

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Fakulta lesnická a dřevařská

Katedra zpracování dřeva a biomateriálů



**LASEROVÁ TECHNOLOGIE A VLIV VÝKONU NA
ZMĚNU VYBRANÝCH FYZIKÁLNÍCH VLASTNOSTÍ**

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Autor: Tomáš Klenner

Vedoucí práce: Ing. Miroslav Sedlecký Ph.D.

2021

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Fakulta lesnická a dřevařská

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Tomáš Klenner

Dřevařství

Podnikání ve dřevozpracujícím a nábytkářském průmyslu

Název práce

Laserová technologie a vliv výkonu na změnu vybraných fyzikálních vlastností

Název anglicky

Laser technology and influence of output on the change of selected physical properties

Cíle práce

Hlavním cílem práce bude zjistit, jak změna výkonu ovlivňuje změnu vybraných fyzikálních vlastností.

Metodika

1. Literární rešerše na dané téma (červenec – září 2020).
2. Stanovení hodnocených parametrů (bude probíhat v průběhu tvorby literární rešerše a parametry budou stanoveny postupně: srpen – listopad 2020).
3. Samotné zjištění parametrů a jejich zpracování (měření parametrů, jejich změny a částečné vyhodnocení proběhne v průběhu prosince 2020 a ledna 2021).
4. Vyhodnocení výsledků (první čtvrtletí roku 2021).
5. Závěr a diskuse + odevzdání (březen nebo duben 2021).

Doporučený rozsah práce

min 30 stran

Klíčová slova

Laser, obrábění, řezný výkon

Doporučené zdroje informací

Barnekov, V. G.; McMillin, C. W.; Huber, H. A. Factors influencing laser cutting of wood. *Forest Products Journal*, 36 (1) (1986), pp. 55-58

Csanády, E. et al.; *Quality of Machined Wood Surfaces*; Springer 2015; 978-3-319-22418-3

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

Powell, J. *CO2 Laser Cutting*. 1993 Springer London (UK). ISBN 978-1-4471-3386-5

Szymani, R.; Dickinson, F. E. Recent developments in wood machining process: novel cutting techniques. *Wood Science and Technology*, 9 (1975), pp. 113-128

Předběžný termín obhajoby

2020/21 LS – FLD

Vedoucí práce

Ing. Miroslav Sedlecký, Ph.D.

Garantující pracoviště

Katedra zpracování dřeva a biomateriálů

Elektronicky schváleno dne 13. 7. 2020

Ing. Radek Rinn

Vedoucí ústavu

Elektronicky schváleno dne 21. 10. 2020

prof. Ing. Róbert Marušák, PhD.

Děkan

V Praze dne 23. 03. 2021

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma **Laserová technologie a vliv výkonu na změnu vybraných fyzikálních vlastností** vypracoval samostatně pod vedením Ing. Miroslava Sedleckého Ph.D. a použil jen prameny, které uvádím v seznamu použitých zdrojů.

Jsem si vědom, že zveřejněním bakalářské práce souhlasím s jejím zveřejněním dle zákona č. 111/1998 Sb. O vysokých školách v platném znění, a to bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Praze dne:

Podpis autora

Poděkování

Touto formou bych chtěl poděkovat svému vedoucímu bakalářské práce Ing. Miroslavu Sedleckému, Ph.D. za podnětné připomínky, odbornou pomoc a cenné rady při zpracování mé bakalářské práce.

V neposlední řadě bych chtěl poděkovat také své rodině a přátelům za podporu, kterou mi během studia na škole poskytli.

Abstrakt

CO₂ laserová centra mají v dnešní době uplatnění v řezání a gravírování do nejrůznějších typů materiálů jako jsou například plasty, kovy, textil, ale také sklo, dřevo a mnoho dalších materiálů. Laserová zařízení zazívají v této době veliký rozmach napříč všemi směry uplatnění na trhu a díky tomu si získávají svoji oblibu.

Tato bakalářská práce je zaměřena na metodu gravírování pomocí CO₂ laserového centra, které je umístěné v rukodílnách Dřevařského pavilónu Fakulty lesnické a dřevařské.

Gravírování se provádělo do březové překližky, kdy se postupně měnily hodnoty výkonu a rychlosti gravírování na daném laserovém centru, následně se měřily a vyhodnocovaly fyzikální vlastnosti barvy a lesku.

