

Česká zemědělská univerzita v Praze

Fakulta lesnická a dřevařská

Bakalářská práce

2021

Matyáš Pflug

Česká zemědělská univerzita v Praze

Fakulta lesnická a dřevařská

**Porovnání obrábění laserem a přímočarou pilou při výrobě
dřevěné šablony**

Bakalářská práce

Autor: Matyáš Pflug

Vedoucí práce: doc. Ing. Monika Sarvašová Kvietková, PhD.

2021

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Fakulta lesnická a dřevařská

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Matyáš Pflug

Dřevařství

Dřevařství

Název práce

Porovnání obrábění laserem a přímočarou pilou při výrobě dřevěné šablony

Název anglicky

Comparison of machining using a laser and a jigsaw during the making of a wooden stencil

Cíle práce

Hlavním cílem práce bude porovnání dvou způsobů obrábění dřeva při výrobě šablony. Přičemž jeden bude klasický způsob obrábění a druhý nekonvenční způsob obrábění konkrétně laserem při výrobě konkrétní šablony. Hodnocení bude zaměřeno na estetický charakter výroby a náročnost obrábění.

Metodika

Charakteristika metody obrábění paprskem laseru a obrábění přímočarou pilou. Historický vývoj jednotlivých technologií až po současnost. Popis a přiblížení postupů u obou způsobů obrábění při výrobě šablony. Srovnání výhod a nevýhod jednotlivých metod výroby a porovnání navzájem.

Časový harmonogram zpracování závěrečné práce bude probíhat v základních a metodologicky odlišných etapách:

- 1/ červenec – srpen 2020: literární rešerše – zpracování podkladů, literatury a dalších informačních zdrojů, utřídění poznámek a námětů, kdy bude precizována osnova práce a základní členění tematických celků do kapitol,
- 2/ září – říjen 2020: příprava vzorků, formulaci hypotéz jejich operacionalizaci, popis metod, které budou použity v bakalářské práci,
- 3/ listopad – prosinec 2020: pečlivě provedené měření v laboratořích,
- 4/ leden – březen 2021: výsledky zpracovávají adekvátními statistickými metodami a stanovení závěrů a zhodnocení,
- 5/ duben 2021: odevzdání závěrečné práce.

Doporučený rozsah práce

40 – 50 stránek

Klíčová slova

Obrábění, laser, přímočará pila, výroba šablony, porovnání obrobků

Doporučené zdroje informací

- BEER, P. Niekonwencjonalne narzedzia do obróbki drewna. Poznań, Wydawnictwo Akademii Rolniczej. 2007. s. 58-70. ISBN 978-83-7160-445-4.
- KRAJNÝ, Z. Nekonvenčné technológie a bezpečnosť pri práci. Bezpečná práca 4/1991. 1991. s. 152 – 156.
- KRNER, D., WIEDERMEIER, J., LOUIS, H. Safety aspects of jet cutting. Symp. On Jet Cutting Technology. 1982. Bedford.
- PEŠÍK, L. Části strojů: stručný přehled. Vyd. 4., dopl. Liberec: Technická univerzita v Liberci. 2010. s. 226 – 236. ISBN 978-80-7372-574-7.
- PROKEŠ, S. Obrábění dřeva a nových hmot ze dřeva. Praha: Nakladatelství technické literatury. 1982. 584 s., ISBN 04-833-82.
- ŘASA, J., GABRIEL, V. Strojírenská technologie 3. 1942-2002, vyd. 4. Praha: Scientia. 2005. 156 s., ISBN 80-7183-207-3.
- ŘASA, J., JINDROVÁ, R. Lasery, laserové technologie a stroje s laserem. MM Průmyslové spektrum. Červenec 2006, číslo 7, 8, s. 34-36. ISSN 1212-2572.
-

Předběžný termín obhajoby

2020/21 LS – FLD

Vedoucí práce

doc. Ing. Monika Sarvašová Kvietková, PhD.

Garantující pracoviště

Katedra zpracování dřeva a biomateriálů

Elektronicky schváleno dne 8. 7. 2020

Ing. Radek Rinn

Vedoucí ústavu

Elektronicky schváleno dne 21. 10. 2020

prof. Ing. Róbert Marušák, PhD.

Děkan

V Praze dne 01. 04. 2021

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma „Porovnání obrábění laserem a přímočarou pilou při výrobě dřevěné šablony“ vypracoval samostatně pod vedením doc. Ing. Moniky Sarvašové Kvietkové, PhD. a použil jen prameny, které uvádím v seznamu použitých zdrojů. Jsem si vědom, že zveřejněním bakalářské práce souhlasím s jejím zveřejněním dle zákona č. 111/1998 Sb. o vysokých školách v platném znění, a to bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V..... dne.....

Podpis autora:

Poděkování

Tímto bych chtěl poděkovat své vedoucí práce doc. Ing. Monice Sarvašové Kvietkové, PhD. za vedení práce, cenné rady a především za ochotu a trpělivost při zpracovávání mé bakalářské práce. Také bych chtěl poděkovat své rodině za podporu po celou dobu mého studia.

Abstrakt

Jak už z názvu bakalářské práce vyplývá, práce je zaměřena na tvorbu dřevěné šablony za využití dvou metod, a to za pomoci laserového zařízení a přímočaré pily. Následně se zaměřuje na jejich vzájemné porovnání z pohledu náročnosti obrábění a estetického charakteru. První část práce tvoří podrobná charakteristika obou metod, jejich historický vývoj, detailně a v bodovém rozdělení popisuje jednotlivá zařízení a průběh opracování dřeva.

Druhá část práce shrnuje obrábění laserem a přímočarou pilou, obsahuje vyhodnocení a porovnání obou metod z hlediska náročnosti. Po vytvoření šablon jsem se zaměřil na výhody a nevýhody spojené s daným typem obrábění. Tuto problematiku jsem podrobně rozepsal v kapitole výsledků, kde je například kladen důraz na opálené hrany při obrábění laserovým paprskem a odštěpení třísek v oblasti řezu u přímočaré pily.

Po srovnání výsledků a následné diskusi jsem dospěl k závěru, že každá z mnou zvolených metod obrábění má své výhody a nevýhody. U laserové technologie jsem dospěl k lepším výsledkům z pohledu výroby, co se týče finální kvality vyráběné šablony. Z pohledu praktičnosti a kompaktnosti při výrobě bych však upřednostnil obrábění přímočarou pilou.

Klíčová slova: Obrábění, laser, přímočará pila, výroba šablony, porovnání obrobků

Abstract

As can be deduced from the title of this thesis, it is focused on the production of a wooden stencil employing two methods, those being the usage of a laser device and a jigsaw. Consequently, it focuses on comparing these two methods regarding the difficulty of machining and the esthetic character of the final product. The first part consists of an in-depth characteristic of both methods, their historical development and point by point describes each device and the woodworking process.

The second part recapitulates machining using a laser and a jigsaw, and evaluates and compares both methods in regards to their difficulty. After finishing the stencils, I focused on strengths and weaknesses of each method of machining, which I then described in detail in the chapter dealing with results. This chapter speaks of things such as the burned edges when machining using the laser method or splintering of the wood in the place of the cut while using the jigsaw method.

After comparing the results and the following discussion, I came to the conclusion that both of my chosen machining methods have their advantages and disadvantages. The laser method yielded better results when it comes to the quality of the final product. In regards to practicality and compactness, however, I'd prefer using the jigsaw.

Key words: Machining, laser, jigsaw, production of a wooden stencil, comparison of workpieces

Obsah

1.	Úvod	10
2.	Cíl práce.....	11
3.	Obrábění dřeva.....	12
3.1.	Obrábění laserem.....	13
3.1.1.	Historie laseru	14
3.1.2.	Princip laseru	15
3.1.3.	Absorpce.....	15
3.1.4.	Základní rozdělení laserů podle režimu paprsku	17
3.1.5.	Konstrukce laseru.....	18
3.1.6.	Základní rozdělení laserů dle aktivního prostředí.....	20
3.1.7.	Řezání za pomoci CO ₂ laseru	21
3.1.8.	Využití laserové technologie nejen v dřevařském průmyslu.....	23
3.2.	Řezání pilami.....	25
3.2.1.	Vedlejší produkty řezání.....	25
3.2.2.	Přímočará pila	26
3.2.3.	Konstrukce přímočaré pily	27
3.3.	Výhody a nevýhody mnou zvolených technologií	28
4.	Metodika práce.....	30
4.1.	Materiál šablony	30
4.2.	Charakteristika strojního zařízení za pomoci laserové technologie	30
4.3.	Výroba šablony za pomoci přímočaré pily	33
4.3.1.	Přímočará pila.....	33
5.	Výsledky	35
6.	Diskuse	38
7.	Závěr.....	39
8.	Zdroje	40

1. Úvod

Výuka konvenčních a nekonvenčních metod obrábění v průběhu mého studia na České zemědělské univerzitě mě inspirovala ke zpracování bakalářské práce na toto téma. Takto bych chtěl nejen sobě přiblížit podstatu a důležitost laserové technologie porovnáním s již známou technologií obrábění za pomoci pilového nástroje.

Od nepaměti se lidé snažili obrábět dřevo za účelem změny jeho tvaru a funkce, k čemuž používaly různé materiály a nástroje. Ty se postupem času zdokonalovaly a vylepšovaly až do doby, jak je známe dnes.

