določitvijo minimalnih toleranc smo dosegli tudi dobro masno razporejenost okrog osi, o kateri smo že govorili. Poleg vseh teh zahtev smo morali izdelavo orodja izvesti z minimalnimi stroški. Potrebno je bilo racionalno skonstruirati vsak sestavni del orodja.

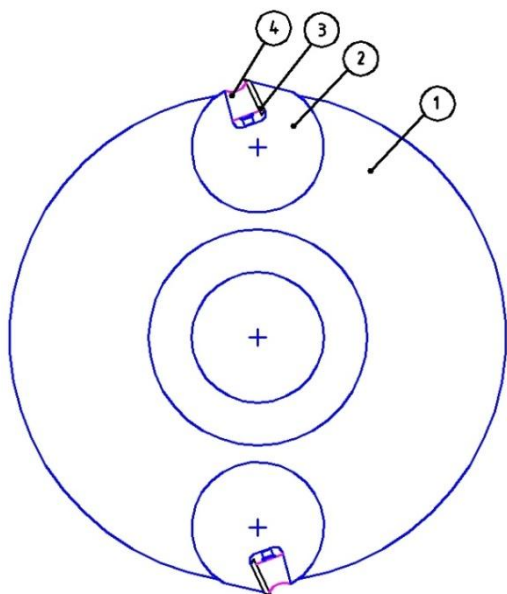


Slika 18: Izmenljiva standardna rezila proizvajalca Leitz

3.2.4 Idejna zasnova

S pomočjo prospektov in katalogov orodij smo začeli razvijati naše eksperimentalno orodje. Najprej so začele nastajati idejne skice, ki smo jih risali v AutoCAD-u, kasneje pa smo začeli modelirati tudi v programu SolidWorks. Na sliki 19 lahko vidimo skico eksperimentalnega orodja in osnovne sestavne dele. Ideja je bila, da se na osnovno telo

orodja (1) vgradijo vpenjalne glave (2), katere bi imele rezilo (3), pritrjeno z zagozdo (4) ali vijakom. Vpenjalne glave (2) pa bi se hkrati lahko obračale okoli svojega vrtilišča in na ta način spreminjale prsni kot na rezilu (3). Slaba stran te konstrukcije je ta, da smo morali zaradi dodanih vpenjalnih glav povečati premer orodja.



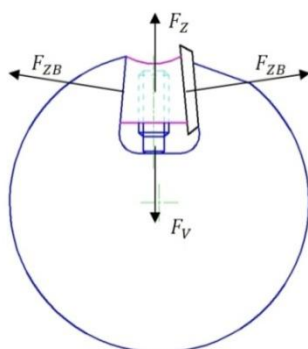
Legenda:

- (1) – Osnovno telo orodja
- (2) – Vpenjalna glava
- (3) – Rezilo
- (4) – Zagozda

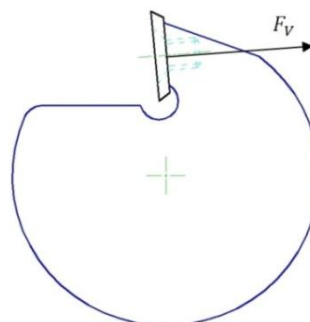
Slika 19: Idejna skica eksperimentalnega orodja, narejena v programu AutoCAD

3.2.4.1 Načini pritrditve izmenljivih rezil

Pri načinih pritrditve rezalnih ploščic na vpenjalno glavo smo se odločali predvsem med pritrditvijo z zagozdo (slika 20) in pritrditvijo z vijakom (slika 21). Za pritrditev z vijakom bi bilo potrebno rezilo predelati tako, da bi s prilagodnim vijakom privijačili in hkrati tudi pozicionirali rezalno ploščico v rezalno krožnico. Pri pritrditvi z zagozdo pa bi za pozicioniranje uporabili dodatne zatiče. Ker tako ne bi bilo potrebno dodatno posegati v standardno rezilce, smo se odločili, da na našem orodju uporabimo ta način vpenjanja rezil.



Slika 20: Prikaz pritrditve izmenljivih rezil z zagozdo



Slika 21: Prikaz pritrditve rezil z vijakom

3.2.5 Modeliranje in konstruiranje orodja

Za modeliranje smo uporabljali že omenjen programski paket SolidWorks. Začeli smo preučevati več različnih variant, kako pritrditi vpenjalne glave na osnovno telo orodja. Ideja je bila ta, da se med dve plošči, ki bi služili kot osnovno telo orodja, vgradi glavna puša in dve vpenjali glavi z izmenljivimi rezili. Takih sistemov, ki bi spreminjali prsni kot na trgu, skoraj ni. Na sliki 22 je prikazan eden redkih sistemov za spreminjanje prsnega kota. To so tako imenovani rezkarji za skupinski klinasti spoj, ki se uporabljajo za dolžinsko spajanje lesa. Med dve osnovni plošči imajo vgrajena rezila (slika 23) in sistem, ki omogoča, da se vsa rezila hkrati nastavi na enak prsni kot.

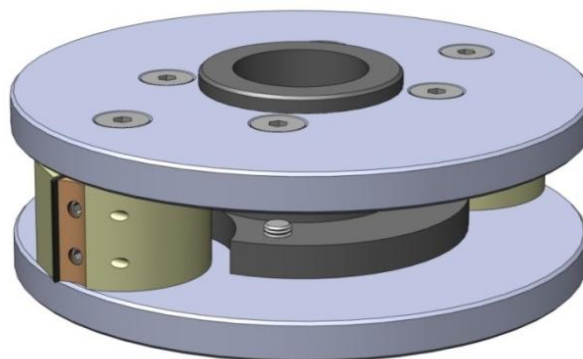


Slika 22: Klinasti rezkar (AceCo Finger Joint Tooling)



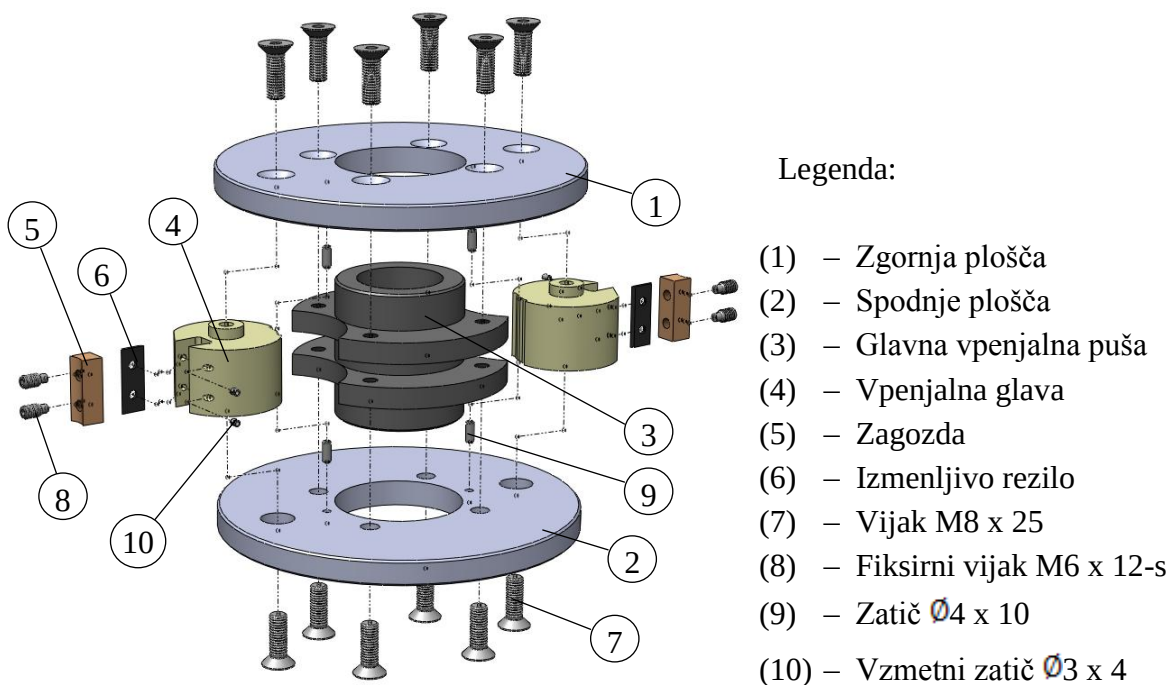
Slika 23: Rezilo klinastega rezkarja (M2 HSS)

Na sliki 24 je prikazan zmodeliran model našega eksperimentalnega orodja. Vidimo lahko glavne sestavne dele, ki pa so podrobneje označeni in opisani v nadaljevanju. V prilogi A pa so razvidne predhodne idejne zasnove orodij.



Slika 24: Model eksperimentalnega orodja

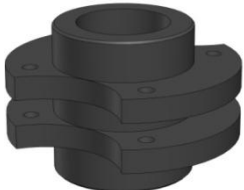
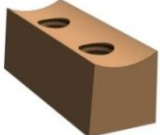
3.2.5.1 Sestavni elementi eksperimentalnega orodja

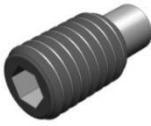


Slika 25: Slika razstavljena eksperimentalnega orodja

3.2.5.2 Vloga sestavnih delov orodja

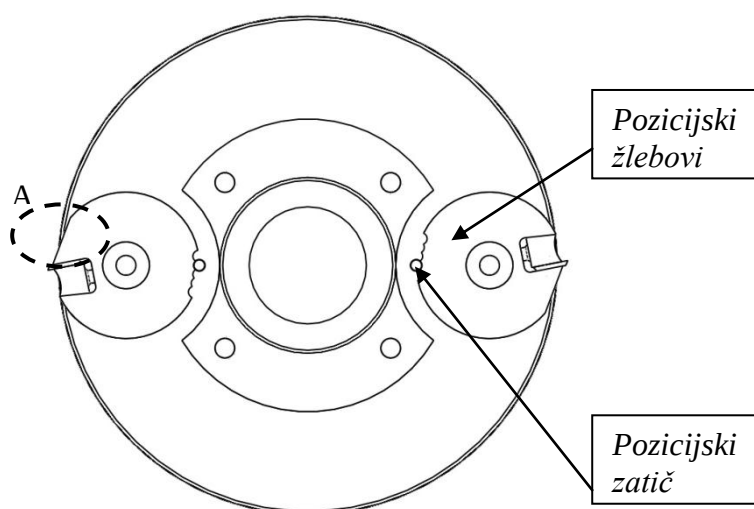
Preglednica 2: Prikaz sestavnih delov eksperimentalnega orodja in opis njihovih vlog

1, 2 – Zgornja in spodnja plošča Med dva elementa s pomočjo vijakov M8 x 25 (7) (DIN 7991) privijemo glavno vpenjalno pušo (3) in vpenjalni glavi (4). Na ta način se med stično ploskvijo vpenjalne glave (4) in ploskvijo glavne vpenjalne puše (3) tvori trenje in s tem zagotovi fiksni položaj vpenjalnih glav (4).	 2x
3 – Glavna vpenjalna puša Ima vlogo baze orodja in vpenjanja na gred miznega rezkalnega stroja. Na to pušo se privijačita spodnja in zgornja plošča (1, 2). Izvrtina za vreteno pa mora biti delana v toleranco, da ne pride do prevelikega odstopanja od osi vrtenja. Opravlja tudi funkcijo držanja distance med zgornjo in spodnjo ploščo (1, 2).	 1x
4 – Vpenjalna glava Na vsaki strani ima valj obdelan v toleranco, ki se z nasedom pozicionira med obe plošči (1, 2). S tem zagotovi, da sta obe vpenjalni glavi (4) enako oddaljeni od središčne osi. Na notranji stani ima žlebove, s pomočjo katerih se glava nastavi na določen prsni kot. Na zunanji pa je utor za zagozdo (5) in izmenljivo rezilo(6).	 2x
5 – Zagozda Namesti se jo v zarezo vpenjalne glave (4) in z zatiskanjem prilagodnih vijakov (8) fiksira izmenljivo rezilo(6). Zagozda (5) povzroči bočno pritiskno silo in s pomočjo trenja se nož (6) fiksira.	 2x
6 – Izmenljivo rezilo Rezilo (6) se s pomočjo vzmetnih zatičev (10), ki jih vstavimo v vpenjalno glavo (4), nastavi tako, da je konica rezila v istem rezalnem krogu. Nož (6) ima primarno nalogo odrezovanja. Pritrdi se ga z zagozdo (5).	 2x
7 – Vijak M8 x 20 (DIN 7991) S temi vijaki se privijači zgornja in spodnja plošča (1, 2) na glavno vpenjalno pušo (3). Privije se tudi vpenjalne glave (4) in se jih tako fiksira.	 12x

8 – Prilagodni vijak M6 x 12-s <i>Vijak se potrebuje za fiksiranje noža (6). Vijači se ga preko zagozde (5) v vpenjalno glavo (4). Ko se vijak upre vanjo, začne navzven odrivati zagozdo (5), ki posledično povzroči bočno silo in fiksira rezilo (6).</i>	 4x
9 – Zatič Ø4 x 10 <i>Zatič (9) ima namen pozicioniranja vpenjalne glave (4) v točno pozicijo in s tem določitev prsnega kota na rezilu (6). Zatiče zabijemo v zgornjo in spodnjo ploščo (1, 2) nato pa se vpenjalno glavo (4) pomočjo žlebov nastavi na pravo pozicijo.</i>	 4x
10 – Vzmetni zatič Ø3 x 4 <i>Vstavimo ga v vpenjalno glavo (4) v zarezo za zagozdo (5). Naloga zatiča (10) je, da z njim in luknjami v rezilcu (6) pozicioniramo le-tega v pravilno lego. Konici rezilc (6) morata biti v istem rezalnem krogu.</i>	 4x

3.2.5.3 Bistvene značilnosti orodja

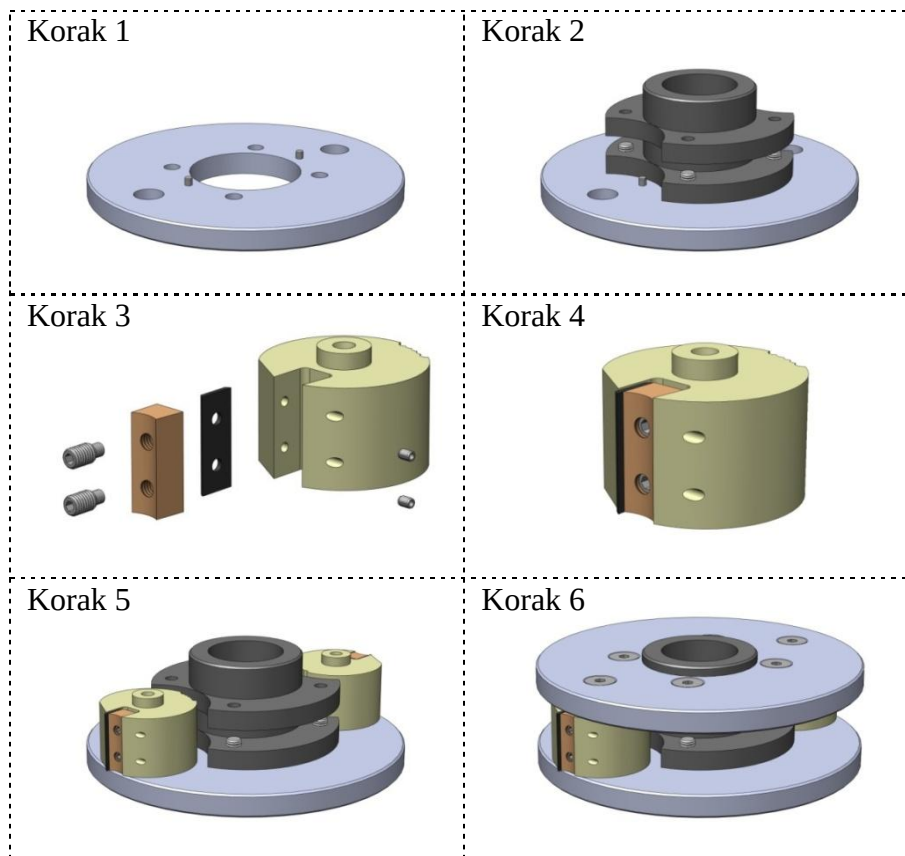
Na sliki 26 lahko nazorno vidimo, kako se z zatiči določa pozicijo vpenjalnih glav. Vidimo lahko tudi posnetje vpenjalne glave, ki je označeno s črko A. To posnetje je bistvenega pomena, kadar spreminjamo prsni kot rezila proti 25 °. Če le-tega ne bi bilo, bi lahko med rezkanjem prišlo do zadevanja vpenjalne glave v obdelovanec.



Slika 26: Skica bistvenih značilnosti orodja

3.2.5.4 Koraki sestavljanja orodja

Preglednica 3: Prikaz korakov sestavljanja eksperimentalnega orodja



3.2.6 Izdelano eksperimentalno orodje

Naše orodje je izdelalo podjetje Iskra na osnovi tehničnega načrta, ki je prikazan v prilogi B. Orodje je bilo narejeno iz jekla in zaščiteno s postopkom bruniranja. To je način protikorozijske zaščite kovin, ki temelji na kemijski spremembi površine kovine z različnimi snovmi. Za razliko od galvanizacije, pri kateri površine kovinskih predmetov s pomočjo elektrolize prevlečemo s tanko plastjo druge kovine, zaradi česar se spremeni mera in druge mehanske lastnosti kovinskega predmeta, je bruniranje celostna zaščita. Pri tem postopku tako ni dodatnega nanosa na obdelovanec, zaradi česar ne pride do sprememb dimenzij predmeta. Predmet po obdelavi tudi ne izgubi površinske trdote. Bruniranje se lahko izvaja le na negalvaniziranih predmetih, obdelovanec pa po postopku postane značilno črne barve, ki ne odbija svetlobe. Dodatna prednost bruniranja pred galvaniziranjem je, da lahko brunirane dele brez vnaprejšnje priprave varimo, pri tem pa ne nastajajo strupeni plini. Ta postopek se uporablja pri zaščiti strojnih delov, rezilnih in strojnih orodij, avtomobilskih delov, ležajev, vzmeti, pohištenih delov itd. V nadaljevanju

lahko na slikah 27 do 30 vidimo, kako zgleda naše eksperimentalno orodje, zaščiteno po temu postopku.



Slika 27: Vpenjalna glava – pogled na pozicionirne žlebove



Slika 29: Vpenjalna glava – pogled na vpenjalni sistem z zagozdo



Slika 28: Pogled na razstavljeno orodje



Slika 30: Pogled na sestavljeno orodje

3.3 METODE

3.3.1 Rezkanje na miznem rezkalnem stroju

Poizkuse smo opravljali v Laboratoriju za mehanske obdelovalne tehnologije, in sicer na miznem rezkalnem stroju znamke SCM, tipa T130. Podajanje naših obdelovancev je bilo kontinuirano in kontrolirano s podajalno napravo. Na sliki 31 lahko vidimo mizni rezkar in podajalno napravo, na sliki 32 pa eksperimentalno orodje, ki je vpeto na glavno vreteno stroja.



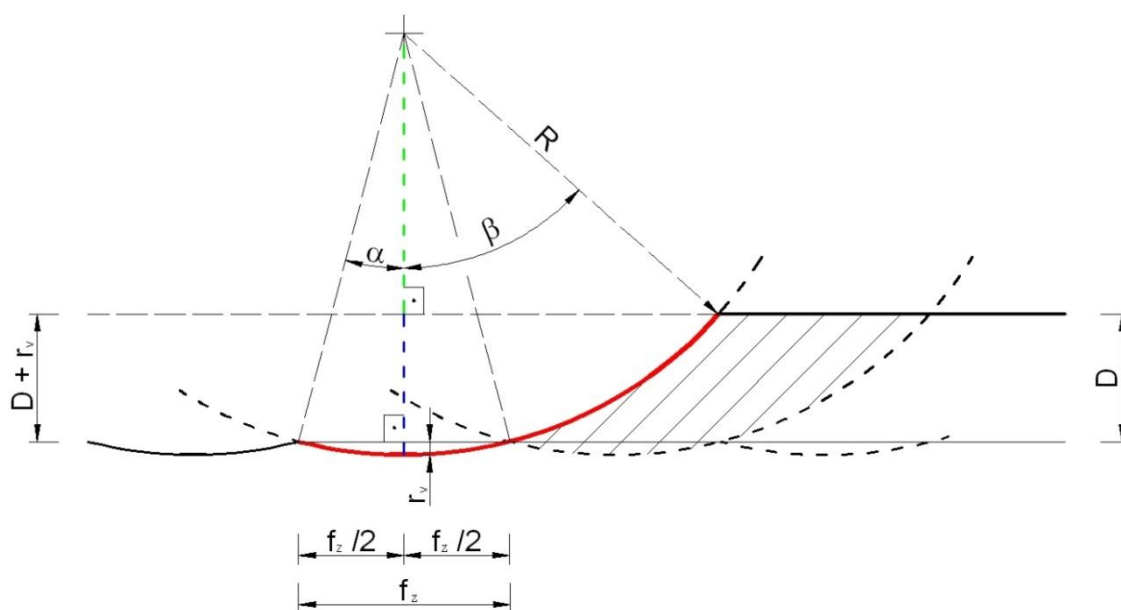
Slika 31: Mizni rezkalni stroj



Slika 32: Eksperimentalno orodje, vpeto na glavno vreteno

3.3.2 Izračun dolžine loka in efektivne poti rezila

Efektivna dolžina loka je zelo pomembna, kajti na podlagi te lahko realno ovrednotimo in predstavimo rezultate naših raziskav. Pove nam, kolikšno razdaljo napravi rezilo skozi obdelovanec, ko spustimo obdelovanec skozi stroj. Na vsaki dolžini vala f_z nastane efektivna rezalna pot, ki je na sliki 33 obarvana v rdečo barvo.



Slika 33: Prikaz dolžine loka, po kateri potuje konica rezila in odrezuje lesno tkivo

Do efektivne dolžine loka pridemo po matematičnem postopku, ki je v nadaljevanju tudi prikazan. Najprej izračunamo podajanje na rezilo.

Enačba za izračun podajanja na rezilo (f_z).

$$f_z = \frac{v_p \times 1000}{n \times z} \quad \dots (2)$$

f_z je podajanje na rezilo, v_p podajalna hitrost obdelovanca v m/min, n število vrtljajev glavnega vretena v min^{-1} in z število zob na obdelovalnem orodju. Ker podajamo podajalno hitrost v m/min, jo moramo pomnožiti s 1000, da dobimo milimetre in tako pravilen rezultat v milimetrih. Če hočemo izračunati kot α in β , moramo najprej izračunati vrednost globino vala r_v .

$$r_v = R - \sqrt{R^2 - \left(\frac{f_z}{2}\right)^2} \quad \dots (3)$$

Kot α izračunamo po enačbi (4).

$$\tan \alpha = \frac{\frac{f_z}{2}}{R - r_v} \quad \dots (4)$$

In kot β po enačbi (5).

$$\cos \beta = \frac{R - (D + r_v)}{R} \quad \dots (5)$$

Dolžino loka izračunamo po enačbi (6).

