

Česká zemědělská univerzita v Praze
Fakulta lesnická a dřevařská

DIPLOMOVÁ PRÁCE

2016

Jakub Jindra

Česká zemědělská univerzita v Praze

Fakulta lesnická a dřevařská

Katedra dřevěných výrobků a konstrukcí



**Optimalizace parametrů laserového zařízení
v závislosti na druhu obráběného materiálu**

Diplomová práce

Autor: Bc. Jakub Jindra

Vedoucí práce: Ing. Jan Bomba Ph.D.

2016

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Jakub Jindra

Dřevařské inženýrství

Název práce

Optimalizace parametrů laserového zařízení v závislosti na druhu obráběného materiálu.

Název anglicky

Laser device optimization based on treated types of material.

Cíle práce

Cílem práce je zjištění optimálního nastavení laserového zařízení – jeho intenzity a rychlosti posuvu – tak, aby vznikla co nejkvalitnější řezná spára a gravírovaná plocha při současném zachování efektivity obráběcího procesu. Kvalita řezu bude zkoumána na různých dřevěných a nedřevěných materiálech a na materiálech na bázi dřeva. V závěru práce budou výsledky vyhodnoceny a přehledně zobrazeny ve formě uživatelské tabulky.

Metodika

1. Zajištění zkušebních vzorků z různých materiálů a různých tloušťek.
2. Hlední optimálního nastavení parametrů laseru – intenzity paprsku a rychlosti posuvu
3. Optimální parametry stanovit pro všechny zadané materiály a jejich měnící se tloušťky
4. Optimální parametry stanovit pro řezání a pro gravírování zadaných druhů materiálů
5. Optimální parametry sestavit do přehledné tabulky

Doporučený rozsah práce

30 – 40 stran textu, 10 – 20 stran příloh

Klíčová slova

Laser, intenzita paprsku, rychlost posuvu, optimální nastavení

Doporučené zdroje informací

- Janíčková, Petra. Nekonenční technologie obrábění – laser [online]. Publikováno 30.06.2012 [cit. 07.01.2016]. Dostupné z: <http://www.uh.cz/szesgsm/files/sblizovani/pdf/laser-projekt-sablona.pdf>
- Kolkop, David. Technologie řezání laserem [online]. Publikováno 27.10.2009 [cit. 25.11.2015]. Dostupné z: https://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=26869
- Kořán, Pavel. Seriál na téma lasery – laserové řezání (Laser cutting) [online]. Publikováno 19.02.2013 [cit. 20.11.2015]. Dostupné z: <http://www.lao.cz/lao-info-49/serial-na-tema-lasery-laserove-rezani-laser-cutting-129>
- MAŇKOVÁ, Ildikó. Progresívne Technológie. 1. Vydání. Košice: Viena, 2000. 275 s. ISBN 80-7099-430-4
- Roubíček, Martin. Řezání CO2 laserem [online]. Publikováno 01.11.2005 [cit. 05.01.2016]. Dostupné z: <http://www.konstrukce.cz/clanek/rezani-co2-laserem-opticky-system-bifocal/>
-

Předběžný termín obhajoby

2015/16 LS – FLD

Vedoucí práce

Ing. Jan Bomba, Ph.D.

Garantující pracoviště

Katedra dřevěných výrobků a konstrukcí

Konzultant

Ing. Jaroslav Blažek

Elektronicky schváleno dne 7. 1. 2016

doc. Ing. Martin Böhm, Ph.D.

Vedoucí katedry

Elektronicky schváleno dne 27. 1. 2016

prof. Ing. Marek Turčáni, Ph.D.

Děkan

V Praze dne 07. 04. 2016

Prohlašuji svým podpisem, že jsem diplomovou práci vypracoval samostatně a že jsem použil jen řádně citované zdroje informací. Současně dávám svůj souhlas se zveřejněním práce podle zákona o vysokých školách č. 111/1998 Sb.

V..... Dne.....

Podpis.....

Poděkování

Tímto bych chtěl poděkovat vedoucímu práce Ing. Janu Bombovi Ph.D. za jeho vedení. Dále bych chtěl poděkovat konzultantovi Ing. Jaroslavu Blažkovi za obstarání dřevěných materiálů pro mé vzorky.

Abstrakt

Tato diplomová práce se zabývá užíváním CNC laserového zařízení NUMCO C 1290, a to se zaměřením na kvalitu řezné spáry obrobku v závislosti na jeho ideálním nastavení. Jsou zde vyzkoušena a porovnána různá nastavení výkonu laseru a rychlosti jeho posuvu. Optimální nastavení je zjišťováno pro různé masivní dřeviny a materiály na bázi dřeva. Součástí práce je také zjištění závislosti hustoty a tloušťky vzorku na jeho proříznutí a porovnání kvality gravírování mezi různými materiály.

Použité laserové zařízení a postup při řezání a gravírování, jsou podrobně rozebrány v metodice práce. Výsledky jsou v práci vyhodnoceny a porovnány mezi sebou. Nejdůležitější výsledky jsou shrnuty v závěru práce.

Klíčová slova

Laser, zkouška, kvalita, optimální nastavení.

Abstract

The subject of this diploma thesis is the use of a laser device focused on quality of a cut. It examines and compares the various intensity settings and motion speed of the laser. Optimal settings are thus determined for assorted kinds of solid wood and wood-based materials. Some of the goals of the thesis are to find out the dependence of material density and thickness on its cut and also to compare the quality of engraving between different materials.

The procedure used for cutting and engraving as well as the laser device used for the procedure are meticulously explained in methodology of the thesis. Results are compared and summarized at the end of the thesis.

Keywords

Laser, testing, quality, optimal settings.

Obsah

1 Úvod.....	11
1.1 Cíl práce.....	12
2 Literární rešerše	13
2.1 Laserové zařízení	13
2.1.1 Historie laserových zařízení.....	13
2.1.2 Rozdělení laserových zařízení	14
2.1.3 CO ₂ laser	16
2.2 Teorie řezání a gravírování dřevěného materiálu	19
2.2.1 Využití laserových systémů	22
2.2.2 Využití CO ₂ laserů v dřevařském průmyslu a jeho výhody.....	23
3 Metodika	26
3.1 Obecná metodika	26
3.2 Metodika řezání	29
3.3 Metodika gravírování.....	30
3.4 CO ₂ laser NUMCO C1290	30
4 Výsledky a diskuse	32
4.1 Řezání	32
4.1.1 Kvalita řezu.....	35
4.1.2 Odolnost proti proříznutí	39
4.1.3 Vliv řezání na jednotlivé materiály a jejich porovnání.....	44
4.1.4 Porovnání řezu v příčném a podélném směru u anizotropních materiálů.....	49
4.1.5 Vliv vad dřeva na řezání	50
4.2 Gravírování	50
4.2.1 Kvalita gravírování	50
4.2.2 Vliv vad dřeva na gravírování	52
4.3 Problémy během zkoušek	52
5 Závěr	53
6 Použitá literatura a elektronické zdroje	55
7 Přílohy.....	57

Seznam tabulek, obrázků a grafů

Tabulka 1: Rozdělení laserů	15
Tabulka 2: Seznam vzorků [mm]	26
Tabulka 3: Technické parametry	31
Tabulka 4: Hodnoty nastavení laseru pro javorové dřevo	32
Tabulka 5: Hodnoty nastavení laseru pro jasanové dřevo	32
Tabulka 6: Hodnoty nastavení laseru pro borové dřevo	33
Tabulka 7: Hodnoty nastavení laseru pro bukové dřevo	33
Tabulka 8: Hodnoty nastavení laseru pro smrkové dřevo	33
Tabulka 9: Hodnoty nastavení laseru pro dubové dřevo	34
Tabulka 10: Hodnoty nastavení laseru pro dřevotřískové desky	34
Tabulka 11: Hodnoty nastavení laseru pro středně tvrdé dřevovláknité desky	34
Tabulka 12: Parametry kvalitativního hodnocení u javoru	35
Tabulka 13: Parametry kvalitativního hodnocení u jasanu	36
Tabulka 14: Parametry kvalitativního hodnocení u borovice	36
Tabulka 15: Parametry kvalitativního hodnocení u buku	36
Tabulka 16: Parametry kvalitativního hodnocení u smrku	37
Tabulka 17: Parametry kvalitativního hodnocení u dubu	37
Tabulka 18: Parametry kvalitativního hodnocení u dřevotřísky	37
Tabulka 19: Parametry kvalitativního hodnocení u středně tvrdého dřevovláknitého materiálu	38
Tabulka 20: Parametry kvalitativního hodnocení u materiálů na bázi dřeva	38
Tabulka 21: Hodnoty průměrné délky opálení [mm]	48
Tabulka 22: Očíslování vzorků	46
Tabulka 23: Hodnoty nastavení laseru pro spárovku a překližovaný materiál	46
Tabulka 24: Hodnoty nastavení laseru pro masivní materiál	47
Tabulka 25: Očíslování vzorků	48

Obrázek 1: Typy laserových konstrukcí	16
Obrázek 2: Schéma laseru	18
Obrázek 3: Schéma proudění plynů v laserové trubici	19
Obrázek 4: Ideální poloha ohniska	21
Obrázek 5: Smrkový vzorek	57
Obrázek 6: Žebrovaný povrch smrku	57
Obrázek 7: Žebrovaný povrch smrku	58
Graf 1: Závislost odolnosti proti proříznutí na tloušťce javorového dřeva	40
Graf 2: Závislost odolnosti proti proříznutí na tloušťce jasanového dřeva	40
Graf 3: Závislost odolnosti proti proříznutí na tloušťce borového dřeva	41
Graf 4: Závislost odolnosti proti proříznutí na tloušťce bukového dřeva	41
Graf 5: Závislost odolnosti proti proříznutí na tloušťce smrkového dřeva	42
Graf 6: Závislost odolnosti proti proříznutí na tloušťce dubového dřeva	42
Graf 7: Závislost odolnosti proti proříznutí na tloušťce středně tvrdé dřevovláknité desky	43
Graf 8: Závislost odolnosti proti proříznutí na tloušťce dřevotřískové desky	43
Graf 9: Minimální délková hustota energie	45
Graf 10: Hustota vzorků	45
Graf 11: Tabulková hustota vzorků	46
Graf 12: Hustota vzorků	48
Graf 13: Minimální délková hustota energie	48

Seznam zkratek

JS – Jasan

BO – Borovice

BK – Buk

DVD – Dřevovláknitá deska

MDF – Středně tvrdá dřevovláknitá deska

DTD – Dřevotřísková deska

PDP – Překližka

SP – Spárovka

tl. – Tloušťka

výk. v. r. – Výkon v rozích

CNC – Computer numeric control

USB – Univerzal serial bus

1 Úvod

Technologie laserových systémů jsou již v dnešní době na takové úrovni, že je lze použít na většinu materiálů. Uplatnění laserových zařízení se neustále zvyšuje a to nejen v průmyslu. Jsou to hlavně jejich výhody, díky kterým se otevírají nové možnosti a díky kterým dokážou zastoupit jiné mechanické stroje. A jsou to právě CO₂ laserové systémy, které v dnešní době patří mezi nejrozšířenější typ laserů. Tyto stroje nacházejí uplatnění i v dřevařském průmyslu, kde zvyšují přesnost výroby, její rychlost a otevírají nové možnosti při tvarovém opracování. V dřevařském průmyslu se nejčastěji využívají při výrobě sesazenek, reklamních a dekoračních předmětů a drobných tvarově náročných dílců.

Právě opracování dřevěného materiálu sebou nese specifické prvky a jisté nevýhody, které jsou dány vlastnostmi dřevěného materiálu. Jedná se o rostlý, nehomogenní materiál s různou strukturou hmoty, kterému je zapotřebí se přizpůsobit. Je důležité neustále myslet na to, že žádný kus dřevěného materiálu není stejný, ať už se jedná o malé rozdíly mezi stejnými dřevinami a nebo o znatelné rozdíly mezi různými dřevinami.

A právě problematika laserového řezání dřevěného materiálu je hlavním zaměřením této diplomové práce. Zjištění ideálního nastavení stroje NUMCO C 1290 pro řezání různých tloušťek několika druhů dřevin a materiálů na bázi dřeva, porovnání kvality řezu a stanovení limitu proříznutí daného vzorku, což se bude týkat především tvrdších materiálů. V práci bude porovnán vliv druhu dřeviny a její hustoty na řezání laserem a také vliv nejběžnějších vad materiálu, které by mohly proces řezání ovlivnit. Další část práce se také věnuje gravírování dřevěného materiálu a materiálů na bázi dřeva. Jelikož se jedná pouze o povrchovou úpravu, tak se u tohoto procesu jedná hlavně o vliv materiálu na kvalitu provedené operace.

1.1 Cíl práce

Cílem práce je vyzkoumání ideálního nastavení CNC laserového zařízení NUMCO C 1290, jeho intenzity a rychlosti posuvu tak, aby vznikla co nejkvalitnější řezná spára. Kvalita řezu bude zkoumána na materiálech z masivního dřeva a na materiálech na bázi dřeva.

Řeznou zkoušku podstoupí vzorky o specifických tloušťkách, které jsou uvedeny v metodice práce. Pro každý druh materiálu a jeho danou tloušťku bude stanoveno optimální nastavení laseru tak, aby došlo ke správnému oddělení materiálu. Řezy u jednotlivých materiálů budou porovnány mezi sebou. Cílem je zjištění vlivu materiálu a jeho tloušťky na proces řezání.

Součástí práce bude také vliv procesu gravírování na různé druhy dřevěných materiálů a materiálů na bázi dřeva a porovnání kvality zhotovených obrazců.

V závěru práce budou výsledky vyhodnoceny a porovnány mezi sebou.

2 Literární rešerše

2.1 Laserové zařízení

Laserová technologie je v dnešní době velmi rozšířený způsob obrábění materiálu a to hlavně kvůli svým mnohým výhodám. Jeho použití zasahuje do nejrůznějších výrobních oblastí a jednou z těchto oblastí je také obrábění dřevěného materiálu. Nejen že zde dokáže zastoupit některé dřevoobráběcí stroje, ale při některých operacích, jako je například tvarové obrábění dílce, je nezbytnou součástí výrobního procesu. Další nespornou výhodou laserových zařízení je jejich schopnost gravírování, tedy vytváření obrazců na povrchu obrobku úběrem vrstvy materiálu.

