

# Prilog eksperimentalnom određivanju faktora rastresitosti strugotine kod piljenja na tračnim pilama trupčarama

---

Pađen, Tomislav

Master's thesis / Diplomski rad

2013

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Zagreb, Faculty of Forestry / Sveučilište u Zagrebu, Šumarski fakultet**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:108:455032>

Rights / Prava: [In copyright](#)/[Zaštićeno autorskim pravom.](#)

Download date / Datum preuzimanja: **2025-01-31**



Repository / Repozitorij:

[University of Zagreb Faculty of Forestry and Wood Technology](#)



**ŠUMARSKI FAKULTET SVEUČILIŠTA U ZAGREBU  
DRVNOTEHNOLOŠKI ODSJEK  
SVEUČILIŠNI DIPLOMSKI STUDIJ  
DRVNOTEHNOLOŠKI PROCESI**

**TOMISLAV PAĐEN**

**PRILOG EKSPERIMENTALNOM ODREĐIVANJU  
FAKTORA RASTRESITOSTI STRUGOTINE KOD  
PILJENJA NA TRAČNIM PILAMA TRUPČARAMA**

**DIPLOMSKI RAD**

**ZAGREB, 2013.**

**ŠUMARSKI FAKULTET SVEUČILIŠTA U ZAGREBU  
DRVNOTEHNOLOŠKI ODSJEK  
SVEUČILIŠNI DIPLOMSKI STUDIJ  
DRVNOTEHNOLOŠKI PROCESI**

**PRILOG EKSPERIMENTALNOM ODREĐIVANJU  
FAKTORA RASTRESITOSTI STRUGOTINE KOD  
PILJENJA NA TRAČNIM PILAMA TRUPČARAMA**

**DIPLOMSKI RAD**

Diplomski studij: **Drvnotehnoški procesi**

Zavod: **Zavod za procesne tehnike**

Predmet: **Automatizacija i mjerna tehnika u DI**

Student: **Tomislav Pađen**

JMBAG: **0068023682**

Broj indeksa: **209/2011**

Ispitno povjerenstvo: **1. Doc. dr. sc. Igor Đukić, mentor  
2. Doc. dr. sc. Josip Ištvančić, član  
3. Matija Jug, mag. Ing. techn. ling., član**

Datum odobrenja teme: **27. 05. 2013**

Datum predaje rada: **22. 07. 2013**

Datum obrane rada: **16. 09. 2013**

**Zagreb, rujan, 2013.**

# Administrativni protokol

|  |  |
|--|--|
| Naslov završnog rada                     | Prilog eksperimentalnom određivanju rastresitosti strugotine kod piljenja na tračnim pilama trupčarama   |
| Kratki biografski podaci o autoru        | Tomislav Pađen, rođen 22.01.1987. godine u Zagrebu. Maturirao dana 29.06.2005. u Srednjoj drvodjelskoj školi u Zgrebu. Upisao Šumarski fakultet šk. god. 2005/2006.  |
| Adresa<br>e-mail<br>Tel.                 | Siget 20f, 10000 Zagreb.<br>tomislav.paden@gmail.com   |
| Izvođenje eksperimenta i obrada podataka | Sveučilište u Zagrebu, Šumarski fakultet   |
| Mentor                                   | Doc. dr. sc. Igor Đukić, Sveučilište u Zagrebu, Šumarski fakultet  |
| Neposredni voditelj                      | Doc. dr. sc. Josip Ištvančić, Sveučilište u Zagrebu, Šumarski fakultet   |
| Rad sadrži                               | I – VII + 26 - stranica<br>15 - slike<br>10 - naslova literature   |
| Znanstveno područje, polje i grana       | Biotehničke znanosti, Drvna tehnologija, Drvno tehnološki procesi  |
| Administrativni postupak                 | 27. 05. 2013. godine – prijava teme završnog rada pod naslovom “Prilog eksperimentalmon određivanju faktora rastresitosti strugotine kod piljenja na tračnim pilama trupčarama” i imenovanje povjerenstva za obranu teme završnog rada u sastavu:<br>Doc. dr. sc. Igor Đukić.<br>Doc. dr. sc. Josip Ištvančić.<br>Matija Jug, mag. Ing. techn. ling. |
| Mjesto i datum obrane                    | Sveučilište u Zagrebu, Šumarski fakultet, Svetošimunska 25. 10 000 Zagreb.<br>16. 09. 2013.  |

# Ključna dokumentacijska informacija

|                     |  |
|---------------------|--|
| TI (naslov)         | Prilog eksperimentalnom određivanju faktora rastresitosti strugotine kod piljenja na tračnim pilama trupčarama   |
| AU (autor)          | Tomislav Pađen   |
| AD (adresa)         | Siget 20f, 10000 Zagreb.<br>tomislav.paden@gmail.com   |
| SO (izvor)          | Šumarska knjižnica – Šumarski fakultet Sveučilišta u Zagrebu<br>Svetošimunska cesta 25, 10 000 Zagreb  |
| PY (godina objave)  | 2013   |
| LA (izvorni jezik)  | Hrvatski   |
| LS (jezik sažetka)  | Engleski   |
| DE (ključne riječi) | Tračna pila trupčara, faktor ispunjenosti neto, faktor rastresitosti strugotine  |
| GE (zemlja objave)  | Hrvatska   |
| PT (vrsta objave)   | Diplomski rad  |
| VO (obujam)         | I – VII + 26 stranica + 15 slike + 10 naslova literature   |
| AB (sažetak)        | U ovom radu bit će analizirani podaci o faktoru rastresitosti strugotine kao bitnom ograničavajućem faktoru kapaciteta piljenja na tračnim pilama trupčarama, te će se pokušati metoda za praktični načini eksperimentalnog određivanja istog u industrijskim uvjetima rada. |

# Key words documentation

|                            |   |
|----------------------------|---|
| TI (Title)                 | Contribution to the experimental determination of the gullet holding capacity during sawing on log band saws  |
| OT (Original Title)        | Prilog eksperimentalnom određivanju faktora rastresitosti strugotine kod piljenja na tračnim pilama trupčarama  |
| AU (Author)                | Tomislav Pađen  |
| AD (Address of Author)     | Siget 20f 10000 Zagreb<br>tomislav.paden@gmail.com  |
| SO (Source)                | Library of Forestry Faculty of Zagreb University,<br>Svetošimunska cesta 25, 10 000 Zagreb, Croatia   |
| PY (Publication Year)      | 2013  |
| LA (Language of Text)      | Croatian  |
| DE (Descriptors)           | Band saw, gullet holding capacity, sawdust expansion factor   |
| GE (Geographical Headings) | Croatia   |
| PT (Publication Type)      | Graduate work   |
| VO (Volume)                | I – VII + 26 pages + 15 figures + 10 references   |
| AB (Abstract)              | This paper will analyze on gullet holding capacity as a limiting factor cutting capacity of the band saw for saw's logs, and will try to propose practical ways of experimental determination in industrial conditions. |

# Popis slika

|  |    |
|--|----|
| <b>Slika 1.</b> Shematski prikaz vertikalne tračne pile trupčare.....  | 1  |
| <b>Slika 2.</b> Elementi geometrije oštrice tračne pile.....   | 2  |
| <b>Slika 3.</b> Prikaz načina određivanja površine pazušnog prostora na milimetarskom papiru.....  | 3  |
| <b>Slika 4.</b> Odnos zapunjenosti pazušnog prostora i volumena piljevine.....   | 5  |
| <b>Slika 5.</b> Utjecaj povećanja posmične brzine, uz zadržavanje ostalih utjecajnih faktora konstantnim, na zapunjenost pazušnog prostora piljevinom..... | 6  |
| <b>Slika 6.</b> Utjecaj ispunjenosti pazušnog prostora na točnost piljenja pri različitim silama napinjanja lista pile.....                                | 7  |
| <b>Slika 7.</b> Nomogram za određivanje posmične brzine pri radu s tračnim pilama u zadanim uvjetima obrade.....   | 8  |
| <b>Slika 8.</b> Zapunjavanje pazušnog prostora tračne pile tijekom prolaska zuba kroz zahvat.....  | 10 |
| <b>Slika 9.</b> Shematski prikaz fotografiranja metka u letu.....  | 13 |
| <b>Slika 10.</b> Fotografija metka u letu.....   | 13 |
| <b>Slika 11.</b> Shematski prikaz principa mjerenja zapunjenosti pazušnog prostora tračne pile stroboskopskom metodom.....                                 | 15 |
| <b>Slika 12.</b> Postupak kotiranja koraka zuba ( $t_s$ ) i visine zuba ( $h_{zs}$ ) na slici.....   | 16 |
| <b>Slika 13.</b> Transformiranje slike u mjerilo M 1:1.....  | 17 |
| <b>Slika 14.</b> Prikaz omeđene površine projekcije rastresite strugotine na slici.....  | 18 |
| <b>Slika 15.</b> Prikaz superponirane milimetarske mreže na sliku izlaska zuba tračne pile iz zahvata.....   | 19 |

# Predgovor

U ovom diplomskom radu želja nam je pokazati problematiku koja se javlja u priomarnoj pilanskoj obradi prilikom piljenja na tračnim pilama trupčarama, te analizirati podatke o faktoru rastresitosti strugotine kao bitnom ograničavajućem faktoru kapaciteta piljenja.