V dnešní době se klade důraz na kvalitu a estetickou stránku obrobeného materiálu, ale zároveň bychom jej měli vyrábět co nejrychleji a ekonomicky nejvýhodněji. Tato myšlenka mě přiměla zpracovat bakalářskou práci na téma „Porovnání obrábění laserem a přímočarou pilou při výrobě dřevěné šablony“. Tyto dva způsoby obrábění jsem si vybral, protože mají významné uplatnění v dřevozpracujícím průmyslu a zároveň se výrazně liší v principu fungování. Jako zástupce konvenčního obrábění jsem zvolil přímočarou pilu pro její snadnou dostupnost a způsob použití. Oproti tomu mnou vybraná nekonvenční technologie obrábění laserovým paprskem není tolik známá a dostupná jako již zmíněná přímočará pila. Lidé znají konvenční obrábění dřeva již celá tisíciletí. Počátky užívání se datují do doby starověkého Egypta, zatímco nekonvenční metody obrábění za pomoci laseru jsou známy teprve několik desítek let. Především bych se chtěl zaměřit na přesnější přiblížení obou metod pro jejich lepší pochopení.

2. Cíl práce

Hlavním cílem práce je porovnání dvou způsobů obrábění dřeva při výrobě šablony. Přičemž jeden je klasický způsob obrábění a druhý nekonvenční způsob obrábění, konkrétně laserem při výrobě dané šablony. Hodnocení se zaměřuje na estetický charakter výroby a náročnost obrábění.

Dílčí cíle mé bakalářské práce:

- charakteristika mnou zvolených druhů obrábění,
- princip fungování a popis daného obrábění,
- výroba šablony oběma metodami,
- vyhodnocení a porovnání výsledků.

3. Obrábění dřeva

Obrábění znali již naši předkové od starověkého Egypta. Zpočátku obrábění představovalo ruční opracování jakéhokoliv materiálu, jako například dřeva nebo kamene. Postupem času se obrábění zdokonalovalo až do podoby, kterou známe dnes.

Obráběním dřeva se rozumí přeměna jakéhokoliv materiálu na hotový výrobek požadovaného tvaru, rozměru a jakosti povrchu. Při tomto procesu dochází k odebírání nebo oddělování dřevní hmoty za pomoci mechanických, elektrických nebo chemických pochodů či kombinacemi těchto technologií.

V neuzší významu znamená termín obrábění technologický postup přeměny polotvaru na výrobek, při kterém je dosaženo žádaného tvaru, rozměrů a jakosti povrchu postupným oddělováním přebytečného materiálu ve formě třísek. Samotné obrábění dělíme na ruční a strojní (Prokeš, 1982).

Pod pojmem strojní obrábění dřeva se rozumí technologický proces, při kterém se řezným nástrojem odděluje část obráběného materiálu, aby se získal výrobek potřebného tvaru a rozměrů. Oddělená surovina při obrábění je technologický produkt - např. dýha, piliny či třísky.

Dále obrábění dělíme na dvě skupiny podle toho, zda při procesu dochází ke vzniku třísek nebo třísky nevznikají.

Při třískovém obrábění vznikají piliny nebo hobliny. Nejsou však cílem činnosti jako při roztřískování nebo rozvlákňování dřeva, ale pouze vedlejším produktem. Cílem je dosáhnout předepsaných rozměrů, tvarů otvorů, tvarů a jakosti dílce.

Při beztřískovém obrábění nevznikají piliny ani hobliny, přesto se dřevo opracovává, protože se mění jeho tvar (Kvietková, 2015).

Obrábění dřeva můžeme dále dělit na konvenční a nekonvenční. Tyto metody následně popíšu.

Nekonvenční metody obrábění zahrnují způsoby obrábění, které nevyužívají mechanické práce k úběru materiálu na rozdíl od klasických technologií třískového obrábění. Nekonvenční metody jsou založeny na fyzikálně-chemickém anebo fyzikálním principu dělení materiálu. Při tomto dělení nedochází k vzniku třísek a silovému působení na obráběné materiály (Barcal, 1989).

Nekonvenční metody se využívají u náročného, nákladného a složitého obrábění. V některých operacích by bez využití těchto technologií nebylo možné zhotovit daný výrobek.

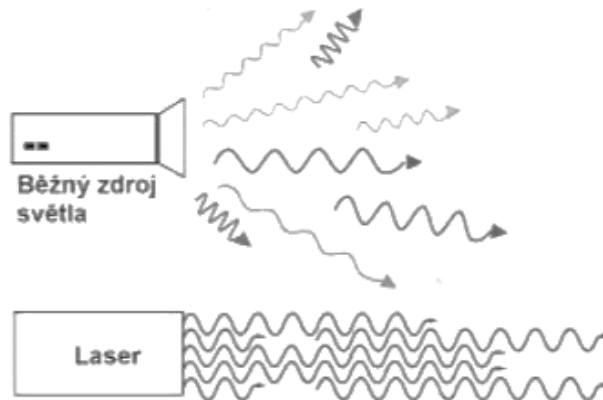
Obrobitelnost materiálu je závislá na jeho fyzikálních vlastnostech (tepelná vodivost, teplota tání, elektrická vodivost, chemické složení atd.), avšak mechanické vlastnosti, jako například tvrdost a pevnost, nemají na proces vliv (Mičietová, 2001).

V následujících kapitolách podrobněji rozepíšu nekonvenční obrábění za pomoci laserové technologie a konvenční obrábění za pomoci přímočaré pily.

3.1. Obrábění laserem

V první části rešerše mé bakalářské práce se věnuji nekonvenční metodě obrábění, a to za pomoci laserového paprsku, který používám na výrobu šablony.

Slovo laser pochází z anglického *light amplification by simulated emission of radiation* neboli zesílení světla za využití simulované energie (Kvietková, 2015). Při interakci paprsku s obráběným materiálem dochází k vysokému zahřátí materiálu, který se následně začne odpařovat a tát. Laserová zařízení využívají přeměny světelné energie na tepelnou a pracují na principu indukované emise (vynucené záření). Max Planck vyslovil v roce 1900 hypotézu, že záření je tvořeno malými částicemi, tj. kvanty. Na princip vyvolání indukované emise upozornil v roce 1916 Albert Einstein: „Jednotlivé částičky světla se mohou vzájemně popohánět a držet spolu krok. Vzniklý paprsek bude koherentní, uspořádaný a bude soustředěn do jednoho směru“. Kvanta záření nazval Einstein fotony (Řasa & Gabriel, 2005). Při využívání zařízení k obrábění dřevní hmoty dochází k odebírání materiálu za pomoci úzkého paprsku z monochromatického záření, které je soustředěno na velmi malou plochu, oproti běžným zdrojům světla, které je produkováno jako elektromagnetické záření o mnoha vlnových délkách (viz obr. 1). Zařízení, které vytváří tento paprsek, se nazývá laser a je to nejčastěji používaná nekonvenční technologie (Sadílek, 2009).



Obr. 1 Zdroje světla

(Zdroj: Sadílek, 2009)

V průmyslu se tato zařízení používají ke gravírování, vrtání a řezání. Dále naleznou uplatnění v povlakování, povrchových úpravách materiálů a podobně.

Laserová technologie nám umožňuje dělit širokou škálu materiálů. Můžeme obrábět kovové materiály, ale i nekovové, jako jsou keramika, dřevo a materiály na bázi dřeva (Beer, 2007).

3.1.1. Historie laseru

Princip laseru popsal už v roce 1917 Albert Einstein. Jako předchůdce laseru můžeme považovat maser, který na rozdíl od laseru generuje mikrovlnné záření.

V roce 1960 Theodore H. Maiman sestavil první funkční laser využívající v aktivním prostředí krystal rubínu.

V roce 1965 byly lasery zařazeny do průmyslu, kdy firma Western Electric Company postavila funkční laserový systém pro vrtání do diamantových raznic. Ve Velké Británii byl v téže době vyvinut systém pro řezání plošných výrobků používající kyslík jako asistenční plyn.

V 70. letech minulého století se začaly vyvíjet CO₂ lasery, kdy se největším převratem stal vývoj takzvaného neprůtočného difuzně chlazeného slab laseru. Tento vývoj značně usnadnil proces obrábění a snížil náklady na využívání stroje.

Významných pokroků dosáhl vývoj laseru při prosazování lineárních motorů s možností programovatelných pohybů po osách x, y a z (Kvietková, 2015).

3.1.2. Princip laseru

Základní části laseru jsou aktivní prostředí, rezonátor a zdroj energie. Zdroj energie nejčastěji tvoří výbojka, která dodává energii do aktivního prostředí. Ta vybudí elektrony v aktivním prostředí z nižší energetické hladiny na vyšší – excitace. Energie vybudí většinu elektronů do vyšší energetické hladiny, tento jev nazýváme inverze populace. Opětovný přestup elektronů na nižší energetickou hladinu vyzáří kvanta energie ve formě fotonů, které interagují s dalšími elektrony, čímž je spuštěna stimulovaná emise fotonů.

V rezonátoru se nachází aktivní prostředí, polopropustné zrcadlo a nepropustné zrcadlo. Na zrcadle dochází k odrazu paprsku fotonů a jeho opětovnému průchodu aktivním prostředím. Zde dochází k zesilování toku fotonů a výsledný parsek opouští rezonátor skrze výstupní polopropustné zrcadlo (Eltawahni et al., 2015).

3.1.3. Absorpce

Pokud nastane přechod z nižší energetické úrovně na vyšší energetické úrovně, dochází ke zvýšení energie atomového systému – absorpce fotonů. Při přechodu z vyšší úrovně na nižší úroveň se energie atomového systému snižuje, tj. emise fotonu. Toto proces je nazýván zářením, které dále dělíme na spontánní a stimulované.

Můžeme to vysvětlit na příkladu, ve kterém se nachází dvě energetické úrovně 1 a 2 s energií E_1 a E_2 ($E_1 < E_2$). Atom se nachází na počátku úrovně 1. Pokud se jedná o hlavní atom, pak na dané hladině zůstane, dokud není vybuzen.

