

UNIVERZA V LJUBLJANI  
BIOTEHNIŠKA FAKULTETA  
ODDELEK ZA LESARSTVO

Matic VOJŠČAK

**VPLIV DELEŽA LEPILA V IVERNIH PLOŠČAH NA OBRABO REZIL**

DIPLOMSKO DELO  
Univerzitetni študij

**INFLUENCE OF SHARE OF ADHESIVE IN PARTICLE BOARDS ON  
TOOL WEAR**

GRADUATION THESIS  
University studies

Ljubljana, 2016

Diplomsko delo je zaključek Univerzitetnega študija lesarstva. Opravljeno je bilo na katedri za mehansko obdelovalne tehnologije na Oddelku za lesarstvo Biotehniške fakultete v Ljubljani.

Senat Oddelka za lesarstvo je za mentorja diplomskega dela imenoval dr. Sergeja Medveda, za somentorja dr. Bojana Bučarja, za recenzentko pa dr. Dominiko Gornik Bučar.

Mentor:        prof. dr. Sergej MEDVED

Somentor:    prof. dr. Bojan BUČAR

Recenzent:   doc. dr. Dominika GORNIK BUČAR

Komisija za oceno in zagovor:

Predsednik:

Član:

Član:

Datum zagovora:

Diplomsko delo je rezultat lastnega raziskovalnega dela. Podpisani se strinjam z objavo svojega dela v polnem tekstu na spletni strani Digitalne knjižnice Biotehniške fakultete. Izjavljam, da je diplomsko delo, ki sem ga oddal v elektronski obliki, identično tiskani verziji.

Matic Vojščak

## KLJUČNA DOKUMENTACIJSKA INFORMACIJA

|    |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
|----|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| ŠD | Dn                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
| DK | UDK 674.05:621.9.022                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
| KG | obraba orodja/vpliv deleža lepila/iverne plošče                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
| AV | VOJŠČAK, Matic                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
| SA | MEDVED, Sergej (mentor)/ BUČAR, Bojan (somentor)/ GORNIK BUČAR, Dominika (recenzent)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
| KZ | SI-1000 Ljubljana, Rožna dolina, Cesta VIII/34                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
| ZA | Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za lesarstvo                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
| LI | 2016                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
| IN | VPLIV DELEŽA LEPILA V IVERNIM PLOŠČAH NA OBRABO REZIL                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
| TD | Diplomsko delo (Univezitetni študij)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
| OP | IX, 38 str., 2 pregl., 19 sl., 6 pril., 7 vir.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
| IJ | sl                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
| JJ | sl/en                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
| AI | <p>Spremljali smo časovni potek obrabe rezil med operacijo rezkanja ivernih plošč, ki smo jih prej pripravili z različnimi faktorji oblepljenosti v zunanjem in notranjem sloju. Proces odrezovanja je potekal na miznem rezkalnem stroju. Uporabili smo ravno rezkalno glavo, v katero smo vpenjali rezila. Na prej določeno podano dolžino smo vzeli rezilo iz rezkalne glave in določili stopnjo obrabe. Iz rezultatov meritev smo ugotovili, da najhitreje poteka obraba rezil v začetku odrezovanja. Obraba se tekom podane dolžine ves čas povečuje, vendar ne več s tako hitrostjo. Ugotovili smo, da faktor oblepljenosti v zunanjem sloju iverne plošče vpliva na obrabo rezil, nismo pa ugotovili korelacije, če smo spreminjali delež lepila v srednjem sloju.</p> |

## KEY WORDS DOCUMENTATION

DN Dn  
DC UDC 674.05:621.9.022  
CX tool wear/share of adhesiv/particle board  
AU VOJŠČAK, Matic  
AA MEDVED, Sergej (supervisor)/ BUČAR, Bojan (co-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 2016  
TI INFLUENCE OF SHARE OF ADHESIVE IN PARTICLE BOARDS ON TOOL  
WEAR  
DT Graduation Thesis (University studies)  
NO IX, 38 p., 2 tab., 19 fig., 6 ann., 7 ref.  
LA sl  
AL sl/en  
AB We followed the time dependant wear of the blades during the operation of milling  
of particleboards, which have been previously prepared with a various share of  
adhesive. The cutting process was performed on a milling machine. We have used a  
flat milling head in which the blades were clamped. At predetermined specified  
length we took the blade out of the milling head and determine the degree of tool  
wear. From the measurement, we determined that the fastest wear of the blades was  
at the beginning of cutting procedure. Wear and tear during the given length  
increases, but not as hard as at the beginning. We determined the tool wear is  
dependant of the adhesive share in surface layer, while no correlation was found  
when adhesive share was altered in core layer.

## KAZALO VSEBINE

|                                                                            | str.      |
|----------------------------------------------------------------------------|-----------|
| Ključna dokumentacija informacija                                          | III       |
| Key word documentation                                                     | IV        |
| Kazalo vsebine                                                             | V         |
| Kazalo preglednic                                                          | VII       |
| Kazalo slik                                                                | VIII      |
| Kazalo prilog                                                              | IX        |
| <br>                                                                       |           |
| <b>1 UVOD .....</b>                                                        | <b>1</b>  |
| 1.1 OPREDELITEV PROBLEMA .....                                             | 1         |
| 1.2 DELOVNA HIPOTEZA .....                                                 | 1         |
| 1.3 NAMEN DELA .....                                                       | 2         |
| <b>2 OBRABA .....</b>                                                      | <b>3</b>  |
| 2.1 TRENJE .....                                                           | 5         |
| 2.2 ABRAZIVNA OBRABA .....                                                 | 11        |
| 2.3 Odrezovanje .....                                                      | 14        |
| 2.3.1 Geometrijski parametri odrezovanja in deformacijsko območje .....    | 14        |
| 2.3.2 Vpliv kotov na velikost rezalne sile .....                           | 15        |
| 2.3.3 Sile na orodje in obraba orodja med odrezovanjem iverne plošče ..... | 17        |
| 2.4 OBRABA REZALNEGA ORODJA .....                                          | 18        |
| 2.4.1 Merjenje obrabe orodja .....                                         | 18        |
| <b>3 MATERIAL IN METODE .....</b>                                          | <b>21</b> |
| 3.1 MATERIALI .....                                                        | 21        |
| 3.1.1 Iverje .....                                                         | 21        |
| 3.1.2 Lepilna mešanica .....                                               | 21        |
| 3.2 Metode dela .....                                                      | 21        |
| 3.2.1 Izdelovanje plošč .....                                              | 21        |
| 3.3 DOLOČANJE OBRABE .....                                                 | 24        |

|              |                                                                      |           |
|--------------|----------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>3.3.1</b> | <b>Rezalno orodje .....</b>                                          | <b>24</b> |
| <b>3.3.2</b> | <b>Izračun in določitev tehnoloških parametrov odrezovanja .....</b> | <b>25</b> |
| 3.3.2.1      | Določitev parametrov .....                                           | 27        |
| 3.3.2.2      | Izračun rezalne hitrosti .....                                       | 28        |
| <b>3.3.3</b> | <b>Izračun dejanske poti rezila.....</b>                             | <b>28</b> |
| <b>4</b>     | <b>REZULTATI.....</b>                                                | <b>31</b> |
| <b>5</b>     | <b>RAZPRAVA IN SKLEPI.....</b>                                       | <b>34</b> |
| <b>6</b>     | <b>POVZETEK.....</b>                                                 | <b>37</b> |
| <b>7</b>     | <b>VIRI .....</b>                                                    | <b>38</b> |

**ZAHVALA**

**PRILOGE**

## KAZALO PREGLEDNIC

|                                                                        | str. |
|------------------------------------------------------------------------|------|
| Preglednica 1: Iverne plošče z različnimi faktorji oblepljenosti ..... | 23   |
| Preglednica 2: Izračun dejanske poti rezila .....                      | 29   |
| Preglednica 3: Rezultati meritev obrabe rezila v mm. ....              | 31   |

## KAZALO SLIK

str.

|                                                                                                                                                              |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Slika 1: Shematski prikaz vpliva različnih faktorjev na obrabo rezil.....                                                                                    | 4  |
| Slika 2: Plužni efekt.....                                                                                                                                   | 9  |
| Slika 3: Deformacijsko območje pri prodiranju rezila skozi material.....                                                                                     | 15 |
| Slika 4: Geometrija zob krožnega žagnega lista.....                                                                                                          | 16 |
| Slika 5: Skica zoba lista krožne žage.....                                                                                                                   | 18 |
| Slika 6: Detajl A, pogled 1 .....                                                                                                                            | 18 |
| Slika 7: Prikaz profila obrabljenih rezil, po odrezovanju jelovine z različnimi rezalnimi<br>hirostmi. (Havashi, Ito, 1988, str. 105).....                   | 20 |
| Slika 8: Stroj za oblepljenje iveri (FM 130).....                                                                                                            | 22 |
| Slika 9: Hidravlična stiskalnica za stiskanje plošč .....                                                                                                    | 23 |
| Slika 10: Geometrija rezila .....                                                                                                                            | 24 |
| Slika 11: Fotografija rezkalne glave .....                                                                                                                   | 25 |
| Slika 12: Prikaz osnovnih parametrov pri odrezovanju .....                                                                                                   | 26 |
| Slika 13: Mizni rezkar s podajalno napravo .....                                                                                                             | 29 |
| Slika 14: Mikroskop Olympus SZH .....                                                                                                                        | 30 |
| Slika 15: Obrabljeno rezilo po 950,7m obdelane dolžine .....                                                                                                 | 31 |
| Slika 16: Graf obrabe rezil pri obdelavi ivernih plošč pri katerih smo spreminjali zunanji<br>faktor oblepljenosti (Plošče A, B, C, D, E, F, G, H in I)..... | 32 |
| Slika 17: Graf obrabe rezil pri obdelavi ivernih plošč pri katerih smo spreminjali notranji<br>faktor oblepljenosti (Plošče A, B, C, J, K, L in M) .....     | 32 |
| Slika 18: Graf končne obrabe rezil pri različnih faktorjih oblepljenosti v zunanjem sloju<br>(po 950m obdelane dolžine) .....                                | 35 |
| Slika 19: Graf končne obrabe rezil pri različnih faktorjih oblepljenosti v notranjem sloju<br>(po 950m obdelane dolžine) .....                               | 36 |



## KAZALO PRILOG

Priloga A: Specifikacija plošč A, B in C

Priloga B: Specifikacija plošč D in E

Priloga C: Specifikacija plošč F in G

Priloga D: Specifikacija plošč H in I

Priloga E: Specifikacija plošč J in K

Priloga F: Specifikacija plošč L in M

## 1 UVOD

Visoka kakovost mehanske obdelave materiala je dandanes predpogoj za uspešno lansiranje končnih izdelkov na trg. Najpomembnejši atributi današnjih proizvodnih procesov in tehnologije so: visoka produktivnost, fleksibilnost, vzdržljivost in prilagajanje novim zahtevam ter seveda ne nazadnje tudi sama ekonomičnost.

Vrste obdelovanca predstavlja enega izmed pomembnejših parametrov v procesu mehanske obdelave, zato moramo biti pri izbiri materiala še posebej pozorni, saj želimo čim bolj kakovostno obdelano površino s čim manj stroški.

Iverne plošče, kot najpogosteje uporabljen material za izdelavo pohištva je tako največji možni vir prihranka pri obdelavi, zato je pomembno, da vemo kaj so največji faktorji pri obrabi naših rezil.

### 1.1 OPREDELITEV PROBLEMA

Eden izmed najpomembnejših podatkov glede ivernih plošč je faktor oblepljenosti. Seveda vpliva še veliko drugih faktorjev od drevesne vrste iverja, velikosti iverja, vrste lepila, ... Mi smo se osredotočili na faktor oblepljenosti. V slovenski proizvodnji pohištva se najpogosteje uporablja ena vrsta ivernih plošč, ki je običajno najugodnejša, kar pa ne pomeni da je tudi najboljša s stališča obdelave.

### 1.2 DELOVNA HIPOTEZA

Zaradi razlik v količini lepila v zunanjem in notranjem sloju ivernih plošč menimo, da bo spremenjen faktor oblepljenosti plošč vplival na obrabo rezil. Lastnosti ivernih plošč pa niso odvisne samo od faktorja oblepljenosti, temveč tudi od tega, kateri sloj v iverni plošči ima povečan faktor oblepljenosti ali zunanji ali notranji. Predvidevamo, da to vpliva tudi na obrabo rezil.