Istraživanjem, prikupljanjem te usporedbom prijašnjih istraživanja na području rastresitosti strugotine i njegovog značenja za kvalitetu piljenja i obradom prikupljenih podataka htjeli smo usporediti načine izračunavanja faktora rastresitosti strugotine te njegov utjecaj na kvalitetu piljenja.

Za nastajanje ovog rada želio bih se zahvaliti doc. dr. sc. Igiru Đukiću u oblikovanju ideje rada, te nad izradom i analizom dobivenih rezultata, kojem zahvaljujem na pristupačnosti, želji da mi prenese barem dio svojeg opsežnog znanja, svoj literaturi koju mi je učinio dostupnom i naravno njegovoj spremnosti da u svakom trenutku bude studentima na raspolaganju.

Također zahvaljujem svojoj obitelji bez koje danas ne bih bio ovdje, svojoj djevojci i svim prijateljima koji su u svakom trenutku bili uz mene.

Svima jedno veliko HVALA!



# Sadržaj

|   |     |
|---|-----|
| Administrativni protokol.....   | I   |
| Ključna dokumentacijska kartica.....  | II  |
| Key words documentation.....  | III |
| Popis slika.....  | IV  |
| Popis tablica.....  | V   |
| Predgovor.....  | VI  |
| Sadržaj.....  | VII |
| 1. Uvod.....  | 1   |
| 1.1. Tračna pila.....   | 1   |
| 1.2. Alat.....  | 2   |
| 1.3. Općenito o faktoru ispunjenosti pazušnog prostora.....   | 3   |
| 2. Ciljevi istraživanja.....  | 9   |
| 3. Objekt i metoda istraživanja.....  | 10  |
| 3.1. Objekt istraživanja.....   | 10  |
| 3.2. Metoda istraživanja.....   | 11  |
| 3.2.1. Objašnjenje stroboskopskog mjerenja ispunjenosti pazušnog prostora<br>piljevinom primjerom mjerenja brzine metka.....                | 12  |
| 3.2.2. Određivanje faktora rastresitosti i faktora ispunjenosti pazušnog prostora<br>lista tračne pile pri piljenju pomoću stroboskopa..... | 14  |
| 4. Zaključak.....   | 21  |
| 5. Literatura.....  | 22  |
| Životopis.....  | 23  |
| Zabilješke.....   | 25  |

# 1. Uvod

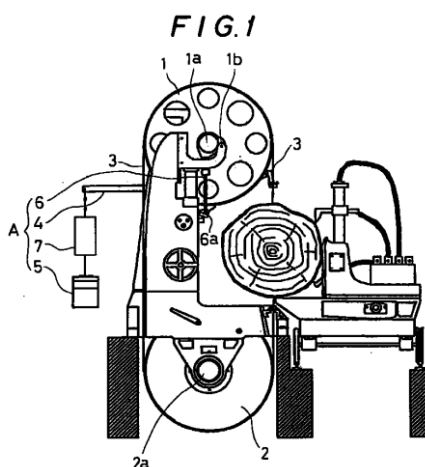
## 1.1. Tračna pila

Među strojeve koji se često primjenjuju za obradu drva spada i tračna pila. Tračna se pila primjenjuje u primarnoj i doradnoj pilanskoj preradi te u finalnoj preradi drva. Prva tračna pila patentirana je 1808. godine u Engleskoj. Naručito brz razvoj doživjela je tračna pila u SAD gdje je praktički bila nezamjenjiv stroj u primarnoj pilanskoj preradi pri piljenju trupaca velikih promjera. U Europi se intenzivno počinje primjenjivati tek nakon I. Svjetskog rata, a u posljednje vrijeme postupno istiskuje jarmaču (Goglia, 1994).

Tračna pila ima široku primjenu, od primarne pilanske prerade do završne obrade drva. Prema mjestu upotrebe razlikujemo:

1. Tračne pile trupčare
2. Rastružne tračne pile
3. Stolarske tračne pile

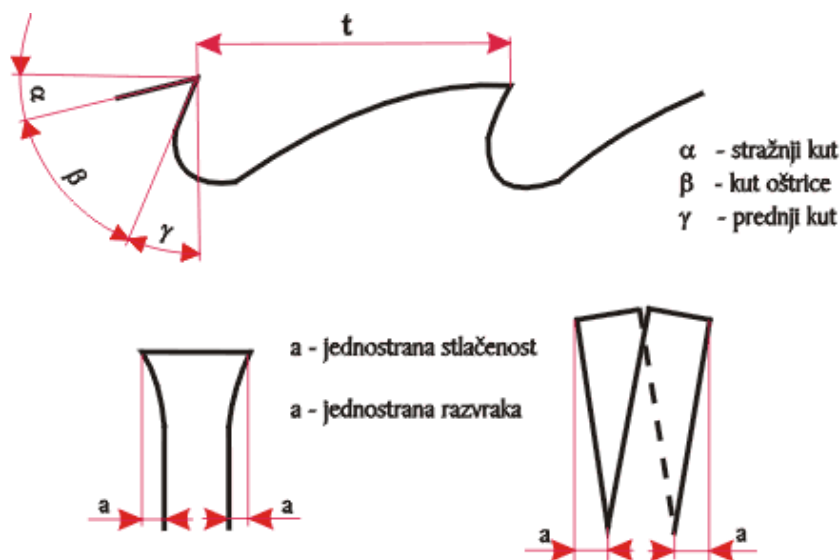
U osnovi tračnu pilu čine dva kotača (pogonski i slobodni) te list pile navučen preko oboda kotača. Spojnice osi pogonskog i slobodnog kotača može biti uspravna i vodoravna pa se prema tome razlikuju vertikalna i horizontalna tračna pila (slika 1).



**Slika 1.** Shematski prikaz vertikalne tračne pile trupčare

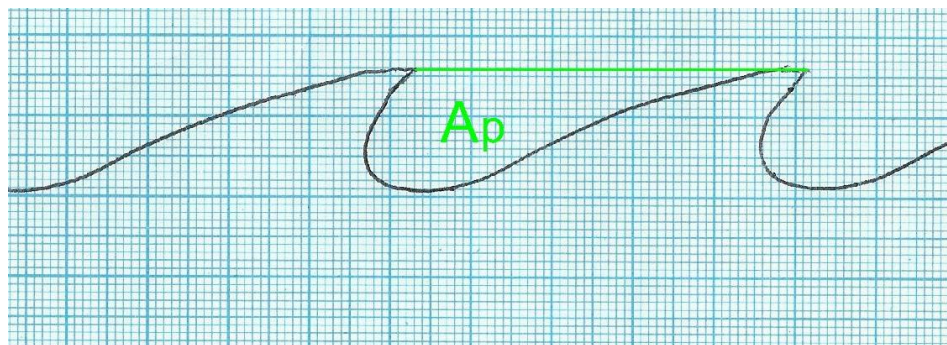
## 1.2. Alat

Alat tračne pile obično je jednostrano nazubljena traka čiji su krajevi spojeni tako da čini beskonačnu traku. Traka je uglavnom nazubljena samo s jedne strane, a zubi mogu biti različitih oblika (slika 2).



**Slika 2.** Elementi geometrije oštrice tračne pile  
(<http://www.kordun.hr/alati/proizvodni/pile/tracne.php>)

Jedan od ograničavajućih parametara pri maksimizaciji učina tračnih pila jest površina pazušnog prostora. Budući da se radi o zatvorenome rezu, nakon ulaska zuba u zahvat, sva strugotina koja nastaje za vrijeme trajanja zahvata smješta se u pazušni prostor. Veličina pazušnog prostora dakle ograničava količinu piljevine koja može nastati u tijeku jednog zahvata oštrice. Ako je obujam piljevine veći pojavit će se "bježanje", piljevine iz pazušnoga prostora u prostor između lista pile i bočnih ravnina rezanja. To će izazvati dodatne otpore, povećano zagrijavanje lista pile, povećanje jedinične energije rezanja i smanjenje postojanosti alata. Količina piljevine koja se može smjestiti u pazušni prostor izravno je razmjerna površini pazušnog prostora. Površina pazuha može se odrediti eksperimentalno ili računski. Jednostavna i praktična metoda eksperimentalnog određivanja površine pazušnog prostora je metoda crtanja zuba na milimetarskom papiru (slika 2), te brojanja kvadrata koje zauzima površina pazuha (Goglia, 1994).



