

# Optičko skeniranje grešaka drva

---

**Kašnar, Martin**

**Undergraduate thesis / Završni rad**

**2020**

*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:108:325345>

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

*Download date / Datum preuzimanja:* **2025-02-20**



*Repository / Repozitorij:*

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



**SVEUČILIŠTE U ZAGREBU**  
**ŠUMARSKI FAKULTET**  
**DRVNOTEHNOLOŠKI ODSJEK**

**PREDDIPLOMSKI STRUČNI STUDIJ**  
**DRVNA TEHNOLOGIJA**

**MARTIN KAŠNAR**

**OPTIČKO SKENIRANJE GREŠAKA DRVA**  
**ZAVRŠNI RAD**

**ZAGREB, RUJAN 2020.**

## PODACI O ZAVRŠNOM RADU

<b>AUTOR:</b>	Martin Kašnar 31.08.1997, Zagreb JMBAG: 0068230671
<b>NASLOV:</b>	Optičko skeniranje grešaka drva
<b>PREDMET:</b>	Tehnološka svojstva drva
<b>MENTOR:</b>	prof.dr.sc. Tomislav Sinković
<b>IZRADU RADA JE POMAGAO:</b>	doc.dr.sc. Tomislav Sedlar
<b>RAD JE IZRAĐEN:</b>	Sveučilište u Zagrebu – Šumarski fakultet Zavod za znanost o drvu
<b>AKAD. GOD.:</b>	2019./2020.
<b>DATUM OBRANE:</b>	18.09.2020.
<b>RAD SADRŽI:</b>	Stranica: 21 Slika: 12 Tablica: 1 Navoda literature: 21
<b>SAŽETAK:</b>	Suvremena prerada drva zahtijeva pristup drvu s ciljem maksimalnog iskorištavanja drva u kvalitativnom i kvantitativnom pogledu. Jedna od glavnih prepreka tome cilju su greške drva, koje su neizbježni nedostaci u rastu i razvoju stabla (čvorovi, pukotine, promjene boje, itd.). Potražnja za ekonomičnom i brzom proizvodnjom uz što veću iskoristivost sirovine dovela je do razvoja visokotehnoloških skenera koji raspoznaju površinu drvenih elemenata učinkovitije od ljudskog oka. U ovom će se radu dati pregled suvremenih metoda i opreme za prepoznavanje površine drva te njihove prednosti i nedostaci u skeniranju grešaka drva.



## IZJAVA O IZVORNOSTI RADA

OB ŠF 05 07

Revizija: 1

Datum: 18.9.2020.

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

---

*vlastoručni potpis*

*Martin Kašnar*

U Zagrebu, 18.09.2020.

# SADRŽAJ

<b>1. UVOD</b> .....	1
<b>1.1. Povijest optičkih skenera za drvo</b> .....	2
<b>2. CT SKENERI</b> .....	5
<b>2.1. Općenito o CT skenerima u drvnoj industriji</b> .....	5
<b>2.2. Princip rada CT skenera</b> .....	7
<b>2.3. Ekonomičnost 3D CT uređaja</b> .....	9
<b>2.4. Analiza ekonomičnosti 3D CT uređaja</b> .....	9
<b>2.5. Procjena ekonomskog povrata ulaganja u 3D CT skener</b> .....	11
<b>3. 3D LASERSKI SKENERI</b> .....	13
<b>3.1. Opis principa rada laserskih skenera</b> .....	13
<b>3.2. Generiranje i analiziranje slika</b> .....	15
<b>4. ZAKLJUČAK</b> .....	19
<b>5. LITERATURA</b> .....	20

## 1. UVOD

U prirodi stabla nikada nisu jednaka u smislu da njihova građa nije homogena. To je nepovoljno za vlasnike pilana koji bi htjeli koristiti homogene sirove materijale za proizvodnju proizvoda jednake kvalitete za sve njegove kupce. Pojavljuje se problem, kako uskladiti različita svojstva ulaznog drva i potražnje proizvoda s tržišta, a posebno kako to učiniti na što ekonomičniji način.

Drvo se razlikuje u svojoj geometriji i unutarnjoj kvaliteti. Maksimalne dimenzije raspiljenog drva ovise o deformacijama drva kao što su; zakrivljenost, čistoća debla, pravost debla, jedrina. Unutarnje greške poput kvrga, pukotina i trulež smanjuju cijenu proizvoda. Osnovni cilj piljenja drva je proizvodnja dasaka koje imaju što "čišću" površinu.

Proces piljenja je nepovratan; jednom kada raspilimo deblo, komad drva može biti ili prihvaćen ili odbijen. Ako proizvod bude odbijen zbog loše kvalitete, njegova vrijednost drastično pada. Također, piljenje jeftinih proizvoda iz drva visoke kvalitete je neekonomično. Rješenje ovoga problema je sortiranje drva.

U dosta slučajeva se sortiranje drva bazira na vizualnom pregledu nedostataka površine. Trupci se zatim raspoređuju u 10 do 30 razreda s obzirom na njihova svojstva. Svaki od tih razreda se zatim obrađuje kao jedna cjelina. Za očekivati je da je takva vrsta pregleda previše netočna. Iako čak i iskusan operator može odrediti mnogo o unutarnjoj kvaliteti trupca samo po izgledu, učestalost ljudskih grešaka je visoka. Po nekim istraživanjima (Usenius 1988) se je uspostavilo da je čak pola trupaca koje je pregledao čovjek krivo razvrstano.

S tim na umu, razgledavaju su druge opcije za sortiranje trupaca bazirano na informacijama o unutrašnjim greškama. Potencijalne tehnologije za nedestruktivno otkrivanje najviše se temelje na optičkoj detekciji gama zrakama i x-zrakama koje su dovoljno brze za oslikavanje trupaca u pokretu.

Ispravno ocjenjivanje bi dovelo do povećane količine prinosa, te samim time povećane ekonomske isplativosti prerade samog drva. Procjenjuje se da bi se

korištenjem takvih tehnologija vrijednost piljenog drva povećala za 7 % pa na više, kada bi nam unutarnji nedostaci drva bili poznati. Prva odluka koja se donosi za piljenje trupca je da li će se taj trupac koristiti za piljenje furnira ili za proizvodnju neke jeftinije građe. Točna procjena za piljenje furnira može deseterostruko povećati vrijednost trupaca. Točnost i objektivnost pregleda drva bila bi puno bolja kada bi se primijenila automatska detekcija unutarnjih grešaka drva.