### 1.3 NAMEN DELA

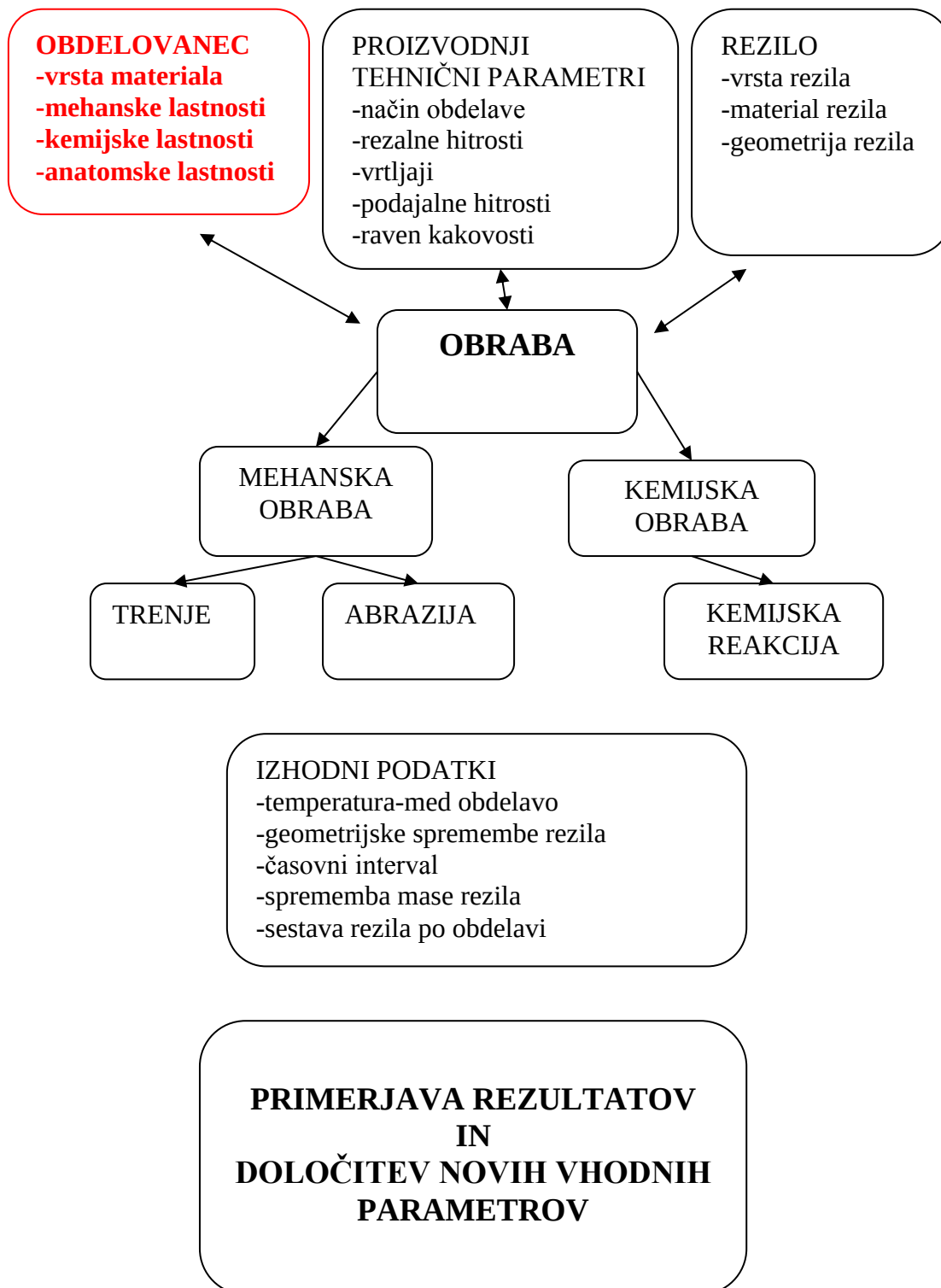
Namen dela je raziskati, ali različen faktor oblepljenosti v notranjem in zunanjem sloju iverne plošče vpliva na obrabo rezil.

## 2 OBRABA

Obraba je proces, ki je neizbežen kadar dve telesi na kateri deluje določena sila, drsita po njunih ploskvah ena na drugi. Izgubi mase do katere prihaja v tem procesu, pravimo obraba. Procese obrabe se ne da izničiti, s poznavanjem materiala (obdelovanja) pa ga lahko bistveno zmanjšamo. Zmanjšanje obrabe prispeva k varčevanju z materiali, povečanjem življenjske dobe izdelkov itd.

Na področju mehanske obdelave v lesarstvu imamo opravka predvsem z obrabo rezil. Obraba rezil je posledica različnih povzročiteljev, ki se medsebojno prepletajo. Tako moramo za poznavanje obrabe poznati različne dejavnike. Obraba rezil v lesarstvu je kompleksen problem. Proces odrezovanja tako spremlja vrsta fizikalno kemijskih pojavov. Samo obrabo narekuje vrsta parametrov: material rezalnega orodja, parametri obdelave, geometrijska oblika rezila, mehanske in kemijske lastnosti obdelovanja. Ti parametri, ki določajo celoten potek obrabe, pomembno vplivajo na potek obdelave in različno vplivajo na končne rezultate (izgled površine in stopnjo obrabe orodja).

Eden od bistvenih parametrov je sama izbira obdelovanja. Obdelovanec je prva točka iz katere izvira vse nadaljnjo prilagajanje obdelovalnega postopka. Shema na sliki 1 prikazuje faktorje, ki vplivajo na obrabo rezil. V nalogi smo se osredotočili na obdelovanc.



Slika 1: Shematski prikaz vpliva različnih faktorjev na obrabo rezil

## 2.1 TRENJE

Trenje predstavlja upiranje pri drsenju ene površine preko druge, vektor sile trenja pa je vedno usmerjen v nasprotno smer kot vektor relativne hitrosti gibanja obeh površin. Trenje pomeni vedno neko dodatno energijo, ki jo dovajamo v sistem. V nekaterih primerih ga s pridom izkoriščamo in ga celo želimo povečati.

V tehniki pa se vsakodnevno srečujemo tudi s primeri, ko nam trenje predstavlja oviro ter strošek, ki ga želimo zmanjšati. Uporaba maziv je najpogostejša rešitev zmanjševanja trenja. Tam, kjer pa jih ni mogoče uporabiti, smo prisiljeni k izboljševanju materialov ter vpeljevanju novih odpornejših materialov v sisteme.

Razmerje med  $F$  (silo) in  $W$  (normala) imenujemo koeficient trenja  $\mu$ . Poznamo statični in kinetični koeficient trenja. Sam koeficient trenja ni odvisen toliko od materiala, kakor od samih teles med katerima nastaja trenje. Koeficient trenja ni odvisen od same normale, ki pritiska na podlago, je pa enak za različno težka telesa.

$$\mu = \frac{F}{W} \quad \dots (1)$$

$W$  - normala, ki deluje pravokotno na podlago, [N]

$F$  - sila, ki deluje na telo v obratni smeri gibanja, [N]

Kot smo že omenili, se celotna energija vložena v neko telo, ne spremeni v delo. Razlika v tej energiji naj bi se zgubila v :

- elastični histerezi,
- plastični deformaciji,
- lomih in ustvarjanju novih površin.

Sam pojav trenja razlaga več teorij, ki se medsebojno dopolnjujejo. Navedli in na kratko predstavili bomo le pomembnejše teorije ter tiste, s katerimi se srečujemo pri obrabi rezalnega orodja.

Molekularna teorija sloni na predpostavki, da je telo v ravnotežju tedaj, ko so odbojne in privlačne sile med atomi telesa v ravnotežju. Pri približevanju dveh teles odbojne sile povzročijo ločevanje površin, kar povzroči povečanje izgube vložnega dela v telo (trenje). Vendar vemo, da so dejanske površine bolj ali manj grobe, kar pomeni da se le del površine zbliža dovolj (atomi na vrhovih) za omenjen efekt.

Ravnotežje:

$$W + \sum F_A = \sum F_R \quad \dots (2)$$

$\sum F_A$  - vsota privlačnih sil, [N]

$\sum F_R$  - vsota odbojnih sil, [N]

$W$  - normala, [N]

Normalno so privlačne sile ničelne oz. zanemarljivo majhne in jih v praksi ne upoštevamo. Tako lahko zapišemo:

$$W = \sum F_R \quad \dots (3)$$

Zbližana atoma na nalegajočih se površinah tvorita par, med katerim deluje negativni privlak. Enačba (3) opisuje statično situacijo ravnovesja. Enačbo lahko uporabimo tudi v dinamični situaciji, čeprav se v tem primeru pari atomov izmenjujejo zaradi kontinuiranega premikanja teles. V primeru kontinuiranega gibanja teles, ko se pari atomov izmenjujejo, moramo uporabiti predpostavko, da je število atomskih parov v stiku vedno enako in se ne spreminja iz momenta v moment, če želimo aplicirati enačbo (3).

Enačbo (3) lahko zapišemo tudi na drug način:

$$W = n \cdot p \quad \dots (4)$$

$n$  - število atomskih parov

$p$  - odbojna sila med atomoma, [kJ/mol]

Nalegajoči površini začnemo premikati (drsenje telesa po podlagi):

$$N = n \cdot \left(\frac{x}{d}\right) \quad \dots (5)$$

$N$  - število kolikokrat so atomski pari oddaljeni

$x$  - dolžina premika, [Å]

$d$  - razdalja med atomi v matriki podlage materiala drsne ploskve, [Å]

Vendar pa enačba (5) velja le v idealnem primeru, realno moramo dodati koeficient  $\alpha$ , saj se zbliža le določeno število parov.

$$N = \alpha \cdot \left(\frac{n \cdot x}{d}\right) \quad \dots (6)$$

Energijo odboja parov atomov, označimo z  $E$ . Z multiplikacijo  $E$  na obe strani enačbe dobimo:

$$NE = \alpha \cdot \frac{n \cdot x}{d} \cdot E \quad \dots (7)$$

$E$  - Energijo odboja parov atomov

$$\mu W_x = NE \quad \dots (8)$$

Produkt  $NE$  iz enačbe (7) substituiraemo v enačbo (8):

$$\mu = \alpha \cdot \frac{n \cdot E}{dW} \quad \dots (9)$$



Nato s substitucijo  $W$  iz enačbe (4) dobimo:

$$\mu = \alpha \cdot \left( \frac{E}{d \cdot p} \right) \quad \dots (10)$$

Domnevamo, da je atom premaknjen iz prvotnega ravnovesja, ko vstopa v odbojno polje drugega. Atom se bo poskušal vrniti na prvotno pozicijo, to razdaljo vrnitve imenujmo  $l$ ,  $E_c$  pa naj bo kohezivna sila med atomi.

$$E_c l = E \quad \dots (11)$$

$E_c$  - kohezivna sila med atomi, [kJ/mol]

$l$  - razdalja atoma do prvotne pozicije, [Å]

Substitucija te enačbe z enačbo (11):

$$\mu = \alpha \cdot \frac{E_c}{p} \cdot \frac{l}{d} \quad \dots (12)$$

Zgornja enačba ne vsebuje izraza  $W$  (normala), kar pomeni, da koeficient trenja ni odvisen od normalne sile. Molekularna teorija sloni na predpostavki, da se nalegani površini ne poškodujeta.

Molekularni model ima veliko pomanjkljivost, ker ne obravnava penetracije enega od materialov v drugega. Tako ne obravnava poškodb površine, ki nastanejo pri stiku dveh teles.

Po teoriji Bowden, je sila trenja sestavljena iz dveh neodvisnih komponent, adhezije in pluznega efekta. Predstavljajmo si polkroglo, ki jo postavimo na podlago. Nanjo začnemo delovati s silo  $W$ , ki je tako velika, da mehkejši material popusti (podlaga), kar povzroči povečanje stične ploskve med polkroglo in podlago. Na polkroglo delujemo s tangencialno

silo s katero jo pričnemo premikati v trenutku, ko je sila večja od adhezijskih sil med polkroglo in podlago. Med horizontalnim premikanjem odrija material, pred njo se ustvarja stena materiala, ki ga le ta mora odriniti za vzdrževanje gibanja.

Če predpostavimo idealne pogoje, lahko zapišemo:

$$F = S + P \quad \dots (13)$$

$S$  - strižna trdnost

$F$  - tangencialna sila, ki deluje v smeri gibanja, [N]

$P$  - pluzni efekt, odiranje materiala

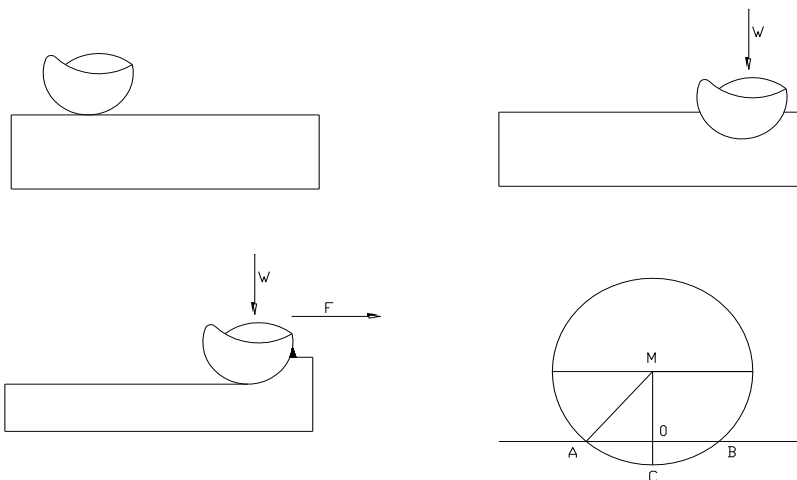
Poznati moramo še elastičnost materiala, ki ga odrivamo, ter površino segmenta, ki odrija material.