Slika 3. Prikaz načina određivanja površine pazušnog prostora na milimetarskom papiru

### 1.3. Općenito o faktoru ispunjenosti pazušnog prostora

Faktor ispunjenosti definiran je kao omjer volumena strugotine, odnosno piljevine, nastale prolaskom jednog zuba kroz zahvat (visinu reza) i volumena pazušnog prostora u koji se ta strugotina smješta tijekom zahvata.

Faktor ispunjenosti može izračunati na temelju poznatih tehnoloških parametara kod piljenja u zadanim uvjetima. S obzirom na definiciju faktora ispunjenosti pazušnog prostora, izvod je dan sljedećim izrazom (Goglia, 1994)

$$f_{in} = \frac{V_s}{V_p} = \frac{\check{s}_p \cdot s_z \cdot h \cdot f_r \cdot \left(1 \pm \frac{1}{k}\right)}{h_z \cdot t \cdot \check{s}_p} = \frac{v_p \cdot t \cdot h \cdot f_r \cdot \left(1 \pm \frac{1}{k}\right)}{h_z \cdot t} = \frac{v_p \cdot h \cdot f_r \cdot \left(1 \pm \frac{1}{k}\right)}{v_r \cdot h_z} \leq 1 \quad (1,1)$$

gdje je  $f_{in}$  - faktor ispunjenosti neto,  $V_s$  - volumen strugotine, nastao prolaskom jednog zuba kroz zahvat u  $\text{mm}^3$ ,  $V_p$  - volumen pazušnog prostora u  $\text{mm}^3$ ,  $v_p$  - posmična brzina u m/s,  $v_r$  - brzina rezanja u m/s,  $s_z$  - pomak po reznom bridu u mm,  $h$  - visina rezanja u mm,  $h_z$  - visina zuba u mm,  $\check{s}_p$  - teoretska širina propiljka u mm,  $t$  - korak zuba u mm i  $k$  - konstanta ozubljenja.

Jedna od glavnih funkcija pazušnog prostora zuba je uklanjanje piljenih čestica iz zahvata, pa sve što onemogućuje i sprječava tu radnju kao što je prevelika ili premalena brzina rezanja, prevelika frekvencija ulaska zubi u zahvat i slično treba izbjegavati.

Krajnji rezultat može uključivati velike količine piljevine. Čestice koje nastaju rezanjem uslijed premale posmične brzine mogu biti toliko sitne da lako izlaze iz pazušnog prostora tijekom reza. To se obično događa kada je debljina strugotine (piljevine) manja od jednostranog odmaka vrha zuba od tijela lista pile. Uslijed prevelike posmične brzine u danim uvjetima piljenja dolazi do prebrzog zapunjavanja pazušnog prostora, te često i do prenaprezanja međuzublja koje često vodi do stvaranja pukotina u korijenu zuba. Iz tog razloga važno je pitanje zapravo koliko piljevine može zaprimiti pazušni prostor? Još uvijek nije u potpunosti odgovoreno na to pitanje.

Odgovor nije lako dobiti, jer to ovisi o mnogim čimbenicima, kao što su gustoća drva, količina sadržaja vlage drva, a pored toga i postotak pazušnog prostora koji se može učinkovito koristiti ovisi o količini piljevine koja će nastati prilikom obrade.

Jedan od faktora koji utječu na faktor ispunjenosti pazušnog prostora, kao što se može i vidjeti iz izraza (1,1) je i faktor rastresitosti. Faktor rastresitosti je definiran kao omjer volumena rastresite strugotine koja nastane tijekom reza i volumena kompaktne strugotine, odnosno volumena kompaktnog drva iz kojeg je ta strugotina nastala.

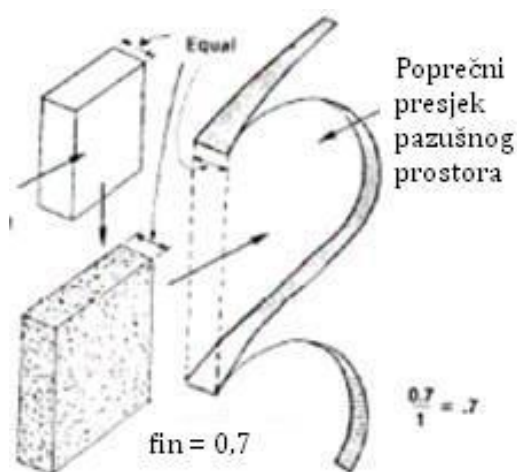
Piljevina zauzima 3 do 6 puta više slobodnog prostora u pazuhu zuba prije nego što dođe do zbijenosti piljevine zbog sila koje nastaju prilikom rezanja.

Mekane vrste drva, male gustoće, nakon piljenja u obliku rastresite piljevine zauzmu manji obujam za razliku od tvrdih vrsta drva, većih gustoća koje zauzmu veći obujam u obliku piljevine s obzirom na kompaktni volumen drva iz kojeg su ispiljene.

Piljevina se zbog pritiska i velike brzine koja nastaje tijekom obrade nabija u pazušni prostor i na taj način ga zapunjava.

Stručnjaci se uglavnom slažu da je količina piljevina koja se zadržava u pazušnom prostoru oko 50 posto popunjenosti kod tračnih i kružnih pila. Ako

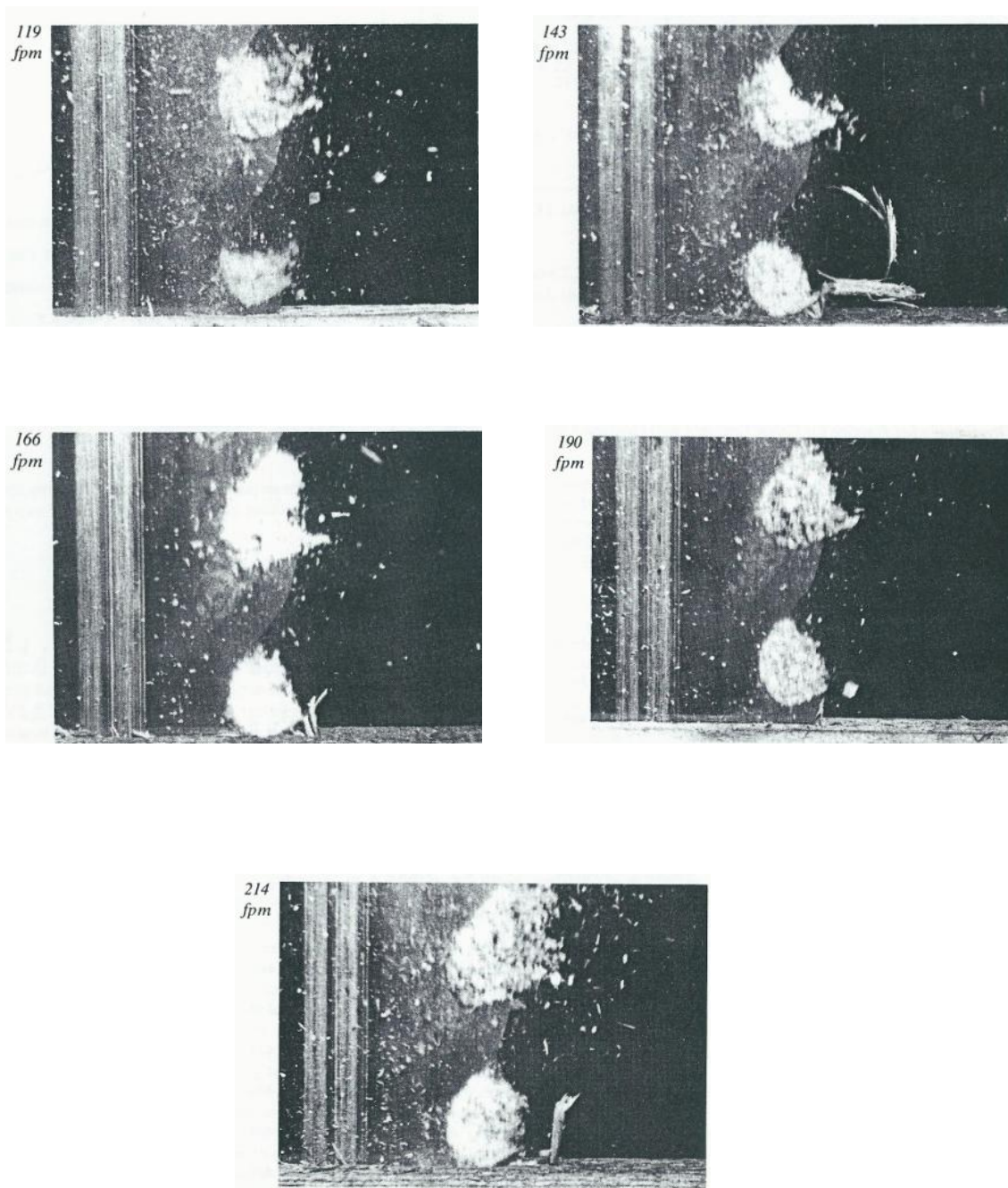
pretpostavimo da je to istina, onda bi veličina pazušnog prostora trebala biti jedan i pol do tri puta volumena masivnog drva iz kojeg će nastati piljevina tijekom obrade. Faktor ispunjenosti neto može se koristiti za označavanje postotka iskoristivosti pazušnog prostora u uvjetima rada. Prema preporukama koje se temelje na podacima iz prakse pazušni prostor ne bi trebao biti zapunjen piljevinom više od 70% do 80% (Goglia, 1994; Williston, 1989).



