

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

**JURAJ JOVANOVIĆ**

**ODREĐIVANJE ZAPUNJENOSTI PAZUŠNOG PROSTORA  
KRUŽNE PILE TIJEKOM PILJENJA POMOĆU  
STROBOSKOPA I DIGITALNE KAMERE**

**DIPLOMSKI RAD**

**ZAGREB, 2017.**

**ŠUMARSKI FAKULTET SVEUČILIŠTA U ZAGREBU  
DRVNOTEHNOLOŠKI ODSJEK**

**ODREĐIVANJE ZAPUNJENOSTI PAZUŠNOG PROSTORA KRUŽNE  
PILE TIJEKOM PILJENJA POMOĆU STROBOSKOPA I DIGITALNE  
KAMERE**

**DIPLOMSKI RAD**

Diplomski studij: Drvna tehnologija

Predmet: Automatizacija i mjerna tehnika u DI

Ispitno povjerenstvo:      1.doc. dr. sc. Igor Đukić, mentor  
                                      2.doc. dr. sc. Josip Ištvarić, član  
                                      3.dr. sc. Matija Jug, član

Student: Juraj Jovanović

JMBAG: 0068217655

Broj indeksa: 732/15

Datum odobrenja teme: 10.3.2017.

Datum predaje rada: 13.6.2017.

Datum obrane rada: 14.7.2017.

**Zagreb, srpanj, 2017.**

## **DOKUMENTACIJSKA KARTICA**

Naslov	Mjerenje ispunjenosti pazušnog prostora kod kružnih pilja pomoću stroboskopa i digitalne kamere
Title	Experimental determination of the gullet holding capacity with stroboscope and digital camera during sawing on circular saws
Autor	Juraj Jovanović
Adresa autora	Bilajska 7, 10000 Zagreb Juraj.gs@gmail.com
Mjesto izrade	Šumarski fakultet, Sveučilišta u Zagrebu
Vrsta objave	Diplomski rad
Mentor	Doc. dr. sc. Igor Đukić
Godina objave	2017.
Obujam	I-IV + 45 stranica + 29 slike + 3 tablice + 20 navoda literature.
Ključne riječi	Faktor ispunjenosti pazušnog prostora, faktor rastresitosti, kružna pilja, stroboskopija
Key words	Gullet holding capacity, looseness factor, circular saw, stroboscopy
Sažetak	U ovom diplomskom radu odabran je i analiziran predloženi mjerni lanac za mjerjenje faktora rastresitosti pri piljenju na kružnoj pilji. Kao mjerni lanac korišten je stroboskop i digitalni fotoaparat s mogućnošću snimanja videa. Dobiveni rezultati upućuju na upotrebljivost odabrane mjerne metode za analizu zapunjenoosti pazušnog prostora lista pile piljevinom odmah nakon izlaska iz zahvata, iako su uočeni neki nedostatci pri obradi rezultata za koje su se dale preporuke u cilju poboljšanja i unapređenja korištenog mjernog postupka.

**IZJAVA:**

„Izjavljujem da je moj diplomski rad izvorni rezultat mojega rada te da se u izradi istoga nisam koristio drugim izvorima osim onih koji su u njemu navedeni“.

---

Juraj Jovanović

U Zagrebu, 14.Srpnja 2017.

## Sadržaj

Popis slika .....	I
Popis tablica .....	IV
1. Uvod.....	1
1.1. Maksimizacija učina tračnih i kružnih pila .....	1
1.2. Faktor rastresitosti strugotine ( <i>fr</i> ) .....	4
2. Cilj istraživanja .....	7
3. Materijali i metode istraživanja .....	8
3.1. Stroboskopija .....	9
3.1.1. Primjena stroboskopa za određivanje frekvencije vrtnje rotirajućih dijelova stroja .....	10
3.1.2. Izbor stroboskopa za određivanje brzine vrtnje kružne pile u cilju dobivanja stop snimke .....	12
3.2. Kamera .....	13
3.2.1. Objektiv .....	14
3.2.2. Tijelo fotoaparata .....	18
3.2.3. Razlučivost .....	19
3.2.4. Ekspozicija .....	21
3.2.5. Izbor digitalne kamere ili fotoaparata za snimanje stop snimki kružne pile za vrijeme piljenja .....	24
3.3. Opis mjernog lanca .....	25
3.4. Određivanje površine pazušnog prostora zuba.....	27
3.5. Određivanje faktora rastresitosti i faktora ispunjenosti pazušnog prostora lista kružne pile pri piljenju pomoću stroboskopa .....	30
4. Rezultati istraživanja .....	32
5. Zaključak .....	41
Literatura: .....	42
Prilozi: .....	44

## **Popis slika**

Slika 1: Nomogram za određivanje posmične brzine pri radu s tračnim pilama u zadanim uvjetima obrade (Kordun, 1986).....	5
Slika 2: Pritisak koji djeluje tijekom piljenja na strugotinu i primjer hidrostatickog modela istog problema (Csanady, 2011).....	6
Slika 3: Shematski prikaz ideje mjernog lanca.....	9
Slika 4: Primjer uzorkovanja slika pri različitim višekratnicima frekvencije vrtnje (Van-Veen, 1977).....	12
Slika 5: Stroboskop proizvođača Lutron Electronic Enterprise Co., Ltd. model DT-2269 (RS232) koji je odabran za mjerena ( <a href="https://image1ws.indotrading.com/s3/productimages/co22937/p205474/w300-h300/ba679bc4-6aee-4cbd-81ac-0eb3b8482df2w.jpg">https://image1ws.indotrading.com/s3/productimages/co22937/p205474/w300-h300/ba679bc4-6aee-4cbd-81ac-0eb3b8482df2w.jpg</a> ) .....	13
Slika 6: Osnovni dijelovi osobnog fotoaparata ( <a href="https://snezafodora.files.wordpress.com/2011/01/blenda1.jpg">https://snezafodora.files.wordpress.com/2011/01/blenda1.jpg</a> ).....	14
Slika 7: Primjer rasporeda leća unutar objektiva (Osnove Fotografije-foto priručnik za početnike u fotografiji, 2009)) .....	15
Slika 8: Primjer oštchine fotografije s različitim otvorom blende ( <a href="http://blog.wipetheworldsass.com/dslrs-explained-for-virgins/">http://blog.wipetheworldsass.com/dslrs-explained-for-virgins/</a> ).....	16
Slika 9: Primjer otvorenosti blende( <a href="http://www.klubputnika.org/images/foto-uputstva/osnove/otvor-blende.jpg">http://www.klubputnika.org/images/foto-uputstva/osnove/otvor-blende.jpg</a> ).....	16
Slika 10: Shematski prikaz fokusne dužine na primjeru bikonveksne leće (Deković, 2014) .....	17
Slika 11: Razlika vidnog kuta s obzirom na veličinu senzora ( <a href="http://fotografija.hr/images/stories/20090602_-_Objektivi/tree.gif">http://fotografija.hr/images/stories/20090602_-_Objektivi/tree.gif</a> ).....	18
Slika 12: Uvećani prikaz CCD senzora ( <a href="http://cdn.makeuseof.com/wp-content/uploads/2009/10/CCD-closeup.jpg?x59455">http://cdn.makeuseof.com/wp-content/uploads/2009/10/CCD-closeup.jpg?x59455</a> ) .....	19
Slika 13: Ilustracija različitih razlučivost digitalne slike i njihovog utjecaja na kvalitetu slike ( <a href="https://en.wikipedia.org/wiki/Image_resolution#/media/File:Resolution_illustration.png">https://en.wikipedia.org/wiki/Image_resolution#/media/File:Resolution_illustration.png</a> ) .....	20
Slika 14: Snimka nastala snimanjem lista pile osvjetljenog stroboskopom i snimanog s 1000 fps .....	22
Slika 15: Zamućenje slike uslijed predugog trajanja ekspozicije.....	23

Slika 16: Prikaz osnovnih parametara snimanja kamerom u sustavima strojnoga vida (1-razlučivost, 2-vidno polje, 3-radna udaljenost, 4-veličina senzora kamere, 5-dubina vidnog polja, 6-veličina slike, 7-broj piksela, 8-razlučivost piksela.) (National-Instruments, 2000).....	23
Slika 17: Digitalni fotoaparat Sony Cyber-Shot DCS RX100 IV ( <a href="https://www.dpreview.com/files/p/articles/4059075864/images/front.jpeg">https://www.dpreview.com/files/p/articles/4059075864/images/front.jpeg</a> ).....	24
Slika 18: Shematski-tlocrtni prikaz principa mjerena ispunjenosti pazušnog prostora lista kružne pile.....	25
Slika 19:Shematski-nacrtni prikaz principa mjerena ispunjenosti pazušnog prostora lista kružne pile.....	25
Slika 20: Izgled lista pile Leitz 57125-WK 150 4 kakav je korišten za eksperimentalno piljenje ( <a href="https://www.leitz.com.au/catalog/product_info.php?cPath=143_151_17788_17789&amp;products_id=3916&amp;osCsid=vfhaa01m36sf5v3bc3b87fa7f7, 2017">https://www.leitz.com.au/catalog/product_info.php?cPath=143_151_17788_17789&amp;products_id=3916&amp;osCsid=vfhaa01m36sf5v3bc3b87fa7f7, 2017</a> ).....	27
Slika 21: Primjer izračunavanja površine pazušnog prostora na listu pile pomoću milimetarskoga papira, što može poslužiti kao kontrolna metoda za kontrolu očitanja dobivenog računalnom obradom (Goglia, 1994).....	27
Slika 22: Postupak izračunavanja površine pazušnog prostora na listu kružne pile koji je korišten za mjerena pomoću milimetarske skale (papira) .....	28
Slika 23: Određivanje površine pazušnog prostora pomoću AutoCAD-a.....	29
Slika 24: Postupak mjerena projekcije površine strugotine u pazušnom prostoru lista kružne pile pomoću računalnog programa AutoCAD na slici dobivenoj iz filma koji je sniman za vrijeme piljenja na kružnoj pili.....	30
Slika 25: Otežano očitavanje površine rastresite strugotine u pazušnom prostoru lista kružne pile pri izlasku iz zahvata uslijed ne sinkronizirane frekvencije vrtnje lista pile i frekvencije bljeskanja stroboskopa .....	34
Slika 26: Utjecaj razlučivosti piksela na dobivenim snimkama na nesigurnost određivanja površine rastresite strugotine nastale prolaskom zuba kroz zahvat .....	35
Slika 27:Prikaz ograničavanja površine krivuljom na slici pomoću koje je određivana površina rastresite strugotine nastale prolaskom jednog zuba kroz zahvat pri piljenju: a) jelovine, b) borovine, c) hrastovine, d) lipovine, e) trešnjevine .....	36
Slika 28: Graf prosječnih vrijednosti izračunatih na temelju podataka dobivenih mjerjenjima na navedenim vrstama drva: a) faktora rastresitosti; b) posmaka po zubu .....	39

Slika 29: Prikaz ne sinkroniziranog lista pile uslijed kojeg se vide dva prolaza lista unutar jedne ekspozicije ..... 40

## **Popis tablica**

Tablica 1: Točnost Modela DT-2269(RS232) .....	13
Tablica 2: Dimenzije ispitivanih elemenata .....	32
Tablica 3: Dobiveni rezultati mjerena ispunjenosti pazušnog prostora. ....	38

## 1. Uvod

Pri piljenju s tračnim i kružnim pilama pojavljuje se isti problem s prihvatom strugotine nastale rezanjem. Pri izboru prevelikih pomaka uz velike visine rezanja može se pojavit preveliko sabijanje strugotine u pazušni prostor lista pile pa čak i njezino „bježanje“ iz pazušnog prostora. Pri tome se pojavljuje dopunski otpori rezanja, a uz to rastu i naprezanja u samoj pili. Alat se u takvim uvjetima jače zagrijava, toplinski se rasteže i počinje vijugati u propiljku. Zbog toga je vrlo važno poznavati maksimalnu granicu do koje strugotina smije ispuniti pazušni prostor (Goglia, 1994).

### 1.1. MAKSIMIZACIJA UČINA TRAČNIH I KRUŽNIH PILA

Često se pred mehaničku obradu piljenja na tračnim i kružnim pilama kao funkcija kriterija maksimizacije postavlja maksimizacija učina. Kako su tračne i kružne pile u drvnoj industriji još uvijek pretežno strojevi s konstantnom glavnom brzinom rezanja, jednostavno se može pokazati da se učin istih može uglavnom maksimizirati povećanjem brzine posmaka, naravno uz zadana ograničenja. Ograničavajući faktori su: raspoloživa snaga pogonskog motora, zahtijevana kvaliteta bočnih ploha rezanja, zapunjenoost pazušnog prostora strugotinom te ograničenje sustava posmičnog gibanja. U primarnoj obradi, gdje je uglavnom i cilj preraditi što veću količinu materijala u jedinici vremena s manjim naglaskom na zahtijevanu kvalitetu, u praksi se pokazalo da je često ograničavajući faktor koji utječe na maksimizaciju posmične brzine stroja upravo zapunjenoost pazušnog prostora lista pile strugotinom koja nastaje prolaskom jednog zuba kroz zahvat. Rezanje pilom je tipičan primjer zatvorenog reza. Zub koji uđe u zahvat mora primiti u među zublje svu strugotinu nastalu tijekom zahvata. Budući da je obujam pazušnog prostora ograničen, to će i obujam strugotine koji se u taj prostor spremi biti ograničen. Jednostavno se može pokazati da se volumen kompaktne strugotine ( $V_d$ ) koja nastaje obradom, odnosno zahvatom kod tračnih i kružnih pila može odrediti pomoću izraza

$$V_d = s_z \cdot h \cdot b \quad (1)$$

gdje je:  $s_z$  – posmak po zubu pile,  $h$  – visina piljenja i  $b$  – teoretska širina propiljka.

Kako drvo, odnosno piljevina koja nastaje kao rezultat prolaska zuba lista pile kroz zahvat zauzima veći volumen od onog iz kojeg je nastala, kao proračunska vrijednost na temelju koje se određuje zapunjenošt pazušnog prostora lista pile strugotine uzima se tzv. volumen rastresite strugotine koji je nastao prolaskom jednog zuba kroz zahvat ( $V_{sr}$ ) i obično se određuje prema izrazu

$$V_{sr} = V_d \cdot f_r \quad (2)$$

gdje je  $f_r$  – faktor rastresitosti, odnosno veličina koja nam govori koliko je volumen piljevine koja je nastala prolaskom jednog zuba kroz zahvat veći od volumena kompaktne drvne mase iz koje je ta piljevina nastala.

Prema tome faktor rastresitosti se može odrediti prema izrazu

$$f_r = \frac{V_{sr}}{V_d}. \quad (3)$$

Odnos između obujma strugotine koji se smješta u pazušni prostor i obujma pazušnog prostora jest veličina  $f_i$  koja se često naziva faktor zapunjenoosti pazušnog prostora ili faktor ograničenja kapaciteta pazušnog prostora, te vrijedi

$$f_i = \frac{V_{sr}}{V_p} = \frac{V_d \cdot f_r}{V_p} = \frac{s_z \cdot h \cdot b \cdot f_r}{A_p \cdot b}. \quad (4)$$

Budući da se posmak po zubu ( $s_z$ ) može izraziti kao omjer

$$s_z = \frac{\nu_p}{z_s} \quad (5)$$

gdje je:  $\nu_p$  – posmična brzina,  $z_s$  – frekvencija ulaska zubi u zahvat.

Jednostavno se može pokazati da je frekvencija ulaska zubi u zahvat ( $z_s$ ) jednaka

$$z_s = \frac{\nu_r}{t} \quad (6)$$

gdje je:  $\nu_r$  – brzina rezanja, a  $t$  – korak zuba pile.