Pokud na hmotu dopadá elektromagnetická vlna s frekvencí, je definována výrazem (1).

$$\nu = \frac{1}{h} (E_2 - E_1) \quad (1)$$

Kde:

- $E_2 - E_1$ – energetický rozdíl,
- ν – frekvence elektromagnetické vlny,
- h – Planckova konstanta ($h = 6,62 * 10^{-34}$).

Pokud dojde k tomuto jevu, existuje pravděpodobnost, že se atom přesune na horní úroveň 2. Jednotlivé přechody jsou charakterizovány společně s frekvencí a distribucí intenzit přechodu. Intenzita je závislá na pravděpodobnosti jednotlivých přechodů a na počtu atomových systémů v různých stacionárních stavech.

Pro určení pravděpodobnosti absorpce W_{12} , jinak Einsteinův koeficient, zavádíme rovnici (2).

$$\frac{dN_1}{dt} = -W_{12}N_1 \quad (2)$$

Kde:

- W_{12} – pravděpodobnost absorpce,
- N_{12} – počet atomů na jednotku objemu, které jsou v současné době na úrovni 1.

Dále je možné popsat absorpční pravděpodobnost W_{12} za pomoci hustoty fotonového toku F a absorpčního průřezu σ_{12} , který závisí pouze na specifickém přechodu, jak je uvedeno v rovnici (3) (Hayrapetyan, 2012).

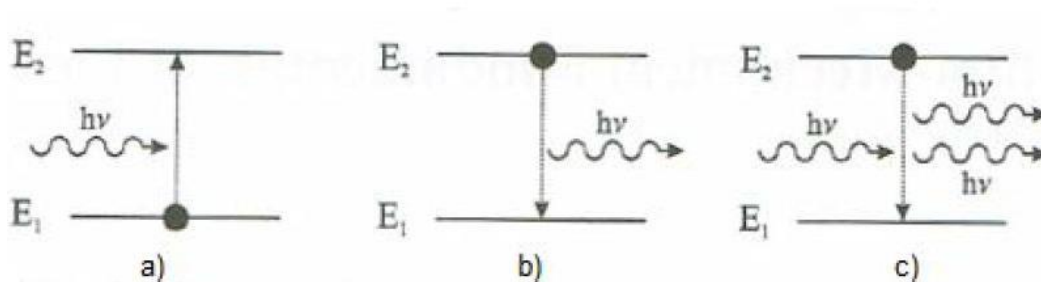
$$W_{12} = \sigma_{12} * F \quad (3)$$

Kde:

- W_{12} – absorpční pravděpodobnost,
- F – hustota fotonového toku,
- σ_{12} – absorpční průřez.

Pojem **spontánní emise** se zavádí, pokud atom spontánně přechází do základního stavu z excitovaného stavu za poměrně krátký časový interval, a to řádově okolo 10^{-8} s. K přechodu dochází za tento čas i při nepřítomnosti vnějších vlivů (Martison, 2012).

Aby bylo možné vysvětlit termodynamickou rovnováhu mezi látkou a jejím vydávaným (absorbovaným) světelným paprskem, musí excitovat kromě spontánního záření a absorpce ještě třetí, kvalitativně odlišný typ interakce. Tento předpoklad vyslovil Albert Einstein v roce 1916 a následně doplnil, že k přechodu elektronu v atomu z vyšší energetické úrovně na nižší energetickou úroveň může dojít za pomoci vlivu vnějšího elektromagnetického pole. Frekvence tohoto pole se rovná přirozené frekvenci přechodu. Výsledné záření se nazývá **stimulované záření (emise)**. Základní rozdíl stimulované emise od spontánní spočívá v tom, že v důsledku interakce excitovaného atomu s fotonem eliminuje atom další foton o stejné frekvenci a záření se dále šíří stejným směrem (Alekhina, 2011). Obrázek 2 znázorňuje tyto známé tři primární typy vzájemných působení.



Obr. 2 Schéma vzájemného pôsobení elektromagnetického záření a molekul nebo atomu

a – absorpcie, b – spontánní emise, c – stimulovaná emise

(Zdroj: Eichhorn, 2014)

3.1.4. Základní rozdělení laserů podle režimu paprsku

Laserová zařízení lze rozdělit podle režimu paprsku do dvou skupin. První skupina využívá pulzního režimu a druhá skupina kontinuálního režimu.

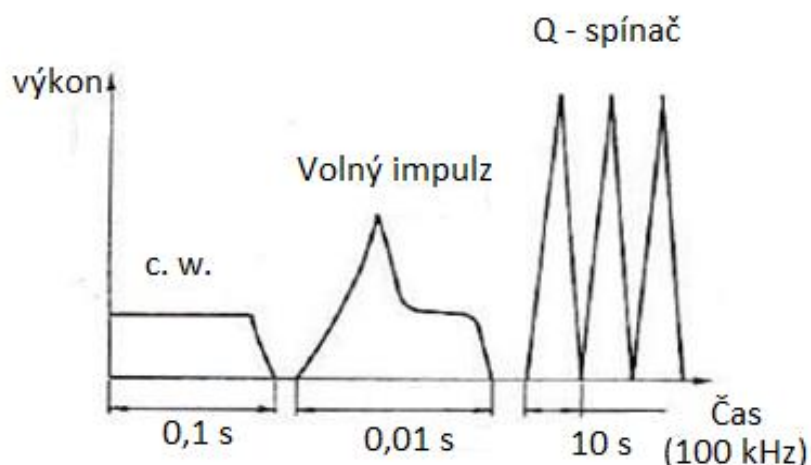
Pulzní režim využívá přerušovaného budícího elektrického výboje, při kterém nedochází k tak vysokému ohřevu materiálu jako u kontinuálního režimu, a to díky krátké době působení paprsku na materiál (Maňková, 2000).

Dále jej dělíme na dva základní typy, a to standardní pulzní režim a režim s modulací jakosti optického rezonátoru.

Standardní pulzní režim je založen na volné generaci pulzů, které jsou vázány na průběh pulzů výbojky. Tento režim dosahuje dlouhých pulzů s vysokým výkonem a malou opakovací frekvencí do 100 Hz.

Režim s modulací jakosti optického rezonátoru, jinak nazývaný Q-spínač, je charakteristický kontinuálními režimy paprsku. Tyto pulzy vznikají pravidelnou změnou vlastností rezonátoru, k čemuž dochází nejčastěji u optické propustnosti, jejich hodnoty dosahují opakovací frekvence až 100 kHz (Sochor, 1990).

Kontinuální režim je založen na nepřerušovaném záření a jeho výstupní výkon je ekvivalentní celkovému jmenovitému výkonu daného typu laseru. Tato zařízení jsou elektronicky modulována k emisi pulzu o několikanásobně vyšším výkonu než lasery s pulzním režimem (Maňková, 2000). Jednotlivé režimy popisuje obrázek číslo 3.

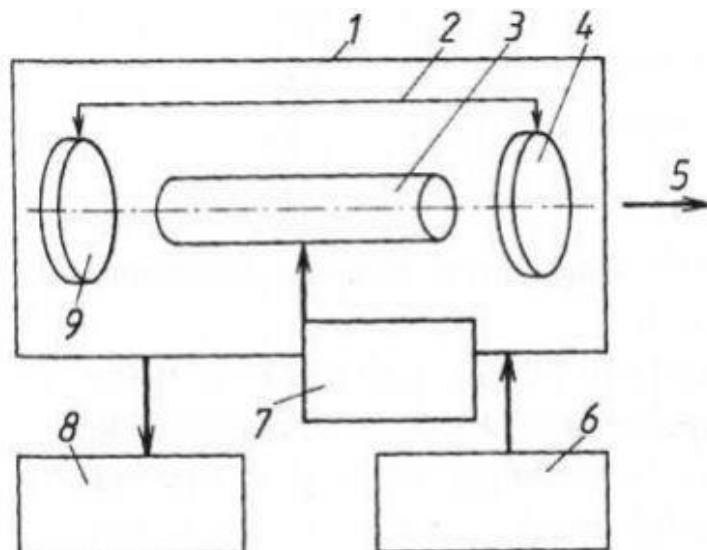


Obr. 3 Generovaná energie podle režimu laserového paprsku

(Zdroj: Máňková, 2000)

3.1.5. Konstrukce laseru

Všechna laserová zařízení mají následující základní části: laserové médium, rezonátor, budící zařízení, zdroj energie buzení a chladicí systém, (viz obr. 4) (Kvietková, 2015).



Obr. 4 Konstrukce laseru

1 - laserová hlavice, 2 - rezonátor, 3 - laserové médium, 4 - polopropustné zrcadlo, 5 - výstup paprsku,
6 - zdroj energie buzení, 7 - budící zařízení, 8 - chladicí systém, 9 - nepropustné zrcadlo

(Zdroj: Sadílek, 2015)

Rezonátor

Rezonátor je založen na optickém systému, který zformuje a zesílí elektromagnetickou vlnu, která ze zařízení vychází. Vlastnosti paprsku především určuje konstrukční uspořádání v rezonátoru. Optický rezonátor se nejčastěji skládá z dvou nebo více sférických zrcadel. Průměr a zakřivení těchto zrcadel má vliv na intenzitu záření a rozbíhavost laserového paprsku neboli jeho divergenci. Intenzitu záření v průřezu výstupního paprsku lze popsat za pomoci tzv. MOD. Toto označení popisuje vlastní kmity elektromagnetického pole v rezonátoru. Charakterizuje ho frekvence a zvláštnost rozložení pole v rezonátoru. Nejčastěji se u MOD setkáme s označením TEM₀₀, kde se intenzita záření rozděluje podle Gaussovy křivky (Řasa a Gabriel, 2005).