$A$  - površino prereza polkrogle, ki je v stiku s podlago [ $\text{m}^2$ ]

$\tau$  - strižna napetost podlage

$S$  - strižna sila med kroglo in podlago

$$S = \tau \cdot A \quad \dots (14)$$



Slika 2: Plužni efekt

$h$  - OC, [m]

$d$  - AB, [m]

$$AOBC = 2hd/3$$

$R$  = radij celotnega segmenta

$$h = d^3/8r \quad \dots (15)$$

$$A = d^3/12r \quad \dots (16)$$

$$P = A \cdot \delta_y = (d^3/12r) \delta_y \quad \dots (17)$$

$$F = A \cdot \tau + (d^3/12r) \delta_y \quad \dots (18)$$

Iz enačb (od 15 do 18) vidimo, da je poglavitni geometrijski parameter  $d$  (premer), ki se povečuje z globino vdiranja. Material z nižjo trdoto bo dal pod obremenitvijo (enako velja pri polkrožnem in pri stožčastem telesu). Plužni efekt se bo povečeval pri mehkejših materialih, vendar je v teh primerih tudi  $\delta_y$  (napetost) nizka. Celotna sila trenja se ne povečuje obratno sorazmerno, z nižanjem trdnosti materiala. Iz tega razloga morda ni najbolj pravilna predpostavka dveh posameznih ločenih parametrov. Pri enakomernem povečevanju hitrosti, se površina materiala pred polkroglo povečuje progresivno, povečuje se tudi odpor.

Na začetku makroskopskega drsenja, je statična ploskev dosegla maksimalno stalno vrednost in koeficient trenja je enak statičnemu koeficientu trenja.

$$\delta^2 + \alpha \cdot \tau^2 = \delta_y^2 \quad \dots (19)$$

$\delta$  - normalna napetost

$\tau$  - tangencialna napetost

$\delta$  - material ki formira stik

Ko tangencialna napetost ( $\tau$ ) prične naraščati, normalna ( $\delta$ ) pada. Za vzdrževanje plastičnosti materiala (deformacije) mora, tangencialna napetost ( $\tau$ ) naraščati hkrati z naraščanjem površine in padanjem normalne napetosti ( $\delta$ ). To se dogaja dokler

tangencialna napetost ( $\tau$ ) ni dovolj velika, da prekorači statični koeficient trenja, takrat telo prične drseti.

Površine naših teles niso nikoli idealno ravne, zato prihaja do stika le na določenih mestih (vrhovi).

$$A_t = A_1 + A_2 + A_3 + A_4 + \dots + A_n \quad \dots (20)$$

$A_t$  - realna stična površina, [m<sup>2</sup>]

$A$  = idealna površina (geometrijska), [m<sup>2</sup>]

$$A_t \ll A \quad \dots (21)$$

Večja kot je obremenitev na telo in podlago, večja je stična površina in s tem tudi elastične deformacije => prisilno zbliževanje dveh ploskev.

Fenomen se pojavi pri nižjih hitrostih drsenja, ko se periodično ponavlja pojav mirovanja površine in drsenja ob kontinuirani sili, gre za razliko med statičnim in kinetičnim koeficientom trenja. Površine so običajno dokaj grobe, prihaja pa do neenakomerne obrabe podlage. Pri velikih hitrostih se ta fenomen ne pojavlja tako opazno, intervali so vse krajši in pojav postane zanemarljiv ali ničen.

## 2.2 ABRAZIVNA OBRABA

Pri trenju prihaja do delovanja strižnih sil na površini in plužnega efekta. Plužni efekt pri mehkem materialu je omogočen s pritiskom  $F$  (normala trdega telesa), ki prodira v mehkejšo telo, med premikanjem po tem telesu ga razi. Če se to razenje ponavlja, se prične material razenega telesa odstranjevati. V tem primeru govorimo o abrazivni obrabi (primeri: brusno kolo, operacija brušenja, abrazija skal s peskom...). Da bi dobili takšno obrabo mora biti eden od materialov trši ali pa vključevati trše delce od drugega v drsnem paru. V nekaterih primerih gre tudi za nastajanje delcev z visoko trdoto, ki so posledica

kemijskih reakcij med ostanki obrabe. Delci ostanejo v območju drsenja dveh teles in razijo površino mehkejšega telesa. Delci, ki povzročajo abrazijo so lahko ali fiksni (toga matrika) ali pa so v prosti obliki (polirna pasta, čistila).

Obrabo pri abraziji razlagamo z modelom abrazivne obrabe med dvema telesoma, v tem primeru prihaja do najpogostejših in najbolj opaznih obrab. Tudi model abrazije med tremi telesi se prilagodi modelu abrazivne obrabe med dvema telesoma s tem, da dobimo dva nova sistema. Pogoj za abrazijo, je možnost ostrega roba. Sčasoma se robovi obrabijo, na primer pri brusnem sredstvu. Nekakšno splošno prepričanje je, da trši materiali (diamant) dlje obdržijo ostrino vendar to ne velja vedno.

$$H_m/H_a \quad \dots (22)$$

$H_m$  - trdota kovine

$H_a$  - trdota abraziva

Koeficient (22) lahko nekako napove učinkovitost brusnega sredstva. Če je koeficient visok, bo obraba nizka vendar ne ničelna. V primeru, da je koeficient (22) višji ali enak 1 obrabe skoraj ni (ni prave abrazije). Najpomembnejši parameter abrazivne obrabe je velikost zrn in število zrn na enoto površine. Z večanjem velikosti zrn abraziva se do določene meje obraba povečuje. Možna je celo linearna povezava med velikostjo zrn in obrabo. Pri določeni mejni velikosti pa se obraba preneha povečevati in postane konstantna ob povečevanju zrn. Trdota je eden od parametrov, ki narekuje odpornost materiala proti obrabi:

Z  $R$  označimo odpornost proti obrabi, ter jo izrazimo v enačbi:

$$R=K_1 \cdot H + K_2 \quad \dots (23)$$

$K_1 K_2$  - empirične konstante

$H$  - trdota materiala

$R$  - odpornost proti obrabi

Trdoto materiala lahko opredelimo tudi s kemijskega stališča. Eden izmed kriterijev je kohezija telesa, ki jo vrednotimo z energijo vezi. Podobno povezavo lahko potegnemo tudi med temperaturo tališča in odpornostjo proti obrabi, kjer se pokaže, da z višanjem temperature tališča nekega materiala raste tudi njegova odpornost proti obrabi. Energijsko obrabo opredelimo tudi s stališča velikosti energije, ki je potrebna za odstranitev določene količine materiala pri abraziji dveh teles.

To energijo lahko razdelimo na:

- energija, potrebna za nastanek odrezka
- energija za plužni efekt - ustvarjanje brazde in odrivanje materiala
- energija, ki jo zahteva drsenje otoplega abrazivnega zrna po obdelovancu

Tipičen primer abrazije dveh teles je brušenje, kjer prihaja do razenja tršega materiala po mehkejšemu. Primer abrazije pri nizki obremenitvi z visoko stopnjo frekvence ponovitev je drsenje vode preko skal.

$$1/(M / \rho) \propto (H_p / W)^{3/2} \quad \dots (24)$$

$\rho$  - gostota materiala, katerega odpornost iščemo, [kg/m<sup>3</sup>]

$W$  - normalna sila, [N]

$H_p$  - trdota materiala

$M/\rho$  - volumen materiala, ki ga odstranimo z obrabo, [m<sup>3</sup>]

Pri majhnih delcih je trenje manjše, povečuje se ostrina in velikost delcev do določene kritične velikosti, kjer postane konstantno. Manjše kot je trenje, manjša je obraba.

Pri brušenju prihaja do pojava odpadanja zrn brusnega sredstva. Tako odpadla zrna, ki ostanejo v področju obdelave, povečujejo koeficient trenja in posledično tudi samo obrabo. Na začetku abrazije se trdnost površine prične zviševati, do najvišje možne meje. Naprej so odstranjeni delci, ki imajo najnižjo trdoto in za katere je potrebno najmanj dela, da so odstranjeni.

$G_0$  = količina napetostne energije  $\rightarrow$  narašča do  $G_m$  – proti drsenju pod pritiskom

Tipičen primer abrazije pod visokim pritiskom je kopanje rude in bogatenje rude, ki vsebuje minerale. V tej rudi se nahajajo elementi, ki povzročajo abrazijo. Pri predelavi, brušenju in drobljenju teh rud prihaja do zelo velikih obrab orodij, ki je posledica abrazivne obrabe. Rešitev je uporaba trših materialov za izdelavo orodij (drobilcev in vodil). Abrazija pod nizkimi tlaki se zmanjša z večjo trdoto materiala.

## 2.3 ODREZOVANJE

### 2.3.1 Geometrijski parametri odrezovanja in deformacijsko območje

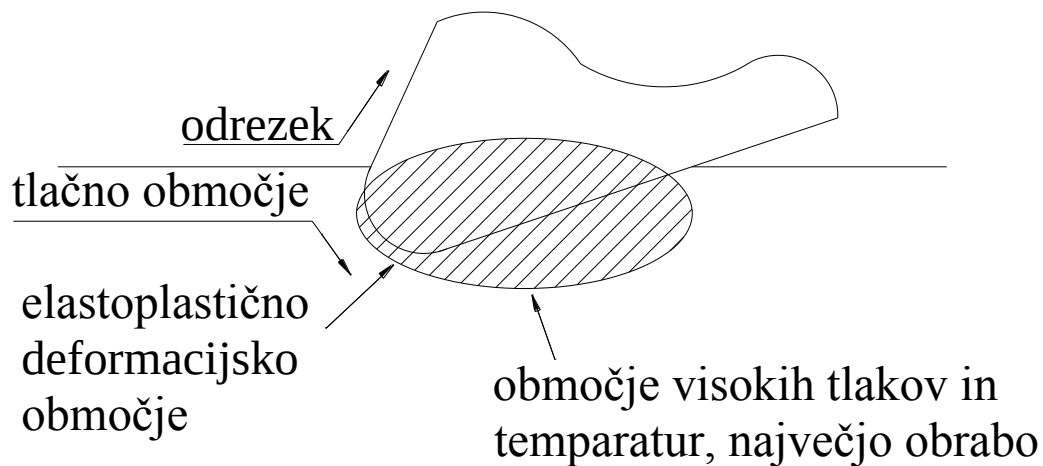
Geometrijske značilnosti rezila so definirane z naslednjimi parametri:

- hrbtni kot  $\alpha$
- kot klina  $\beta$
- prsni kot  $\gamma$
- bočni kot  $\tau$

Ob specifični anatomske zgradbi lesa in orientiranosti lesnega tkiva, ki določata mehanske lastnosti, imajo geometrijski parametri odločilen vpliv na nastanek odrezka in njegovo deformacijo. Pravilna oz. optimalna geometrija rezil je eden od pomembnejših parametrov, ki vplivajo na kvaliteto obdelave in trajnost rezil med procesom obdelave lesa.

Ločevanje obdelovanega materiala oz. nastajanje odrezka je posledica relativnega gibanja med orodjem in obdelovancem. V odrezek prehaja večji del masnega toka materiala, ki se med prehodom skozi deformacijsko območje večinoma plastično deformira. Odrezek drsi po prsni strani rezila in povzroča abrazivno obrabo, ki pa je zaradi nizkih pritiskov odrezka na površino rezila in nizke trdote samega odrezka v lesarstvu zanemarljiva oz. minimalna. Zaradi zaobljenosti rezalnega roba steče manjši del masnega toka pod rezilo. Ta del materiala se plastično deformira, obenem pa se pojavi tudi elastična deformacija tega materiala. V tem območju prihaja do povečevanja trenja med rezalnim robom in

materialom, česar posledica je abrazivna obraba rezila. Na hrbtni ploskvi in rezalnem robu prihaja tudi do močnega segrevanja (lom materiala, elastična deformacija materiala, trenje), kar posledično pomeni nastanek pogojev za kemijsko obrabo rezila.

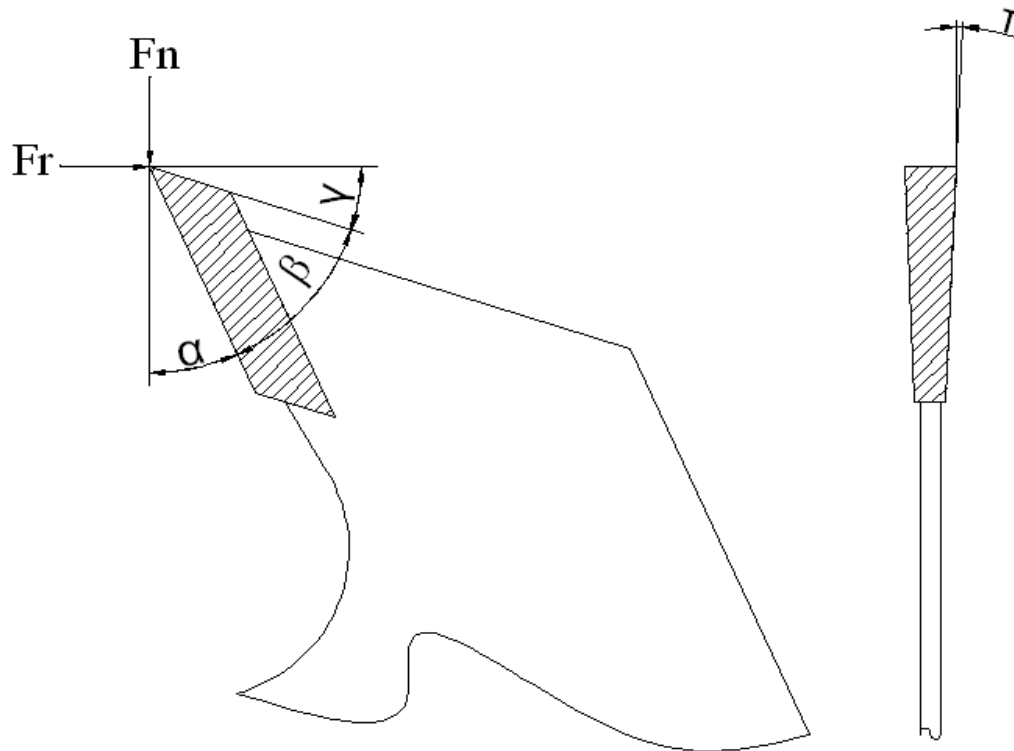


Slika 3: Deformacijsko območje pri prodiranju rezila skozi material

### 2.3.2 Vpliv kotov na velikost rezalne sile

Kot smo predhodno že omenili predstavlja geometrija rezila enega od pomembnejših parametrov, ki vplivajo na samo obrabo rezila.