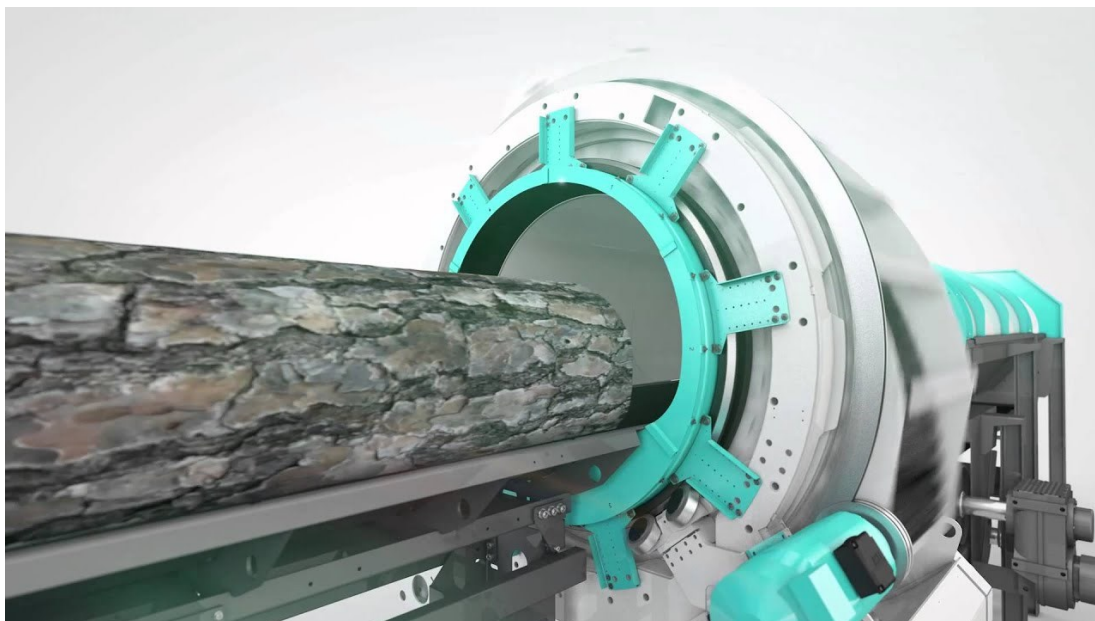
### **1.1. Povijest optičkih skenera za drvo**

Tijekom posljednjih nekoliko desetljeća pojavio se širok izbor tehnologija za optičko skeniranje drva. Među njima su sustavi za otkrivanje i razvrstavanje grešaka drva. Otkrivanje grešaka na građi od tvrdog drva kategorizira se na unutarnju i vanjsku detekciju. Unutarnja detekcija određuje greške u unutrašnjosti drva, a vanjska detekcija određuje greške na površini drva. Trenutno najdostupniji sistemi skeniranja su za vanjsku detekciju koji koriste laserski skener za sakupljanje grubih podataka profila drva. Ovi sistemi su tipično razvijeni za prikupljanje podataka o vanjskim svojstvima trupaca poput promjera, konusnosti, zakrivljenosti i duljine kod mekog drva, (tj. bor, jela, smreka, itd.).

Većina optičkih sustava za prepoznavanje grešaka radi na sličnom principu rada. Nakon što se dobiju podaci o obliku drva, odabere se prethodno generiran oblik rezanja ili predložak koji najbolje odgovara drvu kako bi se dobio najoptimalniji oblik drva iz kojeg možemo izvući najviše kvalitetnog materijala. Tada optimizacijski sustavi koriste te informacije o profilu da što optimalnije namjeste nosač s obzirom na pilu, te radnici na stroju mogu donositi odluke prikladno dobivenim informacijama.

Postoje razne metode prepoznavanja unutarnjih grešaka drva koje se temelje na principu X-zraka/CT (računalna tomografija), rendgenska tomosinteza X-zrakama, MRI (magnetska rezonanca), mikrovalno skeniranje, ultrazvučno prepoznavanje, i pojačano prepoznavanje utora redovitih rendgenskih slika. Iako te metode, koristeći CT podatke i razne računalne algoritme, pružaju točne podatke o unutarnjim greškama, te metode ipak nisu dospjele u široku komercijalnu uporabu. Kao razlog toga se smatra

cijena sustava na principu CT / X-zraka, koja je prevelika za mnoge pilane, posebno manja postrojenja i pilane srednje veličine. Također lakše je i jeftinije instalirati i održavati vanjski laserski sustav skeniranja nego rendgenski / CT sustav radi složenosti samog sustava. Vanjski sustavi laserskog skeniranja imaju potencijal da se značajno poboljša volumen i vrijednost proizvedenih ploča, te da se izbjegnu nedostaci rendgensko / CT i sličnih sustava.



**Slika 1.** CT skener za trupce (Izvor: <https://microtec.eu/en/catalogue/products/ctlog>)

Tradicionalno, prije piljenja trupca, provodi se procjena njegove kvalitete, obično vizualnim pregledom radnika koji je obučen za to. Takav postupak procjene je prilično subjektivan jer ovisi u potpunosti o prosudbi radnika i o njegovim sposobnostima. Prisutnost i mjesto oštećenja smanjuje kvalitetu i vrijednosti drva. Zapravo, razlika između trupaca visoke i niske kvalitete je određena prema vrsti grešaka, učestalosti, veličini i mjestu nastanka greške. Iako su greške drva razvrstane kao vanjske ili unutarnje, one su usko povezane jedne s drugim jer vanjski nedostaci obično potječu od unutarnjih nedostataka koji se protežu sve do srca drva. Stoga se vanjske greške mogu smatrati vanjskim pokazateljima unutarnjih grešaka.



Možemo zaključiti da se proizvodnja kvalitetnog piljenog drva može puno poboljšati uvođenjem automatizacije kod pronalaženja grešaka drva. Nabrojali smo različite tehnologije koje nam pri tome pomažu no u današnje vrijeme se najviše koriste dvije tehnologije. To su tehnologija CT skenera (računalna tomografija), i tehnologija laserskih skenera.

## 2. CT SKENERI

### 2.1. Općenito o CT skenerima u drvnoj industriji

CT skeneri su najnaprednija tehnologija koja se koristi za otkrivanje unutarnjih grešaka drva. Takvi skeneri rade na istom principu rada kao i skener na računalne tomografije u medicini. Što se tiče parametara, oni su prilagođeni za skeniranje trupaca na industrijskoj razini rada, tj. velikom brzinom kako bi se osigurala ekonomska isplativost tehnologije. Takvi skeneri nisu razarajući i primjenjuju se na piljenom drvu prije nego što dođu do faze obrade. Skeniranje pruža 3D model određenog reza i daje informaciju o kvrgama, srži i pukotinama. Uz CT skenere se koristi i optimizacijski softver koji procjenjuje stečene podatke.

Prethodnici CT skenera su tomografski skeneri koji se u medicini koriste od 1972. Tehnologija je značajno unapređena i usavršena u posljednjim godinama. Prirodno. Postoji sklonost primjeni i računalne tomografije i kod drugih, uglavnom industrijskih, područja. Koriste se i kod provjere i kontrole raketnih i mlaznih motora. Da bi takva tehnologija imala primjenu i u drvnoj industriji, ona mora imati rješenja za nekoliko pitanja u vezi sa zdravljem i sigurnošću, zračenja, automatizacije, brzine, stabilnosti i pouzdanosti pri radu u prašnjavom i prljavom okruženju, u području rada s vibracijama i u lošim vremenskim uvjetima. Učinkovitost i veličina cijelog sustava je također bitna. Nekoliko autora je pokušalo pronaći odgovore na ova pitanja.

Trenutno istraživanje i razvoj otkrivanja nedostataka drva usredotočeno je na poboljšanje algoritama i ubrzanje njihove identifikacije. Štoviše, koristi se tehnologija paralelne obrade (Thomas i Thomas 2013). Revidirani algoritam obrađuje podatke s većom rezolucijom i u kraćem razdoblju. Veće performanse znače bolju analizu i preciznije rezultate otkrivanje nedostataka.