**Slika 4.** Odnos zapunjenosti pazušnog prostora i volumena piljevine(Lunstrum, 1985)

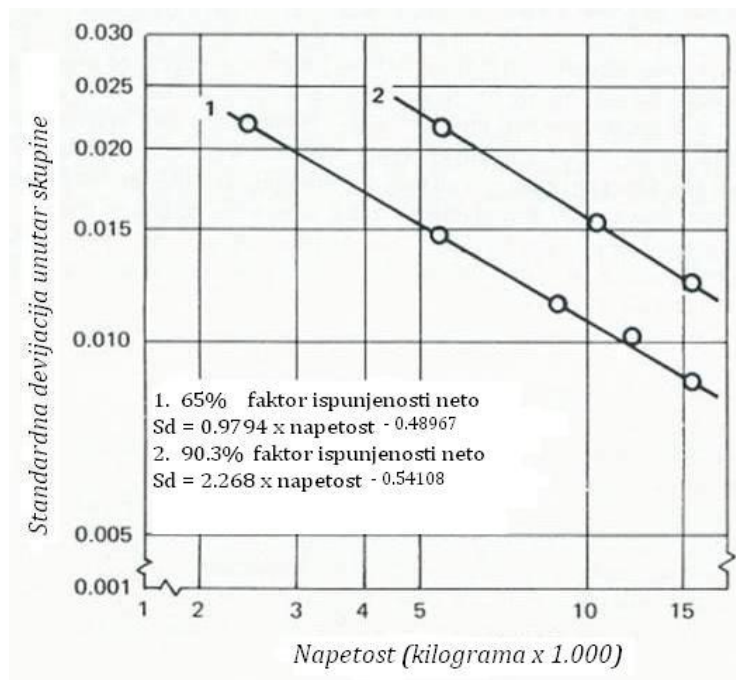
Veličinu pazušnog prostora zuba treba mjeriti točno. Jedna od metoda koja se može koristiti je utvrditi površinu pazušnog prostora ocrtavanjem iste na milimetarskom papiru. Nakon ocrtavanja obris koji se dobije prati se pažljivo i izbroji se broj dobivenih kvadrata koji se nalaze u granicama obrisa pazušnog prostora.

Prema istraživanjima (Allan, 1975) ako se poveća posmična brzina, a svi ostali parametri ostanu isti, povećat će se obujam strugotine koja nastaje prilikom obrade (što je i u skladu s teorijom, kao što se može vidjeti iz (1,1)). To može dovest do prepunjenosti obujma pazuha zuba, tada višak piljevine izlazi iz pazušnoga prostora u prostor između lista pile i bočnih ravnina rezanja (slika 5).



**Slika 5.** Utjecaj povećanja posmične brzine, uz zadržavanje ostalih utjecajnih faktora konstantnim, na zapunjenost pazušnog prostora piljevinom (Allan, 1975)

To će izazvati dodatne otpore pri obradi, povećano zagrijavanje lista pile, lijepljenje strugotine za list pile što može uzrokovat nemiran rad pile i povećanje grešaka obrade te povećanje jedinične energije rezanja i smanjenje postojanosti alata (slika 6).



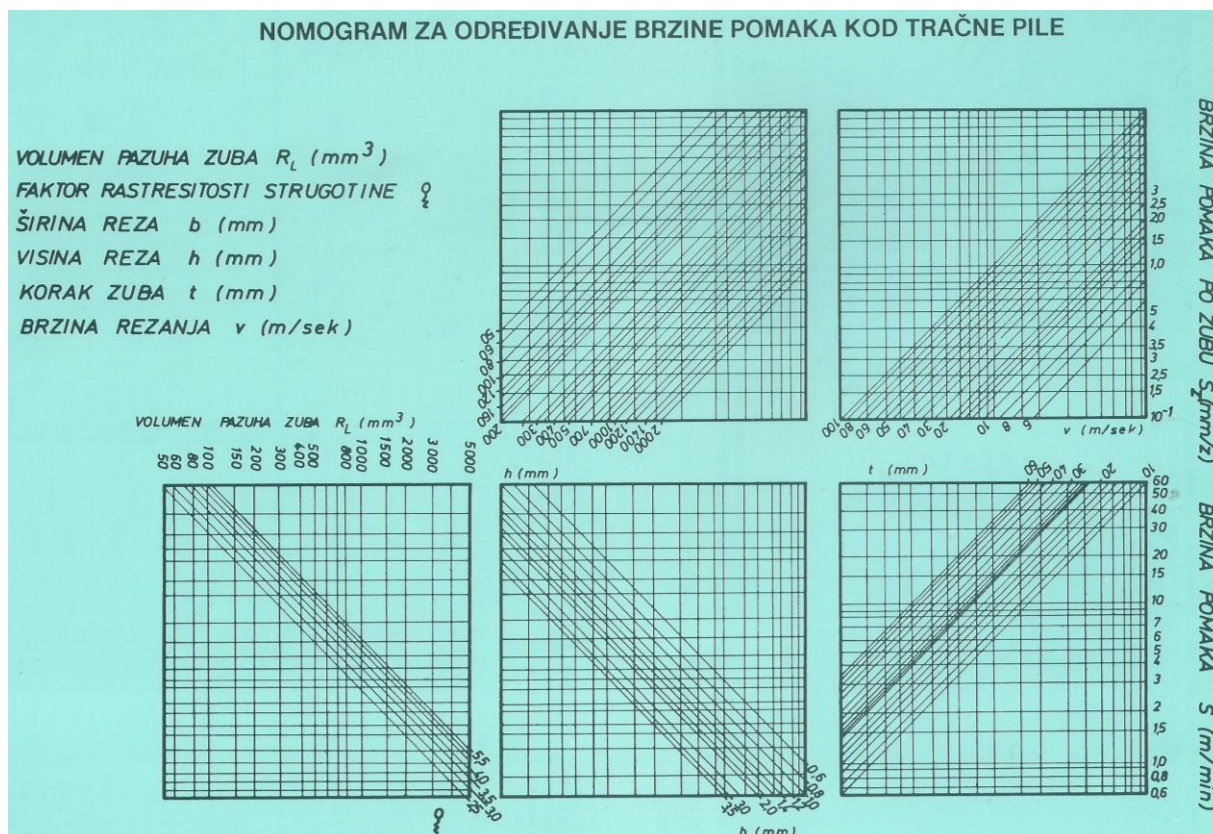
**Slika 6.** Utjecaj ispunjenosti pazušnog prostora na točnost piljenja pri različitim silama napinjanja lista pile (Allan, 1975).

Kao što se može vidjeti iz priloženog faktor ispunjenosti pazušnog prostora ima bitan utjecaj na kvalitetu piljenja, ekonomičnost i dr. Praktički svi faktori koji utječu na ispunjenost pazušnog prostora, a prikazani su u (1,1) mogu se jednostavno mjeriti ili su unaprijed poznati, izuzev faktora rastresitosti.

Podaci za faktor rastresitosti kod piljenja koji se mogu pronaći u dostupnoj literaturi se često bitno razlikuju, te uglavnom nigdje nije naveden način na koji se došlo do tih podataka (eksperimentalna metoda). Tako Goglia (1994) za izraz (1,1) preporučuje podatke Postnikova (1965) gdje se umjesto faktora rastresitosti navodi faktor stlačenja strugotine (znači da se strugotina u pazušnom prostoru sabija na volumen manji od kompaktnog volumena strugotine) u rasponu od 0,38 do 0,4. Prema podacima Carbide Processors Inc. (2013) faktor rastresitosti kod brzorastućih mekih vrsta drva je oko 2,5 dok je kod spororastućih tvrdih vrsta drva u rasponu od 1,8 do 2.



