

Česká zemědělská univerzita v Praze

Fakulta lesnická a dřevařská

Bakalářská práce

2021

Monika Měchurová

Česká zemědělská univerzita v Praze

Fakulta lesnická a dřevařská

Katedra zpracování dřeva a biomateriálů



Technologie gravírování laserem

Bakalářská práce

Autor: Monika Měchurová

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

2021

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Fakulta lesnická a dřevařská

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Monika Měchurová

Dřevařství

Podnikání ve dřevozpracujícím a nábytkářském průmyslu

Název práce

Technologie gravírování laserem

Název anglicky

Technology of laser engraving

Cíle práce

Cílem práce je představit metody technologie gravírování. Přiblížení technologie gravírování laserem. Posouzení metod gravírování a porovnání této metody u vybraného masivního dříví a vybraného aglomerovaného materiálu.

Metodika

Charakteristika a rozdělení metod gravírování a využití metody obrábění paprskem laseru. V praktické části porovnáme přesnosti druhů gravírování a srovnáme tyto metody u masivního a aglomerovaného materiálu. Vyhodnocení výhod a nevýhod jednotlivých metod.

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

- 1/ červenec – srpen 2020: literární rešerše – analýza literatury s přehledem dosavadních poznatků o řešeném problému a vymezení základních pojmů, které budou používány v práci,
- 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

laser, obrábění, gravírování, materiál

Doporučené zdroje informací

- BERNARD, K. E. Schneiden mit Laserstrahlung und Wasserstrahl. Printed in Germany. 1993. s. 3-93. ISBN 3-8169-0748-2.
- DULEY, W W. Laser processing and analysis of materials. New York. 1983. 464 s., ISBN 978-1-4757-0195-1.
- KRAJNÝ, Z. Nekonenčné technológie a bezpečnosť pri práci. Bezpečná práca 4/1991. 1991. s. 152 – 156.
- KVIETKOVÁ, M. Obrábění dřeva. CARTER Praha. 2015. 295 s., ISBN 978-80-213-2604-0.
- PECINA, P., PECINA, J. Materiály a technologie – dřevo. Brno. 2006. 132 s., ISBN 80-210-4013-0.
- SADÍLEK, M. Nekonenčné metody obrábění I. Ostrava. 2009. 146 s., ISBN 978-80-248-2107-8.
-

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 02. 03. 2021

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma technologie gravírování laserem vypracovala samostatně pod vedením. doc. Ing. Monika Sarvašová Kvičková, PhD. a použila jen prameny, které uvádím v seznamu použitých zdrojů.

Jsem si vědoma, 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

Děkuji své vedoucí bakalářské práce paní doc. Ing. Monice Sarvašové Kvietkové, PhD., za podnětné připomínky a cenné rady.

Abstrakt

Bakalářská práce je zaměřena na přiblížení a rozdělení technologie gravírování laserem. Práce pozůstává z několika částí. Popisuje metodu gravírování obecně, základní rozdělení a přiblížení metody gravírování laserem. Taktéž popisuje základní součásti laseru a jejich rozdělení dle určitých kategorií. Následně se zaměřuje na využití laserové technologie a přehled výhod a nevýhod této technologie. V praktické části se zabývá porovnáním kvality a přesnosti vybraných druhů masivního dřeva (smrk, buk, dub) a taky vybrané druhy aglomerovaného materiálu (MDF, DTD, buková a březová překližka). Jedna z kapitol je věnována výhodám a nevýhodám u obou materiálů.

Z výsledků vyplývá, že je třeba dbát na správné nastavení programu a laserového zařízení, což vede ke snižování nejen výrobních nákladů, ale i k úspoře pracovního času. Dalším pozitivem vhodné volby programu a materiálu je dosahováno kvalitnějšího povrchu.

Klíčová slova: laser, obrábění, gravírování, materiál

Abstract

The bachelor thesis is focused on the approximation and division of laser engraving technology. The work consists of several parts. Describes the engraving method in general, the basic division and approach of the laser engraving method. It also describes the basic components of the laser and their division according to certain categories. Subsequently, it focuses on the use of laser technology and an overview of the advantages and disadvantages of this technology. The practical part deals with the comparison of quality and accuracy of selected types of solid wood (spruce, beech, oak) and also selected types of agglomerated material (MDF, DTD, beech and birch plywood). One of the chapters is devoted to the advantages and disadvantages of both materials.

The results show that it is necessary to pay attention to the correct setting of the program and laser equipment, which leads not only to a reduction in production costs, but also to savings in working time. Another positive aspect of a suitable choice of program and material is the achievement of a better surface..

Keyword: laser, machining, engraving, material

Obsah

1	Úvod.....	11
2	Cíl.....	12
3	Metody gravírování.....	13
3.1	Obrábění vodním paprskem.....	15
3.2	Obrábění vodním paprskem s příměsí abraziva	16
3.3	Technologie obrábění laserem – gravírování	17
3.3.1	Základní části laseru	18
3.3.2	Princip laseru obecně	19
3.3.3	Princip fungování CO ₂ laseru	21
3.4	Druhy laserů	22
3.4.1	Podle aktivního prostředí	23
3.4.2	Podle vlnové délky.....	24
3.4.3	Podle způsobu čerpání energie	25
3.4.4	Podle režimu paprsku.....	25
3.4.5	Podle výkonu	26
3.4.6	Podle konstrukce laserového zařízení.....	26
3.4.7	Podle využití	27
3.5	Výhody a nevýhody metod obrábění.....	28
3.5.1	Vodní paprsek	28
3.5.2	Vodní paprsek s příměsí abraziva.....	29
3.5.3	Laser.....	29
3.6	Bezpečnost při práci s laserem	29
4	Metodika	31
4.1	Použitý materiál.....	31
4.1.1	Smrkový masiv	31
4.1.2	Bukový masiv	32
4.1.3	Dubový masiv	33

4.1.4	Surová MDF	33
4.1.5	Surová DTD	34
4.1.6	Březová překližka	34
4.1.7	Buková překližka	36
4.2	Laserové centrum	37
5	Výsledky	39
6	Diskuze	44
7	Závěr	45
8	Použité zdroje.....	46

Seznam obrázků

Obrázek 1: Příklad gravírovacích nástrojů	13
Obrázek 2: Příklad laserového řezání intarzií z dýhy.....	14
Obrázek 3: Schéma a popis řezací hlavice	16
Obrázek 4: Schéma a popis řezací hlavice s příměsí abraziva	16
Obrázek 5: Způsoby přidávání abraziva	17
Obrázek 6: Stimulovaná emise	20
Obrázek 7: Princip laseru	21
Obrázek 8: Druhy režimů laserového paprsku	25
Obrázek 9: Základní typy konstrukčního řešení.....	26
Obrázek 10: Smrk.....	31
Obrázek 11: Buk.....	32
Obrázek 12: Dub.....	33
Obrázek 13: MDF deska.....	33
Obrázek 14: DTD deska	34
Obrázek 15: Bříza.....	35
Obrázek 16: Březová překližka	35
Obrázek 17: Buková překližka	36
Obrázek 18: Gravírované logo	37
Obrázek 19: Gravírovací a řezací CO ₂ laser Numco C 1290	37
Obrázek 20: Pohyb laseru.....	38
Obrázek 21: Smrkový masiv	40
Obrázek 22: Bukový masiv	40
Obrázek 23: Dubový masiv	41
Obrázek 24: Surová MDF	41
Obrázek 25: Surová DTD.....	42
Obrázek 26: Březová překližka	42
Obrázek 27: Buková překližka	43

1 Úvod

Dřevo je organickou surovinou dorůstající v lese. Tím se les stává významným zdrojem kvalitní suroviny. Dřevo je pružným, pevným, a přesto lehkým materiál. Dokáže snášet velké zatížení, má také dobré tepelně izolační vlastnosti, dokáže tlumit vibrace a je snadno opracovatelné reznými nástroji.

Dřevo lze obrábět hned několika způsoby. Základem je rozdělení na třískové a beztřískové obrábění. Během třískového obrábění dochází ke vzniku větší či menší velikosti třísky. U beztřískového tříska nevzniká. Třískově obrábíme frézováním, soustružením, vrtáním, dlabáním a broušením. Do beztřískového řadíme hlazení, obrábění koncentrovanou energií a tvarování.

Práce pojednává zejména o obrábění laserem, což je jedna z mnoha používaných nekonvenčních metod obrábění a spadá pod beztřískové obrábění. Rozpětí obráběného povrchu je velmi široké. Je možné obrábět kovové materiály, dřevní materiály a jiné. Existuje velký počet druhů laserů a setkáváme se s ním v mnoha různých oborech ať už je to v oborech výzkumných, medicíně či ve strojírenském průmyslu. Používá se k řezání, popisování, gravírování a další úpravě materiálu. Laserová technologie je velmi atraktivní a čím dále více vyhledávaná.

Díky této variabilitě využití laseru nám ulehčuje práci v různých oborech. Laser používáme denně přičemž si to ani nemusíme uvědomovat. Můžeme na něj narazit v obchodě při skenování čárového kódu nebo při sledování počasí. Dále jsou používány k měření znečištění zemského ovzduší, k nastartování jaderné fúze a k přesnějšímu zaměřování a navádění různých zbraní. V domácnosti se s ním setkáváme v podobě laserové tiskárny nebo kompaktních optických disků.

Právě díky zajímavosti laseru a rozpětí jeho používání jsem se rozhodla prozkoumat tuto technologii blíže a spojit ji se svým studijním oborem.

A proto je tato práce zaměřena na technologii gravírování laserem a posouzení této metody na masivním dříví a aglomerovaném materiálu a srovnání kvality a přesnosti mezi nimi.

2 Cíl

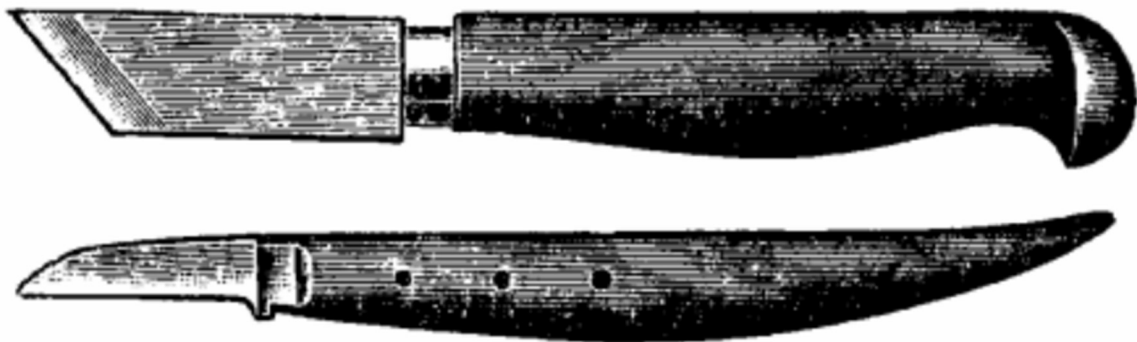
Cílem této práce je představení některých metod technologie gravírování. Charakterizovat technologii gravírování laserem, rozdělit a popsat jednotlivé druhy laseru dle kategorií. Dalším cílem je zhodnocení jednotlivých metod používaných ke gravírování. Poukázat na jejich výhody a nevýhody.