O principu tohoto zařízení vypovídá samotný název, který je tvořen zkratkou laser. Light amplification by stimulated emission of radiation, v překladu: Zesílení světla stimulovanou emisí záření [Janíčková, 2012]. Ať už se jedná o jakýkoliv druh laseru, tak všechny typy zahrnují tři základní části. Aktivní prostředí, které zesiluje záření, zdroj čerpání pro excitaci aktivního prostředí a rezonátor vytvářející zpětnou vazbu mezi aktivním prostředím a zářením. Základem pro vznik laserového světla je stimulovaná emise. Jedná se o proces, kdy se vybuzený atom vlivem vnějších podnětů vrací zpět do základního stavu, přičemž emituje nový foton s frekvencí předcházejícího fotonu. Pro vznik laserového světla je zapotřebí, aby se co nejvíce elektronů udrželo na vyšší energetické hladině a aby zde vydržely co nejdéle. Vybuzením atomů tedy dosáhneme populační inverze, kdy je vyšší energetická hladina obsazena více elektrony než nižší, při které se vytvoří aktivní prostředí [Kolkop, 2010].

2.1.1 Historie laserových zařízení

Úplně první zmínka o laserové technologii pochází z roku 1917. Albert Einstein předpověděl jev indukované emise, na kterém jsou všechny lasery založeny. První laser byl sestaven až v roce 1960 inženýrem a fyzikem T. H. Maimanem [Kolkop, 2010].

Průmyslově se laserová zařízení začala využívat již v roce 1965. V tomto roce firma Western Electric Company postavila první funkční laserový systém, využívaný pro vrtání diamantových raznic. Následně, v roce 1967, byl ve Velké Británii uveden do provozu další laserový systém, který byl využíván na řezání ocelových plechů. Tento systém používal kyslík jako asistenční plyn. Poté následovaly další laserové systémy, které se používaly pro řezání nekovových materiálů [Kořán, 2013].

K masivnějšímu průmyslovému nasazení laserových systémů došlo v sedmdesátých letech minulého století, kdy se objevily CO₂ lasery. Tyto lasery pak byly neustále zdokonalovány, jejich pohon, řídicí systémy, postprocesory a hlavně laserové zdroje. Důležitým momentem ve vývoji CO₂ laserů bylo uvedení takzvaného neprůtočného difuzně chlazeného laseru. Jedná se o typ laseru, který nepotřebuje žádné externí zdroje laserových plynů a uvnitř systému nejsou žádné pohybující se části. Tím se zvýšila kvalita výstupního paprsku a výrazně se snížily provozní náklady [Kořán, 2013].

Ke konci minulého století CO₂ lasery dosahovaly takových výkonů, že se více začaly prosazovat lineární motory, díky kterým lze dosahovat vyšších řezných rychlostí. Pro řezání tenkých plechů se také začalo využívat pevnolátkových laserů [Kořán, 2013].

Ve dvacátém století se pak rozmohlo používání vláknových laserů. Jejich využití neustále roste [Kořán, 2013].

2.1.2 Rozdělení laserových zařízení

Jak bylo psáno výše, všechny lasery jsou založeny na stejném principu. Lišit se ale může jejich konstrukce a realizace jednotlivých částí.

Základní dělení, odvozené od druhu aktivního prostředí, tedy podle skupenství materiálu, které se používá na generování záření, rozděluje lasery na pevnolátkové systémy, kapalinové, plynné a polovodičové. Dále se při dělení musí vzít v potaz jejich vlnová délka, výkon, režim laseru a konstrukce. Všechny tyto aspekty mají vliv na použití daného laserového zařízení [Maňková, 2000].

Tabulka č. 1. Rozdělení laserů

Druh laseru	Aktivní látka	Vlnová délka [μm]	Typ paprsku	Výkon laseru [W]	Oblast použití
Pevné					
Rubín	Cr^{3+}	0,694	Pulzující	5	Holografie
Nd-YAG	Nd^{3+}	1,064	Obojí	100 - 1200	Strojírenský průmysl
Nd-sklo	Nd^{3+}	1,064	Pulzující	0,002	
Alexandrit		0,7 - 0,818	Pulzující	10	
Plynné					
CO_2 ($\text{N}_2 + \text{He}$)	CO_2	10,6	Obojí	500 - 15000	Strojírenský průmysl
He-Ne	Ne	0,633; 1,15; 3,39	Kontinuální	0,02	Metrologie Geodézie Holografie
Ar	Ar^+	0,476; 0,488; 0,515	Obojí	1.00	Laserová chirurgie
Excimer	ArCl	0,17	Pulzující	20 - 250	Fotolitografie
	XeCl	0,308	Pulzující	20 - 250	Laserová chirurgie
	XeF	0,351	Pulzující	20 - 250	Strojírenství
	KrF	0,248	Pulzující	20 - 250	
Kapalné					
Rhodamin 6	Metanol	0,34 - 1,175	Pulzující	100	Fotochemie Spektroskopie
Polovodičové					
GaAs	GaAs	0,80 - 0,90	Pulzující	0,01 - 2	Optoelektronika Informační technologie

Zdroj: [Maňková, 2000].

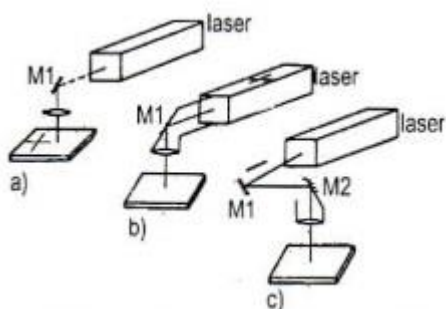
Podle výkonu se lasery dělí do dvou základních skupin. Nízkovýkonné, od desetin W až po stovky W, které se nejčastěji používají pro řezání a vrtání keramiky a plastových hmot. Vysokovýkonné lasery, jejichž výkon se pohybuje od 1 kW až do 30 kW, se pak používá převážně ve strojírenském průmyslu pro práci s tvrdšími materiály [Maňková, 2000].

Laserové stroje se pak také liší konstrukcí a to zejména konstrukcí stolu a laseru. Jednotlivé typy jsou zobrazeny na obrázku 1.

Typy laserových konstrukcí:

- a) Pevný laser a pohyblivý stůl: U tohoto systému je ale omezujícím parametrem použití tvar, velikost a hmotnost obrobku [Maňková, 2000].
- b) Pohyblivý laser a stacionární obrobek: Tento systém využívá malé a lehké laserové hlavice s nízkým výkonem a poměrně nízkou řeznou rychlostí. Výhodou tohoto systému je minimální omezení tvaru a hmotnosti obrobku [Maňková, 2000].
- c) Pohyblivý paprsek a stacionární obrobek: Toto je velice flexibilní systém, který se využívá při vysokých řezných rychlostech a umožňuje větší úsporu místa. Mezi jeho nevýhody ale patří vysoká citlivost na vibrace a nastavení, což může způsobovat větší rozptyl paprsku [Maňková, 2000].

Obrázek. 1 Typy laserových konstrukcí



Zdroj: [Maňková, 2000]

2.1.3 CO₂ laser

Jedná se o druh laseru, který využívá aktivního prostředí v plynné fázi. Tyto lasery většinou pracují v kontinuálním režimu, je ale také možné narazit na výkonné pulzní systémy. Mezi hlavní výhody plynových laserů patří jejich vysoká účinnost, homogenita laserového svazku a jeho nízká rozbíhavost [Kolkop, 2010].

CO₂ laser je jeden z mnoha typů plyných laserových systémů, který využívá oxidu uhličitého jako aktivní látky. Jelikož CO₂ lasery pracují při vlnové délce 10,6 μm , tak vytvářejí světlo v infračerveném spektru. Jejich paprsek je tedy pro lidské oko neviditelný [Kolkop, 2010]. Výkony laserů tohoto druhu se pohybují

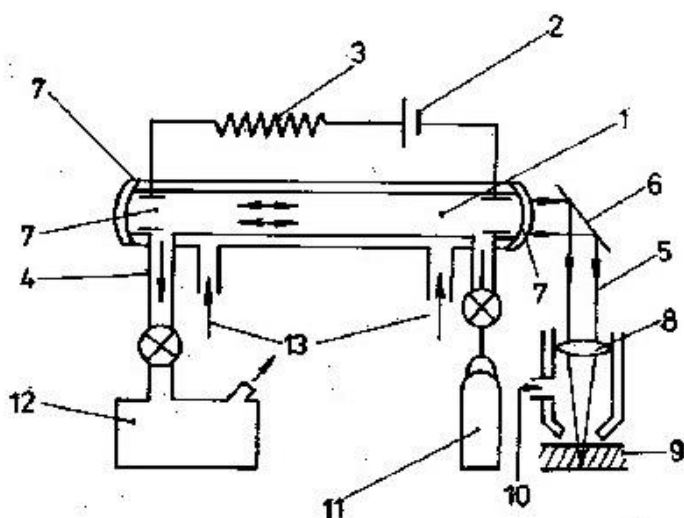
mezi 0,5 kW až 15 kW. [Maňková, 2000]. U vyšších výkonů se používají vodou chlazená zrcadla, protože čočky by takovouto energii nevydržely [Kolkop, 2010].

Jak vyplývá z názvu, aktivním prostředím CO₂ laserů jsou molekuly oxidu uhličitého. Ty tvoří laserové médium, které se dostává do excitovaného stavu pomocí vysokofrekvenčního nebo elektrického výboje. Pro vznik fotonu je zapotřebí uvolnění energie vybuzené molekuly. U CO₂ je ale jen velmi málo molekul, které se dostanou do vybuzeného stavu, proto se u tohoto typu laserů přidávají další plyny. Přidání dusíku zapříčiní reakci mezi jeho atomy a atomy kyslíku, čímž se dosáhne vyššího počtu vybuzených molekul. Přidané helium pak napomáhá molekulám CO₂ k odvodu tepla a k uvolnění energie z první energetické hladiny do klidového stavu. Díky tomu je pak možné opakovaně vybudit molekuly CO₂. Tyto plyny jsou tedy neodlučitelnou součástí CO₂ laserů a jejich kvalita má výrazný vliv na kvalitu paprsku. Jakákoliv nečistota by mohla zapříčinit poškození optické části rezonátoru. Během řezání také dochází ke spotřebě těchto plynů, je tedy nutné jejich časté doplňování do okruhu. Aby nedošlo ke znečištění plynů, doplňují se z tlakových láhví [Kolkop, 2010]. Přímo do laserové hlavičky je pak také přiváděn pomocný plyn, který chrání optiku před nečistotou, která vzniká během opracování materiálu. Dále z obráběného materiálu odstraňuje ohřevem vznikající taveninu, a nebo páry, čímž přispívá k čistšímu a rychlejšímu průběhu opracování materiálu. V místě dopadu laserového paprsku také může vytvářet ochrannou, nebo naopak agresivní atmosféru [Maňková, 2000].

Hlavní částí CO₂ laserů je laserová trubice, ve které se nachází směs plynů CO₂, N₂ a helia. Na laserovou trubici je napojen generátor vysokého napětí, který do elektrod přivádí vysoké napětí. Tím umožňuje excitaci molekul. Součástí je také chladicí agregát, který zajišťuje odvod tepla chladícím médiem, nejčastěji vodou. Chlazení musí být natolik účinné, aby teplota v dutině laserové trubice nepřekročila 400 °K. Další část laserového zařízení tvoří vývěva, která udržuje nízký tlak plynu a tím zaručuje vznik doutnavého výboje, tedy elektrického výboje za sníženého tlaku. Poté, co plyn projde laserovou trubicí, může být opět použit. Během jeho působení v laserové trubicí se ale znehodnocuje tím, že se CO₂ rozkládá zpět na kyslík a oxid uhelnatý a tím dochází k poklesu výkonu laseru.

Proto je nutné, aby plyn při opětovném použití prošel regenerací. Další důležitou součástí je pak vedení samotného laserového paprsku. Ten z laserové trubice vystupuje polopropustným zrcadlem a je veden soustavou zrcadel do laserové hlavice. V hlavici je pak čočka s chladícím prstencem, jejímž úkolem je zaostření paprsku do malého bodu. Do laserové hlavice je pak také přiváděn výše zmíněný pomocný plyn, který z ní vystupuje společně s paprskem [Maňková, 2000].

Obrázek. 2 Schéma laseru. Dne 2.2.2016

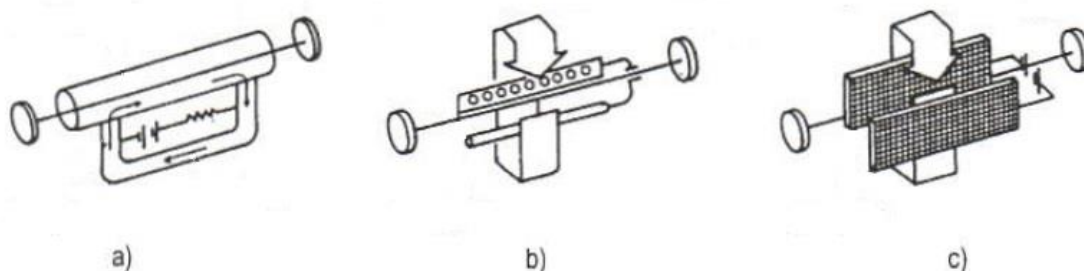


Zdroj: <http://dp.bajaja.net/04.html>

1. Laserová trubice
2. Zdroj napětí
3. Odpor
4. Odvod plynu
5. Laserový paprsek
6. Zrcadlo
7. Odrazové a polopropustné zrcadlo
8. Optika
9. Materiál
10. Přívod pomocného plynu
11. Přívod plynu do laserové trubice
12. Vývěva
13. Chlazení

Konstrukce laseru se také dělí na dva druhy podle způsobu proudění plynu v laserové trubici. Nejčastěji používaný je axiální laser, jehož výkon je daný délkou laserové trubice. Vysokovýkonné axiální lasery mohou mít trubice dlouhé až 10 metrů. U transverzálních laserů proudí plyn kolmo na směr optické osy a většinou také kolmo na směr elektrického výboje v dutině. Tento druh oscilátorů se dále ještě dělí na dvojosý a trojosý, podle vztahu mezi přítokem plynu a výbojem mezi elektrodami [Maňková, 2000].

Obrázek. 3 Schéma proudění plynů v laserové trubici



Zdroj: [Maňková, 2000]

- a) Axiální systém
- b) Transverzální dvojosý
- c) Transverzální trojosý

2.2 Teorie řezání a gravírování dřevěného materiálu

Řezání laserovým paprskem je umožněno vysokou koncentrací energie v místě dopadu laserového svazku. Jedná se tedy o tepelné dělení materiálu jeho spalováním. Po dopadu paprsku na materiál dochází k jeho ohřevu, natavení a odpaření [Roubíček, 2005]. Jelikož je při dělení většina materiálu odpařena, tak se laserové obrábění řadí mezi bezodpadové.