Práce je rozdělena na teoretickou a praktickou část. V teoretické části se práce zaměřuje na nekonvenční metody obrábění dřeva, historii a vývoj laseru, princip fungování laseru, popisem použitého kompozitního materiálu a způsoby měření barvy i lesku. Praktická část práce se věnuje přípravě zkušebních vzorků jejich výrobou a následným vyhodnocováním výsledků. Při gravírování březové překližky tloušťky 5 mm se měnil výkon a rychlost gravírování na zařízení, kdy výkon byl zadáván do softwaru od 10 W až po 100 W, přitom se rychlost gravírování zvyšovala od 50 mm.s⁻¹ do 1000 mm.s⁻¹. Rychlosti gravírování se vždy zvyšovaly o 50 mm.s⁻¹. Zkušební pole na překližované desce měly stanovené rozměry 30 x 30 mm. Bylo tedy 10 finálních desek, z nichž na každé bylo 20 gravírovaných polí. Výkon 10 W nebylo možné zkoumat z důvodu slabého výkonu stroje. U výkonu 20 W se dalo měřit pouze prvních pět rychlostí tedy od 50 mm.s⁻¹ až po 250 mm.s⁻¹. U všech měření se potvrdil statisticky významný rozdíl, takže jak vliv rychlosti, tak i vliv výkonu na barvu i lesk mají statistický význam. Se zvyšující se rychlostí nám parametry barvy i lesku stoupají. Se zvyšujícím se výkonem pro barvu parametr L* klesá a parametry a*, b* stoupají. Při zvyšování výkonu hodnoty lesku klesají.

Klíčová slova

Laser, obrábění, rezný výkon

Abstract

Nowadays, CO₂ laser centres are used for cutting and engraving various types of materials such as plastics, metals, textiles, as well as glass, wood and many other materials. There has recently been a great expansion in the use of laser equipment across all market applications and it is therefore gaining popularity.

This bachelor thesis is focused on the method of engraving using the CO₂ laser centre located in the handicraft workshop of the Woodworking Pavilion of the Faculty of Forestry and Wood Technology.

Birch plywood was engraved whilst gradually changing the power and speed on the given laser centre, subsequently the physical properties of colour and gloss were measured and assessed.

The thesis is divided into a theoretical and a practical part. In the theoretical part, the thesis focuses on unconventional methods of woodworking, the history and development of the laser, the principle of how a laser works, a description of the composite material used and the methods for measuring colour and gloss.

The thesis' practical part focuses on preparing the test samples through their production and the subsequent evaluation of the results. When engraving 5 mm birch plywood, the equipment's power and speed were changed. The power rating entered into the software ranged from 10 W to 100 W, while the engraving speed was increased from 50 mm.s⁻¹ to 1000 mm.s⁻¹. The engraving speed was increased by increments of 50 mm.s⁻¹. The specified dimensions of the test field on the plywood board were 30 x 30 mm. Thus, there were 10 final boards, each with 20 engraved fields. The poor performance of the machine meant the 10 W power level could not be examined. At 20 W, only the first five speeds could be measured, i.e. from 50 mm.s⁻¹ to 250 mm.s⁻¹. All the measurements confirmed a statistically significant difference, i.e. both the speed and the power had a statistically significant effect on colour and gloss. As the speed increases, the colour and gloss parameters increase. With increasing power for colour, the L* parameter falls and the a*, b* parameters rise. As the power increases, the gloss values decrease.