Raspisivanjem tog izraza za slučaj kružne pile dobije se isti izraz u obliku koji je pogodniji s obzirom na parametre koji su nam lakše određljivi kod kružnih pila i uglavnom se onda frekvencija ulaska zubi u zahvat izračunava kao umnožak

$$z_s = n \cdot z \quad (7)$$

gdje je:  $n$  – frekvencija vrtnje lista pile,  $z$  – broj zubi lista kružne pile.

Uvrštavanjem gornjih izraza u izraz za faktor ispunjenosti neto pazušnog prostora lista pile dolazimo do izraza

$$f_i = \frac{v_p \cdot h \cdot f_r}{A_p \cdot n \cdot z}. \quad (8)$$

Ograničavanjem ispunjenosti pazušnog prostora piljevinom na određenu vrijednost očito se ograničava i posmična brzina. Za zadanu maksimalnu ispunjenost pazuha, iz relacije (8) proizlazi dopuštena brzina pomaka s obzirom na ograničenje zapunjenoosti pazušnog prostora

$$v_p \leq \frac{f_i \cdot n \cdot z \cdot A_p}{h \cdot f_r}. \quad (9)$$

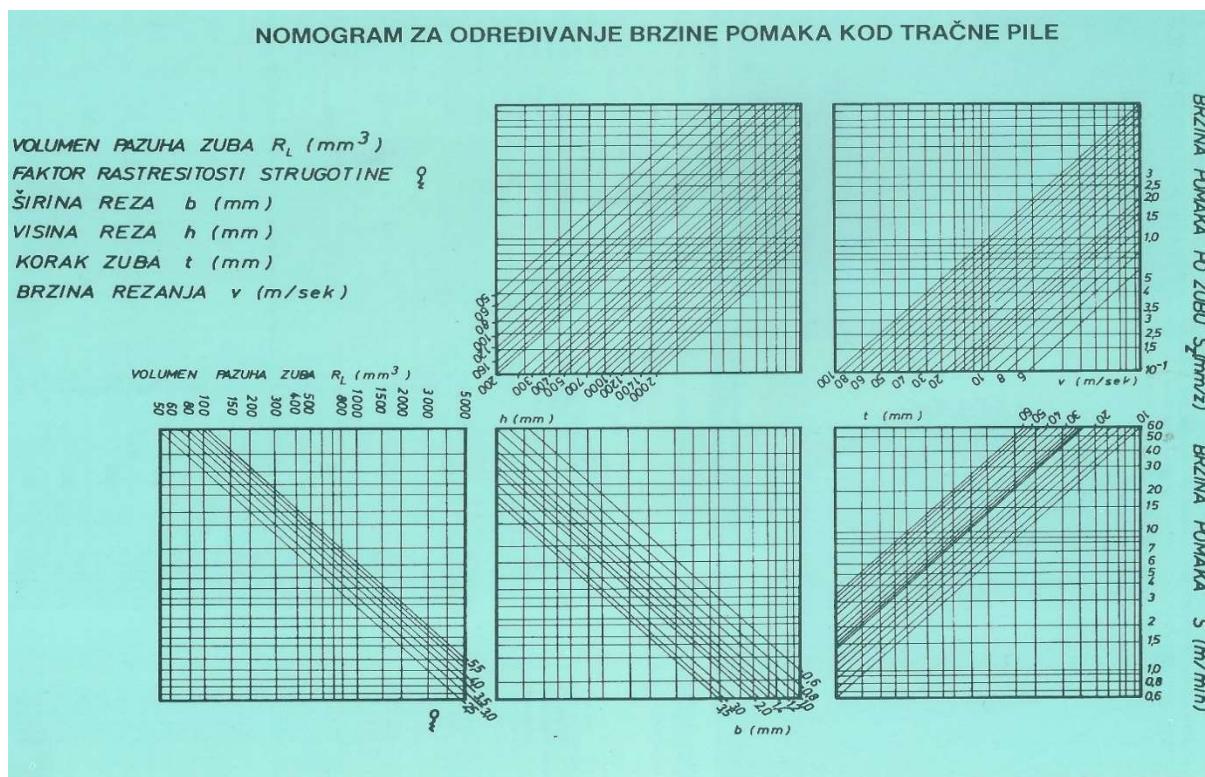
Pri većem iskorištenju kapaciteta pazušnog prostora nego što je onaj koji odredimo na temelju ograničenja posmične brzine s obzirom na maksimalno dozvoljenu zapunjeność pazušnog prostora strugotinom dolazit će do sabijanja strugotine u pazušnom prostoru i ulaženja strugotine u propiljak između lista pile i bočnih ploha obrade. To će izazvati dopunske otpore pri rezanju pa će se alat jače zagrijavati, što će se rezultirati u smanjenju njegove postojanosti. Osim toga na listu pile naljepljavati piljevinu koju će čistaći lista u tom slučaju teže otklanjati. Nailazak lista pile s nalijepljenom strugotinom izaziva dodatne vibracije te se pojavljuje bočno gibanje lista koje smanjuje kvalitetu obrađenih ploha. Nekim istraživanjima (Euklund, 2000) je pokazano i da se s povećanjem faktora ispunjenosti neto pazušnog prostora smanjuje kvaliteta obrade bočne plohe kod piljenja. Za rad s tračnim pilama trupčarama često se preporučuje da maksimalna ispunjenost pazušnog prostora ne bude veća od (70 – 80) % (Goglia, 1994).

## 1.2.FAKTOR RASTRESITOSTI STRUGOTINE ( $f_r$ )

Već i površnom analizom varijabli koje utječu na maksimizaciju posmične brzine s obzirom na ograničenje zapunjenoosti pazušnog prostora piljevinom može se uočiti da je veličina parametara relativno jednostavno odrediva i poznata sa zadovoljavajućom točnošću tijekom obrade drva piljenjem na tračnim i kružnim pilama. Varijabla koja u ove proračune može unijeti (i unosi) znatnu ne sigurnost je upravo faktor rastresitosti strugotine.

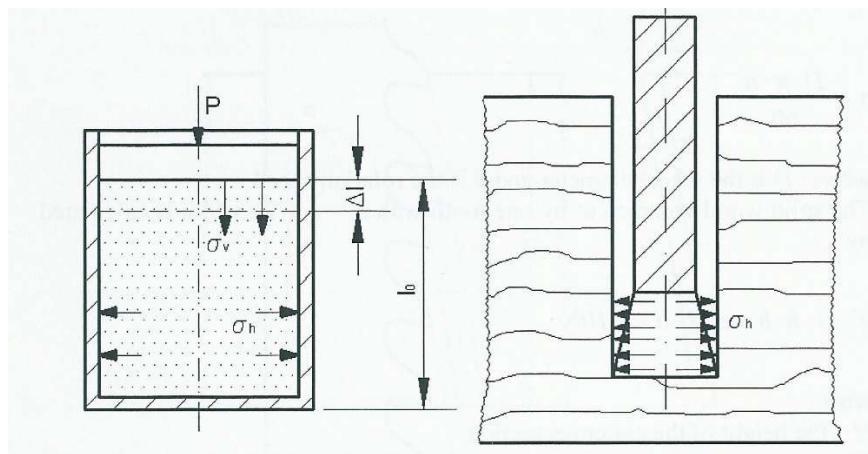
O veličini faktora rastresitosti u literaturi postoji podvojeno mišljenje. Prema nekom istraživanjima volumen drva pretvorenog u piljevinu poveća se 5 – 7 puta. Međutim, jasno je da će se u rezu ova piljevina morati stisnuti. Po mišljenju srednje-europskih autora (Bues i Braunshirn, 1932) volumen piljevine se u pazuhu zuba može smanjiti do  $f_r = 2,5$ , a da ne dođe do ne željenih posljedica. Sovjetski autori (Anikin i sur.) naprotiv tvrde da se s ovim smanjenjem može ići sve do  $f_r = 1$ , t.j. do prvotne gustoće drva, a da se ne pokažu loše posljedice. Ovi su podatci međutim ne provjereni te Cividini i Prister (1949) predlažu da se za naše prilike usvoji vrijednost  $f_r = 2,5 – 3,0$  koja našim uvjetima rada najbolje odgovara (Auferber, 1951).

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 1), ali nigdje ne navodi na koje se vrste drva koja vrijednost i u kojim uvjetima odnosi (Kordun, 1986).



Slika 1: Nomogram za određivanje posmične brzine pri radu s tračnim pilama u zadanim uvjetima obrade (Kordun, 1986)

Rendgenskim je snimkama ustanovljeno da se pazušni prostor nikad ne ispunjava potpuno. Jedan dio između oštice i stražnje plohe prethodnog zuba ostaje uvek ne ispunjen. Taj je dio približno 20 % od raspoložive površine pazušnog prostora. Međutim ispitivanjem (Csanady & Magoss, 2011) je potvrđeno da za kompresiju strugotine od (20 - 25 %) potreban tlak od samo (0,2 – 0,4) bar. Zbog ovoga se, u praksi često može teoretski dobivena vrijednost brzine posmaka povećati čak do 25 %. Mechanizam tlačenja strugotine i razvoj bočnih tlakova u pazušnom prostoru lista pile prikazan je na slici 2. Koeficijent lateralnog tlaka se mijenja između 0,25 – 0,35 u statičkoj strugotini. Zbog dinamike strugotine u pazušnom prostoru očekuju se da vrijednosti otpora budu veće nego u statičnom slučaju. Dok kod prepunjivanja pazušnog prostora strugotinom, dolazi do povećanja bočnog tlaka koji potom vodi do stvaranja velike sile trenja, a stvorena toplina povećava temperaturu list pile zajedno s obratkom. Zaključno svemu snaga rezanja se također povećava (Csanady & Magoss, 2011).



Slika 2: Pritisak koji djeluje tijekom piljenja na strugotinu i primjer hidrostatičkog modela istog problema (Csanady, 2011)

Kao što se može vidjeti, vrijednosti za faktor rastresitosti na temelju kojih bi se trebalo proračunavati, odnosno često maksimizirati učin tračnih i kružnih pila u primarnoj preradi, bitno se razlikuje između dostupnih izvora, te sukladno tome i proračunate vrijednosti maksimalne posmične brzine u promatranim uvjetima piljenja se mogu značajno razlikovati, što u konačnici ima direktni utjecaj na učin stroja, a time i na ekonomsku iskoristivost piljenja u danom stroju. Nadalje, nигде u literaturi nije pronađen detaljan mjerni postupak na temelju kojeg su određivani podaci za preporučene vrijednosti faktora rastresitosti.

## 2. Cilj istraživanja

Sukladno svemu prethodno izloženom kao cilj ovog rada postavljeno je određivanje odgovarajuće mjerne metode kojom bi se na što jednostavniji i jeftiniji način mogao u praksi mjeriti faktor rastresitosti pri piljenju na tračnim i kružnim pilama, a u cilju dobivanja relevantnih podataka koji bi onda mogli poslužiti za predviđanje i maksimizaciju učina danih strojeva u industrijskim pogonima. Kao što se pokazalo postoji potreba za određivanje stvarnog faktora rastresitosti u praksi s obzirom da u proučenoj literaturi nisu dostupni vjerodostojni podatci. Na ovaj rad potakla nas je razlika u podacima u literaturi, koji se kod pojedinih autora značajno razlikuju. Te razlike mogu utjecati na kvalitetu piljenja i iskorištenja kapaciteta u konačnoj proizvodnji. U dalnjem radu predložena je metoda kojom se na vrlo jednostavan način može ispitati ispunjenost pazušnog prostora koji je jedan od ograničavajućih faktora maksimizacije učina na postojećim pilama u primarnoj obradi drva.

### 3. Materijali i metode istraživanja

Za određivanje ispunjenosti pazušnog prostora kao jedna od metoda može se iskoristiti stroboskopiranje. 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 kamere za snimanje, kako bi se postigao željeni učinak. Samo kad uzmem u obzir frekvenciju ulaska (izlaska) zubi u zahvat ( $z_s$ ) možemo predočiti u kojem kratkom vremenu se sve to događa. Već i jednostavnom analizom možemo vidjeti da za neki tipični slučaj piljenja masivnog drva na kružnoj pili s frekvencijom vrtnje lista pile od  $n=3800 \text{ min}^{-1}$  s listom pile promjera  $D = 300 \text{ mm}$  koji ima 28 zubi imamo frekvenciju ulaska zubi u zahvat

$$z_s = n \cdot z = 3800 \cdot 28 = 106\,400 \text{ min}^{-1}.$$

Prema tome vrijeme koje je potrebno da svaki sljedeći Zub uđe u zahvat, odnosno izade iz zahvata jednako je  $1/1773 \text{ s} = 0,000564 \text{ s} = 0,56 \text{ ms}$ . Znači da bi vrh zuba alata u tom vremenu prešao put koji je jednak koraku zuba i koji za navedeni list pile iznosi

$$t = \frac{D \cdot \pi}{z} = \frac{300 \cdot \pi}{28} = 33,7 \text{ mm}.$$

Ako postavimo zahtjev da želimo promatrati list pile pri izlasku iz zahvata na putu koji je jednak dvostrukom koraku ozubljenja, tada je vrijeme koje je potrebno da jedan Zub prođe taj put u ovom slučaju jednako

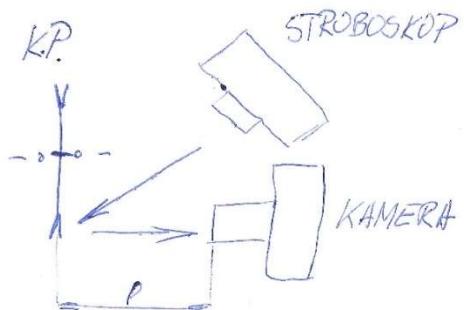
$$(0,56 \cdot 2) \text{ ms} = 1,12 \text{ ms}.$$

Ako bi htjeli promatrati svaki pojedini Zub kako izlazi iz zahvata i da dobijemo barem tri slike (*frame-a*) na duljini puta koja nam je od interesa, tada bi nam *frame rate* na kameri minimalno trebao iznositi

$$\frac{1000}{1,12/3 \text{ s}} = \frac{1000}{0,37 \text{ s}} = 2702 \text{ fps}.$$

Zaključujemo, kada bi išli mjeriti ispunjenost pazušnog prostora na svakom zubu u zahvatu uzimajući u obzir da su brzina rezanja i pomaka konstantne trebali bi profesionalne brze „*high speed*“ kamere. Teško da bi tako skupa tehnologija našla svoje mjesto primjene u komercijalnoj uporabi, zbog izrazito visokih investicijskih davanja (cijene), a i mjernih uvjeta koji moraju biti ispunjeni (jako osvjetljenje i dr.). Stoga smo željeli osmislti prihvatljiviji način kako bi ovu metodu učinili pristupačniju svima. Krenuli smo od pretpostavke, ako je svaki zub u zahvatu jednako opterećen pri konstantnoj posmičnoj brzini onda bi mogli dobiti ispunjenost pazušnog prostora promatrujući bilo koji zub za vrijeme jednog okretaja lista pile što drastično smanjuje frekvenciju uzorkovanja, ali sa zadovoljavajućom točnošću određivanja faktora ispunjenosti. Isto tako frekvencija okidanja stroboskopa ne mora, ali i može biti jednaka frekvenciji vrtnje lista pile, bitno je samo da je ta frekvencija višekratnik frekvencije vrtnje alata. To nam omogućuje korištenje jednostavnije i jeftinije opreme koja je lako dobavljava.

Mjerni lanac (Slika 3) koji se stoga može predložiti sastoji se od digitalne kamere ili fotoaparata s mogućnošću snimanja videa, stroboskopa i odgovarajućeg stroja, a u našem slučaju kružne pile.