Na laserové řezání by neměla mít vliv tvrdost materiálu, ale jeho optické a tepelné vlastnosti. Velký vliv má také kvalita povrchu, kdy hrubý povrch absorbuje více energie než povrch hladký. Nejefektivnější využití laseru, je při řezání materiálu s nízkou tepelnou vodivostí [Dušek, 2013].

Laser má veliké rozpětí, co se týče druhu řezaného materiálu. Lze ho použít na dělení kovů, plastů, skla, dřeva a dalších materiálů. Na problémy můžeme narazit zejména u hořlavých materiálů, jako je například dřevo. Při dělení paprskem vzniká černá řezná spára, způsobená pálením. Další problémy pak nastávají u těles o větší tloušťce, nebo u tvrdších dřevin. Paprsek neprojde skrz materiál, je zapotřebí vyšší intenzity a menší rychlosti posuvu, přičemž může vznikat hoření v řezné spáře a její následné znehodnocení spálením. V tomto případě pomáhá řezání dvěma a více řeznými cykly. Pokud paprsek projde, příliš vysoká intenzita také může rozpálit kovovou mřížku na které dané těleso leží, čímž může dojít k vypálení černého vzoru mřížky na spodní část tělesa v blízkosti řezu. Na horní ploše tělesa může vnikat opálení u řezné spáry, způsobené odváděným teplem. Jeho viditelnost závisí na intenzitě laserového paprsku, jeho rychlosti posuvu a na druhu dřeviny. Je také nutné vzít v potaz, že během řezání dochází k mírnému odklonu laserového paprsku při průchodu materiálem. Na kvalitu řezu má také obrovský vliv výkon laserového zařízení. Slabší stroje potřebují vysokou intenzitu a malou rychlost posuvu na proříznutí tlustšího materiálu, čímž vzniká nekvalitní řez, zatímco silnější stroje u stejného druhu materiálu o stejné tloušťce dosáhnou výrazně lepší kvality řezu.

U dřevěného materiálu se používá sublimační metody řezání. Jedná se o to, že přivedený paprsek ohřívá materiál na teplotu varu, přičemž dochází k jeho intenzivnímu odpařování. Odstraňování par napomáhá přítomnost pomocného plynu, a nebo mohou páry uniknout mimo kapiláru v intervalu mezi pulzy [Dušek, 2013].

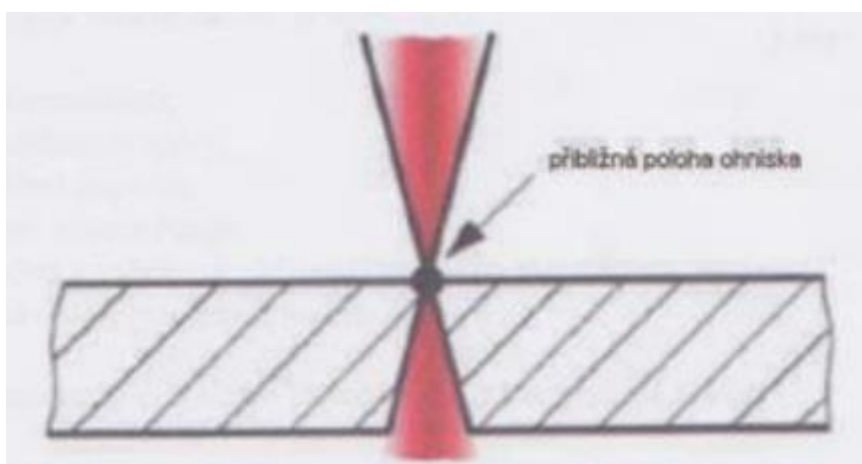
Dřevo by během řezání nemělo hořet. V řezné spáře laser vytváří vyšší teplotu než je sublimace dřeva a díky tomu nastává pouze relativně nízké tepelné namáhání materiálu v blízkosti řezaného místa [Boehmová, 2015].

Gravírování je proces plošného obrábění materiálu. Na ploše obrobku je laserem odebírán materiál pálením, při čemž nám vzniká tmavě zbarvená kresba. Hloubka kresby závisí na řezné rychlosti a na intenzitě laserového paprsku. U gravírování se preferuje výrazně nižší intenzita laserového paprsku a mnohonásobně vyšší rychlost jeho posuvu, aby nedocházelo k příliš velkému

úběru. Laserová hlavice provádí rychlé pohyby v ose X a krokové pohyby na konci každé dráhy v ose Y. To umožňuje gravírování plošných obrazců.

Při opracování materiálu laserem, je také velice důležité správné nastavení vzdálenosti laserové hlavice od povrchu materiálu tak, aby laserový paprsek usměrněný čočkou dosahoval na povrchu materiálu co nejtenčího ohniska [Dušek, 2013]. Příklad ideální polohy ohniska je zobrazen na obrázku č. 4. Účinnost pálení se exponenciálně snižuje se vzdáleností od laserového ohniska.

Obrázek. 4 Ideální poloha ohniska



Zdroj:

https://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=64699

Opracování dřeva sebou přináší i další problémy. Jeho opracování se řadí mezi složitější procesy a to nejen kvůli hořlavosti materiálu, ale hlavně kvůli dalším vlastnostem, kterými se od ostatních materiálů výrazně liší. Dřevo je rostlý materiál s nehomogenní strukturou. Struktura různých vzorků stejného druhu dřeviny se může lišit v závislosti na podmínkách, za kterých dřevina rostla.

Hlavním a asi i nejvýraznějším problémem je druh dřeviny a její hustota. Dřeviny se dělí na tři základní skupiny a to na jehličnaté, listnaté s kruhově pórovitou strukturou uspořádání cév a listnaté s roztroušeně pórovitou strukturou uspořádání cév. Výraznější vliv na řezání má ale hustota dřeviny, která je u každého druhu různá. Například měkká dřevina jako smrk půjde proříznout mnohem snadněji, než dub, nebo buk s velmi vysokou tvrdostí. Velký vliv má pak samozřejmě i samotná struktura dřeva. Nejvýraznější vliv by mohly mít letokruhy

dřeva a jejich náhlost přechodu. Jarní dřevo má nižší hustotu než letní. Svou roli při obtížnosti opracování může také hrát to, že dřevo je anizotropní materiál, který má v příčném, radiálním a tangenciálním směru odlišné vlastnosti. A v neposlední řadě může řez a jeho kvalitu ovlivnit textura dřeva a její lesk. Nemělo by se ani zapomínat na přirozené vady dřeva, které mohou výrazně ovlivnit jeho lokální vlastnosti, díky kterým by se nám nemuselo podařit materiál proříznout. Všechny tyto aspekty nám naznačují, že pro dřevo, ba ani pro stejný druh dřeviny, nemusí fungovat jednotné nastavení laseru.

2.2.1 Využití laserových systémů

Laserové řezání se v dnešní době využívá prakticky ve všech výrobních odvětvích a to hlavně kvůli přesnému a úzkému řezu bez ostřin. Jsou to právě CO₂ lasery, které patří k nejpoužívanějším laserům při dělení materiálu [Dušek, 2013]. Lze je využít na širokou škálu materiálů, jak kovových, tak i nekovových jako například dřevo, keramika, karton, sklo, plexisklo, kůže, plasty nebo umělý kámen [Tůma, Smrčinová, 2015]. Pro řezání kovových materiálů se používají převážně vláknové lasery [Tůma, 2015].

Řezání lze dělit na tři způsoby, a to podle metod a polohy ohniska [Dušek, 2013].

1. Tavné řezání.
2. Sublimační řezání.
3. Oxidační řezání.

Laser lze také využívat pro svařování, kvůli svým výhodám oproti běžnému způsobu. Jednou z hlavních výhod je lokální působení paprsku, při čemž nedochází k poškozování materiálu v okolí svařovaného místa. Pokud také laser dosahuje dostatečně vysokého výkonu, tak dochází k ohřátí sváru na teplotu tavení tak rychle, že se materiál jádra nezažehje. Mezi další výhody patří, že se laserový svár nemusí provádět ve vakuu. Mezi nejvhodnější lasery pro svařování patří Nd-YAG a CO₂ laserové systémy. Pro bodové svařování lze také využít impulzních laserů. Svařovat lze nerezové ocele, titanové, zirkonové a chromniklové slitiny [Dušek, 2013].

Laserové gravírování se využívá k popisování a značení materiálu. Jedná se o velice mechanicky odolnou, přesnou a kontrastní stopu, kterou laserový paprsek zanechá na povrchu materiálu. Povrch a ani povrchová úprava by neměly mít vliv na vlastnosti značení. Mezi nejvhodnější lasery pro značení opět patří Nd-YAG a CO₂ laserové systémy [Dušek, 2013].

Laserové vrtání je další segment využití laserových systémů v průmyslu. Jedná se o odstraňování materiálu v důsledku jeho odpaření. Tím vznikají velice přesné a malé otvory. Pro tento způsob obrábění se nejčastěji využívá Nd-YAG laserových systémů [Dušek, 2013].

Dále je možné využít laserové technologie na leštění a čištění povrchu materiálů. Pro tyto operace se nejčastěji využívá pulzních laserů s mikrosekundovou délkou trvání paprsku, při které nemůže dojít k tepelnému ovlivnění struktury materiálu. Používá se pevnolátkových Nd-YAG laserových systémů [Kolkop, 2010].

V neposlední řadě lze v průmyslu využívat lasery na kalení materiálů. Jejich výhodou je, že dojde k zakalení jen tenké povrchové vrstvy, aniž by došlo k prohřátí jádra materiálu, čímž v jádru nedojde k jakýmkoliv změnám. Využívají se zde CO₂ laserové systémy o výkonu několika kW [Dušek, 2013].

Kromě výrobního průmyslu se laserová technologie dále využívá v medicíně, například při očních operacích, v dermatologii, i v kosmetických salónech a v dalších medicínských oborech jako jsou stomatologie, gynekologie, onkologie, angioplastika a traumatologie. Mezi další sféry uplatnění patří ekologie, astronomie, geodezie, geofyzika a vojenství [Dušek, 2013].

2.2.2 Využití CO₂ laserů v dřevařském průmyslu a jeho výhody

CO₂ lasery můžeme považovat za univerzální stroje, které lze využívat jak pro sériovou výrobu, tak i malosériovou výrobu. Mezi nejvíce využívané procesy patří řezání a gravírování. Právě na řezání se nejčastěji používají CO₂ laserové systémy, nejčastěji v kontinuálním režimu [Maňková, 2000]. Jeden z mnoha důvodů proč se laserové řezání tak hojně využívá je to, že ho lze použít na více druhů materiálu, aniž by bylo nutné měnit nástroj [Svoboda, 2010].

Využívání CO₂ laserů v dřevařském průmyslu se neustále zvyšuje. Laserové CNC systémy jsou schopny nahradit mnohé dřevoobráběcí stroje a zvýšit rychlost výroby a tím i její efektivnost. Využití laserových systémů je především vyžadováno tam, kde je potřeba tvarové obrobení dílce s vysokou přesností.

Jedním z hlavních odvětví pro využití CO₂ laserů je výroba reklamních a dekoračních předmětů. Zde se využívá především schopnosti gravírování, tedy popisování obrobku úběrem materiálu z jeho povrchu. Výsledný reklamní předmět lze poté tvarově upravit řezáním. Mezi další využití patří například řezání sesazenek. Stále častěji se v dýhárenském odvětví objevují laserové CNC systémy, které zajišťují rychlé a přesné nařezání libovolných tvarů dýhy pro její následné sesazení. V neposlední řadě mohou být lasery uplatňovány při výrobě nejrůznějších stavebnic, kde je požadavek na vysokou přesnost a kvalitu tvarového opracování. Během posledních pár let se začal používat i kmenový CO₂ laser při nařezávání kulatiny v pilařském provozu. Nejprve je dřevo roztříděno nedestruktivní metodou pomocí laserového interferometru. Následuje průchod kulatiny vysokorychlostním tomografem, který elektromagnetickým zářením oscanuje kulatinu do průměru až 650 mm. To umožní výběr nejkvalitnějších částí kulatiny a následné rozvržení nářezu. Samotné nařezání je pak provedeno laserem o výkonu až několika KW. Při takto vysokém výkonu je zajištěn kvalitní řez.

Mezi hlavní výhody laserového obrábění dřevěného materiálu patří:

1. Malá šířka řezné spáry.
2. Malý vliv teploty na materiál.
3. Vysoká kvalita řezu.
4. Vysoká pracovní rychlost.
5. Výborná přesnost při opracování.
6. Neomezené možnosti při tvarovém opracování.
7. Dokáže nahradit mnohé dřevoobráběcí stroje.

Mezi hlavní nevýhody laserového obrábění dřevěného materiálu patří:

1. Dřevěný materiál se může jevit jako problematický při opracování viz kapitola 2.2.
2. Při řezání dochází k mírnému odklonění laserového paprsku.
3. V důsledku pálení vzniká sice hladká, ale černě zbarvená plocha řezné spáry.
4. Schopnost proříznutí materiálu u slabších laserových zařízení je od určité tloušťky omezená viz. výsledky.

3 Metodika

3.1 Obecná metodika

Metodika spočívá v provedení potřebného počtu řezů laserovým paprskem s různým nastavením jeho výkonu a rychlosti posuvu. Různá nastavení budou zkoumána na vzorcích z masivního dřeva a z materiálů na bázi dřeva. Bude použito několika druhů dřevin o různých tloušťkách. Následně bude kvalita jednotlivých řezů zhodnocena a porovnána mezi sebou.

Nejprve proběhne výběr vzorků. Budou použity vzorky masivních dřevin a materiálů na bázi dřeva o různých tloušťkách. Vybrané masivní vzorky zahrnují měkké, středně tvrdé a tvrdé dřeviny a stejně tak i jehličnaté, listnaté roztroušeně pórovité a listnaté kruhovitě pórovité dřeviny. Výběr se týká hlavně nepoužívanějších dřevin v dřevařském průmyslu. Vybrané vzorky aglomerovaného materiálu zahrnují nepoužívanější tloušťky dřevotřískových a dřevovláknitých deskových materiálů. Jednotlivé druhy a tloušťky vzorků jsou v níže uvedené tabulce č. 2. Skupina materiálů na bázi dřeva dále také zahrnuje 10 mm tlusté vzorky vybraných překližovaných materiálů a spárovek, které budou následně porovnány s masivním materiálem stejného druhu. V poslední řadě budou použity vzorky s nejběžnějšími vadami dřeva, u kterých bude zjišťován jejich vliv na laserové řezání a gravírování.