Slika 4: Geometrija zob krožnega žagnega lista

Kjer je:

- Hrbtni kot  $\gamma$ : vpliva na normalno komponento rezalne sile. Hrbtna površina rezila v procesu odrezovanja nima aktivne vloge in je izpostavljena pritiskom povratne tlačne deformacije. Velikost trenja, ki se razvije med lesno maso in hrbtno površino rezila, je odvisna tudi od gladkosti hrbtne površine.
- Kot klina  $\beta$  rezila: vpliva na obstojnost in trdnost rezila. Če je kot premajhen, se poveča nevarnost loma konice rezila in s tem poveča možnost predčasne otopitve rezalnega roba.
- Prsni kot  $\alpha$ : neposredno vpliva na nastanek odrezka in potrebno rezalno silo. Pri ločevanju odrezkov je prsna površina izpostavljena velikim obremenitvam, ki jih izvaja lesna masa pri tvorbi odrezka. Gladkost prsne površine rezila zmanjša trenje med rezilom in odrezkom ter s tem posledično pozitivno vpliva na vzdržljivost orodja.

- Bočni kot  $\tau$ : zelo pomemben pri geometriji zob lista krožne žage, preprečuje drsenje bočnega dela rezila po materialu, da ne prihaja do pregrevanja ter s tem do prekomerne obrabe rezila.

Vpliv velikosti radija zaobljenosti rezalnega roba:

- vpliv je posreden, saj le ta vpliva na specifični rezalni upor. Ostro rezilo (rezilo z majhnim radijem) lažje prodira v obdelovanec;
- s časom rezanja - dolžino rezov se radij rezila povečuje - rezilo otopi;
- razmerje med radijem zaobljenosti in specifičnim rezalnim uporom, naj bi bilo linearno.

### **2.3.3 Sile na orodje in obraba orodja med odrezovanjem iverne plošče**

Iverna plošča pri obdelavi krha rezilo, hitreje od masivnega lesa. Zmanjšanje obrabe rezil pri obdelavi iverne plošče bi znatno pocenilo njeno obdelavo.

Pri ločevanju odrezka od obdelovanca se pojavi odpor, ki ga predstavljajo naslednje sile:

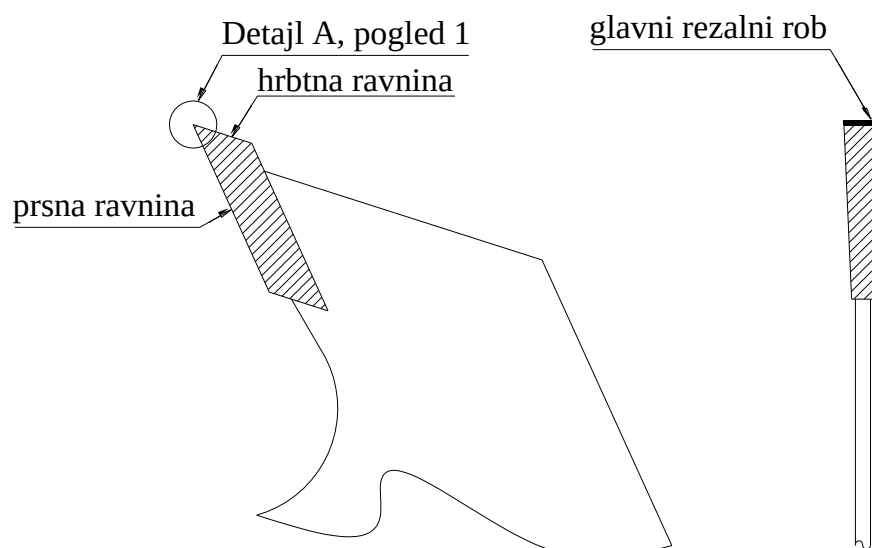
- sila trdnosti lesnega tkiva,
- sila, potrebna za deformacijo odrezka,
- sila trenja med odrezkom in rezilom,
- sila trenja med obdelovalno ravnino in rezilom,
- sila, potrebna za izmet odrezka.

Obraba samega orodja naj bi se zgodila zaradi:

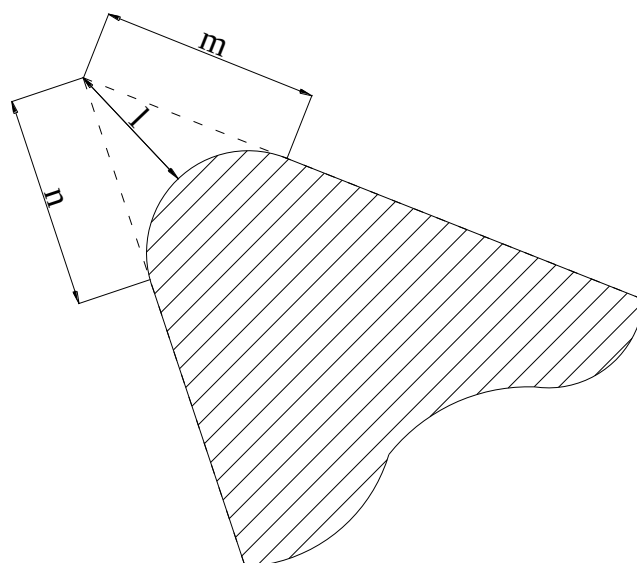
- drgnjenja med visoko reaktivnimi elementi orodja in obdelovancem,
- plastične deformacije obdelovanca, kar privede do tesnega in obsežnega stika med rezilom in obdelovanim materialom,
- ekstremno visoke temperature v območju rezanja.

## 2.4 OBRABA REZALNEGA ORODJA

### 2.4.1 Merjenje obrabe orodja



Slika 5: Skica zoba lista krožne žage

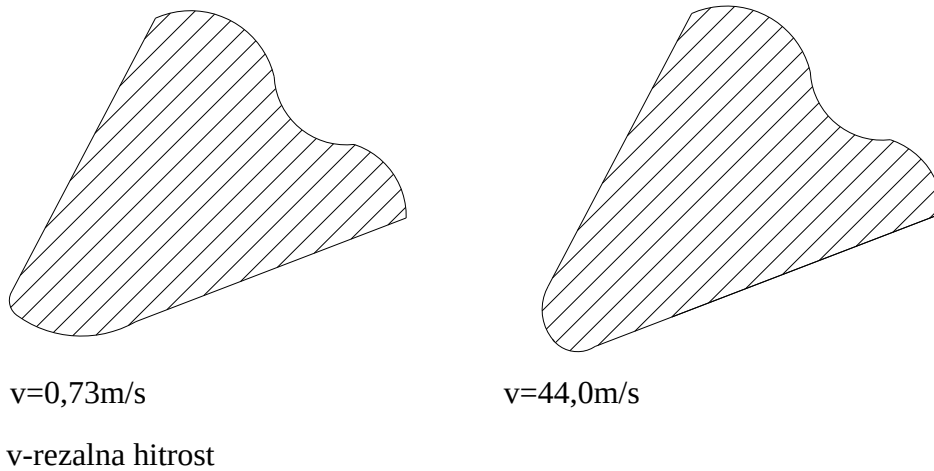


Slika 6: Detajl A, pogled 1

Razdalja obrabe, prikazane na slikah 5 in 6, se merijo od teoretičnega vrha robu idealno ostrega rezila (točka 0,0), ter do stičišč dejanskega robu z ravnino rezila (m in n) oz. robom rezila (1). Na sliki 6 predstavlja  $l$  tangencialno razdaljo od točke 0,0 do najbližje točke rezila,  $m$  razdaljo od točke 0 do stičišča z ravnino prostega kota,  $n$  razdaljo od 0 do stičišča s prsno ravnino.

Pri povečevanju prsnega kota se obraba hrbtno strani poveča. Razlog za večjo obrabo je v odpiranju materiala na hrbtno stran, kar pomeni večje trenje med hrbtno ploskvijo in obdelovancem. Povečajo se sile materiala, ki pritiskajo na hrbtno stran. To pomeni večje trenje in posledično večjo abrazijo in višje temperature v območju rezanja. K večji obrabi pripomore tudi manjša količina samega materiala rezila - na konici. Tako lahko sklepamo, da prevelik prsni kot rezila pomeni prekomerno in prehitro obrabo rezila. V primeru, da je normalna sila večja od paralelne, se obraba rezila poveča. Razlog za to je v večjih količinah stisnjenega materiala in večjih silah na hrbtno stran rezila. Pri tem se trenje poveča, v območju odrezovanja se zvišajo temperature, vse to pa posledično vodi k večji obrabi rezila. Zato naj bi se prsni kot orodja in odrez na zob pri obdelavi povečevali do meje, ko se kvaliteta površine poslabša oz. obraba orodja naraste. S tem naj bi dosegli optimalne parametre odrezovanja. Glede na izdelane raziskave, naj bi se prsni kot gibal med  $10^\circ$  in  $30^\circ$ .

Po raziskavah Hayashi in Ito (1988) naj bi bila oblika obrabljenega rezalnega roba odvisna od rezalne hitrosti. Tako naj bi imela orodja z nizkimi rezalnimi hitrostmi ostre robove, rezila z visokimi rezalnimi hitrostmi pa zaobljene. Vpliv rezalne hitrosti na obrabo orodja je odvisen tudi od samega materiala, ki ga obdelujemo, kajti oblika odrezka neposredno vpliva na obrabo orodja. Tako naj bi za masiven les veljalo, da je obraba pri višji rezalni hitrosti znatno manjša kot pri nizkih. (Hayashi K., Ito M. 1988)



Slika 7: Prikaz profila obrabljenih rezil, po odrezovanju jelovine z različnimi rezalnimi hirostmi. (Havashi, Ito, 1988, str. 105)

Hayashi in Suzuki (1988) sta merila tudi temperaturo rezila v območju odrezovanja pri obdelavi iverne plošče. Izmerila sta, da je temperatura v tem območju pri rezalni hitrosti 45,2 m/s in 310 °C, pri hitrosti 22,6 m/s pa 200 °C. Ugotovila sta tudi, da je obrabni mehanizem pri obdelavi v območju višjih temperatur drugačen kot pri nižjih temperaturah.

### **3 MATERIAL IN METODE**

#### **3.1 MATERIALI**

##### **3.1.1 Iverje**

Iverje smo dobili že presejane za zunanji in notranji sloj (bukovo iverje). Iverje smo nato morali posušiti v laboratorijskem sušilniku pri temperaturi 65 °C, tik pred sestavljanjem plošč.

##### **3.1.2 Lepilna mešanica**

Lepilna mešanica je bila sestavljena iz lepilne smole (urea-formaldehidno lepilo), parafina (60% emulzija), utrjevalca (20% vodna raztopina amonijevega sulfata) in vode. Delež vode smo prilagajali vlažnosti iverja pred oblepljenjem, da bi dosegli predvideno vlažnost oblepljenega iverja, predvsem pa primerno viskoznost lepila za čim lažje nanašanje (brizganje s šobami).

#### **3.2 METODE DELA**

##### **3.2.1 Izdelovanje plošč**

Lepilno mešanico smo pripravili ločeno za zunanji sloj in srednji sloj v skladu z načrtovanimi parametri (priloga). Posušeno iverje smo oblepili v stroju za oblepljenje (slika 8). Čas doziranja lepila in mešanja je bil 15 minut.



Slika 8: Stroj za oblepljenje iveri (FM 130)

Na natresno pločevino smo položili kalup za izdelavo laboratorijskih plošč dimenzije 500 × 500 mm in enakomerno natresli zahtevano količino iverja za zunanji in notranji sloj. Po končanem natresanju smo iverno pogačo utrdili z leseno desko in izmerili debelino natresene pogače.



Slika 9: Hidravlična stiskalnica za stiskanje plošč

Pogačo smo stisnili pri temperaturi 180 °C in tlaku 3 N/mm<sup>2</sup>. Čas stiskanja je bil 4 minute. Debelino stiskanja smo regulirali z distančnimi letvami. Po končanem stiskanju smo po eni minuti ploščo stehali. Plošče smo 60 minut ohlajali pri sobnih pogojih in jih klimatizirali pri normalnih klimatskih pogojih (20 °C in 65 % relativne zračne vlažnosti). Izdelali smo šest različnih tipov plošč. Vsak tip plošče smo izdelali po dve razen prvega tipa plošče, ki nam je služila kot osnovo smo izdelali tri. Vse skupaj smo tako izdelali trinajst ivernih plošč. Polna specifikacija plošč se nahaja v prilogi, v preglednici 1 pa se nahajajo faktorji oblepljenosti v zunanjem in notranjem sloju.