Laserové médium

Laserové médium obsahuje aktivní prostředí, ve kterém se nacházejí oddělené energetické hladiny elektronů. Na těch dochází k přeskokům elektronů z nižší na vyšší energetickou hladinu a zpět na nižší energetickou hladinu. Na nižší hladinu mohou elektrony přeskočit dvěma způsoby:

- za pomoci stimulované emise,
- za pomoci spontánní emise.

Lasery pracují pouze za pomoci stimulované emise a jejich aktivní prostředí dělíme na čtyři základní skupiny:

- plynové – zde aktivní prostředí tvoří jeden nebo více plynů,
- pevnolátkové – aktivní prostředí se skládá z krystalu,
- diodové – prostředí je tvořeno polovodičem,
- kapalinové – tvořeny roztoky různých organických barviv.

Budící zařízení

Pracovní režim laseru je založen na budícím zařízení. Laserové médium určuje způsob buzení. Například u plyných medií se setkáváme s buzením za pomoci elektrického stejnosměrného nebo střídavého výboje elektrickým proudem (podobně jako u zářivek). V některých případech se využívá buzení fotodisociací, chemickou reakcí, rychlou expanzí plynu nebo opticky. Dalším příkladem jsou pevnolátkové lasery, které jsou nejčastěji buzeny lampami, diodami nebo ve zvláštních případech jiným laserovým zařízením (Kvietková, 2015).

Zdroj energie buzení lze popsat jako určitý druh síťového napáječe (Řasa & Gabriel, 2005). Energie slouží k přesunu elektronů z nižší na vyšší energetickou hladinu (Kvietková, 2015).

Chladicí zařízení

Chladicí zařízení slouží k odvodu energie, která se dále přemění na tepelnou. U laserových center se nejčastěji setkáme s vodními chladicími okruhy. Ty se zpravidla dělí na dvě části:

- vnitřní chladicí okruh (deionizovaná voda),
- vnější chladicí okruh (voda z vodovodního řadu).

Ve výjimečných případech se můžeme setkat se vzduchovými chladicími okruhy, které se nejčastěji vyrábí na zakázku (Kvietková, 2015).

3.1.6. Základní rozdělení laserů dle aktivního prostředí

Laserová zařízení dělíme podle typu aktivního prostředí na plynové, pevnolátkové, polovodičové, excimetrové, kapalinové, chemické atd.

V plynových laserech jsou směsi plynů používány jako laserové médium. Nejvýznamnější zastoupení v technologii nalezneme u CO₂ laserů. Laserové médium je tvořeno směsí oxidu uhličitého, dusíku a helia. Koherentní paprsek o vlnové délce 10,6 μm, maximálním výstupním výkonu 25 kW, pracuje v pulzním i kontinuálním režimu. Účinnost CO₂ laseru je 10 až 15 %.

Pevnolátkové médium nalezneme u pevnolátkových laserů. Médium je tvořeno vybroušeným krystalem s opticky vyleštěnými čely o různých tvarech (válec, hranol, kotouč). Krystal se skládá z rubínu, yttrium-aluminium-granátu dopovaného neodymem (Nd:YAG), skla atd. Pro technologické operace se převážně používá krystal Nd:YAG. Paprsek pracuje v kontinuálním i pulzním režimu o vlnové délce 1,06 μm a maximálním výstupním výkonem 4 kW. Účinnost pevnolátkových laserů je 3 až 8 %

Polovodičové médium je využíváno u polovodičových laserů, kde v médiu dochází ke vzniku stimulované emise. Tato zařízení jsou odlišná od ostatních tím, že elektrony přechází mezi dovolenými energetickými pásy. Buzení se uskutečňuje svazkem elektronů, energetickým polem nebo za pomoci fotonů. Jako laserové médium se nejčastěji využívá kadmium selen (CdSe), galium arsenid (GaAs) a kadmium sulfid (CdS). U těchto zařízení je důležité vydatné

chlazení. Pracují s účinností 50 % o výkonu až 2 kW a vlnová délka dosahuje hodnot 0,3 až 30 μm , v závislosti na použitém polovodiči. Jako jejich hlavní výhodu můžeme považovat malé rozměry, kompaktnost a vysoké hodnoty účinnosti (Vrbová, 1994).

Excimetrové lasery jsou tvořeny excimetry, tj. nestabilními molekulami, které vznikají na přechodnou dobu v důsledku vzájemného působení vybuzeného atomu (popřípadě molekuly) s atomem (popřípadě molekulou) v základním stavu. Používané excimerové lasery pracují se vzácnými plyny, např. argon, krypton, xenon apod. Buzení je realizováno elektrickým výbojem nebo svazkem rychlých elektronů. Laser může pracovat s frekvencí pulzů 100 Hz až 10 kHz. Konstrukční uspořádání je obdobné jako u CO_2 laserů. Konstrukčně jsou tyto lasery složitější.

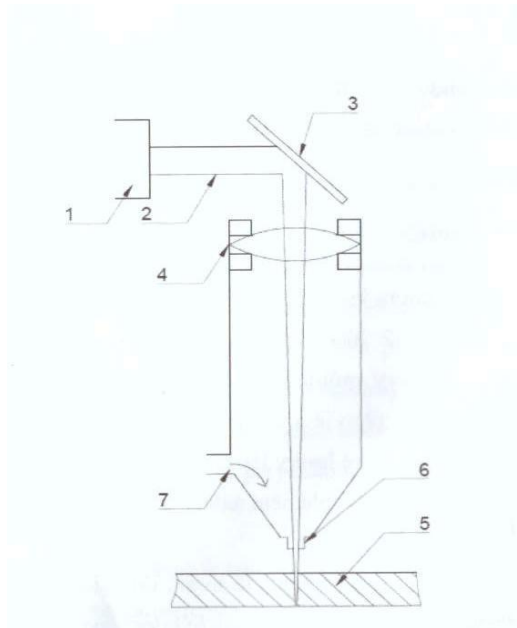
U kapalinových laserů se využívá roztoků organických barviv nebo speciálně připravených kapalin, které jsou dopovány ionty vzácných zemin (laserové médium). Tato zřízení jsou nejčastěji buzena za pomoci jiných laserů a to například argonovým laserem a nebo Nd:YAG laserem. Vhodnou kombinací jednotlivých parametrů laseru se mohou hodnoty vlnové délky pohybovat od 0,3 po 1,3 μm , účinnost dosahuje několik desítek procent. Nejčastěji se těchto laserů využívá ve spektroskopii pro jejich možnost přesného naladění vlnové délky (Řasa & Jindrová, 2006).

V mé práci jsem si vybral CO_2 laser pro jeho nejčastější uplatnění při řezání dřevěných materiálů. Princip řezání za pomoci tohoto typu laseru dále rozeberu v následující kapitole.

3.1.7. Řezání za pomoci CO_2 laseru

Aktivní prostředí obsahuje směsi plynů. Dělíme je z hlediska otevřenosti systému, a to na lasery s uzavřeným rezonátorem a lasery průtočné. Průtočné lasery mohou dosahovat vstupních výkonů okolo 20 kW. Ohřátý plyn je odsáván z aktivního prostředí vývěvou a nový plyn ochlazuje rezonátor. Výkonů 8 kW dosahují difúzně uzavřené lasery, které lze chladit pouze nepřímo, a to za pomoci vody nebo vzduchu.

Abychom dosáhli emise fotonů u CO_2 laserů, musíme dočasně vybudit elektrony aktivního prostředí na vyšší energetickou hladinu. Vybuzení zajistíme za pomoci radiofrekvenčního stimulu či výbojem stejnosměrného elektrického proudu. Po vybuzení se elektrony následně vrací zpět na svou původní elektronovou hladinu a současně dochází k emisím fotonů. Fotony jsou v rezonátoru za pomoci dvou zrcadel (jedno nepropustné, druhé polopropustné) směřovány tak, aby opustily komoru pouze jen ty, které s ní mají rovnoběžnou trajektorii (Kvietková, 2015).



Obr. 5 Schéma laserového zařízení pro dělení dřevěných materiálů

1 – plynový laser, 2 – svazek paprsků, 3 – zrcadlo, 4 – čočka, 5 – obrobek, 6 – tryska, 7 – nátrubek

(Kvietková, 2015)

Jelikož se v mé práci soustředím na řezání dřeva, je pro mě nezbytné znát potřebný výkon řezného paprsku. Výkony laserových paprsků používaných na řezání do dřevěných materiálů se pohybují v rozmezí od 100 do 400 W.

V mé práci je důležité dbát na přesnost řezu, což je odchylka mezi naměřenou a pravou hodnotou naměřené veličiny. Pro dřevěné materiály se u laserového paprsku uvádí $\pm 0,1$ mm.

Přesnost ovlivňují faktory, jako například tloušťka materiálu a jeho kvalita, řezná rychlost paprsku, chlazení laseru a samotný výkon zařízení (Kvietková, 2015).

Za jednu z hlavních výhod laserového obrábění oproti konvenčním metodám můžeme považovat velmi tenkou řeznou spáru, která se pohybuje od 0,3 až do 0,8 mm (pilové nástroje 1,4 mm, dle tloušťky nástroje), dále při obrábění laserovou technologií nevzniká dřevní odpad ve formě pilin. Oproti konvenčnímu obrábění nevzniká hluk a nedochází ke štěpení hran materiálu (Wairimu a kol., 2015).