Slika 3: Shematski prikaz ideje mjernog lanca

### 3.1. STROBOSKOPIJA

Stroboskopi su uređaji za promatranje predmeta u brzom periodičnom gibanju stvaranjem optičke iluzije zaustavljenog ili usporenog predmeta, a oslanja se na tromost ljudskog oka kako bi se postigao željeni učinak. Osim za promatranje predmeta u brzom gibanju stroboskopi se primjenjuju na mnoge raznovrsne načine: od ispitivanja

strojeva, mjerena linearne brzine do baždarenja brzine zatvarača fotografskog aparata (Vrcan, Lovrin, & Gregov, 2009).

Zbog tromosti ljudskog oka niz prikazanih slika daje privid kontinuirana kretanja prilikom projekcije slike. Zatvarač filmske kamere može stvoriti stroboskopski efekt u sinkronizaciji s periodičnim gibanjem. U našem primjeru pri promatranju lista pile koji se vrti frekvencijom  $63 \text{ s}^{-1}$  kroz zatvarač kamere koji radi na frekvenciji od  $63 \text{ s}^{-1}$ , ili ako ga osvjetljavamo svjetлом u vremenskim razmacima  $1/63 \text{ s}^{-1}$  disk će se prividno nalaziti u istom položaju u svakom trenutku vidljivosti, pa će se činiti kao da je zaustavljen. Povećanjem brzine zatvarača na  $64 \text{ s}^{-1}$  svaki trenutak vidljivosti događa se  $1/64$  sekunde ranije, no disk još uvijek radi puni krug za  $1/63$  sekunde. Disk se tako vidi u nešto ranijem dijelu svojega kretanja, što stvara iluziju polagana kretanja kotača unatrag. Usporavanjem zatvarača na  $62 \text{ s}^{-1}$  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 osvijetljen 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 (Van-Veen, 1977).

### *3.1.1. Primjena stroboskopa za određivanje frekvencije vrtnje rotirajućih dijelova stroja*

Princip stroboskopa sastoji se u tome da se predmet koji je u pokretu ili koji rotira osvjetjava kratkim osvjetljenjima, po mogućnosti jakim bljeskovima, kojima se može po želji regulirati frekvencija. Frekvencija se može podešavati u vrlo širokom rasponu od oko nekoliko Hz pa sve do nekoliko tisuća Hz. Frekvenciju diktira poseban titrajni krug. No ona se može također sinkronizirati s promatranom pojmom, npr. s tahometrom koji je pričvršćen na osovinu ispitivanog stroja. Tako dobivamo naponske signale potpuno određene frekvencije u sinkronizaciji sa stroboskopom.

Jedna od osnovnih karakteristika stroboskopa je maksimalni broj bljeskova u jedinici vremena koje stroboskop može generirati. O tom podatku ovisi maksimalna frekvencija promatrane pojave koju želimo promatrati, odnosno maksimalna frekvencija vrtnje koju možemo mjeriti, iako postoje metode koje omogućuju određivanje i viših frekvencija vrtnje od nazivne.

Na primjer ako se alat rotira, sa  $3600 \text{ min}^{-1}$ , stroboskop će proizvoditi naponski inducirane svjetlosne bljeskove koji mogu biti višekratnici ( $1/2, 1/3, 1/4, \dots, 1/n$ ) od 3600 (Slika 4). Za mjerenje brzina izvan graničnih raspona stroboskopa, ti višekratnici se nalaze i koriste se za uspostavljanje harmonijske serije i time stvarne brzine objekta. Ovdje želimo spomenuti dva važna razmatranja: Prvo, pojam "stop snimke" označava sliku koja odgovara izgledu objekta kada stoji na mjestu. Ako objekt ima više značajki, imati će i „stopslika“. Drugo, ako je objekt izgledom simetričan, nemoguće je razlikovati integralni višekratnik od drugih višekratnika. Dakle, zahtijeva se uvođenje nekih asimetričnih svojstava za lakše određivanje frekvencije vrtnje. Postupak za izradu mjerenja brzine izvan raspona stroboskopa je slijedeći: korisnik postavlja stroboskop na maksimalnu brzinu treperenja i polako smanjuje brzinu dok se ne dobije jedna stacionarna „stopslika“. Ovo podešavanje broja okretaja je zabilježeno kao jedan višekratnik. Zatim se frekvencija dodatno smanjuje do sljedećeg višekratnika gdje se pojavljuje stopslika, te se on također zabilježi. Na ovaj način se mogu pronaći i drugi višekratnici (Van-Veen, 1977). Formula za izračunavanje osnovne brzine vrtnje iz dva uspješno određena višekratnika broja okretaja

$$n = \frac{Y}{X - Y} \quad (10)$$

Te zaokružimo vrijednost  $n$  na najbliži cijeli broj. Potom možemo izračunati frekvenciju vrtnje ( $v$ ) pomoću izraza

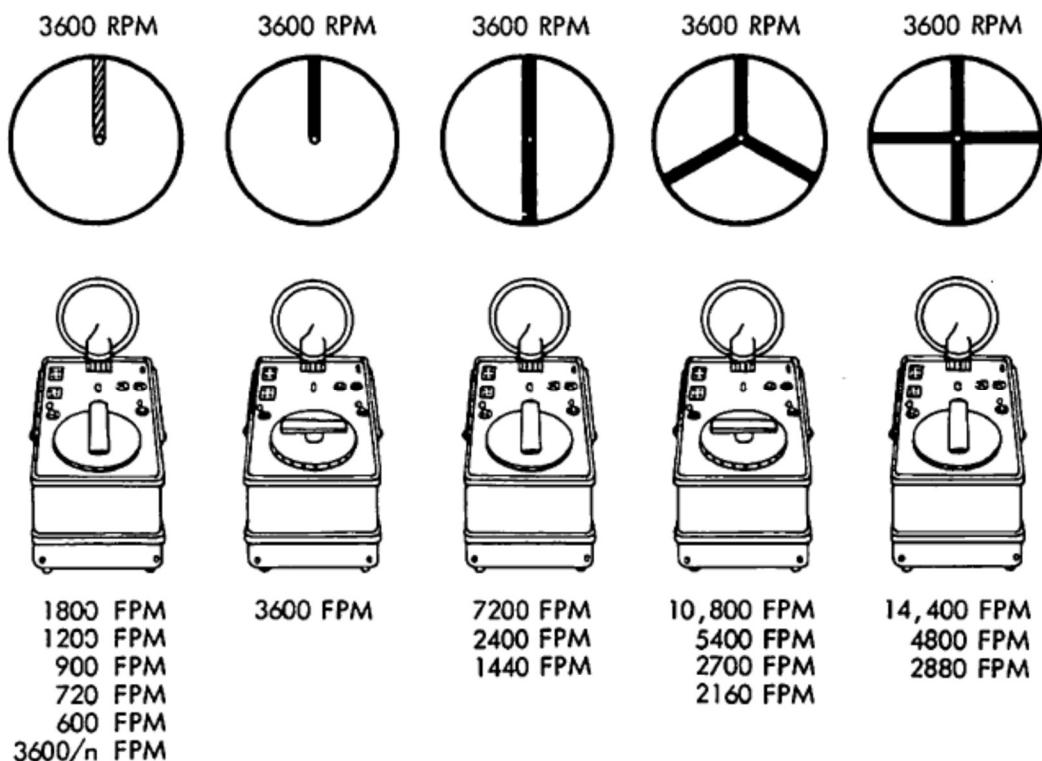
$$v = n \cdot X \quad (11)$$

Za primjer gdje je:  $X=22\,500$  i  $Y = 16\,800$

$$n = \frac{16800}{22500} = 2,95 \approx 3$$

Frekvencija vrtnje je:

$$v = 3 \cdot 22500 = 67\,500 \text{ min}^{-1}$$



Slika 4: Primjer uzorkovanja slika pri različitim višekratnicima frekvencije vrtnje (Van-Veen, 1977)

### 3.1.2. Izbor stroboskopa za određivanje brzine vrtnje kružne pile u cilju dobivanja stop snimke

Na temelju prethodno iznesenog možemo vidjeti da bi za potrebe snimanja zapunjenošti pazušnog prostora lista pile trebalo odabrat adekvatan stroboskop koji po mogućnosti ima veći nazivni broj bljeskova u jednoj minuti od frekvencije vrtnje alata. Ukoliko bi ta veličina bila manja od frekvencije vrtnje alata moglo bi se isto dobiti stop snimku, ali onda ne bi uhvatili uvijek isti Zub pri svakom okretaju, već više njih, što bi ovisilo o višekratniku osnovne frekvencije vrtnje kojom se okida stroboskop. Analizom stanja na tržištu ustanovljeno je da za potrebe mjerjenja koja se očekuju u analizi navedenog problema ima velik broj modela stroboskopa koji zadovoljavaju navedena ograničenja, a cijenom su prihvatljivi. Analizom karakteristika i jednostavnosću nabave na našem tržištu odabran je stroboskop proizvođača Lutron Electronic Enterprise Co., Ltd. model: DT-2269 (RS232)(Slika 5) slijedećih karakteristika (<http://www.sunwe.com.tw/lutron/DT-2269.PDF>, 2017):

- Vrsta žarulje: Xenon

- Broj bljeskova (FPM): (5 - 12 500) min<sup>-1</sup>
- Frekvencija: 0,083 – 175 Hz
- Točnost: prikazana u tablici (1).

Tablica 1: Točnost Modela DT-2269(RS232)

RAZRED	FPM	Točnost
1	< 1000	±(0,15 % + 0,2 FPM)
2	1000 – 3300	± (0,5% + 1 FPM)
3	3301 – 12500	± ( 1 % maksimalnog broja bljeskova)



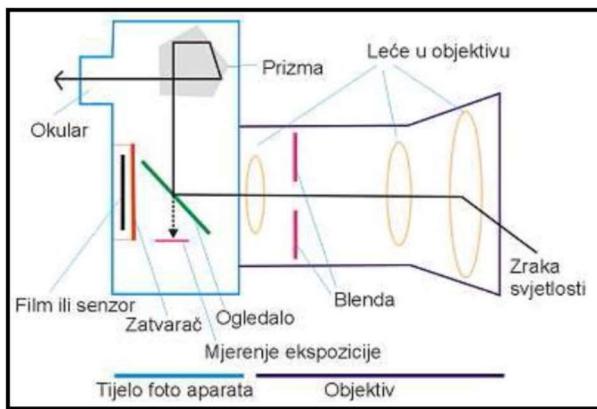
Slika 5: Stroboskop proizvođača Lutron Electronic Enterprise Co., Ltd. model DT-2269 (RS232) koji je odabran za mjerenja (<https://image1ws.indotrading.com/s3/productimages/co22937/p205474/w300-h300/ba679bc4-6aee-4cbd-81ac-0eb3b8482df2w.jpg>)

### 3.2.KAMERA

Fotografija je tehnika digitalnog ili kemijskog zapisivanja prizora iz stvarnosti na sloju materijala koji je osjetljiv na svjetlost koja na njega pada. (Fotografija, <https://hr.wikipedia.org/wiki/Fotografija>, 2017)

U digitalnoj se fotografiji umjesto filma koristi svjetlosni senzor (čip) i električna energija. Digitalni fotoaparati stoga ne mogu raditi bez izvora električne energije (baterije).

Fotoaparat se sastoji se od objektiva i tijela koje se postavlja na platformu tj. na nosač fotoaparata. Fotoaparat nazivamo još i optičkim senzorom (Slika 6).

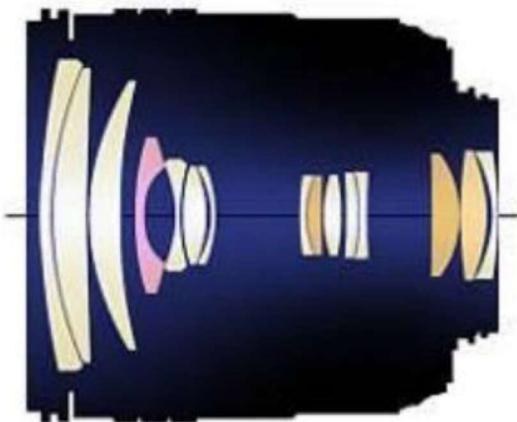


Slika 6: Osnovni dijelovi osobnog fotoaparata (<https://snezafodora.files.wordpress.com/2011/01/blenda1.jpg>)

### 3.2.1. Objektiv

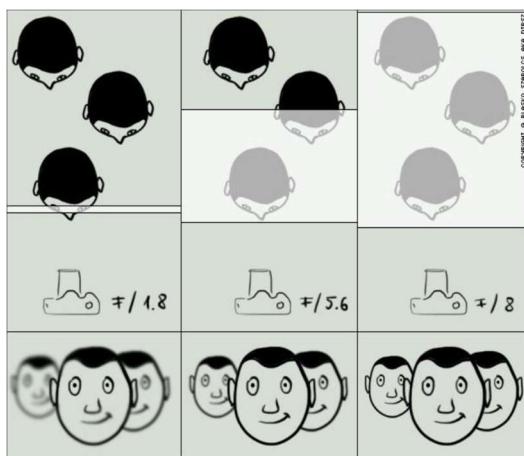
Objektiv je „oko“ fotoaparata, optički instrument zadužen za sabiranje ili prikupljanje svjetla na svjetlosni senzor smješten u tijelo fotoaparata. Električni fokus znači da objektiv u sebi ima ugrađen motor koji prema uputama iz tijela fotoaparata pokreće staklene leće u objektivu i automatski fokusira (izoštrava) sliku koja se projicira na svjetlosni senzor. U tijelu fotoaparata između pentaprizme i zrcala nalazi se uređaj za fokusiranje. Računalo u tijelu u određenim točkama buduće fotografije pokušava pokretanjem motora za fokusiranje u objektivu napraviti čim kontrastniju sliku. Taj motor okreće prsten za fokusiranje u objektivu u jednu ili drugu stranu. Kad je fokus tj. oštrina postignuta, motor auto-fokusa se zaustavlja. U uvjetima slabijeg osvjetljenja auto fokus se ne može ili se teško fokusira te tako zamučuje sliku. Neki proizvođači su tome doskočili tako da su ponudili AF(*autofocus*) „*assist lamp*“ koje koriste klasično svjetlo ili infracrveno svjetlo. Naravno da su sve to zamjene koji samo donekle kompenziraju nedostatak pravog svjetla. U našem konkretnom primjeru možemo ustvrditi kako je poželjno isključiti odnosno onesposobiti autofokus pošto se snima u uvjetima lošijeg osvjetljenja te bi to utjecalo na stalnu fokusiranost i zamučenje slike uslijed lebdećih čestica. Ako uvijek mjerimo na istoj udaljenosti te nas samo zanima izlazak zubi iz zahvata nije potrebno dodatno namještati fokus.

Unutrašnjost svakog objektiva (Slika 7) sastoji se od tri osnovna dijela: skupine leća, motora za fokusiranje i blende. Leće su najvažniji dio svakog objektiva. To su posebno brušena okrugla stakla koja imaju zadatak jasnije i preciznije slike. Sve leće imaju zakriviljenu (sfernu) površinu. Takvu je površinu vrlo teško izbrusiti pa su zbog toga leće skupe. Za kvalitetnu sliku načinjenu fotoaparatom nije dovoljna jedna leća (kao recimo za naočale) pa svaki objektiv ima više leća (neki i dvadesetak). Osim što su izrađene od posebnih optičkih stakala ili posebnih minerala, leće na svojim površinama imaju i posebne kemijske premaze koji služe za bolji prolazak svjetlosti. Premazi leća su osjetljivi na dodir i masne otiske prstiju (mogu se izgrebatи ili oštetiti) pa se zbog toga leće objektiva ne smiju dirati prstima ili čistiti grubim krpicama.