Preglednica 1: Iverne plošče z različnimi faktorji oblepljenosti

|                        | Zunanji faktor oblepljenosti | Notranji faktor oblepljenosti |
|------------------------|------------------------------|-------------------------------|
| A,B in C iverne plošče | 11.50%                       | 7.50%                         |
| D in E iverne plošče   | 10%                          | 7.50%                         |
| F in G iverne plošče   | 13%                          | 7.50%                         |
| H in I iverne plošče   | 12%                          | 7.50%                         |
| J in K iverne plošče   | 11.50%                       | 9%                            |
| L in M iverne plošče   | 11.50%                       | 6%                            |

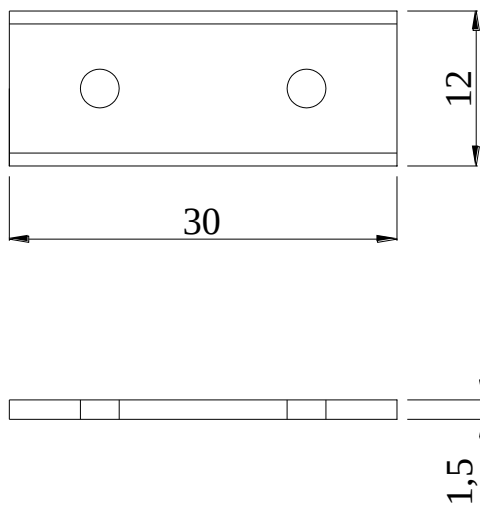


### 3.3 DOLOČANJE OBRABE

Za eksperiment smo uporabili rezila iz karbidne trdine. Odrezovanje smo izvajali na ivernih ploščah povprečne debeline 16,93 mm. Meritve geometrije rezil oz. rezalnih robov smo opravili večkrat po vnaprej določenem zaporedju. Najprej smo izvedli začetno meritev rezil pred odrezovanjem (referenčna meritev), nato pa smo meritve ponavljali po prav določenih dolžinah obdelave (preglednica 2).

#### 3.3.1 Rezalno orodje

V eksperimentu smo uporabili rezila iz sintranih karbidnih trdin (Art. Nr.: TM 4050), ki se običajno uporablja pri obdelavi tvoriv. Izvedba samega eksperimenta - potek odrezovanja, je bil opravljen na nadmiznem rezkarju. Slika 10 prikazuje geometrijo rezil s katerimi smo rezali iverne plošče. Meritve so podane v mm.



Slika 10: Geometrija rezila

Kot nosilec rezil smo uporabili ravno rezkalno glavo z izmenljivimi rezili proizvajalca Leitz (slika 11).

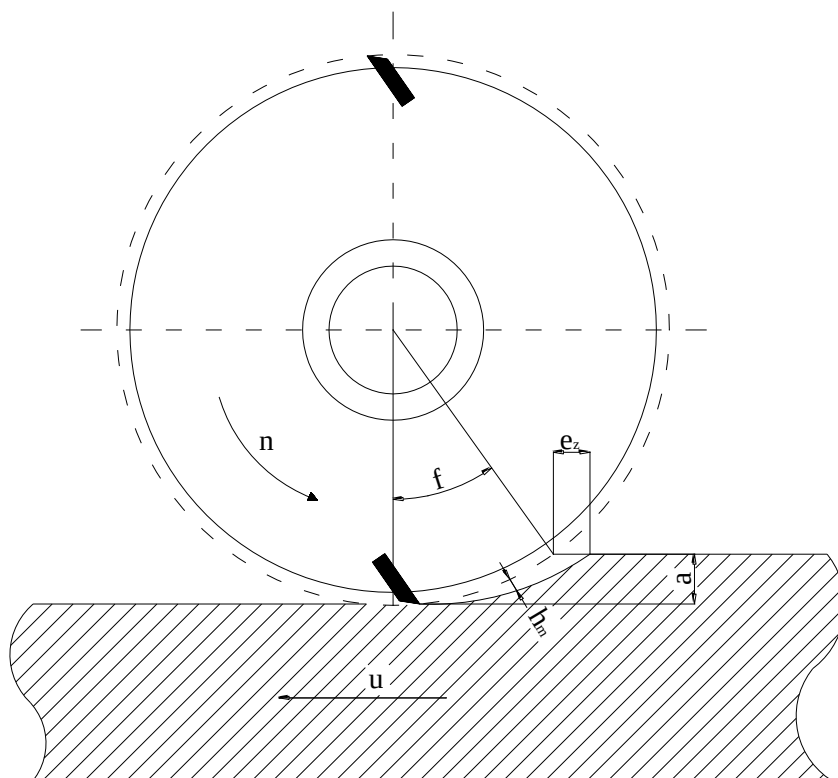


Slika 11: Fotografija rezkalne glave

Glava je izdelana tako, da ima mesti za dve glavni rezili. Testirali smo le eno rezilo. Obe rezili smo vpeli v glavo, vendar smo eno rezilo pomaknili za 2 mikrometra bolj navzven tako, da je le eno rezilo opravilo vse delo. Tako smo imeli masno uravnoteženo orodje.

### 3.3.2 Izračun in določitev tehnoloških parametrov odrezovanja

Pogoje eksperimenta smo želeli kar najbolj približati realnim pogojem pri mehanski obdelavi iverne plošče v proizvodnji. Na sliki 12 prikazuje glavne parametre pri odrezovanju z rezkalnim strojem.



Slika 12: Prikaz osnovnih parametrov pri odrezovanju

$D$  - premer rezkalne glave, [mm]

$z$  - število rezil

$n$  - število vrtljajev rezkalne glave, [l/min]

$u$  - hitrost podajanja obdelovanca, [m/min]

$a$  - globina rezkanja, [mm]

$\rho_v$  - izhodni kot rezila iz obdelovanca

$e_z$  - odrez na zob, [mm]

$h_m$  - srednja debelina odrezka, [mm]

$v$  - rezalna hitrost (obodna hitrost konice rezila), [m/s]

### 3.3.2.1 Določitev parametrov

Znani parametri, ki so nam bili podani:

$$D = 125 \text{ mm}$$

$$z = 1$$

$$n = 7000/\text{min}$$

$$u = 13 \text{ m/min}$$

$$a = 2 \text{ mm}$$

smo določili:

$$e_z; 2 \text{ mm} < e_z < 4 \text{ mm, izbrali smo } e_z = 3 \text{ mm}$$

$$h_m; 0,25 \text{ mm} < h_m < 0,4 \text{ mm, } h_m \text{ smo izračunali iz zgornjih podatkov}$$

Izračun srednje debeline odrezka  $h_m$  je prikazan v spodnjih enačbah (25 do 28)

$$h_m = \frac{1}{\Delta\varphi} \int e_z \sin(\varphi) * d\varphi \quad \dots(25)$$

$$h_m = \frac{e_z}{\Delta\varphi} * \cos(\varphi) \Big|_{\varphi_i}^{\varphi_v} \quad \dots(26)$$

$$h_m = \frac{e_z}{\Delta\varphi} * (\cos(\varphi_v) - \cos(\varphi_i)) \quad \dots(27)$$

$$\varphi_v = 0^\circ \Rightarrow \cos \varphi_v = 1$$

$$\cos \varphi_i = 0,968$$

$$\varphi_i = 14,534^\circ$$

$$\Delta\varphi = 14,534^\circ = 0,2536 \text{ rad}$$

$$h_m = \frac{e_z}{\Delta\varphi} * \left(1 - \frac{D - 2a}{D}\right) \quad \dots(28)$$
$$h_m = 0,378 \text{ mm}$$

Pri izračunu srednje debeline odrezka smo prišli do rezultata 0,378 mm, kar ustreza območju mehanske obdelave iverne plošče.

### 3.3.2.2 Izračun rezalne hitrosti

Rezalna hitrost je eden izmed pomembnejših tehnoloških parametrov, ker določa kvaliteto obdelave in optimalno izkoriščenost orodja. Rezalno hitrost v bistvu predstavlja obodna hitrost roba rezila, podajamo jo v m/s ter jo izračunamo po sledeči metodi.

$$v = \frac{\pi \cdot D \cdot n}{60 \cdot 1000}, v = 45,79 \text{ m/s}$$

### 3.3.3 Izračun dejanske poti rezila

Za proces periodičnega krožnega odrezovanja je značilno relativno gibanje med orodjem in obdelovancem, ki ga je potrebno upoštevati pri izračunu dejanske poti rezila skozi obdelovanec.

$l$  - dolžina loka (pot), ki ga rezilo opravi pri prehodu skozi material v območju  $\Delta \varphi$

$x$  - podana dolžina-podajalna dolžina obdelovanca, [m]

$L$  - dejanska pot rezila pri odrezovanju podajalne dolžine obdelovanca, [m]

$$l = R \cdot \widehat{\varphi} + \frac{u \cdot \sin(\varphi)}{2 \cdot \pi \cdot n \cdot z}$$

$$L = \frac{x}{e_z} \cdot l$$

V našem primeru:

...(29)

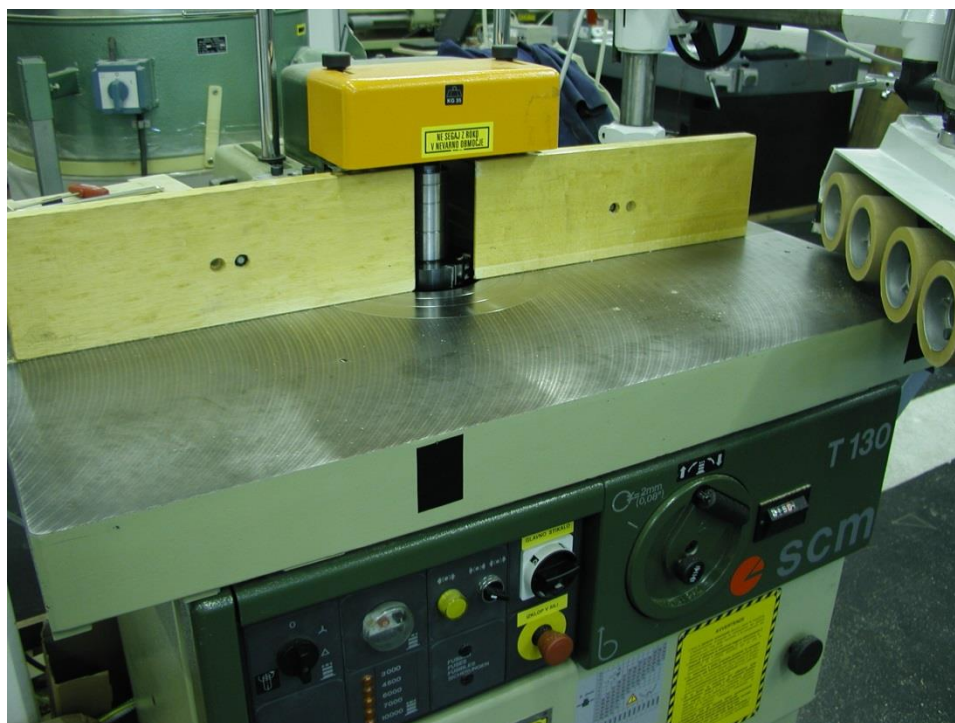
$$l = 125 \text{ mm} \cdot 0,2536 \text{ rad} + \frac{13000 \frac{\text{mm}}{\text{min}} \cdot \sin 14,534}{2 \cdot \pi \cdot 7000 \cdot 1}$$

$$l = 31,69 \text{ mm}$$

Preglednica 2: Izračun dejanske poti rezila

|      |     |      |       |       |       |       |       |       |       |       |
|------|-----|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| x(m) | 0   | 5    | 10    | 15    | 20    | 30    | 40    | 50    | 70    | 90    |
| L(m) | 0,0 | 52,8 | 105,6 | 158,5 | 211,3 | 316,9 | 422,5 | 528,2 | 739,4 | 950,7 |

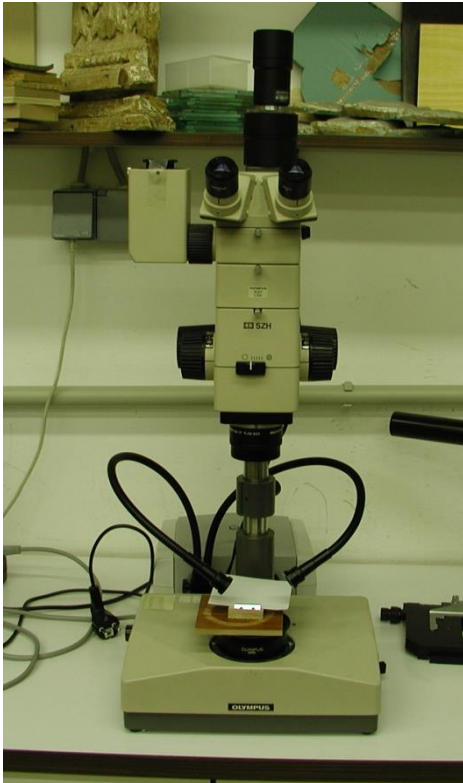
Proces odrezovanja iverne plošče smo opravili na rezkalnem stroju za obdelavo lesa (SCM T130) s podajalno napravo (Steff 2048), ki je omogočala večstopenjsko nastavitev podajalne hitrosti ter je imela možnost rotacije glede na delavno mizo (slika 13).



Slika 13: Mizni rezkar s podajalno napravo

Obrabo rezil smo spremljali glede na dolžino obdelanih metrov materiala, po vnaprej določenih intervalih. Na začetku smo meritve izvajali pogostejše ter kasneje začeli interval testiranja podaljševati. Meritve smo izvajali po opravljenih 0, 52, 105, 158, 211, 316, 422, 528, 739 in 950 m obdelane dolžine.