Tloušťková tolerance u vybraných vzorků je v rozmezí $\pm 0,5$ mm.

Tabulka č. 2. Seznam vzorků [mm]

Masiv						Aglomerovaný materiál	
smrk	borovice	jasan	dub	buk	javor	DTD	DVD
3	3	3	3	3	3		3
5	5	5	5	5	5	6	5
7	7	7	7	7	7	8	6
10	10	10	10	10	10	10	10
13	13	13	13	13	13	12	12
16	16	16	16	16	16	16	16
18	18	18	18	18	18	18	18
20	20	20	20	20	20		

Pro zkušební řezání bude použit gravírovací a řezací laser NUMCO C 1290. Optimální nastavení laserového zařízení pro každý vzorek bude zjišťováno metodou zkoušení.

Řezání: Proveďte se několik řezů, dokud nedosáhneme co nejkvalitnějšího řezu, za předpokladu správného oddělení materiálu. Správné nastavení se bude týkat výkonu laseru, rychlosti jeho posuvu a počtu řezných cyklů. Řez bude prováděn ve tvaru L o stejných rozměrech pro každý vzorek (5 x 5 cm) tak, aby vzniknul příčný a podélný řez. Nařezané vzorky se následně zvažují na elektrické váze a změřící se jejich přesná tloušťka, šířka a délka posuvným měřítkem.

Gravírování: U gravírování nebude záležet na tloušťce materiálu, ale pouze na jeho druhu. U této operace nebude zjišťováno ideální nastavení výkonu a rychlosti posuvu vzhledem k subjektivnímu názoru na výsledek. Pro všechny materiály bude nastavena jednotná intenzita 80% a jednotná rychlost posuvu 700 mm/s. Gravírovat se bude testovací obrázek o stejné velikosti pro každý vzorek.

U každého nařezaného vzorku, pro který bylo zjištěno ideální nastavení laseru, bude zjištěna hustota z naměřených dat. Pro zjištění hustoty ρ se použije vzorec:

$$(1.) \rho = \frac{m}{V} \quad [\text{kg/m}^3]$$

kde m je hmotnost vzorku v kg a V je objem vzorku m^3 .

Pro zjištění objemu V vzorku se použije vzorec:

$$(2.) V = l \cdot s \cdot h \quad [\text{m}^3]$$

kde l je délka, s je šířka a h je tloušťka vzorku v m.

Zjištěná hustota bude dále v práci použita pro zjištění vlivu hustoty na řezání laserem, pro porovnání vzorků mezi sebou a pro porovnání s tabulkovými hodnotami.

Pro zjištění závislosti tloušťky na prořiznutí daného materiálu je nutné zjistit minimální délkovou hustotu energie ρ_l^E vzorcem:

$$(3.) \rho_l^E = \frac{P}{v} \quad [\text{Ws/mm}] \dots [\text{J/mm}]$$

kde P je výkon laseru ve W a v je rychlost posuvu v mm/s.

Tímto je získána závislost mezi rychlostí posuvu a intenzitou laserového paprsku, tedy je známa energie laserového paprsku potřebná na prořiznutí 1 mm materiálu. Díky této veličině lze později v práci porovnat závislost tloušťky materiálu na jeho prořiznutí. Nastavení intenzity laseru je v % a proto je před výpočtem nutné provést přepočítání na reálný výkon P.

$$(4.) P = (I_e \cdot 0,01) \cdot P_{max} \quad [\text{W}]$$

kde I_e je intenzita záření v % a P_{max} je maximální výkon laserového zařízení NUMCO C 1290 ve W.

Na závěr bude u každého vzorku zkoumána kvalita provedené operace. U řezání se bude zjišťovat míra znehodnocené plochy na povrchu vzorku pomocí posuvného měřítka. V potaz se bude brát opálení povrchu a změna barvy textury. Dále bude opticky zkoumána kvalita řezné plochy vzorku a odklonění řezné spáry od kolmého průběhu řezu pomocí úhelníku. U gravírování bude zjišťována míra znehodnocení (opálení) neopracovaného povrchu vzorku a porovnána kvalita provedené operace v závislosti na materiálu.

Všechny nařezané vzorky budou vyfoceny tak, aby byl vidět příčný řez, podélný řez a horní plocha vzorku. Fotky budou přiloženy k diplomové práci.

3.2 Metodika řezání

U zkušebního vzorku se nejprve změří tloušťka pomocí posuvného měřítka, aby bylo potvrzeno, že vzorek odpovídá předepsaným tloušťkám v tabulce č. 1. Vzorek je následně vložen do laserového zařízení NUMCO C 1290, které je spojeno s notebookem, na kterém je nainstalován program LaserCut 5.3, přes který jsou nastavovány operace řezání. V programu LaserCut 5.3 se nejprve narýsuje řezná dráha ve tvaru L o rozměrech 5 x 5 cm. V tabulce se vybere operace řezání, nastaví se řezná rychlost, výkon laseru, výkon v rozích a počet cyklů. Všechny nastavené informace se následně odešlou do laserového zařízení. Přes ovládací panel laseru se přesune laserová hlavice nad zkušební materiál a automatickým procesem se nastaví optimální vzdálenost laserové hlavy od vzorku tak, aby se laserové ohnisko nacházelo na jeho povrchu. Pomocí ovládacího panelu stroje se nastaví pozice řezné dráhy a provede se řez. Je nutné, aby byl během řezání zavřen ochranný kryt stroje. Zkušební řezy laserem budou probíhat tak dlouho, dokud nebude nalezena hranice, kdy se materiál bez problému oddělí. Nastavení použité při zkoušce bude zapsáno do tabulek, které budou později vyhodnoceny.

3.3 Metodika gravírování

Zkušební vzorek je vložen do laserového zařízení NUMCO C 1290, které je spojeno s notebookem, na kterém je nainstalován program LaserCut 5.3, přes který jsou nastavovány operace řezání. Do programu LaserCut 5.3 se nejprve vloží vybraný černobílý obrázek (logo ČZU) o stejných rozměrech pro každý vzorek. V tabulce se vybere operace gravírování, nastaví se rychlost gravírování a výkon laseru. Všechny nastavené informace se následně odešlou do laserového zařízení. Přes ovládací panel laseru se přesune laserová hlavice nad zkušební materiál a automatickým procesem se nastaví optimální vzdálenost laserové hlavy od vzorku tak, aby se laserové ohnisko nacházelo na jeho povrchu. Pomocí ovládacího panelu stroje se nastaví pozice, kde bude obrázek umístěn a provede se gravírování. Je nutné, aby byl během gravírování zavřen ochranný kryt stroje. Nastavení parametrů gravírování bude pro všechny vzorky stejné a to intenzita 80% a rychlost posuvu 700 mm/s.

3.4 CO₂ laser NUMCO C1290

Tato práce je zaměřená na práci s řezacím a gravírovacím CO₂ laserovým systémem NUMCO C1290. Tento laser je tedy vybaven CO₂ trubicí, která ho předurčuje pro řezání a gravírování všech organických materiálů. Při použití speciální pasty je možné i gravírování kovů. Trubice je chlazena vodou. Paprsek tohoto CNC systému je do řezu přiváděn soustavou tří odrazových zrcátek a speciální čočky. Poslední odrazové zrcátko je seřizovatelné pro nastavení kolmosti paprsku. Stůl tohoto systému je pouze výškově stavitelný a to v rozmezí 280 mm. Svou vhodnou konstrukcí stroj také zaručuje snadnou a nenáročnou údržbu.

Technické parametry CO₂ laseru NUMCO C1290 jsou uvedeny níže v tabulce č. 3.

Tabulka č. 3. Technické parametry

Min. rozměry gravírované plochy	1,5 x 1,5 mm
Max. rozměry gravírované plochy	1200 x 900 mm
Možnost gravírování rotačních těles	Ano
Výkon laseru	80 W
Typ laseru	CO ₂
Životnost laserové trubice	8000 hod.
Rychlost gravírování	0 – 1000 mm/s
Řezná rychlost	0 – 600 mm/s
Pohony os	Krokové motory
Opakovatelná přesnost	0,01 mm
Teplota pracovního prostředí	0 – 45 °C
Vlhkost pracovního prostředí	35 – 70 %
Chlazení	Vodou
Podporovaný software	ArtCut, CorelDraw, PhotoShop, AutoCad
Podporované grafické formáty	PLT, DXF, BMP, JPG, GIF, PNG, TIF
Komunikační rozhraní	USB
Celkový příkon	1200 W
Elektrické připojení	230 V
Pracovní výška	0 - 280 mm
Rozměry	1830 x 1500 x 1240 mm
Hmotnost	320 kg

Zdroj: <http://cnc.bow.cz/produkt/la100005-gravirovaci-a-rezaci-laser-c-1290/>

4 Výsledky a diskuse

4.1 Řezání

Hodnoty ideálního nastavení laseru pro řezání masivu jsou umístěny v tabulkách č. 4. až č. 9. Jedná se o nastavení rychlosti posuvu, výkonu, výkonu v rozích a počtu cyklů. Tyto hodnoty znamenají nejnižší možnou hranici proříznutí zkušebních vzorků, tím pádem nejnižší výkon/rychlost posuvu laseru, a tím pádem dosažení nejvyšší možné kvality řezu. Jak bylo podotknuto v kapitole 2.2, toto nastavení nemusí fungovat pro každý vzorek stejného druhu dřeviny. Vždy je lepší řezat o něco vyšším výkonem, než je uveden v tabulkách.

Tabulka č. 4. Hodnoty nastavení laseru pro javorové dřevo

Material	Tl. (mm)	Číslo pokusu	Rychlost (mm/s)	Výkon (%)	Výk. v r. (%)	Čas operace (min)	Počet cyklů	Proříznul
Javor	20	5.	2	100	40	0:50	1	ano
Javor	18	2.	4	85	40	0:25	1	ano
Javor	16	2.	4	65	40	0:25	1	ano
Javor	13	4.	6	75	40	0:17	1	ano
Javor	10	3.	8	40	20	0:13	1	ano
Javor	7	3.	12	40	20	0:11	1	ano
Javor	5	3.	15	36	20	0:09	1	ano
Javor	3	2.	18	35	20	0:07	1	ano

Tabulka č. 5. Hodnoty nastavení laseru pro jasanové dřevo

Material	Tl. (mm)	Číslo pokusu	Rychlost (mm/s)	Výkon (%)	Výk. v r. (%)	Čas operace (min)	Počet cyklů	Proříznul
Jasan	20	1.	3	80	40	0:34	1	ano
Jasan	18	1.	4	80	40	0:25	1	ano
Jasan	16	2.	4	53	30	0:25	1	ano
Jasan	13	2.	6	55	30	0:17	1	ano
Jasan	10	5.	8	38	20	0:13	1	ano
Jasan	7	3.	16	45	20	0:08	1	ano
Jasan	5	2.	16	38	20	0:08	1	ano
Jasan	3	1.	18	35	20	0:07	1	ano

Tabulka č. 6. Hodnoty nastavení laseru pro borové dřevo

Material	Tl. (mm)	Číslo pokusu	Rychlost (mm/s)	Výkon (%)	Výk. v r. (%)	Čas operace (min)	Počet cyklů	Proříznul
Borovice	20	3.	4	90	40	0:25	1	ano
Borovice	18	4.	4	53	30	0:25	1	ano
Borovice	16	7.	6	80	40	0:15	1	ano
Borovice	13	3.	8	52	20	0:13	1	ano
Borovice	10	2.	8	35	20	0:13	1	ano
Borovice	7	2.	18	50	20	0:07	1	ano
Borovice	5	2.	25	40	20	0:05	1	ano
Borovice	3	2.	40	40	20	0:04	1	ano

Tabulka č. 7. Hodnoty nastavení laseru pro bukové dřevo

Material	Tl. (mm)	Číslo pokusu	Rychlost (mm/s)	Výkon (%)	Výk. v r. (%)	Čas operace (min)	Počet cyklů	Proříznul
Buk	20	5.	3	80	30	2:14	4	ano
Buk	18	1.	3	80	40	0:34	1	ano
Buk	16	2.	5	80	40	0:20	1	ano
Buk	13	3.	6	68	40	0:17	1	ano
Buk	10	3.	8	50	30	0:13	1	ano
Buk	7	4.	15	50	20	0:09	1	ano
Buk	5	3.	16	38	20	0:08	1	ano
Buk	3	2.	16	35	20	0:08	1	ano

Tabulka č. 8. Hodnoty nastavení laseru pro smrkové dřevo

Material	Tl. (mm)	Číslo pokusu	Rychlost (mm/s)	Výkon (%)	Výk. v r. (%)	Čas operace (min)	Počet cyklů	Proříznul
Smrk	20	2.	4	83	40	0:25	1	ano
Smrk	18	7.	6	80	40	0:17	1	ano
Smrk	16	3.	8	53	30	0:13	1	ano
Smrk	13	3.	8	40	20	0:13	1	ano
Smrk	10	4.	8	30	20	0:13	1	ano
Smrk	7	3.	15	50	20	0:09	1	ano
Smrk	5	2.	15	36	20	0:09	1	ano
Smrk	3	3.	18	33	20	0:07	1	ano

Tabulka č. 9. Hodnoty nastavení laseru pro dubové dřevo

Material	Tl. (mm)	Číslo pokusu	Rychlost (mm/s)	Výkon (%)	Výk. v r. (%)	Čas operace (min)	Počet cyklů	Proříznul
Dub	20							ne
Dub	18	4.	2	80	40	2:31	3	ano
Dub	16	4.	3	80	40	0:34	1	ano
Dub	13	3.	4	50	30	0:25	1	ano
Dub	10	4.	8	75	30	0:13	1	ano
Dub	7	5.	13	50	30	0:10	1	ano
Dub	5	2.	14	42	20	0:09	1	ano
Dub	3	2.	15	35	20	0:09	1	ano

Hodnoty ideálního nastavení laseru pro řezání materiálů na bázi dřeva jsou umístěny v tabulkách č. 10. až č. 11. Jedná se o dřevotřískové desky a o středně tvrdé dřevovláknité desky.