Thawornwong i suradnici (2003) analizirali su primjenu prikupljenih podataka iz CT skenera u odnosu s njihovom razlikom. Trodimenzionalna razlučivost je rezultat broja ukupnih piksela, debljine skeniranja i učestalosti skeniranja. Moguće je koristiti

skeniranje relativno velikih debljina (3,1 mega piksela, omogućuje debljinu skeniranja od 5 mm) bez značajnog smanjenja u maksimizaciji profita.

Daljnja automatizacija otkrivanja grešaka ovisi o prikupljenim rezultatima testirani algoritama. Brening (2014) je istraživao točnost procjene postignute u automatiziranim tehnologijama otkrivanja nedostataka drva. Pogreške u veličinama kvrga ima najveći utjecaj na maksimizaciju prinosa. Međutim, netočnost u položaju kvrga imala je beznačajan utjecaj. Autor je također proučavao vezu između izgleda drvenih površina nastalih softverskom optimizacijom i ljudska percepcija takvog izgleda. On je zaključio da generirani modeli odgovaraju ljudskoj percepciji izgleda površine.

Računalna tomografija za određivanje gustoće drva (Freyburger i sur. 2009) koristi se u modernim skenerima. Njihova su se istraživanja usredotočila na korelaciju između Hounsfieldove ljestvice i gustoće drva. Skup podataka o kalibraciji se sastojao od uzoraka tropskog drveća koje su predstavljale veliki raspon gustoća u rasponu između  $133 \text{ kg/m}^3$  i  $1319 \text{ kg/m}^3$ . Nakon toga su ti podaci trebali biti potvrđeni pomoću neovisnog skupa podataka (uglavnom umjerenih vrsta drveća). Postignuta korelacija je bila 0,999.

Krähenbühl i suradnici (2012) bavio se otkrivanjem kvrga u 3D tomografskim slikama. Predložili su algoritam usmjeren na automatsko otkrivanje i analizu kvrga na temelju određivanja histograma skeniranih slika trupaca. To je razlika standardnih algoritama zasnovanih na modelima deformacija drva. Microtec CT skeneri su najčešće korišteni u pilanama posljednjih godina.

Implementacija CT skenera u industriju bila je spriječena u prošlosti zbog nekoliko problema:

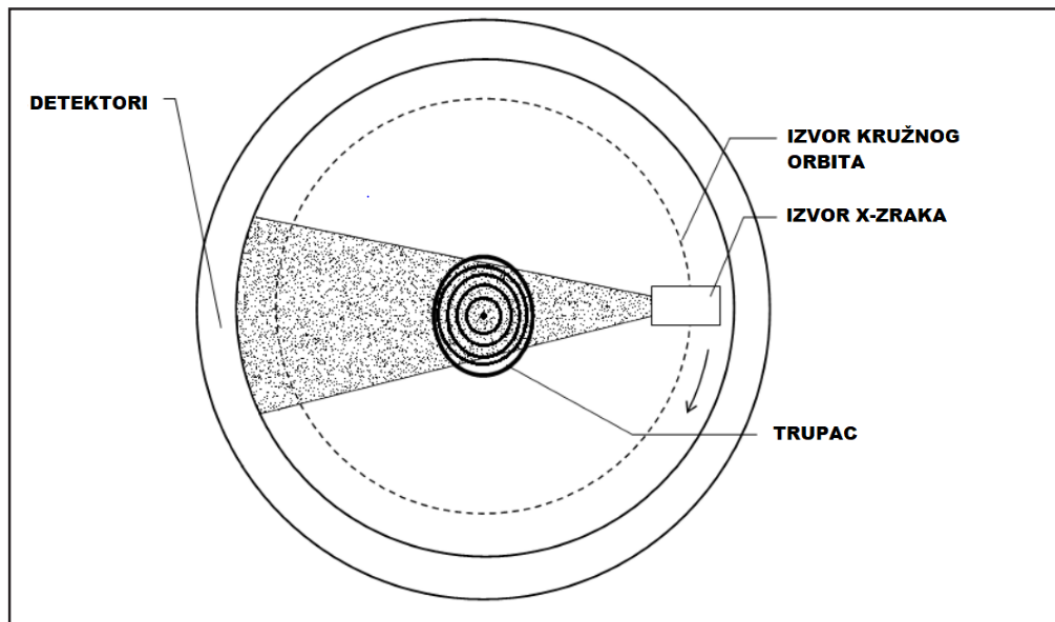
- (a) potreba za velikom snagom računalnih GPU procesora koji su potrebni za korištenje integrativnog algoritma koji pružaju visoku rezoluciju;
- (b) složenost senzorskih polja i potreba za velikom snagom Röntgenovog zračenja koje je sposobno proći kroz debele trupce;

(c) osiguravanje elastičnosti rotacije vrlo velikog pokretnog postolja brzinom od 180 okretaja / min.

U posljednjih nekoliko godina riješeni su ti tehnološki problemi. Vodeći proizvođači CT skenera za trupce su marke Microtec (Giudiceandrea i sur. 2011), koji su postupno implementirani u pilane u posljednjim godinama.

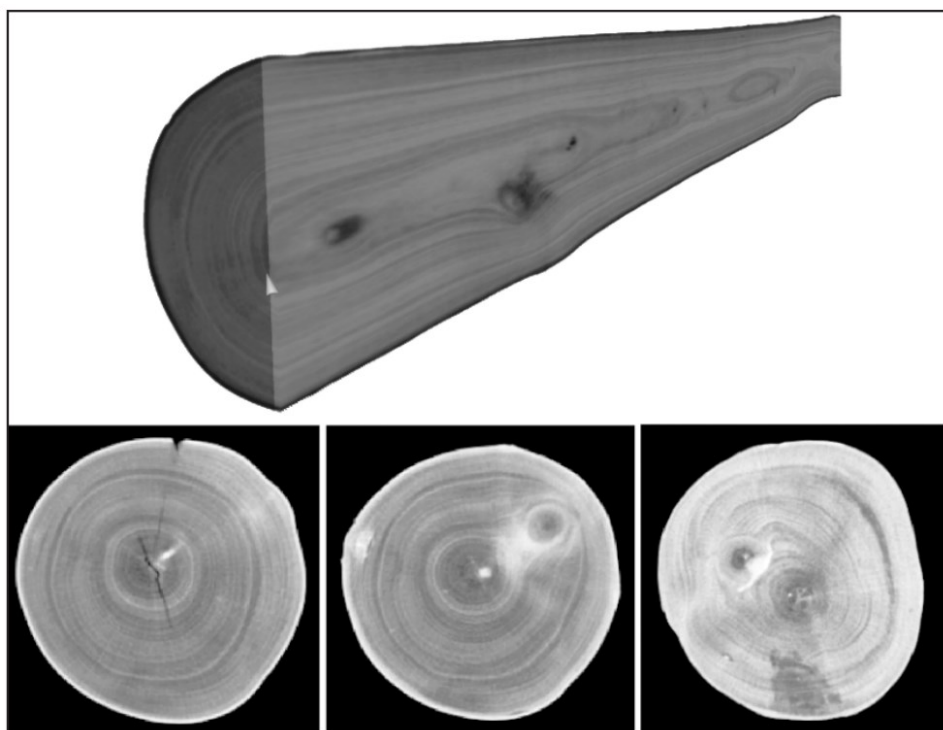
## 2.2. Princip rada CT skenera

Prilikom skeniranja trupaca potrebno je koristiti tehnologiju spiralne tomografija. Skeniranje se sastoji od nekoliko koraka: skenirani predmet kontinuirano klizi u kružnom orbitu izvora, s jedne strane je izvor X-zraka, a s druge strane set detektora. Svaka točka u presjeku dobiva vlastitu vrijednost apsorpcije X-zraka prema izračunatom procesu (Slika 2). Prema vrijednosti apsorpcije, ta se vrijednost pretvara u sliku i vizualizira u nijanse sive. Prikupljeni podaci zatim se koriste za rekonstrukciju presjeka na potrebnim mjestima. Odnos između duljine pomaka u jednoj rotaciji i debljini reza naziva se korak. Većom vrijednošću koraka se može pokriti i veća površina skeniranog trupca, ali istodobno se kvaliteta dobivene slike smanjuje (Slika 3).