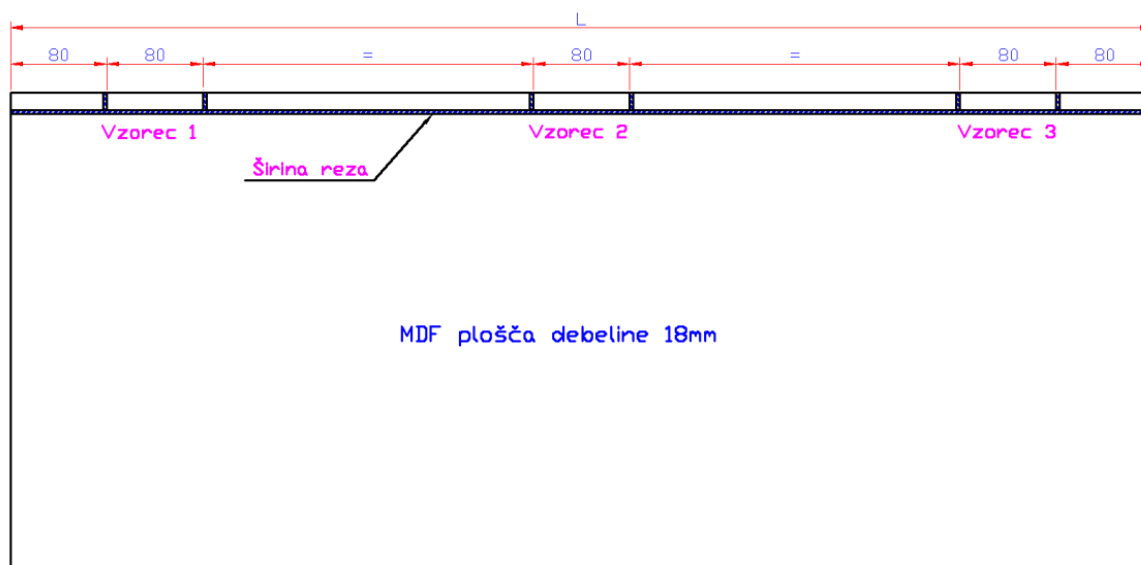
$$\hat{l} = \frac{2\pi R \times (\alpha + \beta)}{360^\circ} \quad \dots (6)$$

Izračun efektivne poti (L_{ef}), ki jo naredi rezilo po lesu, ob enem prehodu obdelovanca skozi stroj, tako zapišemo z enačbo (7).

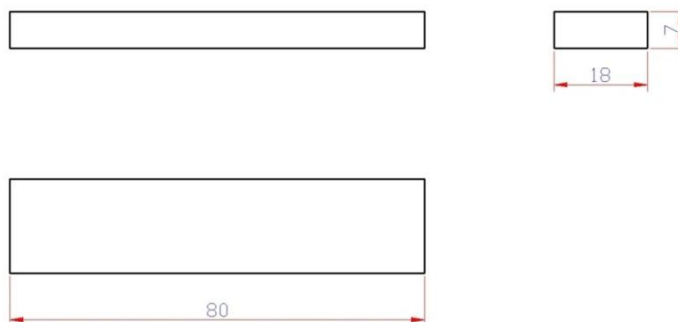
$$L_{ef} = \frac{L}{f_z} \times \hat{l} \quad \dots (7)$$

3.3.3 Priprava vzorcev

Vzorci za določitev hrapavosti MDF plošč smo pripravili, kot je shematsko prikazano na sliki 34. Iz plošče dolžine L smo vzeli tri vzorce na robu plošče, kjer so bili opravljeni poizkusi z našim eksperimentalnim orodjem. Vzorce (slika 35) smo označili, jih pregledali z napravo za merjenje hrapavosti in analizirali rezultate.

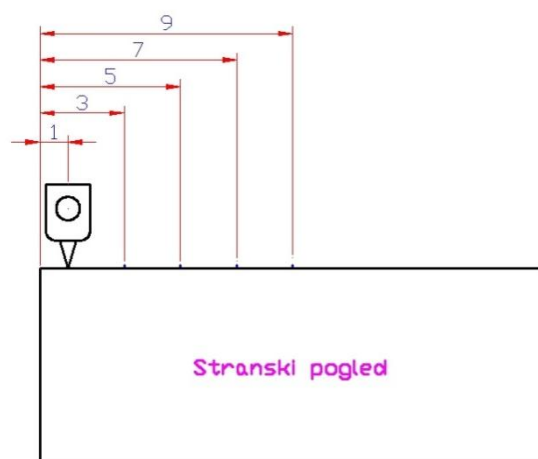


Slika 34: Jemanje vzorcev iz plošče



Slika 35: Vzorec za določitev hrapavosti površine in njegove dimenzije

Slika 36 prikazuje pozicije opravljanja meritev hrapavosti površine vzorčne MDF plošče.



Slika 36: Stranski pogled na vzorec in pozicije merjenja hrapavosti površine

3.3.4 Merjenje hrapavosti

Kadar govorimo o obliki površine, mislimo praviloma na njeno mikrogeometrijo, v nasprotju z makrogeometrijo, ki se nanaša na obliko teles. Največkrat pri tem obravnavamo njeno hrapavost in valovitost, vendar pri površini naletimo tudi na poškodbe, kot so na primer razpoke, raze in globeli zaradi udarcev. Hrapavosti in valovitosti ne moremo zadovoljivo ugotoviti s prostim vidom. Za ugotavljanje hrapavosti in valovitosti obstajajo posebni postopki merjenja, ki so predpisani s standardi.

Kot hrapavost označujemo naključno nastopajoče odstopke od idealne površine, ki jih lahko vsaj približno prikažemo kot zelo kratke valove. Najpomembnejše veličine za določanje hrapavosti so:

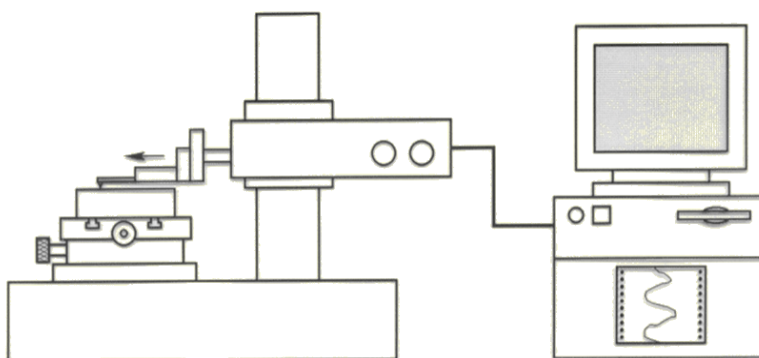
- R_z srednja višina neravnin,
- R_{max} največja globina hrapavosti,
- R_a srednje odstopanje profila,
- R_q kvadratična srednja hrapavost in
- R_p globina zaglajevanja.

V novejšem času so v rabi skoraj izključno načini, pri katerih merilnik površino otipava z zelo konično iglo. Informacija, ki jo dobi pri otipavanju z iglo, je močno odvisna od zaobljenosti njene konice. Problem pojasnjuje slika 37, vendar pa se v praksi izmerjeni profil kljub temu le malo razlikuje od dejanskega profila.



Slika 37: Igla sledi le nepopolni obliki površine

Na sliki 38 je poenostavljeno narisana zelo pogosta izvedba merilnika hrapavosti. Pri novejših merilnikih je mogoče z elektroniko izbrati, ali naj bo rezultat celotni profil, samo hrapavost ali samo valovitost.



Slika 38: Shematski prikaz sodobnega merilnika površine

Naše vzorce smo pregledovali z napravo za merjenje hrapavosti proizvajalca Mitutoyo, in sicer model SJ-301 (slika 39). Naprava ima ekran, tipke za nastavljanje parametrov pregledovanja površine, sistem za izris profila in izpis parametrov hrapavosti ter tipalno enoto, ki linijsko meri profil hrapavosti površine.



Slika 39: Naprava Mitutoyo SJ-301 za merjenje hrapavosti površine

Priprava (slika 40) nam je služila kot pripomoček pri izvajanju meritev hrapavosti površine na vzorcih iz MDF plošč. Na sliki vidimo dvizžno mizico, na kateri je tipalna enota za merjenje hrapavosti. Mizico dvigujemo po višini in z njo grobo balansiramo različne višine vzorcev. Na drugi mizici je vpet vzorec, kateremu smo linijsko pregledovali hrapavost površine. Preglede smo vršili 1 mm, 3 mm, 5 mm, 7 mm in 9 mm od roba vzorca (slika 36) v dolžini 8 mm. Za nastavitev natančne pozicije meritve smo si pomagali z mizico, ki smo jo lahko pomikali levo in desno po vodilih, in merilno urico, ki nam je kazala položaj merilne igle od roba vzorca.



Slika 40: Priprava za nastavljanje pozicije meritve hrapavosti površine

3.3.5 Mikroskopsko slikanje obrabe rezalnega robu

Poleg ugotavljanja kvalitete površine z merilnikom za merjenje hrapavosti površin smo pregledovali tudi obrabo rezalnega roba na rezilu. Ker s prostim očesom obrabe rezalnega robu nismo zaznali, smo rezila pregledali najprej pod lupo (slika 41) in nato pod mikroskopom (slika 42). Na lupo smo namestili kamero, ki nam je omogočala izdelavo digitalnih slik. Mikroskop znamke Olympus smo uporabili za ogled rezalnega robu, cepilne ploskve in proste ploskve v različnih povečavah.



Slika 41: Lupa, na katero smo namestili kamero



Slika 42: Mikroskop Olympus

Da smo si lahko ogledali prosto ploskev, smo morali narediti pripomoček (slika 43), ki je rezilo držal v taki poziciji, da je bila prosta ploskev v vodoravnem položaju glede na mikroskop. Svetloba, ki jo je nudil mikroskop, ni bila zadostna, zato smo si pomagali z zunanjim virom svetlobe, ki smo ga usmerili na opazovano mesto na rezilu. Napravo, ki nam je omogočala dodatno svetlobo, lahko vidimo na sliki 42 v spodnjem levem kotu. Nudila je regulacijo moči svetlobe tako, da smo lahko optimalno nastavili osvetljenost noža.



Slika 43: Priprava za opazovanje proste ploskve noža

4 REZULTATI

4.1 REZULTATI PRELIMINARNIH POIZKUSOV

Preliminarni poizkusi so bistvenega pomena za kasnejše poizkuse in študije. Rezultati teh raziskav so v veliki meri indikativnega značaja in nam pokažejo, ali smo na pravi poti ali ne.

4.1.1 Preliminarni poizkusi spremljanja hrapavosti glede na spremembo geometrije orodja

Poizkuse smo izvedli na miznem rezkalnem stroju z namensko izdelanim orodjem. Rezkali smo robove MDF plošč pri različnih prsni kotih. Hitrosti podajanja in števila vrtljajev vretena nismo spreminjali. Ugotavljali smo, kaj se dogaja s površinsko hrapavostjo pri različni geometriji orodja. Naši tehnološki podatki so bili sledeči:

$$v_p = 11 \text{ m/min}$$

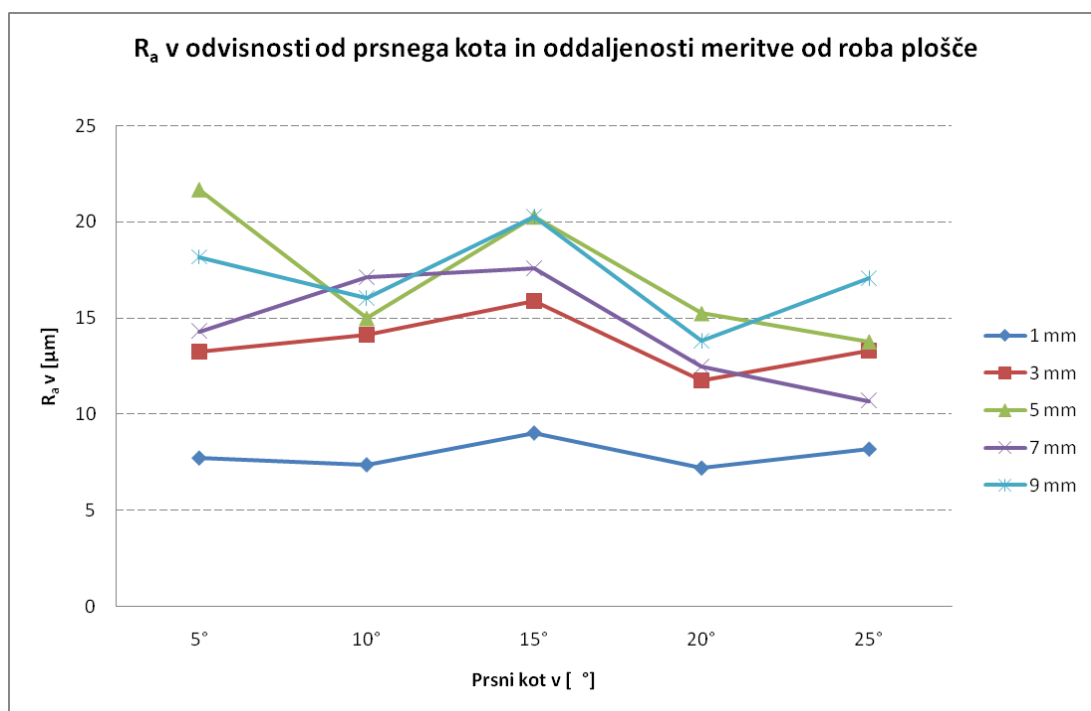
$$n = 4500 \text{ min}^{-1}$$

$$D = 1 \text{ mm}$$

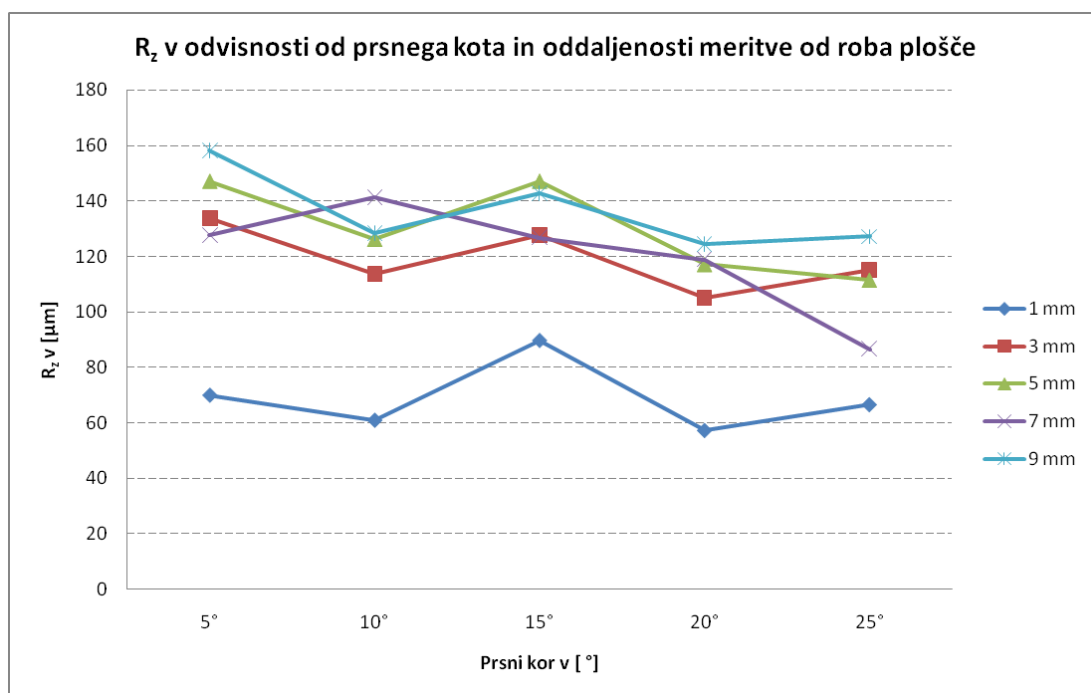
Po enačbi (2) smo izračunali podajanje na zob f_z , pri čemer smo upoštevali, da režeta dve rezili.

$$f_z = 1,22 \text{ mm}$$

Za pregled površin smo iz roba plošče vzeli samo en vzorec iz sredine. Pregledali smo hrapavost površine po standardu DIN 4768 in ISO 4287/1 pri različnih prsnih kotih in na mestih od roba, kot kaže slika 36. Rezultati hrapavosti površine so prikazani z osnovnimi parametri hrapavosti R_a in R_z na slikah 44 in 45 ter podrobneje v prilogi C.



Slika 44: Prikaz aritmetične srednje hrapavosti v odvisnosti od prsnega kota pri preliminarnih poizkusih

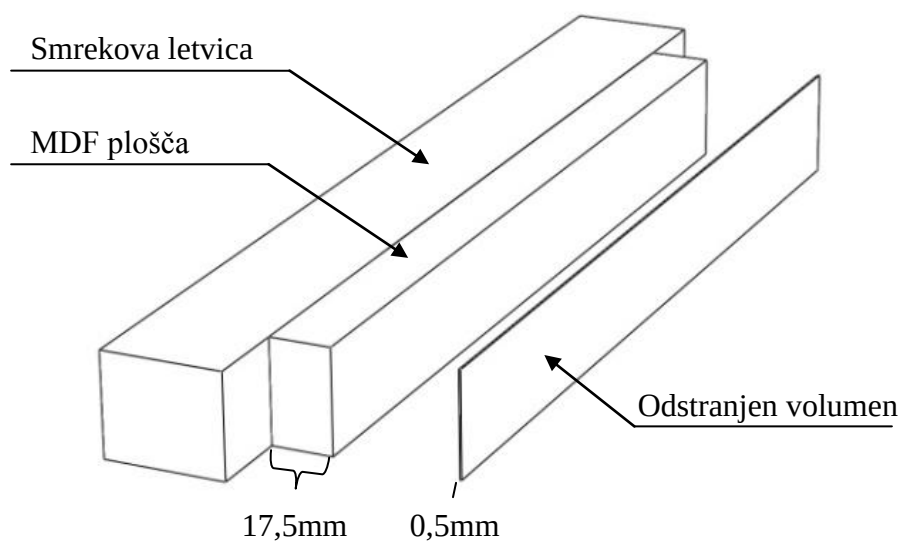


Slika 45: Prikaz povprečne globine hrapavosti v odvisnosti od prsnega kota pri preliminarnih poizkusih

Srednja višina neravnin ter srednje odstopanje profila nam nista podala nobenih signifikantnih rezultatov. Na grafih lahko vidimo, da je zaznavanje hrapavosti povprečne vrednosti hrapavosti sorodno s povprečno globino hrapavosti. Iz nizov meritev izstopa tista, ki je bila narejena 1 mm od roba plošče. To lahko razložimo z gostotnim profilom plošče, kajti na robu je gostota večja kot v notranjosti in tako je tudi kvaliteta obdelane površine tam boljša. Da bi razložili nihanja hrapavosti v notranjosti, smo izmerili gostotni profil plošč.

4.1.2 Gostotni profil MDF plošče

Da bi razložili nihanja v meritvah kvalitete obdelane površine robu, smo določili, kakšen je gostotni profil MDF plošče. Za določevanje gostotnega profila smo si pomagali s postopnim odvzemom in tehtanjem. Vzorčne kose MDF plošč dimenzij 240 x 30 x 18 mm smo prilepili na osnovno podlago (smrekove letvice). S postopnim odvzemom smo odstranjevali 0,5 mm po debelini plošče, dokler nismo ves kos MDF plošče predelali v žagovino. Zlepljene kose smo stekali na začetku in po vsakem rezu. Zapisovali smo si težo in izgubo v mm po debelini plošče. Glede na vsakokratno izgubo mase in izgubo debeline smo izračunali izgubljen volumen in gostoto le-tega. Tako smo po vsakem rezu dobili gostoto odvzetega materiala in na koncu gostotni profil. Shematski prikaz postopka je prikazan na sliki 46, na sliki 47 pa so prikazani že porezani vzorčni kosi.

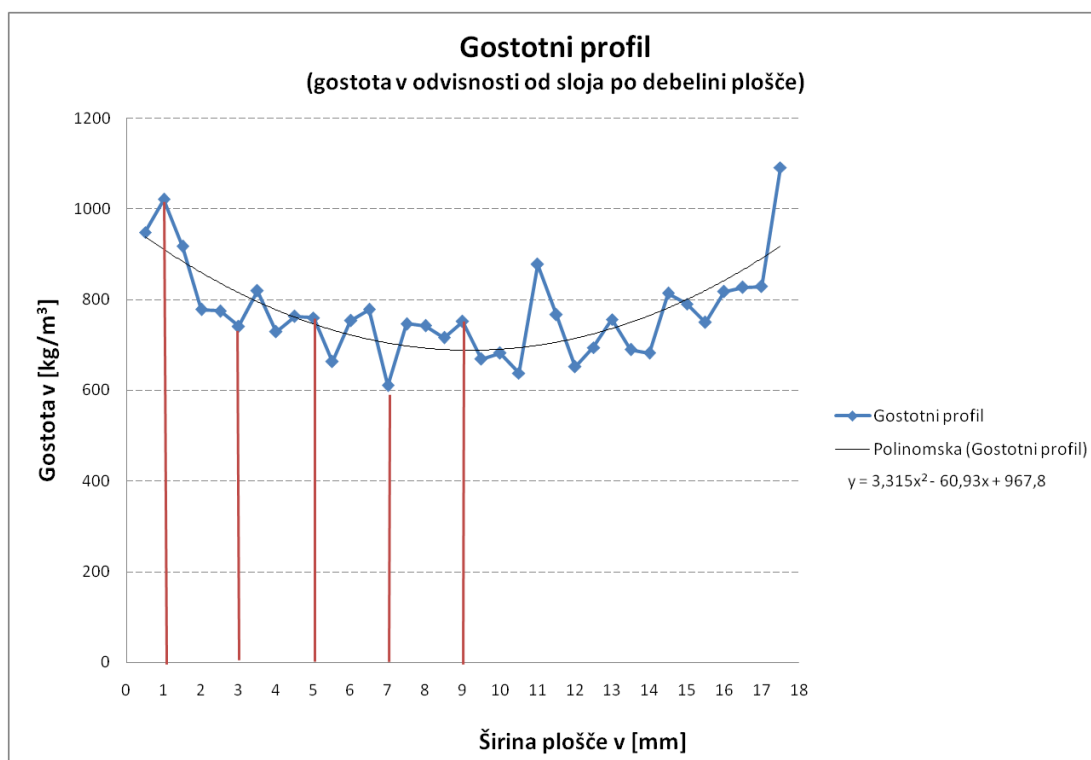


Slika 46: Shematski prikaz vzorca za določanje gostotnega profila



Slika 47: Prikaz že porezanih vzorcev za merjenje gostotnega profila

Podatke, pridobljene po opisani metodi, smo računalniško obdelali in tako dobili graf na sliki 48, ki prikazuje gostotni profil MDF plošče po debelini le-te.



Slika 48: Prikaz povprečnega gostotnega profila po debelini MDF plošče

Iz tega grafa je razvidno, da se gostota spreminja tudi v notranjosti plošče. Tako lahko sklepamo, da se hrapavost površine ravno tako lahko spreminja s spreminjanjem gostote. Vertikalne črte na grafu označujejo mesta, kjer smo opravljali meritve hrapavosti. Razvidno je, da je gostota pri posameznih meritvah različna. S tem pogledom lahko razložimo raztresenost podatkov o hrapavosti površine v grafih na slikah 44 in 45. Iz dosedanjih raziskav smo ugotovili, da ima višja gostota vlaknenih plošč bolj pozitiven učinek na hrapavost površine kot nižja.

