

**Česká zemědělská univerzita v Praze**

Katedra zpracování dřeva a biomateriálů



**Fakulta lesnická  
a dřevařská**

Název Bakalářská práce:

**Skenování řeziva skenerem WoodEye pro optimalizaci přířezů  
dubových podlah řezaných pomocí laseru**

Autor práce:

**Ladislav Vrtiška**

Vedoucí práce: Ing. Miroslav Sedlecký, Ph.D.

©2023 ČZU v Praze

# ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Fakulta lesnická a dřevařská

## ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Ladislav Vrtiška

Dřevařství  
Zpracování dřeva

Název práce

Skenování řeziva skenerem WoodEye pro optimalizaci přířezů dubových podlah řezaných pomocí laseru

Název anglicky

Scanning of lumber with the WoodEye scanner to optimize oak floors blanks for laser-cut

---

Cíle práce

Cílem práce bude optimalizace skeneru WoodEye pro řezání podlahových přířezů z dubového masivu. Optimalizace bude probíhat pro řezání laserem. Cílem bakalářské práce je pouze optimalizace nářezových plánů.

Metodika

Bakalářská práce se bude věnovat teoretickému rozboru RTG a skeneru WoodEye.

1. Literární rešerše na dané téma (červenec – prosinec 2022).
2. Stanovení metodiky a zadávání informací do přístroje (bude probíhat v průběhu tvorby literární rešerše srpen – prosinec 2022).
3. Hodnocení výstupů a jejich kontrola – (prosinec 2022 a ledna 2023).
4. Závěr a diskuse + odevzdání (březen nebo duben 2023).

Doporučený rozsah práce  
minimálně 30 stran

**Klíčová slova**

WoodEye skener; dub, Optimalizace řezání, řezání laserem

---

**Doporučené zdroje informací**

Csanády, E. a Magoss, E.; *Mechanics of Wood Machining*; Springer 2013; s 202; ISBN 978-3642299544

DAVIM, J. P. *Surface Integrity in Machining*. 1. vyd. London: Springer. 2010. 215 s. ISBN 978-1-84882-973-5.

DAVIM, J. P. *Wood machining*. London: Wiley, 2011. ISBN 978-1-84821-315-9.

Rais, A., Ursella, E., Vicario, E. et al. The use of the first industrial X-ray CT scanner increases the lumber recovery value: case study on visually strength-graded Douglas-fir timber. *Annals of Forest Science* 74, 28 (2017). <https://doi.org/10.1007/s13595-017-0630-5>

WeiQiang, LeblonBrigitte, and La RocqueArmand. On the use of X-ray computed tomography for determining wood properties: a review. *Canadian Journal of Forest Research*. 41(11): 2120-2140. <https://doi.org/10.1139/x11-111>

---

**Předběžný termín obhajoby**

2022/23 LS – FLD

**Vedoucí práce**

Ing. Miroslav Sedlecký, Ph.D.

**Garantující pracoviště**

Katedra zpracování dřeva a biomateriálů

---

Elektronicky schváleno dne 5. 12. 2022

doc. Ing. Roman Fojtík, Ph.D.

Vedoucí ústavu

---

Elektronicky schváleno dne 5. 12. 2022

prof. Ing. Róbert Marušák, Ph.D.

Děkan

V Praze dne 28. 03. 2023

## **Čestné prohlášení**

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci skenovní řeziva skenerem WoodEye pro optimalizaci přířezů dubových podlah řezaných pomocí laseru jsem vypracoval(a) samostatně pod vedením vedoucího práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce. Jako autor(ka) uvedené bakalářské dále prohlašuji, že jsem v souvislosti s jejím vytvořením neporušil autorská práva třetích osob.

V Praze dne 5.4.2023

\_\_\_\_\_



## **Poděkování**

Rád bych touto cestou poděkoval mému vedoucímu práce Ing. Miroslavu Sedleckému, Ph.D. za odborné rady a spolupráci a mé rodině, kamarádům a přítelkyni za podporu v průběhu studia.

## **Abstrakt**

### **Skenování řeziva skenerem WoodEye pro optimalizaci přířezů dubových podlah řezaných pomocí laseru**

Cílem této práce je návod pro optimalizaci skenování dřevěných parket pro následné řezání laserem na dřevo. Skenování skenerem je v dřevozpracujícím průmyslu poměrně nová metoda, která se stále vyvíjí. Tato metoda třídění u nás v české republice nemá příliš velké využití a já se v této práci pokusím danou problematiku přiblížit.

Tato práce se věnuje teoretickému rozboru dubového dřeva a jeho charakteristickému výrobku dřevěných podlah. Jedná se zejména o dřevěné dubové parkety. Řezivo v mé práci bude tříděno skenerem na dřevo, který vyhodnocuje data o výtěžnosti, využití zvolených produktů a následně vytváří nářezový plán. V práci se dále zmiňuji o řezání těchto podlah za pomoci laseru. Tato metoda řezání masivního dřeva je v této práci zatím na teoretické bázi, kvůli nedostatečnému vývoji v této oblasti řezání masivního dřeva. Laser v této práci vyřezává výsledný produkt dubové parkety.

**Klíčová slova:** WoodEye skener; dub, optimalizace řezání, řezání laserem

## **Abstract**

### **Scanning of lumber with the WoodEye scanner to optimize oak floors blanks for laser-cut**

The aim of this work is to provide guidance for optimizing the scanning of wooden parquet for subsequent laser cutting for wood. Scanner scanning is a relatively new method in the woodworking industry and is still evolving. This method of grading is not widely used in the Czech Republic and I will try to approach the issue in this thesis.

This thesis will take a theoretical analysis of oak wood and its characterized product of wooden floors. It is mainly about wooden oak parquet. The lumber in my thesis will be sorted by a wood scanner, which will evaluate the data on the yield, the use of the selected products and then create a cutting plan. In this thesis I will also mention the cutting of these floors using a laser. This method of cutting solid wood is still on a theoretical basis in this thesis, due to the lack of development in this area of cutting solid wood. The laser in this thesis cuts the final product of oak parquet.

**Keywords:** woodEye scanner; oak, cutting optimization, laser cutting

## Obsah

<b>1</b>	<b>Úvod</b> .....	<b>1</b>
1.1	Výběr tématu .....	1
<b>2</b>	<b>Cíl práce</b> .....	<b>2</b>
<b>3</b>	<b>Literární rešerše</b> .....	<b>3</b>
3.1	<b>Materiál dřevo:</b> .....	<b>3</b>
3.1.1	Lesy v české republice .....	3
3.1.2	Charakteristika dubového dřeva: .....	3
3.2	<b>Dubové podlahy:</b> .....	<b>4</b>
3.2.1	Výhody a vlastnosti podlah z dubového dřeva: .....	4
3.2.2	Povrchová úprava dubových podlah .....	4
3.2.3	Typy dřevěných podlah: .....	7
3.3	<b>Druhy Skenování</b> .....	<b>9</b>
3.3.1	Ultrazvuk .....	9
3.3.2	Ct skenování .....	9
3.3.3	RTG .....	9
3.4	<b>Porovnání řezání za pomoci laseru, oproti řezání kotoučové pily</b> .....	<b>10</b>
3.4.1	Kotoučová pila .....	10
3.5	<b>Konvenční a nekonvenční metoda</b> .....	<b>11</b>
3.5.1	Řezání dřeva laserem.....	12
3.5.2	Základní typy vad: .....	14
<b>4</b>	<b>Metodika</b> .....	<b>20</b>
4.1	<b>Popis Softwaru Woodeye</b> .....	<b>20</b>
4.2	<b>Úvod do softwaru:</b> .....	<b>20</b>
4.3	<b>Výstupní produkt</b> .....	<b>21</b>
<b>5</b>	<b>Praktická část:</b> .....	<b>22</b>
5.1	<b>Skenování řeziva optickým skenerem</b> .....	<b>22</b>
5.1.1	Princip fungování skenovacího systému .....	23
5.1.2	Kalibrační ethalon a kalibrování .....	24
5.1.3	Popis stroje:.....	25
5.2	<b>Software</b> .....	<b>28</b>
5.3	<b>Produkt</b> .....	<b>29</b>
5.4	<b>Cross Section:</b> .....	<b>30</b>
5.4.1	Příklady Cross Section .....	31
5.5	<b>Kvalita</b> .....	<b>33</b>
5.6	<b>Sekce výroba</b> .....	<b>34</b>
5.7	<b>Samotný proces skenování</b> .....	<b>35</b>

5.7.1 Ukázka výtěže:.....	35
<b>5.8 Výsledné skenované řezivo.....</b>	<b>37</b>
<b>5.9 Souhrn .....</b>	<b>37</b>
<b>6 Diskuse .....</b>	<b>38</b>
<b>7 Závěr.....</b>	<b>40</b>
<b>8 Citace a seznam literatury.....</b>	<b>42</b>

## Seznam obrázků

Obrázek 1: Kartáčovaná podlaha.....	5
Obrázek 2: Lakovaná podlaha.....	6
Obrázek 3: Vzory skládání parket.....	7
Obrázek 4: Konvenční Obrábění.....	12
Obrázek 5: Obecné schéma laseru.....	13
Obrázek 6: Zdravý suk.....	14
Obrázek 7: Nahnilý černý suk.....	15
Obrázek 8: Otvor po vypadnutém suku.....	15
Obrázek 9: Druhy Trhlin.....	17
Obrázek 10: Neomítané řezivo s kúrou.....	17
Obrázek 11: Smolník.....	18
Obrázek 12: Dřeňové řezivo.....	18
Obrázek 13: Skvrna na dřevě.....	19
Obrázek 14: Jednotlivé sekce softweru.....	20
Obrázek 15: Výsledný produkt.....	21
Obrázek 16: Rozměry dubové parkety.....	21
Obrázek 17: Skener.....	22
Obrázek 18: Woodey skener.....	23
Obrázek 19: Princip fungovani.....	23
Obrázek 20: kalibrační ethalon.....	24
Obrázek 21: Kamery a Lasery umístěné v rámu.....	25
Obrázek 22: Rám skenovacího přístroje.....	26
Obrázek 23: Ovládací stolek zařízení.....	26
Obrázek 24: Technická skříňka se třemi počítači.....	27
Obrázek 25: Přehled nabídky.....	28
Obrázek 26: Sekce produkt.....	29
Obrázek 27: Vlastní zadané rozměry.....	30
Obrázek 28: Záložka Cross Section.....	30
Obrázek 29: Příklad Cross Section.....	31
Obrázek 30: Příklad Cross Section.....	31
Obrázek 31: Příklad Cross Section.....	32
Obrázek 32: Příklady Cross Section.....	32
Obrázek 33: Vlastní parkety.....	33
Obrázek 34: Záložka vady.....	33
Obrázek 35: Zvolení produktu na skenování.....	34

<b>Obrázek 36: Skenovaná dubová fošna .....</b>	<b>35</b>
<b>Obrázek 37 Naskenovaný zvolený parketový vlys .....</b>	<b>36</b>
<b>Obrázek 38: Nakombinované délky a šířky dubového vlysu .....</b>	<b>36</b>
<b>Obrázek 39: Souhrn návodu.....</b>	<b>37</b>

## **Seznam tabulek**

<b>Tabulka 1: Příklad zvolené kvality .....</b>	<b>34</b>
-------------------------------------------------	-----------

# 1 Úvod

Materiál na bázi dřeva je v současné době, kdy se klade důraz na obnovitelnost a životní prostředí nedílnou součástí každodenního života. V dnešní době je vývoj oblasti dřevozpracujícího průmyslu velice rozšířený hlavně na úrovni automatizace a robotizace.

V současné době přítomnost suků a vad a nepravidelnosti dřeva jsou rozhodující faktor pro mechanické vlastnosti řeziva a jeho následného využití. Odvětví pilařského zpracování, vyžaduje co nejrychlejší a nejpřesnější metody pro vyhodnocování kvality. V Evropě se provádí třídění řeziva hlavně vizuálně a tuto činnost provádí odborný většinou vyškolený jedinec. Třídění lze také provést pomocí strojních třídičů. K třídění lze také použít optický skener (Briggert a Kol. 2020).

V České republice je využití skeneru zatím málo využívaná strojová metoda, kvůli vysoké pořizovací ceně a dosud malému uplatnění na trhu firmy Woodeye v Česku. Vzhledem k automatizaci pilařských podniků by mohla mít tato technologie velký potenciál, a to zejména s kombinací Laserového řezání.

Laserové řezání jsou široce využívány v různých průmyslových odvětvích včetně dřevozpracujícího průmyslu. Laserová technologie se používá v automobilovém, lodním, leteckém, zbrojním, ale i v lékařském průmyslu. V dřevozpracujícím průmyslu se používá zejména na gravírování, značení, řezání, středně tvrdých vláknitých desek, výroby dekorací a ozdob (Maciak a Kol. 2020).

Metoda řezání laserem je stále zkoumaný způsob řezání dřeva, proto se v této práci jedná pouze o teoretický rozbor optimalizace.