**Slika 2.** Shematski prikaz principa skeniranja trupaca (Izvor: Gergel T. i sur. 2019)

CT skener obično se nalazi u standardnom spremniku od 6 metara. Ulaz i izlaz trupaca je omogućen pokretnim trakama. Duljina trupaca obično je ograničena na 10 m, ali teoretski je neograničena. Maksimalna brzina ulaska trupaca iznosi 60 m/min. Promjer trupaca ograničen je na 650 mm za meko drvo i 550 mm za tvrdo drvo. Radna temperatura kreće se od -30 do 45 °C (Gazo & Chang 2010).



**Slika 3.** 3D model skeniranog trupca i njegovi presjeci (Izvor: Gergel T. i sur. 2019)

RTG cijev je izvor zračenja. Stoga, zaposlenici i okoliš moraju biti zaštićeni u skladu sa zakonodavstvom države u kojoj su instalirani. Doziranje u blizini takvog uređaja je ograničeno na 10  $\mu\text{Sv/h}$ . Ova je vrijednost zajamčena na udaljenosti od najmanje 0,1 m od površine uređaja. Uređaj je osiguran sigurnosnim vratima povezanim sa sigurnosnim uređajem. Ako se probije sigurnosna zona, izvor X-zraka će se ugastiti.

### 2.3. Ekonomičnost 3D CT uređaja

Analiziranjem rezultata istraživanja spomenutih u Tablici 1., predložen je pregled ekonomskog povrata ulaganja u 3D CT skener. Razvoj poboljšanih algoritama za otkrivanje nedostatka drva i naknadna optimizacija uzorka trupaca su rezultati upotrebe skenera u preradi drva koja rezultira povećanom dobiti. Točne uvjete koji su imali autori koji su proizveli rezultate tih istraživanja su nepoznati. Uglavnom su korišteni nacionalni standardi ili standardi obrade drva.

**Tablica 1.** Tablica profita dobivena od različitih istraživanja (Izvor: Gergel T. i sur. 2019)

Author of research	Year	Test set [pcs]	Profits [%]
Fredriksson	2015	47 pine	11.3
Rinnhofer et. al.	2003	30 spruce	23.7
Skog	2013	74 spruce	18
Stängle et. al	2016	19 beech	24
Berglund et. al.	2013	408 pine and spruce	16
Hodges	1990	—	17.5
Schmoldt	2000	30 spruce	18
Anonymus	2015	Coniferous and non-coniferous	8

### 2.4. Analiza ekonomičnosti 3D CT uređaja

Troškovi povezani s implementacijama CT skenera su temeljeni na još uvijek postojećoj tehnologiji tvrtke MICROTEC. Ukupni troškovi za ugradnju iznose 2,5 milijuna eura. Zbroj uključuje CT skener, softversku licencu, isporuku, montažu, transportnu traku od 10 m, softverska podrška za 100 dana i puštanje uređaja u rad. Profitabilnost pilane – drvo četinjača: potencijal ekonomskog povrata ulaganja predložen je u tri modela prema opsegu proizvedenog drva četinjača: male pilane s proizvodnjom drva do 50 000 m<sup>3</sup>, srednje pilane s proizvodnjom drva do 100 000 m<sup>3</sup> i velike pilane proizvodnja drva do 200 000 m<sup>3</sup>.

Profitabilnost pilane – drvo listače: Slično tome, što se tiče građe od listača, bila su tri modela podijeljene na sljedeći način: male pilane s proizvodnjom drva do 5 000 m<sup>3</sup>, srednje pilane s proizvodnjom drva do 20 000 m<sup>3</sup> i velike pilane s proizvodnjom drva do 50 000 m<sup>3</sup>.

Cijena drvene građe četinjače bazirana na istraživanju tržišta postavljeno je na 163,51 eura po m<sup>3</sup> (National Forest Centre Newsletter, 2/2017). Na temelju istraživanja (Tablica 1.) zaključeno je da primjena CT skenera povećava procjenu trupaca četinjače za 15 %.

Cijena drvene građe listača bazirana na istraživanju tržišta postavljeno je na 200 eura po m<sup>3</sup> (National Forest Centre Newsletter, 2/2017).

Na temelju istraživanja (Tablica 1.), zaključeno je da skeniranje CT skenerima povećava cijenu trupaca listača za 23 %. Te su vrijednosti korištene za izračun razdoblja povrata.

U izračunu se koristi vrijednost bruto marže. Sastoji se od 16 % kod prerade drvene građe četinjača i 45 % kod listača . Porez na dohodak 25 % (prosjek EU) nije uzet u obzir. Nakon toga su se troškovi oduzeli. Godišnja dobit izračunata je prema Hodges i suradnici (1990).