Slika 7: Primjer rasporeda leća unutar objektiva (Osnove Fotografije-foto priručnik za početnike u fotografiji, 2009))

Treći važan dio objektiva je blenda. Ona predstavlja otvor objektiva. Sastoji se od tankih metalnih listića koji se uz pomoć malenog motora otvaraju i zatvaraju u veći ili manji krug. Blendom kontroliramo količinu svjetlosti koju propuštamo kroz objektiv ali i kut pod kojim svjetlost iz objektiva pada na svjetlosni senzor. Kada je blenda otvorena dolazi više svjetla pod širim kutom, a kada je pritvorena dolazi manje svjetla pod užim (oštrijim) kutom. Blendom kontroliramo količinu oštirine na fotografiji (Slika 8). Ako želimo u potpunosti oštru fotografiju pritvorit ćemo blendu, a ako želimo oštar samo maleni dio na fotografiji otvorit ćemo blendu.



Slika 8: Primjer oštine fotografije s različitim otvorom blende (<http://blog.wipetheworldsass.com/dslrs-explained-for-virgins/>)

Blenda funkcioniра на principu ljudskog oka točnije na principu zjenice. Zjenica primarno služi za kontrolu količine svjetlosti koja ulazi u unutrašnji dio oka te se ovisno o izloženosti svjetlu sužava i širi. Prilikom fotografiranja tijekom sunčanog dana kada je izloženost svjetlosti velika blenda je poput zjenice maksimalno sužena, dok je po noći prilikom izlaganja minimalnoj svjetlosti maksimalno otvorena. Ljudsko oko ne može značajno kontrolirati koliko će dugo trajati ekspozicija objekta promatranja dok digitalni fotoaparati to mogu. Pri statičkom fotografiranju ekspozicije mogu trajati i po nekoliko minuta. Za to vrijeme senzor prikuplja informacije o minimalno osvijetljenom objektu. Također ekspozicija može trajati jako kratko primjer 1/10000 dijela sekunde što se koristi za dinamičko fotografiranje objekata u kretanju ili fotografiranje statičnih predmeta iz kretanja.. Da bi se postigla jako kratka ekspozicija potrebno je da na senzor dođe što više svjetlosti što se postiže većim otvorom blende (Slika 9) (Pekar, 2016).



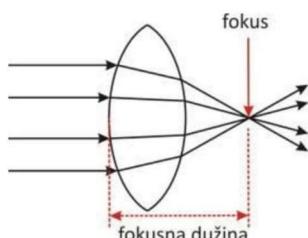
Slika 9: Primjer otvorenosti blende(<http://www.klubputnika.org/images/foto-uputstva/osnove/otvor-blende.jpg>)

Ponekad jednostavno vanjska svjetlost nije dovoljna kratku ekspoziciju. Kako bi dobili izoštrenu fotografiju možemo upotrijebiti stabilizirajuću platformu za stabiliziranje cijelog fotoaparata ili samo manjeg važnog dijela. Povećanjem ISO osjetljivosti moguće je smanjiti dužinu ekspozicije.

Brojčana oznaka otvorenosti blende je zapravo odnos između fokusne dužine i otvora blende. Pa tako za oznaku blende  $f / 2$  za objektiv fokusne dužine od 200 mm blenda je otvorena 100 mm, a za objektiv od 50 mm blenda je otvorena tek 25 mm. Isto tako za  $f / 22$  za objektiv od 200 mm blenda je otvorena približno 9 mm, a za objektiv od 50 mm blenda je otvorena približno 2,27 mm (Osnove Fotografije-foto priručnik za početnike u fotografiji, 2009).

Fokusna dužina (žarišna duljina) objektiva označena je velikim brojevima na vanjskom dijelu objektiva. Zum-objektivi imaju više fokusnih dužina (npr. 18 - 55 mm, 17 - 40 mm, 70 - 200 mm, 100 - 400 mm), a fiksni objektivi samo jednu fokusnu dužinu (npr. 16 mm, 50 mm, 85 mm, 500 mm).

Fokusna dužina objektiva označava udaljenost optičkog središta objektiva do mesta u kojem se skupljaju sve zrake svjetlosti (Slika 10) (Osnove Fotografije-foto priručnik za početnike u fotografiji, 2009).



Slika 10: Shematski prikaz fokusne dužine na primjeru bikonveksne leće (Deković, 2014)

Odnos između udaljenosti snimanog objekta, udaljenosti dobivene slike i fokusne duljine dan je izrazom (Wolfram, 1995):

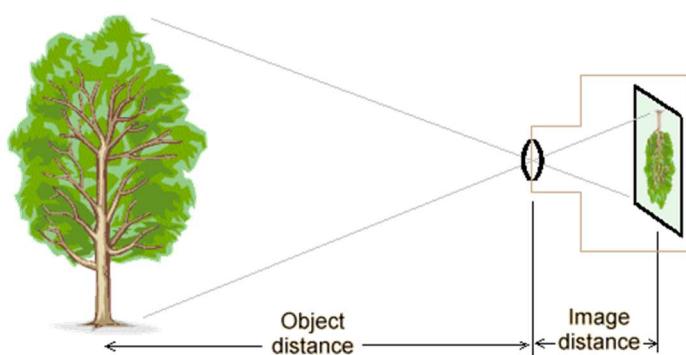
$$\frac{1}{s_o} + \frac{1}{s_i} = \frac{1}{f} \quad (11).$$

gdje je  $s_o$  – udaljenost objekta,  $s_i$  – udaljenost slike,  $f$  – fokusna duljina.

Za fotografije je od same fokusne dužine važniji vidni kut objektiva koji zatvara. Fokusnu su dužinu zadržali radi lakšeg snalaženja među različitim objektivima (Slika

11). Objektiv s kraćom fokusnom dužinom uhvatit će sliku u širem kutu, a objektiv s većom fokusnom dužinom u užem kutu. Zato se objektivi dijele na širokokutne, normalne i teleobjektive (usko kutne objektive) (Osnove Fotografije-foto priručnik za početnike u fotografiji, 2009).

Fokusna dužina i vidni kut objektiva su usko vezani trigonometrijom. Treća varijabla je veličina senzora, pa tako ako je senzor fotoaparata veći, a fokusna dužina ista onda je i vidni kut veći.



Slika 11: Razlika vidnog kuta s obzirom na veličinu senzora ([http://fotografija.hr/images/stories/20090602-\\_Objektivi/tree.gif](http://fotografija.hr/images/stories/20090602-_Objektivi/tree.gif))

Slika prikazuje odnos između veličina senzora i vidnog kuta. Što je senzor manji, manji je i vidni kut. Prema tome kako mali senzor stvara jako mali vidni kut što bi značilo da je predmet promatranja super zumiran. To je istina, ali mali senzor ima ograničenja. Manja površina senzora u istim uvjetima prima manje svjetlosti u odnosu na veći senzor, a to znači da do manjeg senzora dopire manje informacija (Osnove Fotografije-foto priručnik za početnike u fotografiji, 2009).

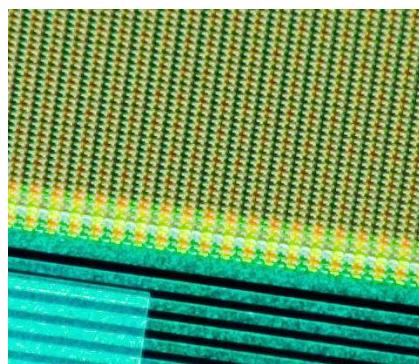
### 3.2.2. Tijelo fotoaparata

Tijelo digitalnog fotoaparata sastoje se od više dijelova. Nije potrebno spominjati sve, već samo one najvažnije. Kod profesionalnih fotoaparata u tijelu se nalazi: osjetilni senzor (digitalni čip), procesor za obradu slika i upravljanje fotoaparatom, baterija kao izvor napajanja, servomotori za upravljanje stabilizacije slike ili za izoštravanje, ogledalo za usmjerenje svjetlosti, zatvarač („zaštitnik“ senzora), memorija za pohranjivanje slika, itd. (Pekar, 2016).

### 3.2.3. Razlučivost

Razlučivost je najmanja veličina značajki na našem objektu koju sustav slike može razlikovati. Razlučivost piksela je minimalni broj piksela potrebnih za prikaz objekta koji promatramo, snimamo.

Postoje dvije vrste digitalnih svjetlosnih senzora: CCD (eng. *Charge Coupled Device*) i CMOS (eng. *Complementary Metal Oxide Semiconductor*). CCD svjetlosni senzori (Slika 12) prenose svaki piksel na procesor što zahtjeva više vremena i energije za obradu slike. Budući da je svaki piksel posvećen hvatanju svjetla CCD senzori imaju visoku izlaznu jednolikost koja rezultira čistijim, kvalitetnijim slikama. Mehanizam funkciranja i rada je ono po čemu se svjetlosni senzori razlikuju, međutim principi ostaju isti. Za razliku od CCD senzora CMOS senzori imaju sklopove na razini piksela. To znači da se svaki piksel na senzoru čita i prenosi istodobno, pripremajući napon za čip. Čip zatim koristi dodatnu tehnologiju, kao što su pojačala, korekcija buke i digitalizacija za pretvaranje napona u digitalne podatke. To znači da CMOS senzori mogu brže pretvarati vizualne podatke u digitalne podatke od CCD-a. Oni zahtijevaju manje energije čime se čuva životni vijek baterije. Međutim dodatna tehnologija na senzoru „gužva“ piksele, ograničavajući njihovu sposobnost hvatanja svjetlosti što rezultira općenito lošijom vizualnom jasnoćom na konačnoj slici.

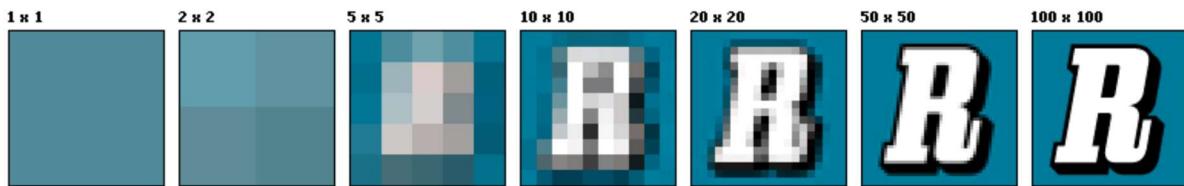


Slika 12: Uvećani prikaz CCD senzora (<http://cdn.makeuseof.com/wp-content/uploads/2009/10/CCD-closeup.jpg?x59455>)

OštRNA digitalnog snimka zavisi od kvalitete objektiva, preciznosti automatičke za izoštravanje, veličine relativnog otvora i razlučivosti CCD/CMOS zaslona. Osim broja kvadratiča na koje se slika razlaže, na kvalitetu velikih povećanja znatnog utjecaja ima i ugrađeni softver za obradu digitaliziranih podataka, jer u značajnoj mjeri može korigirati nepravilnosti uočljive na velikim povećanjima.

Današnji visoko profesionalni fotoaparati imaju, ovisno o proizvođaču, veličinu senzora između 35 i 36 mm. Kao referentna veličina senzora uzima se 36 x 24 mm prema 35 mm filmskim vrpcama i naziva se „*Full frame*“ (eng. *Full frame* - puni okvir).

Kvaliteta fotografije ovisi o broju piksela koje sama fotografija sadrži. Piksela (eng. *PIX (picture) Element - Piksela*) je najmanji element na ekranu ili nekoj bitmapi slike koji sadrži plavi, crveni i zeleni podpiksela (eng. subpixel). Piksela se može definirati i kao boja. Digitalni senzori se mjeru po broju vodoravnih i uspravnih piksela i njihova kombinacija određuje rezoluciju digitalnog fotoaparata, kamere, pa tako npr. razlučivost od 800x600 ima 800 vodoravnih piksela i 600 uspravnih piksela. *Full frame* senzori obično imaju rezoluciju od 24 MP (6000 x 4000 piksela), a može biti i puno veća. Što je veća razlučivost to su detalji na fotografiji veći (Slika 13).



Slika 13: Ilustracija različitih razlučivosti digitalne slike i njihovog utjecaja na kvalitetu slike  
([https://en.wikipedia.org/wiki/Image\\_resolution#/media/File:Resolution\\_illustration.png](https://en.wikipedia.org/wiki/Image_resolution#/media/File:Resolution_illustration.png))

Konkretno u našem primjeru nas interesira prostorna razlučivost (eng. *Spatial Resolution*). Prostorna razlučivost je broj piksela na slici, u smislu broja redaka i stupaca. Slika sastavljena od  $m$  stupaca i  $n$  redaka ima razlučivost od:

$$\text{Razlučivost} = m \cdot n$$

te takva slika ima  $m$  piksela duž svoje horizontalne osi i  $n$  piksela uzduž svoje vertikalne osi.

Bitan parametar je dakako broj pixela na koje je slika razložena. Razlučivost aparata iskazuje se u megapixelima (MP), dakle u milionima pixela. Iza 2006. godine su se i u jeftinije aparate ugrađivali CCD zasloni koji razdvajaju (5 – 7) MP, a krajem desetljeća se (10 – 12) MP ustalilo kao granica preko koje je besmisleno, pa čak i nepoželjno ići. Jedino kod profesionalnih SLR aparata smislena je ugradnja senzora s petnaestak megapixela, ponajviše zbog omogućavanja korištenja jakog izreza ili izrade jumbo-plakata. To dakako ima smisla samo uz visokokvalitetan objektiv odgovarajuće oštirine crtanja. Ima međutim smisla birati po dimenzijama veći CCD čip, jer je vjerojatno da

veći čipovi daju bolje slike (<http://electronics.howstuffworks.com/cameras-photography/digital/question362.htm>, 2014).

Pretjerano visoka razlučivost ničemu ne koristi, a uzrokuje drastično povećanje memorijskog kapaciteta slike (Committee, 2005).

### *3.2.4. Ekspozicija*

Vrijeme izloženosti CCD zaslona svjetlu, odnosno vrijeme otvorenosti zatvarača kamere se naziva ekspozicija. Za postizanje ispravnog doziranja količine svjetla potrebnog za preobrazbu fotoosjetljivog sastojka u klasičnom filmu, odnosno za korektnu digitalizaciju slike na CCD zaslonu, kombinira se svjetlina slike i trajanje izloženosti foto-osjetljivog prijemnika svjetlu. Nedovoljna količina svjetla rezultirat će tamnom, podeksponiranim slikom, a prekomjerna preeksponiranim (preosvetljenim, u žargonu "pregorjelim") snimkom.