Tako i domaći proizvođač alata Kordun d.d. u svojem starom katalogu navodi u nomogramima za određivanje optimalne posmične brzine kod rada s tračnim pilama, faktor rastresitosti strugotine u rasponu od 2,5 do 5,5 (slika 7), ali nigdje ne navodi na koje se vrste drva koja vrijednost i u kojim uvjetima odnosi.



**Slika 7.** Nomogram za određivanje posmične brzine pri radu s tračnim pilama u zadanim uvjetima obrade (Izvor : Kordun d.d.)

Iz izloženog se može vidjeti da se vrijednosti faktora rastresitosti, kao bitnog utjecajnog parametra na optimiranje učina tračnih pila bitno razlikuju između različitih izvora. Osim toga, nigdje u dostupnoj literaturi nije opisan postupak pomoću kojeg je izmjeren faktor rastresitosti koji se preporučuje.

## 2. Ciljevi istraživanja

Cilj ovog rada je odrediti i predložiti odgovarajuću mjernu metodu za određivanje faktora rastresitosti strugotine u stvarnim uvjetima obrade, odnosno piljenja, kao bitnog faktora za izračunavanje zapunjenosti pazušnog prostora koji je ograničavajući faktor kapaciteta piljenja na tračnim pilama trupčarama sa tehnološke i proizvodne strane.

Na ovaj rad potaknula nas je razlika u podacima u literaturi, koji se kod pojedinih autora značajno razlikuju. Te razlike mogu utjecati na kvalitetu piljenja i iskorištenje kapaciteta u konačnoj proizvodnji.

U daljnjem radu predložena je metoda kojom se na vrlo jednostavan način može ispitati zapunjenost pazušnog prostora. Prikladna je za sve pogone i uz male financijske izdatke svaki inženjer može ovu metodu primjeniti u svojem pogonu i tako uštedjeti vrijeme i novac te podignuti proizvodnost i produktivnost na višu razinu.

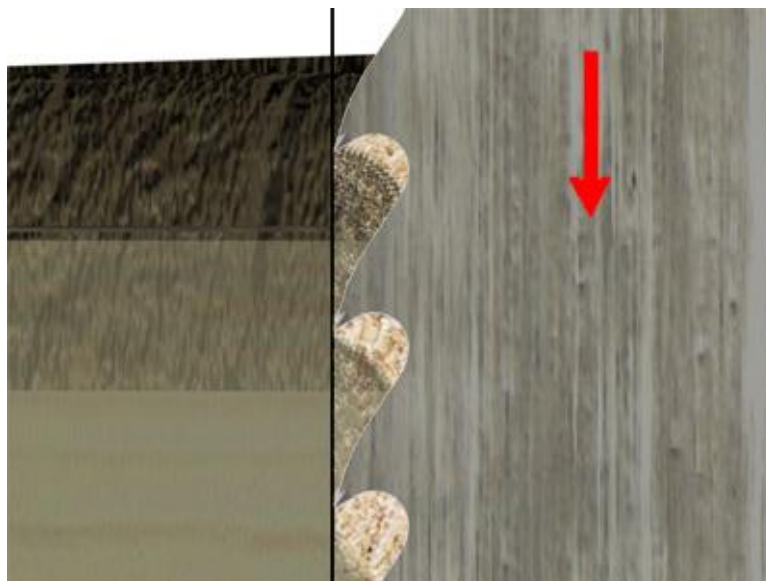
## 3. Objekt i metoda istraživanja

### 3.1. Objekt istraživanja

Prilikom piljenja na tračnim pilana značajno je da se rezna oštrica nalazi u zatvorenom rezu.

Kod zatvorenog reza uz glavni rezni brid, te prednju i stražnju plohu oštrice sudjeluju i bočni brid te bočna ploha. Glavni rezni brid, pri rezanju ima najvažniju ulogu, prvi dolazi u doticaj s obratkom (slika 8). Njegova zadaća je da presjeca te odvaja drvena vlakanca, nakupljanjem u pazušnom prostoru lista pile, te prilikom izlaska iz zahvata izbaciti strugotinu iz zahvata. U neposrednom rezanju sudjeluje pomoćni rezni brid. Osim toga treba napomenuti da su u zatvorenom rezu jedini konačni rezultat obrade jedna ili dvije bočne obrađene plohe. Kakvoća obrađenih ploha isključivo ovisi o stanju bočnih reznih bridova.

Zbog gore navedenog prilikom većeg iskorištenja kapaciteta pazušnog prostora dolaziti će do sabijanja strugotine u pazušnom prostoru i ulaženja strugotine u propiljak između lista pile i bočnih ploha obrade. Takav ishod nije povoljan pri dugotrajnoj obradi jer smanjuje vijek trajanja alata.



**Slika 8.** Zapunjavanje pazušnog prostora tračne pile tijekom prolaska zuba kroz zahvat (Carbide Processors Inc. , 2013)

## 3.2. Metoda istraživanja

Kao jedna od metoda istraživanja zapunjenosti pazušnog prostora može se iskoristiti i metoda stroboskopiranja. Stroboskopi su uređaji za promatranje predmeta u brzom periodičnom gibanju stvaranjem optičke iluzije zaustavljenog ili usporenog predmeta, a oslanja se na tromost ljudskog oka, a isto tako i na tromost kamera za snimanje, kako bi se postigao željeni učinak. Osim za promatranje predmeta u brzom gibanju stroboskopi se primjenjuju na mnoge raznovrsne načine od ispitivanja strojeva do podešavanja frekvencije vrtnje.

Stroboskop je uređaj za mjerenje frekvencije i promatranje jednostavnih gibanja koja se periodično ponavljaju stvaranjem optičke iluzije usporenoga ili zaustavljenoga gibanja. Princip rada stroboskopa vrlo je sličan načinu na koji radi filmska kamera, u kojoj zatvarač dijeli pokret u niz statičnih slika bez vidljiva kretanja. Zbog tromosti ljudskog oka niz prikazanih slika daje privid kontinuirana kretanja prilikom projekcije slika.

Zatvarač filmske kamere može stvoriti stroboskopski efekt u sinkronizaciji s periodičnim gibanjem. Naprimjer pri promatranju diska koji se vrti frekvencijom  $24 \text{ s}^{-1}$  kroz zatvarač kamere koji radi na frekvenciji od  $24 \text{ s}^{-1}$ , ili ako ga osvjetljavamo svjetlom u vremenskim razmacima  $1/24 \text{ s}^{-1}$  disk će se prividno nalaziti u istom položaju u svakom trenutku vidljivosti, pa će se činiti kao da je zaustavljen.

Povećanjem brzine zatvarača na  $25 \text{ s}^{-1}$  svaki trenutak vidljivosti događa se  $1/25$  sekunde ranije, no disk još uvijek radi puni krug za  $1/24$  sekunde. Disk se tako vidi u nešto ranijem dijelu svojega kretanja, što stvara iluziju polagana kretanja kotača unatrag.

Usporavanjem zatvarača na  $23 \text{ s}^{-1}$  kotač postaje vidljiv u kasnijem dijelu svojega gibanja, što stvara iluziju polagana kretanja diska naprijed. Isti bi se učinak postigao osvjetljavanjem kotača izvorom svjetlosti odgovarajuće brzine bljeskanja pa se može reći da mijenjanjem brzine prekidanja vidljivosti nastaje privid gibanja unaprijed ili unatrag bilo kojom željenom brzinom.

Vidljivost se može prekidati mehanički zaklanjanjem predmeta, ili prekidanjem osvjetljenja promatranog predmeta.

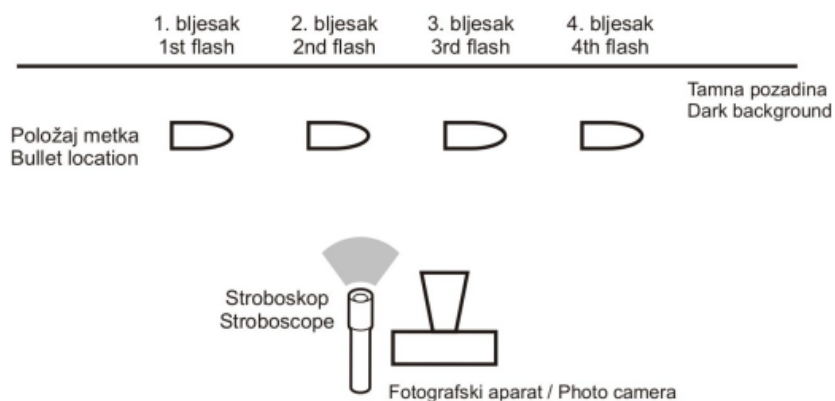
Prema osnovnom principu stroboskopije, objekt u pokretu osvjetljen izvorom svjetlosti frekvencije jednake frekvenciji gibanja predmeta prividno se zaustavlja, pa je moguće i odrediti brzinu gibanja predmeta mijenjanjem frekvencije bljeskova izvora svjetlosti sve do prividnoga zaustavljanja predmeta.