Key words

Laser, machining, cutting performance

Obsah

1.	Úvod.....	11
2.	Cíle práce	12
3.	Literární rešerše	13
3.1	Nekonvenční obrábění	13
3.2	Historie a vývoj laseru	13
3.2.1	Důležité historické milníky v oblasti laseru	16
3.3	Princip laseru.....	16
3.3.1	Obecná definice laseru.....	17
3.3.2	Absorpce	17
3.3.3	Spontánní emise.....	18
3.3.4	Stimulovaná emise.....	19
3.3.5	Základní části laseru	20
3.3.6	Využití na trhu	21
3.3.7	Typy laserů	21
3.4	Pomocný plyn.....	25
3.5	CO ₂ lasery	26
3.6	Gravírování dřeva.....	27
3.6.1	Laserové gravírky	27
3.7	Použitý materiál ke gravírování	28
3.7.1	Bříza bělokora (Betula pendula, Roth)	28
3.7.2	Výskyt břízy bělokore.....	29
3.7.3	Mikroskopická stavba	29
3.8	Kompozitní materiál.....	30
3.8.1	Definice kompozitního materiálu	30
3.8.2	Základní rozdělení kompozitních materiálů na bázi dřeva.....	30
3.8.3	Překližka (Plywood)	32
3.9	Rozhraní programu LaserCut 5.3	34
3.10	Měření barvy	35
3.10.1	Co je to barva.....	35
3.10.2	Definice barvy.....	36
3.10.3	Základní atributy barev	36
3.10.4	Barevné modely	36

3.10.5	Měření barvy pomocí systému Lab	37
3.10.6	Popis ΔE – rozdíl barev	38
3.11	Měření lesku.....	39
3.11.1	Co je to lesk	39
3.11.2	Měření lesku	39
4.	Metodika	40
4.1	Příprava zkušebních vzorků	40
4.2	Výroba vzorků.....	40
4.3	Průběh zkoušek	43
4.4	Statistické zpracování dat.....	45
5.	Výsledky	46
5.1	Výsledky měření barvy	46
5.1.1	Vliv změny rychlosti na barvu.....	46
5.1.2	Vliv změny výkonu na barvu.....	47
5.2	Výsledky měření lesku.....	47
5.2.1	Změna rychlosti na lesk	47
5.2.2	Změna výkonu na lesk	48
6.	Diskuse.....	49
6.1	Přínos pro vědu	51
6.2	Přínos pro praxi	51
7.	Závěr	52
8.	Seznam použité literatury a elektronických zdrojů.....	53
9.	Seznam příloh	56

Seznam obrázků

Obrázek 1	Schéma konstrukce maseru	14
Obrázek 2	Theodore H. Maiman a první rubínový laser	15
Obrázek 3	Princip nekoherentního a koherentního záření	17
Obrázek 4	Absorpce.....	18
Obrázek 5	Spontánní emise	19
Obrázek 6	Stimulovaná emise	19
Obrázek 7	Schéma optického rezonátoru	20
Obrázek 8	Rozdělení podílu na trhu	21

Obrázek 9 Schéma CO ₂ laseru.....	26
Obrázek 10 Menší CO ₂ laserový stroj MT3050-60	27
Obrázek 11 Výskyt břízy bělokoré v <i>Eurasii</i>	29
Obrázek 12 Příčný řez břízy bělokoré	30
Obrázek 13 Materiály na bázi dřeva	31
Obrázek 14 Vzhled truhlářské překližky	32
Obrázek 15 Blokové schéma výroby překližek	33
Obrázek 16 Rozhraní programu LaserCut 5.3	34
Obrázek 17 Nastavení hladin v programu LaserCut 5.3.....	35
Obrázek 18 Barevné modely RGB a CMYK.....	37
Obrázek 19 CIE L*a*b* barevný prostor	37
Obrázek 20 Úhly při měření lesku	40
Obrázek 21 Zkušební pole s výkonem 50 W a rychlost gravírování od 50 mm.s ⁻¹ do 1000 mm.s ⁻¹	41
Obrázek 22 Gravírovací a řezací laser Numco C 1290	41
Obrázek 23 Výkon 20 W a rychlost gravírování od 50 mm.s ⁻¹ do 250 mm.s ⁻¹	42
Obrázek 24 Formátovací pila SCM si 400 Class.....	43
Obrázek 25 Měření barvy spektrofotometrem Konica Minolta CM-600d.....	43
Obrázek 26 Měření lesku pomocí leskoměru KSJ MG268-F2.....	44
Obrázek 27 Výsledek zvýšení výkonu na změnu barvy	46
Obrázek 28 Výsledek zvýšení rychlosti na změnu barvy	47
Obrázek 29 Výsledek zvýšení rychlosti na změnu lesku.....	48
Obrázek 30 Výsledek zvýšení výkonu na změnu lesku.....	49

Seznam tabulek

Tabulka 1 Rozdělení laserů (Maňková, 2000).....	23
Tabulka 2 Hodnocení odchylek ΔE (Zmeškal et al., 2002).....	39
Tabulka 3 Parametry výkonů a rychlostí při gravírování	42
Tabulka 4 Kategorizace lesku (Zeman, 2018)	45
Tabulka 5 Technické parametry laserového centra Numco C 1290.....	57

1. Úvod

Pojem laser dnes většina lidí dokáže popsat jako červenou tečku z ukazovátka, zelený svítící meč nebo modrý paprsek na hudebním koncertu oblíbené kapely.