## 1.1 Výběr tématu

Téma Bakalářské práce jsem si vybral z důvodu zájmu o nové technologie v dřevozpracujícím průmyslu. Kvalita a požadavky pro surové dřevo se stále zvyšují a tím pádem se i ulehčují a zkvalitňují dostupné technologie na opracování.



## **2 Cíl práce**

V Bakalářské práci se budu věnovat teoretickému rozboru skeneru WoodEye a popisů ostatních druhů skenování. Dále se ve své práci budu věnovat zadáváním dat pro skenování řeziva skenerem WoodEye pro optimalizaci přířezů dubových podlah řezaných pomocí laseru. Bakalářská práce bude zjišťovat informace potřebné k následnému zhodnocení a využití na následný produkt dubové parkety. Výstup této práce je návod pro optimalizaci.

### **3 Literární rešerše**

#### **3.1 Materiál dřevo:**

Dřevo je ekologický, obnovitelný a anizotropní materiál, který má rozmanité mechanické, fyzikální a chemické vlastnosti. Odlišné vlastnosti určují v dřevozpracujícím průmyslu využití konkrétního dřeva na určitý produkt, či výrobu (Davim 2010).

##### **3.1.1 Lesy v české republice**

Lesy v české republice zabírají zhruba 34 % na našem území. Jejichž rozloha činí 2 671 659 ha. V české republice převažují jehličnaté dřeviny. V současné době se podíl jehličnatých dřevin snižuje, zejména smrku a zvyšuje se podíl listnatého dřeva. Mezi tento zvyšující podíl patří dřevina buku (<http://eagri.cz>).

Složení lesu v české republice: (<http://eagri.cz>).

Smrk 50,6 %,

Borovice 16,5 %,

Modřín 3,9 %,

Jedle 1,1 % a ostatní jehličnany 0,3 %.

Z listnatých dřevin jsou to převážně buk 8,2 % a dub 7,1 %,

Bříza 2,8 a ostatní listnáče tvoří 8,4 %.

##### **3.1.2 Charakteristika dubového dřeva:**

V České republice jsou nejznámější druhy: Dub Letní (*Quercus robur*), Dub Zimní (*Quercus petraea*) a Dub Červený (*Quercus rubra*). Dub zimní má hustší letokruhy, proto je tvrdší než Dub letní. Dřevo z dubu je jeden z nejžádanějších materiálů, který má úzkou nažloutlou běl. Jádrové dřevo je hnědé až tmavohnědé. Dubové dřevo lze poznat podle takzvaných zrcátek, která se objevují na tečném a středovém řezu. Tato zrcátka jsou přeríznuté dřeňové paprsky. Mezi vlastností dubu patří jeho tvrdost, houževnatost, trvanlivost, pevnost. Dub je jedna z nejlepších dřevin, která snáší střídání mokra a sucha (Patričný 2016).

Využití dubového dřeva:

Mlýnská kola, mosty, lávky, sudy, nábytek, okna a podlahy (Patričný 2016).

### **3.2 Dubové podlahy:**

Dubové podlahy mají dnes uplatnění jak v moderních interiérech, tak v klasickém interiéru. Selské dubové podlahy se širokými prkny se používají na chalupách, hradech, nebo zrekonstruovaných starších budovách. V moderních interiérech se dubové podlahy mohou realizovat jako podlahové palubky, dubové parkety či vrstvenou dubovou podlahu. (<https://www.empiri.cz>).

#### **3.2.1 Výhody a vlastnosti podlah z dubového dřeva:**

Podlahy z dubového dřeva se vyrábějí kvůli výborné tvrdosti a odolnosti. Obsah tříslovin dodává podlahám výbornou odolnost proti vlhkostním výkyvům. Dubové parkety mají výborné izolační vlastnosti (<https://www.plancher.cz>).

#### **3.2.2 Povrchová úprava dubových podlah**

**Mechanické povrchové úpravy dřevěných podlah:** (<https://www.ceskestavby.cz>)

Hoblovaní.

Kartáčování.

Umělé poškození – takzvané postaršování.

**Chemická povrchová úprava dřevěných podlah:**

Moření.

Čpavkování.

Bělení.

Lakování.

Olejování.

Voskování.

### 3.2.2.1 Mechanické způsoby:

#### Hoblovaní:

Tato mechanická úprava podlahy spočívá v ručním či strojním hoblovaní vrchní nášlapné vrstvy. Při této metodě můžeme hoblovat nejen povrch podlahy ale i spoje či hrany. Tento způsob má vykreslit surovost a plastičnost podlahy (<https://www.ceskestavby.cz>).

#### Umělé poškození – takzvané postaršování

Tato speciální metoda je založena na principu umělého poškozování podlahy, za pomoci různých vrypů, otlaků, uměle vytvořených otvorech po červotočích, vlisování různých tvarů a předmětů či po stopách řezech od pily. U této metody je důležité znát vlastnosti jednotlivých dřevin, aby nedošlo k nevhodnému umělému poškození (<https://www.ceskestavby.cz>).

#### Kartáčování:

Jedná se o styl úpravy parket, při kterém rotačním kartáčem vykartáčujeme měkká vlákna, a to nám zapříčiní zvýrazněnou kresbu podlahy. Rozlišujeme lehké, střední a hrubé kartáčování (<https://www.cwo-wood.cz>).



**Obrázek 1: Kartáčovaná podlaha**

Zdroj: <https://www.cwo-wood.cz/cs/kartacovani> [cit. 2023-20-03].

### 3.2.2.2 Chemické Metody:

#### Moření:

Princip moření je založen na správně ošetřeném povrchu, tím se rozumí vybroušený a vyspravený povrch. Nátěr se nanáší houbičkou, válečkem, či plochým štětcem rovnoběžně s vlákny (<https://www.ceskestavby.cz>)

## Čpavkování

Tato metoda se používá hlavně na dubové dřevo. Jedná se o chemickou reakci mezi čpavkem a dřevem, kdy dochází k tmavému zbarvení. Důležité při tomto způsobu je obsah tříslavin ve dřevě. Čpavek se používá v kapalně plynné formě ve speciálních komorách (<https://www.ceskestavby.cz>).

## Bělení

Jedná se opak čpavkování, kde se dřevo místo zatmavování bělí. K procesu bělení se používá peroxid vodíku (30-35 %) a roztoku hydrogenuhličitanu amonného. Nanáší se houbičkou a musí se použít ochranné prostředky, jako jsou brýle a rukavice a nanášení probíhá ve větraných prostorech (<https://www.ceskestavby.cz>).

## Lakování

Proces lakování je jeden s nejrozšířenější způsobů. Existuje celá řada laků, při kterém může výsledný povrch mít lesklý či matný. Lakování se používá například na podlahy, ve sportovních halách, kde se používají laky s protiskluzovými vlastnostmi dle předepsaných norem (<https://www.ceskestavby.cz>).



**Obrázek 2: Lakovaná podlaha**

zdroj:<https://www.ceskestavby.cz/clanky/cim-jak-upravit-povrch-drevene-podlahy-21778.html> [cit. 2023-20-03].

## Olejování

Při tomto procesu se olej do dřeva napouští, a to dodává lepší mechanické vlastnosti. Používají se zejména oleje přírodního původu. Výsledný povrch je matný. (<https://www.ceskestavby.cz>).

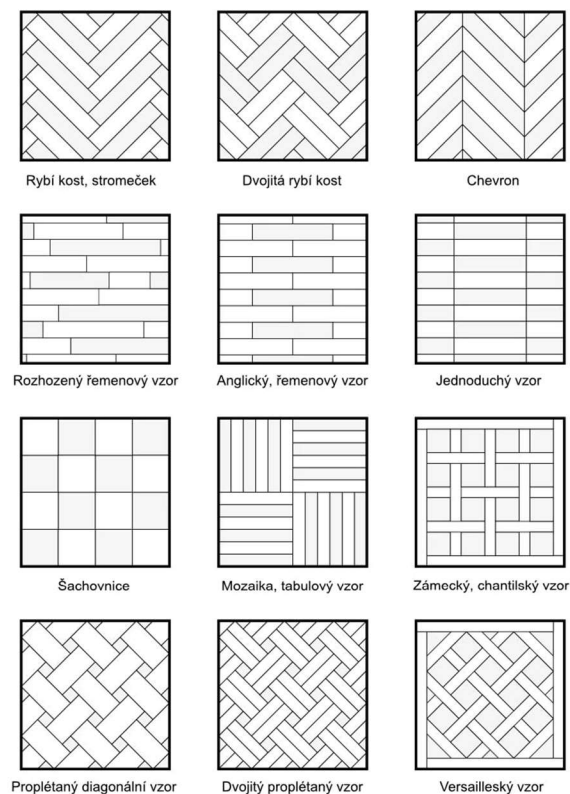
## Voskování

Tento chemický způsob povrchové používá živočišné a rostlinné vosky s různým obsahem rozpouštědel. Podle druhu složení se vosk aplikuje buď za tepla či za studena. Po aplikaci na podlahu se rozpouštědlo odpařuje a vznikne tenký film. Tento film lze dále leštit a vzniká zvýraznění struktury a vytvoření přírodního povrchu (<https://www.ceskestavby.cz>).

### 3.2.3 Typy dřevěných podlah:

#### 3.2.3.1 Dřevěné parkety

Běžné využití v domácnostech, nejčastěji v rozměrech nejčastěji 7 × 15 cm, 11 × 66 nebo 13 × 72,5 cm. Nejčastěji jsou poskládány do vzoru rybí kosti viz. **Obr. č.3** a francouzský vzor. Pokládka parket není levná varianta a je velice pracná (<https://www.barlinek.cz>).



**Obrázek 3: Vzory skládání parket**

*zdroj: <https://www.mojepodlaha.cz/blog/drevene-podlahy-a-parkety-jak-skladat-vzory/>  
[cit. 2023-20-03].*

### **3.2.3.2 Dřevěné podlahy z masivních prken**

Tato technika se může zhotovit buď starým či novým způsobem. Starý způsob spočívá v pokládce masivních prken přímo na šterkový posyp, nebo dřevěný rošt. Moderní způsob jsou takzvané selská prkna, což jsou třívrstvé podlahy s probranou drážkou. Výhody moderních Selských podlah jsou, že se nekrotí, nepraskají a nezvrzají (<https://www.barlinek.cz>).

### **3.2.3.3 Plovoucí dřevěné podlahy**

Jedná se o typ podlahy, který není pevně přilepen k podkladu. Díky tomu je lze snadno rozebírat a opravovat. Plovoucí podlahy se skládají z více vrstev. Mezi tyto vrstvy patří vrstva podkladní, izolační, roznášecí a v poslední řadě vrstva nášlapná. Na nášlapnou vrstvu lze použít: laminát, dýhu, linoleu či dřevo (<https://www.barlinek.cz>).

### **3.2.3.4 Vícevrstvé dřevěné podlahy**

Vícevrstvé dřevěné podlahy jsou lepené kolmo na letokruhy, nepodléhají tvarovým a objemovým změnám. Vyrábí se buď dvouvrstvé nebo stabilnější třívrstvé. Horní dřevina vždy určuje vzhled a tvrdost celkové podlahy, spodní vrstvy z levnějších a dostupnější materiálů. (<https://www.barlinek.cz>).

### **3.2.3.5 Dýhované dřevěné podlahy**

Jádro většinou z HDF a horní vrstva pokrytá vrstvou dřevěné dýhy. Využití v dočasných stavbách či veletržních stáncích (<https://www.barlinek.cz>).

### **3.2.3.6 Podlahové palubky**

Jsou to jednovrstvé podlahy z masivních prken. Většinou se spojují perem a drážkou po dlouhé straně. Způsob pokládky je buď na připravený dřevěný rošt, ke kterému jsou prkna přišroubována, nebo se lepí (<https://www.barlinek.cz>).

### 3.3 Druhy Skenování

#### 3.3.1 Ultrazvuk

Ultrazvuk má velmi malou vlnovou délku a jeho frekvence je větší než 16 KHz. Šíření ultrazvuku je za pomoci úzkých paprsků, které se mohou lámat, zaostřovat a odrážet. Zdroje ultrazvuku jsou ultrazvukové píšťely, ultrazvukové sirény, ejektorové generátory. Pro člověka je ultrazvuk neslyšitelný. Rychlost průchodu paprsku dřevem závisí na hustotě, vlhkosti, suchých a růstových anomáliích (Králová 2007).

**Využití:** Ultrazvuková defektoskopie je založena, na principu vyhledávání skrytých vad v materiálu. Tato metoda funguje na odrazu ultrazvukových vln na rozhraní dvou prostředí. Jestliže se v materiálu vyskytuje vada, ultrazvuk se odrazí a vyšle tuto skutečnost zpět do přijímače. Z tohoto lze určit hloubku vady. Tento způsob lze využít při restaurování krovů, při jejich detekci vnitřních poškození a mechanických vlastností (Králová 2007).