Ta mogućnost mjerenja bez izravnog dodira s mjerenim predmetom predstavlja osnovnu prednost stroboskopije nad konvencionalnim metodama mjerenja kod kojih je potreban mehanički dodir s predmetom (Van Veen, 1977).

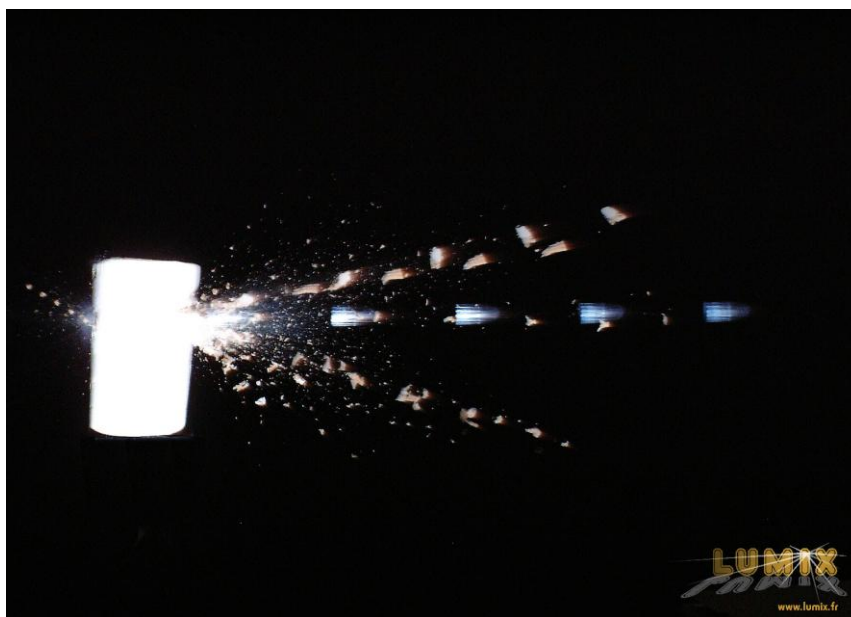
### **3.2.1. Objašnjenje stroboskopskog mjerenja ispunjenosti pazušnog prostora piljevinom primjerom mjerenja brzine metka**

Kao objašnjenje postupka mjerenja zapunjenosti pazušnog prostora pomoću stroboskopskog efekta može nam poslužiti primjer mjerenja brzine metka, kao često korištenog primjera kod objašnjavanja primjene stroboskopije u stvarnim uvjetima.

Metak u letu kao i svaki drugi objekt (npr. list pile) može se jasno fotografirati, budući da se pomiče za određenu udaljenost između dva bljeska stroboskopa. Fotografiranjem pod svjetlom uzastopnih bljeskova dobivaju se snimke s jasno određenim vremenskim odmakom iz kojih je moguće izračunati brzinu i ubrzanje, budući da se na uzastopnim snimkama prikazuje metak u poznatim vremenskim i prostornim razmacima (slika 9). Mjerenje se provodi u zamračenoj prostoriji uz potpuno otvoreni zatvarač fotografskog aparata. Metak se oboji jasnom bojom, a fotografija se snima ispred tamne pozadine (slika 10). Poznata frekvencija bljeskanja stroboskopa određuje vremenski razmak, npr. ako stroboskop bljeska s frekvencijom  $6000 \text{ min}^{-1}$ , slike su razmaknute 0,01 s, a prijeđeni put određuje se koristeći poznatu duljinu metka.



**Slika 9.** Shematski prikaz fotografiranja metka u letu



**Slika 10.** Fotografija metka u letu

### **3.2.2. Određivanja faktora rastresitosti i faktora ispunjenosti pazušnog prostora lista tračne pile pri piljenju pomoću stroboskopa**

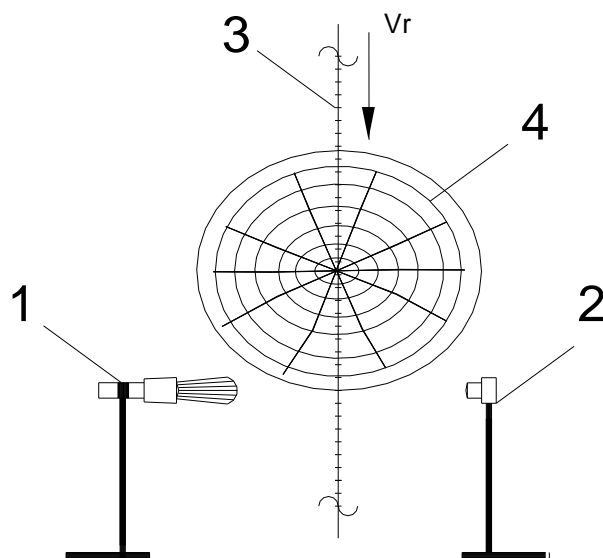
Mjerenje zapunjenosti pazušnog prostora pomoću stroboskopa vrši se prema osnovnom principu stroboskopije.

List pile koji je u pokretu s jedne strane osvjetli se izvorom svjetlosti, a nasuprot izvora svjetla postavi se kamera koja sve to bilježi. List pile koji se snima stroboskopskom metodom iz zahvata izlazi određenom frekvencijom koja je jednaka frekvenciji ulaska zubi u zahvat. Za naša istraživanja potrebno nam je uskladiti titranje stroboskopa sa frekvencijom izlaska zubi iz zahvata, te pronaći višekratnik frekvencija titranja kako bi se dobila stop snimka lista pile. Istovremeno se list pile snima pomoću digitalne kamere koja ima frekvenciju uzorkovanja od 30 slika u sekundi ili se digitalni fotoaparati sinkronizira sa stroboskopom kako bi uzimao slike ili brzi niz slika, tzv. *burst mode* u zadanim trenucima kada dođe do okidanja stroboskopa.

Ukoliko se svi parametri koji utječu na zapunjenost pazušnog prostora drže konstantnima u zadanim uvjetima obrade, možemo pretpostaviti da neće biti bitne razlike u zapunjenosti pazušnog prostora između različitih zubi. Pod tom pretpostavkom nema potrebe za snimanjem svakog zuba koji izlazi iz zahvata, pa i frekvencija uzorkovanja slika ne mora biti velika, već mora samo zadovoljiti uvjet da se snimi dobra stop snimka na samom izlasku zuba iz zahvata. Isto tako frekvencija okidanja stroboskopa ne mora, ali i može biti jednaka frekvenciji izlaska zubi iz zahvata. Bitno je samo da je ta frekvencija višekratnik frekvencije ulaska zubi u zahvat.

Puštanjem filma i odabirom slike svakog n-tog zuba moguće je naknadnom obradom slike odrediti postotak zapunjenosti pazušnog prostora.

Na slici 11. prikazan je princip mjerenja zapunjenosti pazušnog prostora piljevinom kod piljenja na tračnoj pili trupčari.



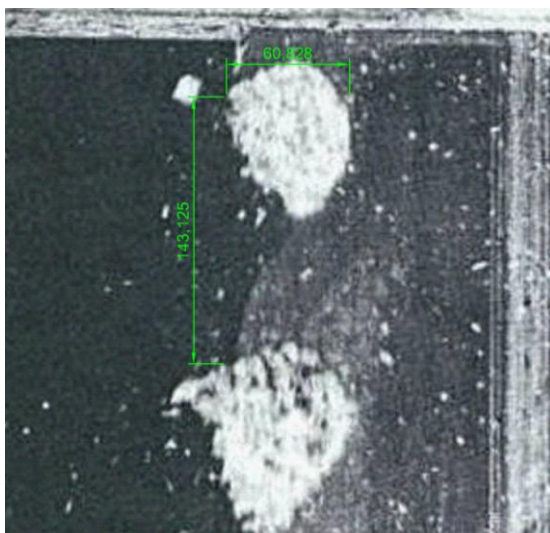
**Slika 11.** Shematski prikaz principa mjerenja zapunjenosti pazušnog prostora tračne pile stroboskopskom metodom (1 – stroboskop, 2 – digitalna kamera ili fotoaparati, 3 – list tračne pile, 4 – trupac)

Odnos između obujma strugotine koji se smješta u pazušni prostor i obujma pazušnog prostora jest faktor ispunjenosti neto dok faktor rastresitosti strugotine koji označava koliko se puta povećao obujam rastresite strugotine u odnosu na kompaktni obujam drva iz koje je nastala. (Goglia, 1994).