$$AVI = \sum_{i=1}^{12} P_i \times SM \times VYI$$

Gdje je: *AVI* – Godišnji porast vrijednosti,

*P<sub>i</sub>* – Cijena razreda građe *i*,

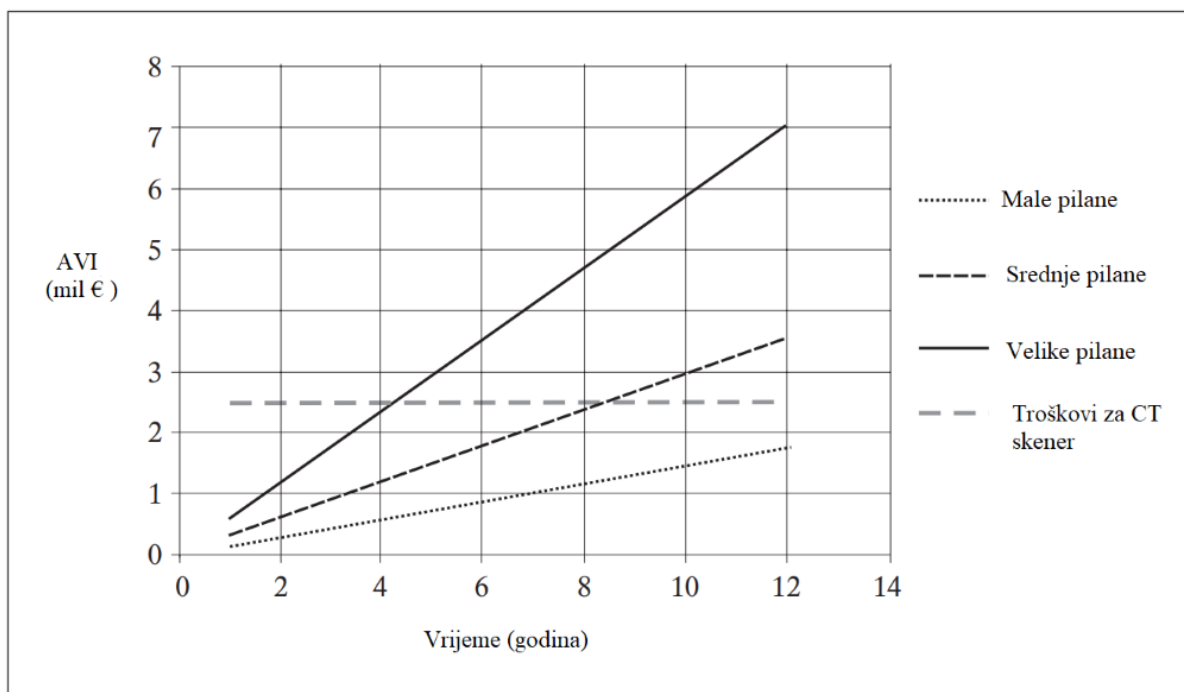
*SM* – Veličina pilane (godišnja proizvodnja),

*VYI* – Postotno povećanje vrijednosti profita.

## 2.5. Procjena ekonomskog povrata ulaganja u 3D CT skener

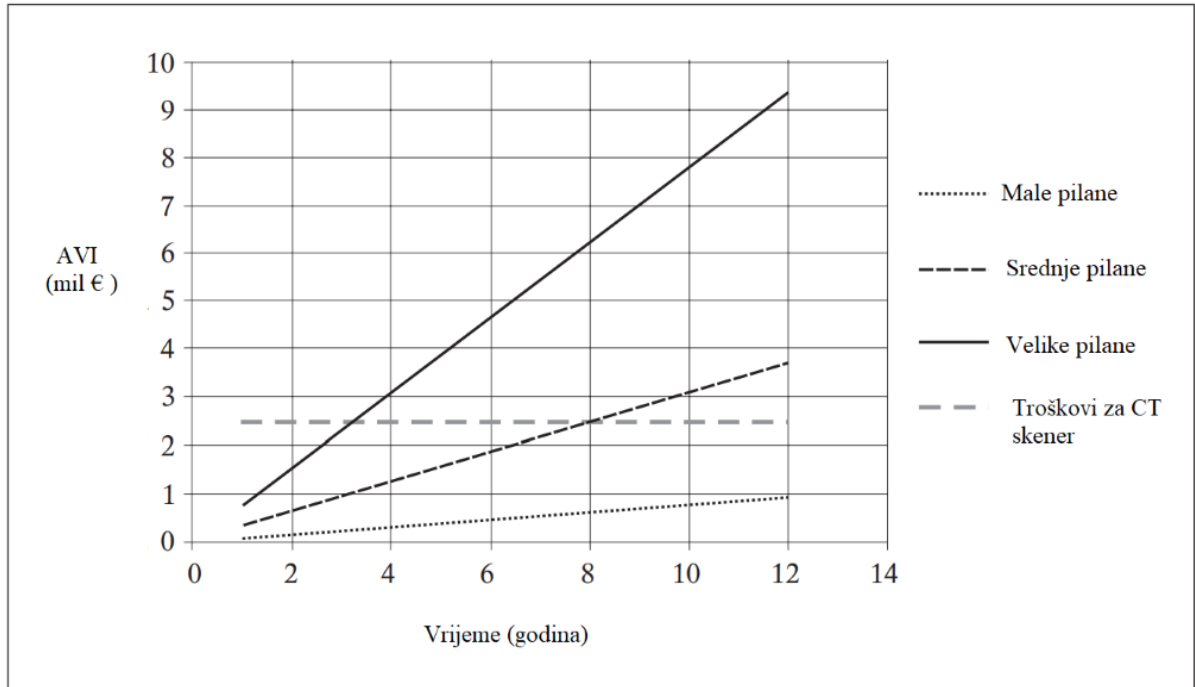
Procjena ekonomskog povrata ulaganja u 3D CT skener prikazana je grafički (Slika 4. i Slika 5.) prema njihovim odgovarajućem prikazu načina piljenja. Točka na mjestu gdje se krivulje križaju s izlomljenom krivuljom (troškovi za CT skener) predstavlja procijenjeno razdoblje povrata investicije u godinama.

Drvoprerađivačka industrija sektor je s dužim inovacijskim ciklusom i stoga je prihvatljivo vrijeme povrata 8 ili čak 10 godina. Rezultati pokazuju da je ulaganje u CT skener za trupce isplativo za srednje i velike pilane. Kod obrade drva četinjača, za velike pilane razdoblje povrata je u rasponu od oko 4 godine, a za srednje pilane je to razdoblje u rasponu od 8 godina..



**Slika 4.** Razdoblje povrata ulaganja u CT skener za male, srednje i velike pilane (drvo četinjača) (Izvor: Gergel T. i sur. 2019)





**Slika 5.** Razdoblje povrata ulaganja u CT skener za male, srednje i velike pilane (drvo listača) (Izvor: Gergel T. i sur. 2019)

Ulaganje kod malih pilana bi bilo profitabilno kada bi se vrijednost trupaca povećala za 25 %. Što se tiče obrade drva listača, ulaganje u CT skener također je isplativo za srednje i velike pilane. Rok povrata za velike pilane je otprilike 3 godine, a za srednje pilane 8 godina. Ako se vrijednost trupaca povećala za 18 %, ulaganje u CT skener, za male pilane, bilo bi isplativo sa razdobljem povrata od 10 godina.

Ako postoji potreba da se uzme u obzir porez na dohodak, potrebno je pomnožiti razdoblje povrata s koeficijentom 1.25. U ovom se prikazu vrijednosti to zanemaruje jer otpisi teoretski učinkovito smanjuju poreznu osnovicu tijekom razdoblja povrata.

CT skeniranje je isplativije za preradu listača nego za preradu četinjača. To može značiti da postoji prilika i konkurencija za prednost kod prerade drva na tržištu. Promjena tržišnih uvjeta je uz pretpostavku da kupci uglavnom preferiraju drvo četinjače.

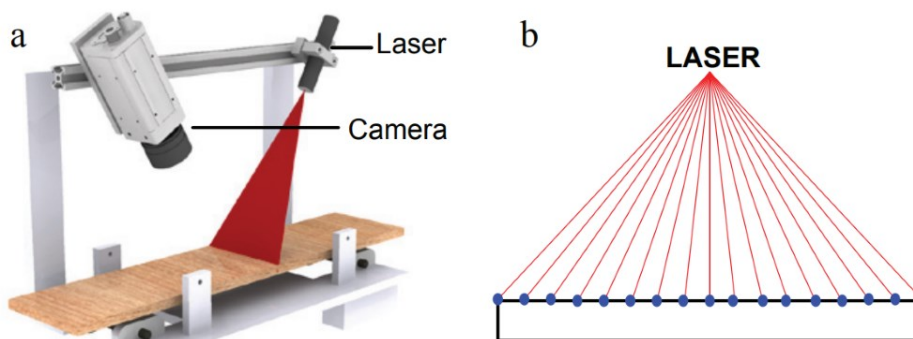
### 3. 3D LASERSKI SKENERI

Još jedna tehnologija koja se koristi u današnjim pilanama je tehnologija 3D laserskih skenera. Posebna prednost ove tehnologije je ta da omogućuje generiranje slika u boji koje omogućuju puno bolju obradu i analizu slike, te lakše pronalaženje grešaka na građi. Nedostatak ove tehnologije je to što 3D laserski skeneri ne mogu doprijeti u dubinu drva, što znači da oni omogućuju skeniranje samo površine drva.