#### 3.3.2 Ct skenování

Počítačová tomografie(ct) byla původně vytvořena pro využití v medicíně, ale našla své využití i v dřezpracujícím průmyslu. Mezi tato využití patří věda o půdě, rostlinách a již zmiňovaném dřezpracujícím průmyslu (Beaulieu a Kol. 2019).

Ct skenování se v dřezpracujícím průmyslu využívá na zjištění vnitřních vlastností v kmenu, pro další využití. Jde o nedestruktivní metodu odhalování vad. Tento typ skenování ulehčuje následné procesy, jako je například řezání. Technologie umožňuje udělat model, který následně slouží k optimalizaci nářezových plánů pro maximální výtěžnost. U ct skenování záleží na hustotě, čím menší hustota tím lepší průchod (Wei a Kol. 2011).

**Princip:** Ct využívá rentgenové záření. Využívá teorii Radona, lze rekonstruovat vnitřní struktury a objekty z jednoho nebo více průmětů paprsků v závislosti na počtu směrů. Rentgenové paprsky jsou odeslány a detektory měří rentgenové záření, které je přenášeno objektem (Wei a kol. 2011).

#### 3.3.3 RTG

Tato technologie je také z nás z lékařství. V dřezpracujícím průmyslu slouží při nedestruktivní kontrole dřevěných konstrukcí. Umožňuje vnitřní kontrolu spojů, či konstrukčních prvků. Můžeme je rozdělit na mobilní a stacionární. Mobilní rentgeny pracují



s malou dávkou rentgenových impulzů, oproti stacionárním rentgenovým systémům. Uživatel mobilního rentgenu je opatřen dozimetrem (Franke a Kol. 2013).

**Princip:** Rentgenové záření je forma elektromagnetického záření definované Lambert Beerůvým zákonem (Franke a Kol. 2013).

### **3.4 Porovnání řezání za pomoci laseru, oproti řezání kotoučové pily**

Příslušnou metodou obrábění vzniká strojní či technologický povrch. Tento povrch vzniká výrobními metodami, jako je broušení, fezování, řezání laserem, řezání pilou, obrábění vodním paprskem. Povrch po příslušném procesu dosahuje nových vlastností a charakteristik oproti původnímu (Davim a Kol. 2010).

#### **3.4.1 Kotoučová pila**

Kotoučová pila je stroj, sloužící k podélnému řezání paralelně s kotoučem. Kotoučová pila je dřevobraběcí stroj s vysokou řeznou rychlostí (150 m/s) a vysokou rychlostí posuvu (až 150 m/min). Hlavní části tohoto přístroje jsou: pilový kotouč, pilová hřídel, hřídel, která je uložena na ložiscích, litinový stůl a elektromotor. Kotoučová pila má celou řadu využití, proto má každá kotoučová pila jiné parametry pro určitý druh řezání či výrobku. Mezi základní sledované parametry můžeme zařadit: Uchycení kotouče, druh kotouče, rozměr a typ ozubení, jaký je pohon a materiál (Čiháková 2019).

##### **3.4.1.1 Porovnání:**

Mezi výhody laseru oproti řezání pomocí kotoučových pil patří rychlé opracování křivočarých prvků. Tato metoda je beztržkové obrábění, což znamená, že tato metoda neprodukuje třísky, hobliny ani prach ve větším množství. Nevýhoda laserového obrábění spočívá v absorpci laserového materiálu celulózu a ligninem, a to poškozují dřevní tkáň způsobující usazování dřevěného uhlí na povrchu materiálu. Vedlejším účinkem řezání kotoučovou pilou je větší praskání, ke kterému dochází při řezání (Maciak a kol. 2020).

Co se týče bezpečnosti práce, tak řezání laserem je rozhodně méně nebezpečná metoda řezání dřeva (Čiháková 2019).

#### **3.4.1.2 Řezná spára Laseru:**

U laserového obrábění dřeva jsou důležitým parametrem řezné spáry výkon, pozice ohniska, rychlost řezání, vzdálenost od materiálu a průměr trysky. Tyto vlastnosti určují u této nekonvenční metody výslednou řeznou spáru (Čiháková 2019).

#### **3.4.1.3 Řezná spára kotoučové pily:**

Řezná spára u kotoučových pil je dána materiálem, typem opracování, a tloušťkou pilového kotouče.

#### **3.4.1.4 Pořizovací cena a náklady.**

Laser není stále ještě příliš používaná varianta řezání masivního dřeva proto, tato nekonvenční metoda je výrazně dražší než řezání kotoučovou pilou. Vývoj laseru na řezání masivního dřeva také souvisí s ekologií a úsporou dřevního materiálu. Kotoučové pily totiž zajišťují řezání pouze jedním směrem najednou, zatímco laser dokáže vyřezat z materiálu určitou část křivočarým pohybem. Co se týká energetických nákladů řezání za pomoci laseru, jsou výrazně dražší než řezání kotoučovou pilou

Laserový paprsek se netaví ani netupí, a to nám zaručuje úsporu ve formě náhradních pilových kotoučů (Maciak a Kol. 2020).

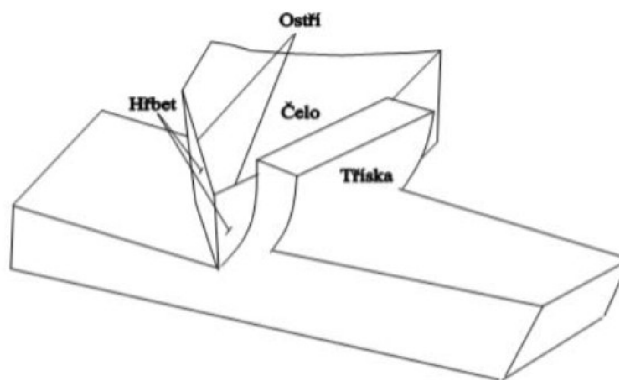
### **3.5 Konvenční a nekonvenční metoda**

Obrábění dřeva hraje základní roli ve většině postupů proměny dřeva. Řezání dřevní hmoty lze rozdělit do dvou skupin. Řezání konvenční metodou a řezání nekonvenční metodou. K obrábění dřevní hmoty ve většině případů dochází procesem řezáním a jejichž vedlejším produktem jsou třísky. Toto obrábění se nazývá konvenční metoda dělení materiálu (Csanády a Kol. 2013).

Příklady konvenčních metod: (Davim 2010).

**Kde jsou třísky odpadem:** Řezání, hoblování, broušení, frézování, vrtání, soustružení.

**Kde jsou třísky žádoucí:** Výroba dýhy krájením, loupaním.



**Obrázek 4: Konvenční Obrábění**

Zdroj: (Dušek 2013)

### 3.5.1 Řezání dřeva laserem

Řezání dřeva laserem je nekonvenční metoda. To znamená, že k oddělování materiálu se nepoužívá řezný klín. U nekonvenční metody obrábění dochází k obrábění za pomoci tepla, či abrazivními či chemickými účinky. Využití této metody obrábění je tam, kde není klasický způsob obrábění možný, příliš nákladný nebo nemožný (Osička 2012 a Maňková 2000).

#### 3.5.1.1 Příklady nekonvenčních metod:(Osička 2012).

- Elektrické technologie: elektroerozivní, anodomechanické, elektrokontaktní.
- Paprskové technologie: světelný, vodní a plazmový paprsek.
- Další Metody: Ultrazvukové, chemické a elektrochemické.

#### 3.5.1.2 Využití:

Laser lze použít v dřevozpracujícím průmyslu pro zpracování dřeva, jako překližky MDF desek masivního materiálu a je využíván pro jeho vysokou efektivitu, velkou řeznou rychlostí, vysokou kvalitu řezu s minimálními deformacemi. Kvůli vysoké kvalitě řezu nám, řezání laserem usnadní následující operace jako broušení. Řezání laserem je velice přesná metoda a umožňuje řezání i velice jemných tvarů a ornamentů (<http://www.lao.cz>).

Dělení materiálů za pomoci laseru je jako všechny technologie tepelného dělení materiálu založena na vysoké hustotě výkonu, produkované laserovým zářením. Po dopadení svazku na materiál dochází k prudkému ohřevu, natavení a následnému odpaření. Existují tři způsoby vytváření řezné spáry a těmi způsoby jsou spalování materiálu a jeho odtavení, vyfukování taveniny z místa řezu, odpařování materiálů. Pro odstranění výparů, taveniny

a oxidů se používají asistenční plyny jako kyslík, dusík případně na speciální materiály argon. Tyto plyny jsou foukány do místa řezu, jejímž středem prochází zaostřený laserový svazek. V dřevozpracujícím průmyslu se k řezání dřeva obvykle používá dusík (Roubíček 2005).

CO<sub>2</sub> lasery lze rozlišit dělením na dva základní druhy. První systém disponující pevnou optikou je založen na pohyblivém stole s materiálem a pohyblivou hlavou pouze ve svislé ose z. Při druhém způsobu vykonává laserová hlava 3D pohyb (Roubíček 2005).

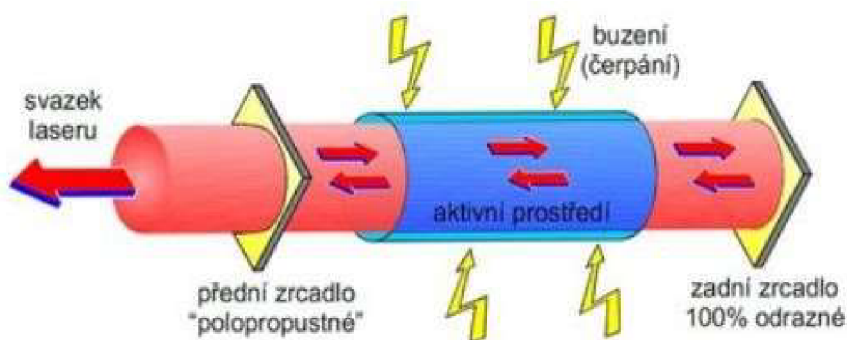
### 3.5.1.3 Složení Laserové hlavy

Laserové medium: část laseru která určuje délku vlny záření.

Rezonátor: jedná se o část umožňující zformovat a zesílit záření. Konstrukční uspořádání rezonátoru určuje vlastnosti paprsku. Rezonátor je složen nejméně ze dvou zrcadel. Rozbíhavost a intenzitu záření určují zakřivení a průměr zrcadel (Řasa a Kol. 2005).

Dále laserová hadice obsahuje budící zařízení, zdroj energie (například výbojka) buzení a chladicí zařízení, které má za úkol odvádět nevyužitou energii, která se nepřemění v záření, ale v tepelnou energii (Řasa a Kol. 2005).

Základem laseru je aktivní prostředí, které je nějakým způsobem buzeno (opticky, elektricky apod.). Buzením dodáváme do laseru energii, která je potom právě pomocí procesu stimulované emise vyzářena v podobě laserového svazku. K tomu je zapotřebí ještě vytvořit tzv. optický rezonátor, který je nejčastěji tvořen odraznými zrcadly (Kořán 2013).



Obrázek 5: Obecné schéma laseru

Zdroj: (Kořán 2013)

### 3.5.2 Základní typy vad:

#### 3.5.2.1 Suky

Suky jsou nejobvyklejší vady, které se objevují v dřevěném materiálu a mají vliv na výtěž. Suky porušují stejnoměrnost stavby dřeva, a to zhoršuje mechanické vlastnosti dřeva. Mezi tyto zhoršené vlastnosti se řadí pevnost v tahu, ohybu a při dynamickém namáhání. Suky způsobují nestejnou vysychání dřeva, díky tomu podporují vznik výsušných trhlin (Zaidler 2010).

Rozdělení suků: (Zaidler 2010)

##### 1) Otevřený (nezarostlý)

- Zdravé.
- Nezdravé.
- Nahnilé.
- Shnilé.

##### 2) Zarostlý Není vidět na oblém povrchu dřeva.



**Obrázek 6: Zdravý suk**

zdroj: Software Woodeye



**Obrázek 7: Nahnilý černý suk**

Zdroj: Software Woodeye



**Obrázek 8: Otvor po vypadnutém suku**

Zdroj: Software Woodeye

### **3.5.2.2 Trhliny:**

Jedná se o porušení celistvosti dřeva, která snižuje pevnost dřeva (Křupalová 2008).

Základní rozdělení trhlín: (Křupalová 2008)

- Trhliny v rostoucím dřevě.
- Trhliny v pokáceném a ve zpracovaném dřevě – výsušné trhliny.

### Trhliny rostoucího stromu:

**Dřeňové trhliny:** Tyto trhliny se objevují ve všech druzích dřevin. Jedná se o trhliny, které jsou na povrchu neviditelné, tyto trhliny probíhají v radiálním směru přes dřeň. Příčina vzniku je dána vnitřním napětím, nárazem stromu o zem, při kácení či ohýbaní stromu ve větru (Křupalová 2008).

**Odlupčivé trhliny:** Odlupčivé trhliny stejně jako dřeňové se vyskytují také v každé dřevině. Jedná se o vnitřní trhliny vznikající v místě přechodu úzkých letokruhů do širokých (Křupalová 2008).