Historicky bylo ovládnutí této technologie zcela přelomové a mělo zásadní vliv na vývoji lidstva. Za posledních více než 50 let se laser rozšířil do všech lidských činností a dá se považovat za běžného pomocníka, aniž bychom si to uvědomovali a zamýšleli se nad tím. O realizaci myšlenky, kterou popsal Albert Einstein v roce 1917 usilovalo mnoho vědců po celém světě několik desítek let. Až v roce 1960 se tato myšlenka podařila zrealizovat, i když z počátku nebylo zcela jasné využití tohoto prototypu a jak může posloužit lidem. Poměrně rychle se i dalším skupinám vědců dařilo sestavovat vlastní verze laserů. Začali tak vznikat nové typy laseru, které se zdokonalují do dnešní podoby. Koncem 60. let 20. století bylo jasné, že své místo najde především v průmyslu a v 80. letech se stával součástí velkých strojírenských a automobilových firem. Ve strojírenských firmách se laser používá nejčastěji řezání, vrtání, gravírování (značení), popř. svařování.

Dnešní rozvoj těchto technologií umožňuje i menším firmám nebo fyzickým osobám vyrábět pomocí laserových zařízení výrobky složitých tvarů a být díky tomu konkurenceschopní vůči větším firmám v daném oboru.

V dřevozpracujícím průmyslu zastává technologie laseru důležitou nekonvenční metodu obrábění, kde se nedá využít standartního konvenční obrábění. Hlavně při řezání složitých geometrických tvarů a gravírování do nábytkářských dílců. Beztřísková metoda obrábění má velké množství výhod, jako například bezkontaktní obrábění, nulový odpad (hlavně třísek, hoblin a prachu) a žádnou deformaci materiálu.

Gravírování bych se chtěl později věnovat i nadále při mém zaměstnání. A proto jsem zvolil práci na dané téma, které je stále aktuální a technologie v tomto směru se dají posouvat.

2. Cíle práce

Hlavním cílem této bakalářské práce bylo zjištění změn fyzikálních vlastností, tj. barvy a lesku na vybraném druhu materiálu březová překližka při změně výkonu a rychlosti při obrábění na laserovém stroji.

K implementaci hlavního cíle byly potřebné vedlejší cíle, které jsou:

- popsat nekonvenční metodu obrábění
- vylíčit historii, princip a součásti laseru,
- charakterizovat metodu gravírování,
- popsat použitý materiál.

3. Literární rešerše

3.1 Nekonvenční obrábění

Pod souhrnném označení “Nekonvenční metody obrábění“ můžeme zahrnout obrábění, které na rozdíl od klasických technologií třískového obrábění, v převážné míře nevyužívají mechanické práce pro úběr materiálu. Tyto metody jsou založeny na využití některého fyzikálního nebo fyzikálně-chemického principu k úběru materiálu, za vesměs bezsilového působení na obráběný materiál. (Mádl, 1990)

Uplatňují se zejména při obrábění těžkoobrobitelných, tvarově složitých součástek, z nichž některé by nebylo ani možno klasickými metodami vyrobit. Jejich charakteristickým znakem je, že úběr materiálu nezávisí na jeho mechanických vlastnostech, při odebírání materiálu nepůsobí na obrobek žádná síla a až na výjimky se nemění vlastnosti obrobené plochy. (Sova, 1989; Csanády et al., 2015)

Jak popisuje Mádl (1990) na základě fyzikální podstaty oddělování třísky dělíme nekonvenční metody obrábění na:

1. Elektrické metody (elektrojiskrové, elektrokontaktní, anodomechanický)
2. Chemické metody
3. Elektro-chemické metody
4. Ultrazvukové metody
5. Paprskové metody (elektronové, plazmové, laserové, paserové – vodním paprskem)