#### 3.1. Opis principa rada laserskih skenera

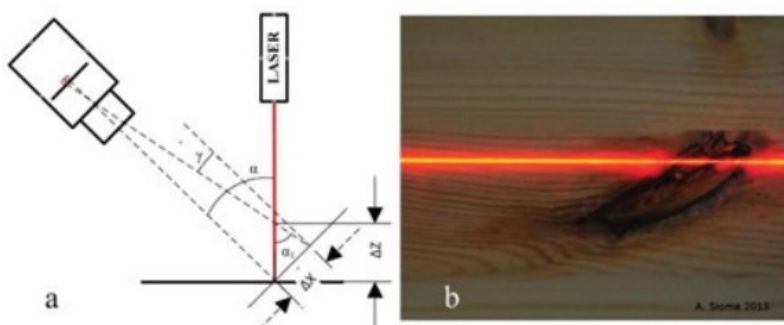
Postoje različite vrste i veličine laserskih skenera, no gotovo svi rade na sličan princip rada. U osnovi se sustav 3D laserskih skenera sastoji od odašiljača lasera i od senzora (kamere) koji prikuplja informacije iz laserskih zraka koje se odbiju od površine drva. Zatim računalo izračuna male razlike u duljinama laserskih zraka, a zatim generira sliku površine skeniranog predmeta s obzirom na prikupljene informacije.

Konstrukcija 3D slike temelji se na analizi 2D slike koja se snima uz pomoć kamere koje promatraju lasersku liniju trasiranu na površini (Slika 6.a)). Zatim se primjenjuje metoda laserske triangulacije (LTM) za određivanje visina svih točaka koje čine visinu profila (Slika 6.b)) duž laserske linije. Spajanje grupe profila omogućuje nam izradu slike 3D površine drva.



**Slika 6.** a) Princip postavljanja kamere i lasera. b) Raspored mjernih točaka na predmetu koji se skenira. (Izvor: Sioma A. 2014.)

Greške drva mjere se geometrijom 3D sustava prikazanog na slici 7.a), gdje je senzor vidnog sustava smješten pod kutom od  $90-\alpha$  u odnosu na mjernu površinu. Laserska ravnina okomita je na ispitivanu površinu i postavljena pod kutom  $\alpha$  relativno na optičku os kamere (Slika 7.a)). Visina profila određena na temelju analize slike laserske crte odgovara poprečnom profilu. Ovaj profil je promatran sustavom vida postavljen pod kutom od  $90$  (Slika 7.a)).

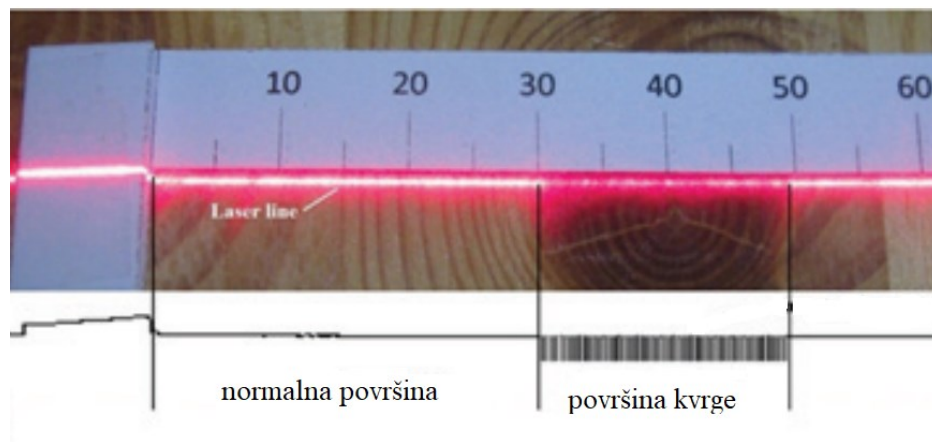


**Slika 7. a)** Postavljanje sustava vida, **b)** Slika linije projicirane na površinu drva  
(Izvor: Sioma A. 2014.)

Zbog toga je potrebno redom pretvoriti geometriju presjeka vidljivog kameri da se dobije stvarni presjek. Svaki profil koji je određen na ispitivanoj površini je opisan s jednodimenzionalnom matricom (Slika 7.b)). Sadrži skup vrijednosti koji definiraju visinu za mjerne točke određene duž laserske crte vidljive na ispitivanoj površini. Točke koje definiraju visinski profil ocrtni su rezolucijom koja ovisi o korištenoj postavci, o optičkom sustavu koji se primjenjuje i razlučivost senzora vidnog sustava. Kao rezultat promjene visine predmeta osvjetljenog laserskom linijom, slika ove linije pomiče se na vidu senzora sustava (Slika 7.a)). Određivanje razlučivosti sustava 3D vida sastoji se od određivanja tri komponenta razlučivosti za svaku os koordinatnog sustava. Za os Z, to se sastoji u određivanju minimalne promjene visine predmeta, definirane parametrom  $\Delta Z$ , pri kojem je moguće promatrati kretanje laserske linije za točno jedan red piksela na senzoru (Slika 7.a)). Na ravnini paralelnoj s površinom senzora određena je

rezolucija  $\Delta X$  koja se nalazi na osi X. Rezolucija  $\Delta Y$  duž Y os, definirana je kao udaljenost između naknadno dobivenih slika visinskog profila za istraženi predmet.

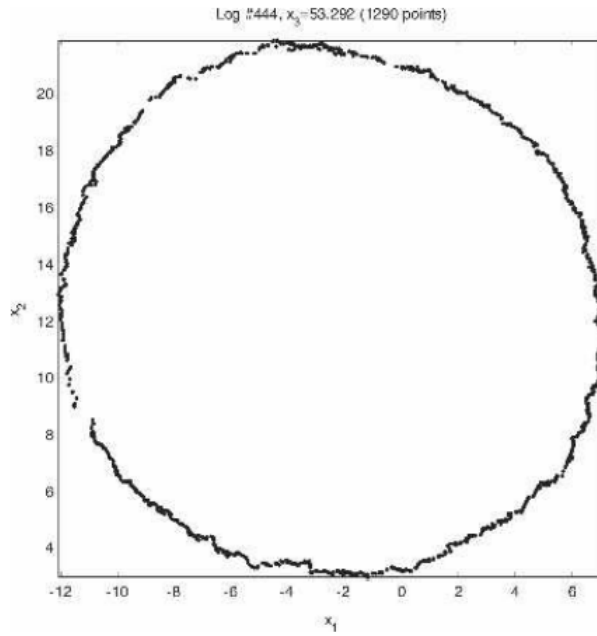
Slika 8. prikazuje sliku drva s laserskom linijom projiciranom na površinu, kao i linijsku sliku koju bilježi računalo preko senzora. Generiranje slike raspona zahtijeva precizno mjesto položaja laserske crte vidljive na slici. Određuje se položaj crte na temelju analize intenziteta u svakom stupcu slike.