**Mrazové trhliny:** Výskyt zejména v listnatých dřevinách, které jsou citlivé na mráz. Jedná se tedy o radiální trhliny. Tyto trhliny podporují tvorby vodnatosti a hniloby. Můžou být boční mrazové trhliny (Křupalová 2008).

**Výsušné:** tato trhlina probíhá radiálně, vzniká v pokáceném stromě následkem sesychání (Zaidler 2010).

### Trhliny vzniklé při vysušení:

**Povrchové trhliny:** Vznik této trhliny je způsoben tvrdým sušicím režimem a jeho rychlého vlhkostního spádu (Křupalová 2008).

**Vnitřní trhliny:** Vznikají při sušení, kdy ke konci sušení se překročí mez pevnosti dřeva, toto je zejména u tvrdších dřevin. Těmto trhlinám lze zabránit pomalejším sušením (Křupalová 2008).

**Čelní trhliny:** Čelní trhliny vznikají při prudkém sušení na čelech materiálu (Křupalová 2008.)

**Dřeňové:** Výskyt je v dřeňovém řezivu, vznikají kvůli nerovnoměrnému seschnutí řeziva v okolí dřeňě (Křupalová 2008).



**Obrázek 9: Druhy Trhlin**

zdroj: (Greško 2012)

### 3.5.2.3 Svalovitost:

Jedná se o vadu, kde jsou vlákna dřeva neuspořádaná a stavba dřeva je nepravidelná. Tato vada se vykytuje hlavně u listnatých tvrdých dřevin ale také u ostatních typů dřevin. Svalovité řezivo je hůře opracovatelné a používá se zejména na výrobu okrasných dých, kvůli kresbě. Typické využití této okrasné dyhy je na hudební nástroje (Zaidler 2010).

### 3.5.2.4 Točitost:

Točitost je charakterizována spirálovitým průběhem vláken. Používá se spíše termín odklon vláken. Čím větší odklon je, tím více je zhoršena mechanická pevnost dřeva a dynamické pevnostní charakteristiky (Zaidler 2010).

### 3.5.2.5 Kůra:

V případě skenování, můžeme skenoat i neomítané řezivo s kůrou.



**Obrázek 10: Neomítané řezivo s kůrou**

zdroj: Software Woodeye



### 3.5.2.6 Smolníky

Tato vada se vyskytuje pouze v jehličnatém dřevě, tedy u dřevin, které obsahují pryskyřičné kanálky. Vzniká podrážděním kambia způsobené poraněním. Smolníky zhoršují celistvost dřeva a zhoršují opracování a jeho lepení. Smolníky také můžou prosakovat přes nátěry i po několika letech (Zaidler 2010).



**Obrázek 11: Smolník**

zdroj: Software Woodeye

### 3.5.2.7 Dřeň

Středová část kmene, její skladba se skládá z parenchymatických buněk. Kolem této části kmene je menší podíl jarního dřeva. Dřeňová část má menší pevnost a více sesychá a je zde větší výskyt trhlin (Křupalová 2008).



**Obrázek 12: Dřeňové řezivo**

zdroj: Software Woodeye

### 3.5.2.8 Otvor po dřevokazném hmyzu:

Mezi poškození hmyzem patří požerky, výletové otvory, larvální a matečné chodby. Dřevo pro některý dřevokazný hmyz slouží jako primární potrava a pro některý hmyz jako mravenci jako domov (Zaidler 2010).

**Základní rozdělení:** (Zaidler 2010)

- Hmyz, který poškozují zdravé stromy.
- Hmyz působící na pokácené nebo odumírající stromy.
- Hmyz, který škodí na mokřím a suchém dřevě.

**Podle hloubky lze rozlišit na:** (Zaidler 2010)

- Povrchové.
- Mělké.
- Hluboké.

**Podle rozměrů otvorů:** (Zaidler 2010)

- Malé.
- Velké.

Poškození hmyzem způsobuje změnu mechanických vlastností, zvyšuje množství odpadu a zhoršuje jeho vzhled (Zaidler 2010).

**3.5.2.9 Skvrny na dřevě neboli zbarvení dřeva:**

Zbarvení dřeva je zapříčiněno dřevokaznými houbami. Tato vada zhoršuje estetické vlastnosti dřeva a jeho mechanické vlastnosti (Zaidler 2010).

Zbarvení dřeva neorganického původu: Toto zbarvení vzniká chemickými účinky a jinými vlivy (Zaidler 2010).

Příklady: Oxidace tříslavin vlivem vzduchu a světla, oxidace železitých solí nebo železných předmětů s tříslavinami.



**Obrázek 13: Skvrna na dřevě**

zdroj: Software Woodeye

## 4 Metodika

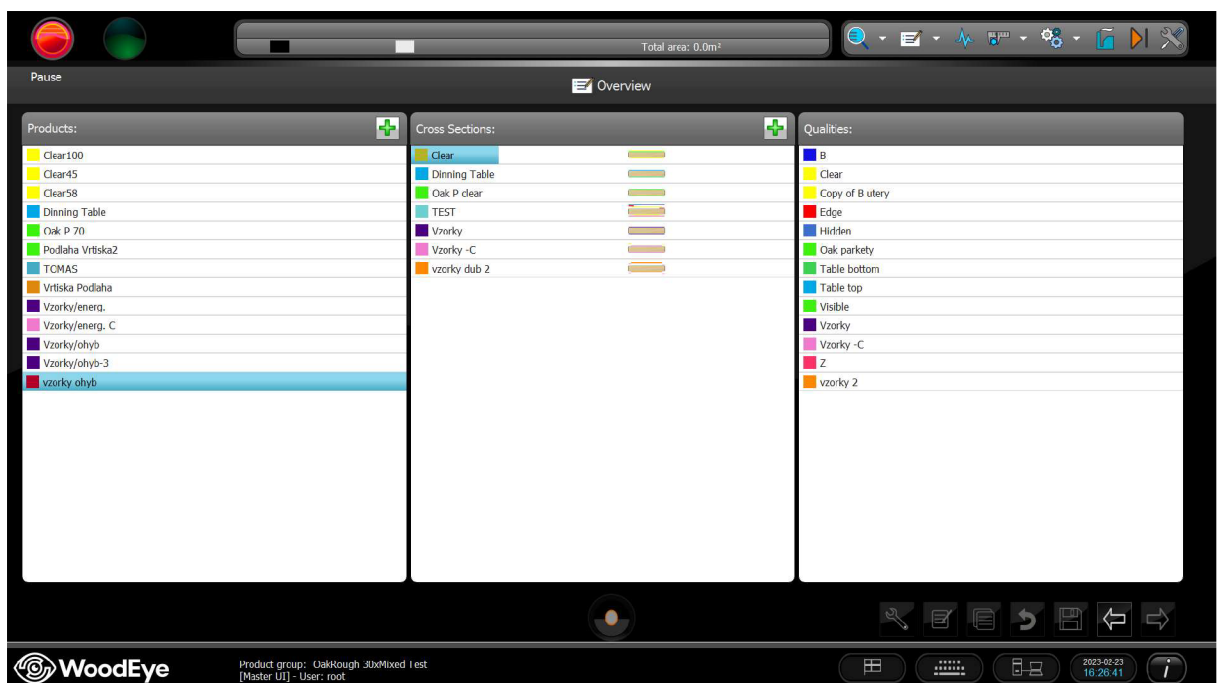
### 4.1 Popis Softwaru Woodeye

Společnost Woodeye byla založena v roce 1983 pod jiným jménem Innovative Vision. První funkční skener byl uveden do provozu v roce 1987 a do nynějšího dne bylo dodáno přes více jak 600 skenerů. Woodeye je firma ze Švédského Linköping, která se zabývá zejména průmyslem, kde se používá tvrdé dřevo. Mezi jejich produkty patří, parkety, prkna, okenní hranoly, hoblované řezivo (Nöstler 2019).

### 4.2 Úvod do softwaru:

Před tím, než se začne se samotným procesem skenování je potřeba si určit pár základních postupů. Mezi tyto základní věci patří:

- 1) Jaký produkt budu skenovat, v případě mé práce se jedná o Dubové fošny pro následnou výrobu parket viz. obr.15.
- 2) Hodnota každého produktu.
- 3) Výška, tloušťka a délka každého produktu.
- 4) Požadovanou kvalitu pro daný produkt.



Obrázek 4: Jednotlivé sekce softwaru

Zdroj: Software Woodeye

### 4.3 Výstupní produkt

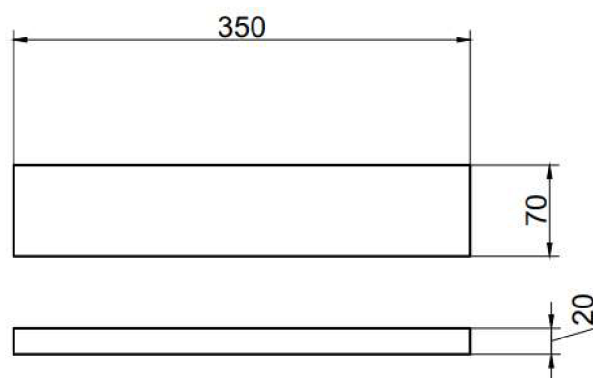
Výstupní produkt, který jsem použil pro optimalizaci jsou dubové parkety viz.obr. č.15. o rozměrech:

Tloušťka jednotlivého vlysu 20 mm x 70 mm x 350 mm



**Obrázek 5: Výsledný produkt**

zdroj: Vlastní zpracování



**Obrázek 6: Rozměry dubové parkety**

zdroj: Vlastní zpracování

## 5 Praktická část:

### 5.1 Skenování řeziva optickým skenerem

Skenování řeziva, nám umožňuje podrobné informace o kvalitě a stavu řeziva, kvůli zvyšující se požadavkům na kvalitu finálního produktu. Díky scanneru viz **Obr.č.17** můžou výrobci vyrábět lepší finální produkt s přidanou hodnotou (Rais a Kol. 2017).

Zvyšující se požadavky na finální produkt zapříčinily, zavedení nových technologií pro předpovídání vnitřních vlastností dřeva. Jedná se tedy o skenery, tento přístroj napomáhá k odhalení co nejlepšího využití a místa kde se dané kulatiny, či řezivo budou následně používat. Skenování řeziva je poměrně nová technologie. V posledních letech dochází k významným pokrokům v oblasti počítačové analýzy obrazu. Tento pokrok nám umožňuje rychlý přesný a detailní přístup k velkému množství informací o stavu zkoumaného prvku (Rais a Kol 2017).



**Obrázek 17: Skener**

zdroj: Vlastní zpracování

Skenování řeziva skenerem se v dřevozpracujícím průmyslu používá jako nedestruktivní zkouška materiálu. To znamená, že zkoumáme vlastnosti daného prvku, aniž bychom ho, jakkoliv porušili. Skener vychází z lékařského CT, avšak lékařský CT nástroj má hlavní využití pro detekci lidských onemocnění. Tudíž software pro skener na dřevo je jiný než lékařské. Skenovací Woodeye je založen na principu rentgenového vějířového skenování. Lze identifikovat umístění trhlin, suků či jiných vad (Zhou a kol. 2018).

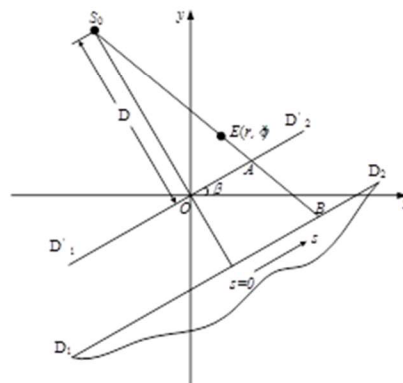


Obrázek 18: Woodey skener

zdroj: Vlastní zdroj

### 5.1.1 Princip fungování skenovacího systému

Rekonstrukce skenovacího obrazu systému bylo vytvořeno proto aby se ověřilo, existence vztahu mezi projekční adresou a určitého detekčního bodu v poruše skenování a úhlu natočení. Trajektorie projekční adresy je sinusová křivka spojená s úhly rotace během procesu skenování. Rentgenové záření  $S_0$  vysílá vějířový paprsek viz Obr.č.19 podél dráhy B přes bod E v detekovaném objektu. Paprsek který je zeslabený je přijímán rentgenovým detektorem  $D_1D_2$ . Měření energie paprsků prochází zadaným detekčním bodem pod různými úhly a poté za použití algoritmu filtrované zpětné projekce lze rekonstruovat obraz přiloženého objektu (Zhou a Kol. 2018).



Obrázek 19: Princip fungování

(Zhou, Y. a kol. 2018)

Důležité jsou také v principu ilustrace laserových bodů vznikajících z laserových paprsků, který osvětlují povrch (Briggert a kol. 2020).