Tabulka č. 10. Hodnoty nastavení laseru pro dřevotřískové desky

Material	Tl. (mm)	Číslo pokusu	Rychlost (mm/s)	Výkon (%)	Výk. v r. (%)	Čas operace (min)	Počet cyklů	Proříznul
DTD	18							ne
DTD	16							ne
DTD	12							ne
DTD	10	5.	3	80	40	0:34	1	ano
DTD	8	4.	5	60	30	0:20	1	ano
DTD	6	2.	7	30	20	0:15	1	ano

Tabulka č. 11. Hodnoty nastavení laseru pro středně tvrdé dřevovláknité desky

Material	Tl. (mm)	Číslo pokusu	Rychlost (mm/s)	Výkon (%)	Výk. v r. (%)	Čas operace (min)	Počet cyklů	Proříznul
MDF	20							ne
MDF	18							ne
MDF	16							ne
MDF	12	5.	2	100	40	0:50	1	ano
MDF	10	3.	6	80	40	0:17	1	ano
MDF	6	5.	10	35	20	0:13	1	ano
MDF	5	2.	12	35	20	0:11	1	ano
MDF	3	6.	15	30	20	0:09	1	ano

Veškeré získané hodnoty nastavení laseru pro všechny řezné pokusy jsou uvedeny v excelovém souboru „Vzorky.xlsx“ přiloženém na datovém nosiči.

4.1.1 Kvalita řezu

U kvality řezu je důležité sledovat několik základních elementů. Opálení vrchní plochy, kvalitu řezné spáry a úhel odklonu paprsku během průchodu materiálem. V poznámkách jsou zapsány méně časté problémy, které se mohou u vzorku objevit.

Značka sp. u opálení znamená spálený povrch. Takovýto vzorek dosahuje velmi špatné kvality. U odklonu paprsku během průchodu materiálem se snižuje přesnost měření s tloušťkou materiálu. Kvalita plochy řezné spáry je známkována od 1 do 5.

1. Světle hnědá barva, hladký povrch.
2. Hnědá barva, hladký povrch.
3. Černá barva, hladký povrch.
4. Černá barva, hrubý povrch.
5. Spálený povrch. (Toto ohodnocení lze považovat za nepoužitelný vzorek)

Tabulka č. 12. Parametry kvalitativního hodnocení u javoru

Materiál	Tl. (mm)	opálení (mm)	odklon pod. (°)	odklon příč. (°)	kvalita řezu	poznámky
Javor	20	0,6	2,2	3,2	3,5	Minimální vlnky způsobené paprskem.
Javor	18	0,6	2,6	3,3	3	
Javor	16	1,2	1,9	3,3	3	
Javor	13	1,3	1,2	3	3	
Javor	10	1,6	2,8	3,3	2,5	
Javor	7	1,8	3,1	3,1	2,5	Znatelné rýhy. Minimálně opálená spodní plocha.
Javor	5	1,5	1,3	2,9	2	Minimální rýhy.
Javor	3	1,4	2,2	3,6	2	Znatelné rýhy. Minimálně opálená spodní plocha.

Tabulka č. 13. Parametry kvalitativního hodnocení u jasanu

Materiál	Tl. (mm)	opálení (mm)	odklon pod. (°)	odklon příč. (°)	kvalita řezu	poznámky
Jasan	20	0,4	2,3	2,6	3	Středně opálená spodní plocha.
Jasan	18	0,8	2,2	2,9	3	Středně opálená spodní plocha.
Jasan	16	0,5	2,4	3,5	3	Minimální rýhy. Středně opálená spodní plocha.
Jasan	13	0,7	1,9	3,2	3	Minimální rýhy. Minimálně opálená spodní plocha.
Jasan	10	0,9	2,3	3,6	3	Minimálně opálená spodní plocha.
Jasan	7	1,2	2,3	3,2	2,5	Minimálně opálená spodní plocha.
Jasan	5	1,4	2,2	2,9	2,5	Minimální rýhy. Minimálně opálená spodní plocha.
Jasan	3	0,9	2,2	2,3	2	Minimální rýhy. Minimálně opálená spodní plocha.

Tabulka č. 14. Parametry kvalitativního hodnocení u borovice

Materiál	Tl. (mm)	opálení (mm)	odklon pod. (°)	odklon příč. (°)	kvalita řezu	poznámky
Borovice	20	0,3	3	3	3	Znatelné vlnky způsobené paprskem.
Borovice	18	0,4	2,1	2,9	3	
Borovice	16	0,2	1,6	2,7	3	
Borovice	13	0,8	2,6	3,9	3	
Borovice	10	0,6	2,5	3,1	2,5	Minimální rýhy. Minimálně opálená spodní plocha.
Borovice	7	0,4	2,6	3,8	2	Minimální rýhy. Minimálně opálená spodní plocha.
Borovice	5	1,1	2,9	3,6	2	Minimální rýhy. Minimálně opálená spodní plocha.
Borovice	3	0,3	1,3	3,9	1,5	Znatelné rýhy. Minimálně opálená spodní plocha.

Tabulka č. 15. Parametry kvalitativního hodnocení u buku

Materiál	Tl. (mm)	opálení (mm)	odklon pod. (°)	odklon příč. (°)	kvalita řezu	poznámky
Buk	20	1,6	3,4	1,2	5	Hodně opálená spodní plocha.
Buk	18	1	3,5	3,1	3	Minimálně opálená spodní plocha.
Buk	16	1,8	2,9	3,2	3	
Buk	13	2,1	2,7	3	3	
Buk	10	1,9	1,9	3,2	3	
Buk	7	2,3	1,4	3,1	3	
Buk	5	2,2	1,8	2,3	2,5	Minimálně opálená spodní plocha.
Buk	3	1,2	1	3,3	2,5	Minimální rýhy. Minimálně opálená spodní plocha.

Tabulka č. 16. Parametry kvalitativního hodnocení u smrku

Materiál	Tl. (mm)	opálení (mm)	odklon pod. (°)	odklon příč. (°)	kvalita řezu	poznámky
Smrk	20	0	1,9	3	3	Středně opálená spodní plocha.
Smrk	18	0,2	1,9	3,1	3	Středně opálená spodní plocha.
Smrk	16	0,4	1,6	3,2	2,5	Minimálně opálená spodní plocha.
Smrk	13	0,3	2,5	3,2	2,5	Minimálně opálená spodní plocha.
Smrk	10	0,2	2,2	3	2,5	Minimální rýhy. Minimálně opálená spodní plocha.
Smrk	7	0,3	2,8	3,3	2	Znatelné rýhy. Středně opálená spodní plocha.
Smrk	5	0,2	2,7	2,9	1,5	Znatelné rýhy. Minimálně opálená spodní plocha.
Smrk	3	0	1,9	3,9	1	

Tabulka č. 17. Parametry kvalitativního hodnocení u dubu

Materiál	Tl. (mm)	opálení (mm)	odklon pod. (°)	odklon příč. (°)	kvalita řezu	poznámky
Dub	18	1,8 sp.	2,5	2,6	5	Spálená spodní plocha.
Dub	16	0,9 sp.	2,9	2,2	3	Minimálně opálená spodní plocha.
Dub	13	1,4 sp.	2,1	3,2	3	Minimálně opálená spodní plocha.
Dub	10	1,5	2,3	3,3	3	
Dub	7	2,1	2,2	3,6	3	
Dub	5	1,8	2,3	3,2	3	Minimálně opálená spodní plocha.
Dub	3	1,6	2,9	2,9	3	Minimální rýhy. Středně opálená spodní plocha.

Tabulka č. 18. Parametry kvalitativního hodnocení u dřevotřísky

Materiál	Tl. (mm)	opálení (mm)	odklon pod. (°)	odklon příč. (°)	kvalita řezu	poznámky
DTD	10	1,8 sp.	2,2	2,1	3,5	Středně opálená spodní plocha.
DTD	8	1,4	2,4	2,2	3	Středně opálená spodní plocha.
DTD	6	2,2	2,3	2,3	3	Minimálně opálená spodní plocha.

Tabulka č. 19. Parametry kvalitativního hodnocení u středně tvrdého dřevovláknitého materiálu

Materiál	Tl. (mm)	opálení (mm)	odklon pod. (°)	odklon příč. (°)	kvalita řezu	poznámky
MDF	12	2,6 sp.	2,3	3,6	4	Minimálně opálená spodní plocha.
MDF	10	2,3 sp.	1,5	4,3	3	
MDF	6	2,1	1,6	2,9	3	
MDF	5	1,3	2,1	3	3	Minimálně opálená spodní plocha.
MDF	3	0,9	2,8	3,5	3	Minimálně opálená spodní plocha.

Tabulka č. 20. Parametry kvalitativního hodnocení u materiálů na bázi dřeva

Materiál	Tl. (mm)	opálení (mm)	odklon pod. (°)	odklon příč. (°)	kvalita řezu	poznámky
SP - JS	10	1,3	2,3	3,8	3	Minimálně opálená spodní plocha. Znatelná světlá spára.
PDP - BO	10	1,2	2,8	2,5	3	
PDP - BK	10	1,6	3,4	3,4	3	Minimálně opálená spodní plocha.

Je zřejmé, že opálení vrchní plochy nejlépe odolalo smrkové a borové dřevo. Naopak nejvýraznější opálení vzniká u buku, dubu a u obou aglomerovaných materiálů. Hodnoty průměrné délky opálení v mm pro danou dřevinu jsou vyneseny v tabulce č. 21. Podle této skutečnosti lze uvažovat, že na délku opálení vrchní plochy má vliv hustota materiálu, tudíž síla energie potřebné na proříznutí daného materiálu. Nejhoršího opálení dosáhnul bukový vzorek 20 mm, dubový vzorek 18 mm a vzorek dřevovláknité desky 12 mm. Řezání těchto vzorků nemá z kvalitativního pohledu smysl.

Tabulka č. 21. Hodnoty průměrné délky opálení [mm]

Materiál	Javor	Jasan	Borovice	Buk	Smrk	Dub	DTD	MDF
Opálení	1,25	0,85	0,51	1,76	0,20	1,59	1,80	1,84

Odklon paprsku se projevoval u všech druhů materiálů v rozmezí 1,5° - 3,5°. Z výsledků není patrný žádný vliv druhu dřeviny na míru odklonění paprsku. Výrazný vliv má ale směr řezu. V příčném řezu je odklon paprsku o něco větší než v podélném. V příčném směru se hodnoty pohybují v rozmezí 2,5° - 3,5° a v podélném směru se hodnoty pohybují v rozmezí 1,5° - 2,5°. Toto tvrzení podporují i výsledky překližovaného materiálu, u kterého vyšly hodnoty odklonění

paprsku stejné v obou směrech. To je způsobeno tím, že se materiál skládá z lepených vrstev dřeva, které jsou navzájem kolmé. Stejně hodnoty vyšly i u dřevotřískového materiálu, u kterého také odpadá rozdíl v příčném a podélném řezu. Rozdílné hodnoty u příčného a podélného řezu byly ale naměřeny u dřevovláknitého materiálu, kde by také neměl hrát žádnou roli příčný a podélný řez.

Kvalita řezné plochy se zhoršuje s rostoucí tloušťkou materiálu. Materiály s větší hustotou dosahují horší kvality řezné plochy než materiály s nižší hustotou. Je tedy jasné, že kvalita řezné plochy je závislá na hustotě materiálu. Borové, ale hlavně smrkové dřevo, toto tvrzení popírají. Dosahují sice světlé barvy řezu, ale také hrubšího povrchu. To je ale způsobeno velkým hustotním rozdílem jarního a letního dřeva letokruhů.

U některých vzorků se objevuje spálená spodní plocha, což je pravděpodobně způsobeno přenosem tepla spodní kovovou mřížkou laseru, na které jsou řezané materiály položeny. U některých vzorků jsou na řezné ploše vidět vypálené rýhy, pravděpodobně způsobené odražením laserového paprsku od spodní kovové mřížky. U tlustších vzorků se mohou ve spodní části řezu objevit vlnky způsobené laserovým paprskem.

Nejlepší kvality jednoznačně dosahuje borové dřevo. Mezi méně vhodné materiály patří dub a aglomerované materiály.

Všechny fotky proříznutých vzorků jsou přiloženy na datovém nosiči.

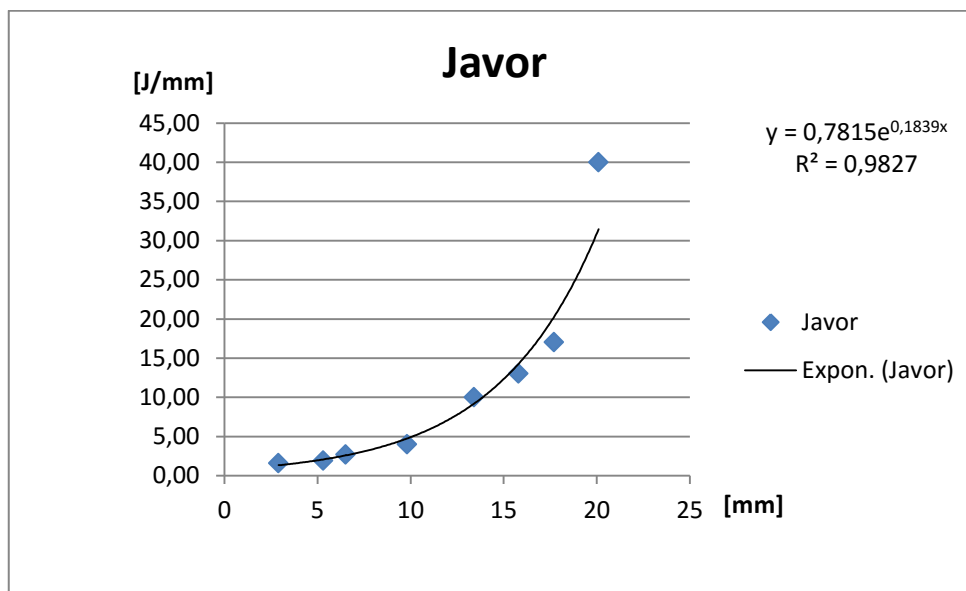
4.1.2 Odolnost proti proříznutí

Odolnost proti proříznutí je schopnost materiálu odolat průniku laserového paprsku. Hodnoty v tabulkách v kapitole 4.1 specifikují hranici proříznutí daného materiálu. Hlavní roli zde hrají hodnoty výkonu laseru a jeho rychlost posuvu, které jsou na sobě závislé, a proto je nutné tyto dvě hodnoty přepočítat na minimální délkovou hustotu energie. Ta je pak v grafu porovnána s přesnou tloušťkou materiálu.