3 Metody gravírování

Samotné slovo gravírování je označováno jako umělecká technika vyrývání reliéfů do tvrdých materiálů. Gravírováním vytváříme nápisy či loga anebo jiné ornamenty odebráním povrchu materiálu. Popisovat metodou gravírování lze velikou škálu materiálů. Mezi ně patří kovy, nekovové materiály, dřevo, některé plasty, a dokonce i sklo. Gravírovat můžeme třemi základními způsoby, a to ručně, rotačně a laserově.

Existují i alternativní metody dělení materiálu jako jsou například řezání kyslíkem a plazmou. U metody kyslíkem se řezaný materiál spaluje řezacím kyslíkem za vzniku oxidů, které jsou v podobě tekuté strusky, vyfukované dynamickým účinkem kyslíku z místa řezání. U plazmy se jedná o proces, při kterém se neutrální plyn vhání vysokou rychlostí přes dýzu do elektrického oblouku, kde se vytváří vysokonapěťová jiskra. Tímto způsobem se plyn ionizuje a uzavře elektrický obvod s povrchem řezaného materiálu. Nutno podotknout, že tímto způsobem se nejčastěji obrábějí kovy a pro dřevozpracující průmysl využíváme jiné metody.

Ruční gravírování je metoda nejstarší a nejnáročnější z výše zmíněných. Dříve za dob ručního rytí se používali gravírovací nástroje, což byla rydla, která měla různé tvary (obr. 1). Takto vyryté nápisy se dále zdobili například zlatem, cínem nebo stříbrem. Tímto způsobem se ryli a zdobili náhrobní kameny, erby a tvořili různé ornamenty. Metoda ručního gravírování však není příliš přesná. Důvodem je, že práci vykonává člověk pomocí gravírovacího nástroje. Využití však nachází například ve šperkařství.



Obrázek 1: Příklad gravírovacích nástrojů

(<https://kosolaev.ru/sk/obronnoe-gravirovanie/>, 26. 2.2021)

V současné době je ruční rytí nahrazeno gravírováním moderní technologií. Princip zůstává stejný jako u ručního rytí. Jediným rozdílem je větší škála používaného materiálu pro gravírování.

Další metodou gravírování je rotační forma. K vytváření rytiny je použit nástroj, který řídí stroj. K tomu je třeba mít předprogramovaný design, který se vloží do počítače. To umožňuje mnohem přesnější gravírování. Nevýhodou této metody je, že nesmíme používat materiály, které jsou citlivé na teplo. Během rotačního gravírování totiž vzniká tření, které může poškodit výrobek.



Obrázek 2: Příklad laserového řezání intarzií z dýhy

(<https://www.eurolaser.com/sk/materialy/dyha/>, 16.2.2021)

Nejvíce moderní forma pro gravírování je za pomoci laseru. U této metody lze upravit tloušťku laserového paprsku, díky tomu máme možnost zvětšit či zmenšit celkovou šířku rytiny. Laser můžeme i zesílit a docílit tak hlubšího rytí.

Nejčastěji se s pojmem gravírování setkáváme v oblasti reklamy nebo reklamních předmětů. Původně je slovo známo jako rytí do povrchu tvrdých materiálů, a to zejména kovů, kamenů, skla apod. Tato technologie se časem vyvinula a je používána nejen na tvrdé materiály, ale také plastické hmoty a dřevo. Dnes se laser využívá například k intarzii (obr. 2)

Nejpoužívanější druhy gravírování jsou mechanické a laserové, ale jsou i jiné druhy jako například pomocí abraziva anebo vodního paprsku. Mechanické gravírování dělíme na dvě podskupiny lišící se způsobem zpracování. Prvním způsobem je gravírování frézováním a druhým je gravírování rytím. K rytí se nejčastěji používá diamantový hrot. Gravírujeme rytím, když odebíráme materiál v menším množství a zároveň v jedné rovině. U gravírování frézováním je tomu naopak. Je tedy možné odebírat větší množství materiálu, a to i v různých hloubkách.

Pracovní nástroj u mechanického gravírování je v přímém kontaktu s povrchem gravírovaného objektu. Jako pracovní nástroj se nejvíce využívá již zmíněný diamantový hrot

anebo kovová fréza. K mechanickému gravírování jsou používány manuální pantografy nebo CNC plottery (Janiček, 2000).

Při gravírování laserem se nástroj nedotýká přímo gravírované plochy. Ke kontaktu přichází až samostatný laser.

Bylo již zmíněno, že gravírování lze rozdělit z více hledisek. Já jsem zvolila tři metody obrábění, a to, obrábění vodním paprskem, vodním paprskem s příměsí abraziva a laserem. Tyto metody jsem zvolila právě proto, že jsou nejvíce využívány k obrábění a gravírování dřeva.

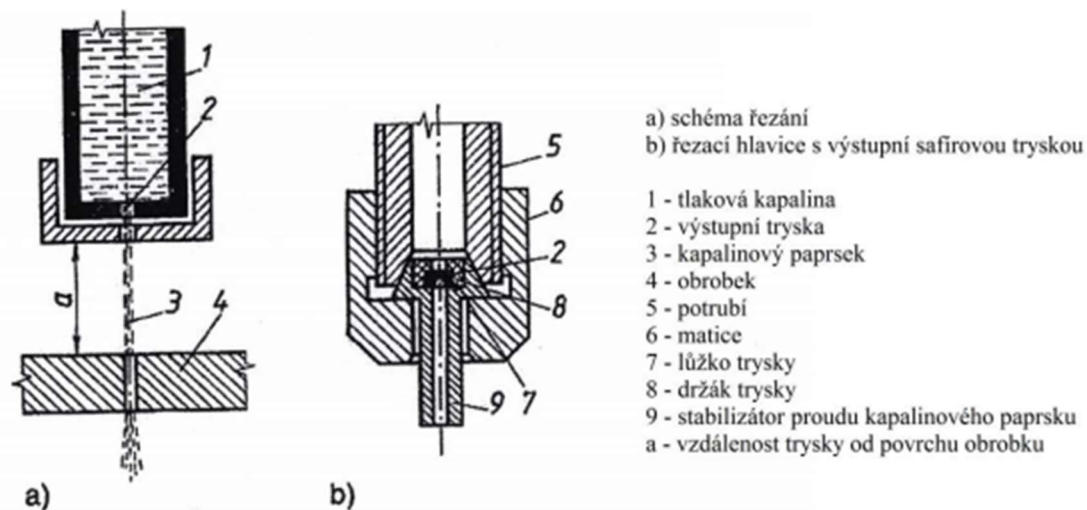
3.1 Obrábění vodním paprskem

Vodní paprsek nachází využití v mnoha odvětví ať už v potravinářství nebo zbrojním průmyslu. Hlavní výhodou spočívá ve vysoké účinnosti. Řezy jsou kvalitnější, je možné dělat složitější tvary a dají se řezat i velmi tvrdé materiály. Obrábění vodním paprskem není omezeno mechanickými vlastnostmi (pevnost, tvrdost), ale fyzikálními (tepelná vodivost, teplota tavení, chemické složení apod.).

Podstatou oddělování materiálu je kinetická energie vysokotlakého a vysokorychlostního paprsku. Pracovní tlak vodního paprsku se pohybuje mezi 300 MPa - 450 MPa. Jako tlakový zdroj se využívají speciální vysokotlaké čerpadla. Metodu obrábění čistě vodním paprskem používáme u měkkých materiálů. Pro ostatní používáme vodního paprsku s příměsí abraziva (Kvietková, 2015).

Systém plně využívá vlastnosti vody, která je pod vysokým tlakem (obr. 3). Průměr vodního paprsku se pohybuje v rozmezí 0,1 - 0,2 mm. Je nutností dosažení co největší vzdálenosti od obráběného obrobku, aby paprsek neztratil svou soudržnost. Taková běžná vzdálenost mezi obrobkem a koncem trysky je 10 mm až 15 mm. Kdyby byla vzdálenost větší, paprsek by ztrácel svou řeznou rychlost. Vodní paprsek je nepříznivě ovlivněn i prouděním okolního vzduchu a ztrácí tím na schopnosti řezání. Zvýšení řezné rychlosti pak přináší horší kvalitu obráběného povrchu. Tomu se dá zamezit nasměrováním dvou paprsků vody do určitého bodu.

Proud čisté vody není nutně používán jen jako řezný nástroj. Může být využit jako pomocný nástroj, při použití jiné nekonvenční metody. Může napomáhat k odstraňování špon, snižování prašnosti nebo také nahradit chlazení (Morávek, 1999).



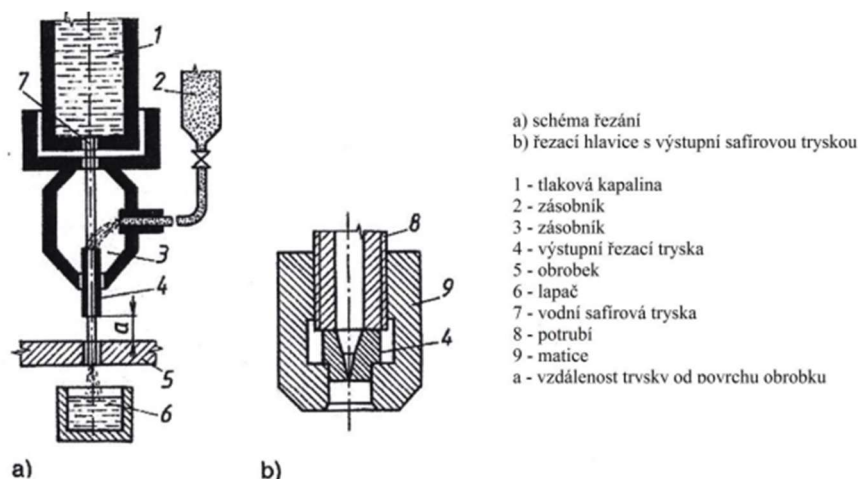
Obrázek 3: Schéma a popis řezací hlavice

(Sadílek, 2016)

Tato metoda přináší spousty předností a výhod. U této metody je výhodné možné obrábění i tepelně citlivějších materiálů, možnost změny tlaku, vysoká energetická účinnost a také provoz bez prachu, přičemž nevznikají žádné plyny ani páry. Nevýhodou je omezená stabilita vodního paprsku, jelikož se dá paprsek snadno deformovat.