### 5.1.2 Kalibrační ethalon a kalibrování

Další princip, na kterém funguje skenování optického skeneru je, na bázi kalibračních etalonů. Pomocí barevných etalonů viz **Obr.č.20.** můžeme napodobit barvu dané dřeviny a za pomoci této metody značí systém určitou vadu či změnu barvy na základě předem nastavených norem a požadavků. Důležité v tomto případě je zajištění rovnoměrného světla po celé ploše, tak aby došlo k správnému detekování vad. Kalibrace se provádí pokaždé, když se mění dřevina.

Postup při kalibrování by měl vypadat následovně: (<https://microtec.eu/>).

- Skla ve stroji by měla být správně očištěná bez nečistot kvůli správné kalibraci.
- Zvolí se kalibrační etalon pro aktuální dřevinu.
- V počítači se zvolí ikonka stínování.



**Obrázek 20: kalibrační ethalon**

zdroj: Vlastní zpracování



### 5.1.3 Popis stroje:

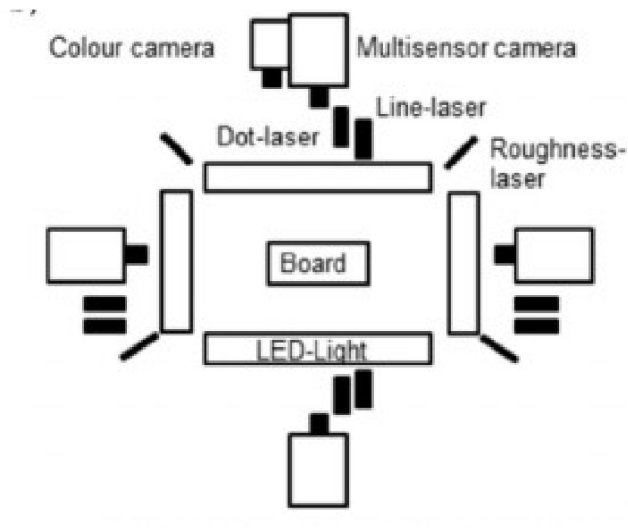
#### 5.1.3.1 Rám stroje:

Tento stroj je tvořen hlavním rámem, kudy prochází skenované řezivo viz **Obr.č.22**. Rám je opatřen třemi skenovacími kamerami, které nám zjišťují informace o projíždějícím zkoumaném prvku viz **Obr.č.21**. Tyto kamery jsou umístěny tak že jedna kamera se nachází nahoře a další dvě po stranách.

Každý senzor a kamera se specializuje na detekci různých vlastností řeziva. Hniloba, modré skvrny a dřev jsou detekovány, stejně jako rozměrové vady, jako jsou suky a trhlinky. Drsnost a směr vláken jsou detekovány analýzou, jak je laserové světlo rozptýleno po povrchu (<https://microtec.eu/>).

Rám také obsahuje tři druhy laseru: (<https://microtec.eu/>).

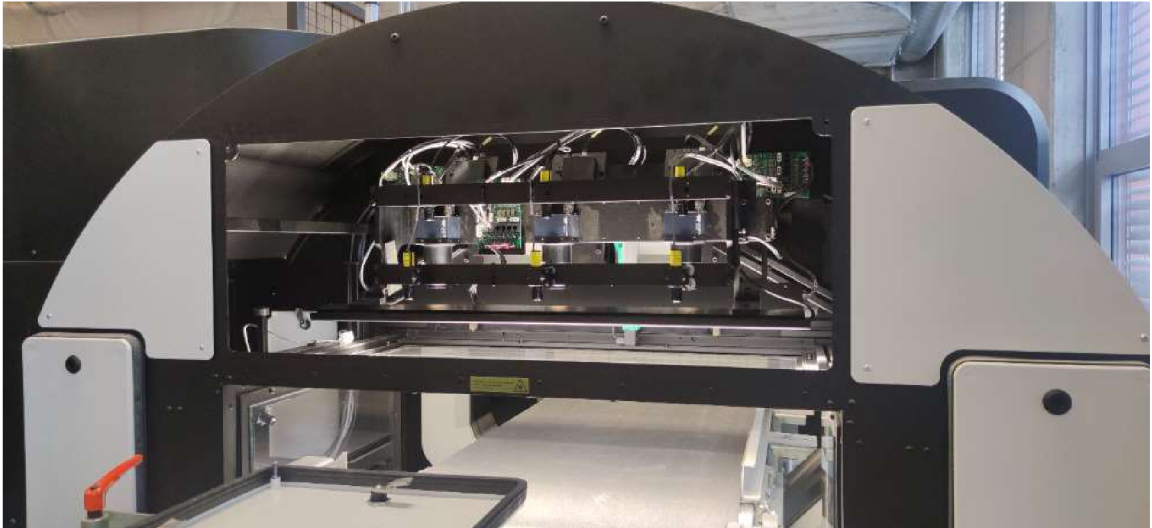
- Profilové.
- Vláknové.
- Drsnostní.



Obrázek 21: Kamery a Lasery umístěné v rámu

(Biggert a Kol. 2020)





**Obrázek 22: Rám skenovacího přístroje**

zdroj: Vlastní zpracování

#### **5.1.3.2 Dopravník**

Další součást stroje je tvořen dopravníkem, po kterém je dopravován daný materiál do rámu. Tento dopravník se ovládá za pomoci stolku umístěném v zadní části stroje. U ovládacího stolku si můžeme nastavit rychlost posuvu.

#### **5.1.3.3 Ovládací stolek**

Dalším ovládacím prvkem se zde nachází ovládací stolek s počítačem viz. Obr. č.10, který nám za pomoci daného programu zajišťuje fungování stroje. V tomto programu se zadávají potřebné parametry ke zkoumání daného výřezu. Ovládací stolek ovládá celý systém Woodeye.



**Obrázek 23: Ovládací stolek zařízení**

zdroj: Vlastní zpracování

Tento stolec a celkově stroj je poháněn dohromady třemi počítači, které se nacházejí ve speciální skřínce z důvodu prašnosti viz obr. č.24. Každý z těchto počítačů má jinou funkci:

**1.Funkce tohoto počítače je určena pro RTG záření.**

**2.Druhý počítač je určen pro skenování řeziva.**

**3.Třetí počítač má funkci sdružovací.**



**Obrázek 24: Technická skříňka se třemi počítači**

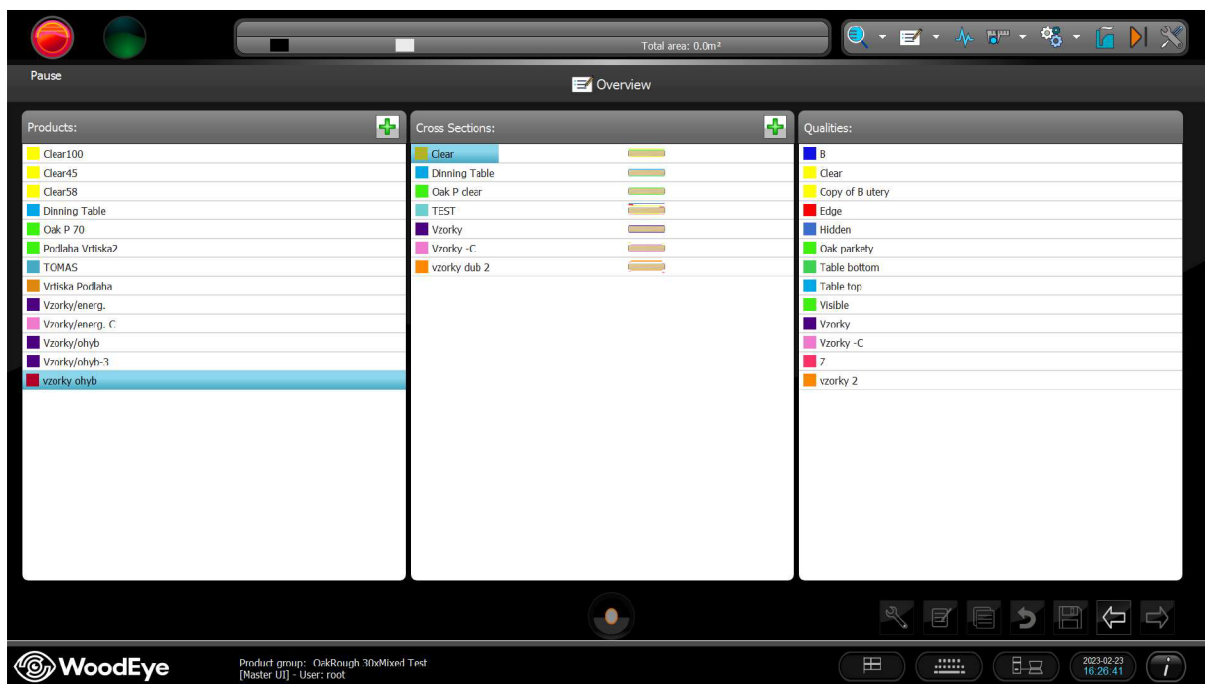
zdroj: Vlastní zpracování

## 5.2 Software

Skenování řeziva skenerem je doposud v České republice méně známá varianta třídění řeziva.

Pro skenování řeziva Woodeye systémem je potřeba správně proškolená osoba a znalost softwaru určeného pro skenování. Před samotným procesem skenování by měl přístroj projít lehkou údržbou. Skenery se většinou nachází v místech se zvýšenou prašností, proto je potřeba šetrně utřít skla v rámu přístroje, tak aby kamery ve stroji poskytly co nejpodrobnější a nejpresnější výsledky.

Před zapnutím programu určeným pro skenování je potřeba mít dopředu rozmyšlený výsledný produkt, který budeme skenovat v přístroji. K tomu abychom docílili výsledného produktu je potřeba mít připravené požadované rozměry, kvalitu a stupeň opracování. První záložka tedy bude definice produktu.