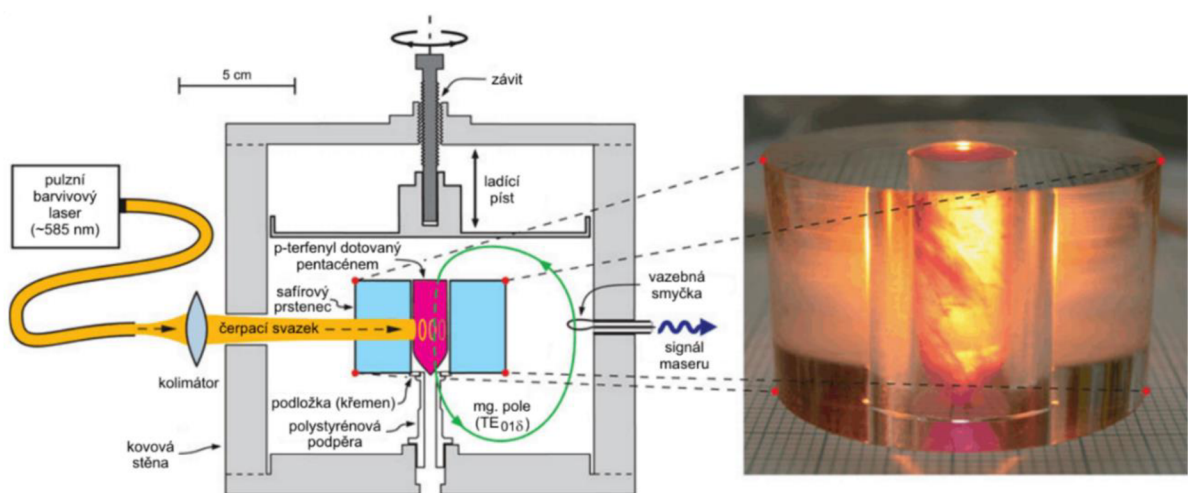
V této bakalářské práci jsem se zaměřil pouze na jednu z výše uvedených nekonvenčních metod, a to metodu laserovým obrábění.

3.2 Historie a vývoj laseru

Laser – běžně užívané slovo, avšak originálně jde o zkratku z anglického slova „Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation“, což se může přeložit jako „Zesilovač světla pomocí vynucené emise záření“. Jde o elektricky optický přístroj, který vydává koherentní záření. Jinými slovy vytváří a následně vyzařuje světelný paprsek o vysoké intenzitě. (Badonyia, 2018)

Einstein již v roce 1917 popsal teorii stimulované emise. Předpověděl možnost fyzikálního děje, při kterém energeticky stimulované, urychlené elektrony mohou vyzařovat elektromagnetické paprsky určité vlnové délky. (Javůrek, 1995)

Před vynalezením laseru byl přístroj zvaný Maser (Obr. 1), který na rozdíl od laseru generoval mikrovlnné záření, ale pracoval na stejném principu stimulované emise záření. Maser v roce 1953 Charles H. Townes na Kolumbijské univerzitě ve Spojených státech Amerických. Název MASER vznikl zkratkou anglického názvu „Microwave Amplification by Stimulated Emission of Radiation“.



Obrázek 1 Schéma konstrukce maseru

https://www.aldebaran.cz/bulletin/2012_37_mas.php (23.03.2022)

V roce 1960 Theodore H. Maiman (Obr. 2) publikoval článek o generaci záření ve viditelné oblasti spektra v rubínové tyči. Byl vynalezen první rubínový laser. V téže roce (1960) A. Javan, W. R. Bennett a D. R. Herriott demonstrovali laserovou akci ve směsi plynů hélia a neonu buzených elektrickým výbojem. Od šedesátých let 20 století začal bouřlivý vývoj různých typů laserů spolu s vývojem laserové technologie. První polovodičový laser byl sestaven již v r. 1962. Dneškem jsou známy tisíce aktivních prostředí. (Vrbová et al., 1998)



Obrázek 2 Theodore H. Maiman a první rubínový laser
www.eli-beams.eu (26.02.2021)

V bývalém Československu se lasery objevily poměrně brzy. Podle časopisu Radar (2/1964) byl u nás první kvantový generátor rádiového záření, tedy maser, spuštěn začátkem roku 1962. Zkonstruoval jej kolektiv vědeckých pracovníků z brněnské Vojenské akademie A. Zatopeckého. (Sedláček, 1982)

Kořán (2011) stanovil jako první průmyslové využití laserového zařízení, které se konalo již v roce 1965. Kdy firma Western Electric Company postavila první funkční laserový systém, využívaný pro vrtání diamantových raznic. Později 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.