Predpostavimo da smo Stroboskopskom metodom dobili dobru stop snimku na samom izlasku zuba iz zahvata i uz držanje parametara koji utječu na zapunjenost pazušnog prostora konstantnim. Dobivene podatke obrađujemo na sljedeći način.

Nakon puštanja filma i izdvajanja slike svakog n-tog zuba prvo trebamo sliku postaviti u određeno mjerilo, po mogućnosti 1:1 (slika 12) i to u nekom programu za računalnu obradu slika ili neki program za vektorsko crtanje. Mi smo se odlučili za AutoCAD®. Prije samog snimanja potrebno je pomičnim mjerilom izmjeriti korak zuba ( $t$ ), te ukoliko želimo i visinu zuba ( $h_z$ ) na samom listu pile kako bi uopće mogli odrediti mjerilo.





**Slika 12.** Postupak kotiranja koraka zuba ( $t_s$ ) i visine zuba ( $h_{zs}$ ) na slici.

Ako korak zuba lista pile na kojem se mjeri označimo s  $t$ , a visinu zuba s  $h_z$  tada iz izmjerenih vrijednosti na listu pile i vrijednosti izmjerenih na slici ( $t_s$  i  $h_{zs}$ ) možemo odrediti mjerilo prema izrazu

$$M = \frac{t_s}{t} = \frac{h_{zs}}{h_z} \quad (3.1)$$

gdje je  $M$  - traženo mjerilo slike,  $t$  – korak zuba lista tračne pile u mm,  $h_z$  – visina zuba lista tračne pile u mm,  $t_s$  – korak zuba lista tračne pile na slici u mm i  $h_{zs}$  – visina zuba lista tračne pile na slici u mm.

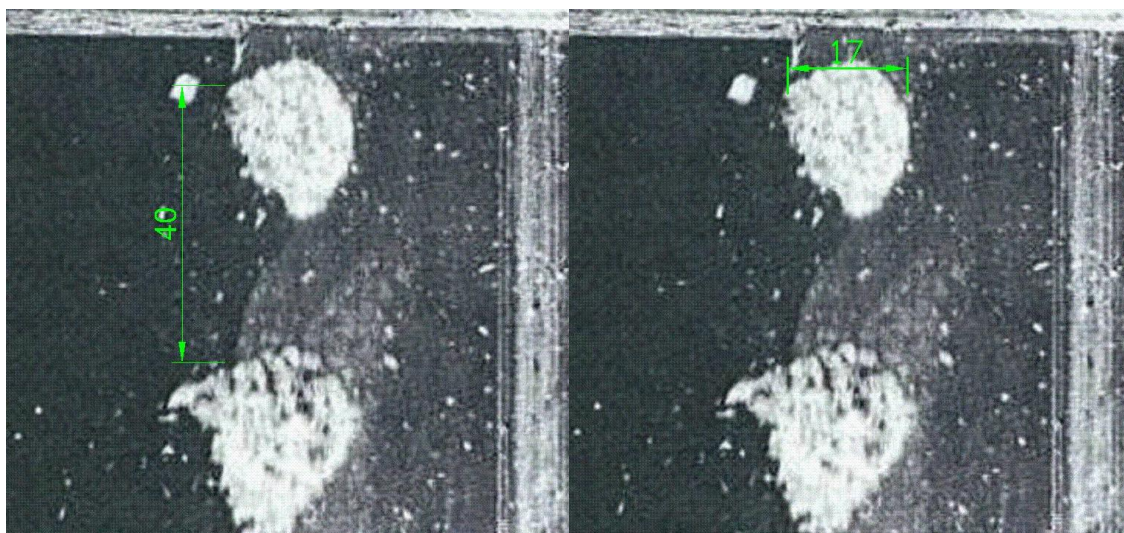
Postupak računanja možemo prikazati na primjeru slike 12. Pretpostavimo da je korak zuba lista tračne pile 40 mm, a visina zuba 17 mm. Iz slike koju smo snimili i učitali u program prvo je potrebno odrediti vrijednost  $t_s$ , te ukoliko želimo radi kontrole odrediti i vrijednost  $h_{zs}$ . Pošto CAD programi posjeduju mogućnost kotiranja iskotirali smo te dimenzije i u našem slučaju su one bile  $t_s = 143,125$  mm i  $h_{zs} = 60,828$  mm. Prema izrazu (3.1) mjerilo bi tada bilo

$$M = \frac{t_s}{t} = \frac{143,125}{40} = 3,578$$

ili

$$M = \frac{h_{zs}}{h_z} = \frac{60,828}{17} = 3,578$$

Znači da bi u našem slučaju mjerilo bilo 3,578 i sliku bi trebalo smanjiti za taj iznos, pri tome treba paziti da odnosi stranica slike ostanu očuvani, tzv. *aspect ratio* (slika 13). Time bi slika bila transformirana u mjerilo M 1:1, te su nam sva daljnja računanja na slici znatno olakšana.



**Slika 13.** Transformiranje slike u mjerilo M 1:1.

Sada iz slike jednostavno možemo odrediti sve parametre koji su nam potrebni za izračunavanje faktora rastresitosti i faktora ispunjenosti pazušnog prostora u promatranim uvjetima piljenja.

Kao što nam je poznato iz teorije (Goglia, 1994) faktor rastresitosti jednak je omjeru volumena rastresite strugotine koja se smjesti u pazušni prostor prolaskom jednog zuba kroz zahvat, odnosno visinu piljenja  $h$  i volumena kompaktne strugotine iz koje je nastala. Faktor rastresitosti u danim uvjetima piljenja može se odrediti pomoću izraza

$$f_r = \frac{V_{sr}}{V_s} = \frac{A_{sr} \cdot \check{s}_p}{s_z \cdot h \cdot \check{s}_p} = \frac{A_{sr}}{s_z \cdot h} \quad (3.2)$$

gdje je  $f_r$  – faktor rastresitosti strugotine,  $h$  – visina rezanja u mm,  $A_{sr}$  – površina projekcije rastresite strugotine u mm<sup>2</sup>,  $s_z$  – pomak po reznom bridu u mm,  $\check{s}_p$  – teoretska širina propiljka u mm.

Pomak po reznom bridu izračuna se iz poznatih parametara obrade u uvjetima u kojima se mjeri faktor rastresitosti pomoću izraza

$$s_z = \frac{v_p \cdot t}{v_r} \quad (3.3)$$

gdje je  $s_z$  – pomak po reznom bridu u mm,  $v_p$  – posmična brzina u m/min,  $v_r$  – brzina rezanja u m/min,  $t$  – korak zuba u mm.

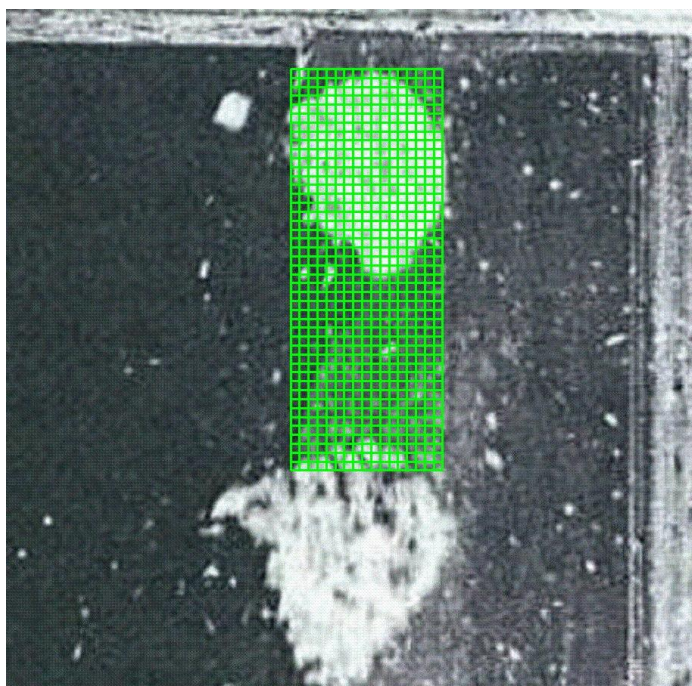
Kao što možemo vidjeti iz izraza (3.2) sve parametre potrebne za određivanje faktora rastresitosti dobivamo iz tehnoloških parametara obrade koji su nam poznati ili ih zadajemo, a potrebno je još odrediti površinu projekcije rastresite strugotine ( $A_{sr}$ ). Tu površinu, sada kada smo našu sliku postavili u mjerilo 1:1 možemo vrlo jednostavno očitati.