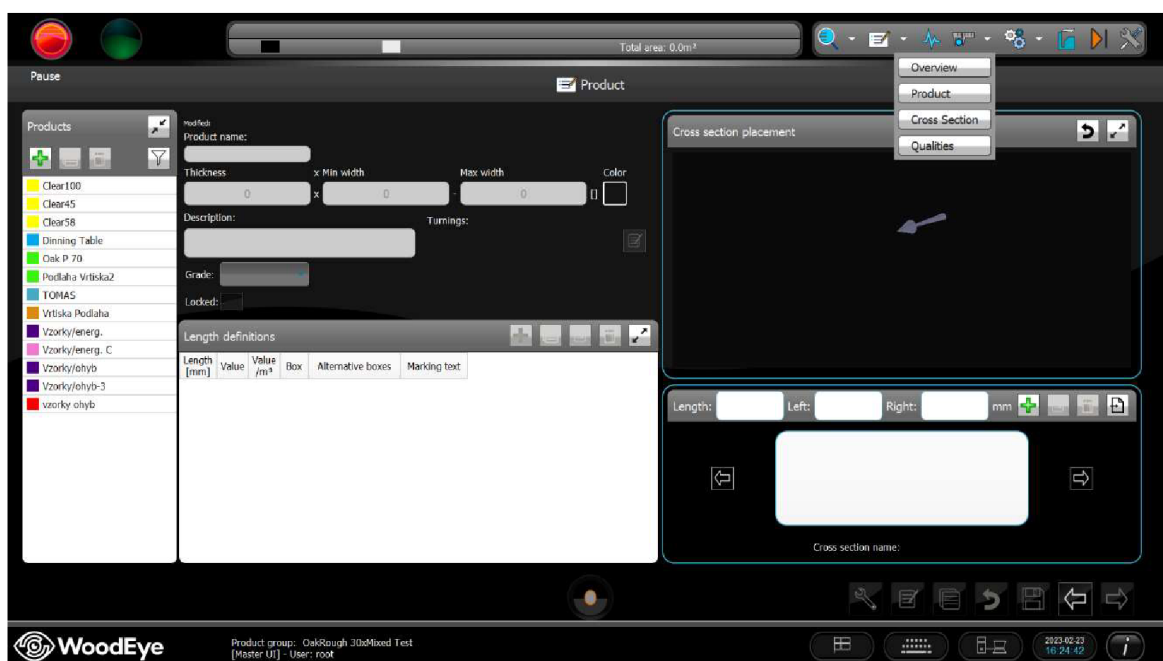


Obrázek 25: Přehled nabídky

zdroj: Software Woodeye

### 5.3 Produkt

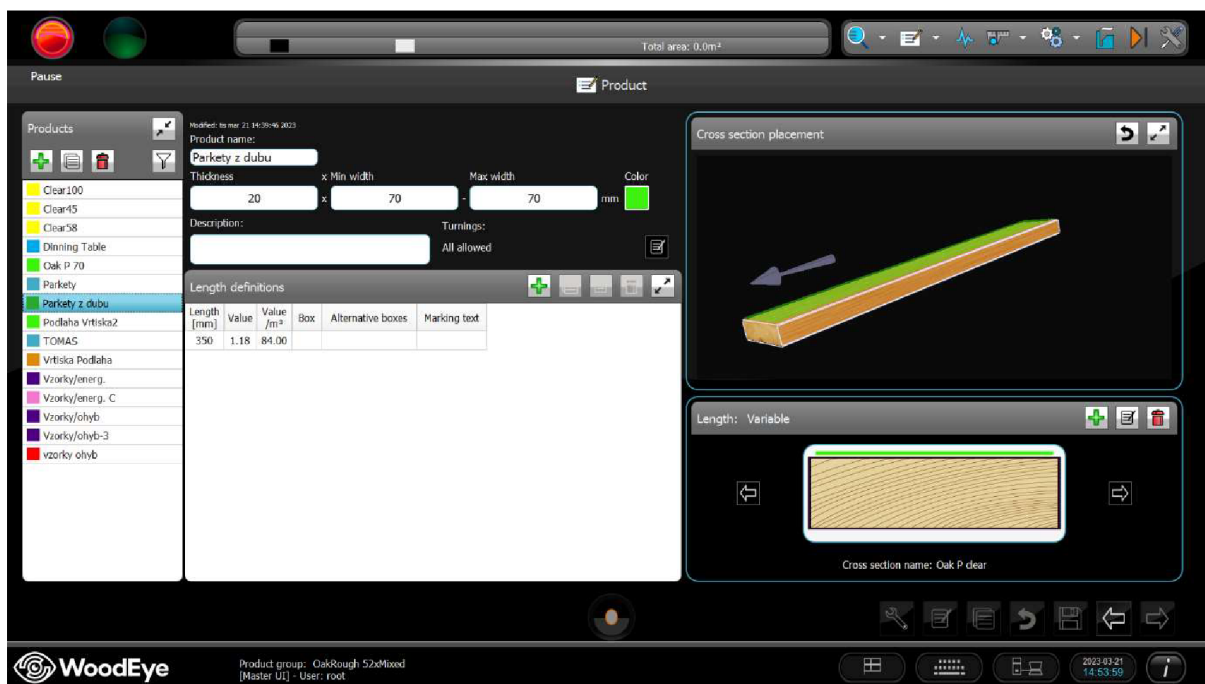
Mezi první záložky, které potřebujeme zapnout před samotným procesem skenování, patří produkt. Produkt je místo, kde si můžeme aktivně nastavit délku produktu, jeho šířku, tloušťku a v neposlední řadě název tohoto produktu. V produktu si můžeme nastavit množství daného prvku a jeho kvalitativní opracovanost z jednotlivé strany (cross section). Další věc, kterou můžeme v sekci produkt nastavit je hodnota daného prvku uložené rozměry jsem využil v další záložce výroba.



Obrázek 26: Sekce produkt

zdroj: Software Woodeye

Ve své práci jsem jako výsledný produkt pro optimalizaci použil dubové parkety o rozměrech viz. obr. č.16., které jsem následně zadal do softweru. Uložené rozměry jsem dále využil v záložce výroba. Následující položkou, která je potřeba v sekci prdukt zvolit, je zvolení cross section.

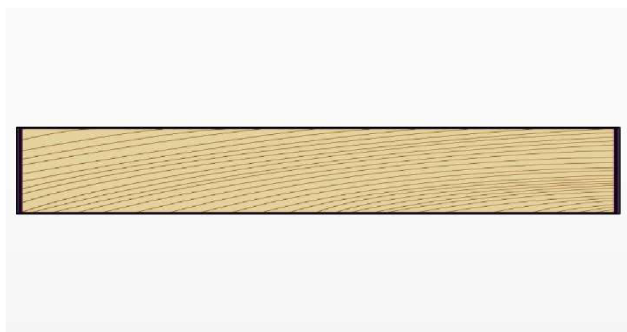


Obrázek 27: Vlastní zadané rozměry

zdroj: Software Woodeye

#### 5.4 Cross Section:

Cross Section je sekce, kde přidáváme na materiál informace, jak chceme, aby výsledný produkt vypadal, co se týče kvality a opracování. V této záložce, lze charakterizovat v jakých místech můžou být vady, jako suky, trhliny či jiné vady. Nastavení lze charakterizovat jednotlivě na každé straně včetně boků. V případě volení jednotlivých kvalit na určitý úsek je třeba si dopředu promyslet zvolený způsob, tak aby nedošlo ke špatnému výsledku vyrobeného produktu například v případě špatně zvolené kvality v místě konstrukčního spoje, či zaoblení hrany. Jednotlivá barva značí jednotlivou kvalitu, kterou si navrhne ve složce kvality.

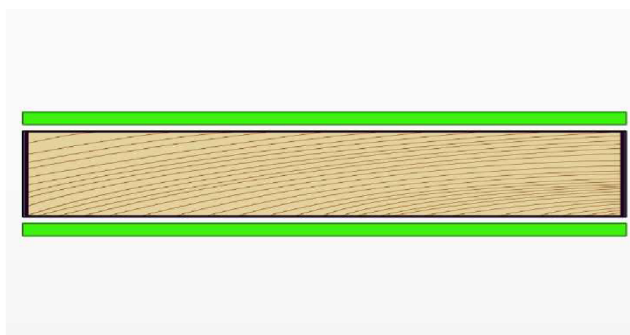


Obrázek 28: Záložka Cross Section

zdroj: Software Woodeye

### 5.4.1 Příklady Cross Section

Zelené čáry na spodní a horní straně **viz obr.29** značí, že zadaná kvalita má být použita pouze na spodní a vrchní straně materiálu. Tato zvolená varianta může být například použita u parket, kdy chceme, aby vrchní a spodní strana byla ve výborném stavu na základě charakterizovaných přípustných vad v sekci kvalita.



Obrázek 29: Příklad Cross Section

zdroj: Software Woodeye

V tomto případě je materiál ohraničený z každé strany zelenou čarou. Toto zadání **viz obr.30** znamená že charakterizovaná kvalita, kterou si vytvoříme by měla platit pro všechny strany. Toto zvolení má využití například v případě náročného zákazníka co se týče kvality parket či na různé stolové desky, kde je potřeba co nejlepší kvalita. V této variantě lze také zvolit v případě stolové desky dvě kvality a to tak, že vrchní a boční strany budou v jedné lepší kvalitě a spodní strana bude mít přípustné určité vady a bude mít charakterizovanou jinou kvalitu.



Obrázek 30: Příklad Cross Section

zdroj: Software Woodeye

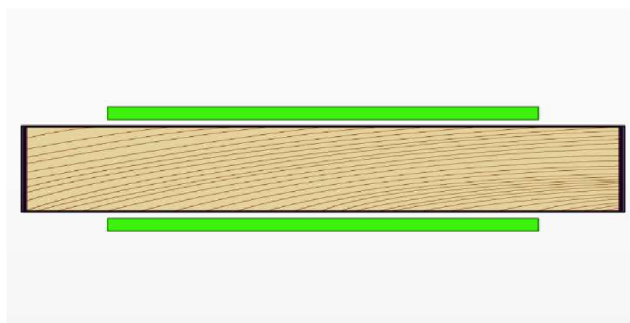
Tato varianta viz obr.31. se sestává ze dvou kvalit, kdy na vrchní a spodní straně je rozdělen materiál jinou potřebnou kvalitou. Červené čáry, které se nacházejí na stranách materiálu jsou charakterizovány výbornou kvalitou například z důvodu, že toto místo je potřebné pro kvalitní konstrukční spoj. Zelená kvalita bude mít tedy jinou charakteristiku než červená.



**Obrázek 31: Příklad Cross Section**

zdroj: Software Woodeye

V tomto příkladu viz obr.č.32. je kvalita na vrchní a spodní straně neprotážená do krajů. Toto je například v případě, kdy víme že tuto část budeme frézovat a není na tomto místě potřeba charakterizovat jakou koliv kvalitou.



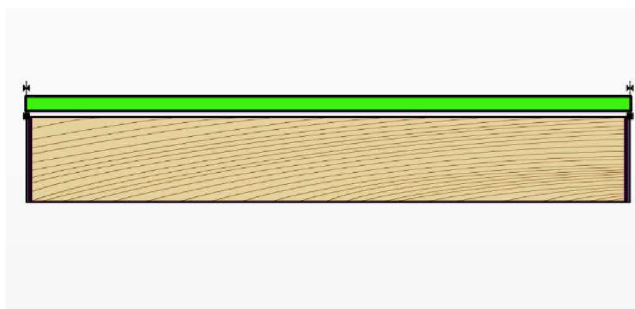
**Obrázek 32: Příklady Cross Section**

zdroj: Software Woodeye

Pro své vlastní parkety jsem použil kvalitu, která charakterizuje pouze vrchní vrstvu a to z důvodu, že boky parket nebudou vidět, protože parkety jsou složeny na tupo a spodek parket bude položen na pokládkové vrstvě tudíž nebude též vidět. Mnou zvolené parkety mohou být charakterizovány do tří jakostních tříd kdy vrchní vrstva je:

- Dokonale čistá.
- S menším počtem vad.
- S větším počtem suků a vad.





Obrázek 33: Vlastní parkety

zdroj: Software Woodeye

## 5.5 Kvalita

V sekci kvalita, si navolíme požadovanou kvalitu na výsledný produkt. Jedná se o tu část v záložce produkt, kde volíme Cross Section. Jednotlivou kvalitu si charakterizujeme zvolenou barvou pro lepší orientaci. Software vyhodnocuje veškeré vady a barevné anomálie podle kalibračního barevného etalonu. Nastavení kvality lze nastavit podle normy či vlastně definované

	B	Clear	Copy of B utery	Edge	Hidden	Oak parkety	Table bottom	Table top	Visible	Vzork
Xray Knot	0x30	Žádné	0x30	Vše	Vše	Žádné	20x20	20x20	Vše	Žádné
<b>Zdravý suk</b>	Vše	Vše	Vše	5x5	Vše	20x20	Vše	10x10	5x5	Vše
Černý suk	Vše	5x5x0	Vše	3x3x0	Vše	5x5x0	20x20x0	10x10x0	3x3x0	5x5x0
Suk vlákna	Vše	Vše	Vše	12x12	Vše	Vše	Vše	Vše	12x12	Vše
Prasklina	0x25	0x15	0x25	0x45	0x50	0x15	0.5x15	Žádné	0x15	0x15
Šikmá trhlina	0x65	0x25	0x65	Vše	0x50	0x25	0x50	Žádné	0x30	0x25
Oblina	3x20x2.5	3x25x2.5	3x20x2.5	15x0x3	15x0x3	3x25x2.5	3x25x2.5	Žádné	4x0x3	3x25x2.5
Profil	3x3x3	2x6x3	3x3x3	Vše	Vše	2x6x3	Žádné	Žádné	3x3x1.5	2x6x3
Otvor	6x10	Žádné	6x10	Vše	Vše	Žádné	Žádné	Žádné	Žádné	Žádné
Sap Area	Vše	Vše	Vše	Vše	Vše	Vše	Vše	Vše	Vše	Vše
White Sap	Vše	Vše	Vše	Vše	Vše	Vše	Vše	Vše	4x15x5	Vše
Zeslabení profilu	0x30x0	Žádné	0x30x0	Vše	Vše	Žádné	Vše	Vše	0x30x0.5	Vše
Modrá	Vše	Vše	Vše	Vše	Vše	Vše	Vše	Vše	Vše	Vše
Červená	Vše	Žádné	Vše	Vše	Vše	Žádné	Vše	Vše	4x40x17	Vše
Hnědý pruh	Vše	Vše	Vše	Vše	Vše	Vše	Vše	Vše	Vše	Vše
Černý pruh	1x50	1x12	1x50	Vše	Vše	1x12	Vše	Vše	1x30	Vše
Kůra	Žádné	Žádné	Žádné	Vše	Vše	Žádné	Vše	Vše	Žádné	Vše
Žlutá	Vše	Vše	Vše	Vše	Vše	Vše	Vše	Vše	0x0x0	Vše
Dark Grey	Vše	12.7x50.8x8	Vše	Vše	Vše	12.7x50.8x8	Vše	Vše	0x30x5	Vše
Podrozměr	0x10	0x10	0x10	Vše	Vše	0x10	Vše	Vše	0x10	Vše
Drsnost	Vše	Vše	Vše	Vše	Vše	Vše	Vše	Vše	Vše	Vše
Tmavost	Vše	Vše	Vše	Vše	Vše	Vše	Vše	Vše	Vše	Vše

Obrázek 34: Záložka vady

zdroj: Software Woodeye



U kvality si definujeme přípustnost jednotlivých vad. Ve své práci jsem použil kvalitu: „Oak Parkety,“. Tato kvalita odpovídá horní pohledové straně, která je opatřena malým počtem drobných přípustných vad. Povolené vady v mé práci nesmí porušovat mechanické vlastnosti a ničit estetičnost finálního produktu. Parkety lze členit do více jakostí podle vkusu zákazníka. Pokud si zákazník přeje, může být vzhled na pohledové straně opatřena vadami, které připomínají více přírodní charakter. Po přiřazení kvality, následuje složka výroba.