Pro co nejefektivnější řezání laserovým paprskem je nezbytné klást důraz na několik faktorů (Henandez-Castaneda a kol., 2011). Jako první bychom měli zohlednit vlastnosti obráběného materiálu, dále vlastnosti laserového paprsku a strojního zařízení (Barnekov a kol., 1986).

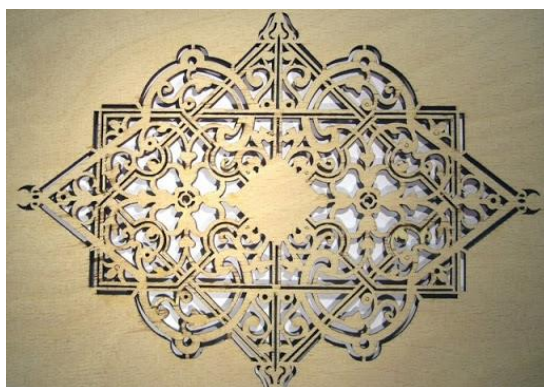
3.1.8. Využití laserové technologie nejen v dřevařském průmyslu

Laserové obrábění nachází v průmyslu řadu uplatnění. Pro jednotlivé druhy operací v obrábění nelze využít všechny typy laserových zařízení. Laserová technologie se využívá na řadu operací, jako například:

Řezání

Při řezání materiálu za pomoci laserového paprsku se využívá usměrňování vysoké energie laserového paprsku na velmi malou plochu obráběného materiálu. Vysoká teplota laserového řezání způsobí odpařování (úběr) obráběného materiálu. Řezání laserovým paprskem můžeme využít na řadu materiálů (kov, plast, dřevo, potraviny) (Talentic, <https://www.talentic.cz/vodni-paprsek>. [cit. 2021-02-06]).

Obrázek číslo 6 a 7 znázorňuje opracování různých druhů materiálů a tvarů, které lze zhotovit za pomoci řezání laserovým centrem.



Obr. 6 Dřevěný výrobek vytvořený laserovým řezáním



Obr. 7 Kovový výrobek vytvořený laserovým řezáním

(Zdroj: Lao, <http://www.lao.cz/> [cit. 2021-02-06]) (Zdroj: Opetech, <https://www.opetech.cz> [cit. 2021-02-06])

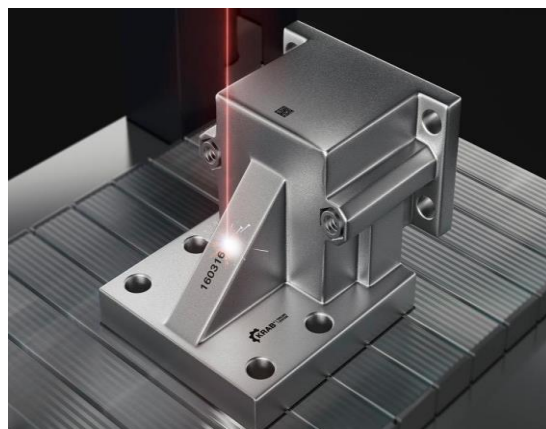
Gravírování

Tato metoda obrábění se využívá u materiálů, kdy za pomoci laserového paprsku odebíráme různé druhy materiálů a vytváříme nejrůznější obrazce (viz obr. 8 a 9). Při gravírování neprochází laserový paprsek skrze obráběný materiál, ale pouze do jeho určité hloubky. Jelikož se jedná o beztržskou technologii, při které nedochází ke kontaktu obrobku s nástrojem, není jej nutné složitě čistit a nedochází k jeho opotřebení (MM průmyslové spektrum, <https://www.mmspektrum.com/clanek/znaceni-a-gravirovani-laserem> [cit. 2021-02-06]).



Obr. 8 Dřevěný výrobek vytvořený gravírováním

(Zdroj: Lao, <http://www.lao.cz/11> [cit. 2021-02-06])



Obr. 9 Kovový výrobek vytvořený gravírováním

(Zdroj: Gravotech, <https://www.gravotech.com> [cit. 2021-02-06])

Svařování

Svařování materiálů za pomoci laserového paprsku se využívá zejména u kovových materiálů (viz obr. 10) (Černý, 2005). Vlivem působení vysoké teploty na kovový materiál dochází k jeho roztavení a následným tuhnutím se materiál sjednotí. U spojování materiálů touto metodou není nutné přidávat žádný další materiál, což je značná výhoda oproti ostatním typům svařování (Primus, 2020).



Obr. 10 svařování kovového materiálu laserovým paprskem

(Zdroj: Žluté lasery, <https://www.zlutelasery.cz/svarovani> [cit. 2021-02-06])

V druhé části literární rešerše své práce se zaměřím na popis obrábění za pomoci pilového nástroje, konkrétně přímočaré pily.

3.2. Řezání pilami

Řezání pilami je považováno za nejrozšířenější druh obrábění dřevní hmoty, při kterém se obrobek dělí na menší části. Proces, při kterém oddělujeme dřevní hmotu za pomoci pilového nástroje na menší kusy (desky, fošny, hranoly...), nazýváme pílení. Při této činnosti vznikají třísky, popřípadě piliny. Ty se mohou považovat za odpad, ale také se dají dále zpracovat.

Při pílení vzniká řezná škára, která by měla být vždy širší, než je šířka řezného nástroje. Pokud není toto pravidlo dodrženo, vzniká mezi řezným nástrojem a obrobkem přebytečné tření, to může vést k přehřátí pilového nástroje a následného otupení. Dále může vést nedostatečná šířka škary ke stáčení pilového nástroje v obrobku.

Abychom tomuto jevu předešli, musíme rozšířit řeznou hranu zubu za pomoci rozvádění nebo pýchování. Proces rozvádění spočívá ve vyosení zubů do stran v 1/3 jejich výšky a při pýchování dochází k roztlačení zubů. Nejčastěji je používán úhel hřbetu od 10° po 30° , kdy jej za optimální můžeme považovat při hodnotě 15° . Tento faktor má značný vliv na řezný odpor.

Klínovou část nástroje definuje úhel β . Pokud tento úhel zvětšujeme, zvětšuje se odpor materiálu před vniknutím nástroje. Při výrazném zmenšení tohoto úhlu však dochází ke značnému otupení nástroje, jelikož se snižuje pevnost řezného klínu.

Tvorbu třísky a její velikost přímo určuje úhel břitu γ . Nejčastěji nás tento úhel zajímá v průmyslovém zpracování třísek. Po zhodnocení jednotlivých faktorů při řezání dřevní hmoty je optimální úhel čela 30° u tvrdých dřevin a u měkkých dřevin je tento úhel o něco větší, mezi 30° a 40° (Barcík a kol., 2013).

3.2.1. Vedlejší produkty řezání

Při kontaktu břitu s obrobkem se nejprve dřevní hmota deformuje a po překročení mezního napětí dojde k oddělení dřevní hmoty od obrobku – vznik třísky. V průběhu tvorby třísky mohou vznikat trhliny v materiálu.

Druh vzniklé třísky má vliv několik faktorů a to především:

- druh obrobku a jeho vlastnosti (vlhkost, teplota, mechanické vlastnosti, objemová hmotnost atd.),
- směr dřevních vláken a letokruhů vzhledem ke směru pohybu břitu,
- geometrie a mikrogeometrie nástroje,

- řezné podmínky (řezná rychlost, posuv na zub, hloubka záběru a tloušťka třísky),
- způsob obrábění (řezání otevřené nebo zavřené, tloušťka třísky konstantní nebo menšící se od maxima do 0),
- způsob odvádění třísky z místa obrábění.

Tříska může nabývat různých rozměrů a tvarů. Parametry třísky se nezjišťují po jejím odvedení z míst řezu, ale jsou určeny ještě před oddělením od obrobku. Rozměry a tvar třísky se určují v rovině kolmé na plochu řezání procházející ostrím nástroje. Zavádíme proto pojem nominální rozměr třísky. Při oddělování třísky od obrobku dochází k její deformaci v podélném i příčném směru a její vnitřní stavba bývá zpravidla narušena.

Pokud obrábíme dřevo v příčném směru, vznikají trhliny nejen na třísce, ale také pod řezným klínem. Rozměr trhlín se zvětšuje, pokud zvětšujeme hloubku úběru dřevní hmoty.

Při odlišných podmínkách vznikají odlišné třísky, jako například:

- tříska lámaná,
- tříska souvislá,
- zhuštěná plastická tříska,
- tříska souvislá u čelního modelu řezání,
- částicová tříska dělená,
- tříska souvislá při příčném modelu řezání,
- tříska částicová dělená,
- tříska trhaná.

3.2.2. Přímočará pila

V mé práci se zaměřím na výrobu šablony za pomoci mechanického stroje s elektrickým pohonem a tím je přímočará pila neboli kmitací pila.

Řezná část nástroje vykonává přímočarý vratný pohyb, kdy se zuby nástroje pohybují nahoru a dolů. Lze regulovat rychlost otáček a také výkyv pily. Dále je vybavena odsávacem pilin pro lepší viditelnost, která nám zaručí přesnější řez.

Přímočarou pilu můžeme použít při zhotovování výrobku k vyřezávání tvarů nebo zaoblení hran (Pešík, 2010)

3.2.3. Konstrukce přímočaré pily

Přímočará pila se skládá z několika základních částí, které popisuje obrázek č. 11.

Jednou z nejdůležitějších částí přímočaré pily je pilový list, který vykonává hlavní řezný pohyb. Přímočará pila je nejčastěji poháněna elektromotorem, do kterého je skrze kabel přiváděna elektrická energie. Tělo přímočaré pily tvoří z pravidla plastový kryt. Pro přesnější řezání jsou na základní desce umístěna pomocná pravítka. Vzniklé piliny a prach jsou odváděny za pomoci vývodu. Pily jsou zpravidla opatřeny regulátorem frekvence kmitání a přepínačem pro nastavení kmitu. Při stisku spínače a zajišťovacího tlačítka naráz uvedeme pilový list do pohybu.