Ukoliko program u kojem radimo ima mogućnost automatskog izračuna površine poligona ili neke druge zatvorene plohe tada je postupak sljedeći. Na slici omeđimo krivuljom, poligonom površinu pazušnog prostora koju zauzima piljevina u trenutku izlaska zuba iz zahvata (slika 14) i izborom odgovarajućeg izbornika automatski dobijemo podatak o traženoj površini.



**Slika 14.** Prikaz omeđene površine projekcije rastresite strugotine na slici.

Ukoliko naš program ne posjeduje opciju automatskog izračuna površine možemo se poslužiti i sljedećom metodom. U programu se nacrtala milimetarska mreža te se superponira (najčešće pomoću različitih slojeva tzv. *layera*) na našu sliku (slika 15). Sada je postupak određivanja površine projekcije rastresite strugotine ( $A_{sr}$ ) stvar jednostavnog brojanja kvadratića na zadanoj površini. Ta metoda se može usporediti s određivanjem površine pazušnog prostora na milimetarskom papiru.



**Slika 15.** Prikaz superponirane milimetarske mreže na sliku izlaska zuba tračne pile iz zahvata.

Na sličan način može se sada određivati i faktor ispunjenosti pazušnog prostora. Pošto znamo da je on definiran kao omjer volumena rastresite strugotine koja nastane prolaskom jednog zuba kroz zahvat ( $V_{sr}$ ) i volumena pazušnog prostora ( $V_{pp}$ ) može se pokazati da je jednak

$$fin = \frac{A_{sr}}{A_{pp}} \quad (3.4)$$

gdje je  $A_{pp}$  – površina pazušnog prostora u  $mm^2$ .

Površinu pazušnog prostora možemo odrediti na samom listu tračne pile na milimetarskom papiru, kako je to već prethodno i pokazano ili se može odrediti iz snimljene fotografije istim metodama koje su upotrebljene za određivanje površine projekcije rastresite strugotine.

## 4. Zaključak

Na temelju podataka iz literature može se zaključiti da postoje bitne razlike u vrijednostima faktora rastresitosti koje navode različiti izvori. Kako je faktor rastresitosti strugotine jedan od bitnih utjecajnih faktora na optimiranje učina tračnih pila njegovo što točnije poznavanje omogućilo bi nam bolje predviđanje optimalnih parametara pri piljenju na tračnim pilama.

Stoga je u ovom radu predložena stroboskopska metoda za mjerenja zapunjenosti pazušnog prostora i faktora rastresitosti strugotine u stvarnim uvjetima rada. Opisana metoda danas pruža relativno jeftin način mjerenja, ali otvara i mogućnost mjerenja i kontrole drugih utjecajnih parametara obrade i to ne samo na tračnim pilama.

Rezultati koje možemo dobiti primjenom predložene metode stroboskopiranja, mogu nam biti od velikog značaja u razumijevanju procesa rezanja tračnom pilom, boljeg iskorištenja stroja povećanjem režima rada, postojanosti i trajnosti alata, bolje kvalitete obrade, a na taj način i produktivnosti ovih operacija u proizvodnji.

## Literatura

1. Allen, F. E. (1975): Some Considerations in Machining Southern Hardwoods with Multiple Band Saws. Presented at the Hardwood Symposium, Southern Forest Experiment Station, Alexandria, Louisiana, USA.
2. Auferber, V. (1950): Kružne pile. Drvna industrija, 7( 2-7): 10-17.
3. Csanády, E.; Magoss, E. (2011): Mechanics of wood machining. University of West Hungary, Sopron.
4. Eklund U. (2000): Influencing factors on sawing accuracy in a bandsawmill. Holz als Roh- und Werkstoff, Springer-Verlag, 58: 102-106.
5. Goglia, V. (1994): Strojevi i alati za obradu drva, I dio. Šumarski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Zagreb.
6. Lunstrum, S. J. (1985): Balanced Saw Performance. Technical Report No.12. Madison, WI, U.S. Department of Agriculture, Forest Service.
7. Van Veen, F. (1977): Handbook of Stroboscopy. GenRad Inc., Concord, Massachusetts, USA.
8. Williston, E., M. (1990): Saws : Design, Selection, Operation, Maintenance. Miller Freeman publications, USA.
9. \*\*\*: Alat za obradu drva – katalog. Kordun - tvornica metalnih proizvoda, Karlovac.
10. \*\*\*(2013): <http://www.carbideprocessors.com/pages/saw-blades/band-saw-calculator.html>

## Životopis

### OSOBNJE OBAVIJESTI

|               |                              |
|---------------|------------------------------|
| Ime           | TOMISLAV PAĐEN               |
| Adresa        | SIGET 20F, 10020 NOVI ZAGREB |
| Telefon       | 099 7820662                  |
| Faks          |                              |
| E-pošta       | tomislav.paden@gmail.com     |
| Državljanstvo | hrvatsko                     |
| Datum rođenja | 22.01.1987                   |

### RADNO ISKUSTVO

### ŠKOLOVANJE I IZOBRAZBA

- Datum (od – do) 2011. – 2013.
- Naziv i vrsta obrazovne ustanove Šumarski fakultet Sveučilišta u Zagrebu
  - Osnovni predmet /zanimanje Drvno tehnološki odsjek
  - Naslov postignut obrazovanjem Magistar inženjer drvne tehnologije
  - Stupanj nacionalne kvalifikacije (ako postoji) VSS
  
- Datum (od – do) 2005. – 2011.
- Naziv i vrsta obrazovne ustanove Šumarski fakultet Sveučilišta u Zagrebu
  - Osnovni predmet /zanimanje Drvno tehnološki odsjek
  - Naslov postignut obrazovanjem Sveučilišni prvostupnik inženjer drvne tehnologije
  - Stupanj nacionalne kvalifikacije (ako postoji) VSS
  
- Datum (od – do) 2001 - 2005
- Naziv i vrsta obrazovne ustanove Drvodjeljska škola Zagreb
  - Osnovni predmet /zanimanje Drvni odsjek
  - Naslov postignut obrazovanjem Drvodjeljski tehničar
  - Stupanj nacionalne kvalifikacije (ako postoji) SSS
  
- Datum (od – do) 1993.– 1999.
- Naziv i vrsta obrazovne ustanove Osnovna škola Večislav Holjevac, Zagreb
  - Osnovni predmet /zanimanje
  - Naslov postignut obrazovanjem
  - Stupanj nacionalne kvalifikacije (ako postoji) NSS



**OSOBNJE VJEŠTINE I  
SPOSOBNOSTI**

*Stecene radom/životom,  
karijerom, a koje nisu  
potkrijepljene potvrdama i  
diplomama.*

MATERINSKI JEZIK                      HRVATSKI

SOCIJALNE VJEŠTINE I  
SPOSOBNOSTI  
*Življenje i rad s drugim  
ljudima u višekulturnim  
okolinama gdje je značajna  
komunikacija, gdje je timski  
rad osnova (npr. u kulturnim  
ili sportskim aktivnostima).*

Navikao sam na život u obitelji, velikom krugu prijatelja, kolega i poznanika. Volim kretanje, izazove, upoznavanja i učenje, vezano uz posao ali i privatno.

ORGANIZACIJSKE VJEŠTINE I  
SPOSOBNOSTI  
*Npr. koordinacija i  
upravljanje osobljem,  
projektima, financijama; na  
poslu, u dragovoljnom radu  
(npr. u kulturi i športu) i kod  
kuće, itd.*

Sposobnost rada s ljudima, koordinacije i komunikacije s kolegama, rješavanje svakodnevnih problema, organizacija rada i te, odgovoran.

TEHNIČKE VJEŠTINE I  
SPOSOBNOSTI  
*S računalima, posebnim  
vrstama opreme, strojeva,  
itd.*

Poznavanje rada na računalu: MS Office, paket (Excell, Word, PowerPoint), AutoCAD,

UMJETNIČKE VJEŠTINE I  
SPOSOBNOSTI  
*Glazba, pisanje, dizajn, itd.*

DRUGE VJEŠTINE I  
SPOSOBNOSTI  
*Sposobnosti koje nisu gore  
navedene.*

VOZAČKA DOZVOLA                      „B“, „F“, „G“, „M“ kategorija

**DODATNE OBAVIJESTI**

**DODATCI**