3.2 Obrábění vodním paprskem s příměsí abraziva

Principem této metody je oddělování materiálu za použití kinetické energie abrazivních částic. Paprsek je vytvořen pomocí vysotlakého vodního čerpadla, který podstatou spočívá v převodu nízkého tlaku oleje na vysoký tlak vody. Proud vody je z čerpadla odváděn potrubím směrem do řezací hlavice (obr. 4). Tam se utvoří rovnoměrný vodní paprsek, ke kterému se následně přimíchává abrazivo.



Obrázek 4: Schéma a popis řezací hlavice s příměsí abraziva

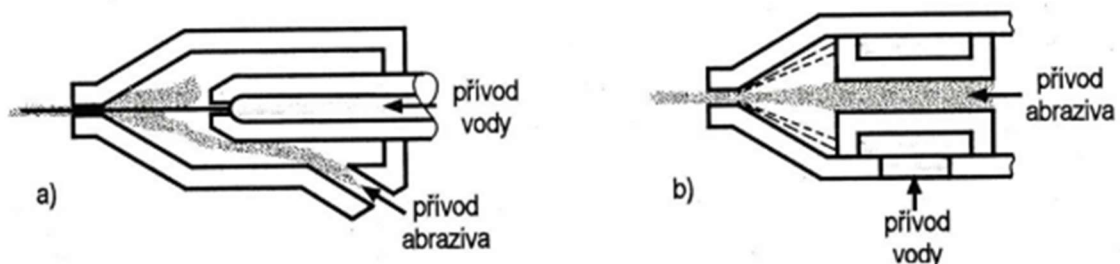
(Sadílek, 2016)

Abrazivo se přidává do proudu vody dvěma způsoby (obr. 5). Prvním způsobem je, že se abrazivo putuje ze zásobníku do směšovací komory, kde je následně strháváno vysokou rychlostí proudu vody. Druhou metodou je systém, kde se abrazivo vstříkuje přímo do vysokotlaké vody. U tohoto způsobu je abrazivo smícháno s vodou v tlakové nádobě, poté je stlačená směs přivedena do speciálně konstruované trysky.

Proces obrábění je z velké části ovlivněn používaným abrazivem. Závisí totiž na jeho hustotě, tvrdosti a pevnosti abrazivního materiálu. Podle hustoty je můžeme rozdělit na těžké (granát, ocelové piliny) a lehké (křemičitý písek, měděné piliny). Důležitou součástí je srovnání tvrdosti abraziva a tvrdosti řezaného materiálu. Rostoucí tvrdost abraziva nám přináší i vyšší řeznou rychlost, ale také zvyšuje opotřebení směšovací trubice.

Velikost používaného zrna volíme podle tvrdosti řezaného materiálu. Čím je obráběný materiál tvrdší, tím menší velikosti zrn lze použít. Vliv na hloubku řezu má především tvar a velikost zrn abraziva. Velikost zrn abraziva nijak zvlášť nepůsobí na řeznou rychlost, ale značnou částí ovlivňují drsnost povrchu v místě řezu (Maňková, 2000).

Používají se abraziva jako například oxid hlinitý (Al_2O_3), oxid siřičitý (SiO_2), uhličitán



Obrázek 5 Chyba! Záložka není definována.: Způsoby přidávání abraziva

(Sadílek, 2016)

hořečnatý (Mg_2CO_3). Přidaným abrazivem se zvyšuje výkon řezání. Výhodou je, že můžeme obrábět tvrdší materiály, a že materiál není tepelně ovlivněn. Naopak nevýhodou je pomalý proces obrábění a velký rozptyl paprsku (až 60°).

3.3 Technologie obrábění laserem – gravírování

Dřevo se používá v mnoha různých odvětví a má všestranné možnosti využití. Tím, že má takové možnosti se stalo velice oblíbeným materiálem. Díky jeho vlastnostem je dřevo jedinečným a trendy materiálem. Zajišťuje tepelnou a zvukovou izolaci, snadno se čistí a je velmi odolné. Dále má antistatické vlastnosti, je prodyšné a zcela odbouratelné.

Dřevěné výrobky jsou velmi žádané, zejména pak parkety sloužící jako podlahová krytina. Parkety vytváří individuální mozaiku, což umožňuje vytvořit si vlastní elegantní design. Ty mohou mít různé podoby ať už ozdob, log či nápisů. Právě díky laserové technologii je možné vyhotovit obrysy tvarů bez kompromisu. S vykládanými dřevěnými parketami se můžeme setkat nejen v rodinných domech, ale i hotelech, galeriích, muzeích, zámcích a palácích.

Dalším důvodem k použití laseru jsou materiály ušlechtilého dřeva, u kterých jsou náklady na pořízení vyšší. Tím pádem se snažíme omezit ztráty, ať už je myšlený odpad či rozbití, na naprosté minimum. Právě tehdy přijde na řadu laser, jelikož touto metodou přijde do styku s materiálem pouze laser.

Nejrozšířenějším druhem gravírování v dnešní době je za pomoci laseru. U tohoto typu technologie nedochází k přímému styku s materiálem. Kontakt je zajištěn až laserem, přičemž je materiál odstraňován odpařováním materiálu. Za pomoci laserové paprsku měníme vlastnosti gravírovaného materiálu a vznikne tak požadovaný kontrast mezi obráběnou plochou a nedotčenou plochou (Kocman et al, 2001).

Využívání laseru je nejvíce rozšířená nekonvenční metoda technologie. Úběr materiálu probíhá díky účinku úzkého paprsku silného monochromatického světla soustředěného na malou plochu. Svazek paprsků o vysoké intenzitě je generován laserem (z angličtiny **L**ight **A**mplification by **S**timulated **E**mission of **R**adiation, čili zesílení světla za využití stimulované energie). Na trhu je velký počet laserů s odlišnými vlastnostmi, způsoby provedení, použitými materiály a chemickými prvky v nich používaných (Siegman, 1986).

Lasery se využívají řadu let a používáme je k úspoře času a usnadnění práce. Ve většině odvětví je nejvíce vhodný plynový laser s použitím CO₂ aktivním prostředím, a to díky nízkým provozním nákladům.

3.3.1 Základní části laseru

Aby laser mohl správně pracovat musí obsahovat pět částí. Jsou jimi aktivní prostředí, rezonátor, budící zařízení, zdroj energie buzení a chlazení zařízení.

Aktivní prostředí je látka umožňující elektronům se pohybovat (neboli excitovat) ze základních vrstev na vrstvy vyšší. Buzené elektrony se pak snaží zůstat na základní hladině, a proto přeskakují z vyšších do nižších vrstev. Aktivní prostředí dělíme na plynové, pevnolátkové, diodové a kapalinové.

Díky rezonátoru dochází k usměrnění a též k zesílení samostatných fotonů. Skládá se z alespoň dvou zrcadel. Zrcadla bývají rovinná, ale dělají se i zakřivená. Možné je i použití vydutého (konkávní) nebo vypuklého (konvexní) zrcadla. Stabilita rezistoru je daná poloměrem zakřivení zrcadel a celkovou délkou rezonátoru. Průměrem a zakřivením určujeme i intenzitu záření.

Budící zařízení je zařízení ovlivňující pracovní režim laseru. Různá laserová média se budí rozdílně. Plynná média jsou buzena pomocí proudu (střídavým i stejnosměrným). Pro pevná média jsou budiče výbojky. K buzení se dále používají chemické reakce, fotodisociace nebo také expanze plynu.

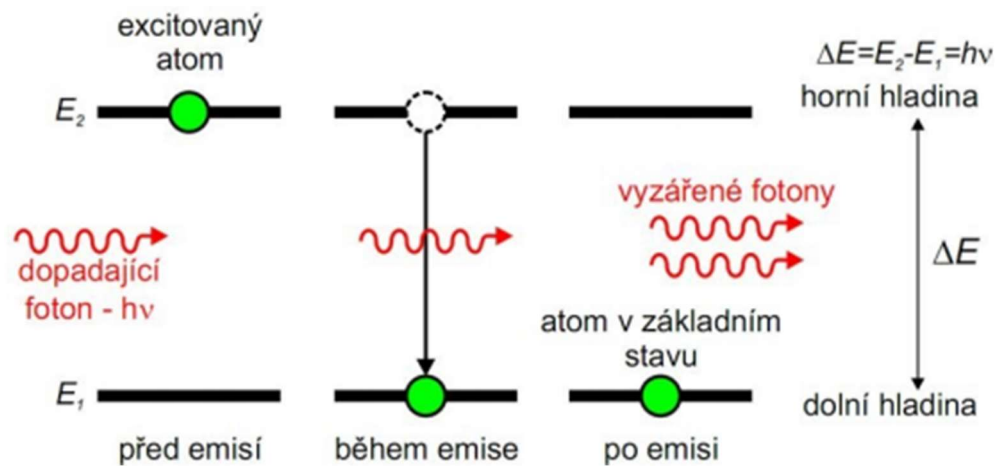
Zdroj energie závisí druhu aktivního prostředí. Zdrojem může být elektrický výboj, chemická reakce nebo dioda.

K ochlazování a odvádění tepelné energie slouží chladicí zařízení. Toto zařízení je potřeba, aby nedocházelo k přehřívání stroje. Nutnost spočívá v tom, že ne všechna energie je přeměněna na laserové záření, a proto je potřeba její přebytečnou část odvádět. Jako chlazení je nejvíce používána voda a vzduch.

3.3.2 Princip laseru obecně

Jakýkoliv typ laseru má tři základní části. První částí je aktivní prostředí čili laserové médium, což je zdrojem atomů, které jsou potřebné k stimulované emisi. Toto prostředí průhledné a je schopné odvádět teplo. Další částí je rezonátor. Ten je optickou soustavou, která zesiluje světelné záření. Je složen z nepropustného a prostupného zrcadla. Posledním dílem laseru je budící zařízení dodávající energii atomů, které se nacházejí v aktivním prostředí. Jako zdroje čerpání čili zdroj excitované energie slouží elektrické výboje, elektronový paprsek, výbojky, chemické reakce, teplo a jiné. Laserová zařízení fungují nejčastěji v kontinuálním režimu, ale existují i lasery vyššími výkony, které pracují v režimu pulzním.