Obr. 11 Popis základní konstrukce přímočaré pily

- 1 – zajišťovací tlačítko, 2 – spínač, 3 – ochranný kryt, 4 – vodící kladka, 5 – pilový list, 6 – základová deska,
7 – imbusový klíč, 8 – vývod pro odsátí prachu, 9 – zajišťovací páka pilového listu, 10 – držák pilového listu,
11 – regulátor frekvence kmitání, 12 – paralelní vodítko, 13 – nástavec na odsátí, 14 – zajišťovací šroub,
15 – přepínač pro nastavení kmitu, 16 – síťový vodič

(Zdroj: Asist jig saw 650 W, původní návod k použití [cit. 2021-02-06])

Pro lepší pochopení a popsání obrábění přímočarou pilou zavádíme fyzikální veličiny dle Kvietková (2015):

Řezná rychlost v_c :

$$v_c = H * \frac{n}{30000} (m * s^{-1}) \quad (4)$$

Kde:

- H – zdvih pilového listu (mm),
- n – frekvence otáčení (min^{-1}).

Posuv pilového listu f :

$$f = \frac{f_z * H}{t_z} (mm) \quad (5)$$

Kde:

- H – velikost zubu pilového listu (mm),
- f_z – posuv na zub (mm),
- t_z – rozestup zubů (mm).

Řezná síla na jeden zub F_{cz} :

$$F_{cz} = \frac{F_c + t_z}{H} (N) \quad (6)$$

Kde:

- F_c – řezná síla (N),
- t_z – rozestup zubů (mm),
- H – zdvih pilového listu (mm).

3.3. Výhody a nevýhody mnou zvolených technologií

Laserové technologie mají řadu výhod a nevýhod. Mezi hlavní **výhody** obrábění laserovým paprskem řadíme:

- vysoká produktivita strojního zařízení,
- hladký povrch v blízkosti řezné škáry,
- vysoká přesnost řezu,

- snadná obsluha a editace i složitých motivů řezání,
- malé rozměry řezné škáry,
- relativně nízké provozní náklady,
- bezkontaktní způsob obrábění,
- minimální požadavky na upevnění obráběného materiálu do řezného zařízení,
- časová nenáročnost obrábění,
- technologie nepožadující vysokou manuální zručnost,
- možnost obrábět nejrůznější materiály,
- beztrísková technologie obrábění.

Jako **nevýhody** této technologie obrábění můžeme považovat:

- vyšší pořizovací náklady,
- omezení rozměrů obráběného materiálu,
- opálení materiálu v blízkosti řezné škáry,
- tvorba zplodin při obrábění (Badoniya, 2018).

Na základě praktické části mé bakalářské práce je důležité se změřit na výhody a nevýhody obrábění pilovými nástroji, v mém případě obrábění přímočarou pilou. Mezi hlavní **výhody** řadíme:

- finanční dostupnost technologie,
- minimální tvorba škodlivých zplodin,
- snadná manipulace a přenos nástroje,
- neomezené rozměry obráběného materiálu,
- nízké provozní náklady.

Obrábění touto technologií má i své **nedostatky** a to:

- štěpení materiálu v blízkosti řezné hrany,
- přesnost řezu závisí na manuální zručnosti pracovníka,
- nutnost upevnění obráběného materiálu,
- širší řezná škára,
- časově náročnější technologie,
- třískotvorná technologie obrábění.

4. Metodika práce

Po teoretické části mé práce, která se věnovala obrábění za pomoci nekonvenčních a konvenčních technologií, se přesunu k praktické části. V této části se zaměřím, jak již bylo zmíněno v cíli práce, na jednotlivé kroky výroby šablony za pomoci obou technologií. Metodika práce bude rozdělena na čtyři hlavní části, a to na popis samotné šablony, dále na specifikaci použitého materiálu, poté na výrobu šablony za pomoci laseru, a nakonec na výrobu šablony za pomoci přímočaré pily. Práce byly prováděny v truhlářské dílně na České zemědělské univerzitě v Praze na Fakultě lesnické a dřevařské pod vedením Ing. Tomáše Holečka.

Jako tvar šablony jsem zvolil obrys hlavy psa, kterou jsem vybral pro úzký vztah naší rodiny ke psům.

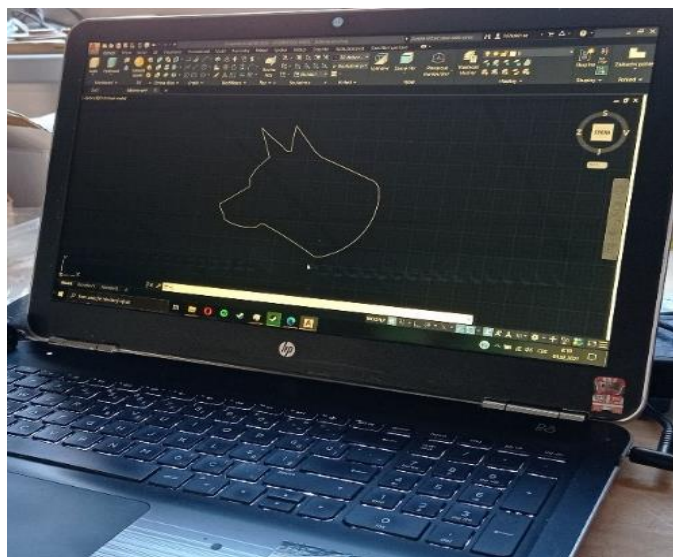
4.1. Materiál šablony

Při výrobě šablony je důležité zvolit správný materiál tak, aby splňoval estetické požadavky a také, aby byl snadno obrobitelný oběma technologiemi. Z tohoto důvodu jsem zvolil březovou pětivrstvou překližovanou desku. Překližované desky se vyrábějí překřížením a následným slepením dýh dřeva kolmo na sebe. Jednotlivé překřížení dýh, nejčastěji pod úhlem 90°, odstraní nežádoucí vlastnosti masivního dřeva: anizotropie dřeviny, snížení bobtnání a sesychání materiálu.

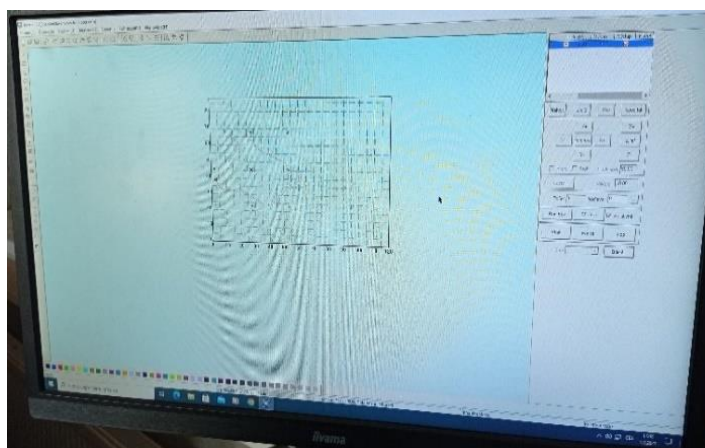
Pro mé účely jsem zvolil překližovanou desku o rozměrech 1525x1525x6 mm. Laserové zařízení je schopno obrábět materiály o rozměrech 1200x900x280 mm, proto byla deska naformátována na menší rozměry. Pro formátování jsem použil kotoučovou formátovací pilu, na které jsem desku rozdělil na dvě části o rozměrech 762x762x6 mm. První část desky jsem použil na výrobu šablony za pomoci laseru a druhou část desky na výrobu za pomoci přímočaré pily.

4.2. Charakteristika strojního zařízení za pomoci laserové technologie

Pro tvorbu šablony prostřednictvím laseru jsem musel nejprve šablonu vytvořit v počítačovém programu AutoCAD 2020 (viz obr. 12). Vytvořenou šablonu jsem převedl do programu Lasercut 5.3 pro nastavení parametrů řezání (viz obr. 13).



Obr. 12 Počítačový program AutoCAD 2020



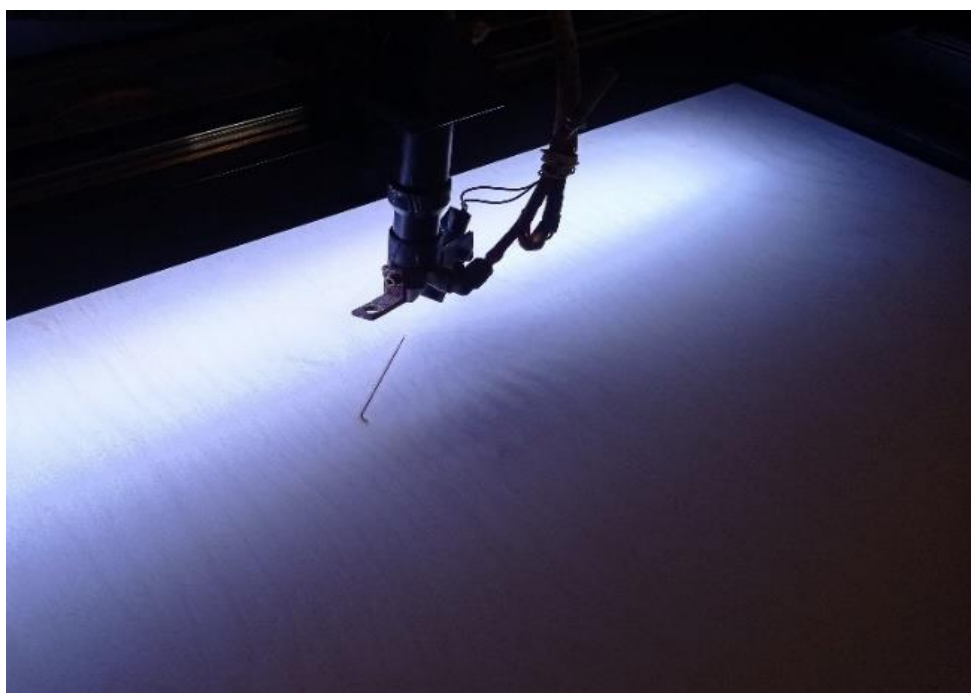
Obr. 13 Počítačový program Lasercut 5.3 s vytvořenou šablonou