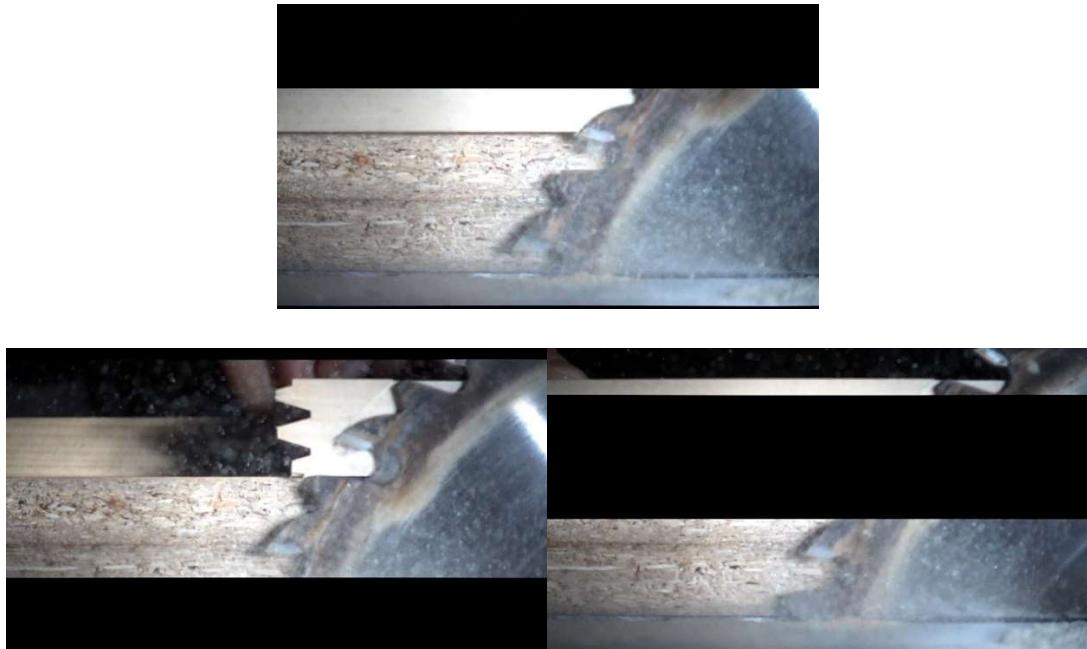
Trajanje ispravne ekspozicije zavisi o općoj osvijetljenosti objekta, osvijetljenosti područja u dubokoj sjeni (dakle o kontrastu motiva), vrijednosti relativnog otvora objektiva, karakteristikama snimane površine (svijetla, tamna, mat, sjajna, reflektirajuća, upijajuća), i osjetljivosti prijemnika svjetla (senzora u digitalnom fotoaparatu ili kameri), koju zbog naviknutosti na ranije korištene jedinice i kod digitalnih kamera nazivamo osjetljivošću filma.

Vrijednosti trajanja ekspozicije kreću se u ekstremnim slučajevima u ogromnom rasponu od kojih pola sata do ispod 1/1000 sekunde. U našem slučaju prvenstveno zbog moguće zamućenosti slike, pošto imamo brzo krećući objekt, a ujedno zbog slabijeg osvjetljenja nije moguće smanjiti vrijeme ekspozicije. Preduga ekspozicija u našem slučaju omogućuje preklapanje više zubaca na pili te tako unosi određenu mjernu nesigurnost. Objektivima normalne žarišne duljine (kut obuhvata cca 50 stupnjeva) moguće je snimati "iz ruke" s ekspozicijama do 1/60, (eventualno 1/30 sekunde za manje zahtjevne snimke).

Kod video kamera (camcordera) nisu primjenjive duže ekspozicije zbog neophodnog standardnog broja (25) sličica u sekundi koji osigurava reprodukciju pokreta bez "poskakivanja". Stoga video kamere u pravilu imaju svjetlosno jače objektive od fotoaparata (veće maksimalne otvore objektiva). Ponekad to ide na uštrb oštchine, koja

kod pokretne slike nije toliko kritična kao kod fotografija za velika povećanja (plakate, postere, znanstvene, satelitske i sl. snimke).

Kada se takav fotografski aparat usmjeri prema stroboskopu koji bljeska velikom brzinom ili prema rotirajućem objektu koji je osvjetljen tim stroboskopom na filmu će se vidjeti vertikalne trake progresivno tamnijih i svjetlijih područja u skladu s bljeskovima pri kretanju zatvarača (Slika 14).



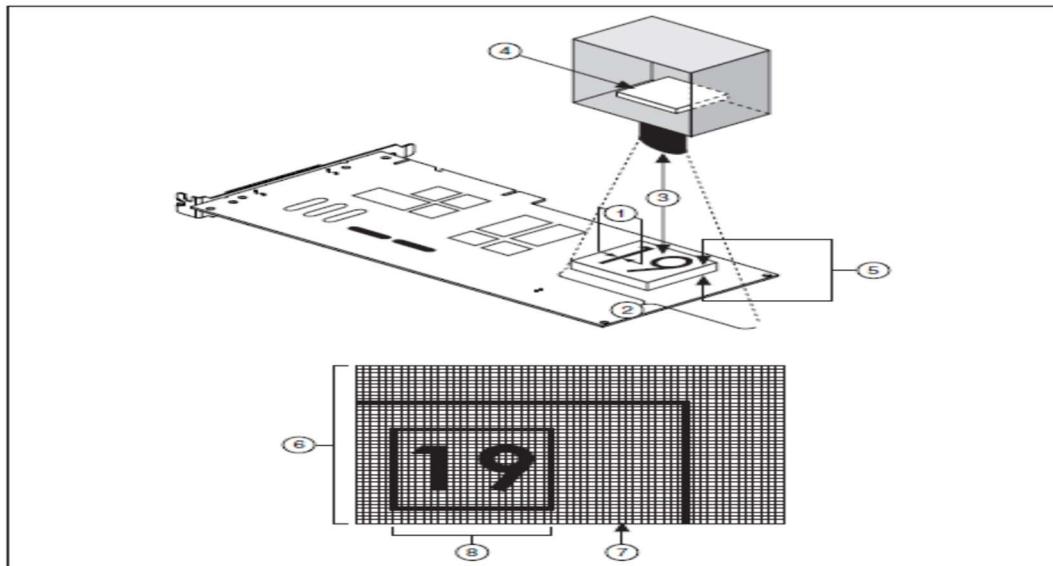
*Slika 14: Snimka nastala snimanjem lista pile osvjetljenog stroboskopom i snimanog s 1000 fps*

Tipična orientacijska vrijednost za trajanje ekspozicije je 1/125 s za fotografije snimljene pri sunčevoj svjetlosti. Naravno, optimalna vrijednost ovisi i o otvoru blende, osvijetljenosti i dinamičnosti scene, željenoj dubinskoj oštrini i još nekim faktorima. Za isti otvor blende će nam biti potrebno dulje vrijeme ekspozicije pri slabijem svjetlu. Ako snimamo dinamičnu scenu (u kojoj se objekt pomică) moramo skratiti vrijeme ekspozicije da objekt ne bi izgledao razmazan na fotografiji (Slika 15). Zbog povoljno odabranih vrijednosti otvora blende i brzine zatvarača (trajanje ekspozicije) postoji tzv. reciproitet blende i ekspozicije. Uzmimo za primjer tipičnu scenu na dnevnom svjetlu sa vrijednostima f/16 i 1/125 s za osjetljivost senzora ISO 100. Ako za određenu scenu trajanje ekspozicije skratimo na slijedeću manju vrijednost (sa 1/125 s na 1/250 s), onda ćemo blendu otvoriti za jedan f-stop (sa f/16 na f/8). Ovakva jednostavna računica nam omogućava da postavimo željene parametre fotografije bez komplikiranog računanja (Deković, 2014).



Slika 15: Zamućenje slike uslijed predugovog trajanja ekspozicije

Prije nego što prikupimo, analiziramo i obradimo sliku, moramo postaviti sustav (Slika 16) za snimanje. Pet faktora obuhvaća sustav snimanja: polje gledišta, radna udaljenost, razlučivost, dubina polja i veličina senzora (National-Instruments, 2000).



Slika 16: Prikaz osnovnih parametara snimanja kamerom u sustavima strojnoga vida (1-razlučivost, 2-vidno polje, 3-radna udaljenost, 4-veličina senzora kamere, 5-dubina vidnog polja, 6-veličina slike, 7-broj piksela, 8-razlučivost piksela) (National-Instruments, 2000)

### 3.2.5. Izbor digitalne kamere ili fotoaparata za snimanje stop snimki kružne pile za vrijeme piljenja

Kako bi iskoristili snimanje stop snimki alata pomoću stroboskopa i digitalne kamere ili fotoaparata, a na temelju prethodno izloženog za slučaj piljenja kružnom pilom, bilo je potrebno odabrati fotoaparat ili digitalnu kameru koji će moći na udaljenosti od otprilike 500 mm od mjernog objekta (lista kružne pile) – zbog zahtjeva da se mjerna oprema ne ošteti tijekom piljenja, moći na odgovarajući način snimati površinu od otprilike  $200 \text{ mm}^2$  s rezolucijom od barem  $1x1 \text{ mm}^2$ .

Analizom ponude i cijena digitalnih kamera i fotoaparata na tržištu odabran je fotoaparat SONY CYBER-SHOT DSC-RX100 IV sljedećih karakteristika:

- 20,1 MP
- 1“ CMOS senzor
- F1,8 - 2,8; 24 - 70 mm (Zeiss Vario – Sonnar T\* leće)
- 1/32 000 s<sup>-1</sup> minimalna ekspozicija (1/20 000 s<sup>-1</sup> mehanički zatvarač)
- 4k (UHD) video snimanje.

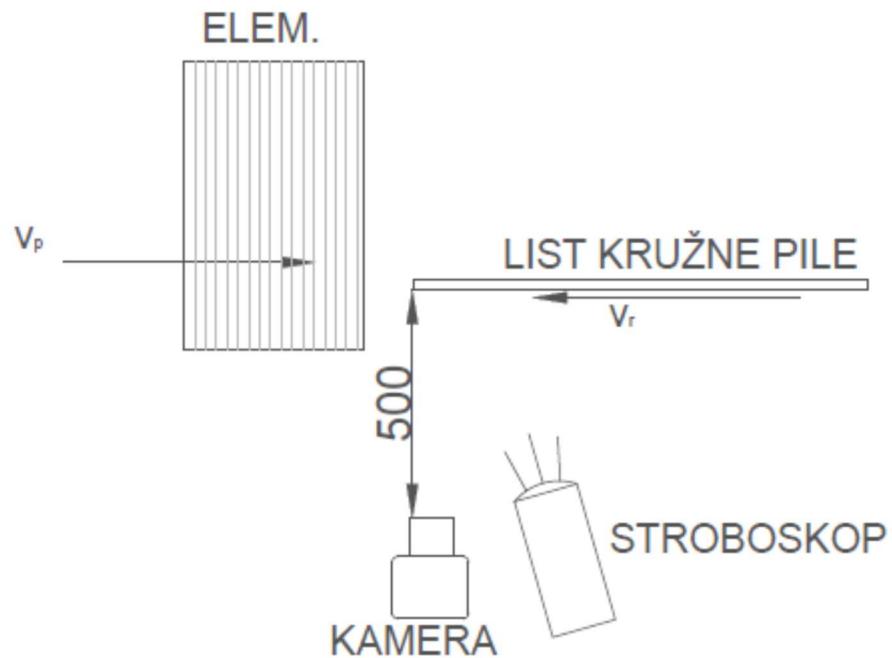
Nadalje ovaj fotoaparat ima i mogućnost snimanja filmova u punoj rezoluciji s 1000 fps što se htjelo iskoristiti za pokušaj snimanja izlaska zubi iz zahvata (iako je prethodna analiza ukazala da je to presporo), ali i nadalje se može iskoristiti i za druge analize koje nisu vezane uz ovaj rad, a cjenovno je bio prihvatljiv.



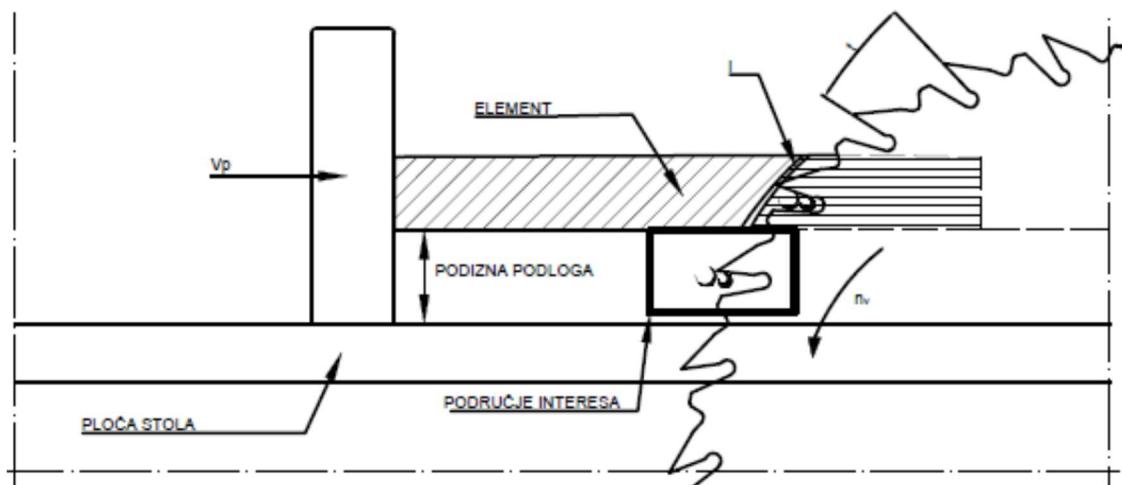
Slika 17: Digitalni fotoaparat Sony Cyber-Shot DCS RX100 IV  
(<https://www.dpreview.com/files/p/articles/4059075864/images/front.jpeg>)

### 3.3. OPIS MJERNOG LANCA

Postava mjernog lanca prikazana je na slici (Slika 18). Također je prikazan i princip (Slika 19) postavljanja mjernog lanca za mjerjenje zapunjenoosti pazušnog prostora piljevinom kod piljenja na kružnoj pili.



Slika 18: Shematski-tlocrtni prikaz principa mjerjenja ispunjenosti pazušnog prostora lista kružne pile



Slika 19: Shematski-nacrtni prikaz principa mjerjenja ispunjenosti pazušnog prostora lista kružne pile

Zbog potrebe određivanja frekvencije vrtnje lista pile u praznom hodu stroboskopom smo ustanovili da je frekvencija vrtnje  $3834 \text{ min}^{-1}$ . Iz karakteristike

stroboskopa znamo da za frekvencije bljeskanja pogreška mjernog instrumenta može biti  $\pm 1\%$  maksimalnog broja bljeskova u minuti koji iznosi  $12500 \text{ min}^{-1}$ .

Odnosno za našu izmjerenu frekvenciju vrtnje lista pile pogreška bi bila

$$12500 \cdot 0,01 = 125 \text{ min}^{-1}.$$

Stvarna vrijednost mjerene frekvencije vrtnje onda se sa sigurnošću nalazi u intervalu

$$n_{v \text{ stroboskop}} = (3834 \pm 125) \text{ min}^{-1} \text{ što je velika relativna nepouzdanost.}$$

Zbog navedene mjerne pogreške i zbog kontrole ponovili smo mjerjenje pomoću digitalnog tahometra te smo pomoću njega izmjerili frekvenciju vrtnje lista pile ( $n_v$ ) od  $3845 \text{ min}^{-1}$ . Tahometar posjeduje sljedeće karakteristike:

- Za mjerni raspon od  $(1000 - 99999) \text{ min}^{-1}$  razlučivost je  $1 \text{ min}^{-1}$
- Pogreška je  $\pm (0,05 \% \text{ očitanja} + 1 \text{ digit})$
- Mogućnost prikaza LCD-a je 99999.

Stoga je granična merna pogreška tahometra

$$G = \pm \left( \left[ \frac{0,05}{100} \right] \cdot 3845 + 1 \right) = \pm 2,9 \approx \pm 3 \text{ min}^{-1}$$

pa se stvarna vrijednost frekvencije vrtnje lista pile sa sigurnošću nalazi u intervalu

$$n_{v \text{ tahometar}} = (3845 \pm 3) \text{ min}^{-1}.$$

Gledajući dobivene rezultate može se zaključiti da su absolutna odstupanja stroboskopa u određivanju frekvencije vrtnje puno veća od tahometra, zato njemu više vjerujemo pri određivanju brzine vrtnje. Također se može naglasiti da je za dobivanje stop slike potrebna sinkronizacija frekvencije vrtnje lista kružne pile i stroboskopa te nam nije bitno odstupanje mjernog instrumenta. Zato možemo zanemariti njegovu upotrebljivost za mjerjenje frekvencije vrtnje.