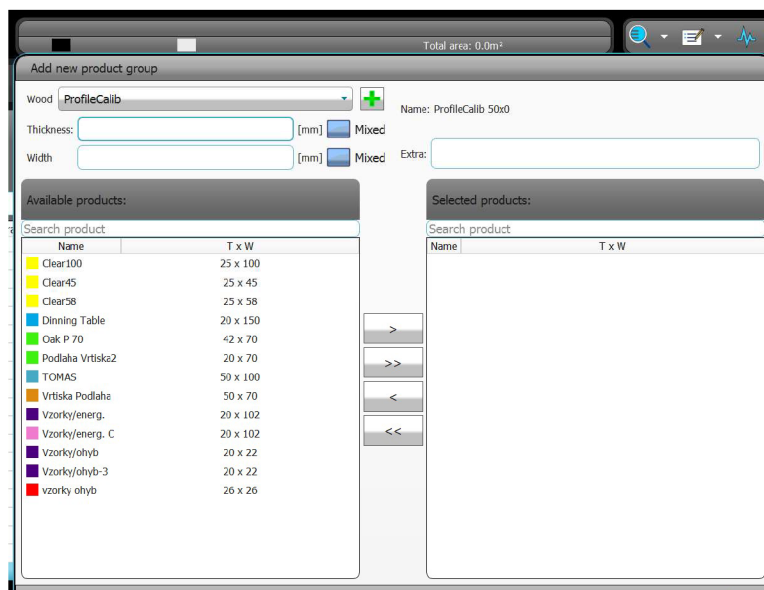
**Tabulka 1: Příklad zvolené kvality**

Zdravý suk.	Povoleno do určitého rozměru
Šikmá trhina.	Povoleno do určitého rozměru
Zeslabené části parkety	Nepovoleno.
Zbarvení.	Nepovoleno.
Část kůry.	Nepovoleno.
Otvor po dřevokazném hmyzu.	Nepovoleno.
Otvor po hřebíku, či něčem jiném.	Nepovoleno
Prasklina	Povolena do určitého rozmeru

Zdroj: Vlastní zpracování

## 5.6 Sekce výroba

V této části, dochází k výslednému zvolení produktu, který se charakterizoval ve všech dosavadních sekcích. Tento vybraný produkt budeme skenovat. Skener po zvolení daného produktu, upraví kamery na definovanou tloušťku.



**Obrázek 35: Zvolení produktu na skenování**

zdroj: Software Woodeye

## 5.7 Samotný proces skenování

Po zapnutí a nastavení kamery na určenou tloušťku řeziva, se za pomoci dopravníku posune řezivo viz obr.č.36. do stroje, kde kolečka kodéru se začnou otáčet. Kodér udává informace o rychlosti pohybu řeziva do stroje. Desku zaznamenávají senzory, které jsou všude v rámu konstrukce a mezi nimi je jeden hlavní senzor který zaznamenává desku od začátku do konce. Senzory odešlou do hlavního počítače snímky skenovaného řeziva včetně veškerých vad. Hlavní počítač optimalizuje a vybírá co největší zhodnocení daného řezivo pro určený prvek.



Obrázek 36: Skenovaná dubová fošna

zdroj: Software Woodeye

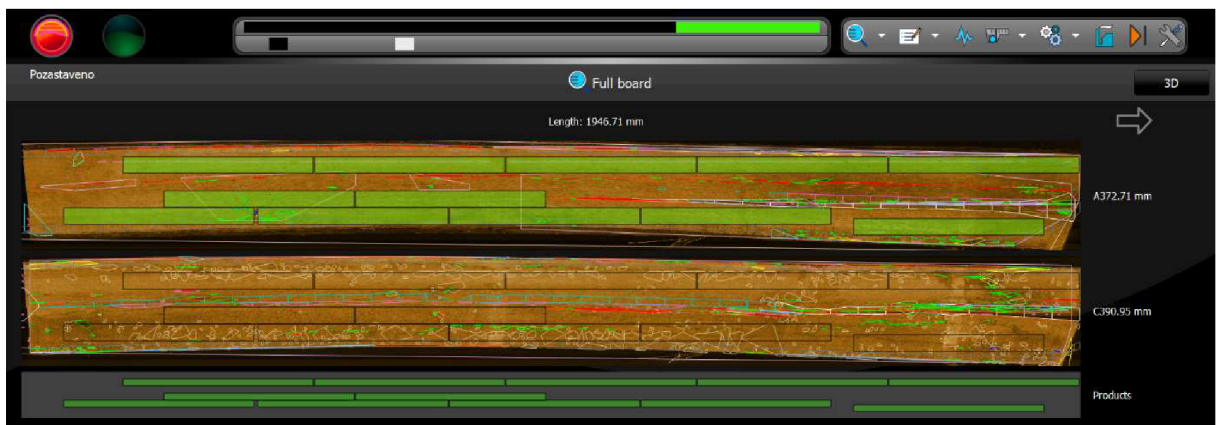
Dubová fošna je za pomoci dopravníku posunuta do stroje, kde počítač vyhodnotí veškeré údaje viz Obr.37. Toto vyhodnocení nám udává potřebné informace pro následné řezání a určuje nám výtěžnost materiálu. Počítač také barevně vyhodnocuje vady. Počítač graficky znázorňuje jednotlivé parketové vlysy, které jsou následně nařezány.

### 5.7.1 Ukázka výtěže:

Výtěž byla 43,2 % při nastavení parketové kvality „Oak Parkety,“. Tato kvantitativní výtěž je omezena pouze na jeden produkt se stanovenou jednotkovou cenou viz obr.37. Na dalším obrázku 38 byla nastavena optimalizace pro dva produkty s rozdílnou jednotkovou cenou. Žluté přířezy viz obr. 38. jsou v bezvadné kvalitě „clear,“. Kvantitativní výtěž byla v tomto případě 39,3 % Co se týká samotného nastavení bylo zvoleno vyhodnocení na základě

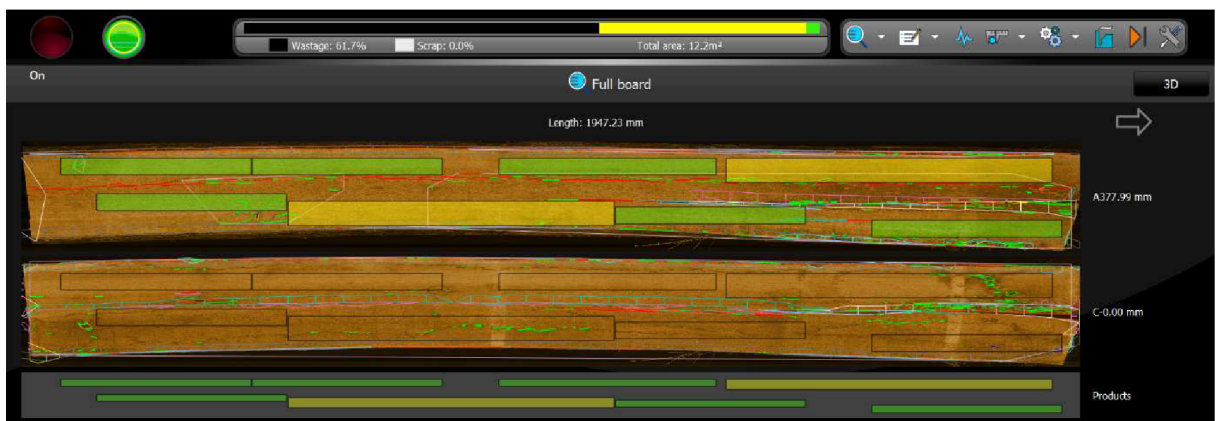
hodnoty. Tedy ve druhém případě byla celková hodnota výrobku vyšší i při nižší kvantitativní výtěži.

Ačkoliv tato dubová fošna má výtěž 12 kusů parketového vlysu, lze také charakterizovat na jednu fošnu parkety o více rozměrech najednou s více kvalitami najednou, či dva rozměry se stejnou kvalitou viz **Obr.38**. Tato fošna má poměrně velkou tlčinu což brání v maximální výtěžnosti.



Obrázek 37 Naskenovaný zvolený parketový vlys

zdroj: Software Woodeye



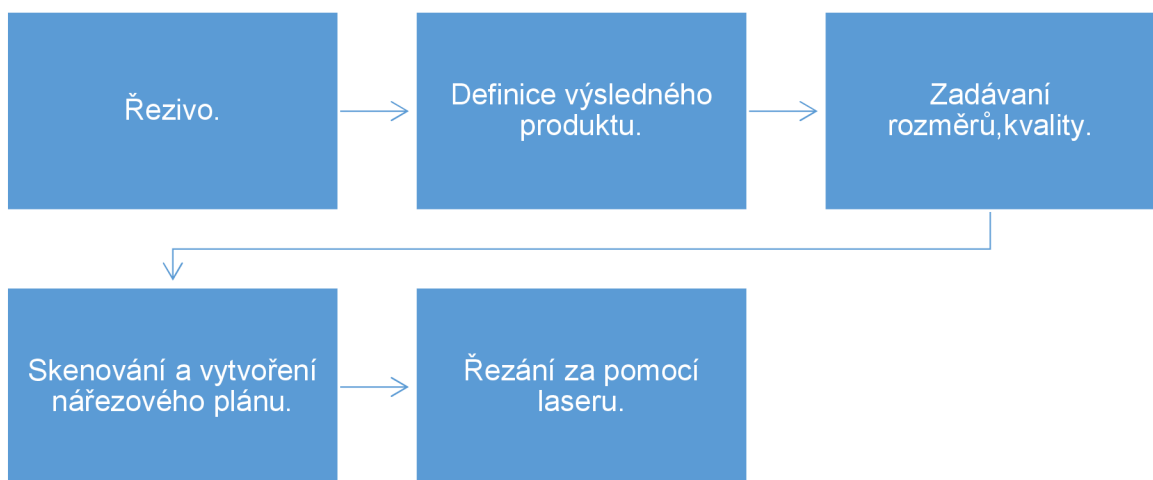
Obrázek 38: Nakombinované délky a šířky dubového vlysu

zdroj: Software Woodeye

## 5.8 Výsledné skenované řezivo

Výsledné informace, které podal skener, jsou dále odeslány do nářezového centra, kde bude materiál rozřezán podle vyhodnocených dat ze skenování. Toto nářezové centrum by mělo být zařazeno přímo za skener. V případě mé práce se dané řezivo bude řezat za pomoci laseru na dřevo, protože skener je nastaven pro řezání laserem.

## 5.9 Souhrn



**Obrázek 39: Souhrn návodu**

zdroj: Vlastní zpracování

## 6 Diskuse

Tato optimalizace, skenování řeziva za pomoci Woodeye systému a následné řezání laserem dále čeká na větší uplatnění na trhu v České republice. Dle mého názoru současná situace automatizace je velice příznivá pro větší vstup skenerů na trh. Skenování dřeva by urychlilo třídění řeziva dle jakosti a docházelo by ke zkvalitnění a urychlení opracování dřevní suroviny. Přesně udávané informace ze skeneru by snížily náklady za dřevní surovinu, protože by došlo k co nejvýhodnějšímu a nejlepšímu pořezu dřevní hmoty což souvisí také s ekologií a ekonomikou.

Skenování v pilařském průmyslu urychluje rychlí zber informací během několika vteřin, což ušetří čas při určování stavu a jakosti řeziva. Měření řeziva zabraňuje plýtvání. Zlepšuje se kvalita výsledného produktu a dochází ke snížení odpadu. Skenování je nový koncept proto bude stále nabírat na síle (<https://arrival3d.com/>).

Stoupající poptávka po dřevařských výrobcích a řeší otázky životního prostředí od pily až po finální produkt. Dřevo je jeden z mála obnovitelných ekologických stavebních materiálů, tak je potřeba stále rozvíjet nové technologie, s kterými se zlepšuje i ekologie v dřevozpracujícím průmyslu. Světová banka předpověděla že do roku 2050 stoupne poptávka po dřevě téměř čtyřnásobně (Ozarska a Kol. 2018).

Co se týká řezání masivního dřeva laserem, tato technologie se stále vyvíjí. Při testech řezání masivního dřeva byly zkoušeny různé výkony Laseru do tvrdého a měkkého dřeva. Tyto počáteční zkoušky byly motivací pro další zkoumání. Vývojáři se rozhodli v roce 2019 podat patent pro řezání masivního dřeva. Výkon laseru byl bohužel v počátečních zkouškách příliš nízký pro rychlejší řezání za pomoci laseru. Další výzkumy se věnovaly CO2 laseru. Výsledky ukázaly, že řezání za pomoci CO2 laseru může být aplikované pro řezání dřeva. Další úsilí a výzkumy by se měly zaměřit na vláknové optické a polovodičové lasery. Výsledky ukázaly že, čím větší výkon je použit, tím více je řez zničen a dochází k zuhelnatění povrchu.

U menšího výkonu a posuvu dojde k většímu zničení buněčné struktury dřeva (Maciak a Kol .2020).