Výroba probíhala na gravírovacím a řezacím CO₂ laseru Numco C 1290 (viz obr. 14), který se nachází na České zemědělské univerzitě v Praze v truhlářské dílně na Fakultě lesnické a dřevařské. Řezná rychlost tohoto laseru se pohybuje v rozmezí od 0 po 600 mm.s⁻¹, kdy pro mé řezání šablony byla použita řezná rychlost 15 mm.s⁻¹. Stroj o výkonu 90 W je chlazen za pomoci vody a je připojen na elektrickou síť 230 V. Jeho rozměry na jsou 1830x1240x1500 mm a hmotnost 320 kg. Laser je schopný obrábět materiál o šířce 900 mm, délce 1200 mm a výšce až 280 mm.



Obr. 14 Gravírovací a řezací CO₂ laser Numco C 1290

Do gravírovacího centra jsem vložil smrkovou překližovanou desku o tloušťce 6 mm tak, aby vyřezávaná plocha byla blízko kraji a vznikl co největší celistvý kus odpadového materiálu pro další využití. Před spuštěním samotného řezání se musí vystředit ohnisková vzdálenost laserové hlavičky od obrobku. Poté se zařízení spustí a laser začne řezat (viz obr. 15).



Obr. 15 Laserové řezání šablony

4.3. Výroba šablony za pomoci přímočaré pily

Nejprve jsem musel na překližovanou desku za pomoci tužky narýsovat šablonu (viz obr. 16). K tomu jsem využil již vyrobenou šablonu hlavy psa za pomoci laseru, kterou jsem obkreslil.



Obr. 16 Předkreslená šablona

4.3.1. Přímočará pila

Pro vytvoření druhé šablony, kterou jsem zhotovoval za pomoci konvenčních metod obrábění, jsem si vybral přímočarou pilu značky BOSCH PTS 50 A. (viz obr. 17). Obrábění jsem prováděl v dílnách na České zemědělské univerzitě, kde mi byla pila poskytnuta.



Obr. 17 Přímočará pila BOSCH PTS 50 A

Pro snadnější obrábění šablony jsem si ji nejdříve nahrubo ořezal (viz obr. 18) a následně jsem odřezával jednotlivé části, abych dosáhl přesných rozměrů odpovídajících dané

šabloně. Tímto způsobem obrábění nevzniká celistvý odpadový materiál, ale je tvořen několika oddělenými částmi (viz obr. 19).



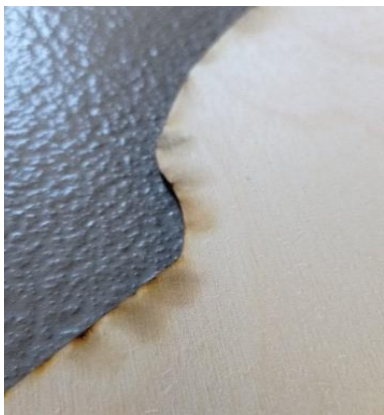
Obr. 18 Hrubé ořezání šablony



Obr. 19 Odpadový materiál

5. Výsledky

Výsledky mé práce budu zakládat na porovnání obrobků. Jelikož jsem v práci použil odlišné metody obrábění při tvorbě šablony, tak každý obrobek bude mít odlišné vlastnosti na řezné hraně materiálu. Pokud se zaměříme na porovnání obrobků z tohoto pohledu, pak je zjevné, že u obrábění za pomoci laserové technologie jsou obráběné hrany a spodní strana obrobku u řezné škáry opálené (viz obr. 20 a 21). Toto tmavé zbarvení vzniká vlivem vysokých teplot, kterých se využívá při obrábění laserovou nekonvenční metodou. Další známky vad na místech obrábění nejsou patrné.



Obr. 20 Opálená spodní plocha obrobku



Obr. 21 Opálená hrana obrobku

Při obrábění za pomoci přímočaré pily dochází na hranách a ploše poblíž řezu k odštěpení vláken (viz obr. 22), které vznikly při řezání jako nežádoucí efekt. Materiál nebyl nijak zbarven řezáním a nebyly na něm žádné další vady.



Obr. 22 Odštěpená vlákna řezáním

Dále je důležité porovnání obrobků se zřetelem na přesnost rozměrů odpovídající jednotlivým šablonám. Pokud porovnáme vyrobenou šablonu za pomoci laserové technologie (viz obr. 23) se zadávanými rozměry, můžeme tvrdit, že výsledný obrobek má stejné parametry.



Obr. 23 Šablona zhotovena za pomoci laseru

U požadovaných rozměrů výrobku za pomoci mnou zvolené konvenční metody obrábění jsou patrné chyby, které byly způsobeny lidským faktorem – nepřesností řezání. Rozměry výsledného obrobku se tedy neshodují se zadávanými rozměry (viz obr. 24).



Obr. 24 Šablona zhotovena za pomoci přímočaré pily

Dále je důležité porovnání obrobků z hlediska náročnosti samotného zhotovení. Při tvorbě šablony za pomoci laserového centra je důležité samotnou šablonu navrhnout v počítačovém programu. Pokud pracovník má zkušenosti s takovýmto programem, tak již není problém obrobek zhotovit, a to i s menší manuální schopností. Jestliže řežeme za pomoci přímočaré pily, je velice důležité, aby měl pracovník vysoké manuální schopnosti, které zajistí přesnost řezu.

Důležitým faktorem při řezání oběma metodami je také časová náročnost. Obrábění laserovým médiem bylo podstatně rychlejší než obrábění přímočarou pilou, a to z toho důvodu, že laserové zařízení provádělo řezání samo a správné naprogramování stroje zajistilo účinné, přesné a bezpečné obrábění pod ochranným krytem. Pokud jsem obráběl přímočarou pilou, bylo důležité dbát na přesnost, pečlivost řezu a také na bezpečnost práce, což zabralo více času, než obrábění mnou zvolenou nekonvenční metodou.

V neposlední řadě je nutno zmínit, že po práci s laserem zůstalo pracoviště čisté a nebylo zapotřebí uklízení odpadového materiálu, jako tomu bylo u práce s přímočarou pilou.

6. Diskuse

U porovnání technologií jako je obrábění laserovým paprskem a obrábění pilovým nástrojem, je těžké dospět k jednoznačnému závěru, která z metod je lepší. Každá z nich má své výhody a nevýhody. Při tvorbě velmi složitého tvaru bychom zcela jistě využili laserového paprsku pro jeho spolehlivou přesnost řezání. Pokud bychom obráběli jednoduché tvary, bylo by zbytečné využívat laserové technologie pro jejich finanční náročnost, oproti přímočaré pile.

Kdybychom se zaměřili na vady řezání, pak si u obou metod všimneme poškozené hrany u řezné škáry. U mnou zvolené nekonvenční metody je patrné opálení řezné hrany a u zvoleného pilového nástroje dochází ke štěpení třísek. Tyto nedostatky je důležité odstranit, a to například za pomoci broušení.

V mé práci jsem se věnoval porovnání laserového zařízení a přímočaré pily při opracování březové překližky. Šimek (2020) se zaměřil ve své práci na obrábění materiálu na bázi dřeva za pomoci laserového paprsku. Uvedl, že si můžeme všimnout zabarvených okrajů na materiálu, který bych obráběl laserovým médiem. Dále v práci bylo uvedeno, že při obrábění pilovým nástrojem dochází k nepřesnostem a odštěpení třísek u řezné škáry, k čemuž jsem dospěl i v mé práci.

Dušek (2013) uvádí ve své práci, která se zaměřuje na správné použití laseru s pulzním nebo kontinuálním režimem, že kvalitu řezu určuje správný výběr laserového zařízení a rychlost řezání. Právě volba správného laserového centra, v mém případě CO₂ laseru, a nastavení parametrů řezání, hrálo velikou roli z pohledu kvality a přesnosti řezu.

Vrábelová (2010) zkoumala vliv laserového řezání na strukturu oceli. V práci klade především důraz na strukturu řezné plochy, na což má vliv vysoká teplota paprsku při řezání materiálu. Tato teplota měla i v mém projektu značný vliv na strukturu řezné plochy.

Z výše uvedeného usuzuji, že záleží na volbě materiálu, který bude obráběn. Také není možné vždy použít stejný nástroj na každý materiál (dřevo, kov, plast atd). Diskuse výsledků s jinými autory je velmi obtížná právě proto, že většina z nich zkoumá řezání kovových materiálů, jako například Kroupa (2011), popřípadě se zabývá jinými vlastnostmi spojenými s tímto druhem obrábění. Mnou zvolená problematika práce je velmi specifická, a proto není možno přesné porovnání výsledků s jinými autory, kteří by se zabývali stejným tématem.