Mjerenja su rađena na kružnoj pili Bratstvo SC10 (<http://www.kordun.hr/bratstvo/html/sc10.htm>, 2017), a kao alat se koristio list kružne pile proizvođača: Leitz, tvorničke oznake 57125-WK 150 4 ([https://www.leitz.com.au/catalog/product\\_info.php?cPath=143\\_151\\_17788\\_17789&products\\_id=3916&osCsid=vfhaa01m36sf5v3bc3b87fa7f7](https://www.leitz.com.au/catalog/product_info.php?cPath=143_151_17788_17789&products_id=3916&osCsid=vfhaa01m36sf5v3bc3b87fa7f7), 2017) sljedećih karakteristika:

- $D = 300 \text{ mm}$ ,
- $z = 28$  zuba, s oštricama od sinteriranih karbida (HW)

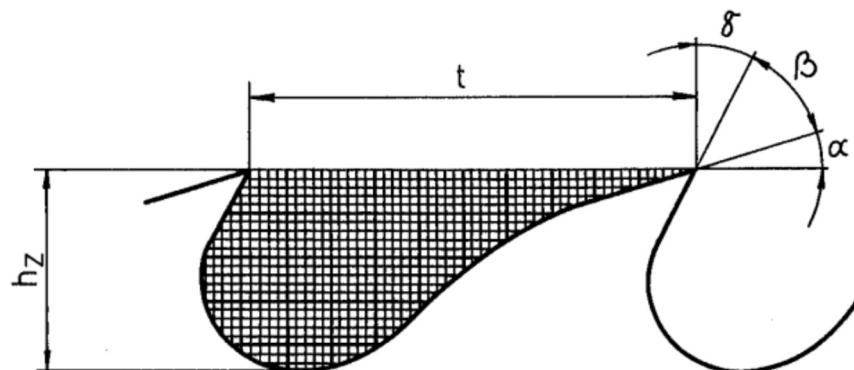
- $b = 3,2 \text{ mm}$ ,
- $a = 2,2 \text{ mm}$ ,
- $d = 30 \text{ mm}$ ,
- *Oblik ozubljenja = WZ – naizmjenično skošeni zubi*



Slika 20: Izgled lista pile Leitz 57125-WK 150 4 kakav je korišten za eksperimentalno piljenje ([https://www.leitz.com.au/catalog/product\\_info.php?cPath=143\\_151\\_17788\\_17789&products\\_id=3916&osCsid=vfhaa01m36sf5v3bc3b87fa7f7](https://www.leitz.com.au/catalog/product_info.php?cPath=143_151_17788_17789&products_id=3916&osCsid=vfhaa01m36sf5v3bc3b87fa7f7), 2017)

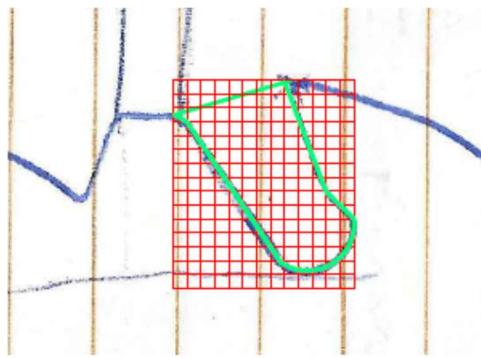
### 3.4. ODREĐIVANJE POVRŠINE PAZUŠNOG PROSTORA ZUBA

Jedan od načina određivanja površine pazuha lista pile je crtanjem zubi na milimetarskom papiru te brojenjem površine kvadrata koje zauzima površina pazuha (Slika 21) (Goglia, 1994).



Slika 21: Primjer izračunavanja površine pazušnog prostora na listu pile pomoću milimetarskoga papira, što može poslužiti kao kontrolna metoda za kontrolu očitanja dobivenog računalnom obradom (Goglia, 1994)

Sukladno tome prebrojavanjem milimetarskih kvadratića na superponiranoj (Slika 22) milimetarskoj skali određena je površina pazušnog prostora lista kružne pile koji je korišten za mjerjenje i iznosila je  $85 \text{ mm}^2$ .



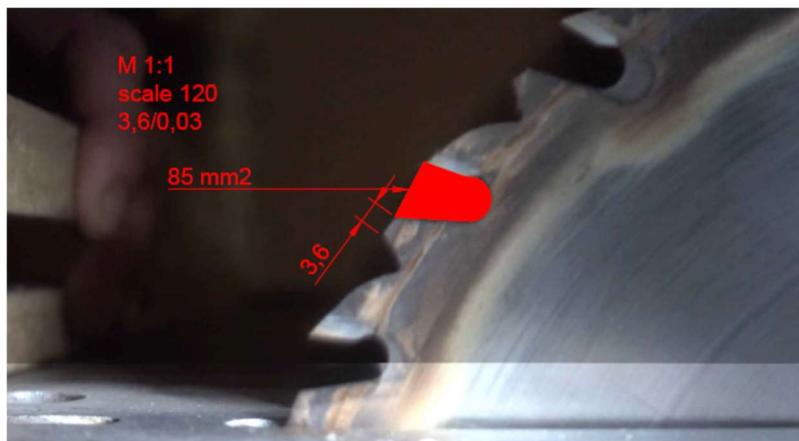
Slika 22: Postupak izračunavanja površine pazušnog prostora na listu kružne pile koji je korišten za mjerjenja pomoću milimetarske skale (papira)

Druga metoda koja se može primijeniti i koja je korištena je implementacija slike lista pile u nekom programu za računalnu obradu slika ili neki program za vektorsko crtanje. U našem slučaju odabran je program Auto CAD®. Slika se dodaje u CAD program naredbom „attach“ te umjeravanjem u mjerilu 1:1. Veoma je važno odrediti pravo mjerilo kako bi mogli konvergirati sliku u stvarnoj veličini, a to ćemo odrediti tako da na listu pile prije samog snimanja pomičnim mjerilom izmjerimo fizikalnu veličinu koju kasnije možemo izmjeriti na slici te pomoću odgovarajuće transformacije slike (uvećanje ili smanjenje), a koje je u našem slučaju napravljeno pomoću naredbe „scale“ (Slika 23).

Ako smo izmjerili duljinu ( $l$ ) neke karakteristične veličine na mjernom objektu ili smo na njega nalijepili, urezali ili sl. mjernu skalu tada iz izmjerene vrijednosti na mjernom objektu, a u ovom slučaju na listu pile i vrijednosti izmjerene na slici ( $l_s$ ) možemo odrediti mjerilo prema izrazu

$$M = \frac{l}{l_s} \quad (12)$$

gdje je  $M$  - traženo mjerilo slike,  $l$  - duljina karakterističnog obilježja,  $l_s$  - duljina tog istog obilježja na slici.



Slika 23: Određivanje površine pazušnog prostora pomoću AutoCAD-a

Postupak računanja možemo prikazati na primjeru slike (Slika 23). Pošto CAD programi posjeduju mogućnost kotiranja iskotirali smo tu dimenziju i u našem slučaju je bila  $l_s = 0,03$  mm, a na kružnoj pili je bilo  $l = 3,6$  mm.

Prema izrazu (11) mjerilo bi tada bilo:

$$M = \frac{3,6}{0,03} = 120$$

što znači da bi u našem slučaju mjerilo bilo 1:120 i sliku bi trebalo uvećati za taj iznos s naredbom „scale“. Time bi slika bila transformirana u mjerilo M 1:1, te su nam sva daljnja računanja na slici znatno olakšana.

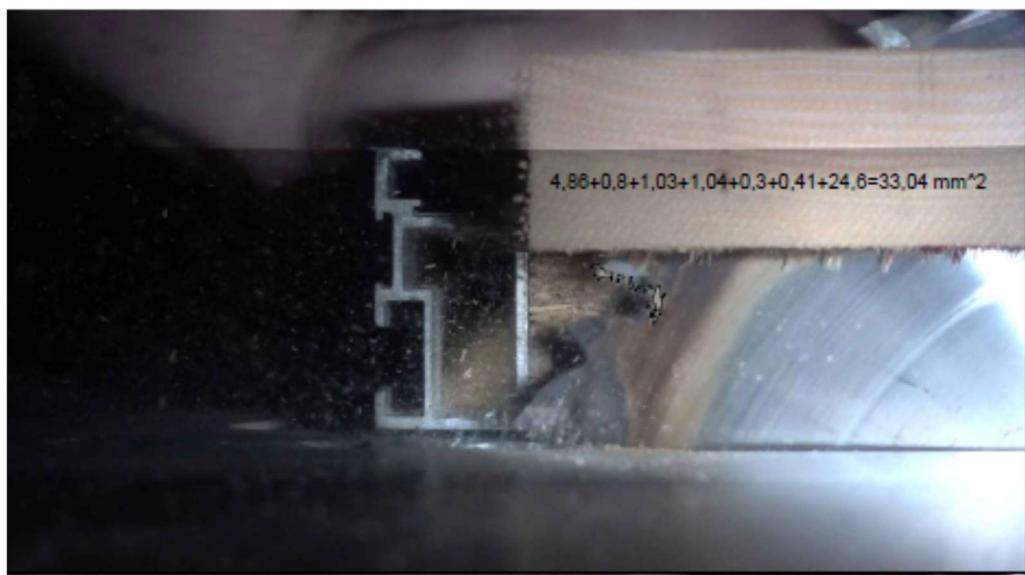
Površina pazušnog prostora zuba omeđena s linijom pomoću naredbe „polyline“ i pomoću naredbe za određivanje površine poligona očitana je ukupna površina koja je zatvorena unutar linije. U našem slučaju je ona bila  $85 \text{ mm}^2$ .

Na taj način se iz slike dobivene za vrijeme piljenja jednostavno mogu odrediti i parametri koji su nam potrebni za izračunavanje faktora rastresitosti i faktora ispunjenosti pazušnog prostora u promatranim uvjetima piljenja, konkretno površina pazušnog prostora i projekcija površine rastresite strugotine

Naravno da bi se mogao primijeniti ovaj postupak određivanja površine pomoću računala potrebno je iz videa koji se snima za vrijeme obrade izdvojiti odgovarajuće reprezentativne slike izlaska zupca pile iz zahvata s piljevinom u pazušnom prostoru. Tu funkciju nam omogućuje većina programa za obradu videa, a u ovom slučaju korišten je program i pomoću naredbe "snapshot" uzimane su slike (*frameovi*) za koje se smatralo da su reprezentativni.

### 3.5. ODREĐIVANJE FAKTORA RASTRESITOSTI I FAKTORA ISPUNJENOSTI PAZUŠNOG PROSTORA LISTA KRUŽNE PILE PRI PILJENJU POMOĆU STROBOSKOPOA

Površina projekcije rastresite strugotine ( $A_{sr}$ ) izmjerena je kao i što je određena površina pazušnog prostora lista kružne pile. 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 i izborom odgovarajućeg izbornika automatski dobijemo podatak o traženoj površini. Ukoliko naš program ne posjeduje opciju automatskog izračuna površine možemo se poslužiti i sljedećom metodom. U programu se nacrtava milimetarska mreža te se superponira (najčešće pomoću različitih slojeva tzv. *layera*) na našu sliku (Slika 22). Sada je postupak određivanja površine projekcije rastresite strugotine ( $A_{sr}$ ) stvar jednostavnog brojanja kvadratiča na zadanoj površini. Ta metoda se može usporediti s određivanjem površine pazušnog prostora na milimetarskom papiru. Površinu pazušnog prostora možemo odrediti na samom listu pile na milimetarskom papiru, kako je to već prethodno i pokazano ili se može odrediti iz snimljene fotografije istim metodama koje su upotrijebljene za određivanje površine projekcije rastresite strugotine (Pađen, 2013).



Slika 24: Postupak mjerenja projekcije površine strugotine u pazušnom prostoru lista kružne pile pomoću računalnog programa AutoCAD na slici dobivenoj iz filma koji je sniman za vrijeme piljenja na kružnoj pili

Zbrajanje svih projekcija površina strugotina kao što je i prikazano (Slika 24) dobivamo ukupnu projekciju površine strugotine koja je nastala prolaskom jednog zuba kroz

zahvat te se za izračunavanje faktora ispunjenosti pazušnog prostora ( $f_i$ ) onda može iskoristiti izraz (8), a za izračunavanje faktora rastresitosti strugotine ( $f_r$ ) smo koristili izraz (3)

## 4. Rezultati istraživanja

Rezultati mjerena ispunjenosti pazušnih prostora pomoću postavljenog mjernog postupka iskazuju mjerljive vrijednosti. Ispitivanje smo vršili na različitim vrstama drva: jelovini, borovini, hrastovini, lipovini i trešnjevini.

Ispitivanje smo vršili na sobosuhim elementima , a dimenzije elemenata su dane u tablici (Tablica 2).

Tablica 2: Dimenzije ispitivanih elemenata

Rd.br.	VRSTA DRVA	DIMENZIJA (š×h) [mm]
1.	Jelovina ( <i>Abies alba</i> )	125×25
2.		200×25
3.	Borovina ( <i>Pinus sylvestris</i> )	110×34
4.	Hrastovina ( <i>Quercus robur</i> )	170×53
5.	Lipovina( <i>Tilia</i> )	Poprečno 70×50
6.		Uzdužno 990×24,5
7.	Trešnjevina( <i>Prunus avium</i> )	110×50

Prilikom mjerena kod jelovine, trešnjevine i hrastovine zbog slabog osvjetljenja i manjeg kontrasta s obzirom na podlogu dolazilo je do ne distanciranja odnosno gubljenja granice strugotine (Slika 26). Jedno od mogućih rješenja je pozadina koja bi omogućila bolji kontrast za raspoznavanje granice ili upotreba različitih filtera koji se mogu staviti ispred stroboskopa kako bi se možda dobio bolji kontrast piljevine u pazušnom prostoru pile i pozadine.

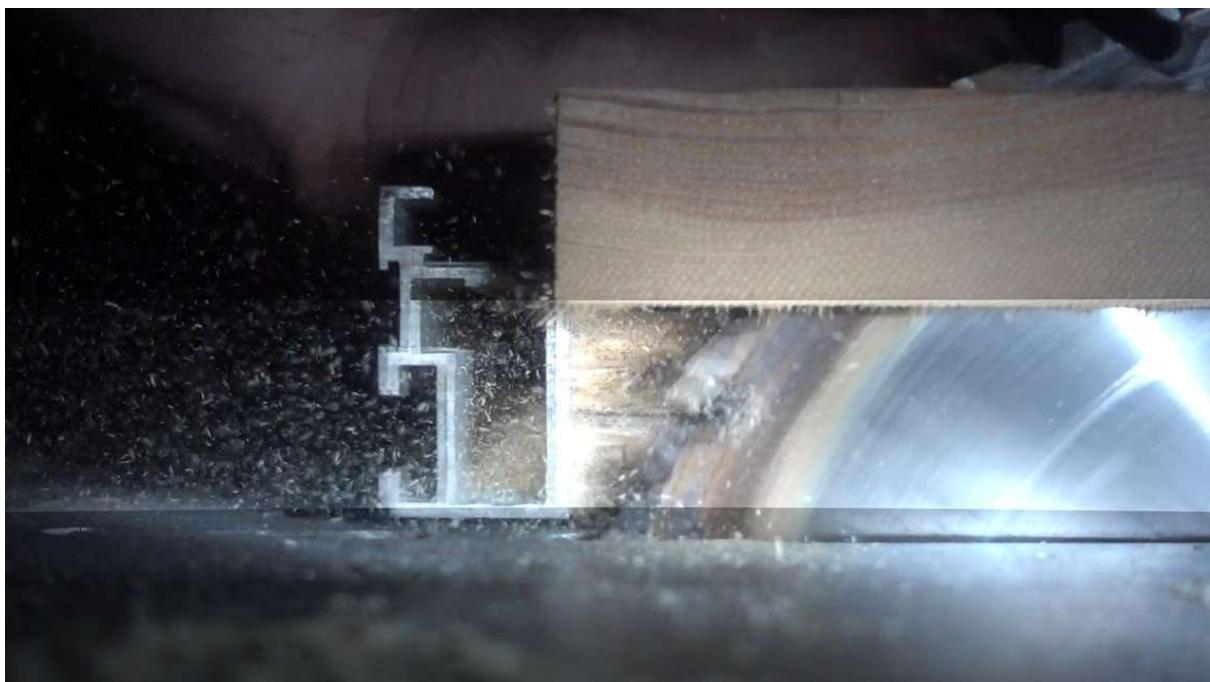
Također uočeno je da prilikom većeg zapunjavanja pazušnog prostora, uslijed povećanja posmične brzine, pogotovo kod svjetlijih vrsta drva kao što je lipovina, lakše i točnije mjerimo projekciju površine strugotine u zahвату. Stoga bi se moglo preporučiti da se u cilju smanjenja mjerne nesigurnosti, mjerena pomoću ove metode provode za

veće vrijednosti zapunjenoosti pazušnog prostora i veće debljine odvajane strugotine, što se može postići jednostavnim povećanjem posmične brzine uz zadržavanje ostalih parametara konstantnima.