4.1.3 Preliminarni poizkusi ugotavljanja obrabe rezil preko površine

Preliminarne poizkuse za ugotavljanje obrabe našega orodja smo zastavili sledeče. Obrabo smo skušali ugotoviti posredno tako, da smo na določeni razdalji učinkovite obdelave iz roba plošče na sredini izrezali vzorec in mu pregledali hrapavost površine na petih pozicijah. Povezavo med obrabo in hrapavostjo bi lahko interpretirali na način: večja hrapavost večja obraba. Da bi povečali vpliv obrabe, smo na eksperimentalnem orodju eno rezilo potisnili navznoter, drugo pa potegnili ven. S tem smo zagotovili, da je rezilo, ki je bilo potegnjeno navzven, naredilo večjo učinkovito dolžino odrezovanja kot drugo rezilo. Ta način priprave geometrije orodja je imel za posledico večjo obrabo enega rezila in posledično hitrejši efekt naraščanja hrapavosti obdelane površine. Za ta poizkus smo imeli

vzorci MDF plošč dolžine 950 mm. Po enačbi 2 smo izračunali f_z , ki je znašal 2,44 mm. Pri izračunu smo upoštevali hitrost vretena 4500 min^{-1} , podajalno hitrost 11 m/min in število nožev 1. Za izračun efektivne poti rezila smo upoštevali enačbe 4, 5, 6 in 7. Iz enačbe 4 in 5 smo izračunali oba kota in ju uporabili v enačbi 6 za izračun dolžine loka. Z enačbo 7 smo izračunali, da en prehod vzorca dolžine 950 mm pomeni 5934 mm efektivne poti rezila. Dogovorili smo se, da vzorce za obrabo naredimo vsakih 50 m do 200 m efektivne poti rezila, nato pa do 500 m v razmaku 100 m. Z enostavnim izračunom, ki je prikazan spodaj, smo izračunali, kolikokrat je potrebno spustiti kos MDF plošče skozi stroj za dosego petdesetih oz. stotih metrov efektivne poti rezila.

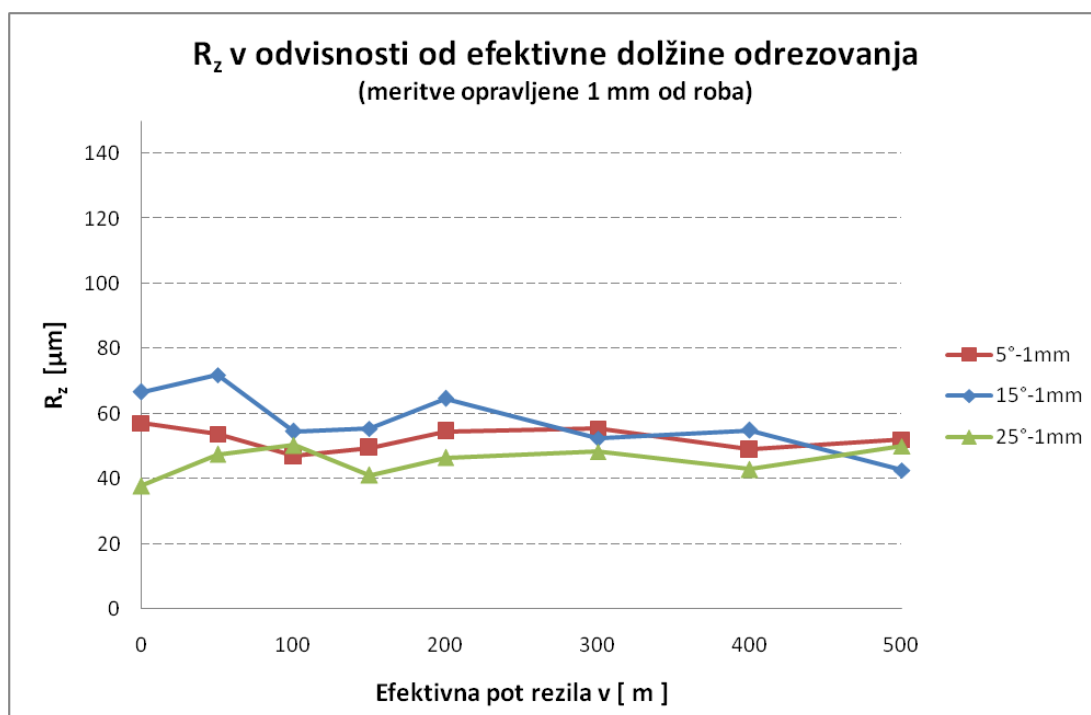
$$\text{Število prehodov za 50m efektivne dolžine odrezovanja} = \frac{50000}{5934} = 8,43 \Rightarrow 9 \times$$

$$\text{Število prehodov za 100m efektivne dolžine odrezovanja} = \frac{100000}{5934} = 16,85 \Rightarrow 17 \times$$

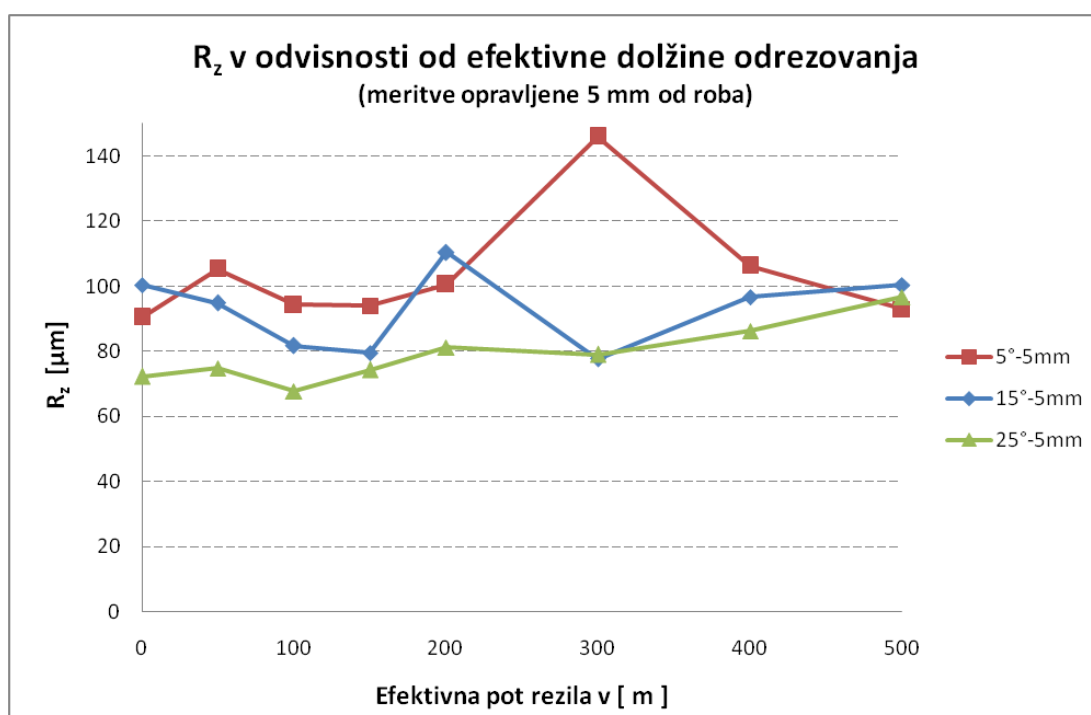
Preglednica 4: Osnovni podatki o geometriji orodja in tehnoloških parametrih pri preliminarnih poizkusih obrabe rezila

Preliminarni poizkusi obrabe rezila				
Prsni kot	Odvzem D	Podajalna hitrost	Odstopanje rezil od rezalne krožnice	Koničnost po višini rezil
5 °	1 mm	11 m/min	0,63 mm	0,04 mm
15 °	1 mm	11 m/min	0,92 mm	0,06 mm
25 °	1 mm	11 m/min	0,46 mm	0,07 mm

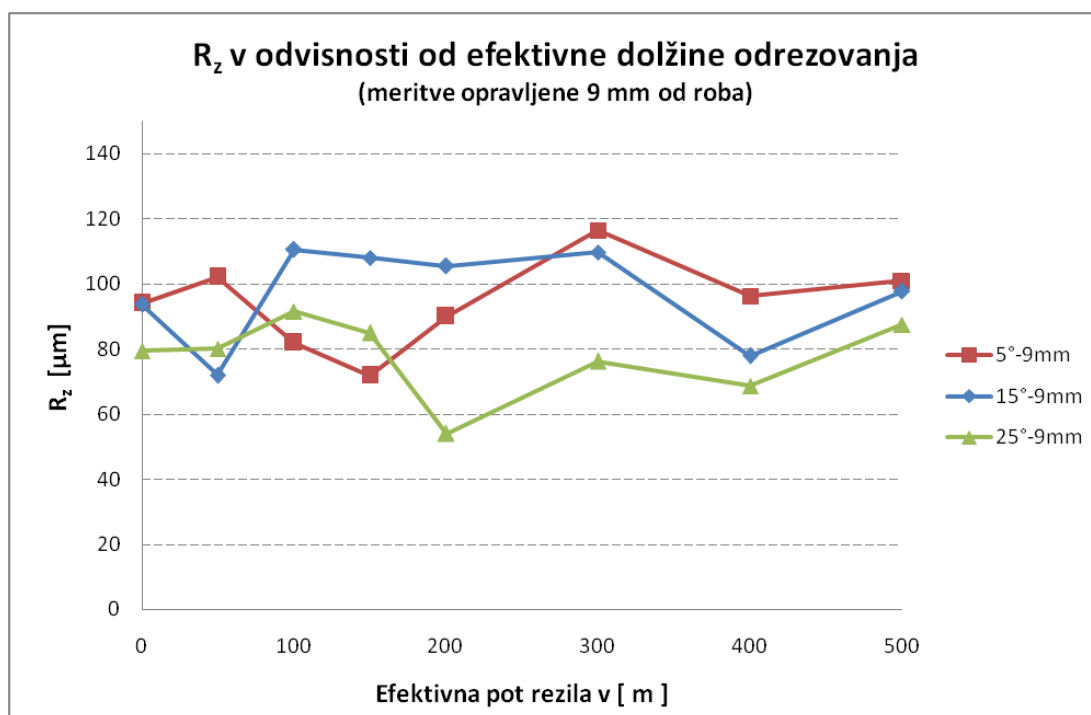
V preglednici 4 so prikazani podatki o geometriji orodja in tehnološki parametri, ki smo jih uporabljali pri izdelavi naših vzorcev.



Slika 49: R_z v odvisnosti od efektivne obdelave pri meritvah 1 mm od roba



Slika 50: R_z v odvisnosti od efektivne obdelave pri meritvah 5 mm od roba

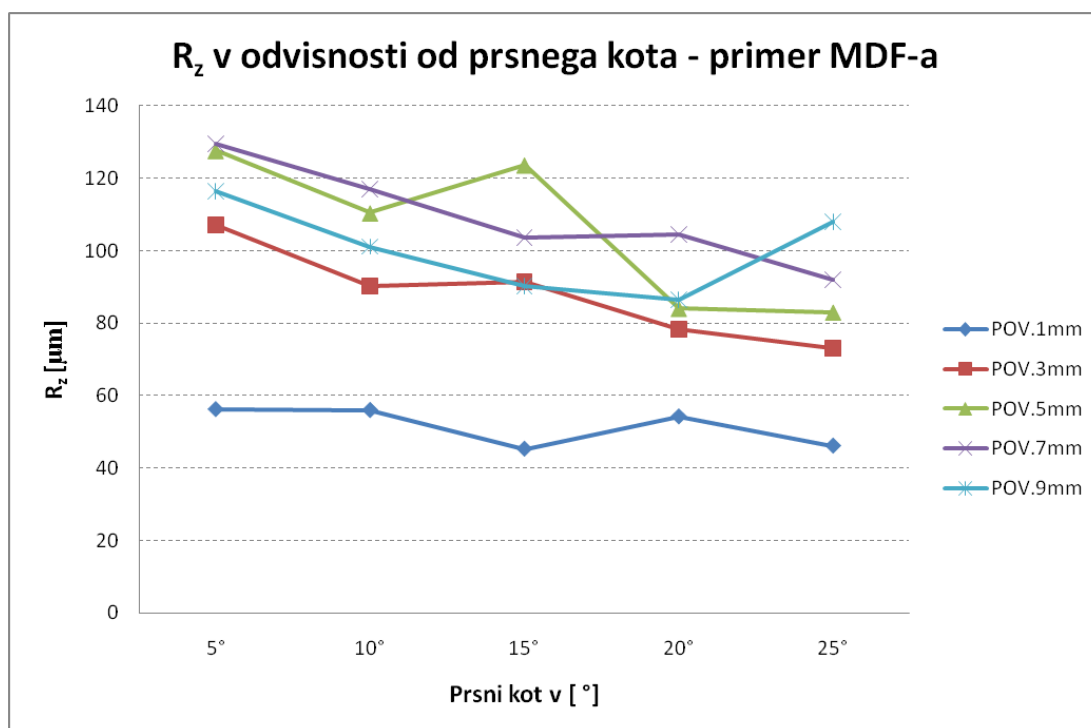


Slika 51: R_z v odvisnosti od efektivne obdelave pri meritvah 9 mm od roba

Tudi preliminarni poizkusi obrabe rezil pri različni geometriji orodja nam niso dali zadovoljivih rezultatov. Kot indikator hrapavosti smo si izbrali srednjo globino hrapavosti R_z , vendar pri efektivni obdelavi 500 m nismo zasledili nobenih izrazitih sprememb v kvaliteti površine. V prilogi D pa je prikazan še indikator R_a .

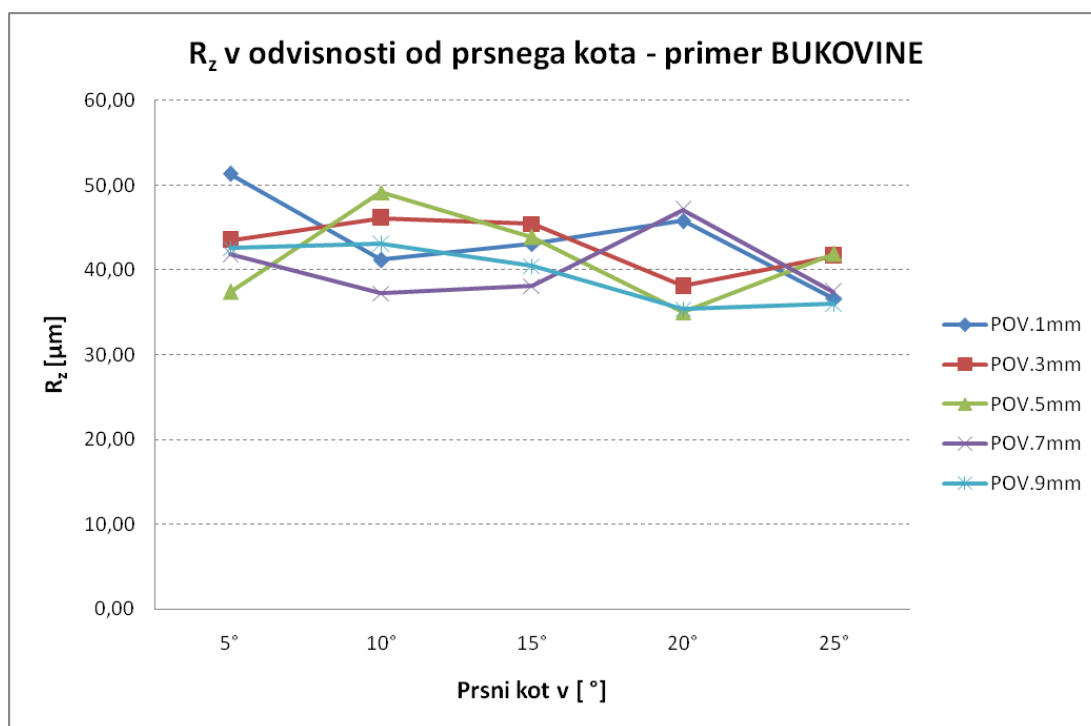
4.2 PRIMERJAVA HRAPAVOSTI POVRŠINE BUKOVINE IN MDF PLOŠČ GLEDE NA SPREMEMBO GEOMETRIJE ORODJA

Ker preliminarni poizkusi spremljanja hrapavosti glede na spremembo geometrije orodja niso pokazali bistvenih razlik v kvaliteti površine, smo se odločili, da naredimo primerjalni poizkus. Primerjali smo, kaj se dogaja s površino pri bukovini (*Fagus sylvatica*) in MDF plošči, ko spreminjamo prsne kote. Da bi dobili bolj regularne rezultate o hrapavosti površin, smo iz obdelanih robov MDF plošče ponovno vzeli tri vzorce (slika 34) za pregled površin z merilnikom hrapavosti Mitutoyo SJ-301. Meritve smo opravljali po standardu ISO 4287/1 na petih mestih od robu plošče, kot je prikazano na sliki 36. Rezultati meritev so prikazani na sliki 52 in 53, ter podrobneje v prilogi E.



Slika 52: R_z v odvisnosti od spremembe prsnega kota v primeru MDF plošče

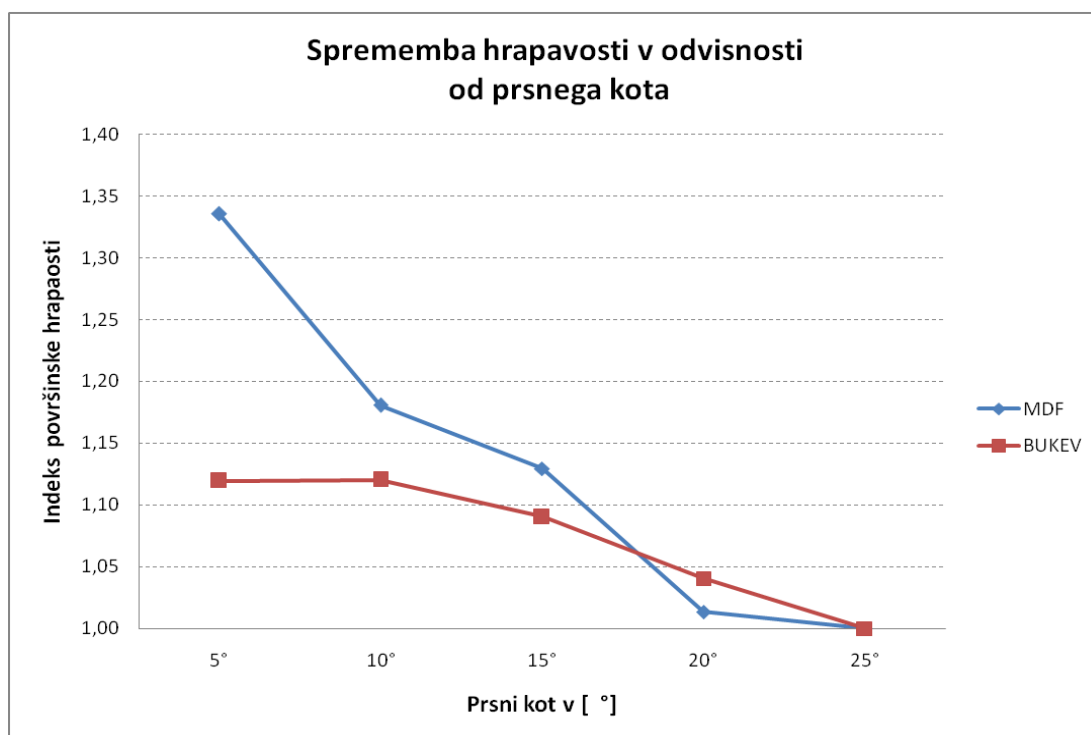
Graf na sliki 52 prikazuje R_z v odvisnosti od prsnega kota v primeru MDF plošče. Pri meritvah, opravljenih v sredini plošče, se opazi trend padanja povprečne globine hrapavosti, ko prsni kot narašča proti petindvajsetim stopinjam. Torej se kvaliteta površine izboljšuje z naraščanjem prsnega kota rezanja. Pri meritvi, opravljeni 1 mm od roba plošče, kjer je gostota višja, ta trend ni tako opazen. Kvaliteta površine pa je pri tej meritvi jasno boljša, kar gre seveda na račun večje gostote.



Slika 53: Srednja višina neravnin v odvisnosti od spremembe prsnega kota v primeru bukovine

Primerjalni poizkusi so pri bukovini pokazali manjšo raztresenost podatkov povprečne globine hrapavosti kot pri MDF ploščah. Razpon hrapavosti je pri MDF-u 80 µm, medtem ko je razpon hrapavosti pri bukovini samo 20 µm. Tako majhen razpon hrapavosti je v glavnem posledica usmerjenosti poteka tkiv. Ravno tako kot pri MDF-u se tudi pri bukovini opazi trend padanja hrapavosti, ko smo povečevali prsni kot.

Da bi imeli boljšo predstavo in da bi lažje primerjali spremembo hrapavosti površine med MDF-om in bukovino, smo izračunali indekse hrapavosti površine in jih grafično prikazali na istem grafu. Indekse hrapavosti površine smo izračunali iz povprečij petih meritev v obeh primerih. Najnižjo vrednost povprečne globine hrapavosti smo delili z isto vrednostjo tako, da smo dobili rezultat 1. Na grafu na sliki 54 je ta točka razvidna pri petindvajsetstopinjskem kotu, kjer je kvaliteta površine najboljša v obeh primerih. Nato smo za vse ostale kote izračunali indekse tako, da smo povprečno globino hrapavosti delili z vrednostjo povprečne globine hrapavosti pri kotu petindvajset stopinj. Tako smo dobili indekse rasti hrapavosti površine (slika 54), ki nam povedo, za kolikšen delež se poveča oz. zmanjša hrapavost površine, če spremenimo prsni kot.



Slika 54: Indeks rasti hrapavosti površine v odvisnosti od spremembe prsnega kota pri primeru MDF-a in bukovine

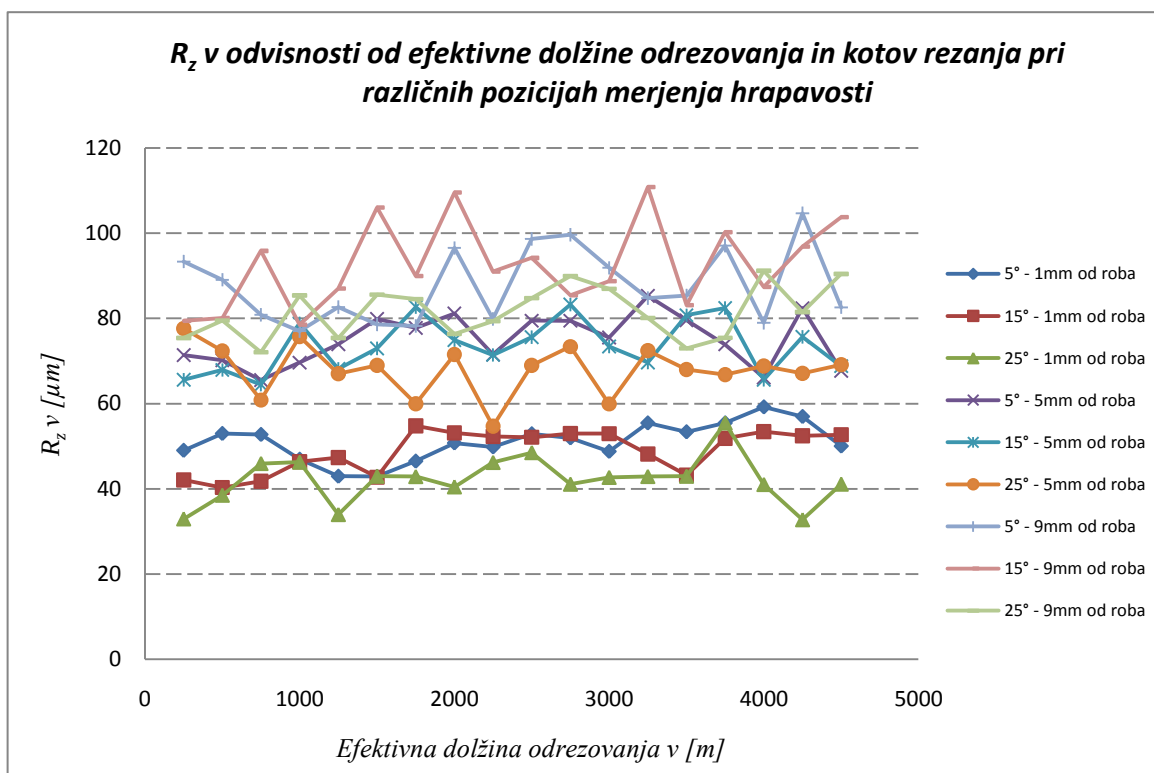
4.3 OBRABA REZIL IN HRAPAVOST POVRŠINE

Preglednica 5: Osnovni podatki o geometriji orodja in tehnoloških parametrih pri poizkusih obrabe rezila

Poizkusi obrabe rezila				
Prsni kot	Odvzem D	Podajalna hitrost	Odstopanje rezil od rezalne krožnice	Koničnost po višini rezil
5 °	1 mm	13 m/min	0,69 mm	0,01 mm
15 °	1 mm	13 m/min	0,48 mm	0,05 mm
25 °	1 mm	13 m/min	0,64 mm	0,04 mm

Prav tako kot pri preliminarinih poizkusih smo si tudi tukaj zabeležili podatke o geometriji orodja in tehnološke podatke, ki smo jih uporabljali pri izdelavi vzorcev za preverjanje obrabe rezila (preglednica 5). Pri teh poizkusih smo uporabljali vzorčne kose MDF plošč dolžine enega metra. Obrabo smo spremljali do 4500 m efektivne dolžine odrezovanja. Iz robu plošč smo izrezovali po tri vzorce za pregled površin na vsakih 250 m efektivne

dolžine odrezovanja. Po enačbah (2,3,4,5,6 in 7), ki smo jih že uporabljali v preliminarinih poizkusih, smo izračunali, efektivno dolžino odrezovanja ki jo naredi rezilo pri enem prehodu obdelovanca skozi stroj. Iz teh izračunov smo določili, da mora plošča dolžine enega metra imeti 47 prehodov skozi stroj, da dobimo 250 m efektivne dolžine odrezovanja. Vzorcem smo zmerili hrapavost površine in podatke grafično prikazali na naslednjem grafu.