O několik let později vstoupil na scénu Boeing. Tři vědci napsali článek, který stanovil, že s výzkumem a vývojem lze laserový plynový paprsek použít k řezání tvrdých materiálů, jako je titan a keramika.

Podle Kvietková (2015) koncem 20. století došlo ke značnému zjednodušení řezacího procesu a ke zvýšení výkonů laserů. V konstrukcích řezacích laserů mnoho výrobců začalo přidávat lineární motory s možností naprogramování pohybů laseru ve třech základních osách (x, y, z).

3.2.1 Důležité historické milníky v oblasti laseru

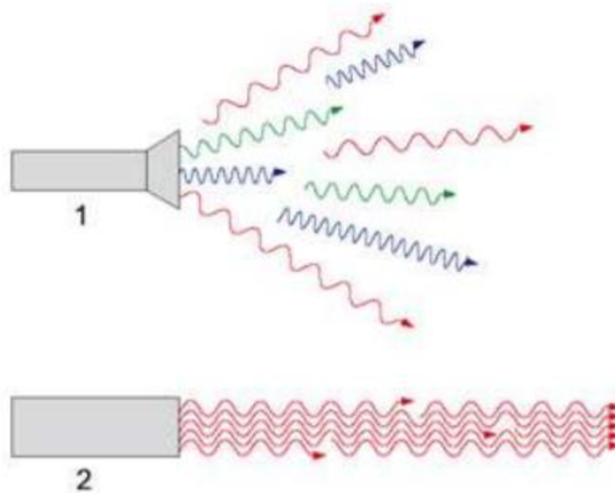
V této podkapitole jsou uvedeny nejdůležitější milníky v historii laseru, které se řadí mezi zásadní v oblasti laserového vývoje. Především A. Einstein díky jeho teorii stimulované emise záření položil důležité podklady dalším vědcům, kteří o několik desítek let byli schopni vytvořit rubínový laser.

- 1917 A. Einstein pochopil teorii Maxe Plancka a objevil zákon o tzv. stimulované emise záření. V roce 1921 za tento objev obdržel Nobelovu cenu.
- 1953 Charles H. Townes a jeho studenti sestavili první funkční maser na Kolumbijské univerzitě.
- 16. 05. 1960 První funkční rubínový laser byl navržen a spuštěn americkým fyzikem a inženýrem Theodorem H. Maimanem.
- 1961 Rok a půl po prvním vynalezeném laseru na světě byla v Columbia-Presbyterian Hospital na Manhattanu provedena unikátní operace oka, během které byl pomocí laseru odstraněn nádor ze sítnice.
- 1964 Vznikl první CO₂ laser, který sestrojil C. Kumar N. Patel v Bellových laboratořích.
- 1965 První zarážení laseru ve výrobním odvětví firmou Western Electric Company.

3.3 Princip laseru

Obrábění a opracování materiálu je založeno na přeměně světelné energie na tepelnou energii. Děje se tak při styku (interakci) paprsku laseru s materiálem obrobku, kdy se materiál obrobku vlivem vzniklé vysoké teploty ohřívá, taje a odpařuje. (Řasa et al., 2005)

Sadílek (2009) popisuje běžné světelné záření jako vlnění, které se šíří ve všech směrech (Obr. 3). A při jeho zesílení se vytvoří úzký svazek fotonů. Laserové světlo vzniká v prostředí určitého stimulujícího elektromagnetického záření potlačením spontánní emise na úkor emise stimulované. Spontánní (samovolná) emise záření vzniká, když atomy vybuzené s energetickou hladinou E_2 mají tendenci zaujmout hladinu s nižší energií E_1 , a přitom emitují kvantum světelného záření.