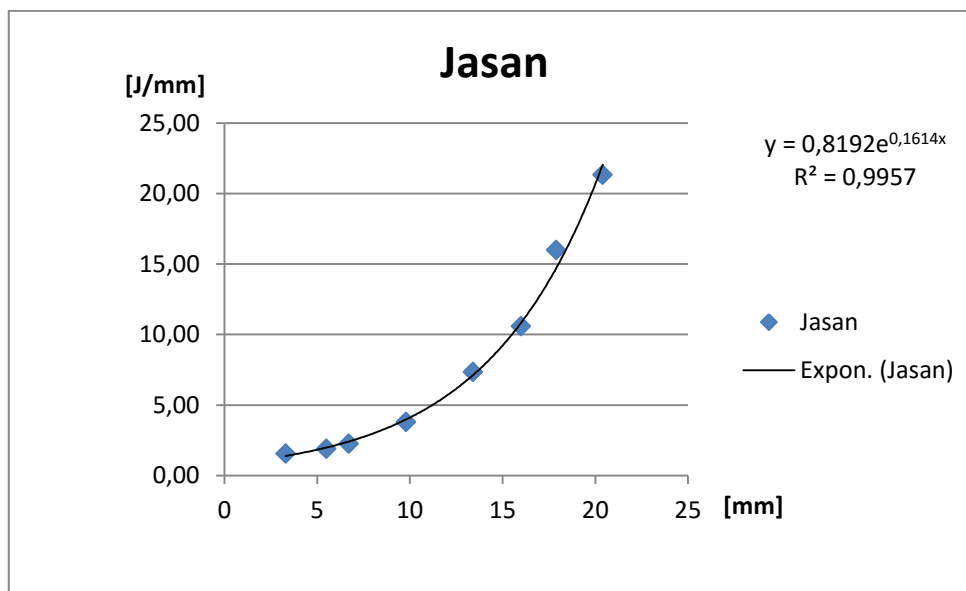
Vzorok, které laser nezvládnul proříznout, nejsou v grafech zaznamenány. Vzorok, u kterých bylo nutné použití více řezných cyklů k jejich proříznutí, také

nejdou v grafech zaznamenány, kvůli nepřesnosti výpočtu minimální délkové hustoty energie.

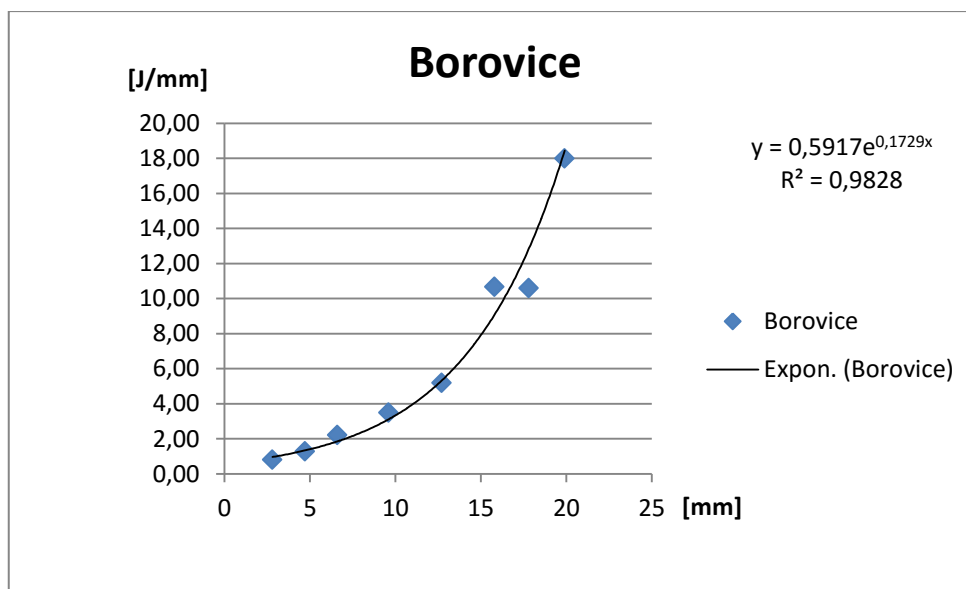
Graf č. 1. Závislost odolnosti proti proříznutí na tloušťce javorového dřeva



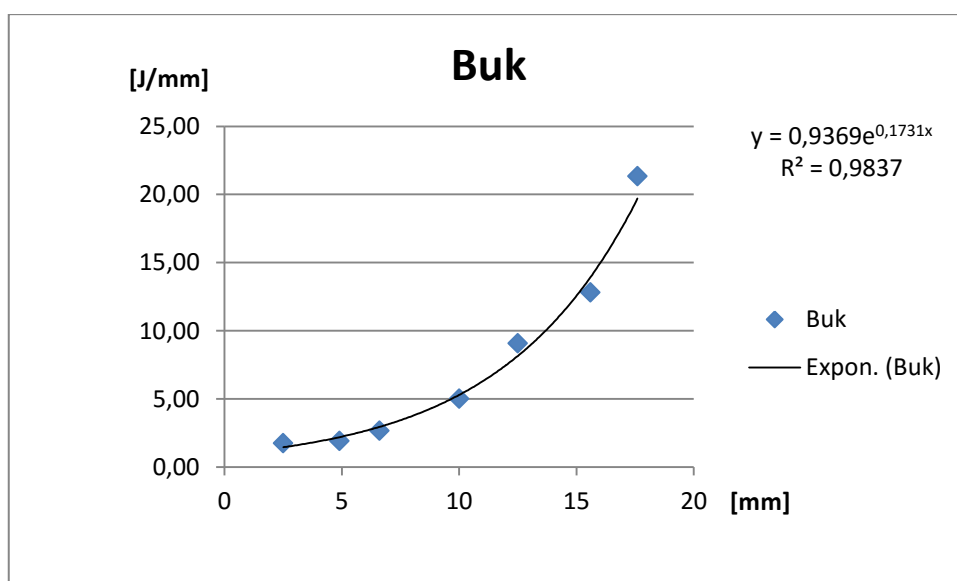
Graf č. 2. Závislost odolnosti proti proříznutí na tloušťce jasanového dřeva



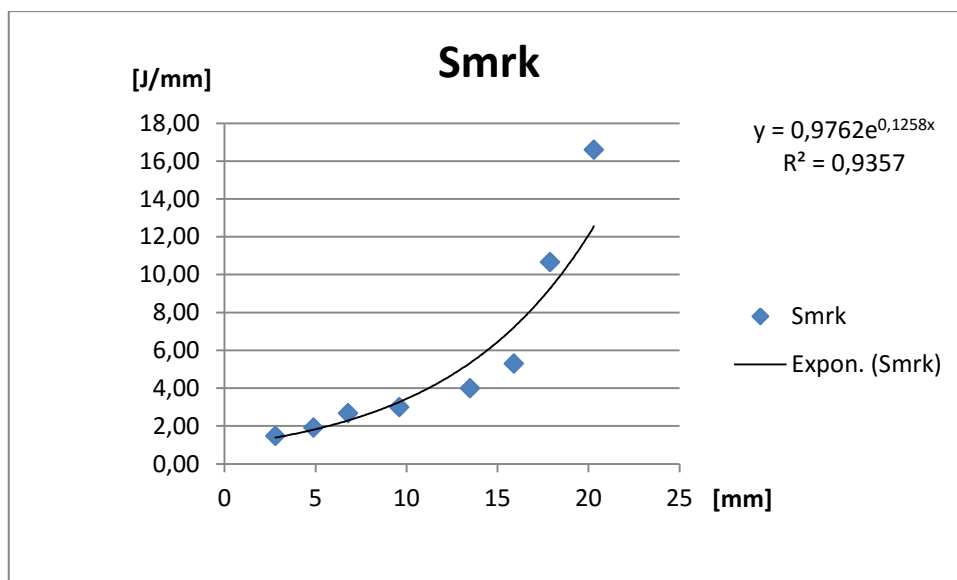
Graf č. 3. Závislost odolnosti proti proříznutí na tloušťce borového dřeva



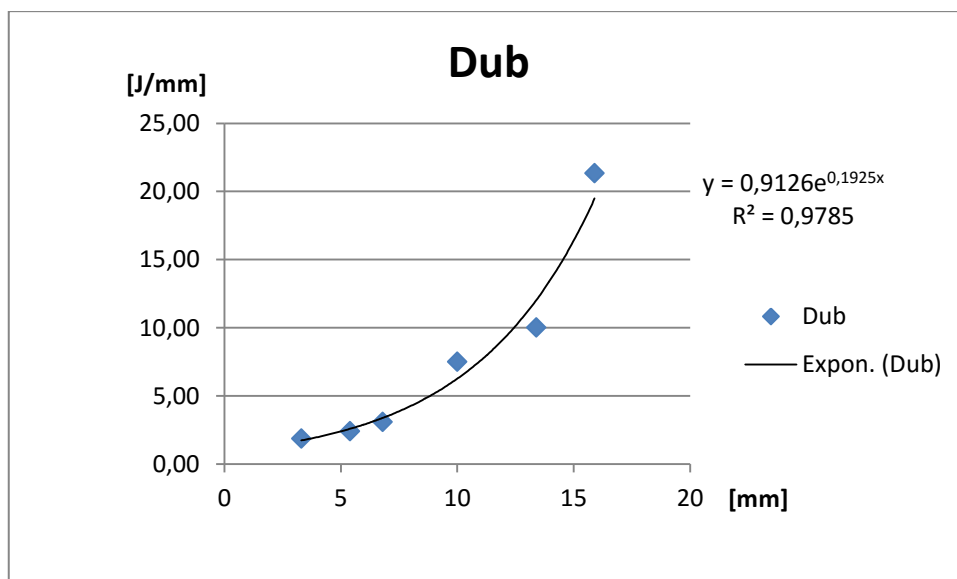
Graf č. 4. Závislost odolnosti proti proříznutí na tloušťce bukového dřeva



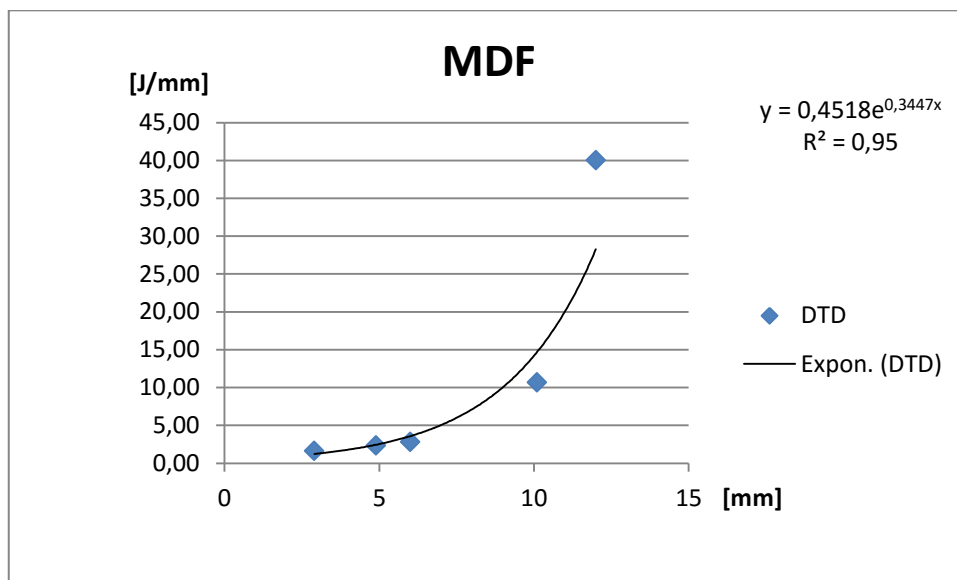
Graf č. 5. Závislost odolnosti proti proříznutí na tloušťce smrkového dřeva



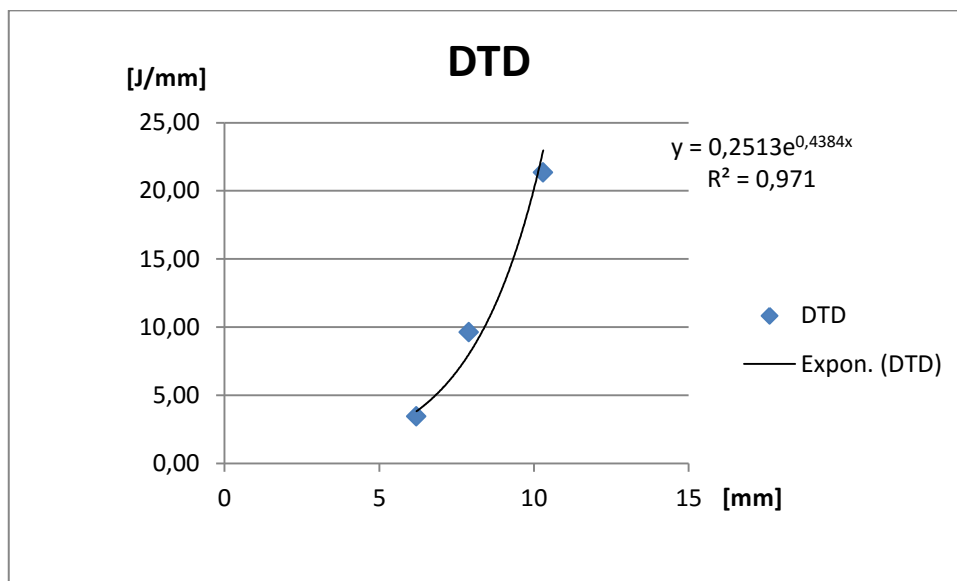
Graf č. 6. Závislost odolnosti proti proříznutí na tloušťce dubového dřeva



Graf č. 7. Závislost odolnosti proti proříznutí na tloušťce středně tvrdé dřevovláknité desky



Graf č. 8. Závislost odolnosti proti proříznutí na tloušťce dřevotřískové desky



Je zřejmé, že závislost odolnosti proti proříznutí na tloušťce materiálu má exponenciální charakter. To znamená, že se zvyšováním tloušťky materiálu se exponenciálně zvyšuje potřeba energie na proříznutí. To je způsobeno polohou laserového ohniska, které je umístěno na povrchu materiálu. Jak bylo řečeno v kapitole 2.2, účinnost pálení se exponenciálně snižuje se vzdáleností od laserového ohniska.

V grafech jsou vidět malé odchylky od exponenciály. Ty jsou způsobeny rozdílnou hustotou u stejného druhu materiálu.