Tijekom mjerjenja uočeno je smanjenje frekvencije vrtnje pile, odnosno pogonskog elektromotora uslijed opterećenja, što je i normalna pojava kod nereguliranih trofaznih asinkronih elektromotora, ali bitno otežava mjerenje i kasnije očitavanje sa snimljenih filmova, odnosno slika (Slika 25). Budući da frekvencija bljeskanja stroboskopa nije bila sinkronizirana s frekvencijom vrtnje lista pile, već je prvo podešena prema frekvenciji vrtnje u praznom hodu stroja, tijekom piljenja došlo je do gubitka sinkronizacije između frekvencije vrtnje lista pile i bljeskanja stroboskopa. Budući da ručno moramo podesiti stroboskop taj postupak traje dok ne umjerimo sustav za određenu posmičnu brzinu. Puno bolje rješenje koje se može predložiti je sinkronizacija bljeskanja stroboskopa s frekvencijom vrtnje lista pile. S obzirom da korišteni stroboskop dopušta korištenje okidnih (*trigger*) impulsa, to se može vrlo jednostavno postići. Iz karakteristike stroboskopa je vidljivo da se kao okidni signal za vanjsku sinkronizaciju stroboskopa može iskoristiti naponski signal od 5 V do 30 V. U tu svrhu danas se može iskoristiti čitav niz bez kontaktnih senzora, najčešće optičkih ili induktivnih. Tako se na primjer može za tu namjenu iskoristiti i optički infracrveni (IR) senzor proizvođača Brüel & Kjaer, označen MM0012 koji se nalazi i u laboratoriju Zavoda za procesne tehnike na Šumarskom fakultetu, gdje su mjerena i obavljena. Kod upotrebe takvog tipa senzora kako bi dobili odgovarajući okidni signal treba obratiti pažnju na to da bi svjetleća marka koja se naljepljuje na rotirajući element čija se frekvencija vrtnje želi mjeriti, odnosno u ovom slučaju služi kao okidni signal, trebala biti svjetlijia od podloge na koju se naljepljuje. Detaljna karakteristika predloženog mjernog pretvornika priložena je u poglavljju Prilozi.

S obzirom da su se kod mjerjenja na digitalnom fotoaparatu koji je korišten za eksperimentalno snimanje korištene automatske postavke uočeno je da je vrijeme ekspozicije za jednu sliku, odnosno *frame* u videu korišteno vrijeme unutar kojega je lista pile napravio dva puna okreta, što je jasno vidljivo iz slike koja je snimljena za vrijeme praznog hoda pile, odnosno vrijeme ekspozicije našeg fotoaparata je 2:1 u odnosu na frekvenciju vrtnje lista pile. Odnosno na jednoj slici (*frame-u*) vidimo strugotinu koju Zub lista pile odvoji u dva prolaza kroz zahvat. Naravno da dolazi do preklapanja strugotina, ali i zbog lošijeg osvjetljenja gubi se granica strugotine te ona

postaje zamagljena (Slika 26). Takva situacija može se gledati sa stajališta da nam tako duga ekspozicija s obzirom na frekvenciju vrtnje lista pile u biti daje već nekakav prosjek zapunjenoosti pazušnog prostora jednog zuba na listu pile kroz dva prolaska kroz zahvat i tako nam povećava točnost, ili sa stajališta da nam tako duga ekspozicija povećava mjernu nesigurnost ovakvog načina mjerjenja jer se na slici nalazi strugotina na većoj površini nego što ju zauzima pri jednom prolasku zuba kroz zahvat, a uslijed različitog razmještaja piljevine u pazuhu zuba pri svakom prolazu, te na taj način prividno povećava našu procjenu zapunjenoosti pazušnog prostora pile..



*Slika 25: Otežano očitavanje površine rastresite strugotine u pazušnom prostoru lista kružne pile pri izlasku iz zahvata uslijed ne sinkronizirane frekvencije vrtnje lista pile i frekvencije bljeskanja stroboskopa*

Na slikama koje su obrađivane uočena je i pojava lebdećih čestica van pazušnog prostora lista pile, što naravno isto utječe na nesigurnost mjerjenja. Količina lebdećih čestica koje se mogu uočiti na slici najvjerojatnije se povećava s duljinom ekspozicije digitalnog fotoaparata, a u našem slučaju predstavljaju sumarnu sliku raspršenih čestica za vrijeme dva okretaja lista pile.

Kako bi se smanjili ovi utjecaji na mjernu nesigurnost predložene mjerne metode, trebalo bi smanjiti ekspoziciju fotoaparata na vrijeme koje dovoljno da se snimi zub lista pile kako izlazi iz zahvata, ali samo pri jednom okretaju lista. Ovdje bi moglo doći do problema uslijed premale osvjetljenosti senzora u tako kratkom vremenu, ali pošto se za osvjetljenje koristi intenzivno osvjetljenje stroboskopa u kratkom periodu, možda se pokaže da to neće biti problem.



Slika 26: Utjecaj razlučivosti piksela na dobivenim snimkama na nesigurnost određivanja površine rastresite strugotine nastale prolaskom zuba kroz zahvat

Za određivanje površine strugotine odabirali smo reprezentativne uzorke s jasnim granicama strugotine kako bi što točnije odredili njezinu površinu. Kao na primjer kod: jelovine, borovine, hrastovine, lipovine i trešnjevine (Slika 27).



Slika 27: Prikaz ograničavanja površine krivuljom na slici pomoću koje je određivana površina rastresite strugotine nastale prolaskom jednog zuba kroz zahvat pri piljenju: a) jelovine, b) borovine, c) hrastovine, d) lipovine, e) trešnjevine

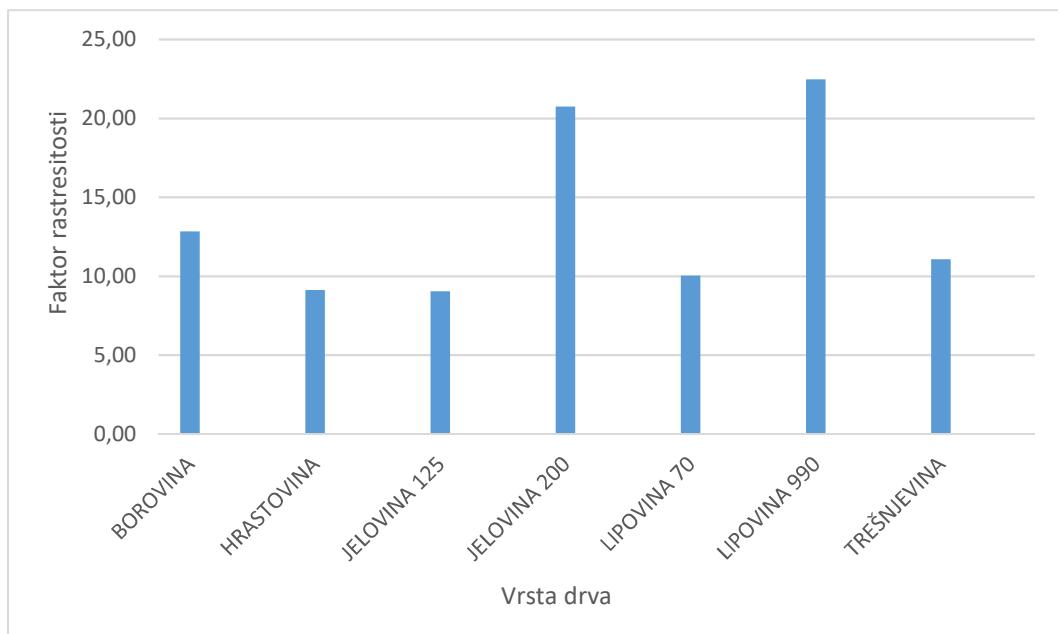
Ove slike će nam poslužiti kao primjer podrobnije analize dobivenih rezultata. Za početak ćemo promatrati granicu strugotine kod koje možemo zaključiti da je ona izražajnija kod svijetlih vrsta drva (lipovina, borovina) dok je kod tamnijih vrsta drva

teže determinirati. Također najveći faktor ispunjenosti smo postigli kod lipovine zahvaljujući najvećoj visini reza. Zbog toga smo najtočnije mogli očitati površinu projekcije strugotine. Sve snimke su djelomično zamućene te im nedostaje oštine.

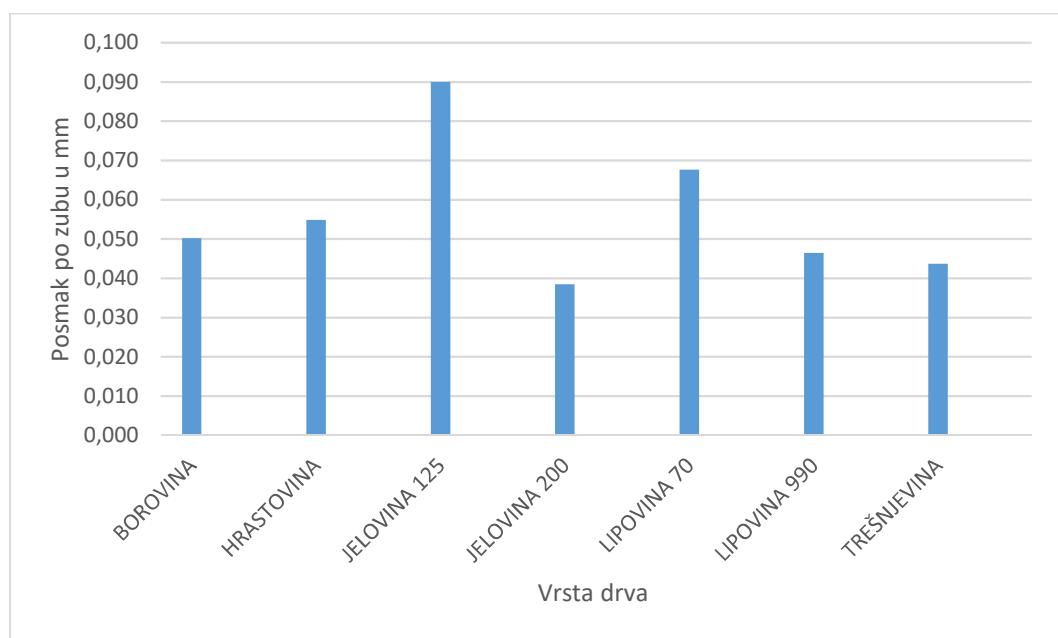
Analizom dobivenih projekcija površina strugotina i posmične brzine obratka (Tablica 3) dobivene su vrijednosti faktora rastresitosti u promatranih uvjetima obrade. Kao što se može vidjeti iz dobivenog grafa u kojem su prikazane prosječne vrijednosti faktora rastresitosti za pojedine vrste drva na kojima su obavljena mjerena u zadanim uvjetima obrade (za zadane posmaka po zubu i visine piljenja) (Slika 28), vidljivo je da se faktor rastresitosti strugotine kreće u rasponu od 9 - 22. S obzirom na očekivani faktor rastresitosti prema podacima iz literature (Auferber, 1951) koji iznosi 2 – 4 možemo zaključiti da dobiveni podaci bitno odskaču od očekivanih vrijednosti. Također možemo primijetiti da je odnos faktora rastresitosti i posmaka po zubu obrnuto proporcionalan, što upućuje na to da se ne može koristiti jedna vrijednost faktora rastresitosti samo u ovisnosti o promjeni vrste drva, već da on ovisi i o parametrima obrade (ovaj zaključak se naravno može prihvati samo u slučaju da ta ovisnost nije u našem slučaju uzrokovana pogreškom mjerena). Kao što je i očekivano, povećanjem posmaka po zubu povećava se zapunjeność pazušnog prostora lista pile što utječe na smanjenje mjerne nesigurnosti. Kako se nesigurnost smanjuje, smanjuje se i faktor rastresitosti zbog točnijeg očitanja strugotine. Stoga je nužno umjeravanje cijelog procesa tako da se eliminira mjerena nesigurnost uslijed piljenja prilikom malog posmaka po zubu.

Tablica 3: Dobiveni rezultati mjerenja zapunjenošti pazušnog prostora.

Rd. Br.	širina [mm]	visina [mm]	BROVINNA			HRASTOVINA			JELOVINA 125			JELOVINA 200			LIPOVINA 70			LIPOVINA 990		
			poprečno			poprečno			poprečno			poprečno			uzdužno			poprečno		
			mm^2	fi	mm^2	fi	mm^2	fi	mm^2	fi	mm^2	fi	mm^2	fi	mm^2	fi	mm^2	fi	mm^2	fi
1	22,98	0,2704	18,86	0,2219	13,42	0,1579	16,91	0,1989	17,99	0,2116	26,97	0,3173	27,33	0,3215						
2	33,04	0,3687	20,14	0,2369	33,91	0,3989	18,29	0,2152	24,09	0,2634	30,5	0,3588	25,34	0,2981						
3	9,66	0,1139	16,3	0,1918	24,94	0,2934	19,63	0,2309	18,56	0,2184	32,14	0,3781	25,14	0,2958						
4			21,92	0,2579	16,24	0,1911	22,17	0,2608	45,72	0,5379	28,6	0,3365	24,69	0,2905						
5			26,59	0,3128	22,48	0,2645	19,97	0,2349	34,53	0,4062	25,68	0,3021	29,67	0,3491						
6			21,4	0,2518	13,06	0,1539	13,32	0,1567	22,9	0,2694	24,94	0,2934	17,1	0,2012						
7			16,25	0,1912	18,43	0,2168	16,49	0,1940	33,44	0,3934	24,97	0,2938	17,72	0,2085						
8			49,29	0,5799	15,79	0,1853	31,05	0,3653	26,01	0,3060	21,81	0,2566	27,58	0,3245						
9			32,12	0,3779	12,1	0,1424	19,45	0,2288	39,64	0,4664	20,44	0,2405	28,44	0,3346						
10			39,03	0,4598	20,72	0,2438	15,24	0,1793	30,04	0,3534	22,33	0,2627	18,4	0,2165						
11			20,85	0,2453	44,69	0,5258	10,76	0,1266	37,21	0,4378	23,21	0,2731								
12			23,81	0,2801	14,63	0,1721	17,71	0,2084	37,26	0,4384	28,55	0,3359								
13			23,69	0,2787	20,91	0,2460	16,04	0,1887	31,81	0,3742	17,23	0,2027								
14			31,83	0,3745	13,51	0,1589	24,55	0,2888	33,74	0,3969	21,64	0,2546								
15			29,79	0,3505			27,31	0,3213	32,17	0,3785	24,2	0,2847								
16			22,65	0,2665			14,93	0,1756	31,64	0,3722	24,31	0,2860								
17			24,54	0,2887			15,9	0,1871	47,97	0,5644	21,9	0,2576								
18			20,85	0,3394			19,26	0,2266	53,27	0,6267	22,33	0,2627								
19			25,95	0,3053			17,49	0,2058	26,99	0,3175	25,25	0,2971								
20			35,96	0,4231			16,46	0,1936	53,16	0,6254	27,46	0,3231								
21							33,94	0,3993			28,03	0,3392								
22							31,84	0,3746			32,38	0,3809								
23											36,52	0,4296								
24												19,29	0,2269							
25												27,52	0,3238							
X	21,90	0,2576	26,49	0,3117	20,35	0,2394	19,94	0,2346	33,91	0,399	25,56	0,3007	24,141	0,2840						
3 <sup>rd</sup>	11,72	0,1379	8,16	0,0960	9,17	0,1078	6,16	0,0724	10,22	0,120	4,48	0,0527	4,69	0,0551						
v <sub>p</sub> [m/min]	5,4		5,9		9,69		4,14		7,28		5		4,7							
S <sub>Z</sub> [mm]	0,050		0,055		0,090		0,038		0,068		0,046		0,044							
f <sub>r</sub>	12,84		9,12		9,04		20,74		10,03		22,46		11,06							



a)