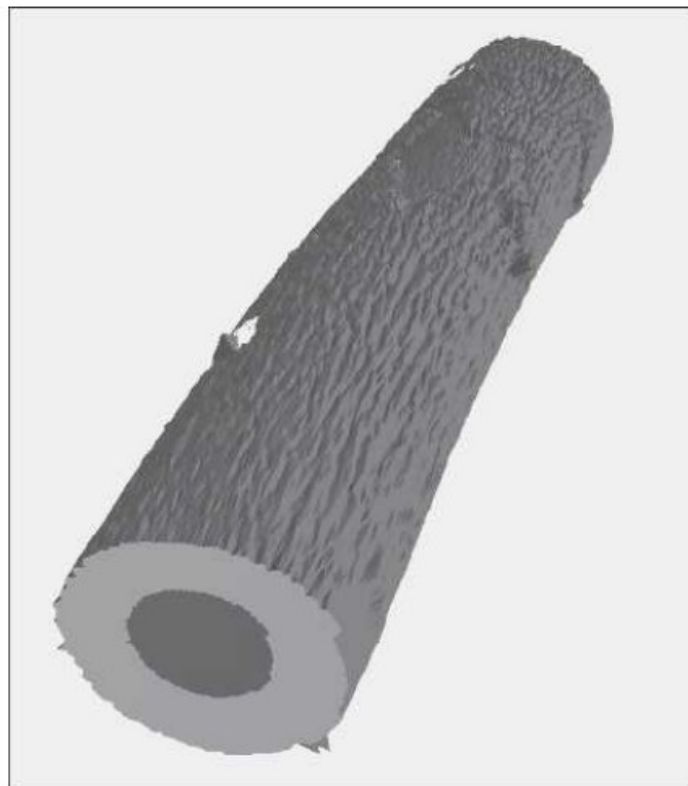
**Slika 8.** Izgled skenirane površine i generirana slika površine (Izvor: Sioma A. 2014.)

### 3.2. Generiranje i analiziranje slika

Kada bi se sada za svaki novi pomak za jedan red piksela snimala i generirala nova crta izgleda površine, zatim kada bi se te sve snimke uz pomoć računalnog algoritma spojile u jednu sliku, dobili bi računalo generiranu 3D sliku izgleda profila spojenu iz više 2D slika. Ako skeniramo površinu trupca (Slika 9.) možemo iz više slika presjeka trupca spajanjem slika generirati cijeli 3D model trupca (Slika 10.).

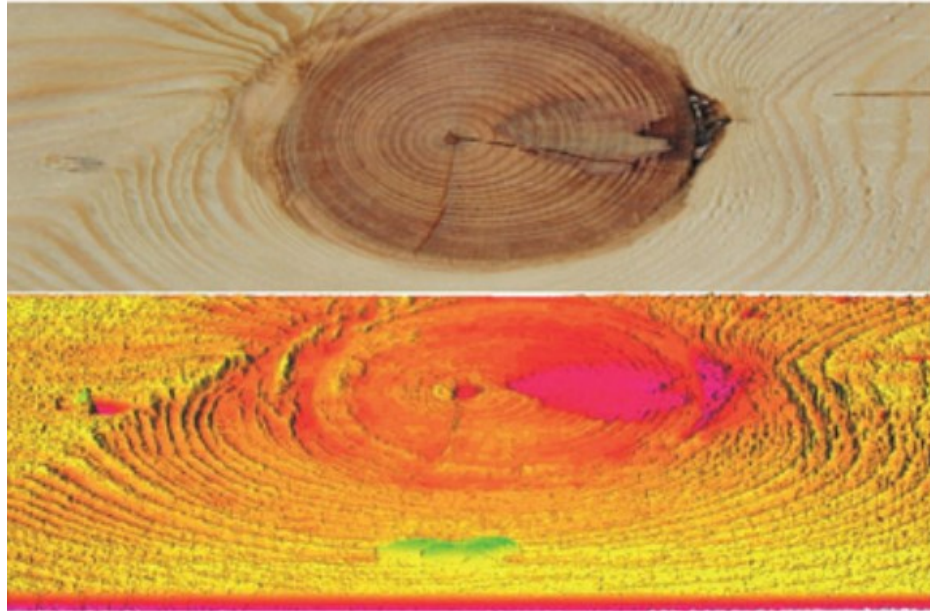


**Slika 9.** Slika jednog prijelaza skenera po trupcu (Izvor: Thomas L, 2007)



**Slika 10.** 3D generirana slika trupca nakon spajanja (Izvor: Thomas L, 2007)

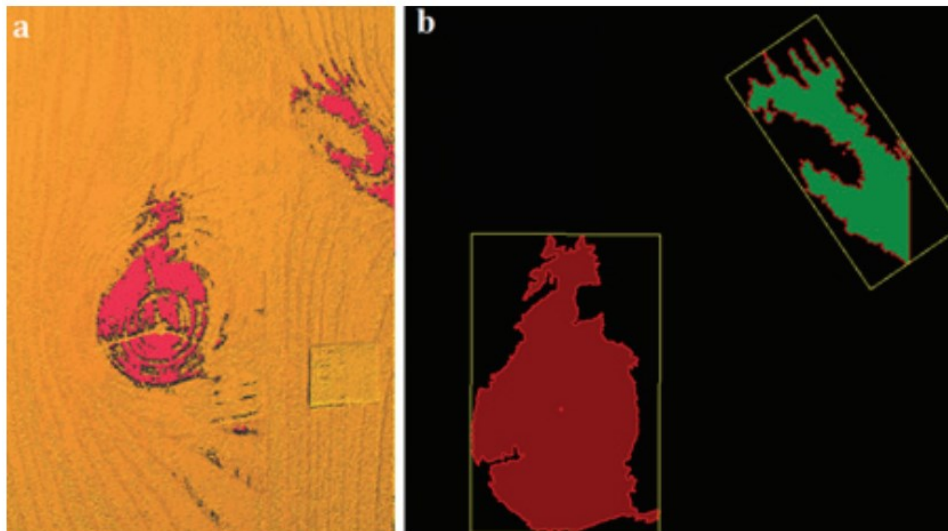
Isto tako iz više slika površine drvenog elementa (Slika 11.) možemo generirati prilično detaljnu sliku na kojoj se vide svi bitni elementi na drvu poput: prijelaza godova, promjena boja, napada gljivica, kvrga (srasle, nesrasle, trule itd.).



**Slika 11.** Skenirani element u računalnom prikazu (Izvor: Sioma A. 2014.)

Računalni algoritmi zatim koriste programirane parametre za izračunavanje te prikazivanje točne lokacije grešaka na drvu. Algoritam koristi visinski profil površine (kao što je prikazano na Slici 8.) da bi odredio točne prijelaze sa “čistog” drva na kvrgu ili na neku drugu vrstu greške.