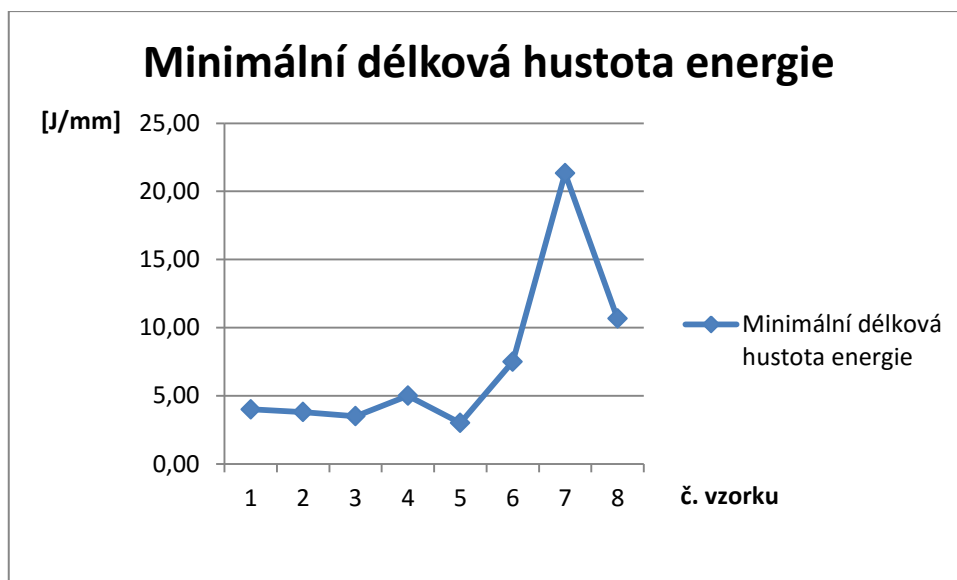
Jediná dřevina, kterou laserové zařízení NUMCO C1290 nezvládnulo proříznout, byl dub při tloušťce 20 mm. Větší problémy nastaly u materiálů na bázi dřeva. Nejtlustší vzorek dřevovláknitého materiálu, který laser dokázal proříznout, měl tloušťku 12 mm. Nejtlustší vzorek dřevotřískového materiálu, který laser dokázal proříznout, měl tloušťku 10 mm.

4.1.3 Vliv řezání na jednotlivé materiály a jejich porovnání

Schopnost proříznutí materiálu závisí na jeho druhu. Každá dřevina se liší svými vlastnostmi a to zejména hustotou. Schopnost proříznutí materiálu vystihuje veličina „minimální délková hustota energie“, tedy energie potřebná pro proříznutí jednoho milimetru materiálu, která je vynesena v grafu č. 9. Naměřená hustota materiálu je vynesena v grafu č. 10. Z porovnání obou grafů lze zjistit, zda je schopnost proříznutí materiálu závislá na jeho hustotě. V grafu č. 11. jsou tabulkové hustoty pro masivní dřeviny vytažené z Dřevařské technické příručky [Novák, 1970] a tabulkové hodnoty pro materiály na bázi dřeva vytažené z Materiálů na bázi dřeva [Böhm, Reisner, Bomba, 2013].

Pro porovnání byly použity vzorky o tloušťce 10 mm, protože pro tuto jedinou tloušťku odpovídá tloušťka dřevovláknitých a dřevotřískových vzorků.

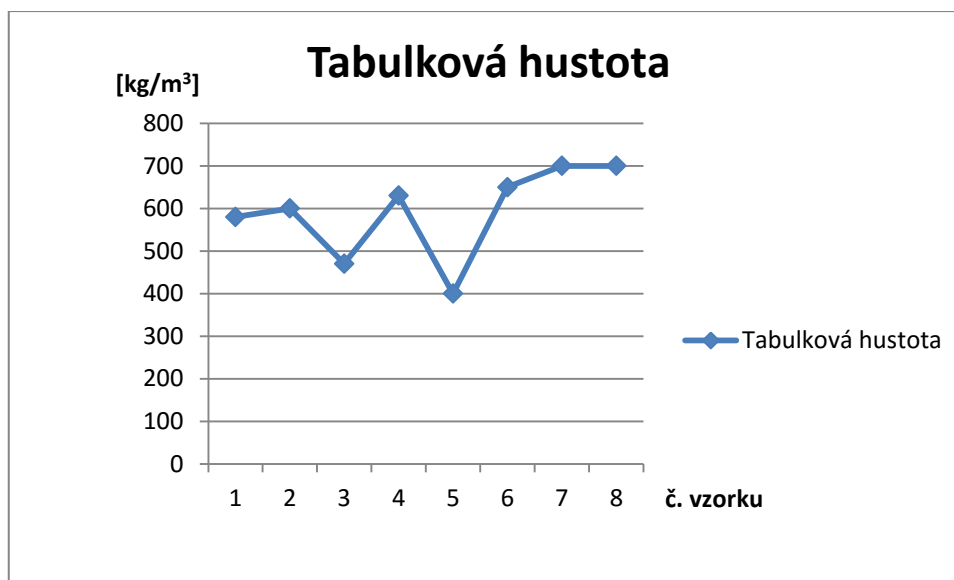
Graf č. 9. Minimální délková hustota energie



Graf č. 10. Hustota vzorků



Graf č. 11. Tabulková hustota vzorků



Tabulka č. 22. Očíslování vzorků

Materiál	Javor	Jasan	Borovice	Buk	Smrk	Dub	DTD	MDF
Č. vzorku	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.

Při porovnání hustoty vzorků a tabulkové hustoty je zřejmé, že si vzájemě odpovídají. Nepřesnost nastala u javorového a dubového vzorku, kdy byla naměřena hustota větší.

Co se týče závislosti schpnosti proříznutí materiálu na jeho hustotě, tak je zřejmé, že na sobě závisí. Grafy č.9. a č. 10. si navzájem odpovídají s menšími odchylkami. Problém nastává u materiálů na bázi dřeva. Přesto že mají nižší hustotu než dub, tak je zapotřebí většího množství energie na proříznutí. To je pravděpodobně způsobeno přítomností pojiva a dalších chemických látek, které se v průběhu výroby do aglomerovaných materiálů přidávají. Největší skok je ale u dřevotřískového vzorku. To je pravděpodobně způsobeno nepravidelnou hustotou uvnitř materiálu. Při nižším výkonu, laser zvládnul proříznout materiál jen na některých místech, přičemž vznikaly neproříznuté ostrůvky.

Lze tedy s jistotou říci, že při laserovém řezání hraje hustota významnou roli. Mezi důležité faktory tedy patří hustota a druh obráběného materiálu.

Mezi další materiály na bázi dřeva patří překližka a spárovka. Tyto materiály nebyly zahrnuty v hustotním porovnání, protože na rozdíl od dřevotřískového a dřevovláknitého materiálu, překližky a spárovky nesou vlastnosti dřevin, ze kterých byly vyrobeny. Například smrková překližka bude mít menší hustotu než buková.

Pro porovnání byly vybrány vzorky borové a bukové překližky a vzorek jasanové spárovky, jejichž hodnoty nastavení laseru jsou umístěny v tabulce č. 23. Hodnoty nastavení laseru pro masivní materiál odpovídající vzorkům na bázi dřeva, jsou umístěny v tabulce č. 24. V grafu č. 12. jsou porovnány hustoty daných vzorků a v grafu č. 13. minimální délková hustota energie potřebná pro jejich proříznutí.

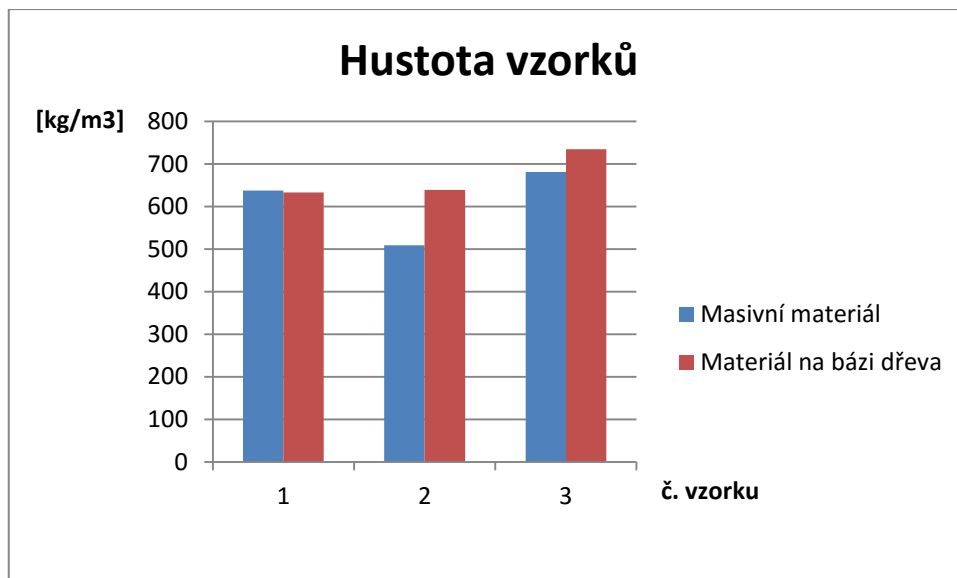
Tabulka č. 23. Hodnoty nastavení laseru pro spárovku a překližovaný materiál

Material	Tl. (mm)	Číslo pokusu	Rychlost (mm/s)	Výkon (%)	Výk. v r. (%)	Čas operace (min)	Počet cyklů	Proříznul
PDP - BO	10	3.	8	36	20	0:13	1	Ano
PDP - BK	10	4.	8	46	30	0:13	1	Ano
SP - JS	10	2.	8	45	20	0:13	1	Ano

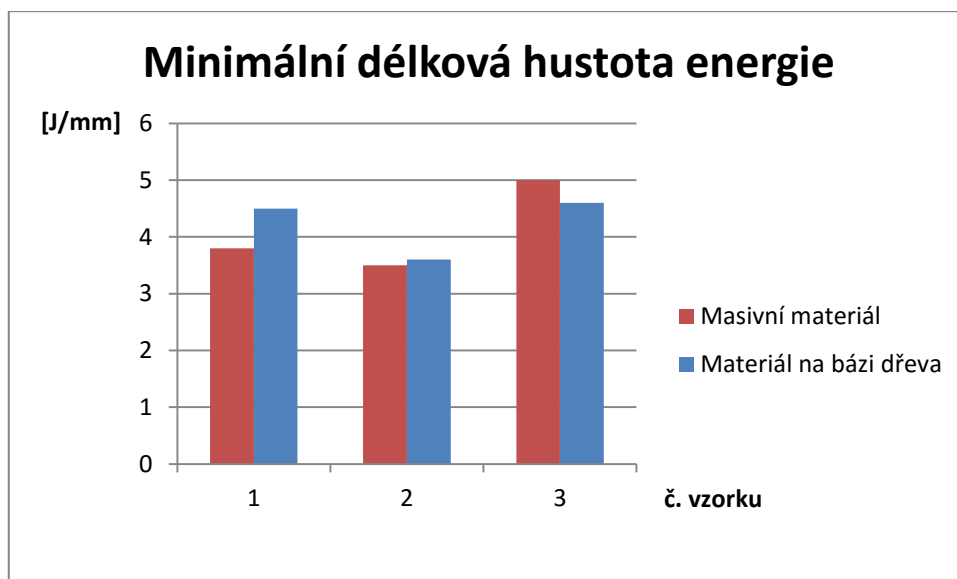
Tabulka č. 24. Hodnoty nastavení laseru pro masivní materiál

Material	Tl. (mm)	Číslo pokusu	Rychlost (mm/s)	Výkon (%)	Výk. v r. (%)	Čas operace (min)	Počet cyklů	Proříznul
Borovice	10	2.	8	35	20	0:13	1	Ano
Buk	10	3.	8	50	30	0:13	1	Ano
Jasan	10	5.	8	38	20	0:13	1	Ano

Graf č. 12. Hustota vzorků



Graf č. 13. Minimální délková hustota energie



Tabulka č. 25. Očíslování vzorků

Materiál	Jasan	Borovice	Buk
Č. vzorku	1.	2.	3.

Literatura Technické materiály na bázi dřeva [Böhm, Reisner, Bomba, 2013] uvádí, že hustota překližovaného materiálu by měla být o něco vyšší, než hustota stejné masivní dřeviny a to z důvodu lisování během výroby. Toto tvrzení je

prokázáno v grafu č. 12., kde překližovaný materiál vykazuje vyšší hustotu, než původní materiál. Při výrobě spárovek k takto vysokým tlakům nedochází, je tedy logické, že vykazuje stejnou hustotu jako původní dřevina.

To, že překližka vykazuje větší hustotu než masivní dřevo, by mělo znamenat, že bude zapotřebí více energie na proříznutí. V grafu č. 13 je ale vidět, že bukový vzorek vykazuje pravý opak. To může být způsobeno tloušťkovým rozdílem. Přesná tloušťka bukové překližky je o 0,4 mm menší, než přesná tloušťka bukového masivu. U jasanové spárovky, která vykazovala stejnou hustotu jako původní dřevina, je jasně vidět, že na proříznutí spárovky je zapotřebí více energie. To je způsobeno přítomností slepených spár, ve kterých laserový paprsek nebyl schopen proříznutí materiálu. Proto je zapotřebí použití většího množství energie.

Z toho vyplývá, že pro materiály na bázi dřeva je potřeba větší množství energie, tedy vyšší výkon laserového paprsku, nebo nižší rychlost posuvu laserové hlavice.

4.1.4 Porovnání řezu v příčném a podélném směru u anizotropních materiálů

Příčný a podélný řez má minimální vliv na laserové řezání. U některých vzorků se stalo, že laser prořízнул podélný řez a příčný řez nezvládnul. To je ale způsobeno rozdílnou hustotou v jarním a letním dřevě letokruhů. Podélný řez totiž může být veden jarním dřevem s nižší hustotou, kdežto příčný řez je veden napříč letokruhy, tedy i skrze letní dřevo s větší hustotou. U některých dřevin tedy lze vidět nepropálené dřevo v letní části letokruhů v příčném řezu. Tento jev lze spatřit u dřevin s výrazným přechodem mezi jarním a letním dřevem letokruhů jako je například borovice nebo smrk (viz obrázek 5 – přílohy).

Podélný a příčný řez má malý vliv na odklon laserového paprsku během jeho průchodu materiálem. V příčném řezu došlo k většímu odklonění viz. kapitola 4.1.