Elektrony atomu, které se nacházejí v aktivním prostředí, se energeticky vybudí vnějším zdrojem a přechází do vyšší energetické hladiny E_2 (obr. 6). Takto probíhající fyzikální jev nazýváme jako inverzní populace, což je zvýšené množství atomů a molekul na vyšších energetických hladinách. Elektrony mají sklon samovolně zaujímat hladiny s nižší energií E_1 a během toho vyzařují velké množství světelného záření. K zesilování tohoto světelného záření slouží stimulovaná emise. Část stimulované emise záření se díky rezonátoru stále vrací do laserové dutiny.

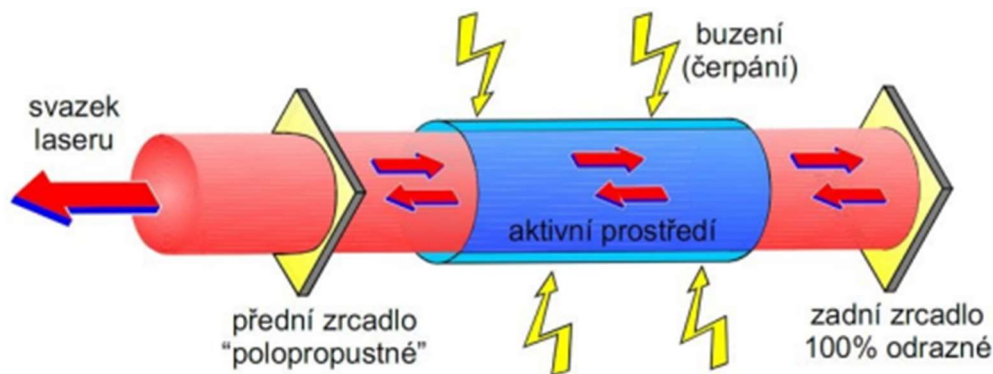


Obrázek 6: Stimulovaná emise

(Novák, 2013)

Po načerpání aktivní látka svou vnitřní přebytečnou energii samovolně emituje ve formě fotonů, které mohou mít různý směr šíření, odlišnou frekvenci nebo polarizaci. Optický rezonátor si vybírá jen fotony, které mají stejnou frekvenci jako je jeho vlastní rezonanční frekvence.

Fotony se nejčastěji pohybují podél osy rezonátoru. Tím fotony dopadají kolmo na zrcadla. Fotony se pohybují od nepropustného zrcadla, proletí znovu skrz aktivní prostředí až doletí k polopropustnému zrcadlu, ze kterého vycházejí jako koherentní monochromatický paprsek. Ostatní fotony, které měli rozdílný směr šíření a frekvenci než rezonátor, se vyzáří vnějšími stěnami aktivní látky.



Obrázek 7: Princip laseru

(Novák, 2013)

Paprsek soustředěného světla působící na malou plochu se vlivem vysoké teploty odpařuje (obr. 7). Během řezání laserem se dostávají různé procesy. Při řezání většinou dochází právě ke kombinaci následujících tří procesů.

Prvním je substituční řezání. Při něm se odpařuje materiál z místa řezu. Řezy jsou hladké, mají vysokou kvalitu a jsou bez otřepů.

Druhým procesem je tavné řezání, u kterého dochází k tavení materiálů v místě řezu. Takto roztavený materiál je pak vyfouknut proudem asistenčních plynů.

Posledním je řezání plamenem. U tohoto procesu dochází k velké řezné rychlosti a asistenčním plynem je kyslík. Materiál se zahřívá na teplotu, která je vyšší než zápalná, a poté dochází k exotermické reakci.

3.3.3 Princip fungování CO₂ laseru

CO₂ lasery využívají ke vzniku stimulované emise kvantovo – energetické přechody související s oscilací molekul CO₂ a dusíku (N₂).

Hlavní částí každého CO₂ laseru je dielektrická komora. Ta má uvnitř směs plynu, která obsahuje CO₂, N₂ a helium (He). Energie potřebná k excitaci je vytvořena ve formě doutnavého výboje nacházejícího se mezi elektrodami, na které se napojí generátor vysokého napětí.

Abychom dosáhli žádané emise fotonů je nutné dočasně vybudit elektrony aktivního prostředí do vyšších energetických hladin. Obecně tento proces nazýváme inverze populace. Poté co se elektrony vybudí se vrací zpět na svoji původní elektronovou hladinu, a přitom zároveň probíhá emise fotonů. V rezonanční komoře jsou pak směřovány pomocí soustavy

dvou zrcadel. V komoře zůstávají pouze elektrony mající trajektorii rovnoběžnou s podélnou osou komory.

Aby byla trvale zajištěná inverzní populace na horní hladině E_2 je třeba, aby byla neustále doplňována a zároveň je potřeba účinně depopulovat dolní laserovou hladinu. To nám zajistí srážky s molekulami helia, které tuto přijatou energii odvádějí ze systému v podobě tepla. Teplo je pak z celého systému odváděno chladícím médiem, což je nejčastěji voda. Takové medium se nachází v chladícím agregátu. Chlazení musí být natolik účinné, aby teplota v dutině nepřesahovala 400°C .

Potřebný nízký tlak plynu, který zaručuje vznik doutnavého výboje v laserové trubici, je udržovaný za pomoci vývěvy.

Podle toho, jestli je systém otevřený, dělíme lasery na průtočné lasery a lasery s uzavřeným rezonátorem. Průtočné lasery dosahují výstupního výkonu až 20kW. Ohřátý plyn, který je z aktivního prostředí odsán vývěvou a nový plyn chladí rezonátor. Uzavřené lasery se dají chladit jen nepřímo, vodou nebo vzduchem. Jejich výkon dosahuje maximálně 8kW. Uplatňujeme je zejména při gravírování a značení, ale také při řezání kovů a dalších materiálů.

Největší nevýhodou těchto laserů je, že není možné vést jejich paprsek optickým vláknem. Aby mohl být svazek veden je třeba použití soustavy zrcadel. To zvyšuje potřebu častěji kalibrovat systém a nutnost mít čistá zrcadla.

V další kapitole poukážeme na jednotlivé lasery a jejich základní rozdělení podle určitých kritérií, vzhledem k jejich individuálním vlastnostem, a tudíž i využití.

3.4 Druhy laserů

Lasery se využívají už řadu let a prošly mnohým vývojem. Proto je můžeme rozdělit podle několika způsobů. Každý druh využíváme v jiném odvětví, jelikož má velmi omezenou specializaci. Rozdělujeme je podle aktivního prostředí, vlnové délky, podle způsobu čerpání energie, režimu paprsku, výkonu, konstrukce laserového zařízení a použití.

Nejpoužívanějšími druhy laseru pro tepelnou aplikaci v strojírenském průmyslu jsou pevnolátkové lasery na bázi rubínu, Nd:YAG, Nd:sklo, z plynových CO_2 laser a He-Ne, pak argonové a excimetrové. V dřevozpracujícím průmyslu je nejvíc využíván právě CO_2 laser, který spadá mezi plynové lasery (Mičietová, 2001).

3.4.1 Podle aktivního prostředí

Podle aktivního prostředí dělíme lasery v závislosti skupenství materiálu používající pro generování záření čili skupenství aktivní látky.

3.4.1.1 Pevnolátkové lasery

Aktivní prostředí utváří pevné krystalické látky, které jsou doprovázené směsí vhodných iontů. K vlastnímu optickému zesilování dochází na elektronových přechodech iontů příměsí. Jejich koncentrace málokdy překročí 1 % (Engst, 1989).

U tohoto typu laseru se nejčastěji používá optické buzení, u kterého je změna obsazení energetické hladiny díky vnějšímu světelnému zdroji (zpravidla výbojky).

Prvním fungujícím a realizovaným laserem, který spadá do pevnolátkových laserů je rubínový laser. Nejčastěji je složen z rubínové tyče, přičemž musí čerpat mnoho energie, aby došlo inverzi populace. energii čerpá obvykle z výbojky. Tyč bývá usazena mezi dvě zrcadla vytvářející tak optickou dutinu, mezi kterou osciluje světlo díky fluorescenci rubínu. To pak způsobí stimulovanou emisi.

Dalším pevnolátkovým laserem je Nd:YAG laser. Zde slouží jako aktivní prostředí izotropní krystal yttrium aluminium granátu ($Y_3Al_5O_{12}$), který je dopován ionty neodymu (Nd^{3+}). Výkonová hladina je pouhých několik stovek wattů. Nejčastěji pracuje v režimu pulzním nebo kontinuálním s režimem Q. Bývá buzen výbojkou ale také i laserovou diodou (Beck, 1984).

3.4.1.2 Plynové lasery

Aktivním prostředím je plyn. Buzení probíhá elektrickým výbojem, který je zapalován směsí plynů CO_2 , N_2 a He. Nejčastěji používaným a nejstarším plynovým laserem je CO_2 laser. Zároveň je nejvýkonnější a má velkou účinnost. Do této kategorie však spadají i lasery helium-neonový, argonový iontový, helium-kadmiový a dusíkový.

Helium-neonový laser je tvořen dlouhou skleněnou trubicí naplněnou směsí neonu a helia. Elektrický výboj se budí za pomoci vysokofrekvenčních prstencových budících elektrod.

Dalším zástupcem plynových laserů jsou argonové lasery. Pro tento typ jsou typické vyšší hustoty elektrického proudu protékající výbojem a vyšší teploty. Výbojové trubice se nejčastěji zhotovují z keramických materiálů a proud je izolován od stěn magnetickými poli. Helium-kadmiové lasery mají jako aktivní prostředí excitované páry kovů.

3.4.1.3 Polovodičové lasery

Stejně jako u ostatní lasery je funkce založená na procesu stimulované emise. Díky PN přechodu, který je aktivním prostředím, dochází k zaplnění elektronů a děr.

Aktivní prostředí polovodičových laserů se budí převodem elektronů z valenčního do vodivostního pásu. Vlastnosti těchto pásů se upravují dopováním polovodičů vhodnými příměsemi (Engst, 1989).

K buzení se nejvíce používá injektování proudu přes přechod PN polovodiče. Používají se však i buzení optická.

3.4.1.4 Chemické lasery

Tyto lasery využívají exotermické řetězové chemické reakce k načerpání energie do aktivního prostředí. Řadíme sem například chemické kyslíkové jodové lasery lasery s fluorovodíkem.

3.4.2 Podle vlnové délky

Taktéž je lze rozdělit podle toho s jakými vlnovými délkami pracují. Nejběžnější jsou submilimetrové jejichž vlnová délka je maximálně 1 mm. Pod tuto kategorii spadají lasery používající oxid uhličitý jako aktivní prostředí. Dají se využít k řezání, odebrání různých druhů materiálů anebo ke značení etiket.