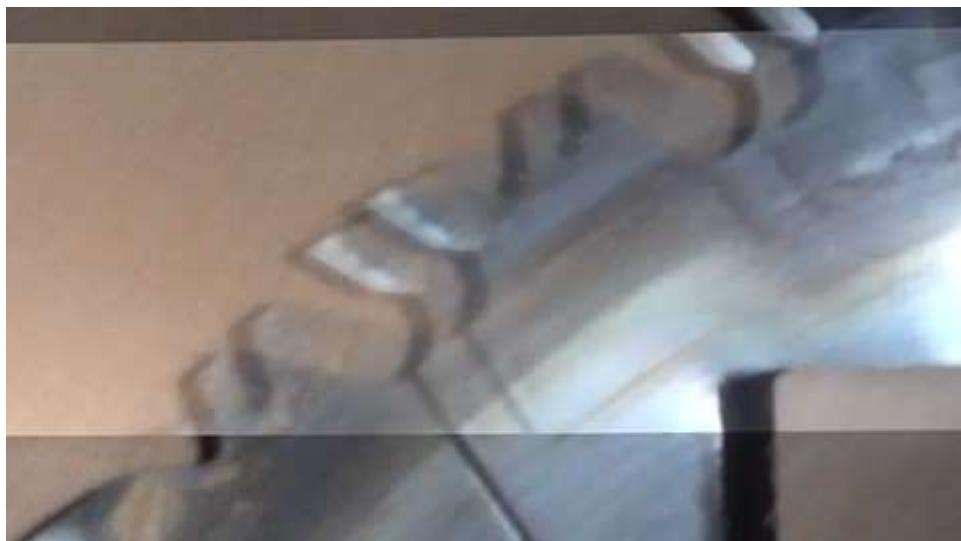


b)

Slika 28: Graf prosječnih vrijednosti izračunatih na temelju podataka dobivenih mjerjenjima na navedenim vrstama drva: a) faktora rastresitosti; b) posmaka po zubu

Takve rezultate možemo pripisati predugoj ekspoziciji, odnosno za vrijeme dok nam kamera uzme jednu sliku (*frame*), uslijed ekspozicije koja je automatski određena na fotoaparatu stroboskop bljesne dva puta (Slika 29), odnosno list pile napravi dva okretaja. To je jasno vidljivo na slikama koje su snimljene kada list pile nije sinkroniziran s bljeskanjem stroboskopa, te se na slici vidi kao da imamo dva zuba na malim razmacima, a u stvari se radi o jednom zubu samo snimljenom unutar dva

okretaja samo u malo različitim dijelovima njegove putanje, a sve uslijed ne sinkroniziranosti frekvencije vrtnje lista pile i bljeskanja stroboskopa. Takva snimka sadržava preklapanje strugotina unutar pazušnog prostora te se ona doima većom nego što zaista je. Za točnije mjerenje se preporuča, da vrijeme ekspozicije senzora bude približno jednako vremenu koje je potrebno listu pile za jedan okretaj, odnosno približno  $1/n$ .



Slika 29: Prikaz ne sinkroniziranog lista pile uslijed kojeg se vide dva prolaza lista unutar jedne ekspozicije.

## 5. Zaključak

Uočeno je ne primjerno vrijeme ekspozicije pri korištenim postavkama fotoaparata, potrebna je njegova korekcija tako da ekspozicija bude približno jednaka vremenu koje je potrebno listu pile za jedan okretaj.

Također radi lakšeg mjerenja i određivanja granice strugotine, potrebno je ostvariti veći kontrast između strugotine i podloge. Kod nas su izražajnije bile svijetle vrste drva(borovina, lipovina) zbog tamnije podloge. Dok su se tamnije vrste drva na tamnoj podlozi slabo razaznavale. Stoga je potrebno prilagoditi pozadinu u ovisnosti o vrsti drva.

U rezultatima su dobivene prevelike vrijednosti faktora rastresitosti u odnosu na referentne podatke iz literature, smatramo da je za to zaslužna preduga ekspozicija, zamućenost slike uslijed koje imamo krivo očitanje površine. Uočene nedostatke moguće je ukloniti iz metode primjenom kraće ekspozicije, izborom odgovarajuće posmične brzine, visine obratka tako da dobijemo veću zapunjenošću pazušnog prostora. Primjenom navedenih korekcija smatramo da bi metoda mogla biti upotrebljiva, ali zasada se rezultati dobiveni na ovaj način ne mogu upotrijebiti za dobivanje vjerodostojnih podataka na temelju kojih bi se mogle davati preporuke za vrijednosti faktora rastresitosti strugotine pri piljenju na pilama i njegovom korištenju za optimizaciju učina pila u pogonskim uvjetima

**Literatura:**

1. Auferber, V., 1951: Kružna pila. Drvna industrija: 10-17.
2. Csanady, E.; Magoss, E., 2011: Mechanics of wood machining. Sopron. Universitas Hungariae Occidentalis.
3. Deković, T., 2014: Teorija fotografije. <http://tomislavdekovic.iz.hr/teorija-fotografije/> (Pristupljeno: 12. Lipnja 2017).
4. Euklund, U., 2000: Influencing factors on sawing accuracy in a bandsawmill. Holz als Roh und Werkstoff: 102-106.
5. Goglia, V., 1994: Strojevi i alati za obradu drva. Zagreb: Šumarski fakultet.
6. Pađen, T., 2013: Prilog eksperimentalnom određivanju faktora rastresitosti strugotine kod piljenja na tračnim pilama trupčarama. Diplomski rad, Zagreb: Šumarski fakultet.
7. Pekar, D., 2016: Odabir i opremanje zrakoplova PILATUS PC-9M višenamjenskom kamerom za potrebe obalne straže. Diplomski rad, Zagreb: Fakultet prometnih znanosti.
8. Van-Veen, F., 1977: Handbook of Stroboscopy. Concord, Massachusetts: GenRad Inc.
9. Vrcan, Ž.; Lovrin, N.; Gregov, G., 2009: Primjene stroboskopa. Engineering Review.
10. Wolfram, S., 1995: Analytical robotics and mechatronics. Michigan, McGraw-Hill.
11. <http://electronics.howstuffworks.com/cameras-photography/digital/question362.htm> (Pristupljeno: 20.. lipanj 2017).
12. <http://www.kordun.hr/bratstvo/html/sc10.htm> (Pristupljeno: 12. Srpanj 2017).
13. <http://www.sunwe.com.tw/lutron/DT-2269.PDF>. (Pristupljeno: 10. Srpanj 2017).

14. [https://www.leitz.com.au/catalog/product\\_info.php?cPath=143\\_151\\_17788\\_17789&products\\_id=3916&osCsid=vfhaa01m36sf5v3bc3b87fa7f7](https://www.leitz.com.au/catalog/product_info.php?cPath=143_151_17788_17789&products_id=3916&osCsid=vfhaa01m36sf5v3bc3b87fa7f7).  
(Pristupljeno: 20. Svibanj 2017).
15. \*\*\*Brüel&Kjaer, 1983: Electronic Instruments: Master Catalogue.
16. \*\*\*Committee, S., 2005: Guideline for Noting Digital Camera Specifications in Catalogs. Camera & Imaging Products Association,  
[http://www.cipa.jp/std/documents/e/DCG-001\\_E.pdf](http://www.cipa.jp/std/documents/e/DCG-001_E.pdf), (Pristupljeno: 21. Lipanj 2017).
17. \*\*\*Fotografija, <https://hr.wikipedia.org/wiki/Fotografija> (Pristupljeno: 21. Lipanj .2017).
18. \*\*\*Kordun, 1986: Alat za obradu drva. Karlovac. Kordun d.d.-tvornica metalnih proizvoda.
19. \*\*\*National-Instruments, 2000: IMAQ Vision Concepts Manual. Austin, Texas, USA.
20. \*\*\*Osnove Fotografije-foto priručnik za početnike u fotografiji. 2009: OŠ Strahoninec.

**Prilozi:**

**Vibration Transducers and Accessory Equipment**

**Group 4**

**MM 0012**

**FEATURES:**

- Combined transmitter-receiver
- Low power consumption from 6 V to 10 V DC supply
- Small dimensions

**USES:**

- Synchronizing various B & K instruments with rotary or reciprocating motion
- Reflective object detection
- Displacement detection

**Photoelectric Tachometer Probe**

The probe is mounted on a suitable stiff bracket, by means of screws through the two mounting slots in the body, so that the infrared (invisible) light beam is projected perpendicularly onto the surface of the rotating or reciprocating machine part.

In use, the Probe is mounted on a suitable stiff bracket, by means of screws through the two mounting slots in the body, so that the infrared (invisible) light beam is projected perpendicularly onto the surface of the rotating or reciprocating machine part.

The signal amplitude generated by the MM 0012 is a function of

**Photoelectric Tachometer Probe Type MM 0012**

Type MM 0012 is typically used for tuning B & K Tracking Filter Type 1623, Waveform Retriever Type 6302 and Stroboscopes Types 4912 and 4913 in synchronism with rotating or reciprocating machine parts. The probe is also used in the Field Balancing Set Type 3517. These instruments are provided with a combined trigger input and power supply socket which accepts the cable from the MM 0012 directly.

The MM 0012 is a combined infra-red light source and pick up device which is built into a common housing. Its output signal and power supply are conveyed from and to the probe via a double shielded BNC connector at the rear of the housing. A 3 m long cable terminated with matching connectors is supplied with the probe. The "eye" of the probe is fitted with an infra-red filter to reduce its sensitivity to visible light, particularly from interference by AC mains powered lamps.

When projected at a non-reflecting surface, minimal light is reflected back to the sensor eye which results in virtually zero volts DC output. When projected at a reflective surface the output voltage will rise to a positive level depending on the proximity and reflectivity of the surface. Typical output signals obtained from a rotating shaft with a strip of white and black tape attached are shown in Fig.1.

**Fig.1. Typical output signals from Photoelectric Tachometer Probe MM 0012 projected at a rotating shaft. (A) from a white stripe on a black background, and (B) a black stripe on a white background**

a)

the difference in reflectivity of the contrasting surfaces passing the field of view, the distance to the reflecting surface, and the degree of light dispersion from curved surfaces.

The best results are obtained using a short piece of self-adhesive reflective tape (see "Accessories Available") on a dark matt background.

A strip of ordinary white or black tape, whichever gives the best contrast, glued onto the machine part, is also satisfactory.

At a distance of 1 to 2 mm from a clean white surface the MM 0012 will give an output of several volts, depending on the supply voltage. At 15 to 20 mm distance from a white surface several tens of mV output can be expected. A typical output voltage against distance curve is shown in Fig.2.

The MM 0012's effective output can be considerably increased by projecting a DC powered lamp beam onto the reflective surface so that the light intensity reflected back to the eye is increased. A "Penlite" type pocket light is ideal as it is usually equipped with a bulb with integral lens producing a concentrated parallel beam of light. The auxiliary light source should be positioned ad-

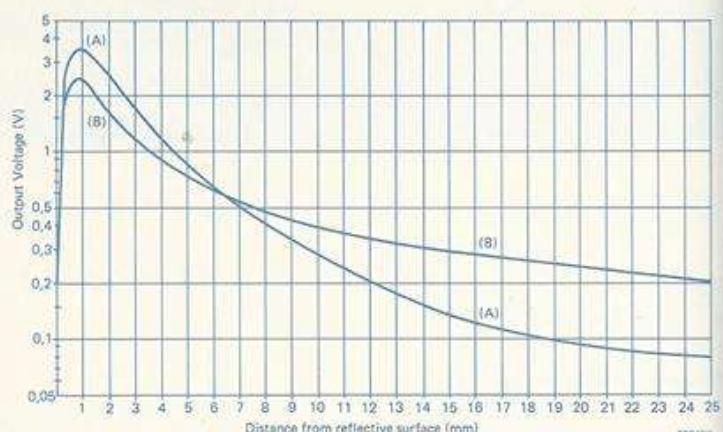


Fig.2. Typical output voltage of Photoelectric Tachometer Probe MM 0012 plotted against distance from a reflective surface; (A) a piece of ordinary white card, (B) a piece of 3M reflective sheet "Scotchlite 5270". Supply voltage 8 V

jacent to the MM 0012 so that its beam is projected in a path as close as possible to the MM 0012's infrared beam. In this way a satisfactory signal can be obtained at distances of 200 mm or more.

Should it be desired to use the MM 0012 for purposes other than triggering the B & K instruments also providing it with power (1623, 2976, 4912, 4913, 6302), a separate battery box can be made up. A double shielded BNC socket matching the plugs used on the connecting cable is available from B & K under part No. JJ 0315.

Longer cables can be made up using plug JP 0315.

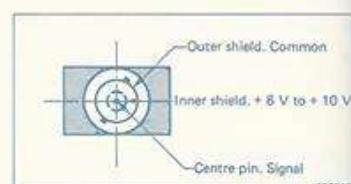


Fig.3. Rear view of Photoelectric Tachometer Probe MM 0012 showing double shielded BNC connector.

## Specifications MM 0012

**Transducer Type:**  
Combined infra-red light source and photo-sensor, fitted with infra-red filter.

**Sensitivity:**  
Non-calibrated, typical sensitivity shown in Fig.1  
Minimum: 100 mV at 10 mm distance from a flat white card.

**Polarity:**  
Positive for reflective surfaces

**Min. Load Impedance:**  
10 k $\Omega$

**Response Time:**  
200  $\mu$ s minimum for full output. Equivalent to a 10 mm long reflective surface passing at 50 m/s

**Operating Ambient Temperature:**  
-10°C to +50°C

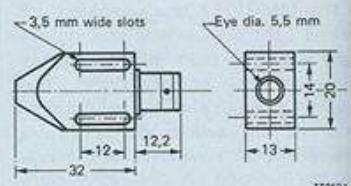
**Connector:**  
BNC with double shield (BNT). See Fig.3

**Cable:**  
AO 0158. 3 m long terminated both ends with double shielded BNC connectors (BNT)

**Power Supply:**  
+ 6V to + 10 V DC  
40 mA at 8 V  
+ on inner shield

**Accessories Included:**  
3 m Cable AO 0158

**Dimensions:**



**Accessories Available:**  
Double shielded BNC socket (BNT) ..... JJ 0315  
Reflective Tape (1 roll) ..... QA 0110

Karakteristika fotoelektrične tahometarske probe koja se koristi za sinkronizaciju vrtnje lista pile i stroboskopa: a) i b) (Brüel&Kjaer, 1983)