Obrabo vzorcev smo opazovali pod optičnim mikroskopom Olympus SZH. Vsak vzorec smo opazovali iz dveh različnih kotov. Izdelali smo posebno vpenjalo za vpenjanje rezil, kar nam je omogočalo izvajanje opazovanj vedno pod enakimi pogoji, vedno v enaki legi. Pri vsakem opazovanju smo vzorec tudi fotografirali z digitalno kamero Olympus Cammedia C-3040ZOOM, ki je bila pritrjena na mikroskop (slika 14).

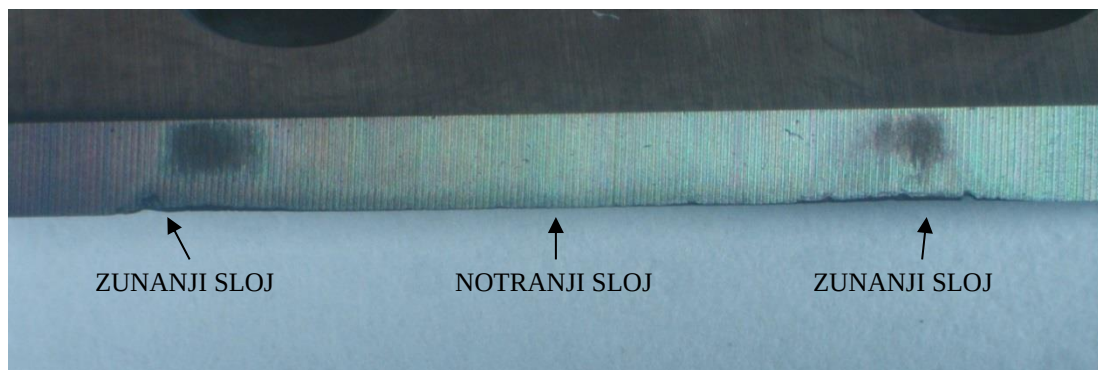


Slika 14: Mikroskop Olympus SZH

Fotografije smo obdelali v programu AutoCAD 2007, ki nam je omogočil izvedbo meritve obrabe na podlagi posnetih fotografij. Meritve smo opravljali s hrbtne in iz prsne ravnine rezila, vendar je najbolj vidna obraba s hrbtne ravnine. Zato smo opravili dve meritvi na zunanjih delih rezila, kjer je rezilo rezalo zunanji sloj plošče in eno meritev na sredini rezila, kjer je rezilo rezalo srednji sloj plošče.

## 4 REZULTATI

V raziskavi smo ugotovili razliko obrabe rezil med obdelovanjem ivernih plošč z različnimi faktorji oblepljenosti v zunanjem in notranjem sloju (slika 15, preglednica 2, slika 16 in slika 17).



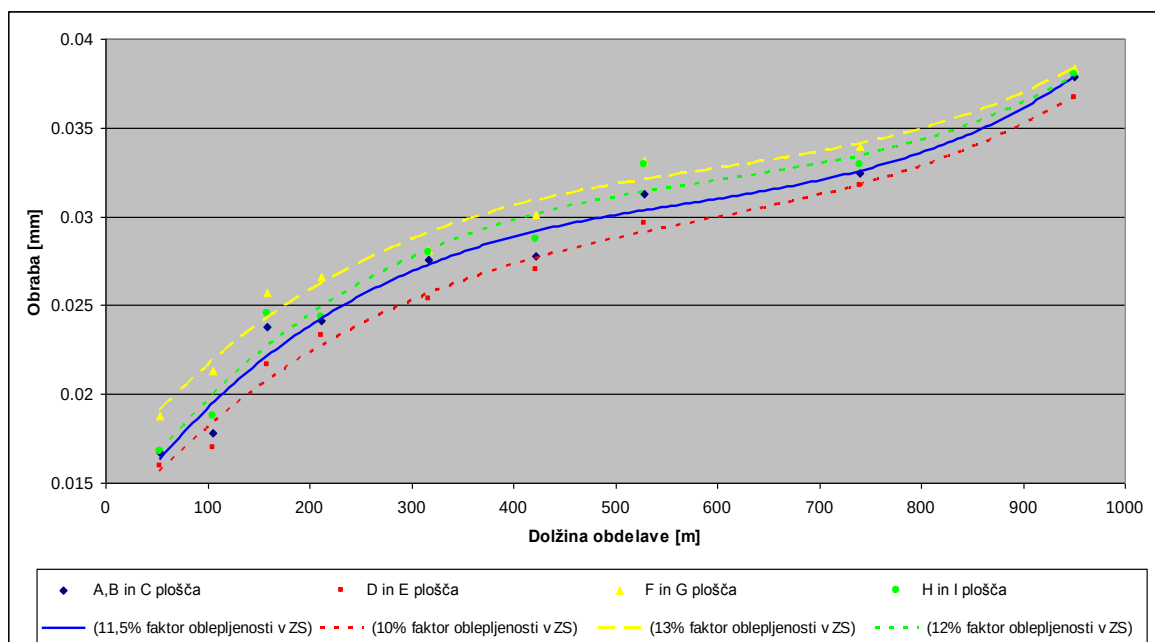
Slika 15: Obrabljeno rezilo po 950,7m obdelane dolžine

Preglednica 3: Rezultati meritev obrabe rezila v mm.

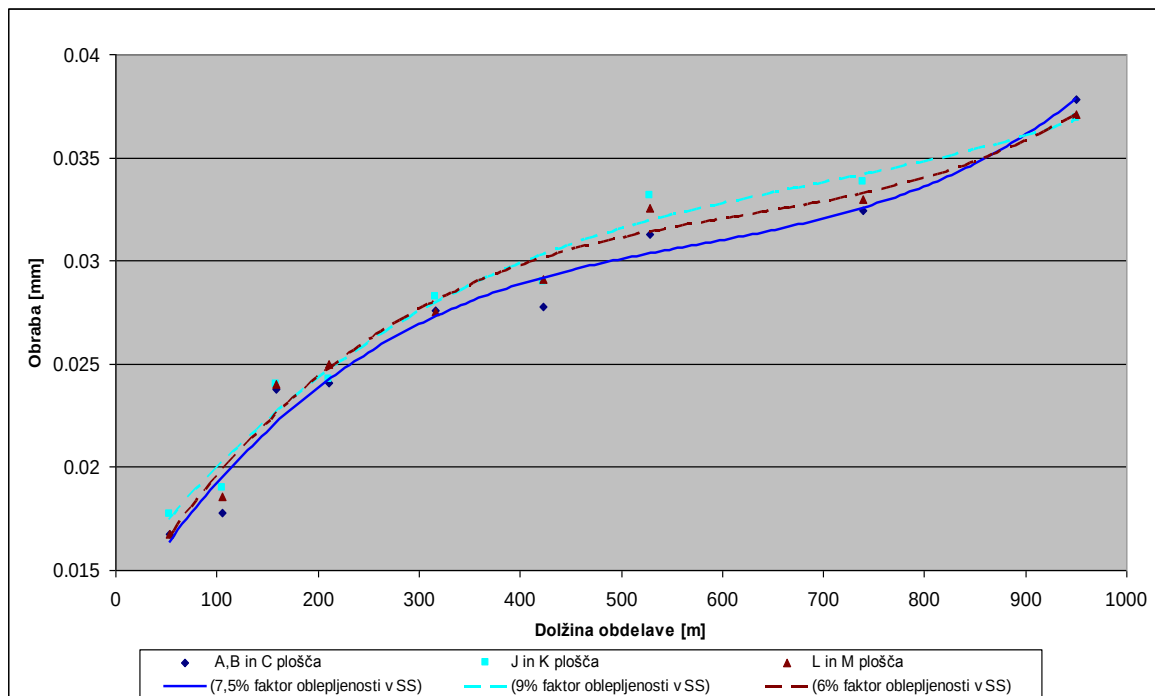
| Dolžina<br>obdelave L(m) | 52.8   | 105.6  | 158.5   | 211.3  | 316.9  | 422.5  | 528.2   | 739.4  | 950.7   |
|--------------------------|--------|--------|---------|--------|--------|--------|---------|--------|---------|
| A,B in C plošča          | 0.0168 | 0.0178 | 0.02379 | 0.0241 | 0.0276 | 0.0278 | 0.03127 | 0.0325 | 0.03785 |
| D in E plošča            | 0.016  | 0.017  | 0.02163 | 0.0233 | 0.0254 | 0.027  | 0.02963 | 0.0318 | 0.03671 |
| F in G plošča            | 0.0188 | 0.0213 | 0.02568 | 0.0266 | 0.0281 | 0.0301 | 0.03313 | 0.034  | 0.03835 |
| H in I plošča            | 0.0168 | 0.0188 | 0.02458 | 0.0244 | 0.028  | 0.0288 | 0.03295 | 0.033  | 0.038   |
| J in K plošča            | 0.0177 | 0.019  | 0.024   | 0.0243 | 0.0282 | 0.029  | 0.03313 | 0.0338 | 0.03689 |
| L in M plošča            | 0.0168 | 0.0186 | 0.02404 | 0.025  | 0.0275 | 0.0291 | 0.03255 | 0.033  | 0.03711 |

Izdelali smo dva grafikona (slika 16,17). V prvem grafu (slika 16) smo prikazali obrabo rezila pri obdelavi iverne plošče, kjer imamo spremenljiv faktor oblepljenosti zunanjega sloja (ZS). V drugem (slika 17) pa spremenljiv faktor oblepljenosti srednjega sloja (SS). Za našo osnovo primerjave pa smo uporabili podatke obrabe plošče A, B in C.





Slika 16: Graf obrabe rezil pri obdelavi ivernih plošč pri katerih smo spreminjali zunanji faktor oblepljenosti (Plošče A, B, C, D, E, F, G, H in I)



Slika 17: Graf obrabe rezil pri obdelavi ivernih plošč pri katerih smo spreminjali notranji faktor oblepljenosti (Plošče A, B, C, J, K, L in M)

Iz grafikonov je opazno največje naraščanje obrabe v začetku odrezovanja, ki se nato začne upočasnevati.. Za našo osnovno primerjavo pa smo uporabili podatke obrabe plošče A,B in C. Razlika med obrabami pri različnih ploščah je minimalna, saj je obraba rezil pri največjem faktorju oblepljenosti 13 % v zunajem sloju le za 0,003 mm večja kot pri najmanjšem faktorju oblepljenosti 9 %.

## 5 RAZPRAVA IN SKLEPI

V nalogi smo spremljali časovni potek obrabe rezil, med operacijo rezkanja ivernih plošč. Primerjali smo obrabo rezil pri obdelavi ivernih plošč z različnimi faktorji oblepljenosti zunanjega in notranjega sloja. Pričakovali smo, da če se poveča faktor oblepljenosti se poveča tudi obraba rezil pri obdelavi ivernih plošč.

Rezila so bila prvič merjena pred samim začetkom odrezovanja. Rezila so bila nova in ostra ter so imela enotno geometrijo. Rezultate meritev smo prikazali v preglednici 2. Razvidno je, da je bila nastala obraba po obdelavi dokaj velika, kar smo tudi pričakovali pri obdelavi ivernih plošč.

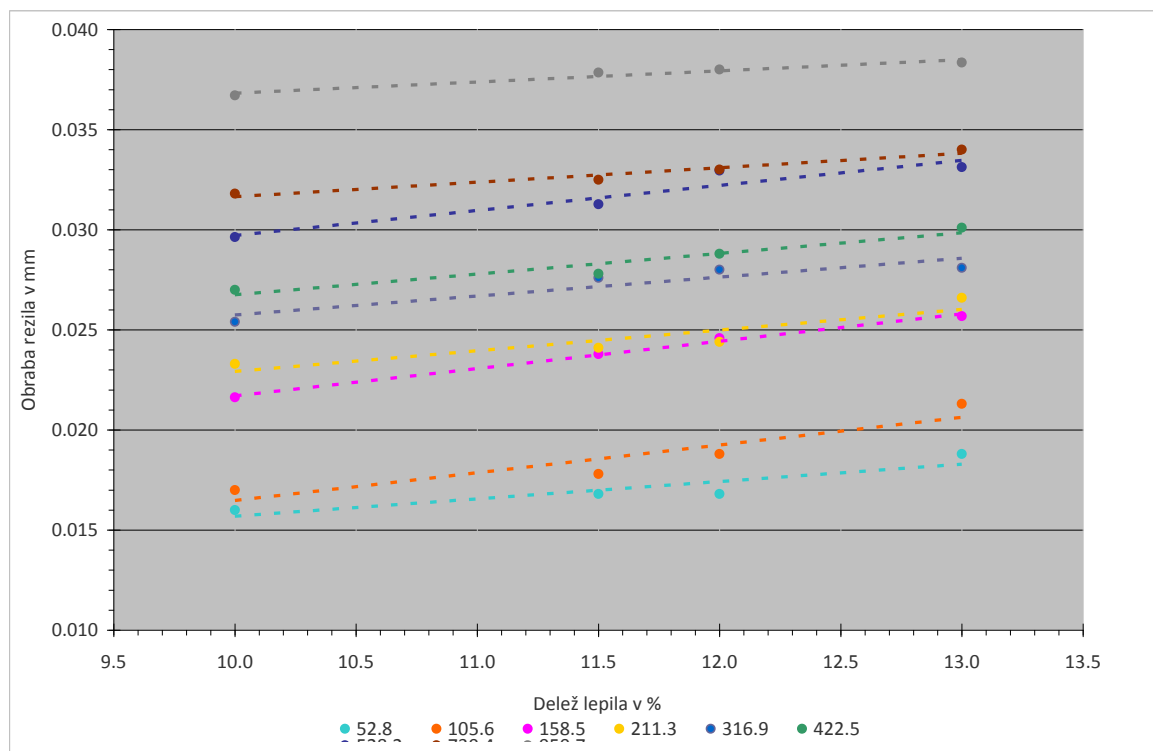
Na sliki 15 je fotografija rezila po 950,7 metrih obdelane dolžine iverne plošče. Dobro je razvidna asimetrična obraba rezila, kjer je rezilo obdelovalo zunanji oziroma notranji sloj iverne plošče. Največja obraba je bila na zunanjem delu rezila kjer je obdelovalo zunanja sloja iverne plošče.