7. Závěr

Cílem mé práce bylo zhodnotit (porovnat obrobky) šablony, které byly zhotoveny za pomoci dvou odlišných metod, a to za pomoci přímočaré pily a laserového zařízení. První část mé práce mi detailně přiblížila principy fungování obou metod. Tyto zkušenosti jsem využil ke zhotovení dvou šablon, díky čemuž jsem mohl obě metody navzájem porovnat.

Jak již bylo zmíněno v kapitole „Výhody a nevýhody mnou zvolených technologií“, tak pokud bychom se zaměřili na laserová centra, v mém případě na CO₂ laser, lze říci, že jejich největší výhodou je jednoduchost a přesnost práce. Podle mého názoru budou mít tato zařízení významné uplatnění v budoucnu, a to jak při řezání, vrtání, ale i gravírování. S neustálým pokrokem a vývojem technologií budou lasery žádanější a snadněji dostupnější pro jejich jednoduché, rychlé, přesné a beztržkové obrábění materiálů na bázi dřeva. Jejich značnou výhodou je také možnost výroby nejrůznějších složitých tvarů bez větší zručnosti pracovníka, čehož je možné využít v průmyslu. Neposlední výhodou laserových zařízení je schopnost obrábět nejrůznější druhy materiálu.

Obrábění přímočarou pilou, jakožto konvenční metody, má stále své příznivce z důvodu snadné dostupnosti a tradičnosti technologie. Je zde však potřebná zručnost pracovníka a jako další nedostatek bychom mohli považovat mechanické vady (štěpení třísek u řezné škáry), způsobené při řezání. Toto obrábění je cenově dostupnější než mnou zvolená nekonvenční metoda, ale podle mého názoru se tento faktor s neustálým vývojem technologií a postupem času změní.

Pokud bych měl jednotlivé metody mezi sebou porovnat a následně určit vhodnější technologii, nemohu přesně stanovit, která to bude. Každá z mnou zvolených metod obrábění má své výhody a nevýhody. Z mého pohledu má obrábění laserovým paprskem zářnou budoucnost jak v průmyslové výrobě, tak i v domácnosti pro jeho přesnost. Pokud se zaměřím na obrábění tradičními řeznými nástroji, jsem si jist, že tato několik staletí využívaná technologie bude nadále využívána pro její snadnou dostupnost a tradici.

Vývoj těchto technologií je velice významný pro dřevařský průmysl, proto je důležité je dále zkoumat a vyvíjet.

8. Zdroje

1. ALEKHINA, T. Průvodce praktickými cvičeními „Elektrodynamika“. Petrohrad: Univerzita St.Petersburg, 2011. 156 s.
2. BADONIYA, P. CO2 Laser Cutting Of Different materials – A Review, International Research Journal Of Engineering And Technology (IRJET), 2018. 5:2103-2115 ISSN 2395-0056.
3. BARCAL, J. Nekonvenční metody obrábění. 1. vyd. Praha: České vysoké učení technické, 1989. 122 s.
4. BARCÍK, Š.; KVIETKOVÁ, M.; BOMBA, J.; SIKLIENKA, M. Dřevoobráběcí nástroje – údržba a provozování: vysokoškolská učebnice. Praha: Powerprint, 2013. 355 s. ISBN 978-80-87415-80-1.
5. BARNEKOV, V.; G.; McMILLIN, C. W.; HUBER. H. A. Factors influencing laser cutting of wood. Forest Products Journal, 36 (1) (1986), pp. 55-58.
6. BEER, P. Niekonwencjonalne narzedzia do obróbki drewna. Poznań, Wydawnictwo Akademii Rolniczej. 2007. s. 58-70. ISBN 978-83-7160-445-4.
7. ČERNÝ, V. Laser – od objevu k průmyslovým aplikacím, *Elektro: časopis pro elektrotechniku*, 2005. 15(4). [cit. 2021-02-06]. Dostupné z WWW: <http://www.odbornecasopisy.cz/elektro/casopis/tema/laser-od-objevu-k-prumyslovym-aplikacim--13653>
8. DUŠEK, P. Aplikace laseru při obrábění dřeva. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2013. 87 s. Vedoucí diplomové práce Ing. Karel Osička, Ph.D..
9. EICHHRON, M. Laser Physics -From Principles to Practical Work in the Lab. New York: Springer, 2014. 171 s. ISBN 978-3-319-05127-7.
10. ELTAWAHNI, H. A.; BENYOUNIS, K. OLABI A.; High Power CO₂ Laser Cutting For Advanced Materials – Review. Amsterdam: Elsevier B.V. 2015. ISBN 978-0-12-803581-8.
11. Gravotech. *Metal engraving* [online]. La Chapelle St Luc, 2021. [cit. 2021-02-06]. Dostupné z WWW: <https://www.gravotech.com/applications/metal-engraving>
12. HAYRAPETYAN, V. Laserová fyzika. Novosibirsk: Sibiřská státní vysoká škola geodézie, 2012. 133 s. ISBN 978-5-87693-528-1.

13. KROUPA, J. Technologie obrábění pomocí laseru. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2011. 58 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Oskar Zemčík, CSc..
14. KVIETKOVÁ, M. Obrábění dřeva. 1. vyd. Praha: Česká zemědělská univerzita v Praze, 2015. 295 s. ISBN 978-80-2013-2604-0 .
15. Lao Lasey a optika. *Dřevo – gravírování a řezání* [online]. Praha, 2021. [cit. 2021-02-06]. Dostupné z WWW: <http://www.lao.cz/laser-centrum-151/prakticke-ukazky-technologie-poradenstvi-a-vyroba-vzorku-191>
16. Lao Lasey a optika. *Řezání dřeva a překližky laserem* [online]. Praha, 2021. [cit. 2021-02-06]. Dostupné z WWW: <http://www.lao.cz/aplikace-79/laserove-rezani-80/rezani-dreva-a-preklizky-laserem-82>
17. MAŇKOVÁ, I. Progresívne technológie: Advanced methods of material removal. Košice: Viena, 2000. 275 s. ISBN 80-709-9430-4.
18. MARTISON, L., MOROZOV A. Kvantová fyzika. Moskva: Moskevská státní technická univerzita N. E. Baumana, 2012. 528 s. ISBN 5-7038-3580-7.
19. MIČIETOVÁ, A. Nekonenčné metódy obrábania. 1. vyd. Žilina: Žilinská univerzita, 2001. 176 s. ISBN 80-7100-853-2.
20. MM Průmyslové spektrum. *Značení a gravírování laserem* [online]. Praha, 2003. [cit. 2021-02-06]. Dostupné z WWW: <https://www.mmspektrum.com/clanek/znaceni-a-gravirovani-laserem>
21. Opetech. *Řezání laserem* [online]. Velešín, 2021. [cit. 2021-02-06]. Dostupné z WWW: <https://www.opetech.cz/laserove-rezani-kovu-a-plechu/>
22. PEŠÍK, L. Části strojů: stručný přehled. Vyd. 4., dopl. Liberec: Technická univerzita v Liberci. 2010. s. 226 - 236. ISBN 978-80-7372-574-7.
23. PRIMUS, T. Technologie svařování laserem. *Czechlasers.cz: vzdělávací web o laseru* [online]. Praha, 2020. [cit. 2021-02-06]. Dostupné z WWW: <https://czechlasers.cz/studovna/laserovy-den-pro-stredni-skoly/>
24. PROKEŠ, S. Obrábění dřeva a nových hmot ze dřeva. Praha: Nakladatelství technické literatury. 1982. 584 s., ISBN 04-833-82.
25. Původní návod k použití, Asist jigsaw 650W, Praha 9. [cit. 2021-02-06]
26. ŘASA, J., GABRIEL, V. Strojírenská technologie 3. 4. vyd. Praha: Scientia. 2005. 156 s., ISBN 80-7183-207-3.

27. ŘASA, J., JINDROVÁ, R. Lasery, laserové technologie a stroje s laserem. MM Průmyslové spektrum. Červenec 2006. číslo 7, 8, s. 34-36. ISSN 1212-2572.
28. SADÍLEK, M. Nekonenční metody obrábění I. Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, 2009. 152 s. ISBN 978-80-248-2107-8.
29. SOCHOR, V. Lasery a koherentní svazky. Praha: Academia, 1990. 196 s. Cesta k vědění č. 43 (Academia). ISBN 80-200-354-1.
30. ŠIMEK, D., Využití technologie obrábění laserem v dřevařství. Praha: Česká zemědělská univerzita v Praze. Fakulta lesnická a dřevařská. 2020. s 28. Vedoucí bakalářské práce doc. Ing. Monika Sarvašová Kvietková, PhD..
31. VAŇKOVÁ, M. Vodní parsek nebo laser. *Talentica* [online]. Praha, 2018. [cit. 2021-02-06]. Dostupné z WWW: <https://www.talentica.cz/vodni-paprsek-laser/#:~:text=Laserový%20paprsek%20světelné%20energie%20vzniká,materiály%20tlustší%20než%2010%20mm>.
32. VRÁBELOVÁ, L. Vliv laserového řezání na strukturu oceli. Liberec: Technická univerzita v Liberci, Fakulta strojní, 2010. 85 s. Vedoucí diplomové práce doc. Ing. Karel Daďourek, CSc..
33. VRBOVÁ, M. Lasery a moderní optika. Praha: Prometheus, 1994. 474 s. ISBN 80-85849-56-9.
34. WAIRIMU, G.; IKUA B. W.; KIONI, P. N. CO2 laser machining of wood, perspex and glass with and without use of assist gas. *International Journal of Scientific Research and Innovative Technology*. 2015. 2(2), 128-133. ISSN 2313-3759.
35. Žluté lasery. *Laserové svařování* [online]. Mikulov, 2021. [cit. 2021-02-06]. Dostupné z WWW: <https://www.zlutelasery.cz/svarovani>