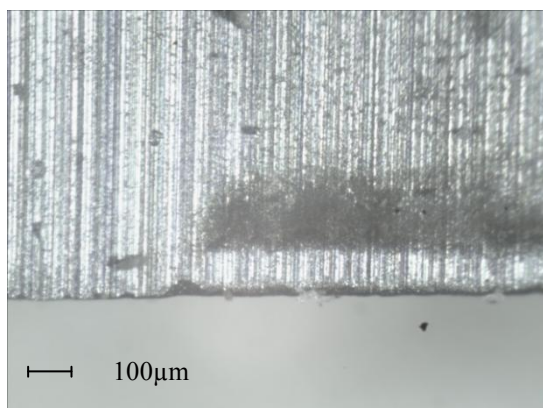


Slika 55: R_z v odvisnosti od efektivne dolžine odrezovanja in kotov rezanja na različnih pozicijah merjenja hrapavosti

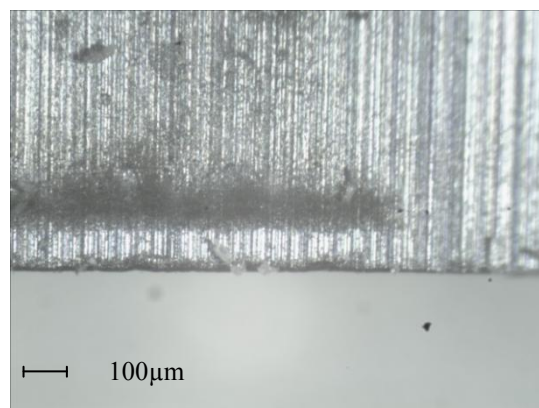
Iz grafa na sliki 55 je lepo razvidno, kako gostota MDF plošče vpliva na kvaliteto obdelane površine. To trditev potrjujejo podatki o hrapavosti površine, ki so bili zabeleženi 1 mm od robu MDF plošče, saj je tu hrapavost najmanjša. Videti je, da prsni kot 25 ° pri meritvah 1 mm od robu plošče izkazuje najnižje vrednosti hrapavosti, medtem ko imata kota 5 ° in 15 ° višjo hrapavost. Najvišjo hrapavost smo izmerili pri meritvi 9 mm od robu, pri petnajstih stopinjah prsnega kota, vendar vrednosti hrapavosti zelo nihajo in se tako v določenih predelih spustijo tudi pod podatke drugih meritev. Povečanje hrapavosti glede na efektivno dolžino odrezovanja ne moremo potrditi pri nobenem prsnem kotu. Potrdimo lahko samo, da imajo različni gostotni pasovi v MDF ploščah večji vpliv na kvaliteto obdelane površine kot pa sama obraba orodja.

4.4 VIDNA OBRABA REZALNEGA ROBU

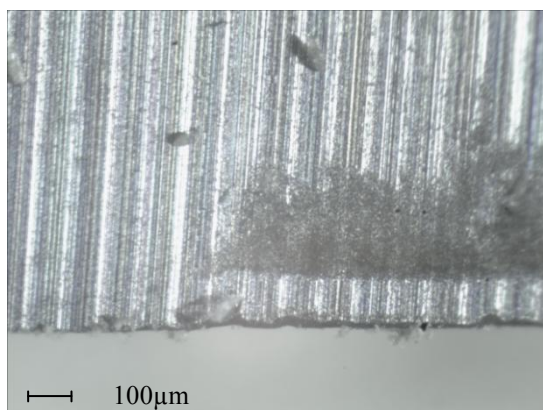
Ker obrabe rezil nismo mogli določiti preko hrapavosti obdelanih površin, smo se odločili, da jo pogledamo pod lupo in mikroskopom. Najprej smo naredili slike s kamero in jih namestili na lupo, kasneje pa smo rezalni rob, prosto in cepilno ploskev pogledali še pod mikroskopom.



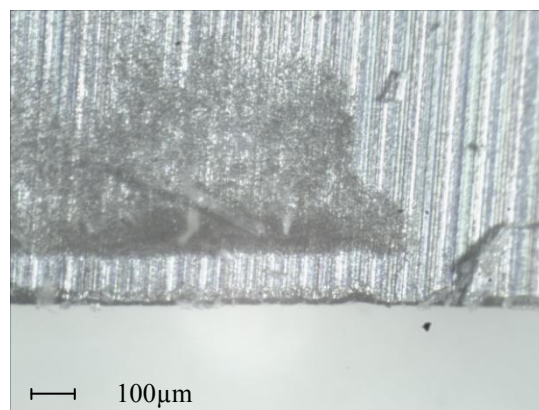
Slika 56: Leva stran proste ploskve pri kotu 5°



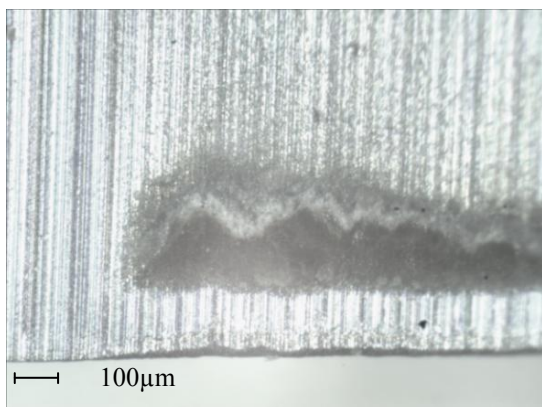
Slika 58: Desna stran proste ploskve pri kotu 5°



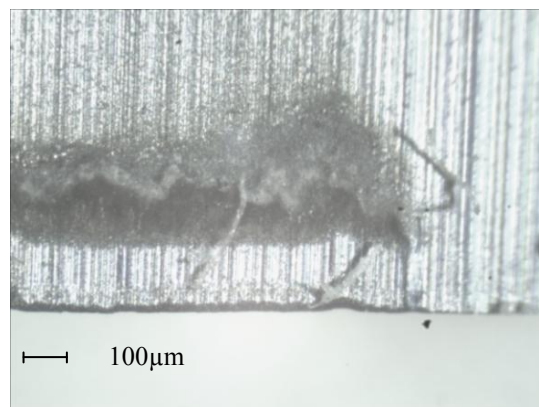
Slika 57: Leva stran proste ploskve pri kotu 15°



Slika 59: Desna stran proste ploskve pri kotu 15°

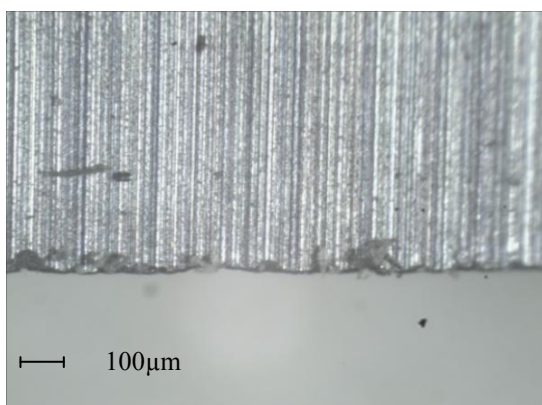


Slika 60: Leva stran proste ploskve pri kotu 25 °

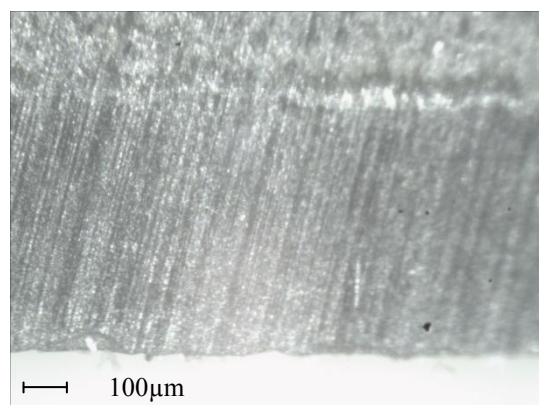


Slika 61: Desna stran proste ploskve pri kotu 25 °

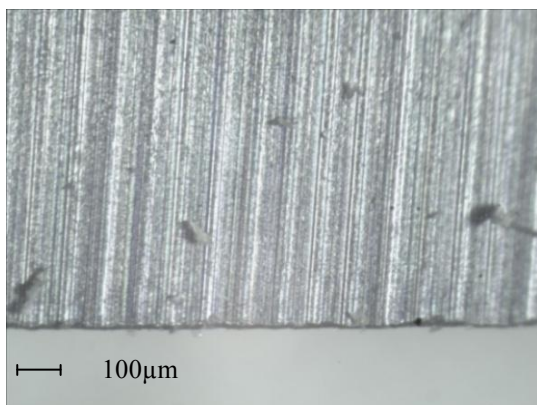
Na slikah 56 do 61 so prikazana področja rezila, na katerih je prišlo do največje obrabe rezalnega robu. To se je seveda zgodilo na območjih, kjer je bilo rezilo v stiku z MDF ploščo, koder ima le-ta najvišjo gostoto. Tako je bila obraba rezila največja pri obdelavi od robu plošče proti notranjosti. Povišano obrabo smo torej zaznali 1 do 1,5 mm od roba, kjer je bilo rezilo v stiku s ploščo. Taka obraba je bila opažena na levi in desni strani rezila.



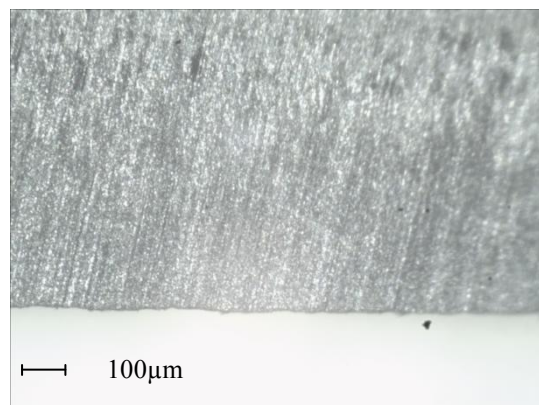
Slika 62: Rezalni rob proste ploskve pri prsnem kotu 5 °



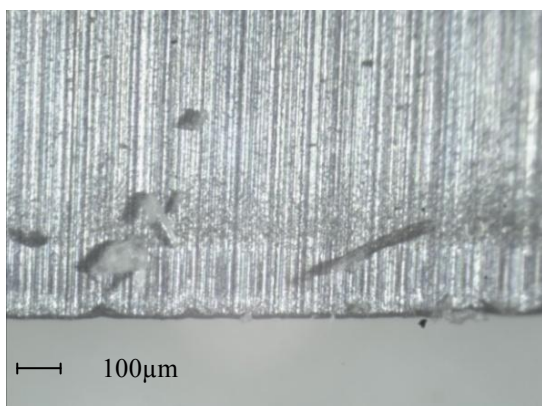
Slika 63: Rezalni rob cepilne ploskve pri prsnem kotu 5 °



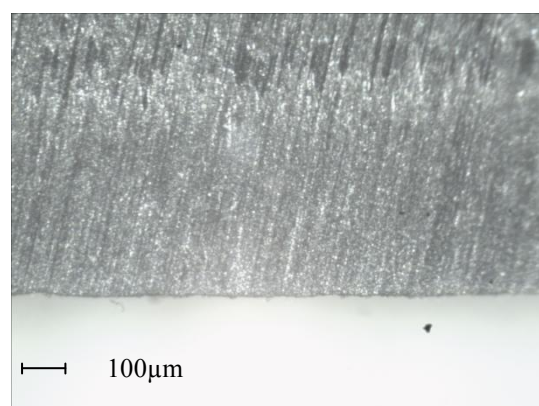
Slika 64: Rezalni rob proste ploskve pri prsnem kotu 15 °



Slika 66: Rezalni rob cepilne ploskve pri prsnem kotu 15 °

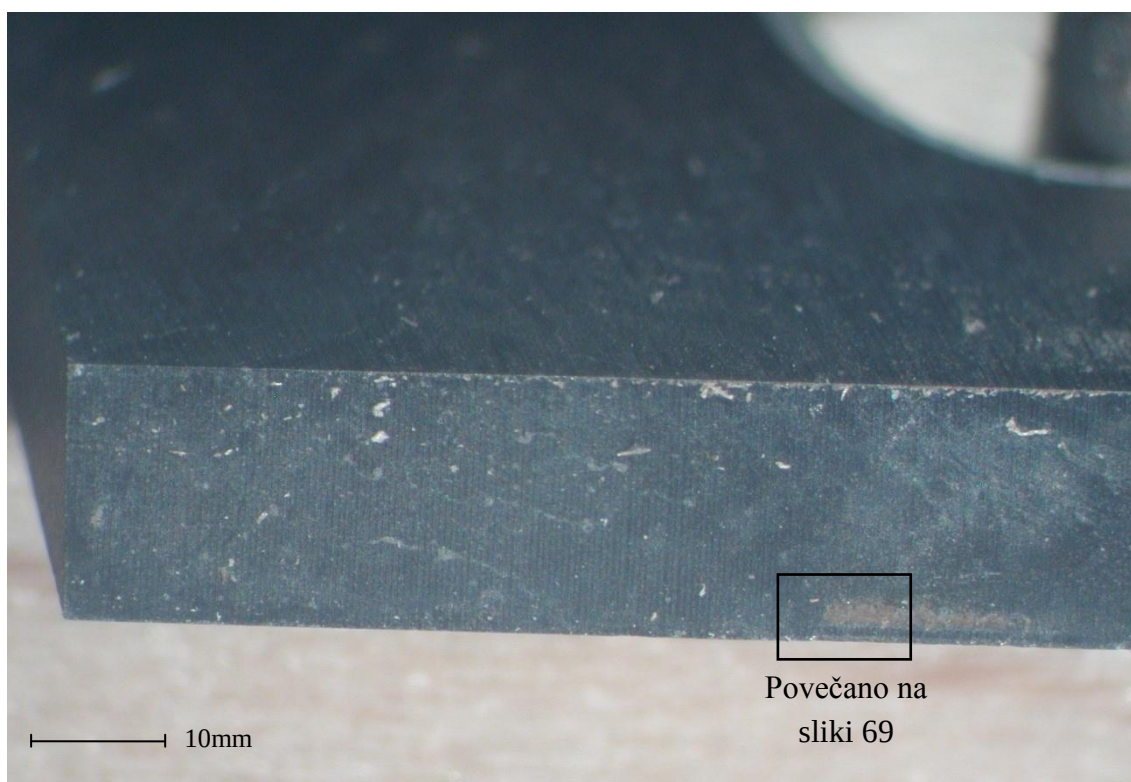


Slika 65: Rezalni rob proste ploskve pri prsnem kotu 25 °

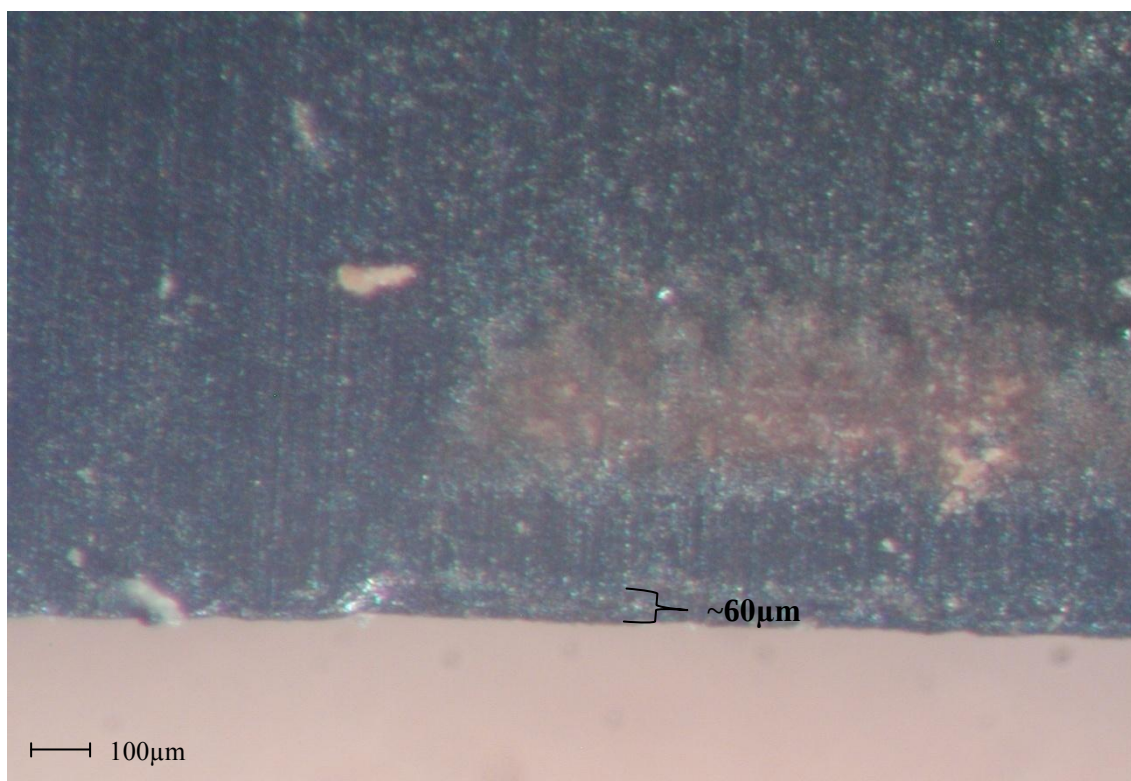


Slika 67: Rezalni rob cepilne ploskve pri prsnem kotu 25 °

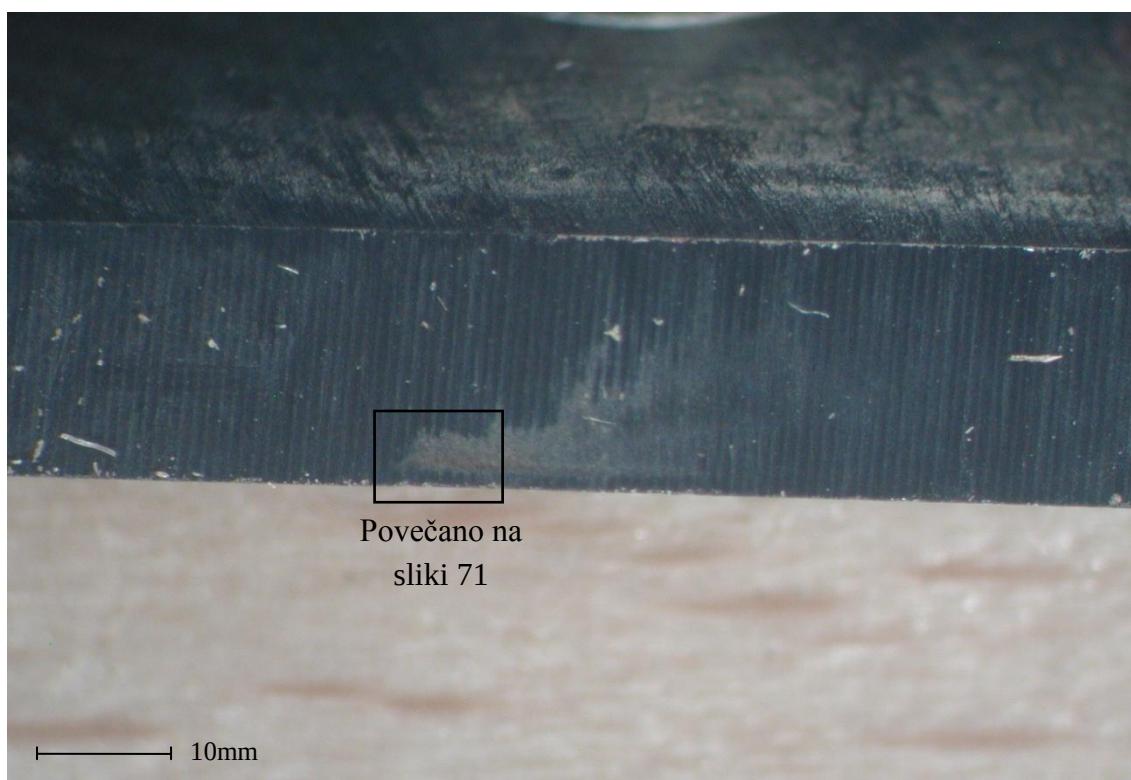
Slike 62 do 67 prikazujejo rezalni rob pri različnih prsnih kotih, ki je rezal nekje na sredini robu MDF plošče. Na levi strani so slike proste ploskve in rezalnega robu, na desni pa je slikana cepilna ploskev in rezalni rob. Iz slik (62, 64 in 65) na prosti ploskvi, je razvidna drugačna obraba rezalnega robu pri različnih prsnih kotih. Pri prsnem kotu 5 ° (slika 62) je opaziti posebno obrabo, ki se jo opazi kot lomljenje posameznih majhnih delcev rezila. Pri večjih kotih pa je vidna navadna otopitev rezalnega robu.