Kot smo pričakovali je prihajalo do najhitrejšje obrabe rezila na začetku obdelave ivernih plošč. Na slikah 16 in 17 so izdelani grafikoni vsake merjene razdalje. Iz grafikonov vidimo strmo naraščanje obrabe rezil na začetku in nato upočasnjevanje naraščanja obrabe rezil za vse merjenje razdalje.

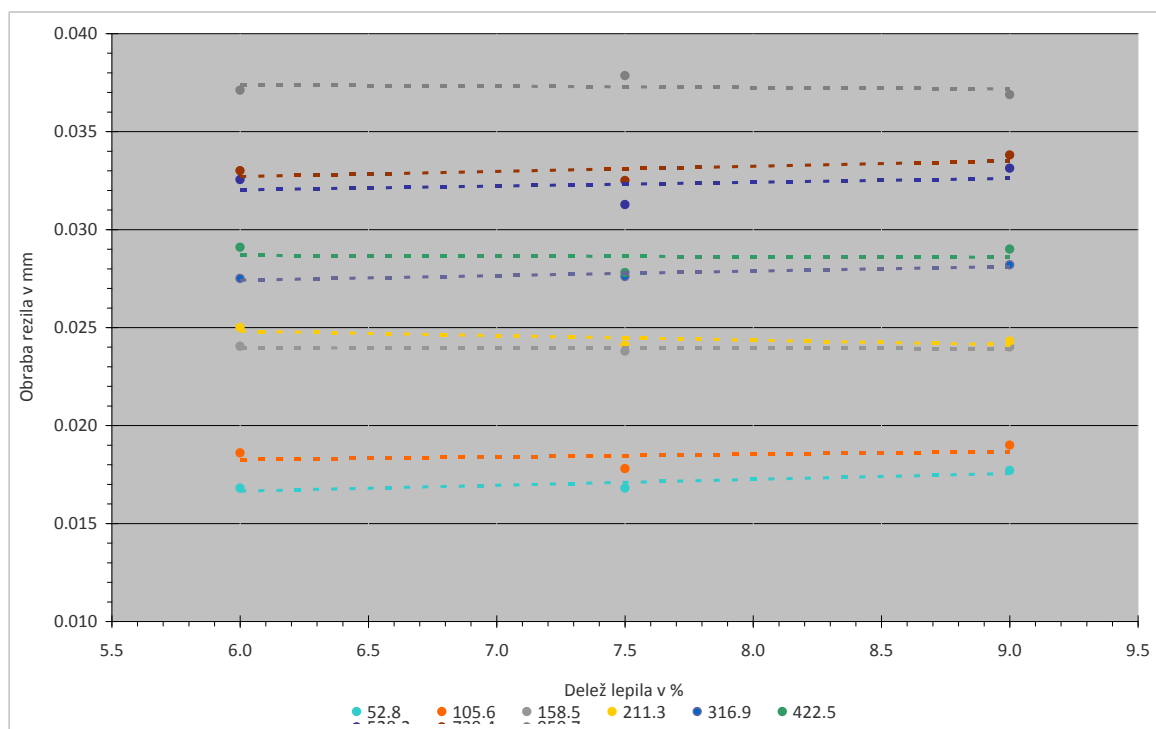
Domnevali smo, da spremenjen faktor oblepljenosti spremeni tudi obrabo rezil, kar smo tudi dokazali v zunanjem sloju iverne plošče. Plošči F in G imata za 1,5 % večji faktor oblepljenosti v zunanjem sloju iverne plošče v primerjavi s ploščami A, B, in C. Na sliki 16 in 18 je posledično jasno vidna povečana obraba rezil. Ravno tako če pogledamo plošči D in E, ki imata za 1,5 % manjši faktor oblepljenosti od plošč A, B in C vidimo da se je zmanjšala obraba rezil.

Dokazati pa nismo mogli, da faktor oblepljenosti za notranji sloj vpliva na obrabo rezila. To lahko vidimo na ivernih ploščah J in K, ki imata za 1,5 % večji faktor oblepljenosti notranjega sloja kot plošče A, B in C, vendar v obrabi rezil ni velikih razlik (sliki 17 in

19). Ravno tako pri ploščah L in M, ki imata za 1,5 % manjši faktor oblepljenosti ni velikih opaznih razlik med obrabo rezil. Poleg tega se trendne črte od vseh treh skupin ivernih plošč celo križajo na določenih točkah in nimajo podobnega trenda obrabe. To je verjetno zato, ker faktor oblepljenosti v notranjem sloju tako malo vpliva na obrabo rezil, da ostali parametri zakrijejo vplive spremembe faktorja.



Slika 18: Graf končne obrabe rezil pri različnih faktorjih oblepljenosti v zunanjem sloju (po 950m obdelane dolžine)



Slika 19: Graf končne obrabe rezil pri različnih faktorjih oblepljenosti v notranjem sloju (po 950m obdelane dolžine)

Na osnovi izvedenega poizkusa lahko zaključimo, da faktor oblepljenosti v zunanjem sloju iverne plošče ima vpliv na obrabo rezil.

## 6 POVZETEK

Kot glavni cilj diplomske naloge smo si zastavili spremljanje časovnega poteka obrabe rezil med operacijo rezkanja ivernih plošč, ki smo jih prej pripravili z različnimi faktorji oblepljenosti v zunanjem in notranjem sloju. Predvidevali smo da bo spremenjen faktor oblepljenosti spremenil tudi obrabo rezila.

Proces odrezovanja je potekal na miznem rezkalnem stroju. Uporabili smo ravno rezkalno glavo v katero smo vpenjali rezila. Obdelovanec smo nato podajali enakomerno s podajalno napravo.

Na prej določeno podano dolžino smo vzeli rezilo iz rezkalne glave ter ga slikali prek mikroskopa. Nato smo obrabo rezil izmerili s programom AutoCad in podatke vnesli v tabelo.

Iz rezultatov meritev smo ugotovili, da najhitreje poteka obraba rezil v začetku odrezovanja. Obraba se tekom obdelane dolžine ves čas povečuje, vendar ne več s tako hitrostjo. Razlike med posameznimi meritvami so vse manjše. Potek obrabe rezil smo zapisali v logaritemski funkciji.

Pri analizi rezultatov opravljenih meritev smo ugotovili, da faktor oblepljenosti v zunanjem sloju iverne plošče ima vpliv na obrabo rezil, vendar se z obdelano dolžino razlika zmanjšuje. Obrabe rezil pri različnih faktorju oblepljenosti za notranji sloj pa nam ni dala nobenih konkretnih podatkov, da vpliva na obrabo rezil. Ne moremo reči, da faktor oblepljenosti v notranjem sloju nima vpliva na obrabo rezil, vendar ima tako minimalen vpliv, da mi z našo raziskavo tega nismo mogli dokazati.

Na osnovi izvedenega poizkusa lahko zaključimo, da faktor oblepljenosti v zunajem sloju iverne plošče ima vpliv na obrabo rezil, kar pa ne moremo trditi za faktor oblepljenosti v notranjem sloju iverne plošče.

## 7 VIRI

Csai G.S.C., Klamecki B.E. 1980. Separation of abrasive and electrochemical tool wear mechanisms in wood cutting. *Forest Product Journal*, 12, 4: 236-241

Hayashi K., Ito M. 1988. Effect of cutting speed on tool wear in the peripheral milling of wood. *Mokuzai Gakkaishi*, 34, 2: 100-111

Klamecki B.E. 1988. Interaction of tool wear mechanisms in woodcutting. *Forest Product Journal*, 13, 2: 122-126

Leitz, Das Leitz Lexikon, 2000

Sharker A.D., 1980. *Friction and Wear*. London, Academic Press: 423str.

Stare L. 2004. Obraba rezil iz sintranih karbidnih trdin. Dipl. delo. Ljubljana, Biotehniška fakulteta, Oddelek za lesarstvo: 55 str.

Steward H.A. 1988. Tool forces and edge recession from cutting medium density fiber board. *Forest Product Journal*, 38, 4: 51-54

## **ZAHVALA**

Iskrena hvala mentorju, prof. dr. Sergeju Medvedu za zanimivo temo diplomskega dela ter za pomoč in usmerjanje pri pisanju diplomske naloge.

Hvala tudi pokojnemu somentorju, prof. dr. Bojanu Bučarju pri pomoči z eksperimenti in preverjanem mojega praktičnega dela.

Hvala recenzentki, doc. dr. Dominiki Gornik Bučar za strokovno recenzijo diplomskega dela.

Zahvaljujem se Dragu Vidicu za pomoč pri izvajanju testiranj. Zahvala tudi vsem ostalim zaposlenim na Katedri za mehansko in obdelovalno tehnologijo, ki so mi vede ali nevede pomagali v času izdelave diplomske naloge.

V veliki meri pa se zahvaljujem družini za podporo in pomoč v vseh dolгих letih mojega študija.



## PRILOGE

### Priloga A Specifikacija plošč A,B in C

#### OSNOVNI PODATKI:

#### PLOŠČA A, B IN C

|                     |      |    |
|---------------------|------|----|
| Dolžina plošče (L)  | 50   | cm |
| Širina plošče (B)   | 50   | cm |
| Debelina plošče (D) | 1.74 | cm |
| Vlaga plošče (u)    | 8.00 | %  |

#### PARAMETRI:

|              | Iverje | Fak. obl. | P.E.  | Utrjevalec | U <sub>iv.</sub> | U <sub>obl. iv.</sub> |
|--------------|--------|-----------|-------|------------|------------------|-----------------------|
| Zunanji sloj | 40.00% | 11.50%    | 1.00% | 0.000%     | 1.03%            | 13.00%                |
| Srednji sloj | 60.00% | 7.50%     | 1.00% | 0.275%     | 1.36%            | 9.00%                 |

|                                          |                         |
|------------------------------------------|-------------------------|
| Koncentracija PE                         | 60.00%                  |
| Koncentracija trdilca                    | 20.00%                  |
| S.S. lepilne smole                       | 65.50%                  |
| Atro prost.masa plošče (ρ <sub>0</sub> ) | 0.650 g/cm <sup>3</sup> |
| Masa atro iveri                          | 2565 g                  |

#### MATERIAL (atro)

|            | ZS      | SS      |
|------------|---------|---------|
|            | g       | g       |
| Iverje     | 1025.82 | 1538.73 |
| Lepilo     | 117.97  | 115.40  |
| Parafin    | 10.26   | 15.39   |
| Utrjevalec | 0.00    | 4.23    |
| Σ          | 1154.05 | 1673.75 |

#### MATERIAL

|            | ZS      | SS      |
|------------|---------|---------|
|            | g       | g       |
| Iverje     | 1036.38 | 1559.65 |
| Iepilo     | 180.11  | 176.19  |
| Parafin    | 17.10   | 25.65   |
| Utrjevalec | 0.00    | 21.16   |
| Voda       | 70.48   | 37.13   |
| Σ          | 1304.07 | 1819.78 |

**ZATEHTE**

|    |         |   |
|----|---------|---|
| ZS | 652.03  | g |
| SS | 1819.77 | g |
| ZS | 652.03  | g |

|               |     |
|---------------|-----|
| ŠTEVILO PLOŠČ | 3.2 |
|---------------|-----|

| <b><u>MATERIAL</u></b> | <b>ZS</b>      | <b>SS</b>      |
|------------------------|----------------|----------------|
|                        | <b>g</b>       | <b>g</b>       |
| Iverje                 | 3316.43        | 4990.89        |
| Lepilo                 | 576.34         | 563.81         |
| Parafin                | 54.71          | 82.07          |
| Barvilo/Utrjevalec     | 0.00           | 67.70          |
| Voda                   | 225.55         | 118.81         |
| <b>Σ</b>               | <b>4173.03</b> | <b>5823.28</b> |

## Priloga B Specifikacija plošč D in E

### OSNOVNI PODATKI:

### PLOŠČA D IN E

|                     |      |    |
|---------------------|------|----|
| Dolžina plošče (L)  | 50   | cm |
| Širina plošče (B)   | 50   | cm |
| Debelina plošče (D) | 1.74 | cm |
| Vlaga plošče (u)    | 8.00 | %  |