Dalších typem jsou lasery infračervené. Vlnová délka u těchto laserů se pohybuje v rozmezí 1 mm - 720 nm. Typickým zástupcem je pevnolátkový laser typu YAG a lasery pracující na bázi Ytterbia. Využívá se zejména ke značení kovů či plastů. Laser typu YAG má využití širší a dá se použít i v chirurgii.

Spektrum laserů viditelného světla je 360-780 nm. Sem patří veškeré barvivoové lasery a lasery s plynným aktivním prostředím kromě molekulárních. Dále sem řadíme polovodičové lasery fungující na bázi Ga a As. Využití nachází při značení materiálu a při výrobě čipů.

Lasery ultrafialového světla mají vlnovou délku mezi 10-360 nm. Jejich využití nacházíme při korekci dioptrií, mikroděrování či opravě LCD.

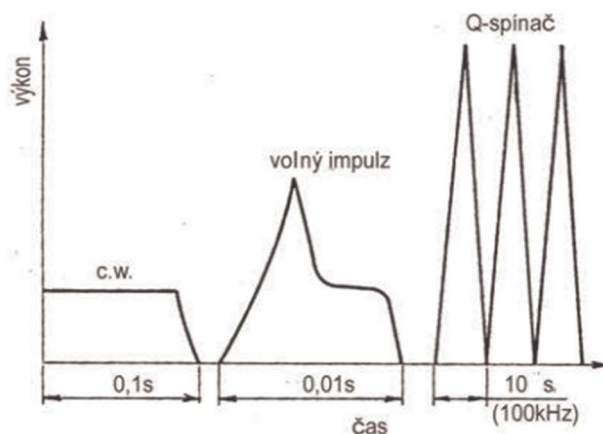
Rentgenové lasery mají rozpětí vlnové délky 10 nm – 1 pm. Tento druh laseru vytváříme případně zesilujeme pomocí elektromagnetického záření. Využívá se k výzkumu hustých plazmat, rentgenové mikroskopii nebo výzkumu povrchu materiálu a zbraně.

3.4.3 Podle způsobu čerpání energie

Čerpání energie se vykonává díky buzení, které závisí na používaném aktivním prostředí. Prvním způsobem je buzení opticky. U tohoto způsobu se používá výbojka, jiný laser, radioaktivní záření či sluneční světlo. U elektrického buzení je to za pomoci srážek v elektrickém výboji nebo svazkem nabitých částic. Dalším způsobem je chemické čerpání energie využívající fotochemickou disociaci, výměnu mezi molekulami a atomy, energii chemických vazeb. Čerpání energie tepelnými změnami ovlivňuje zahřívání a ochlazování plynu. Poslední možností je čerpání jadernou energií za využití reaktoru nebo jaderného výbuchu.

3.4.4 Podle režimu paprsku

Dle činnosti laseru v odlišných časových intervalech. V kontinuálních režimech pracují hlavně lasery plynové. A to díky tomu, že v plynu je kontinuální záření vyvoláno pomocí srážek elektronů. Právě proto je nejnázem uskutečnitelný elektrickým výbojem za vzniku iontů a volných elektronů. Volné elektrony pak přeberou energii zdroje a předávají ji atomům při srážkách. U pevnolátkových laserů by to bylo velmi obtížné a bylo by zapotřebí dostatečně silného zdroje.



Obrázek 8: Druhy režimů laserového paprsku

(Schachrai et al, 1979)

Na obrázku 8 je znázorněna časová závislost provozu jednotlivých režimů laseru. Kontinuální režim pracuje v nepřetržitém provozu. Pulzní režim, který vzniká přerušováním budícího elektrického výboje v samotné dutině laseru, a tím umožňuje krátké, energeticky bohaté pulzy s vysokým pulzním výkonem. Metoda Q-režimu je zvláštním kontinuálním režimem, který spočívá v generaci velmi krátkých impulzů s vysokou energií (Hayrapetyan, 2012).

3.4.5 Podle výkonu

Rozdělujeme dle množství použitého výkonu. Nízkovýkonové lasery využívají desetiny až stovky W a využití nalézají při řezání a vrtání keramiky, rubínů či plastických materiálů. Vysokovýkonové lasery dosahují výkonu od 1 kW do 30 kW. Jejich využití nalézáme především při svařování.

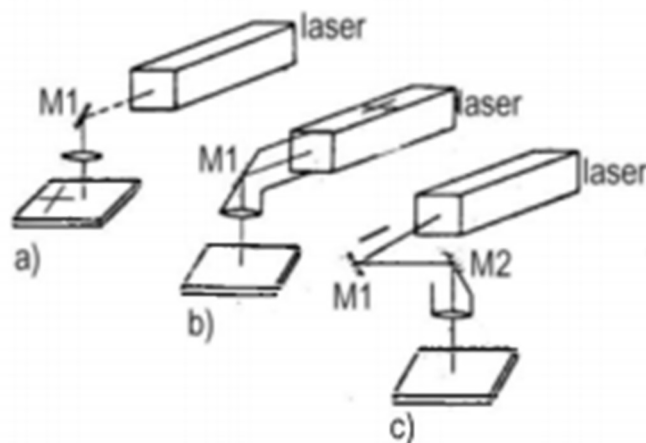
3.4.6 Podle konstrukce laserového zařízení

Je možné je rozdělit i z hlediska upevnění laseru a stolu (obr. 9). Rozložením jako celku je zajištěna přesnost mezi laserovým paprskem a stolem, na kterém je uchycený obrobek.

Prvním systémem je spojení pevného laseru v kombinaci s pohyblivým stolem. Jediným omezením je pro nás tvar, velikost a hmotnost obrobku.

Druhý systém je kombinace pohyblivého laseru a pevného pracovního stolu. U tohoto systému je použita lehká laserová hlava s nízkým výkonem a vcelku nízkou řeznou rychlostí. Výhodou však je, že nejsme nijak zvlášť omezeni tvarem ani hmotností obráběného materiálu.

Poslední typem je systém pevného laseru i pracovního stolu. Zde je pohyb paprsku způsoben nakláněním zrcadel. Díky tomu je velmi flexibilní. Nevýhodou je náchylnost na vibrace a nutnost velmi vysoké přesnosti motorků, které pohánějí zrcadla a zároveň s tím spojená nutnost čistoty zrcadel.



Obrázek 9: Základní typy konstrukčního řešení

(Schachrai et al, 1979)

V současné době se používají lasery, které jsou řízeny CNC systémy. Laserová hlava je zpravidla uchycena v robotické ruce, díky níž je pomocí programů proces řízen. Tyto typy uplatňujeme především při řezání a vyřezávání složitých tvarů.

3.4.7 Podle využití

Lasery mají mnoho funkcí a využívají se v mnoha oblastech. Jejich využití má velký rozptyl. Pomocí laseru můžeme řezat, gravírovat i svařovat. Avšak každý laser nelze použít na veškerou aktivitu, proto velmi záleží na druhu laseru a druhu vykonávané práci.

Řezání laserem je jedna z mnohým nekonvenčních metod technologie. Za pomoci laseru dělíme materiály kovové i nekovové, které mají různou šířkou materiálu. Základem je usměrnění energie na velmi malou plochu. Při kontaktu materiálu a laseru dojde k nahromadění energie. Když je nahromaděná energie větší než energie, kterou by materiál dokázal odvést pomocí vedení tepla, dojde k průchodu materiálem.

Gravírování je taktéž nekonvenční metodou. Využití nachází v mnoha průmyslových odvětvích, od výroby razítek a dárkových předmětů až po zhotovování odlitkových forem.

Svařování nalézá využití hlavně ve spojování kovů. Laserovou technologií dochází k roztavení kovu. Poté následnou zpětnou reakcí čili tuhnutím dojde k jejich pevnému spojení. U svařování záleží na mnoha faktorech, například na vlastnostech a druhu svařovaného materiálu, rychlosti posuvu, vlnové délce laseru atd. Díky vysoké rychlosti sváření nedojde k deformaci okolního materiálu. Taktéž je výhodou, že se nemusí přidávat žádný materiál.

Lasery nacházejí využití v domácnostech, ve výzkumu, medicíně, metrologii apod. V domácnosti se s laserem setkáváme v podobě laserové tiskárny, optické mechaniky, přesněji CD, DVD a Blue-ray. Dříve tiskárny byly pouze komerční účely a do domácnosti vyšly drahé. Dnes jsou však tiskárny běžnou součástí našich domácností. U laserových tiskáren se jedná proces přenášení toneru na papír využitím elektrostatické energie. Kompaktní disky fungují tak, že laser vytvoří miniaturní prohlubeň o velikosti pouhých několik tisícín milimetru. Čtení tohoto zápisu probíhá taktéž za pomoci laserové technologie. Miniaturní laserová dioda totiž vyzařuje infračervený paprsek, který je vyzařován na disk. Část vyzařeného paprsku se odrazí nazpět a poté projdou řadou detektorů. Z detektorů vychází digitální impuls směřující do elektrických obvodů, kde se vytvoří požadovaný záznam, ať už zvukový či obrazový. Tímto kompaktní disky nahradili starší varianty záznamů, jimiž byly diskety a gramofonové desky.

Velmi podstatnou část uplatňuje laser v medicíně. Laser je totiž velmi přesný, rychlý a minimálně invazivní. Objevuje se v odvětvích jako například dermatologie, oftalmologie, zubařství, neurochirurgie atd. V tomto oboru je výjimečným nástrojem chirurgickým i diagnostickým. Oproti skalpelu má přesnou lokalizaci vypálení a snižuje tak rozsah řezu. Při dermatologickém využití je třeba dávat pozor na specifikaci laseru, jelikož odstraňovaná tkáň

mívá jinou povahu než tkáň normální. Se správnou volbou laseru dochází k maximalizaci účinků laseru. Nejčastěji je laser využíván k odstraňování vaskulárních a pigmentových lézí, některých nádorů nebo i k odstraňování tetování. Velký úspěch zaznamenal laser i v oboru oftalmologie (Krauss et al, 1995). Laser totiž dokáže vniknout do oka, a to bez způsobení zranění. Tímto způsobem se používá k léčbě zeleného zákalu, k nápravě krátkozrakosti či dalekozrakosti nebo k utěsnění cév.

Laser se mimo jiné vyskytuje i v oboru astronomie, geodézie a geofyzice. Své uplatnění nachází zejména pulzní lasery sloužící k měření vzdálenosti. Princip spočívá ve vyslání impulsu do kotoučového odražeče. Ten pak impuls odrazí nazpět ke zdroji. Tento přístroj se nachází i na povrchu Měsíce, a proto bylo možné změřit poměrně přesně vzdálenost, která ho dělí od naší planety.