Uz to može biti i niz parametara potrebnih za parametarski opis greške određene na 3D slici (Slika 12.). To može uključivati: mjesto središta greške, širinu i duljinu pravokutnika opisanih na grešci, parametre koji opisuju oblik (npr. ovalnost i opseg). Utvrđene vrijednosti omogućuju parametarski opis svakog nedostatka i korišteni su za definiranje mjesta crte duž koje je određen visinski profil.



**Slika 12.** Lokacija kvrga dobivena analizom 3D slike (Izvor: Sioma A. 2014.)

Greška se procjenjuje i klasificira na temelju utvrđenih parametara. Nedostaci su klasificirani na temelju pretpostavljenih parametara koji definiraju njihove prihvatljive dimenzije koje pripremi procesni inženjer. Odabrani parametri koji opisuju kvрге, npr. centralno mjesto i dimenzije područja čvora prenose se na računalni program (kontroler) koji radi u kontrolnom sustavu stroja. Ovaj kontroler izvodi postupak uklanjanja ili označavanja nedostataka, koristeći sustave za pokretanje instalirane na stanici za kontrolu proizvoda.

Princip rada svih laserskih skenera je u osnovi isti razlika je jedino u tome kakav program koristimo za generiranje slike. Skoro svake godine izlaze nove iteracije programa koje donose poboljšanja u području korisnosti i iskoristivosti laserskih skenera. Donedavno su slike laserskih skenera bile crno-bijele dok nam danas boje daju jednu novu dubinu u pronalaženju grešaka drva.

## 4. ZAKLJUČAK

U ovom radu razmotrena je činjenica da je sortiranje drvene građe potrebno provoditi u drvnoj industriji zbog povećanja kvalitativne iskoristivosti drva. Isto tako došlo se do zaključka da čovjek ne može sam kvalitetno sortirati građu bez grešaka te da mu je pri tome potrebna pomoć automatizacije. Kroz vrijeme su provođena mnoga istraživanja u potrazi za tehnologijama za pronalaženje grešaka u drvu, odnosno tehnologije koje to mogu raditi brzo i efikasno, te da te tehnologije budu financijski izvedive. Zaključak tih istraživanja je da su u tome najbolje tehnologije CT skenera i laserskih skenera. Te dvije tehnologije se dosta razlikuju u izvedbi, korištenju, rezultatima, a najviše u cijeni. Na kraju treba spomenuti da odluka nekog pogona da koristi tehnologiju CT skenera ili laserskih skenera ovisi uvelike o potrebama proizvodnje. Da li se radi o malom pogonu koji nema veliku proizvodnju, što znači da bi se takav pogon mogao odlučiti za jeftiniji laserski skener, ili da li se radi o velikom pogonu koji ima visok nivo proizvodnje koji zahtjeva veliku brzinu rada, pa će takav pogon odabrati tehnologiju CT skenera.



## 5. LITERATURA

- Andrzej Sioma, 2014, Assessment of wood surface defects based on 3D image analysis, Wood research 60(3): 2015, str. 330 – 350.
- Breinig, L., 2014: CT log scanning for sawing optimization with regard to the aesthetic quality of wood. Freiburg, str. 1–57.
- Freyburger, C., Longuetaud, F., Mothe, F., Constant, T., Leban, J.-M., 2009: Measuring wood density by means of X-ray computer tomography. Annals of forest science, 66: str. 804–804.
- Gergel, Tomáš & Bucha, Tomas & Gejdoš, Miloš & Vyhnáliková, Zuzana, 2019, Computed tomography log scanning, High technology for forestry and forest based industry. Str. 51-59. DOI: <https://doi.org/10.2478/forj-2019-0003>.
- Giudiceandrea, F., Ursella, E., Vicario, E., 2011: A high speed CT scanner for the sawmill industry. 17th International Non-Destructive Testing and Evaluation of Wood Symposium. Šopron, Mađarska, Sveučilište Zapadne Mađarske, str. 105–112.
- Hallett, J., 2001, Scanning and imaging identify wood flaws, URL: <https://www.vision-systems.com/non-factory/scientific-industrial-research/article/16739053/scanning-and-imaging-identify-wood-flaws> , 1. travanj 2001
- Hodges, D. G., Anderson, W. C., McMillin, C. W., 1990, The economic potential of CT scanners for hardwood sawmills. Forest Products Journal, 40: str. 65–69.
- Krähenbühl, A., Kerautret, B., Rennesson, I. D., Longuetaud, F., Mothe, F., 2012: Knot Detection in X-Ray CT Images of Wood. U: ISVC – 8th International Symposium on Visual Computing – 2012, srpanj 2012, Rethymnon, Grčka, 7432: str. 209–218.
- M. Adel, D. Wolf, R. Vogrig and R. Husson, 1993, Evaluation of colour spaces in computer vision application of wood defects detection, Proceedings of IEEE Systems Man and Cybernetics Conference - SMC, Le Touquet, France, Str. 499-504 vol.2, DOI: 10.1109/ICSMC.1993.384922.
- Peng, Zhao & Yue, Li & Xiao, Ning, 2016, Simultaneous Wood Defect and Species Detection with 3D Laser Scanning Scheme, International Journal of Optics, Str. 1-6. DOI: 10.1155/2016/7049523.
- Palatova, Petra, 2019, Value added in sawmilling industry in the Czech Republic. Central European Forestry Journal. 65. Str. 60-65. DOI: 10.2478/forj-2019-0002.
- Pietikäinen, M., 1996, Detection of knots in logs using x-ray imaging.

Pham, D. & Alcock, R.J., 2003, Smart Inspection Systems: Techniques and Applications of Intelligent Vision. Str. 1-221.

Sioma, Andrzej, 2012, Assessment of cutting-edge defects using a vision method Acta Mechanica et Automatica. 6. str. 57-62.

Skog, Johan & Oja, Johan, 2009, Heartwood diameter measurements in Pinus 2009, Heartwood diameter measurements in Pinus sylvestris sawlogs combining X-ray and 3D dimensional scanning. Scandinavian Journal of Forest Research. 24. Str. 182-188. DOI: 10.1080/02827580902806585.

Thawornwong, S., Occena, L. G., Schmoldt, D. L., 2003: Lumber value differences from reduced CT spatial resolution and simulated log sawing. Computers and Electronics in Agriculture, 41:23–43.

Thomas, R. E., Thomas, L., 2013: Using parallel computing methods to improve log surface defect detection methods., 18th International Nondestructive Testing and Evaluation of Wood Symposium, str. 196–205

Thomas, L., Mili, L., Thomas, E., Shaffer, C., 2005, Defect detection on hardwood logs using laser scanning, Wood and fiber science, listopad 2006, V. 38(4)

Usenius, A. (1988). Optimizing models for the sawmilling industry. Finnish Trade Review, (2), str. 42-43.

\*\*\*, 2019, LMI Technologies – Optimization in the Lumber Industry -3D Laser Scanning URL: <https://internationalforestindustries.com/2019/11/01/42446/>, 1. studeni 2019

\*\*\*, 2015: Microtec CT Log 360° X-ray CT-Sawing Optimization. Microtec Innovating Wood.: [https://www.youtube.com/watch?v=xK4CdNT3DK4&feature=emb\\_title](https://www.youtube.com/watch?v=xK4CdNT3DK4&feature=emb_title), 5. svibanj 2015