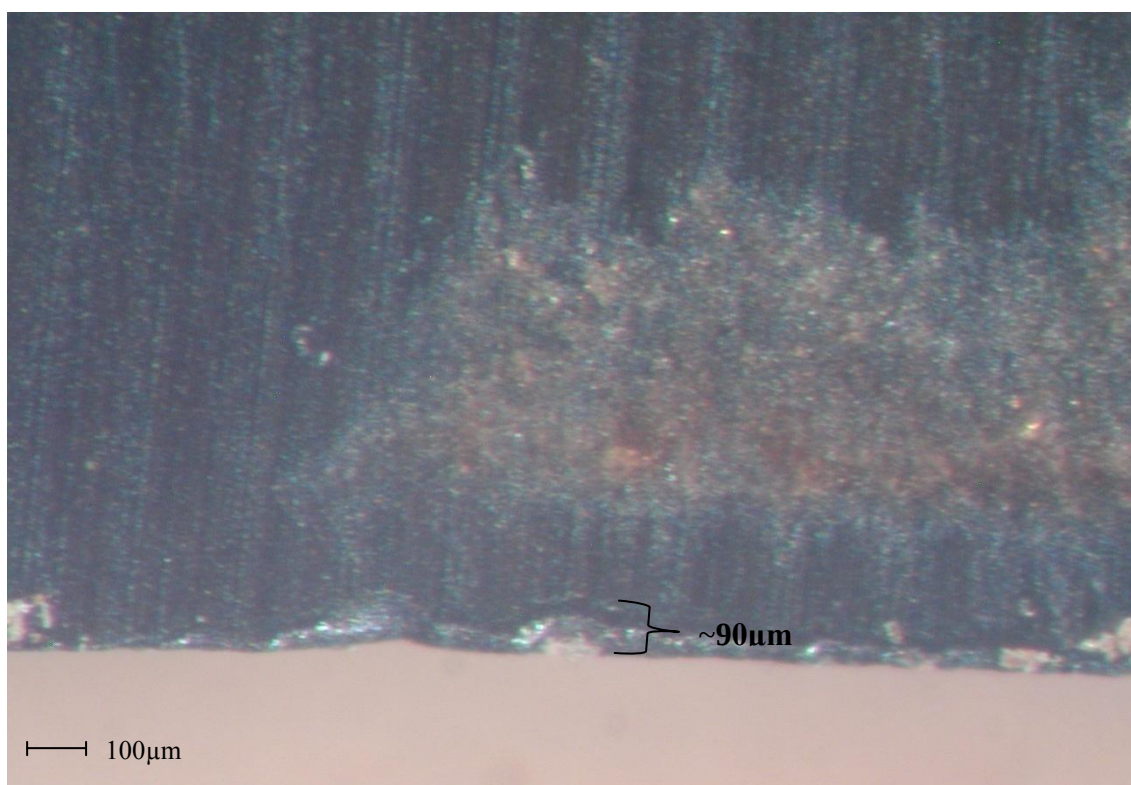
Slika 68: Obraba rezila po 4500 m učinkovite obdelave roba MDF plošče pri prsnem kotu 5 °



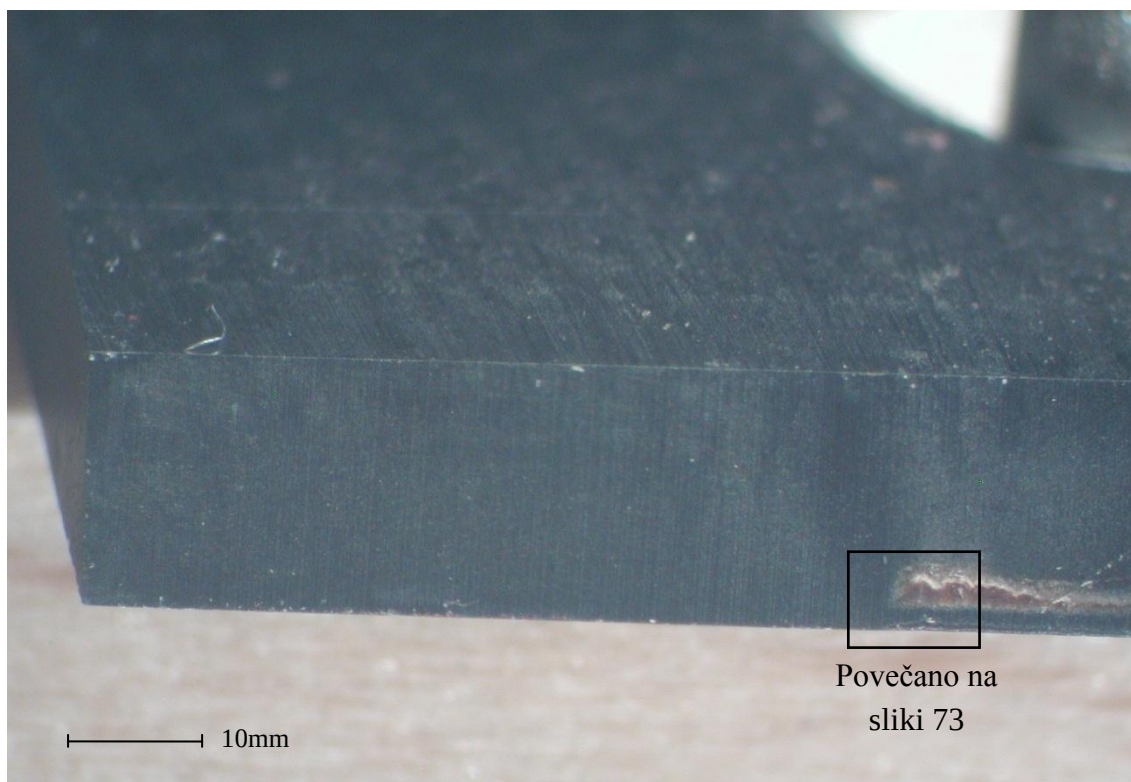
Slika 69: Povečava obrabe pri prsnem kotu 5 ° na mestu, kjer je rezilo rezalo rob MDF plošče



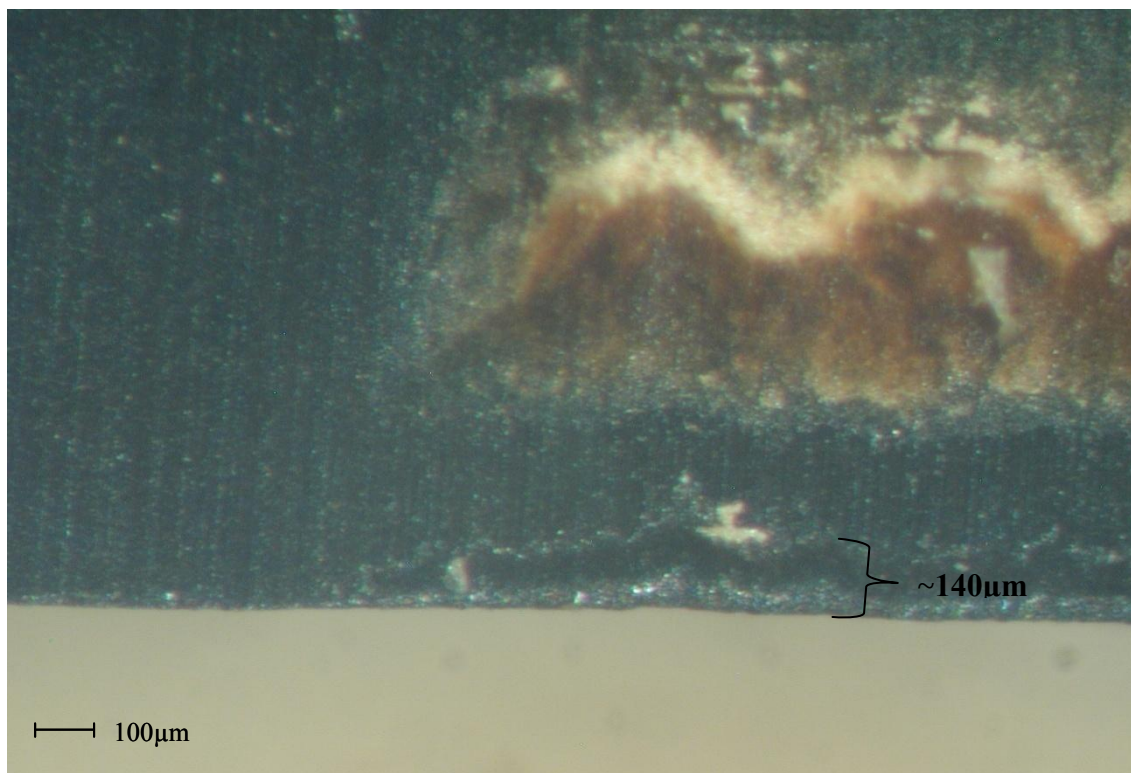
Slika 70: Obraba rezila po 4500 m učinkovite obdelave roba MDF plošče pri prsnem kotu 15 °



Slika 71: Povečava obrabe pri prsnem kotu 15 ° na mestu kjer je rezilo rezalo rob MDF plošče



Slika 72: Obraba rezila po 4500 m učinkovite obdelave roba MDF plošče pri prsnem kotu 25 °



Slika 73: Povečava obrabe pri prsnem kotu 25 ° na mestu, kjer je rezilo rezalo rob MDF plošče

Slike 68 do 73 so bile narejene z mikroskopom Olympus in prikazujejo obrabo rezalnega robu na prosti ploskvi, kjer je ta najbolj vidna. Vidi se, da je otopitev rezalnega robu pri 25° prsnega kota večja kot pri ostalih kotih. Spremembe v notranji strukturi so vidne tudi navzven. Pri prsnem kotu 25° se lepo vidi otopljenost, ki poteka od konice rezila, v notranjost, po prosti ploskvi. Pri prsnem kotu 5° je bila izmerjena sprememba površine ovrednotena na $60\text{ }\mu\text{m}$, pri kotu 15° $90\text{ }\mu\text{m}$ ter pri kotu 25° največja $140\text{ }\mu\text{m}$, kar nam da informacijo o obrabi rezalnega robu.

5 RAZPRAVA IN SKLEPI

Analiza vpliva geometrije obdelovalnega orodja pri obdelavi vlaknatih kompozitov nam je odprla nov pogled na kvaliteto obdelanih površin in obrabo rezalnega robu. Ob tem lahko izpostavimo, da geometrija orodja igra pomembno vlogo pri končni kvaliteti obdelane površine. Direktno pa geometrija vpliva tudi na obrabo rezalnega robu.

Ob pregledu literature o hrapavosti smo prišli do informacij, da je gostota vlaknatih kompozitov bistvenega pomena pri razvoju hrapavosti površine (Aguilera in sod, 2000). To trditev lahko seveda potrdimo, saj smo z lastnimi poizkusi zaznali manjšo hrapavost, ko smo meritve opravljali na področju višje gostote. Prav tako pa ima usmerjenost vlaken pri vlaknatih kompozitih zelo signifikanten vpliv na hrapavost obdelanih površin. Isti avtor (Aguilera in sod, 2006) je v svojih kasnejših raziskavah ugotavljal, kako usmerjenost lesnih vlaken vpliva na stopnjo zvočne emisije in kvaliteto površine. Raziskoval je povezavo med količino zvočne emisije in hrapavostjo ter ugotovil, da je spremembe v obdelani površini možno odkrivati tudi preko hrupa, ki ga ustvarja odrezovanje materiala. Tako bi lahko tudi pri naših poizkusih o hrapavosti površine ugotovili, kakšna je zvočna emisija pri različnih prsnih kotih, in tako dobili koristne podatke za predhodno ugotavljanje lastnosti obdelane površine.

Pri področju obrabe rezila je Miklaszewski s sodelavci (2000) študiral mikromehanizem obrabe PCD (polikristaliziran diamand) orodja med rezkanjem materialov z lesno osnovo. Ugotovil je nov mehanizem obrabe PCD insertov, in sicer krušenje posameznih majhnih mikrokristalov. Tak mehanizem obrabe smo zaznali tudi pri naših poizkusih ugotavljanja obrabe rezila, pri čemer smo ugotovili krušenje rezila pri majhnih prsnih kotih. Kowaluk s sodelavci (2009) je v svoji raziskavi ugotavljal obrabo rezil z različnimi ostrinskimi koti in uporabljal različne materiale rezil pri rezkanju MDF plošč. Ugotovil je, da je pri večjih ostrinskih kotih manjša obraba rezil. Z ozirom na kvaliteto obdelave so se odločili, da je ostrinski kot 40° najbolj primeren za obdelavo MDF plošč. Z upoštevanjem te raziskave in naših ugotovitev o prsnih kotih in obrabi je možno sestaviti geometrijo orodja, ki bi bila najbolj primerna za obdelavo vlaknatih kompozitov. V mislih pa moramo imeti omejitve pri uporabi različnih orodnih materialov. Na obrabo rezil pa je moč vplivati tudi s tehnološkimi parametri, kot so podajalna in rezalna hitrost ter globina odzema.

Poizkusi ugotavljanja hrapavosti površine in obrabe ob spreminjanju geometrije orodja so se pokazali kot zelo delikatni in močno odvisni od materiala, ki smo ga obdelovali. Naše začetne predpostavke so bile, da bo kvaliteta površine pri manjših prsnih kotih boljša kot pri večjih oz. vsekakor odvisna od odzema materiala. Pri manjših prsnih kotih (ekstrem je 0° – tako imenovana strgula) nastajajo velike obremenitve v smeri razila in obdelovanca.

Po obdelavi z majhnimi koti se zaradi tlačnih obremenitev odrezana površina in vlakna dvignejo. Pri velikih prsnih kotih pa imamo opraviti s procesom frakturacije, ki je v našem primeru pri kotu 25° najbolj izrazita. Zaradi specifične usmerjenosti vlaken v MDF ploščah prihaja do zatrgovanja.

S primerjalnimi poizkusi med bukovino in MDF ploščo smo ugotovili boljšo kvaliteto obdelane površine v obeh primerih pri večjem prsnem kotu. Razlika v spremembi kvalitete površine v odvisnosti od spremembe prsnega kota pa je bila večja v primeru MDF plošče kot v primeru bukovine. V primeru MDF plošče je bila razlika med prsnim kotom 5° in 25° $27\ \mu\text{m}$ povprečne globine hrapavosti, medtem ko je bila razlika v primeru bukovine le $4\ \mu\text{m}$.

S poizkusi obrabe smo hoteli ugotoviti, kako drugačna geometrija orodja vpliva na življenjsko dobo rezila. Pri različni dolžini efektivne obdelave in različnih prsnih kotih smo ugotavljali, kako se spreminja hrapavost površine. Ugotovili smo, da zaradi specifične strukturne sestave MDF plošče ni mogoče določiti, kateri prsni kot je bolj primeren oz. s katerim kotom bi rezilo imelo daljšo življenjsko dobo. Odločili smo se, da obrabo rezalnega robu pogledamo pod mikroskopom in tako ugotovimo, kateri prsni kot je bolj primeren za obdelavo vlaknatih kompozitov.

Po pregledu z mikroskopom smo določili obrabo rezalnega robu na rezilih, ki smo jih uporabili pri poizkusih obrabe. V primeru prsnega kota 5° je prišlo do loma majhnih delcev na področju rezalne konice. Hipotetično lahko rečemo, da se je rezilo obrabilo na način krušenja zaradi velikih obremenitev na konici rezila. V primeru prsnega kota 25° je prišlo do največje obrabe rezalnega robu, ki je bila vidna kot otopitev. V območju rezalnega robu med procesom nastanka odrezka prihaja do povišanja temperature zaradi tornih razmer med odrezkom, obdelovancem in rezilom. Vidne spremembe v strukturi na prosti ploskvi so bile izmerjene pri kotih 5° , 15° in 25° . Pri najmanjšem kotu je bila ta sprememba $60\ \mu\text{m}$, pri kotu 15° $90\ \mu\text{m}$, največja pa pri kotu 25° , in sicer $140\ \mu\text{m}$.

Da bi imeli v proizvodnem procesu obdelave vlaknatih kompozitov dolgo življenjsko dobo orodij pri zadovoljivi kvaliteti površine, moramo upoštevati pravilno geometrijo orodja. Naša raziskava je pokazala, da je najprimernejši prsni kot za obdelavo teh materialov od 10° do 15° . Ker s samim odrezovanjem ne moremo doseči zadovoljive kvalitete za končni nanos barv, lahko z izbiro prave geometrije poskrbimo vsaj za daljšo življenjsko dobo orodja.

6 POVZETEK

Vlaknene plošče s srednjo gostoto (MDF) so primerne za razne notranje in zunanje konstrukcije ter za industrijsko uporabo. Stopnja hrapavosti površine plošč pa ima pomembno vlogo pri zmanjšanju končne kvalitete, ker se pri končni površini vsaka nepravilnost vidi skozi tanek zaščitni sloj. Kvaliteta obdelanih površin ploščnih kompozitov je ključnega pomena pri končnem izgledu izdelka. Za doseg dobre kvalitete moramo upoštevati vrsto dejavnikov. Najpomembnejši dejavniki, ki vplivajo na končno kvaliteto, so način odrezovanja, geometrija rezalnega orodja in obdelavnostne lastnosti samega materiala.

V našem raziskovalnem delu nas je zanimalo, kako geometrija orodja vpliva na kvaliteto obdelane površine in na življenjsko dobo samega orodja. Za tako raziskavo smo potrebovali posebej zasnovano orodje, katero bo imelo možnost spreminjanja lastne geometrije. Ker takega orodja na tržišču ni bilo mogoče dobiti, smo ga izdelali sami. Orodje smo zasnovali tako, da je imelo med dvema ploščama vpeti dve vpenjalni glavi, ki sta nudili spremembo geometrije oz. prsnega kota. Vse skupaj smo pritrdili na glavno pušo, s katero smo orodje vpeli na glavno vreteno.

Eksperimentalni del naloge je bil namenjen ugotavljanju hrapavosti površine glede na spremembo geometrije. Naredili smo primerjalno analizo med bukovino in MDF ploščo pri obdelavi robov. Z eksperimentalnim orodjem smo rezkali robove MDF plošč in bukovine, pri tem pa smo spreminjali prsne kote rezil. Ugotovili smo, da lahko z geometrijo orodja vplivamo na obdelano površino. Boljša kvaliteta površine se je izkazala pri 25 ° prsnega kota in se je slabšala, če smo kot spreminjali proti 5 °. Večjo razliko v kvaliteti površine smo zaznali pri MDF ploščah, ki je bila 6-krat večja kot pri bukovini, od kota 5 ° do 25 °.

Z drugim delom eksperimentalne naloge smo poizkušali dokazati, da obstajajo razlike v obrabi rezila pri obdelavi MDF robov z različnimi geometrijami orodja. Eksperiment smo zastavili tako, da smo obdelovali robove vlaknenih plošč in iz njih po določeni efektivni poti rezila izrezali vzorce. Vzorce smo pregledovali z merilno napravo za merjenje hrapavosti površine in ugotavljali, do kakšnih sprememb je prišlo na določeni efektivni poti obdelave. Zaradi specifične sestave vlaknenih plošč nismo mogli določiti obrabe orodja preko obdelane površine, zato smo rezilo pogledali pod mikroskopom in tako določili obrabo. Pod mikroskopom smo lepo videli, kako je pri prsnem kotu 5 ° prihajalo do majhnih lomov rezalne konice, medtem ko smo pri večjih kotih opazili večjo otopitev rezalne konice noža.

Ugotovili smo, da je najprimernejši prsni kot za obdelavo MDF vlaknatih kompozitov od 10° do 15° . Pri teh kotih bi zagotovili najdaljšo življenjsko dobo rezil ob zadovoljivi kvaliteti površine. S samim odrezovanjem pa še vedno ne moremo zagotoviti hrapavosti površine, ki bi bila primerna za takojšno površinsko obdelavo (npr. barvanje). Rezkane površine vlaknatih kompozitov je potrebno pred površinsko obdelavo kitati in brusiti.

7 VIRI

1. AceCo finger joint tooling. 2009. AceCo Precision Tools.
http://www.aceco.com/woodtool/finger_tooling.html (20.11.2009)
2. Aguilera A., Meausoone P. J., Martin P. 2000. Wood material influence in routing operations: the MDF case. *Holz als Roh - und Werkstoff*, 58: 278–283
3. Aguilera A., Vega M., Méausoone P.J. 2006. Effect of grain angle on the amplitudes of acoustic emission and surface roughness in wood machining. *Wood of Science Technology* 41: 373–381
4. Altintas Y., Engin S., Amara F. B. 2000. Mechanics of routing medium density fiberboard. *Forest Products Journal*, 50, 9: 65–69
5. Dassault systems. 2009.
<http://www.3ds.com> (20.11.2009)
6. Davim J. P., Campos R. J., Abrao A. M. 2007b. Delamination assessment after drilling medium density fibreboard (MDF) using digital image analysis. *Holzforschung*, 61, 3: 294–300
7. Davim J. P., Clemente V. C., Silva S. 2007a. Evaluation of delamination in drilling MDF (medium density fibreboard). *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers Part B. Journal of engineering manufacture*, 221, 4: 655–658
8. Davim J. P., Clemente V. C., Silva S. 2007c. Surface roughness aspects in milling MDF (medium density fibreboard). *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*
<http://www.springerlink.com/content/172p32g542584mu6/fulltext.pdf>
9. Davim J. P., Clemente V. C., Silva S. 2008. Drilling investigation of MDF (medium density fibreboard). *Journal of Materials Processing Technology*, 203: 537–541
10. Dippon J., Ren H., Amara F.B., Altintas, Y. 2000. Orthogonal cutting mechanics of medium density fibreboards. *Forest Products Journal*, 50, 7/8: 25–30

11. DIN 4768. Mean roughness depth R_z
12. Gordon S., Hillery M. T. 2003. A review of the cutting of composite materials. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part L: Journal of Materials: Design and Applications, 217: 35–45
13. Gordon S., Philbin P. 2006. Recent research on the machining of wood-based composite materials. International Journal of Machining and Machinability of Materials, 1, 2: 186 - 201
14. ISO 4287/1. Arithmetical mean deviation of the profile R_a
15. Kowaluk G., Szymanski W., Palubicki B., Beer P. 2009. Examination of tools of different materials edge geometry for MDF milling. European Journal of Wood Products, 67: 173–176
16. Lin R. J., van Houts J., Bhattacharyya D. 2006. Machinability investigation of medium-density fibreboard. Holzforschung, 60: 71–77
17. Medved S. 2003. Vlakninska in iverna lesna tvoriva. Študijsko gradivo. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za lesarstvo.
18. Miklaszewski S., Zurek M., Beer P., Sokolowska A. 2000. Micromechanism of polycrystalline cemented diamond tool wear during milling of wood-based materials. Diam Relat Mater 9: 1125–1128
19. Mohebbi B., Ilbeighi F., Kazemi-Najafi S. 2008. Influence of hydrothermal modification of fibers on some physical and mechanical properties of medium density fiberboard (MDF). Holz als Roh und Werkstoff, 66: 213–218
20. M2 HSS. 2009. Finger joint cutter. AceCo Precision Tools.
http://www.aceco.com/woodtool/finger_cutters.html (20.11.2009)
21. Nouveau C., Labidi C., Ferreira Martin J.-P., Collet R., Djouadi A. 2007. Application of CrAlN coatings on carbide substrates in routing of MDF. Wear, 263: 1291–1299

22. Prakash S., Palanikumar K., Manoharan N. 2009. Optimization of delamination factor in drilling medium-density fiberboard (MDF) using desirability-based approach. The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 45: 370–381
23. Rezkalna glava za robljenje HW. 2009. Prevent-TRO, d.o.o., Perzonali.
http://www.preventtro.si/si/lesnoobdelovalnaorodja/rezkarji/glavezabrazdanjeinobrezovanje/rezkalna_glavazarobljenjehw.aspx (20.11.2009)
24. Sinn G., Mayer H., Stanzl-Tschegg S. 2005. Surface properties of wood and MDF after ultrasonic-assisted cutting. Journal of Materials Science, 40: 4325–4332
25. Solidworks. 2009.
<http://www.solidworks.com/default.htm> (20.11.2009)

ZAHVALA

Zahvaljujem se mentorju izr. prof. dr. Bojanu Bučarju za podporo in nasvete pri izdelavi tega diplomskega dela.

Zahvaljujem se profesorici doc. dr. Dominiki Gornik Bučar za recenzijo.

Za pomoč pri izvajanju eksperimentalnih poizkusov in meritev se zahvaljujem tehničnemu sodelavcu dipl.ing. Dragu Vidicu.