V oblasti ekologie a metrologie jsou lasery používány k měření znečištěného ovzduší. Jsou známy pod pojmem LIDARY, což jsou laserové radary, které vyzáří do ovzduší paprsek (Sadowski, 1977). Část signálu se odrazí a vrátí zpět a zbytek se rozptýlí. Poté se vyhodnotí odražené paprsky. Dále se dají změřit turbulence v atmosféře.

3.5 Výhody a nevýhody metod obrábění

V následujících kapitolách jsou popsány výhody a nevýhody jednotlivých metod obrábění, konkrétně vodního paprsku, vodního paprsku s příměsí abraziva a laseru. Zhodnocujeme jen tři základní a nejběžnější metody obrábění v oblasti dřevozpracujícího a nábytkářského průmyslu.

3.5.1 Vodní paprsek

První z výhod obráběním čistým vodním paprskem je možnost obrábění tepelně citlivějších materiálů díky studenému řezu. Oproti laseru má i velmi vysokou energetickou účinnost, dosahující až 85 %. Celý proces obrábění je bezprašný a nevznikají ani žádné plyny nebo páry. Zároveň je možné nastavit tlak, kterým budeme na daný předmět působit. Změnami tlaku je možné oplachovat, otryskávat, gravitovat, drážkovat apod. Tato metoda je šetrná k životnímu prostředí a je možné recyklovat její odpady.

Nevýhodou je přímý kontakt s obráběným materiálem, což je problém u materiálů, které neumí odolávat vlhkosti. Materiál obrobený vodním paprskem se pak déle vysouší, to platí zvláště u nasákavých materiálů (Sitek et al, 2004).

3.5.2 Vodní paprsek s příměsí abraziva

Některé výhody i nevýhody sdílí s vodním paprsek, jelikož základem je vodní paprsek. Tudíž tepelně neovlivňuje materiál a provoz je taktéž bez prachu. Výhodou přidané příměsi je možnost obrábění i tvrdších materiálů. Netřeba ani používání a ostření nástrojů.

Mezi nevýhody opět řadíme přímý kontakt s vodou a delší vysoušení nasáklivých materiálů. V případě tvrdších materiálů je nutné volit vhodné abrazivo, a proto i cena bývá vyšší. Jedná se o pomalejší proces, než jsou některé jiné varianty a paprsek může mít rozptyl jen 60°.

3.5.3 Laser

Obrábění laserem přináší mnohé výhody, ale i pár nevýhod. Záleží na odvětví, kde je laser využíván i na druhu používaného laseru. V této kapitole se zabýváme lasery zaměřenými na opracování dřeva.

Největší předností laserové technologie je možnost obrábění bez mechanického kontaktu s obrobkem. Taktéž je možné opracovávat méně přístupné oblasti materiálu. Díky své malé šířce řezu je ideálním nástrojem pro tvorbu detailů. Řez je natolik kvalitní, že není nutné ho, jakkoliv dál opracovávat. Je možné regulovat výstupní výkon, čímž umožňuje volit mezi režimem řezání anebo gravírování. Oblast styku laseru a obrobku je velmi málo tepelně ovlivněna díky své rychlosti, tím je i malé tepelné pnutí a deformace uvnitř materiálu. Za pomoci laseru dokážeme utvářet libovolné tvary a lze řezat ve všech směrech (Steen, 2003).

Velkou nevýhodou je cena za pořízení. Je totiž násobně vyšší než u jiných variant. U obrábění je třeba znát vlastnosti druhu dřeva, abychom mohli přístroj nastavit na správné hodnoty rezné rychlosti, výkonu a frekvence. V případě špatné volby dojde k nedokonalému opracování, například nadměrnému opálení hran. Proto je nutné, aby byl pracovník obsluhující laser náležitě zaučen a dodržoval veškerá bezpečnostní opatření.

3.6 Bezpečnost při práci s laserem

Pracovní prostředí a bezpečnost při práci jsou jedny z nejdůležitějších faktorů. Laser jako takový představuje univerzální nástroj s širokým využitím. Na druhou stranu je třeba znát rizika spojené s touto technologií. Zdroje laserového záření dokážou být nebezpečné jak pro živou tkáň, tak i životní prostředí. Nežádoucí účinky můžeme rozdělit na tepelné, netepelné a vedlejší. Tepelné účinky jsou způsobeny absorpcí energie záření a její přeměnou na teplo. To pak může vyvolat podráždění nebo až devastaci tkáně. Mezi netepelné účinky patří akustický tlak velmi krátkých pulsů, vysoce intenzivní elektrické pole nebo fotochemické účinky. Do

vedlejší účinků řadíme úrazy elektrickým proudem z vysokonapěťového výboje, požár od plamene (vznikající při zpracování některých materiálů) apod.

Při práci s laserem je nutné chránit si kůži, zrak a v některých případech i sluch a dýchací ústrojí. Největší pozornost věnujeme především ochraně zraku vzhledem k citlivosti oka na různé vlnové délky záření. Základním ochranným prostředkem jsou brýle se speciálními filtry. Takové brýle nepropouští záření vlnových délek používaného laseru. Z toho plyne, že lasery o různých vlnových délkách vyžadují různé druhy ochranných brýlí. Pro práci s CO₂ laserem jsou dostatečné brýle s obyčejnými skly, která jsou doplněna bočním stíněním. Kůži můžeme chránit rukavicemi, případně kombinézou ze speciálních materiálů, které dokáží odrazit záření daných vlnových délek. Dále je nutné chránit sluch v případě, že se nacházíme v blízkosti průmyslových vysoko výkonových systémů. Tyto systémy jsou velmi hlučné, ať už během chlazení, odsávání či jiné aktivity stroje. Proto je nutné použití ochranných sluchadel či jiných prostředků na ochranu sluchu (Vrbová, 1994).

Vstup na pracoviště s laserem musí být řádně označen výstražnou tabulkou, informující jednak o přítomnosti laseru, ale také vyzývají k použití ochranných pomůcek. Dále je každý laser je označen štítkem obsahující údaje o třídě bezpečnosti laseru a možné nebezpečí. Taktéž jsou označeny všechny spínače a připojení vnějších kabelů s životu nebezpečným napětím. Nezbytností je však i řádné proškolení obsluhy, kontroly a údržby laseru (Nutsch, 2014).

4 Metodika

Tato práce je sepsána metodikou vyhledávání materiálů v odborných textech, literatuře, studijních materiálech a dalších zdrojích. V této kapitole přiblížím materiály, které byli při práci použity. Jako základ mojí praktické části jsme zvolili jenom jednoduchý obrázek ve formě loga naší fakulty, které bude vygravírováno do jednotlivých materiálů. Popíšu taktéž laserové zařízení, na němž byl proces uskutečněn. Porovnáme kvalitu a přesnost provedení u vybraných masivních a aglomerovaných materiálů. V poslední části vyhodnotíme výsledky.

4.1 Použitý materiál

Laserová technologie se používá ke zpracování mnoha materiálů, včetně dřeva. Při nesprávném nastavení režimu můžou nastat nežádoucí problémy, například velké popáleniny, karbonizace a ojediněle i požáry na povrchu obráběného materiálu (Pecina et al, 2006).

Ve své práci jsem zvolila hned několik druhů dřevěných materiálů. Z masivních dřevin se jedná o smrk, buk a dub. Z materiálů na bázi dřeva jsem vybrala surovou MDF, surovou DTD a břízovou a bukovou překližku. Zmíněné materiály jsou ve dřevozpracujícím a nábytkářském průmyslu často zpracovávány a používány.

4.1.1 Smrkový masiv

Smrk je jehličnatá dřevina, která má pryskyřičné kanálky, nejviditelněji rozlišitelné jsou zpravidla na podélném řezu. Přejít mezi jarním a letním dřevem je pozvolný, nemá rozlišitelné jádro a barva dřeva je bělavá až nažloutlá (obr. 10). Taktéž je smrkové dřevo lehké a měkké (Šlezingerová; Gandelová, 2004).



Obrázek 10: Smrk

(<http://drevo.celyden.cz/charakteristiky-drevin/smrk-ztepily/index.html>, 25.3.2021)

Smrk je naší nejrozšířenější dřevinou. Je vysazován v parcích a zahradách i jako okrasný strom. Využití smrkového dřeva je mnohostranné a uplatňujeme ho nejen ve stavebnictví, tesařství, ale i v truhlářství a řezbářství. Používá se i k výrobě papíru, dřevité vlny a buničiny.

Dřevo rostoucí v horských a podhorských oblastech se uplatňuje při výrobě některých hudebních nástrojů (především housle), zejména proto, že v této oblasti neobsahuje dřevo tolik suků a má pravidelné a husté letokruhy.

4.1.2 Bukový masiv

Buk je listnatá dřevina, která nemá barevně odlišené jádro. Vyzrálé dřevo i běl má světle narůžovělou barvu (obr. 11). Bukové dřevo je poměrně tvrdé a těžké. Dřevo buku stejnoměrně husté, póry má jemné a vlákna kratší. Dřeňové paprsky jsou dobře viditelné na všech řezech.



Obrázek 11: Buk

(https://www.matrace-rosty.cz/index.php?&desktop_back=foto&action_back=&id_back=65&desktop=foto&action=img_detail&id=2931, 23.3.2021)

Bukové dřevo používáme v nábytkářství, truhlářství, na výrobu parket, železničních pražců nebo také kuchyňského náradí. Má však i své nevýhody mezi něž patří špatná odolnost vůči biologickým škůdcům, zejména houbám.

4.1.3 Dubový masiv

Dub spadá do listnatých dřevin, má velké žlutohnědé až temnohnědé jádro a úzkou světlehnědou běl (obr. 12). Má pouhým okem viditelné tracheje, na příčném řezu jako kruhovitě otvůrky a na podélném řezu jako podélné trhlínky. Dřeňové paprsky se nacházejí ve velkém množství a jsou mohutné. Jádrové dřevo bývá často vyplněno thylami, což způsobuje černání dřeva při kontaktu se železem. Dřevo je však tvrdé, velmi pevné, pružné a trvanlivé. Běl se ovšem odstraňuje, protože je méně trvanlivá, měkká a náchylnější na napadení živočišnými i rostlinnými škůdci.



Obrázek 12: Dub

(<https://www.atan.cz/jidelni-zidle/drevena-zidle-clayton-masiv-dub>, 23.4.2021)

Nacházíme ho v alejích a je vysazován tam, kde je potřeba zpevnit půdu. Uplatňujeme ho ve stavebnictví a ve vodním stavitelství. Dubové dřevo se dobře obrábí, a tudíž je žádaným materiálem i v řezbářství.

4.1.4 Surová MDF

Jedná se o polotvrdou dřevovláknitou desku o hustotě 400-900 kg/m³. Nejvýznamnější vlastností MDF je homogenita všech směrů (obr. 13). To umožňuje čisté a kvalitní opracování.