4.1.5 Vliv vad dřeva na řezání

Největší vliv na řezání by měly mít vady, které ovlivňují hustotu dřeva. Pokus byl proveden na suku, který patří mezi nejčastější přirozené vady dřeva. Pokus byl také proveden na smolníku, který patří mezi méně časté vady dřeva a objevuje se pouze u jehličnatých dřevin. Zde by totiž mohlo dojít k hoření pryskyřice.

Pokus proříznutí suku byl proveden u borového a dubového dřeva a ani v jednom případě se materiál v místě vady nepovedlo proříznout. Kromě nepravidelného rozmístění hustoty v suku se také jedná o vadu se zvýšenou hustotou dřeva.

U smolníku k hoření nedošlo. Laser materiál proříznul bez problému. Dutinu vyplněnou pryskyřicí lze vidět v řezu.

4.2 Gravírování

4.2.1 Kvalita gravírování

Posouzení kvality gravírování je jednoznačně subjektivní záležitost. Nastavením rychlosti posuvu a intenzity lze docílit světlejšího nebo tmavšího zabarvení a různé hloubky vygravírovaného obrázku. Proto bylo pro tuto operaci použito stejné nastavení pro všechny vzorky.

Gravírování bude také provedeno na vybrané spárovce, aby byl zjištěn vliv lepené spáry na kvalitu provedené operace.

Během gravírování vzniká na povrchu opálení odváděným teplem. Nejméně opálený povrch je u borového, bukového a jasanového dřeva. Výraznější opálení vzniká u smrkového a javorového dřeva. Nejhuře dopadl dub s velice tmavým opálením a dřevovláknitý materiál s dřevotřískovým materiálem, na kterých vzniknul bílý popel.

Vygravírovaná plocha je další prvek, který je nutno posoudit. Jednoznačně nejhladší plochu má javorové a bukové dřevo. Dřevovláknitý materiál sice také

dosáhl hladkého povrchu, ten je ale místy znečištěn bílým popelem. Hrubší povrch má dřevotřískový materiál, který je ale také znečištěn bílým popelem. Hrubší strukturu má i dub. Nemá sice výrazné letokruhy, jedná se ale o kruhovitě pórovitou dřevinu. Cévy dřeva, které mají uvnitř mnohem větší dutinu než cevice, jsou seskupeny na začátky letokruhu. A právě v tomto místě laserový paprsek pronikne materiálem snadněji. Stejný jev lze pozorovat i u jasanového dřeva. Jelikož má ale menší hustotu uspořádání letokruhů, tak zde vzniká vlnitý povrch. To už se dá považovat jako problematický povrch. Vlnitý povrch má i borové dřevo. Jelikož se ale jedná o jehličnatý strom, tak je tento jev způsoben rozdílnou hustotou jarního a letního dřeva letokruhu. Největší nepravidelnost ale vznikla u smrkového dřeva, kde na vygravírovaném povrchu vzorku vzniklo žebrování.

Seznam vzorků sestupně od nejsvětlejší barvy vygravírované plochy po nejtmavší.

1. Jasan
2. Smrk
3. Borovice
4. Buk
5. Javor
6. DTD
7. DVD
8. Dub

Mezi nejvhodnější materiály pro gravírování jednoznačně patří buk a borovice. Mají dobrý kontrast mezi ořezovanou plochou a neopracovaným materiálem a minimální opálení. Buk má ještě navíc hladkou plochu gravírování. Mezi méně vhodný materiál patří dub, dřevovláknitý materiál a dřevotřískový materiál.

Pro zjištění vlivu lepené spáry na proces gravírování byla vybrána jasanová spárovka. Lepená spára neměla žádný vliv na kvalitu vygravírovaného obrázku.

Z výsledků vyplývá, že mezi nejvhodnější materiál pro gravírování patří roztroušeně pórovité dřeviny s nevýrazným přechodem mezi jarním a letním dřevem letokruhů. Problémy mohou nastat u roztroušeně pórovitého dřeva. Velmi

problematický je aglomerovaný materiál, a to pravděpodobně kvůli přítomnosti pojiva a dalších přidaných chemických látek. Stejně tak mohou být problematické jehličnaté dřeviny kvůli výraznému přechodu mezi jarním a letním dřevem letokruhů. Tento problém ale může být brán jako výhoda, například z designového hlediska. Vlnitý povrch, ale hlavně žebrování tvoří designově velice zajímavý povrch (viz obrázek 6 a 7 – přílohy).

Všechny fotky gravírovaných vzorků jsou přiloženy na datovém nosiči.

4.2.2 Vliv vad dřeva na gravírování

Pokus byl proveden na suku, který patří mezi nejčastější přirozené vady dřeva. Jeho nepravidelná struktura a vyšší hustota by mohla ovlivnit gravírování.

Suk má minimální vliv na proces gravírování. Jeho struktura se promítne do ogravírované plochy, neovlivní však hloubku ani barvu. Jeho vliv na gravírování je tedy minimální.

4.3 Problémy během zkoušek

Během zkoušek se laserový systém NUMCO C 1290 potýkal s méně či více vážnějšími problémy.

Občas docházelo ke špatné komunikaci laserového zařízení a softwaru LaserCut 5.3, ať už to bylo způsobeno laserem, softwarem, notebookem na kterém byl software nainstalován, a nebo jejich spojením.

Poměrně často se laserová hlavice zasekla na konci operace a celý stroj „zamrzl“. Jediná možnost jak uvést stroj do chodu bylo jeho restartováním.

Během řezání hustého materiálu došlo ke spálení čidla, které slouží k nastavení ideální vzdálenosti laserové hlavice od materiálu. Při vysoké intenzitě a malé rychlosti posuvu vznikalo příliš velké teplo. Vzhledem k tomu, že nedošlo k proříznutí celého materiálu, tak bylo veškeré vzniklé teplo odváděno vrchem přes umístěné čidlo, které nebylo dostatečně daleko od laserového paprsku.

5 Závěr

Jako vzorků pro tuto práci bylo použito 6 druhů dřevin (javor, jasan, borovice, buk, smrk, dub) a 2 druhy aglomerovaného materiálu (dřevotřískový materiál a středně tvrdý dřevovláknitý materiál). Pro porovnání byly použity i vzorky spárovky a překližky u vybraných dřevin. Celkem bylo provedeno 211 řezných pokusů a z toho bylo vybráno 61 pokusů, které byly zahrnuty do výsledků.

V práci jsou určeny hodnoty pro proříznutí určité tloušťky daného materiálu. Při použití těchto hodnot pro nařezání stejného druhu materiálu by se ale měl použít o něco vyšší výkon nebo nižší rychlost posuvu, jelikož i stejné dřeviny mohou mít rozdílné vlastnosti. Mezi nejvýznamnější problém patří hustota, kdy se dvě stejné dřeviny mohou lišit klidně i o 100 kg/m^3 . Pro proříznutí spárovky a překližky je zapotřebí použít větší výkon laseru, než na masivní dřevinu, ze které byly vyrobeny.

V práci je porovnávána kvalita řezu u jednotlivých vzorků. Nejmenšího opálení vrchní plochy vzorku dosahovalo borové a smrkové dřevo. Značné opálení naopak vzniklo u bukového a dubového dřeva a u aglomerovaných materiálů. Materiály s nižší hustotou dosahují menší míry opálení povrchu a stejně tak i dosahují kvalitnější řezné plochy. Úhel odklonění laserového paprsku při průchodu materiálem naopak na hustotě závislý není. Naopak byla prokázána jeho závislost na směru řezu u anizotropních materiálů. V příčném směru se hodnoty pohybují v rozmezí $2,5^\circ - 3,5^\circ$ a v podélném směru se hodnoty pohybují v rozmezí $1,5^\circ - 2,5^\circ$. U některých vzorků vzniklo opálení spodní plochy a objevily se rýhy na řezné ploše, které jsou pravděpodobně způsobené odraženým laserovým paprskem od kovové mřížky laserového stroje.

Závislost odolnosti materiálu proti proříznutí na tloušťce vzorku má exponenciální charakter. To je způsobeno tím, že se zvyšující se tloušťkou materiálu se zvyšuje i vzdálenost spodní části materiálu od ohniska laseru. Ideální rozpětí tlouštěk masivních dřevin pro laserové zařízení NUMCO C 1290 je $0 - 20 \text{ mm}$. V tomto rozpětí laser nezvládnul proříznout pouze dubový vzorek 20 mm . Vhodné rozpětí tlouštěk aglomerovaných materiálů je $0 - 10 \text{ mm}$. Zvládne sice

ještě proříznout středně tvrdou dřevovláknitou desku o tloušťce 12 mm, dřevotřískovou desku už ale ne.

Závislost hustoty materiálu na jeho proříznutí byla potvrzena. S vyšší hustotou roste potřeba energie na proříznutí materiálu. Výjimka nastala u aglomerovaných materiálů, což může být způsobeno přítomností pojiva a dalších přidaných chemických látek.

Zkoumán byl i vliv vad dřeva na laserové řezání. Problém nastal u suku. Laser nebyl schopen v místě vady materiál proříznout.

Ideální nastavení laseru pro gravírování je velice subjektivní záležitost. Proto bylo použito stejné nastavení pro všechny materiály. Jeden z důležitých prvků kvality gravírování je míra opálení neopracovaného povrchu materiálu. Nejméně opálený povrch je u borového, bukového a jasanového dřeva. Nejhůře dopadl dub s velice tmavým opálením a dřevovláknitý materiál s dřevotřískovým materiálem, na kterých vzniknul bílý popel. Dalším důležitým prvkem je kvalita gravírované plochy. Jednoznačně nejhladší plochu má javorové a bukové dřevo. Dřevovláknitý materiál sice také dosáhl hladkého povrchu, ten je ale místy znečištěn bílým popelem. Nejhůře dopadly jehličnaté dřeviny, u kterých vniknul vlnitý povrch. To je způsobeno velkým rozdílem hustot mezi jarním a letním dřevem letokruhů. Podobný problém nastal i u kruhovitě pórovitých dřevin z důvodu seskupení cév na kraji letokruhů. U smrkového vzorku dokonce vzniklo velice výrazné žebrování. Tento problém ale může být brán i jako výhoda a to hlavně z designového hlediska. Jednoznačně nejvhodnější dřevinou pro gravírování je buk nebo borovice.

Vliv vad dřeva byl zkoumán i u gravírování. Suky mají minimální vliv na gravírování.

6 Použitá literatura a elektronické zdroje

MAŇKOVÁ, Ildikó. *Progresívne Technológie*. 1. Vydání. Košice: Vienala, 2000. 275 s. ISBN 80-7099-430-4

BÖHM, Martin. - REISNER, Jan. - BOMBA, Jan. *Materiály na bázi dřeva*. 1. Vydání. Praha: Česká zemědělská univerzita v Praze, 2012. 183 s. ISBN 978-80-213-2251-6

NOVÁK, Vladimír. *Dřevařská technická příručka*. Praha: SNTL, 1970. 748 s.

Janičková, Petra. *Nekonvenční technologie obrábění – laser* [online]. Publikováno 30.06.2012 [cit. 07.01.2016]. Dostupné z: <http://www.uh.cz/szesgsm/files/sblizovani/pdf/laser-projekt-sablona.pdf>

Kořán, Pavel. *Seriál na téma lasery – laserové řezání (Laser cutting)* [online]. Publikováno 19.02.2013 [cit. 20.11.2015]. Dostupné z: <http://www.lao.cz/lao-info-49/serial-na-tema-lasery---laserove-rezani-laser-cutting-129>

Roubíček, Martin. *Řezání CO2 laserem* [online]. Publikováno 01.11.2005 [cit. 05.01.2016]. Dostupné z: <http://www.konstrukce.cz/clanek/rezani-co2-laserem-opticky-system-bifocal/>

Kolkop, David. *Technologie řezání laserem* [online]. Publikováno 27.10.2010 [cit. 25.11.2015]. Dostupné z: https://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=26869

Gravírovací a řezací laser NUMCO C1290 [online]. [cit. 10.02.2016]. Dostupné z: <http://cnc.bow.cz/produkt/la100005-gravirovaci-a-rezaci-laser-c-1290/>

Dušek, Přemysl. *Aplikace laseru při obrábění dřeva* [online].

Publikováno 2013 [cit. 14.02.2015]. Dostupné z:

https://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=64699

Tůma, Petr. – Smrčinová, Dagmar. *Využití laseru při dělení a značení materiálů* [online]. Publikováno 2015 [cit. 04.04.2015]. Dostupné z:

<http://www.digitovarna.cz/clanek-84/vyuziti-laseru-pri-deleni-a-znacenimaterialu.html>

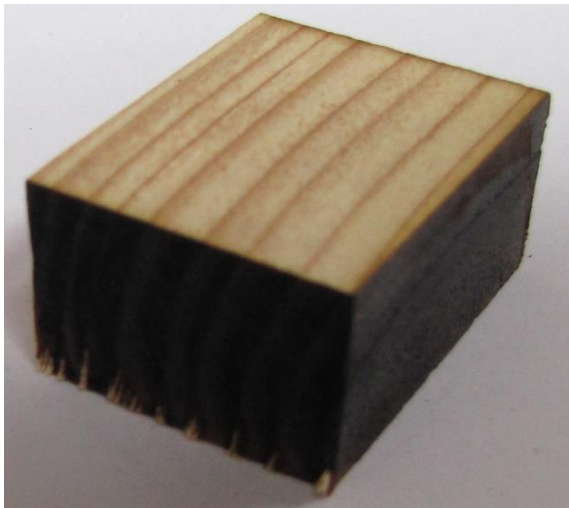
Tůma, Petr. *Řezání materiálů s pomocí CNC laseru* [online]. Publikováno 2015 [cit. 09.04.2015]. Dostupné z: <http://www.digitovarna.cz/clanek-84/rezani-materialu-s-pomoci-cnc-laseru.html>

Svoboda, Matěj. *Jak se řeže vodou a laserem* [online]. Publikováno 2010 [cit. 09.04.2015]. Dostupné z: <http://www.abicko.cz/clanek/precti-si-technika/10325/jak-se-reze-vodou-a-laserem.html>

Bohmová, Tereza. *Jak řezat laserem do dřeva a jaký laser si na to pořídit* [online]. Publikováno 2015 [cit. 09.04.2015]. Dostupné z: <http://www.mega-blog.cz/lasery/jak-rezat-laserem-do-dreva-a-jaky-laser-si-na-to-poridit/>

7 Přílohy

Obrázek. 5 Smrkový vzorek



Obrázek. 6 Žebrovaný povrch smrku



Obrázek. 7. Žebrovaný povrch smrku