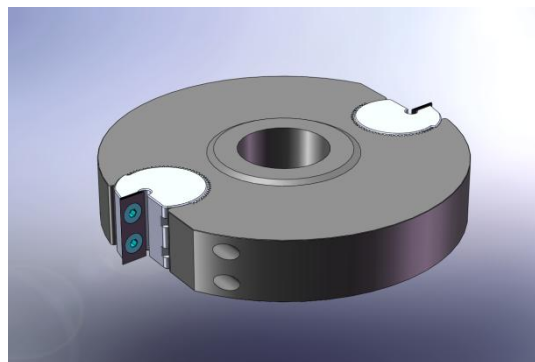
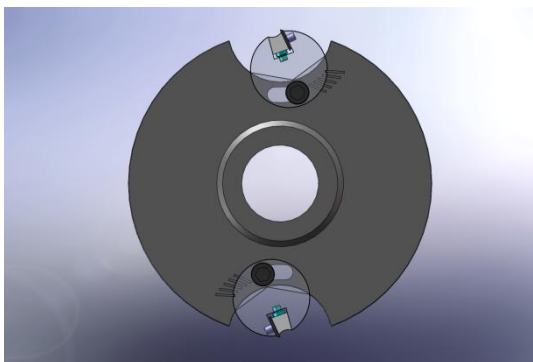
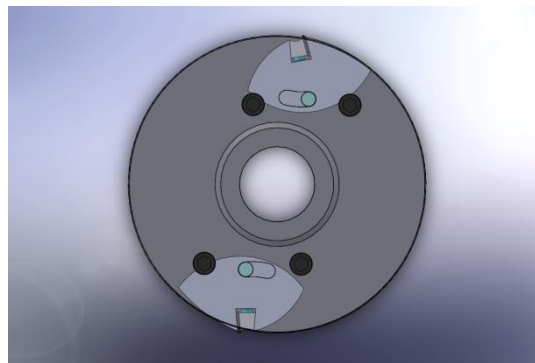
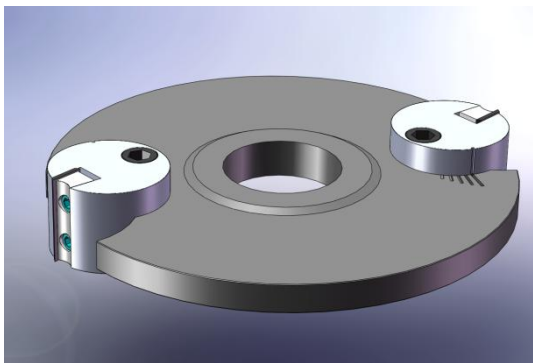
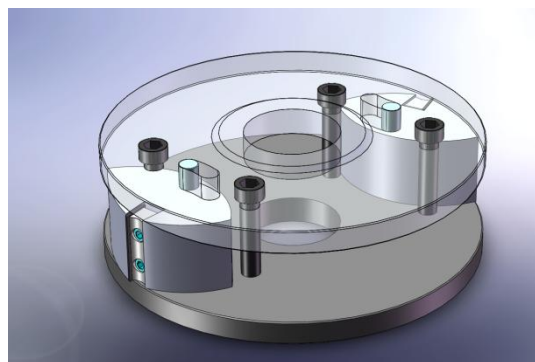
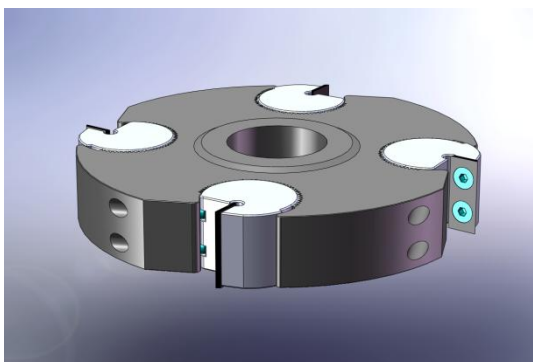
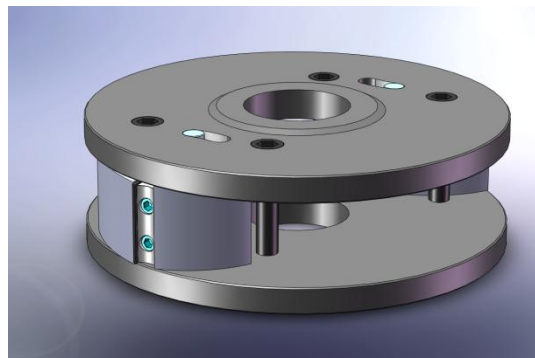
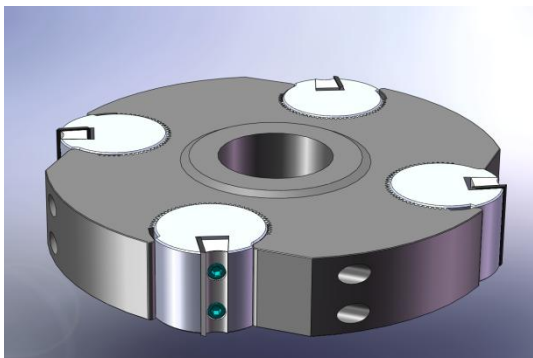
Za nasvete pri iskanju literature univ.dipl.ing. Miranu Merharju in dr. Bojanu Gospodariču.

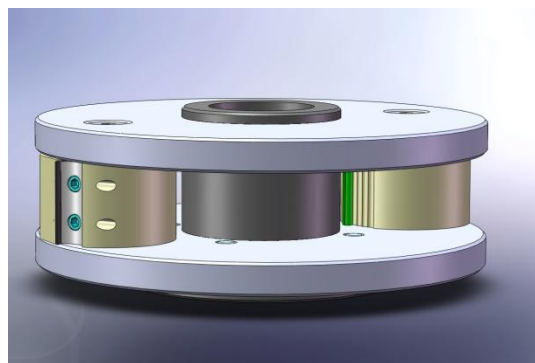
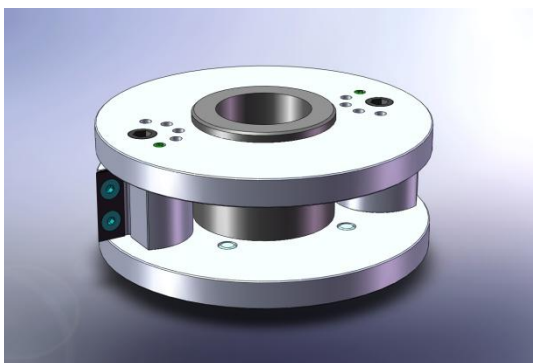
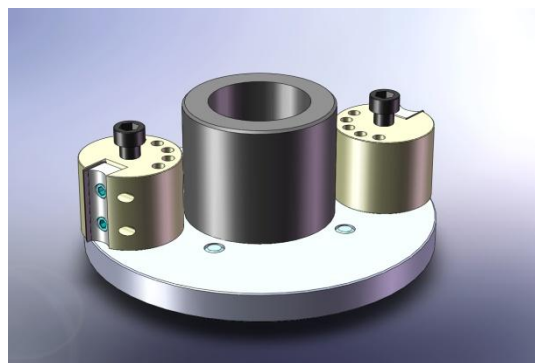
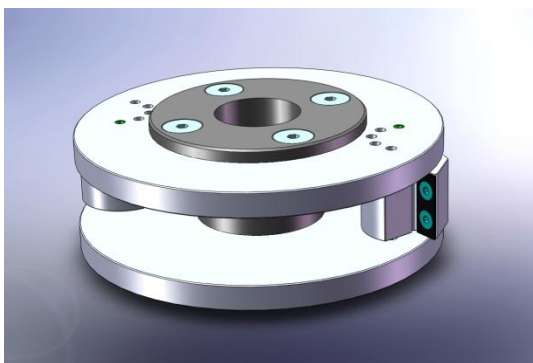
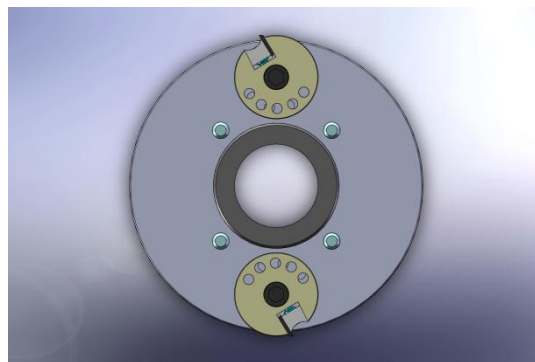
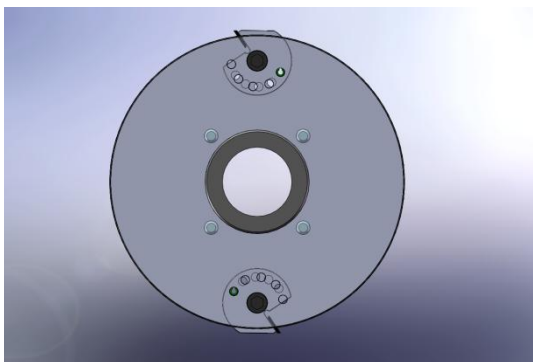
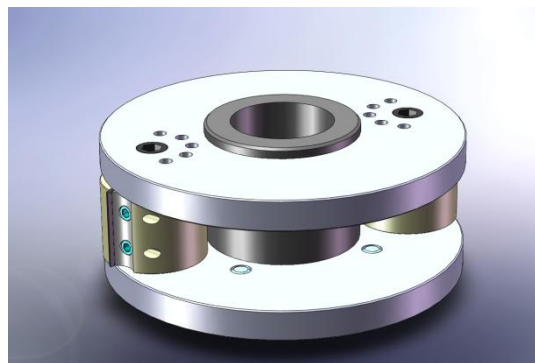
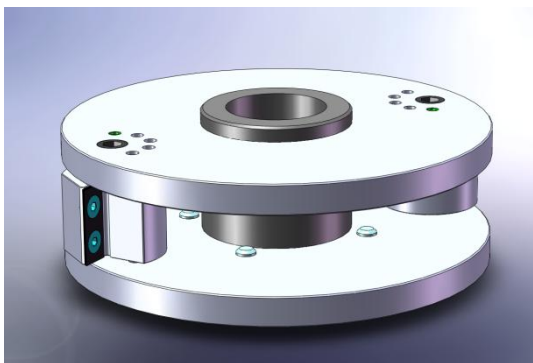
Za pomoč pri oblikovanju naloge se zahvaljujem Darji Vranjek.

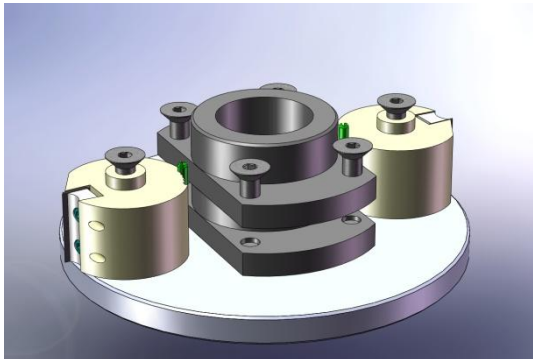
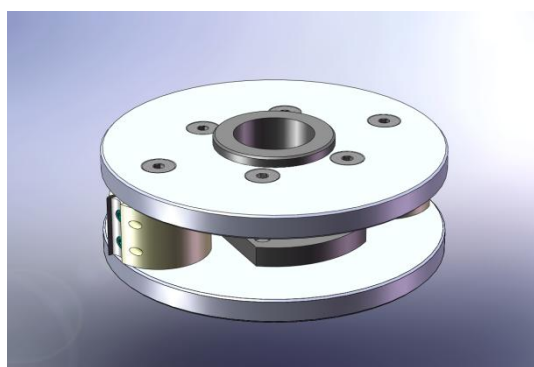
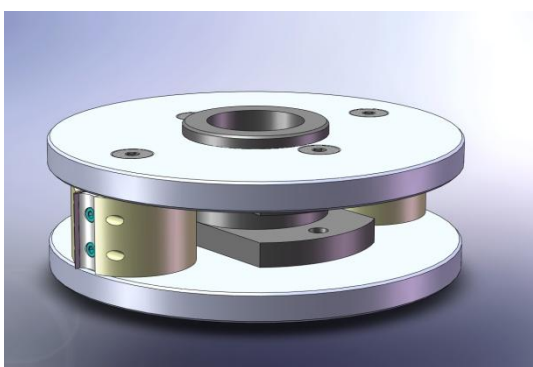
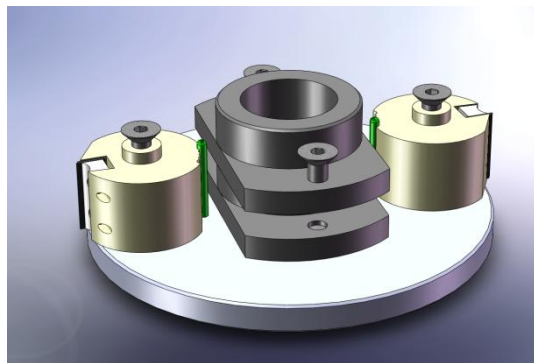
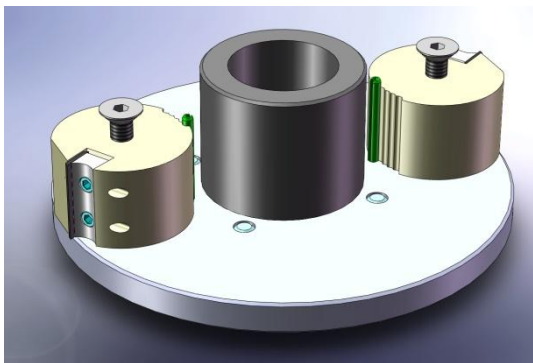
Posebno se zahvaljujem mami in očetu za spodbudo in podporo tako v času študija kot času izdelave diplomskega dela. Hvala dekletu Jani za podporo in pomoč pri nastajanju te diplomske naloge.

Vsem neimenovanim, ki so mi na kakršenkoli način pomagali k nastanku tega dela se globoko zahvaljujem.

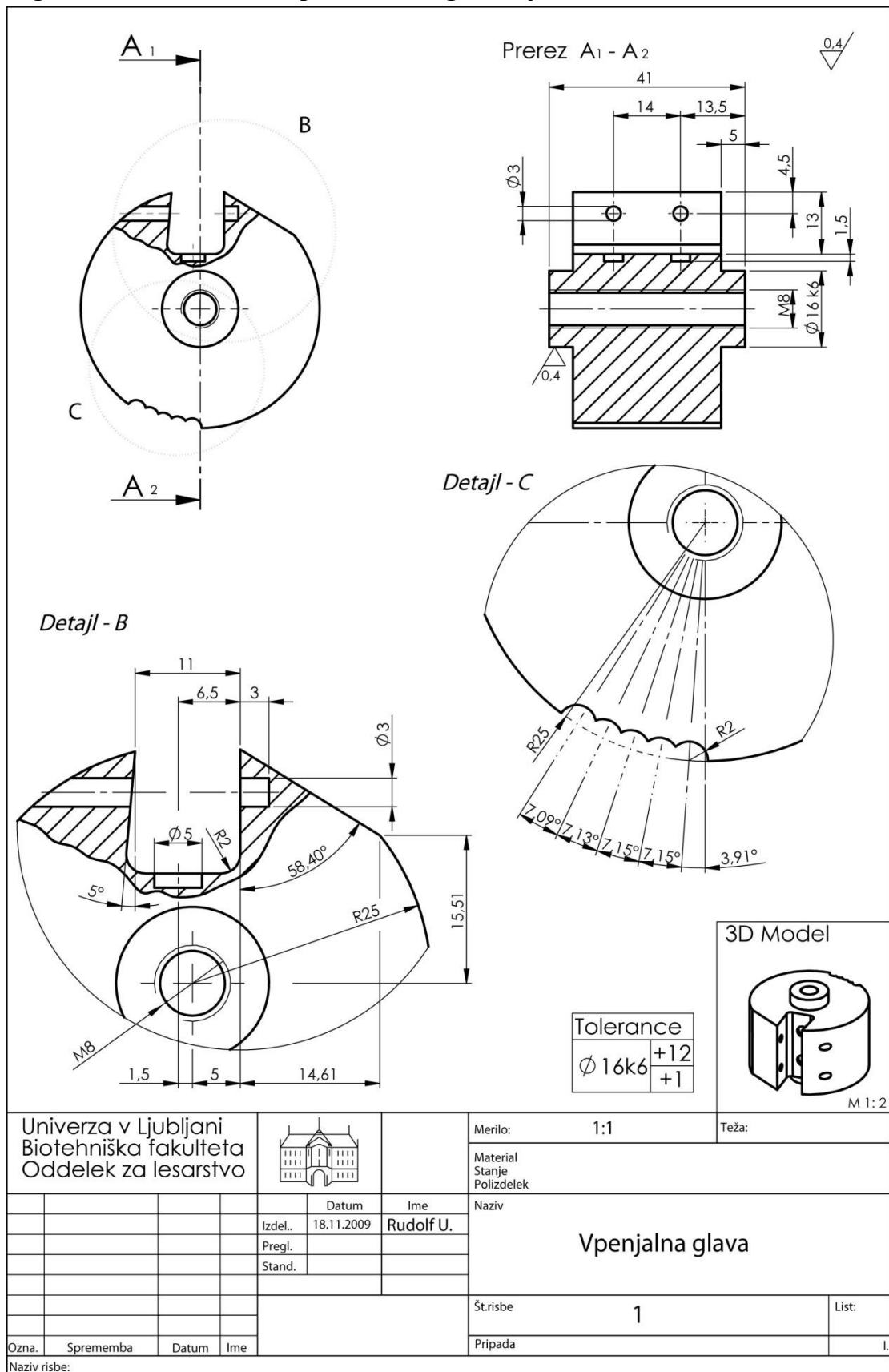
Priloga A: Idejna eksperimentalna orodja

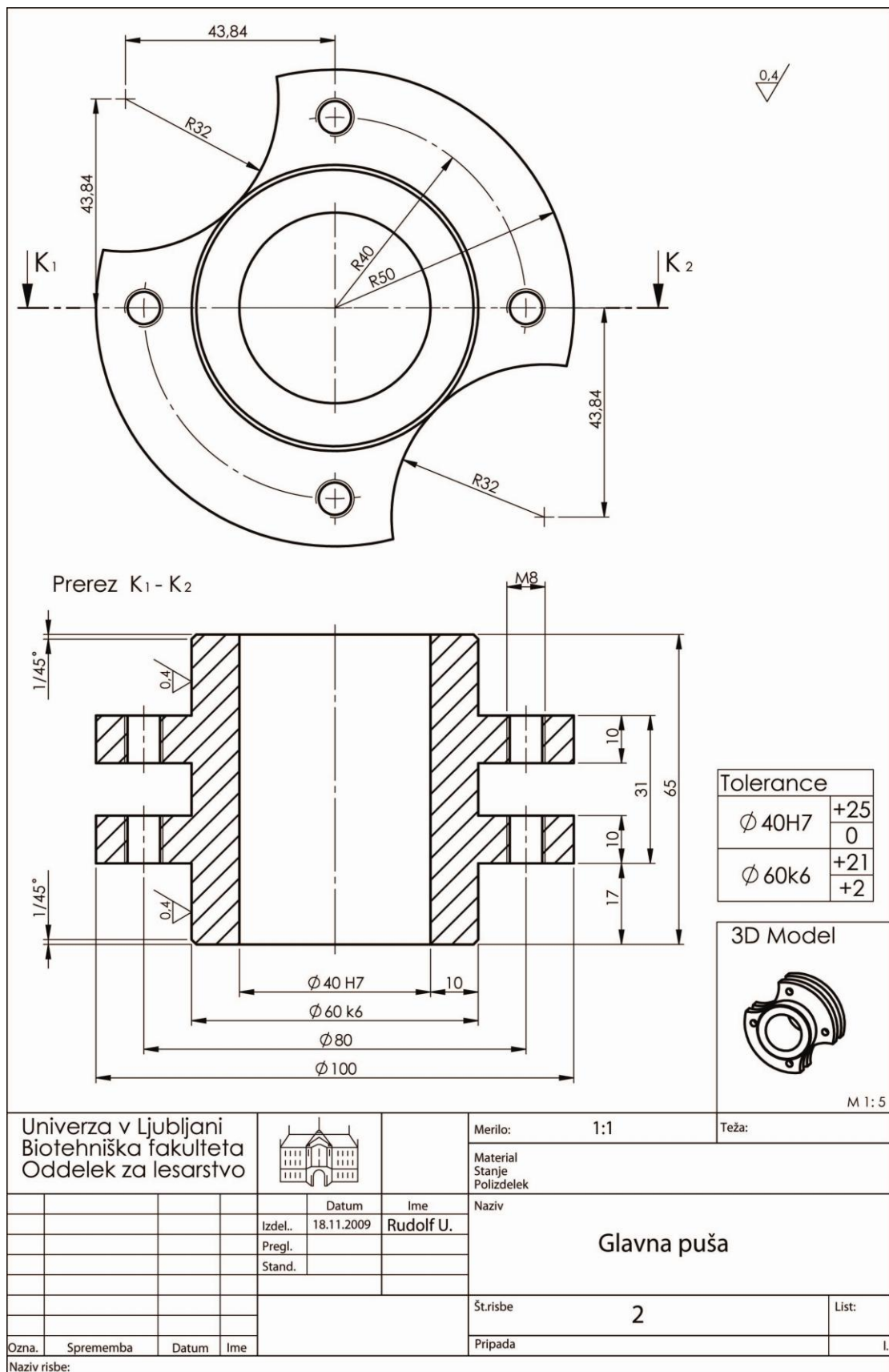


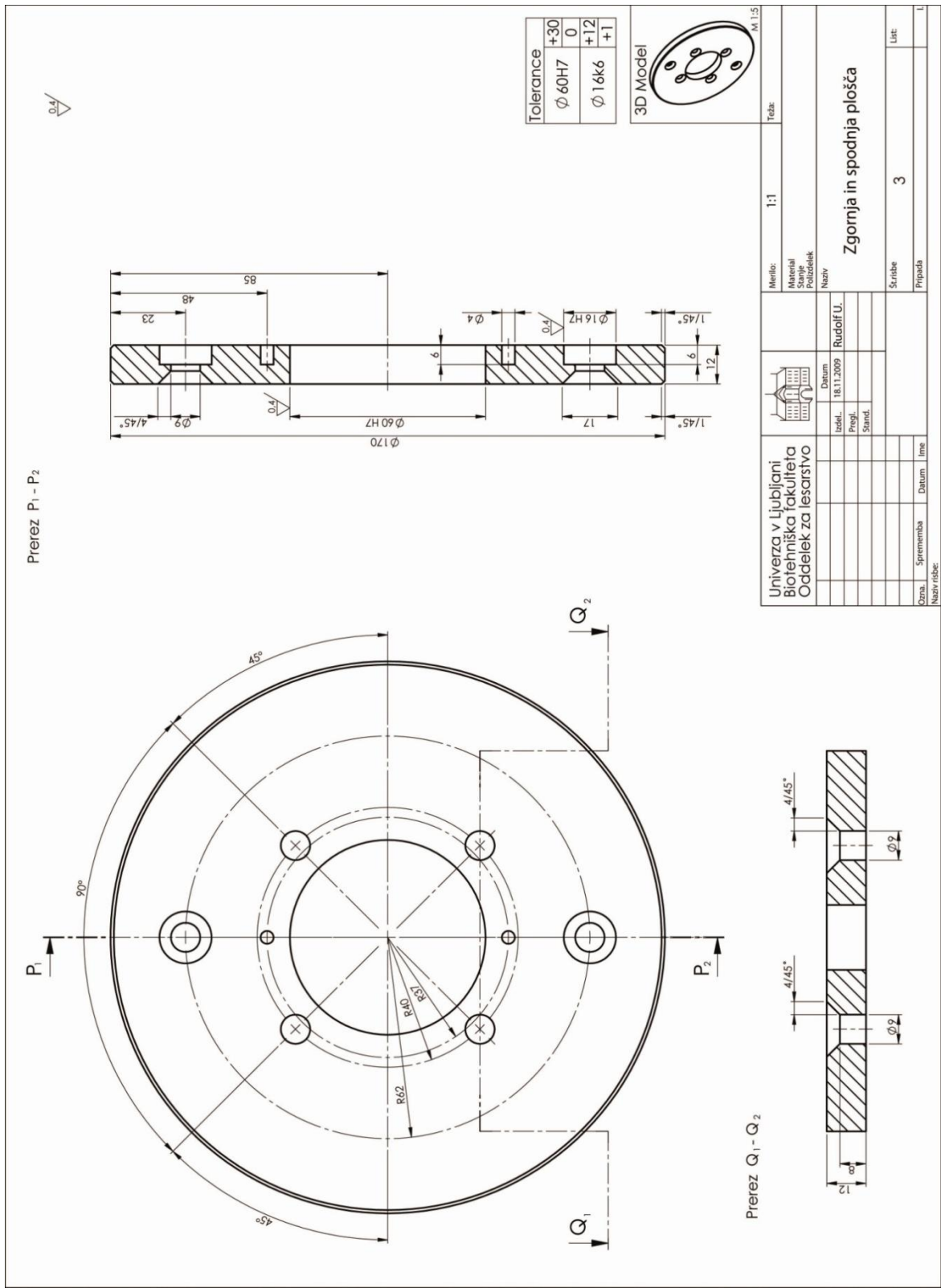


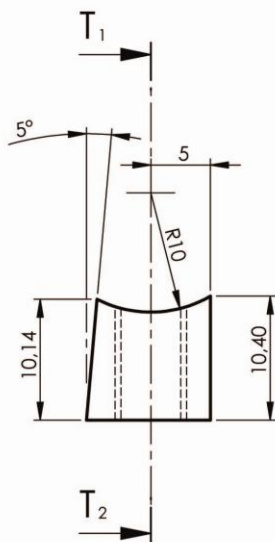


Priloga B: Tehnični načrt eksperimentalnega orodja

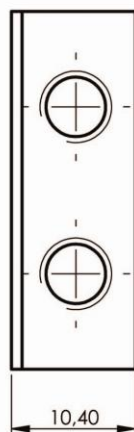
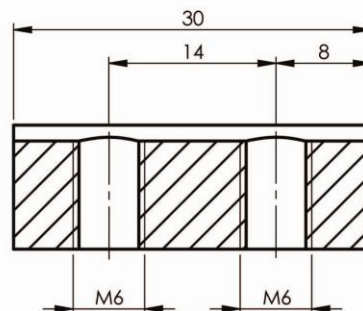