Obrázek 13: MDF deska

(<https://www.ozvucnice.cz/desky/100-mdf-deska-18.>, 18.3.2021)

Je to přírodní materiál a vyrábí se bez použití lepidel. Výroba totiž probíhá suchou cestou, a to rozsekáním zbytků tvrdého a měkkého dřeva do dřevěných vláken. Ty se díky obsaženému ligninu zkombinují s voskem a pryskyřicovým pojidlem. Potom se za vysoké teploty a tlaku zformují do desek. Obvykle se používají jako náhrada třískových desek a dokážeme tvarově profilovat i jejich boky (Sarvašová Kvičková, 2019).

4.1.5 Surová DTD

Dřevotřísková deska je kompozitním aglomerovaným materiálem, který se vyrábí z dřevěných částic, například dřevní štěpky, pilin nebo hoblin (obr. 14). Tyto dřevěné částice jsou spojovány syntetickou pryskyřicí nebo jiným pojivem a následně jsou lisovány. Vyrábí se lisováním listnaté i jehličnaté dřevní hmoty, která je rozmělněna ze zbytků při opracování masivního dřeva (Böhm et al, 2012).



Obrázek 14: DTD deska

(Böhm et al, 2012)

Vlastnosti DTD jsou ovlivněny mnoha činiteli. Je to zejména velikostí třísek, druhem použité dřeviny a druhem použitého lepidla. Všeobecně je však známo, že mají horší mechanické vlastnosti než dřevo masivní, jelikož jsou vlivem drobných frakcí porušeny pevné vazby mezi jednotlivými dřevními vlákny. Předností dřevotřískových desek je izotropnost vlastností, velkoplošnost a možnost vyrobit desky s různou hustotou a mechanickými vlastnosti bez jakýchkoliv vad.

4.1.6 Březová překližka

Bříza nemá barevně rozlišné jádro. Její vyvrálé dřevo má šedožlutou až narůžovělou barvu a je matně lesklé (obr. 15). Póry jsou jen málo zřetelné a dřeňové paprsky jsou početné, ale méně výrazné. Radíme ho do středně hustých dřevin.

Březové dřevo má nízkou odolnost vůči vlhkosti a změnám počasí. Proto se snáze suší a je vynikajícím palivovým dřevem. To ale není jeho jediné využití. Je materiálem uměleckým i řemeslným, hlavně pro svou dekorativní strukturu se používá k výrobě okrasných dých a překližek.



Obrázek 15: Bříza

(https://www.egger.com/shop/cs_SK/interior/decor-detail/H1733_9, 13.4.2021)

Překližka vznikne vzájemným křížovým slepením tenkých listů dřeva neboli dých (obr. 16) (Hrázský et al, 200). Tím se odstraní některé nežádoucí vlastnosti masivního dřeva. Díky tomu pak není anizotropní a je výrazně sníženo sesychání a bobtnání. Použitím vhodného lepidla lze zajistit i vysokou odolnost lepených spojů. Odolnost se dá i nadále zvýšit povrchovým nátěrem nebo nalisováním papírové folie s voděvzdornou pryskyřicí.



Obrázek 16: Březová překližka

(<https://www.prekližka.eu/produkt/prekližka-1525001250-bb-bb-briza/>, 17.3.2021)

4.1.7 Buková překližka

Vlastnosti bukového dřeva byly již zmíněny v kapitole 4.1.2. Celobukové vícevrstvé překližky jsou rozměrově stálé a odolné proti dynamickému namáhání. Jsou vyráběny s loupanou dýhou nebo bukovou sesazenkou na povrchu (obr. 17). Používáme je k výrobě slévárenských forem, jako náhrada za bukový masiv místo namáhaných částí nábytku, v stavebně truhlářské výrobě, výrobě nábytku apod.



Obrázek 17: Buková překližka

(https://www.kovovynabytek.cz/pracovni-desky-bukovy-multiplex-rozmary-1500-2000-x-750-mm/pDPS_01_MP40/?gclid=Cj0KCQjwgtWDBhDZARIsADEKwgOj2MdP2edYRzDvhg9MONyPqpTSiZozuCAh-7pzjXzeTkZhAobmZYaAh8IEALw_wcB, 11.4.2021)

Všechny materiály byl formátovaný na stejný rozměr 200x150x4 mm. Rozměry musí být dostatečně velké, ale nesmí být zase velké zbytečně moc, aby se s jednotlivými částmi dalo jednoduše manipulovat. Následně jsme se přesunuli k laserovému zařízení, na kterém došlo k samotnému gravírování.

4.2 Laserové centrum

Ze všeho nejdříve bylo nutné vytvořit logo, které budeme gravírovat. Logo jsem vytvořila v počítačovém programu AutoCAD 2020 a následně ho převedla do programu Lasercut 5.3, díky kterému je možné laserové zařízení nastavit. Základem pro gravírování je jednoduché logo ČZU – FLD (obr. 18).



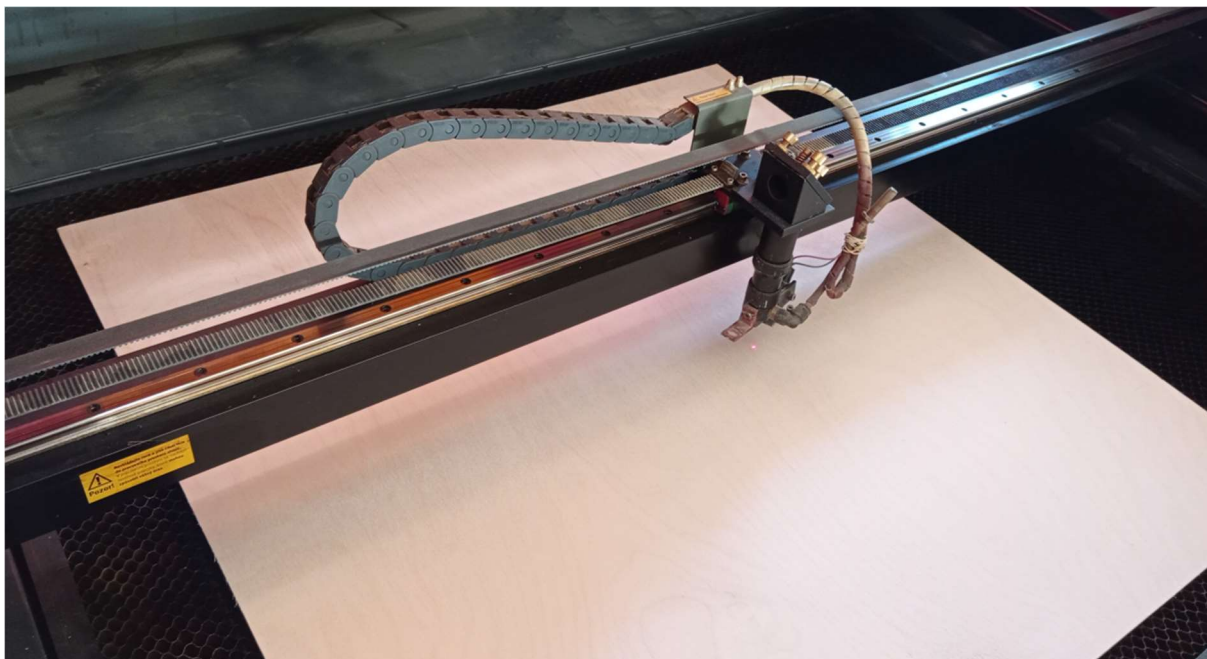
Obrázek 18: Gravírované logo

Samotná výroba probíhala na laseru typu CO₂, konkrétně laseru Numco C 1290 (obr. 19). Tento laser se nachází na České zemědělské univerzitě v Praze v truhlářské dílně nacházející se na Fakultě lesnické a dřevařské.



Obrázek 19: Gravírovací a řezací CO₂ laser Numco C 1290

Laser pracuje s řeznou rychlostí v rozmezí 0-600 mm.s⁻¹. Pro mou konkrétní šablonu byla použita řezná rychlost 15 mm.s⁻¹. Laserové zařízení má výkon 90 W a je chlazený pomocí vody. Je zapojen do elektrické sítě o 230 V. Rozměry celého zařízení jsou 1830x1240x1500 mm s vahou 320 kg. Maximální možný rozměr obráběného materiálu je o šířce 900 mm, délce 1200 mm a výšce 280 mm vzhledem k vnitřnímu prostoru a pohybu laseru (obr. 20).



Obrázek 20: Pohyb laseru

5 Výsledky

Když se podíváme na jednotlivé vzorky je už na první pohled zřejmé, že jsou mezi nimi rozdíly. Rozměry jsem zvolila stejné, aby se lépe daly porovnat a jejich rozdíly byli vidět na první pohled. Pakliže se podíváme na vizuální stránku jednotlivých vzorků lze si všimnout zabarvených okrajů a povrchu po obrobení laserem. Na druhou stranu vygravírované logo nemá nedokonalosti v podobě nepřesných tvarů a vše je dokonale provedeno podle vloženého loga do programu. Každý vzorek má logo totožné a jedinými rozdílem je intenzita zabarvení okrajů.

Různá intenzita opálení okrajů je způsobena různorodostí materiálů, jejich vlastnostmi, a především jejich hustotou. Samotná práce na laseru je velmi jednoduchá. Po vložení materiálu a nastavení požadovaných hodnot započne laser svoji práci. Tato práce je hotova během několika minut, přičemž samozřejmě závisí na velikosti obrázku a na gravírovaném případně obráběném materiálu.

Laserový paprsek může být aplikován různými způsoby na různé druhy materiálů. Právě kombinací nevhodně zvoleného materiálu a špatného nastavení programu může dojít ke snížení až ke znehodnocení obráběného materiálu. Pro zamezení vzniku ztrát času i materiálu je třeba mít kvalifikované operátory se znalostmi problematiky a zároveň zkušené programátory nastavovacích plánů. Vhodně nastavenými parametry lze docílit velice kvalitních výsledků bez nutnosti dalšího obrábění. Laserová technologie je však poměrně drahá na pořízení a náročná na energii, ale není třeba ostřit a měnit opotřebované nástroje jako je tomu u jiných strojů.

Prvním zvoleným vzorkem byl zvolený smrkový masiv (obr. 21). Při detailním zkoumání vidíme perfektní ostrost stran a opálení laserem je oproti ostatním zanedbatelném. Je to vzhledem menší hustotě dřeva, než je u jiných vzorků. V kontrastu se světlým smrkovým dřevem však působí přívětivým dojmem.