Co se týče ceny této optimalizace, tak tuto cenu zatím nelze odhadnout, kvůli tomu, že řezání masivního dřeva laserem je stále používána v malém množství a stále se vyvíjí. Náklady mohou být vyšší v závislosti na ekonomické situaci a celkové situaci na trhu práce. Woodeye je švédská firma, tudíž bude záležet i na aktuální měně. Důležité je také zmínit, že

tvorba ceny je velice individuální. Cílová skupina kupujících je v tomto ohledu velice důležitým faktorem. Větší firmy budou mít určitě větší rozpočet na celkovou vybavenost stroje, než průměrné firmy či systém sloužící k používání ve školách.

## 7 Závěr

Téma skenování řeziva skenerem a následné řezání za pomoci laseru by se mělo řešit z důvodu aktuality průmyslu 4.0, který souvisí s automatizací. Dalším důvodem, proč by se tato problematika měla řešit, je stoupající nárok na ekologii. Sbírané informace dokážou využít maximální potenciál daného řeziva, čímž se dokáže dosáhnout úspory materiálu, s čím souvisí ekonomie. Díky této technologii by se dosáhlo ke snížení těžby. Proto je potřeba se dále věnovat těmto technologiím. U nás je systém skenování řeziva pomocí Woodeye doposud nepříliš využíván v dřevozpracujícím průmyslu, proto jsem se snažil tuto problematiku v mé práci přiblížit.

Před samotným skenováním jsem se věnoval problematice dubového dřeva a jeho hlavního zkoumaného prvku dřevěných parket. V práci jsem charakterizoval: druhy dřevěných podlah, povrchové úpravy a skládání samotných parket.

Skenování řeziva za pomoci optického skeneru je poměrně nová technologie, která se rozvíjí. Stoupající nároky na kvalitu a rychlost v dřevozpracujícím průmyslu, zapříčinily vznik nových technologií. Tato technologie by měla urychlit výrobní proces. Systém vyhodnocuje, veškeré vady. Na základě dostupných informací systém, vytvoří přehledný nářezový plán na určitý produkt. Výsledný produkt je nařezán za pomoci laseru na masivní dřevo, který stále prochází vývojem.

Laserové řezání si od svého vzniku našlo využití skoro v každém průmyslovém odvětví pro obrábění materiálu. Laserový paprsek pro obrábění masivního dřeva je v této práci pouze teoretické obrábění materiálu. V práci jsem také porovnával konvenční řezání kotoučovou pilou s Laserovým paprskem. Laserový paprsek na masivní dřevo je zatím velice pomalý, ale ve srovnání s konvenčním obráběním materiálu je tato technologie úsporná z hlediska výtěžnosti dřeva. Nekonvenční metoda obrábění (Laser na dřevo) je nákladnější a jeho možnosti jsou zatím dány výkonem laseru a druhu obráběného materiálu. V dnešní době jsou dostupné lasery dražší než, kterékoliv konvenční metody.

Praktická část této práce se věnuje popisu systému Woodeye. Dále v praktické části popisují optimalizační návod. V tomto návodu popisují jednotlivé záložky, uvádím příklady a v neposlední řadě zadávám data pro můj výsledný produkt. Výstupem mé práce je tedy návod na optimalizaci.

Tato práce je určena pro čtenáře, kteří mají zájem o nové technologie a technologie, které se můžou v budoucnu využívat v dřevozpracujícím průmyslu. Dle mého názoru tato technologie bude velice využívaným způsobem v době, kdy se klade čím dál větší důraz na životní prostředí a automatizaci.



## 8 Citace a seznam literatury

1) **Briggert ,A. a Kol.**, Prediction of tensile strength of sawn timber: definitions and performance of indicating properties based on surface laser scanning and dynamic excitation (2020), DOI: 10.1617/s11527-020-01460-5, [cit. 2023-20-03].

Dostupné z:

[https://www.researchgate.net/publication/341308976\\_Prediction\\_of\\_tensile\\_strength\\_of\\_sawn\\_timber\\_definitions\\_and\\_performance\\_of\\_indicating\\_properties\\_based\\_on\\_surface\\_laser\\_scanning\\_and\\_dynamic\\_excitation](https://www.researchgate.net/publication/341308976_Prediction_of_tensile_strength_of_sawn_timber_definitions_and_performance_of_indicating_properties_based_on_surface_laser_scanning_and_dynamic_excitation)

2) **Maciak, A. a Kol.** Infrared Laser Application to Wood Cutting (2020), DOI: 10.3390/ma13225222, [cit. 2023-20-03].

Dostupné z:

[https://www.researchgate.net/publication/347054262\\_Infrared\\_Laser\\_Application\\_to\\_Wood\\_Cutting](https://www.researchgate.net/publication/347054262_Infrared_Laser_Application_to_Wood_Cutting)

3) **Davim, J.** *Wood machining*, London: Wiley, (2011), ISBN 978-1-84821-315-9, [cit. 2023-20-03].

4) **eAGRI. Lesy**, (nedatováno), Lesnictví, [cit. 2023-20-03].

Dostupné z: <http://eagri.cz/public/web/mze/lesy/lesnictvi/>.

5) **Patříčný, M.** Velká kniha o dřevě, Vyd. 1, Paha: Fortuna Libri, (2016) , ISBN 978-80-7546-053-0 , [cit. 2023-20-03].

6) **Empiri**, Dubové podlahy: kvalita prověřená časem, (nedatováno), [cit. 2023-20-03].

Dostupné z: <https://www.empiri.cz/dubove-podlahy-kvalita-proverena-casem/>

7) **Plancher**, Dubové podlahy – krása a dlouhověkost (2020), [cit. 2023-20-03].

Dostupné z: <https://www.plancher.cz/blog/clanek/dubove-podlahy-krasa-a-dlouhovekost>

8) **Dřevopodlahy**, Čím a jak upravit povrch dřevěné podlahy, (2013), [cit. 2023-20-03].

Dostupné z: <https://www.ceskestavby.cz/clanky/cim-jak-upravit-povrch-drevene-podlahy-21778.html>

9) **Cwo-wood**, Kartáčování podlah, (2014), [cit. 2023-20-03].

Dostupné z: <https://www.cwo-wood.cz/cs/kartacovani>

10) **Barlinek**, Typy dřevěných podlah, (nedatováno), [cit. 2023-20-03].

Dostupné z: <https://www.barlinek.cz/inspirace-a-design/typy-drevenych-podlah/>

11) **Králová, M.**, Ultrazvuk, (2007), [cit. 2023-20-03].

Dostupné z: <http://edu.techmania.cz/cs/encyklopedie/fyzika/akustika/ultrazvuk>

12) **Wei, Q. a Kol.** On the use of X-ray computed tomography for determining wood properties ,(2011),<https://doi.org/10.1139/x11-111>, [cit. 2023-20-03].

Dostupné z: [https://is.czu.cz/auth/student/zobraz\\_zp.pl?;zp=323450;obdobi=1107;studium=274502;zp=323450](https://is.czu.cz/auth/student/zobraz_zp.pl?;zp=323450;obdobi=1107;studium=274502;zp=323450)

13) **Beaulieu, J. a Kol.**, Applications of computed tomography (CT) scanning technology in forest research, (2019), <https://doi.org/10.1139/cjfr-2018-0537>, [cit. 2023-20-03].

Dostupné z: <https://cdnscepub.com/doi/10.1139/cjfr-2018-0537>

14) **Franke, B. a Kol.**, Assessment of Timber Structures Using the X-Ray Technology, (2013), 10.4028/www.scientific.net/AMR.778.321, [cit. 2023-20-03].

Dostupné z:

[https://www.researchgate.net/publication/272103283\\_Assessment\\_of\\_Timber\\_Structures\\_Using\\_the\\_X-Ray\\_Technology](https://www.researchgate.net/publication/272103283_Assessment_of_Timber_Structures_Using_the_X-Ray_Technology)

15) **Čiháková, V.**, Vliv řezání laserovým paprskem na změnu barvy a lesku řezných ploch, 2019. Diplomová práce. Česká zemědělská univerzita v Praze, Fakulta lesnická a dřevařská, Vedoucí práce Vedoucí práce, Miroslav Sedlecký, [cit. 2023-20-03].

16) **Davim, J. P.** Surface Integrity in Machining, 1. vyd., London: Springer, (2010), ISBN 978-1-84882-973-5, [cit. 2023-20-03]

Dostupné z:

[https://www.researchgate.net/publication/266415585\\_Surface\\_Integrity\\_in\\_Machining](https://www.researchgate.net/publication/266415585_Surface_Integrity_in_Machining)

17) **Csanády, E. a Kol.** Mechanics of Wood Machining, Springer (2013), ISBN 978-3642299544, [cit. 2023-20-03].

Dostupné z:

[https://www.researchgate.net/publication/292359391\\_Mechanics\\_of\\_wood\\_machining\\_second\\_edition](https://www.researchgate.net/publication/292359391_Mechanics_of_wood_machining_second_edition)

18) **Osička, K. a Kol.**, Nekonvenční technologie obrábění, (2012), [cit. 2023-20-03].

Dostupné z: <http://opus.fme.vutbr.cz/dokumenty/moduly/Osicka.pdf>

19) **Maňková, I.** Progresívne technológie 1. vydanie, Košice, Viena, (2000), ISBN 7099-430-4, [cit. 2023-20-03].

20) **LAO – průmyslové systémy, s.r.o.**, Řezání dřeva a překližky laserem, (nedatováno), [cit. 2023-20-03].

Dostupné z: <http://www.lao.cz/aplikace-79/laserove-rezani-80/rezani-dreva-a-preklizky-laserem-82>

21) **Roubíček, M.**, Řezání CO2 laserem – Optický systém Bifocal (2005), [cit. 2023-20-03].

Dostupné z: <http://old.konstrukce.cz/clanek/rezani-co2-laserem-opticky-system-bifocal/>

22) **Řasa, J. a Kol.**, Strojírenská technologie, 3 - 2. díl. 2. vyd., Scientia, (2005), ISBN 80-718-3336-3, [cit. 2023-20-03].

23) **Kořán, P.**, Seriál na téma lasery – Základní princip laseru a jejich dělení, (2021), [cit. 2023-20-03].

Dostupné z : <http://www.lao.cz/serial-princip-a-typy-laseru.htm>

24) **Zaidler, A.**, Lexikon vad dřeva (2010), [cit. 2023-20-03].

Dostupné z : [https://r.fld.czu.cz/vyzkum/multimedia/lexikon\\_vad/index.htm](https://r.fld.czu.cz/vyzkum/multimedia/lexikon_vad/index.htm)

25) **Křupalová, Z.** Nauka o materiálech, pro 1.a 2. ročník SOU učebního oboru truhlář, 3.vydání, Praha, Sobotáles (2008), ISBN 978-80-86817-25-5, [cit. 2023-20-03].

26) **Nöstler, M.**, High quality thanks to continuous Innovation, (2019), [cit. 2023-20-03].

Dostupné z : [https://www.timber-online.net/wood\\_products/2019/12/high-quality-thanks-to-continuous-innovation.html](https://www.timber-online.net/wood_products/2019/12/high-quality-thanks-to-continuous-innovation.html)

27) **Rais, A. a Kol.**, The use of the first industrial X-ray CT scanner increases the lumber recovery value: case study on visually strength-graded Douglas-fir timber, (2017), <https://doi.org/10.1007/s13595-017-0630-5>, [cit. 2023-20-03].

Dostupné z : <https://annforsci.biomedcentral.com/articles/10.1007/s13595-017-0630-5#citeas>

28) **Zhou, Y. a Kol.**, The detection of structure in wood by X-ray CT, (2018), [cit. 2023-20-03].

Dostupné z:

<https://bioresources.cnr.ncsu.edu/resources/the-detection-of-structure-in-wood-by-x-ray-ct-imaging-technique/>

29) **Uživatelská příručka firmy Microtec**, (nedatováno), [cit. 2023-20-03].

Dostupné z:

[https://microtec.eu/?gclid=Cj0KCQjwz6ShBhCMARIsAH9A0qX6wYmHQ8CbUhgNLcu5LG30d8yQUsq761KQWva1jvkju3ziFkwggpMaAu9NEALw\\_wcB](https://microtec.eu/?gclid=Cj0KCQjwz6ShBhCMARIsAH9A0qX6wYmHQ8CbUhgNLcu5LG30d8yQUsq761KQWva1jvkju3ziFkwggpMaAu9NEALw_wcB)

30) **Ozarska, B.** Minimizing environmental impacts of timber products through the production process , (2018) , <https://doi.org/10.1186/s40068-018-0109-x> , [cit. 2023-20-03].

Dostupné z:

<https://environmentalsystemsresearch.springeropen.com/articles/10.1186/s40068-018-0109-x>

31) **Arrival3d**, Benefits of using Laser Scanning in the sawmill industry, (nedatováno), [cit. 2023-20-03].

Dostupné z:

<https://arrival3d.com/benefits-of-using-laser-scanning-in-the-sawmill-industry/>