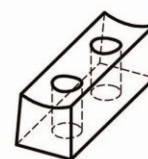




Prerez T₁ - T₂

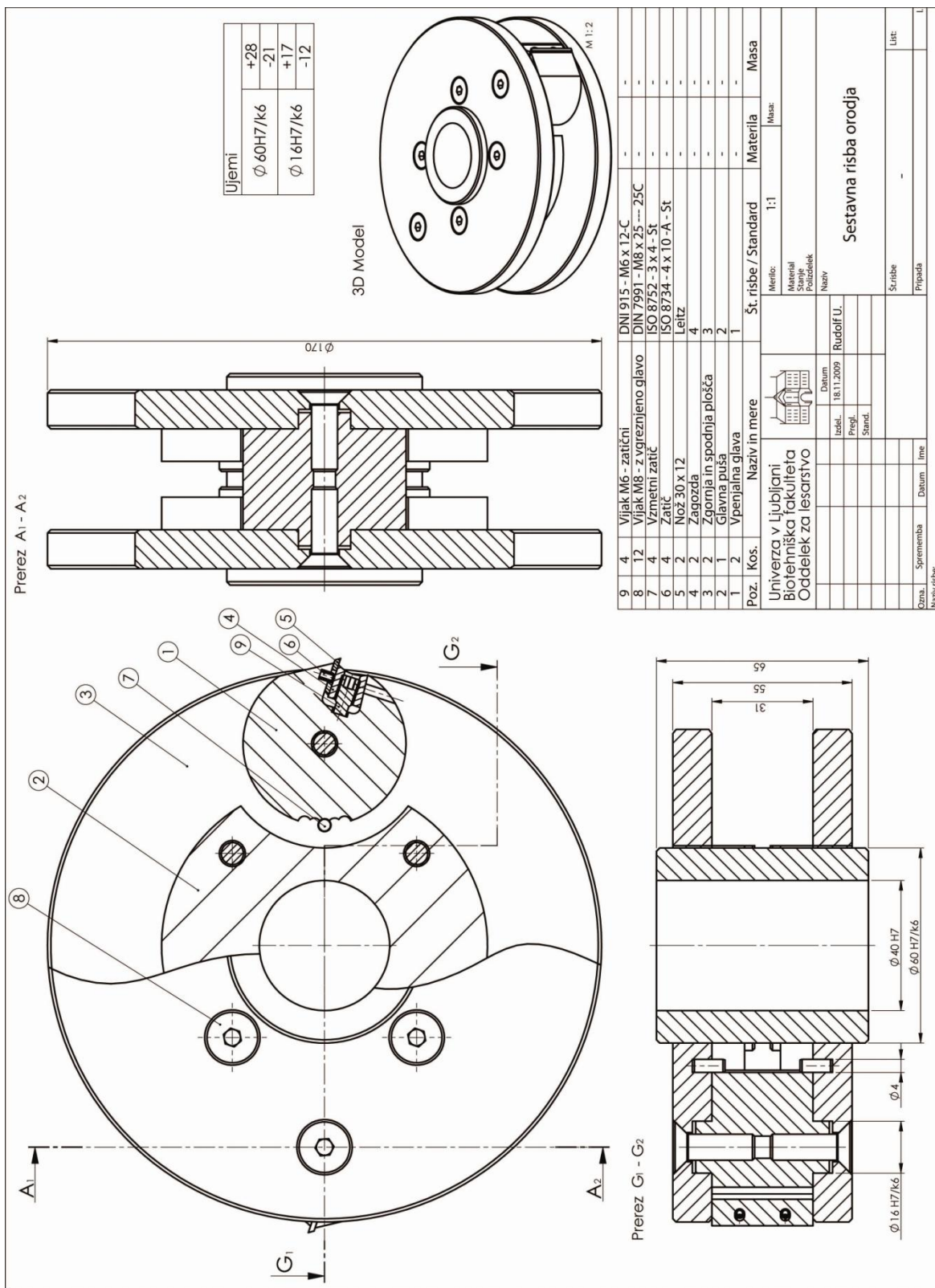


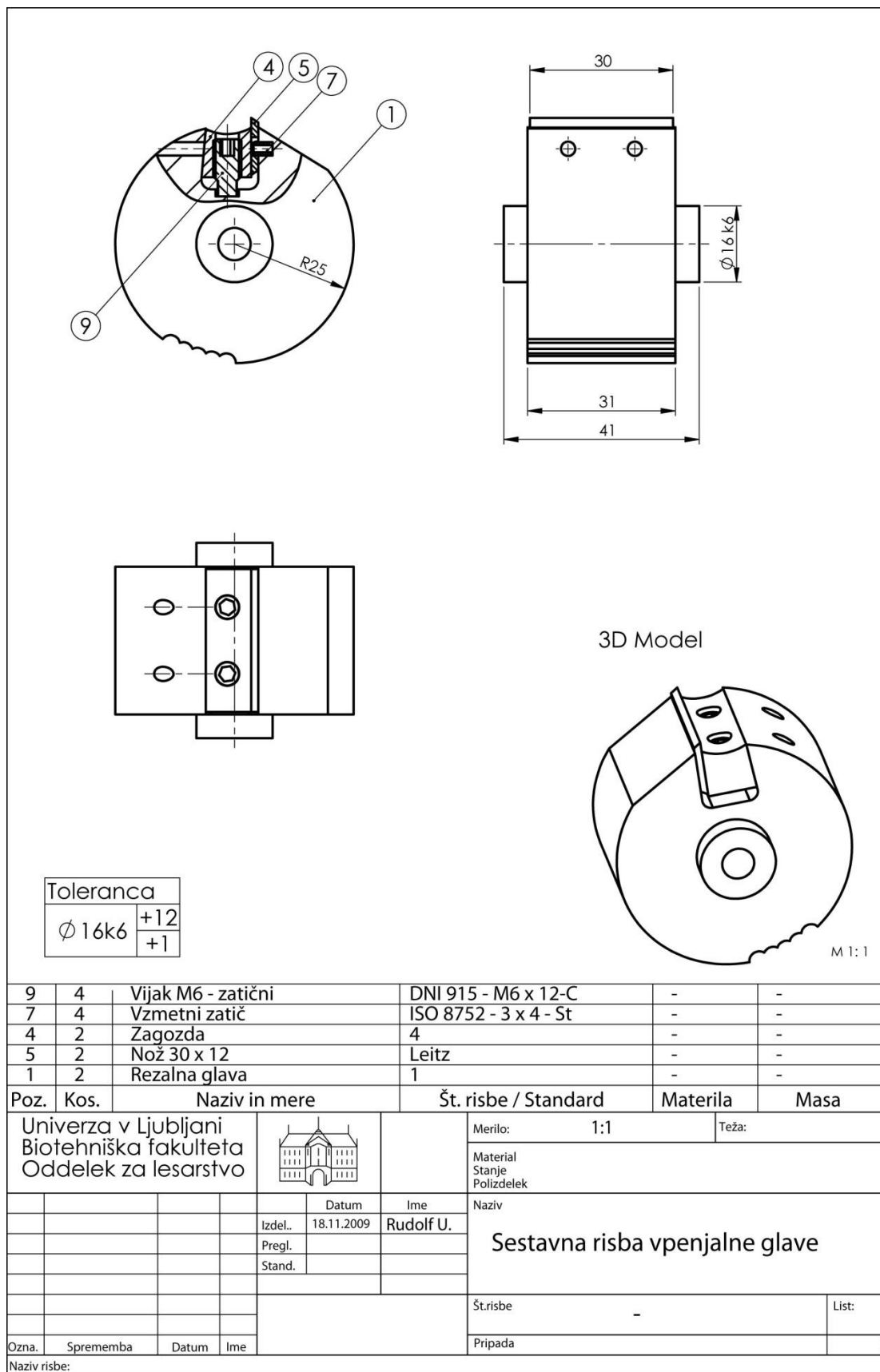
3D Model



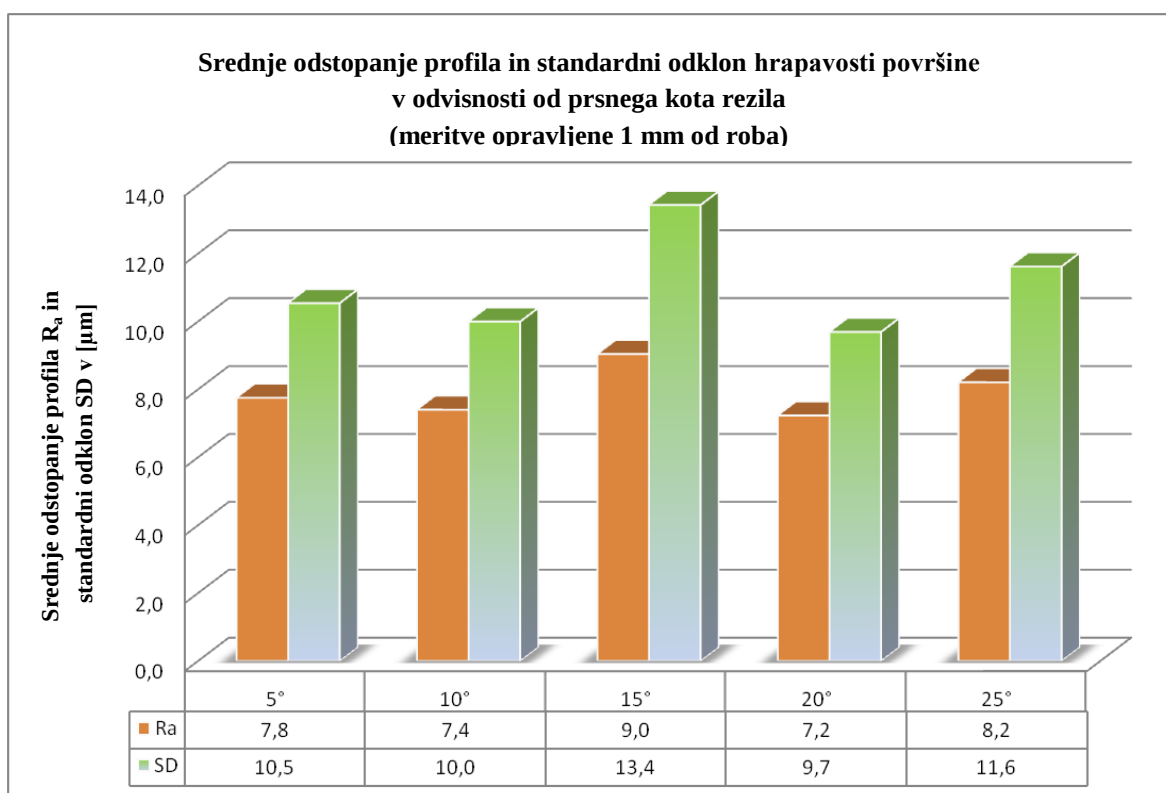
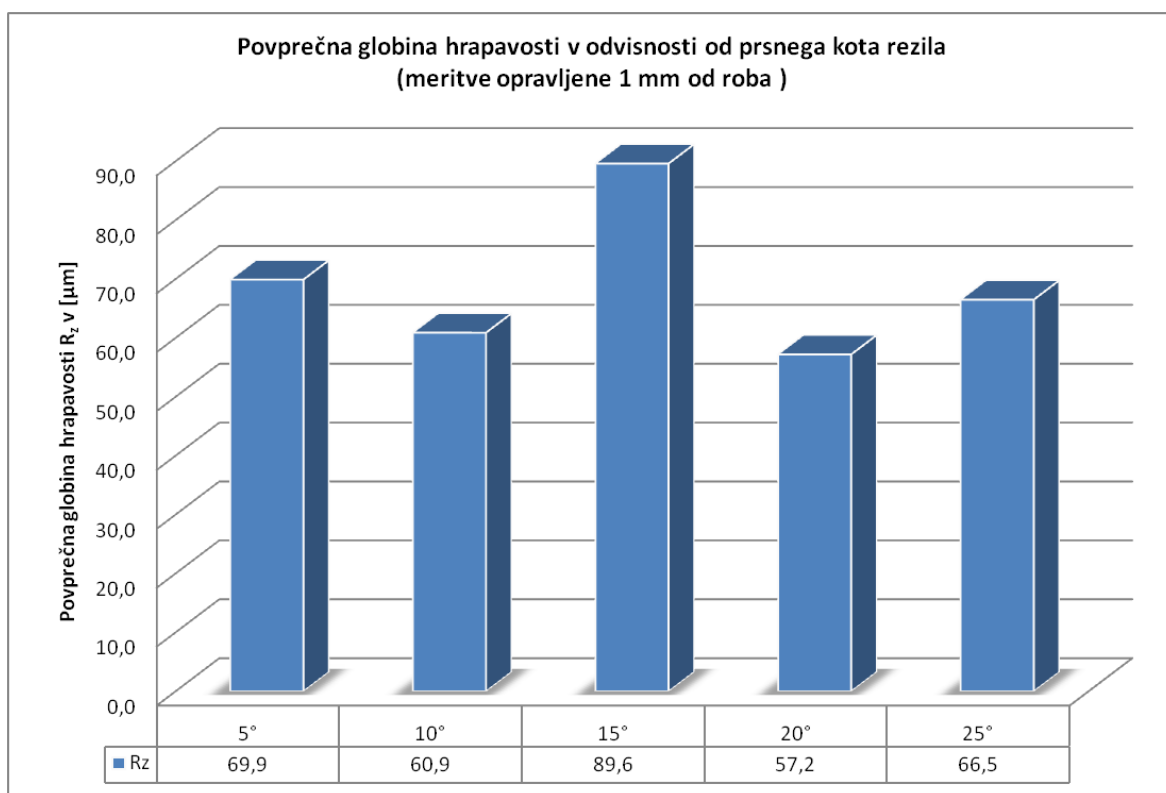
M 1:1

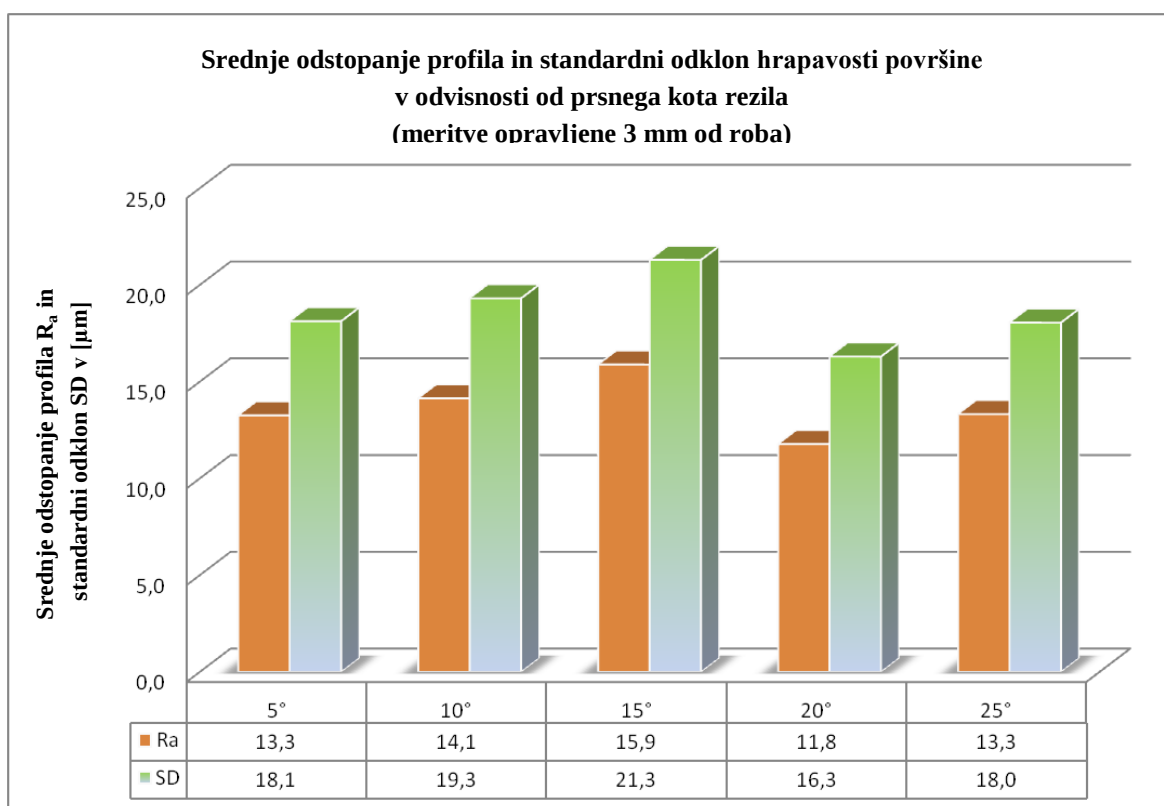
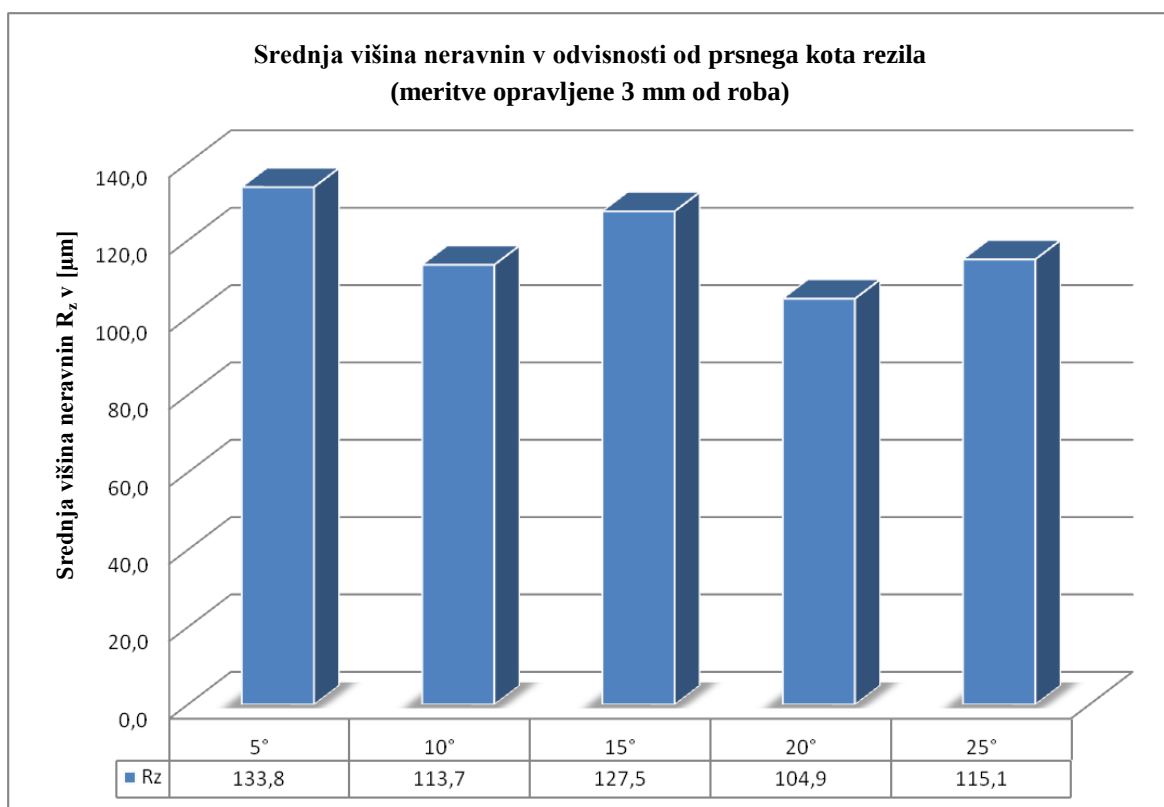
Univerza v Ljubljani Biotehniška fakulteta Oddelek za lesarstvo				Merilo: 2:1		Teža:	
				Material Stanje Polizdelek			
				Naziv			
				Datum		Ime	
				Izdel...		18.11.2009	
				Pregl.		Rudolf U.	
				Stand.			