Obrázek 21: Smrkový masiv

Kontrast mezi bukovým masiv (obr. 22) se zdá ideální kombinací nastavených parametrů. Poměr hustoty a řezné rychlosti vytvořil v tomto případě příjemný a matný kontrast.



Obrázek 22: Bukový masiv



Obrázek 23: Dubový masiv

U vzorku z dubového masivu (obr.23) dochází kvůli vyšší hustotě k většímu opálení. Pro tuto variantu bych zvolila jiné nastavení programu.



Obrázek 24: Surová MDF

Laser je také ideálním nástrojem pro opracování aglomerovaných materiálů jako jsou MDF a DTD desky a překližky. U MDF desky (obr.24) se zdá být nastavení správné, proto je vypracování kvalitní. To obnáší perfektní hrany a stejnoměrné opálení.



Obrázek 25: Surová DTD

Surová DTD (obr. 25) je také rovnoměrně opálená a kvalita opracování je dostatečná.



Obrázek 26: Březová překližka

Březová překližka (obr. 26) a buková překližka (obr. 27) mají obě dobrý kontrast opálení a s povrchem materiálu. Zároveň nedošlo k nerovnoměrnosti opálení, jak je to například u dubového masivu.



Obrázek 27: Buková překližka

Výsledky jsou však subjektivní a každý může volit různou intenzitu opálení oproti gravírovanému materiálu. Na základě provedených zkoušek gravírování různých druhů materiálu, kterými byli smrkový, bukový a dubový masiv, surová dřevovláknitá deska se střední hustotou, dřevotřísková deska, březová a buková překližka, bylo zjištěno, že každý z těchto materiálu je po opracování jiný. Pro všechny byla použita stejná řezná rychlost, a to $15 \text{ mm} \cdot \text{s}^{-1}$. Vlivem stejné rychlosti je každý materiál opálen s různou intenzitou.

6 Diskuze

Většina prací zaměřených na obrábění laserem se soustřeďuje spíše na materiály z kovů, plastů a jiných. Opracování za pomoci laseru je velmi důkladné, ale opalování hran nemusíme vždy brát jako žádoucí. U některých materiálu by bylo vhodnější zvolit vyšší či nižší řeznou rychlost, abychom dosáhli požadovaného a kvalitního opracování.

Jak zmiňuje Kroupa (2011) ve své práci, ve které využívá laserovou technologii k obrábění kovu, tak lze laserem dosahovat takových výsledků, že není nutná následná dokončovací operace. To přináší snížení výrobních nákladů, úsporu pracovního času i lidských zdrojů. Zároveň je možné gravírovat i nejrůznější tvary (Kroupa, 2011). S rostoucí rychlostí klesá i kvalita obráběné plochy.

Případně Dušek (2013) poukazuje na správnost použití laserů s pulsním nebo kontinuálním režimem. Výběr správného laseru pak může vést ke kvalitnějšímu řezu a má vliv na rychlost řezání (Dušek, 2013).

Když se podíváme na jednotlivé metody obrábění nelze vybrat pouze jednu, která by byla vhodná pro všechny typy operací. Vždy bude záležet na tom jaký výrobek se chystáme obrábět. Porovnání s ostatními autory není zcela možné, každý totiž využívá jiné materiály a nastavení programu.

7 Závěr

Tato bakalářská práce se zabývá technologií gravírování. Především je zaměřena na gravírování s použitím laserového zařízení. Cílem bylo charakterizovat některé metody obrábění, které se využívají v oblasti dřevozpracujícího a nábytkářského průmyslu nejfrekventovaněji. Dalším bodem byl rozdělení laseru a popis jeho fungování.

Práce je rozdělena na dvě hlavní části. První částí je teoretická a charakterizuje gravírování, možnosti a metody obrábění v dřevařském průmyslu, popis laseru a jeho princip společně s jeho základním rozdělením. Druhá část se zabývá praktickou zkouškou na masivních a aglomerovaných materiálech, výsledky zkoušek a jejich vyhodnocení.

Do praktické zkoušky bylo vybráno několik materiálů, a to z masivního dřeva – smrk, buk, dub a z aglomerovaných materiálů – surová MDF, surová DTD, březová překližka, buková překližka. Nastavený režim laserového zařízení byl pro všechny použité materiály stejné, přičemž řezná rychlost byla $15 \text{ mm}\cdot\text{s}^{-1}$.

Z výsledků vyplývá, že je třeba dbát na správné nastavení programu a laseru, což vede ke snížení nejen výrobních nákladů, ale i k úspoře času. Dalším výsledkem vhodné volby programu a materiálu je dosahováno kvalitnějšího povrchu.

S přihlédnutím na zjištěné výsledky této práce je zřejmé, že tato problematika je třeba prověřit důkladněji a je stále více a více aktuální.

8 Použité zdroje

1. **Beck, O. J.** *Use of the Nd-YAG laser in neurosurgery*. London : Springer Science and Business, 1984. DOI 10.1007/bf01780698.
2. **Böhm, M., Reisner, J., a Bomba, J.** *Materiály na bázi dřeva*. Praha : Česká zemědělská univerzita v Praze, 2012. ISBN 978-80-213-2251-6.
3. **Dušek, P.** *Aplikace laseru při obrábění dřeva*. Brno : Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2013. Vedoucí diplomové práce Ing. Karel Osička, Ph.D..
4. **Engst, P.** *Aplikace laserů*. Praha : SNTL, 1989.
5. **Hayrapetyan, V.** *Laserová fyzika*. Novosibirsk : Sibiřská státní vysoká škola, 2012. ISBN 978-5-87693-528-1.
6. **Hrázský J., Král P.** *Technologie výroby aglomerovaných materiálů*. Brno : MZLU, 2000. ISBN 80-7157-428-7.
7. **Janíček, F.** *Strojnictví Stroje a zařízení pro zpracování dřeva*. Praha : SOBOTÁLES, 2000. ISBN 978-80-85920-69-7.
8. **Kocman K., Prokop J.** *Technologie obrábění*. Brno : Akademické nakladatelství CERM, 2001. ISBN 80-214-1992-2.
9. **Krauss J. M., Puliafito C. A.** *Lasers in ophthalmology. Lasers*. Wiley : Springer Science and Business, 1995. DOI 10.1002/lsm.1900170203.
10. **Kroupa, J.** *Technologie obrábění pomocí laseru*. Brno : Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2011. Vedoucí bakalářské práce Ing. Oskar Zemčík, CSc.
11. **Kvietková, M.** *Obrábění dřeva*. Praha : Česká zemědělská univerzita v Praze, 2015. ISBN 978-80-213-2604-0.
12. **Kvietková, M. Sarvašová.** *Dřevařské komodity I*. Praha : Česká zemědělská univerzita v Praze, 2019. ISBN 978-80-213-2951-5.
13. **Maňková, I.** *Progresivní technologie*. Košice : Vienala, 2000. ISBN 80-709-9430-4.
14. **Mičietová, A.** *Nekonvenčné metódy obrábania*. Žilina : Žilinská univerzita, 2001. ISBN 80-7100-853-2.

15. **Morávek, R.** *Nekonvenční metody obrábění*. Plzeň : Západočeská univerzita, 1999. ISBN 80-7082-518-9.
16. **Nutsch, W.** *Průručka pro truhláře*. Německo : Europa-Lehrmittel, 2014. ISBN 978-3-8085-4012-1.
17. **Pecina P., Pecina J.** *Materiály a technologie - dřevo*. Brno : MU, 2006. ISBN 80-210-4013-0.
18. **Sadílek, M.** *Nekonvenční metody obrábění I*. Ostrava : VŠB-Technická univerzita Ostrava, 2009. ISBN 978-80-248-2107-8.
19. **Sadílek, M.** *Nekonvenční metody obrábění II*. Ostrava : VŠB-Technická univerzita Ostrava, 2016. ISBN 978-80-248-3944-8.
20. **Sadowski, A.** *Lasery v obrábění a metrologii*. Praha : SNTL, 1977.
21. **Siegman, A. E.** *Lasers*. Mill Valley : University Science Books, 1986. ISBN 0-935702-.
22. **Sitek L., Foldyna J., Švehla B.** *Vodní paprsek ve strojírenství*. Žilina : Media/ST, 2004. ISSN 1335-2938.
23. **Steen, W. M.** *Laser Material Processing*. London : Springer Science and Business, 2003. ISBN 1-85233-698-6.
24. **Schachrai A., Castellani Longo M.** *Applications of high power lasers in manufacturing*. 1979.
25. **Šlezingerová J., Gandelová, L.** *Stavba dřeva*. Brno : Mendlova zemědělská a lesnická univerzita v Brně, 2004. ISBN 80-7157-577-1.
26. **Vrbová, M.** *Lasery a moderní optika*. Praha : Prometheus, 1994. ISBN 80-85849-56-9.
27. **Atan nábytek.** Dřevěná židle - masiv dub. [Online] [Citace: 23. 4 2021.] <https://www.atan.cz/jidelni-zidle/drevena-zidle-clayton-masiv-dub>.
28. **Dřevo centrum.** Smrk ztepilý. [Online] [Citace: 25. 3 2021.] <http://drevo.celyden.cz/charakteristiky-drevin/smrk-ztepily/index.html>.

29. **EGGER**. Bříza. [Online] [Citace: 13. 4 2021.]
https://www.egger.com/shop/cs_SK/interior/decor-detail/H1733_9.
30. **Enprag CZ s.r.o.** Pracovní desky bukový multiplex. [Online] [Citace: 11. 4 2021.]
https://www.kovovynabytek.cz/pracovni-desky-bukovy-multiplex-rozmary-1500-2000-x-750-mm/pDPS_01_MP40/?gclid=Cj0KCQjwgtWDBhDZARIsADEKwgOj2MdP2edYRzDvhg9MONyPqpTSiZOZuCZAH-7pzjXzeTkZhAobmZYaAh8lEALw_wcB.
31. **Novák, M.** Seriál na téma lasery: Základní princip laseru a jejich dělení. [Online] [Citace: 8. 10 2020.] <http://www.lao.cz/lao-info-49/serial-na-tema-lasery---zakladni-princip-laseru-a-jejich-deleni-127>.
32. **Ozvučnice**. MDF deska. [Online] [Citace: 18. 3 2021.]
<https://www.ozvucnice.cz/desky/100-mdf-deska-18>.
33. **Překližka.eu**. Překližka - bříza. [Online] [Citace: 17. 3 2021.]
<https://www.preklizka.eu/produkt/preklizka-1525001250-bb-bb-briza/>.
34. **RaV Nábytek s.r.o.** Buk masiv. [Online] [Citace: 23. 3 2021.] https://www.matrace-rosty.cz/index.php?&desktop_back=foto&action_back=&id_back=65&desktop=foto&action=img_detail&id=2931.