### PARAMETRI:

|              | Iverje | Fak. obl. | P.E.  | Utrjevalec | U <sub>iv.</sub> | U <sub>obl. iv.</sub> |
|--------------|--------|-----------|-------|------------|------------------|-----------------------|
| Zunanji sloj | 40.00% | 10.00%    | 1.00% | 0.000%     | 1.03%            | 13.00%                |
| Srednji sloj | 60.00% | 7.50%     | 1.00% | 0.275%     | 1.36%            | 9.00%                 |

|                                          |                         |
|------------------------------------------|-------------------------|
| Koncentracija PE                         | 60.00%                  |
| Koncentracija trdilca                    | 20.00%                  |
| S.S. lepilne smole                       | 65.50%                  |
| Atro prost.masa plošče (ρ <sub>0</sub> ) | 0.650 g/cm <sup>3</sup> |
| Masa atro iveri                          | 2579 g                  |

| <u>MATERIAL (atro)</u> | ZS      | SS      |
|------------------------|---------|---------|
|                        | g       | g       |
| Iverje                 | 1031.47 | 1547.21 |
| Lepilo                 | 103.15  | 116.04  |
| Parafin                | 10.31   | 15.47   |
| Utrjevalec             | 0.00    | 4.25    |
| Σ                      | 1144.93 | 1682.97 |

| <u>MATERIAL</u> | ZS      | SS      |
|-----------------|---------|---------|
|                 | g       | g       |
| Iverje          | 1042.10 | 1568.25 |
| Iepilo          | 157.48  | 177.16  |
| Parafin         | 17.19   | 25.79   |
| Utrjevalec      | 0.00    | 21.27   |
| Voda            | 77.01   | 37.33   |
| Σ               | 1293.78 | 1829.80 |

**ZATEHTE**

|    |         |   |
|----|---------|---|
| ZS | 646.89  | g |
| SS | 1829.81 | g |
| ZS | 646.89  | g |

|               |     |
|---------------|-----|
| ŠTEVILO PLOŠČ | 2.2 |
|---------------|-----|

| <b><u>MATERIAL</u></b> | <b>ZS</b>      | <b>SS</b>      |
|------------------------|----------------|----------------|
|                        | <b>g</b>       | <b>g</b>       |
| Iverje                 | 2292.61        | 3450.15        |
| Lepilo                 | 346.45         | 389.75         |
| Parafin                | 37.82          | 56.73          |
| Barvilo/Utrjevalec     | 0.00           | 46.80          |
| Voda                   | 169.42         | 82.13          |
| <b>Σ</b>               | <b>2846.30</b> | <b>4025.56</b> |

## Priloga C Specifikacija plošče F in G

### OSNOVNI PODATKI:

### PLOŠČA F IN G

|                     |      |    |
|---------------------|------|----|
| Dolžina plošče (L)  | 50   | cm |
| Širina plošče (B)   | 50   | cm |
| Debelina plošče (D) | 1.74 | cm |
| Vlaga plošče (u)    | 8.00 | %  |

### PARAMETRI:

|              | Iverje | Fak. obl. | P.E.  | Utrjevalec | U <sub>iv.</sub> | U <sub>obl. iv.</sub> |
|--------------|--------|-----------|-------|------------|------------------|-----------------------|
| Zunanji sloj | 40.00% | 13.00%    | 1.00% | 0.000%     | 1.03%            | 13.00%                |
| Srednji sloj | 60.00% | 7.50%     | 1.00% | 0.275%     | 1.36%            | 9.00%                 |

|                                          |                         |
|------------------------------------------|-------------------------|
| Koncentracija PE                         | 60.00%                  |
| Koncentracija trdilca                    | 20.00%                  |
| S.S. lepilne smole                       | 65.50%                  |
| Atro prost.masa plošče (ρ <sub>0</sub> ) | 0.650 g/cm <sup>3</sup> |
| Masa atro iveri                          | 2550 g                  |

| <u>MATERIAL (atro)</u> | ZS      | SS      |
|------------------------|---------|---------|
|                        | g       | g       |
| Iverje                 | 1020.16 | 1530.24 |
| Lepilo                 | 132.62  | 114.77  |
| Parafin                | 10.20   | 15.30   |
| Utrjevalec             | 0.00    | 4.21    |
| Σ                      | 1162.98 | 1664.52 |

| <u>MATERIAL</u> | ZS      | SS      |
|-----------------|---------|---------|
|                 | g       | g       |
| Iverje          | 1030.67 | 1551.05 |
| Ilepilo         | 202.47  | 175.22  |
| Parafin         | 17.00   | 25.50   |
| Utrjevalec      | 0.00    | 21.04   |
| Voda            | 64.03   | 36.92   |
| Σ               | 1314.17 | 1809.73 |

**ZATEHTE**

|    |         |   |
|----|---------|---|
| ZS | 657.09  | g |
| SS | 1809.74 | g |
| ZS | 657.09  | g |

**ŠTEVILO PLOŠČ**                      **2.2**

| <b><u>MATERIAL</u></b> | <b>ZS</b>      | <b>SS</b>      |
|------------------------|----------------|----------------|
|                        | <b>g</b>       | <b>g</b>       |
| Iverje                 | 2267.47        | 3412.32        |
| Lepilo                 | 445.44         | 385.48         |
| Parafin                | 37.41          | 56.11          |
| Barvilo/Utrjevalec     | 0.00           | 46.29          |
| Voda                   | 140.86         | 81.23          |
| <b>Σ</b>               | <b>2891.18</b> | <b>3981.43</b> |

## Priloga D Specifikacija plošč H in I

### OSNOVNI PODATKI:

### PLOŠČA H IN I

|                     |      |    |
|---------------------|------|----|
| Dolžina plošče (L)  | 50   | cm |
| Širina plošče (B)   | 50   | cm |
| Debelina plošče (D) | 1.74 | cm |
| Vlaga plošče (u)    | 8.00 | %  |

### PARAMETRI:

|              | Iverje | Fak. obl. | P.E.  | Utrjevalec | U <sub>iv.</sub> | U <sub>obl. iv.</sub> |
|--------------|--------|-----------|-------|------------|------------------|-----------------------|
| Zunanji sloj | 40.00% | 12.00%    | 1.00% | 0.00%      | 4.32%            | 13.00%                |
| Srednji sloj | 60.00% | 7.50%     | 1.00% | 0.275%     | 3.68%            | 9.00%                 |

|                                        |                         |
|----------------------------------------|-------------------------|
| Koncentracija PE                       | 60.00%                  |
| Koncentracija trdilca                  | 20.00%                  |
| S.S. lepilne smole                     | 65.50%                  |
| Atro prost.masa plošče<br>( $\rho_0$ ) | 0.650 g/cm <sup>3</sup> |
| Masa atro iveri                        | 2565 g                  |

| <u>MATERIAL (atro)</u> | ZS             | SS             |
|------------------------|----------------|----------------|
|                        | g              | g              |
| Iverje                 | 1025.82        | 1538.73        |
| Lepilo                 | 117.97         | 115.40         |
| Parafin                | 10.26          | 15.39          |
| Utrjevalec             | 0.00           | 4.23           |
| $\Sigma$               | <b>1154.05</b> | <b>1673.75</b> |

| <u>MATERIAL</u> | ZS             | SS             |
|-----------------|----------------|----------------|
|                 | g              | g              |
| Iverje          | 1070.13        | 1595.35        |
| Iepilo          | 180.11         | 176.19         |
| Parafin         | 17.10          | 25.65          |
| Utrjevalec      | 0.00           | 21.16          |
| Voda            | 36.74          | 1.43           |
| $\Sigma$        | <b>1304.08</b> | <b>1819.78</b> |

**ZATEHTE**

|    |         |   |
|----|---------|---|
| ZS | 652.03  | g |
| SS | 1819.77 | g |
| ZS | 652.03  | g |

|               |     |
|---------------|-----|
| ŠTEVILO PLOŠČ | 2.2 |
|---------------|-----|

| <b><u>MATERIAL</u></b> | <b>ZS</b>      | <b>SS</b>      |
|------------------------|----------------|----------------|
|                        | <b>g</b>       | <b>g</b>       |
| Iverje                 | 2354.29        | 3509.77        |
| Lepilo                 | 396.23         | 387.62         |
| Parafin                | 37.61          | 56.42          |
| Barvilo/Utrjevalec     | 0.00           | 46.55          |
| Voda                   | 80.82          | 3.15           |
| $\Sigma$               | <b>2868.95</b> | <b>4003.51</b> |



## Priloga E Specifikacija plošč J in K

### OSNOVNI PODATKI:

### PLOŠČA J IN K

|                     |      |    |
|---------------------|------|----|
| Dolžina plošče (L)  | 50   | cm |
| Širina plošče (B)   | 50   | cm |
| Debelina plošče (D) | 1.74 | cm |
| Vlaga plošče (u)    | 8.00 | %  |

### PARAMETRI:

|              | Iverje | Fak. obl. | P.E.  | Utrjevalec | U <sub>iv.</sub> | U <sub>obl. iv.</sub> |
|--------------|--------|-----------|-------|------------|------------------|-----------------------|
| Zunanji sloj | 40.00% | 11.50%    | 1.00% | 0.000%     | 4.32%            | 13.00%                |
| Srednji sloj | 60.00% | 9.00%     | 1.00% | 0.275%     | 3.68%            | 9.00%                 |

|                                          |                         |
|------------------------------------------|-------------------------|
| Koncentracija PE                         | 60.00%                  |
| Koncentracija trdilca                    | 20.00%                  |
| S.S. lepilne smole                       | 65.50%                  |
| Atro prost.masa plošče (ρ <sub>0</sub> ) | 0.650 g/cm <sup>3</sup> |
| Masa atro iveri                          | 2545 g                  |

### MATERIAL (atro)

|            | ZS      | SS      |
|------------|---------|---------|
|            | g       | g       |
| Iverje     | 1017.90 | 1526.85 |
| Lepilo     | 117.06  | 137.42  |
| Parafin    | 10.18   | 15.27   |
| Utrjevalec | 0.00    | 4.20    |
| Σ          | 1145.14 | 1683.74 |

### MATERIAL

|            | ZS      | SS      |
|------------|---------|---------|
|            | g       | g       |
| Iverje     | 1061.87 | 1583.04 |
| Iepilo     | 178.72  | 209.80  |
| Parafin    | 16.97   | 25.45   |
| Utrjevalec | 0.00    | 20.99   |
| Voda       | 36.45   | -8.58   |
| Σ          | 1294.01 | 1830.70 |

**ZATEHTE**

|    |         |   |
|----|---------|---|
| ZS | 647.00  | g |
| SS | 1830.69 | g |
| ZS | 647.00  | g |

|               |     |
|---------------|-----|
| ŠTEVILO PLOŠČ | 2.2 |
|---------------|-----|

| <b><u>MATERIAL</u></b> | <b>ZS</b>      | <b>SS</b>      |
|------------------------|----------------|----------------|
|                        | g              | g              |
| Iverje                 | 2336.12        | 3482.68        |
| Lepilo                 | 393.17         | 461.55         |
| Parafin                | 37.32          | 55.98          |
| Barvilo/Utrjevalec     | 0.00           | 46.19          |
| Voda                   | 80.19          | -18.88         |
| <b>Σ</b>               | <b>2846.80</b> | <b>4027.52</b> |

## Priloga F Specifikacija plošč L in M

### OSNOVNI PODATKI:

### PLOŠČA L IN M

|                     |      |    |
|---------------------|------|----|
| Dolžina plošče (L)  | 50   | cm |
| Širina plošče (B)   | 50   | cm |
| Debelina plošče (D) | 1.74 | cm |
| Vlaga plošče (u)    | 8.00 | %  |

### PARAMETRI:

|              | Iverje | Fak. obl. | P.E.  | Utrjevalec | U <sub>iv.</sub> | U <sub>obl. iv.</sub> |
|--------------|--------|-----------|-------|------------|------------------|-----------------------|
| Zunanji sloj | 40.00% | 11.50%    | 1.00% | 0.000%     | 4.32%            | 13.00%                |
| Srednji sloj | 60.00% | 6.00%     | 1.00% | 0.275%     | 3.68%            | 9.00%                 |

|                                          |                         |
|------------------------------------------|-------------------------|
| Koncentracija PE                         | 60.00%                  |
| Koncentracija trdilca                    | 20.00%                  |
| S.S. lepilne smole                       | 65.50%                  |
| Atro prost.masa plošče (ρ <sub>0</sub> ) | 0.650 g/cm <sup>3</sup> |
| Masa atro iveri                          | 2587 g                  |

### MATERIAL (atro)

|            | ZS      | SS      |
|------------|---------|---------|
|            | g       | g       |
| Iverje     | 1034.87 | 1552.30 |
| Lepilo     | 119.01  | 93.14   |
| Parafin    | 10.35   | 15.52   |
| Utrjevalec | 0.00    | 4.27    |
| Σ          | 1164.23 | 1665.23 |

### MATERIAL

|            | ZS      | SS      |
|------------|---------|---------|
|            | g       | g       |
| Iverje     | 1079.57 | 1609.42 |
| Iepilo     | 181.69  | 142.2   |
| Parafin    | 17.25   | 25.87   |
| Utrjevalec | 0.00    | 21.34   |
| Voda       | 37.06   | 11.61   |
| Σ          | 1315.57 | 1810.44 |

**ZATEHTE**

|    |         |   |
|----|---------|---|
| ZS | 657.79  | g |
| SS | 1810.44 | g |
| ZS | 657.79  | g |

|               |     |
|---------------|-----|
| ŠTEVILO PLOŠČ | 2.2 |
|---------------|-----|

| <b><u>MATERIAL</u></b> | <b>ZS</b>      | <b>SS</b>      |
|------------------------|----------------|----------------|
|                        | g              | g              |
| Iverje                 | 2375.06        | 3540.73        |
| Lepilo                 | 399.73         | 312.83         |
| Parafin                | 37.95          | 56.92          |
| Barvilo/Utrjevalec     | 0.00           | 46.96          |
| Voda                   | 81.53          | 25.55          |
| <b>Σ</b>               | <b>2894.27</b> | <b>3982.99</b> |