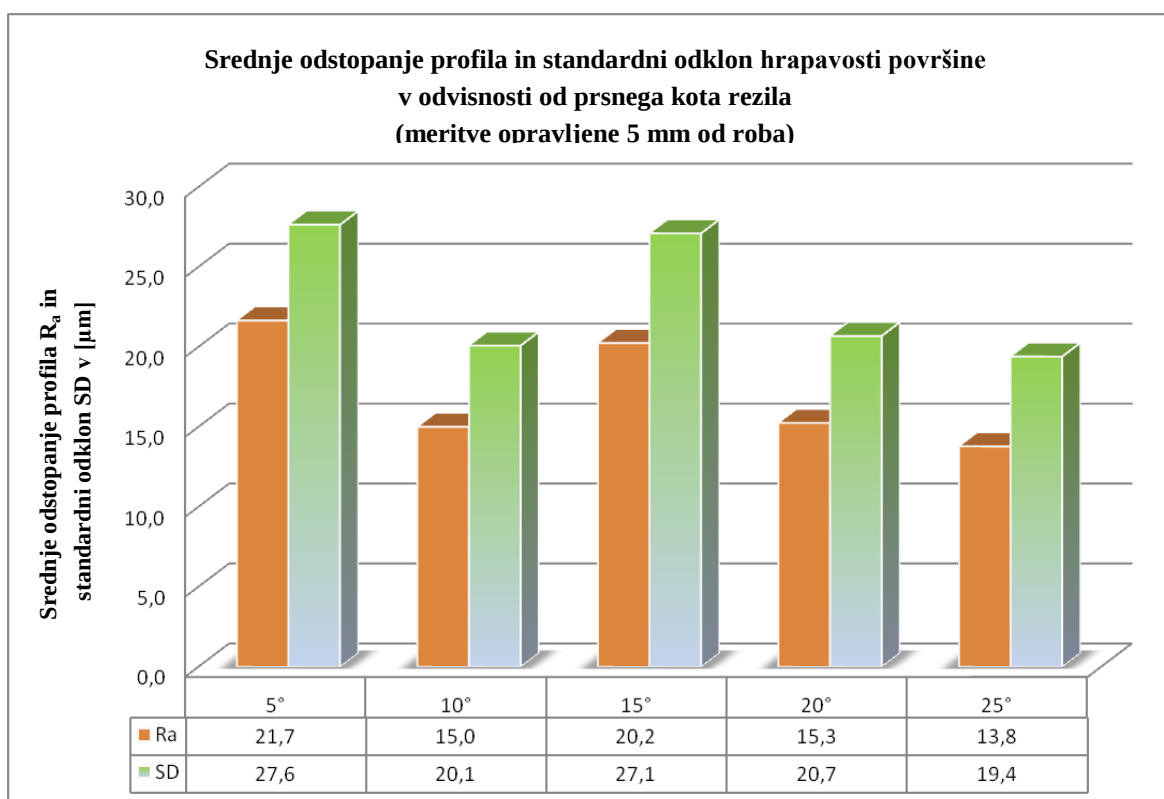
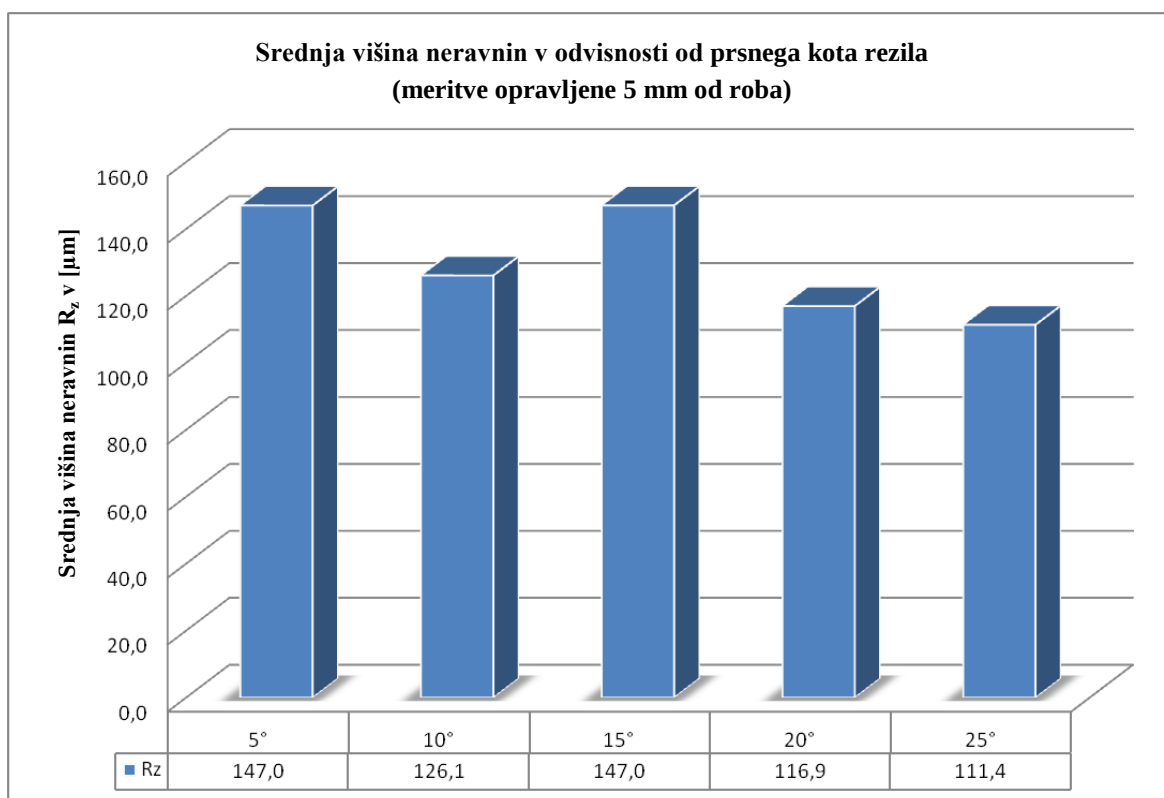


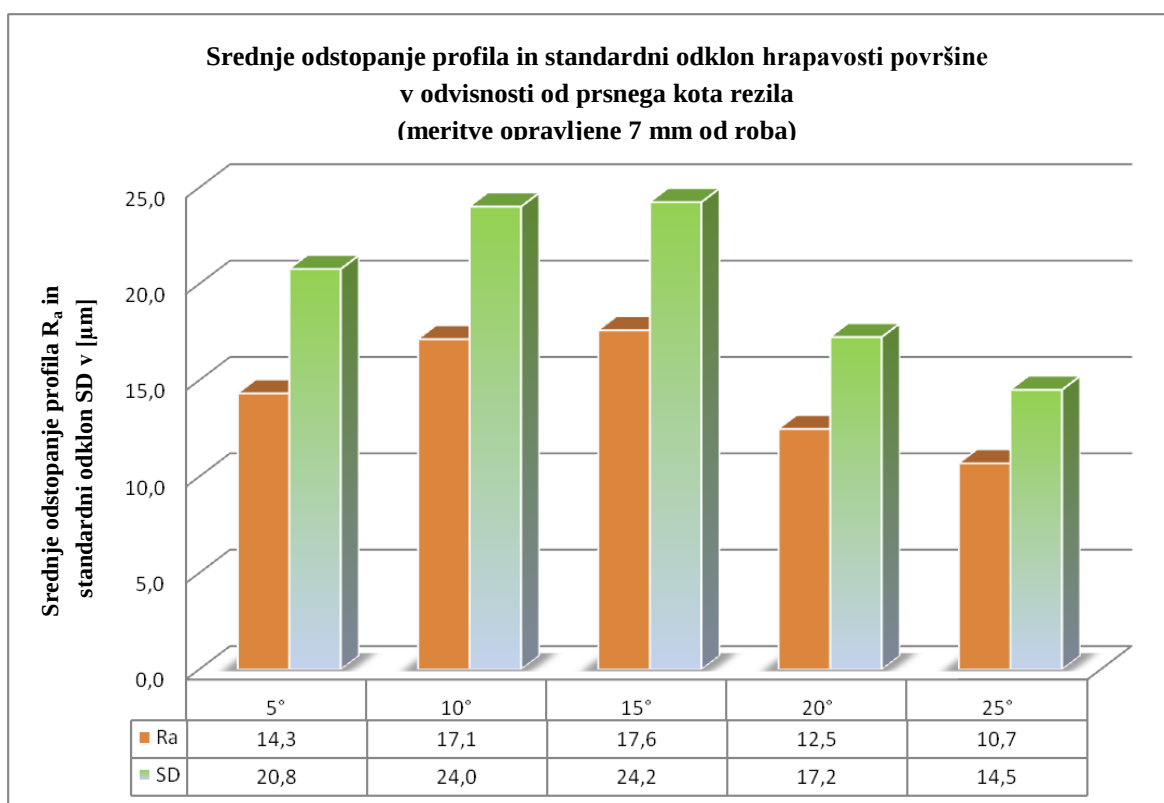
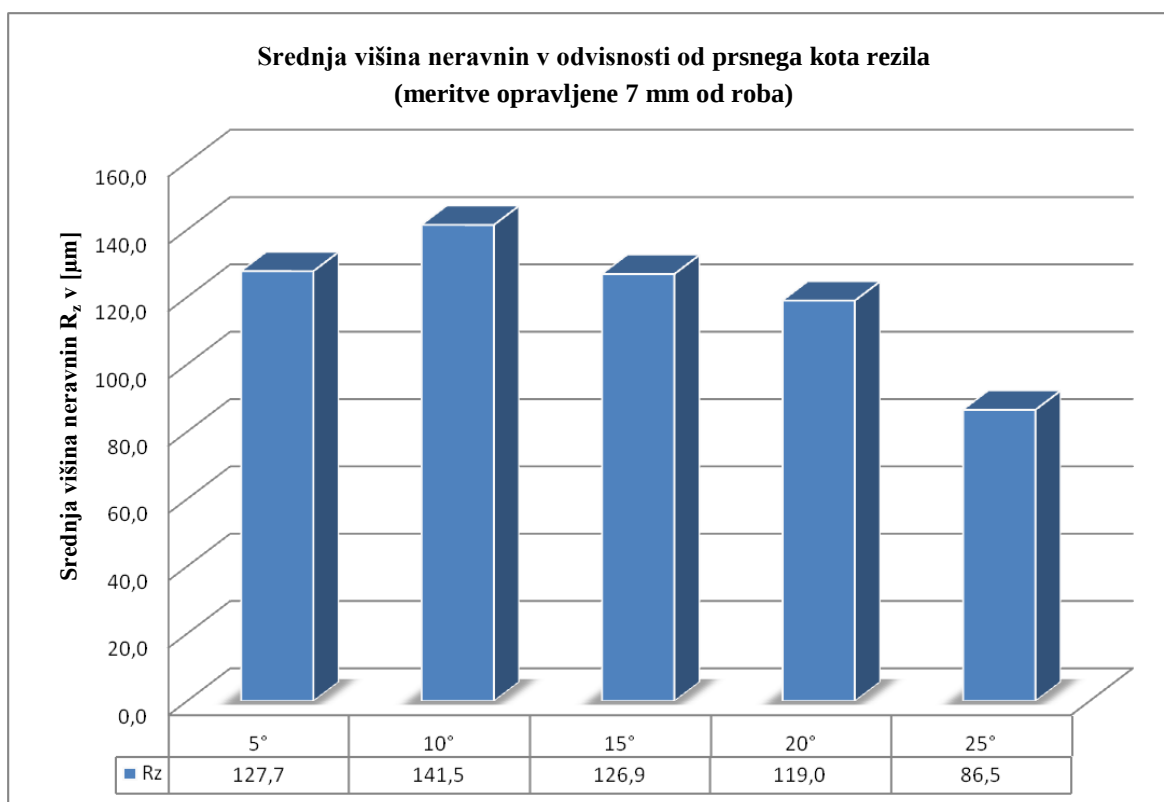


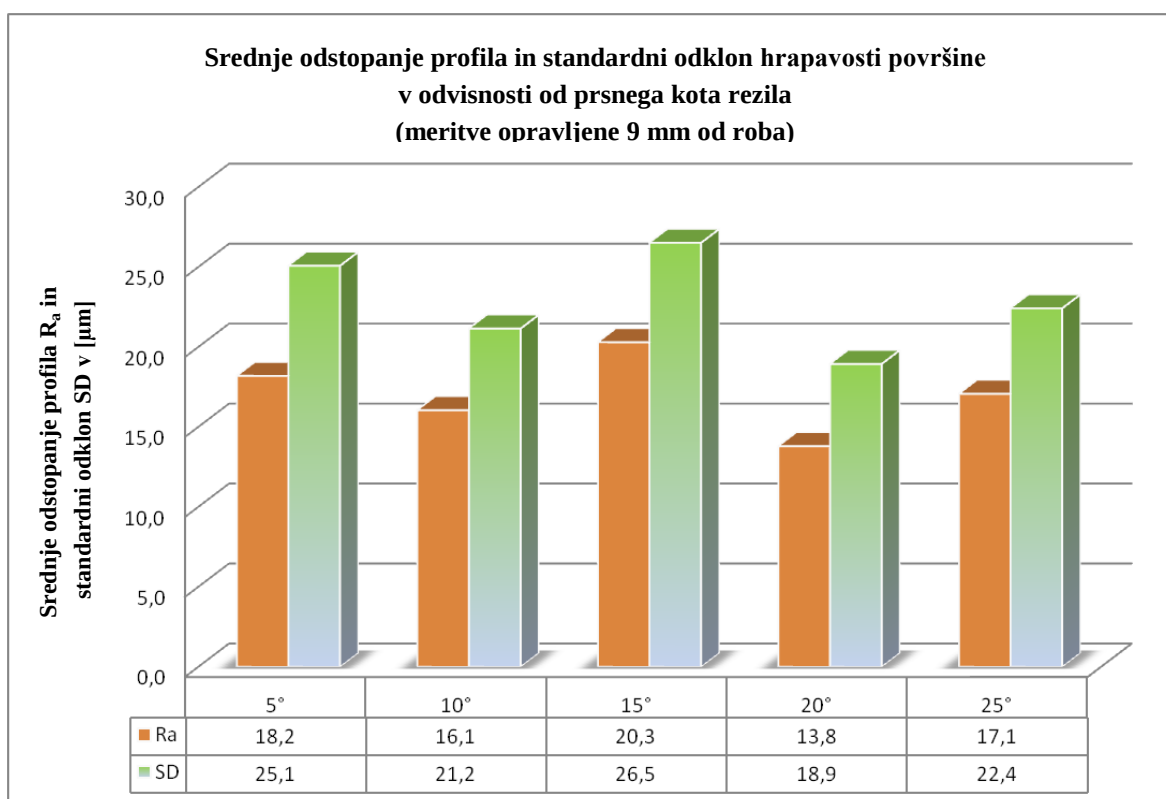
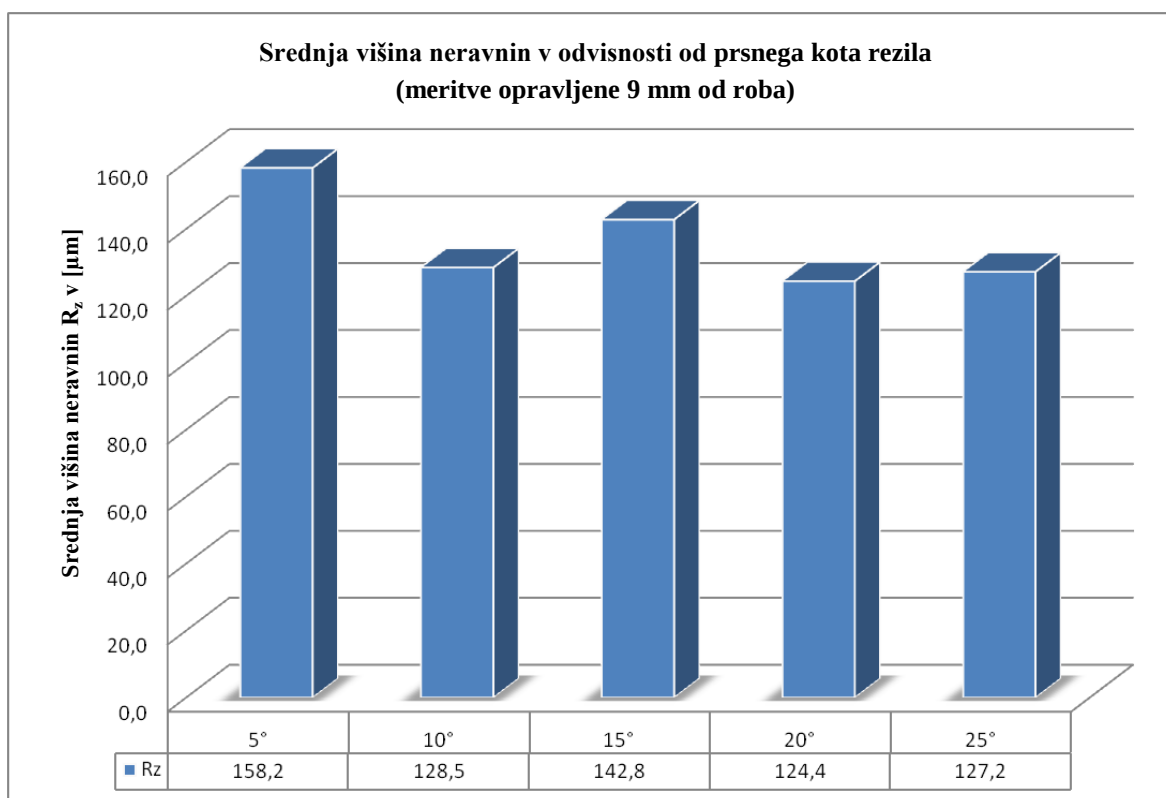
Priloga C: Preliminarni rezultati hrapavosti površine pri različnih prsnih kotih



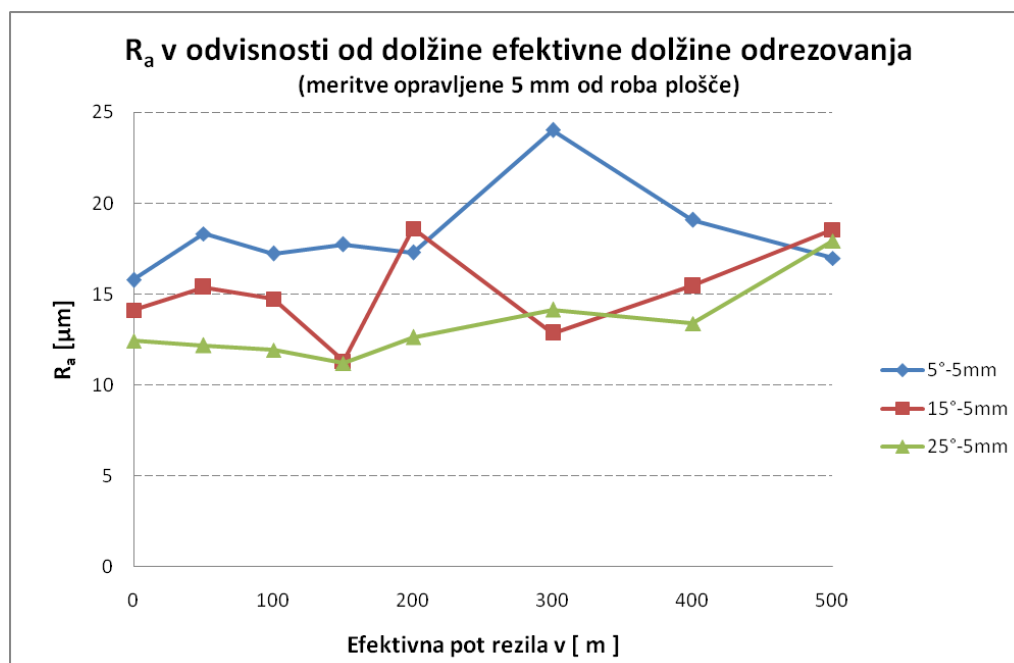
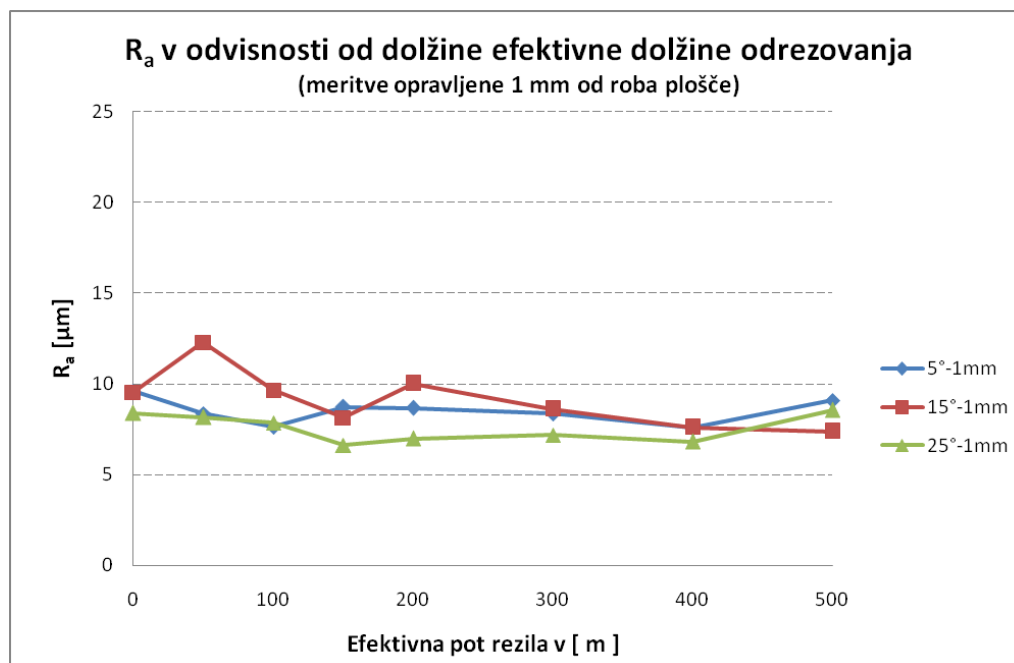


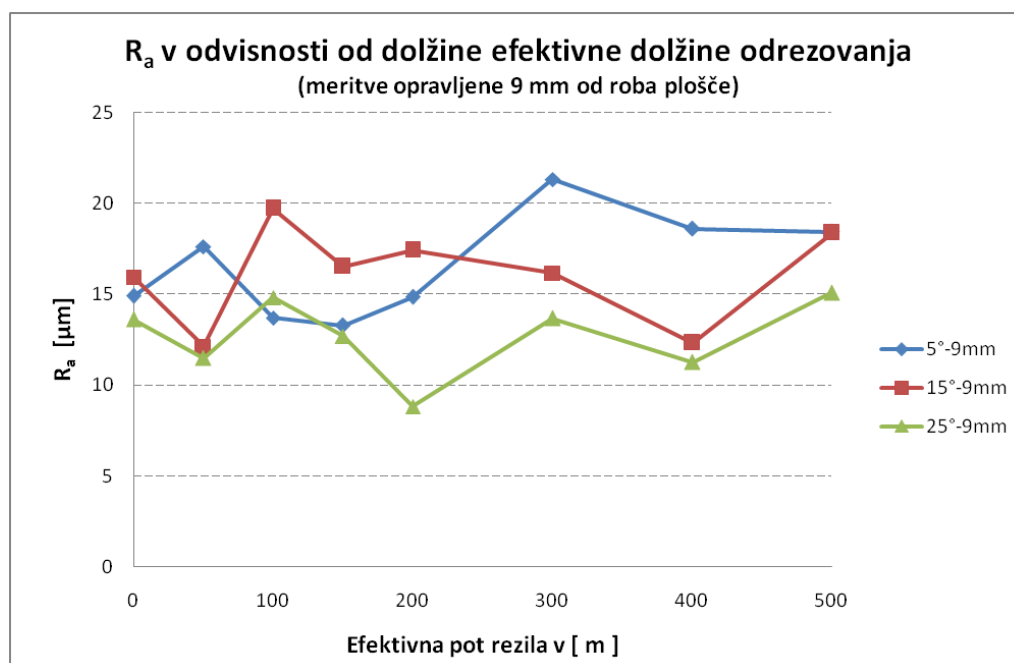






Priloga D: Preliminarni rezultati obrabe orodja pri različnih prsnih kotih





Priloga E: Primerjava hrapavosti površin bukovine in MDF plošč glede na spremembo geometrije orodja – srednje odstopanje profila R_a