Obrázek 3 Princip nekoherentního a koherentního záření
 www.trumpf.com (29.03.2021)

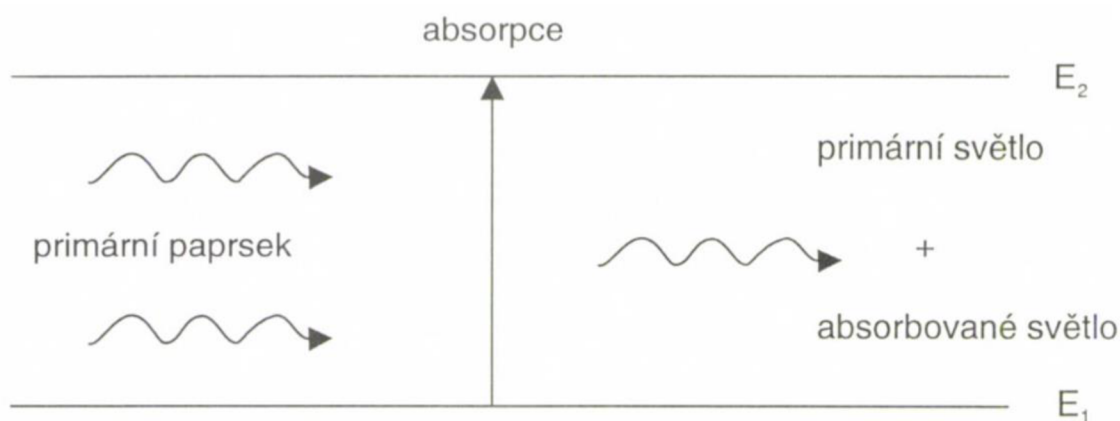
3.3.1 Obecná definice laseru

Obecně lze laser definovat jako přeměnu světelné energie v tepelnou. Laser se skládá z optického rezonátoru a budícího zdroje. Aktivní látka postupuje z budícího zdroje jako monochromatické koherentní záření světelné délky do optického rezonátoru, kde dojde k jejímu nahromadění a utvoří se tak usměrněné záření. Vlastnosti laserového paprsku pak umožňují uskutečnit úzce lokalizovaný ohřev řezaného materiálu na velmi vysoké teploty, které vyvolávají jeho rozrušení. Dřevo a materiály na jeho bázi se v oblasti působení přeměňují na zahřáté plyny. (Eltawahni et al., 2016)

3.3.2 Absorpce

Je zářivý kvantový přechod z nižší energetické hladiny na vyšší, který je podmíněn interakcí částice s elektromagnetickým polem (Obr. 4). Charakter tohoto přechodu lze klasifikovat podobně jako stimulovanou emisi. (Blabla, 1968)

Každý jednotlivý přechod je charakterizován, společně s frekvencí přechodu, distribucí intenzit přechodu. Intenzita přechodu závisí na pravděpodobnosti jednotlivých přechodů a na počtu atomových systémů v různých stacionárních stavech.



Obrázek 4 Absorpce
(Javůrek, 1995)

3.3.3 Spontánní emise

Negativně nabité elektrony obíhají po kruhových drahách atomového jádra vysokou rychlostí a tvoří elektricky nabitý okruh. Tento okruh má přesně stanovenou energetickou úroveň, kterou je tento okruh spojen s atomovým jádrem. Elektrony mohou vytvářet mnoho kruhů kolem atomového jádra a jejich energetická úroveň se může lišit. Vnější okruhy jsou slaběji vázány na jádro atomu než okruhy vnitřní. (Javůrek, 1995)

Nechť je dáno prostředí s částicemi, které mohou být ve dvou energetických stavech E_1 a E_2 . Předpokládáme, že E_1 je energetická hladina základního stavu a E_2 hladina vybuzeného stavu. Nechť na počátku je částice prostředí (atom, molekula) na hladině 2 a nechť $E_2 > E_1$. Za tohoto stavu bude existovat konečná pravděpodobnost, že atom z hladiny 2 přejde na hladinu 1 s tím, že tento přechod bude doprovázen emisí rozdílové energie $E_2 - E_1$. Má-li uvolněná energie podobu elektromagnetické vlny, nazývá se proces přechodu spontánní emise (Obr. 5). (Míšek et al., 1988)

Při přechodu na nižší energetickou hladinu se pak uvolní energie, která odpovídá rozdílu energetických hladin podle vztahu:

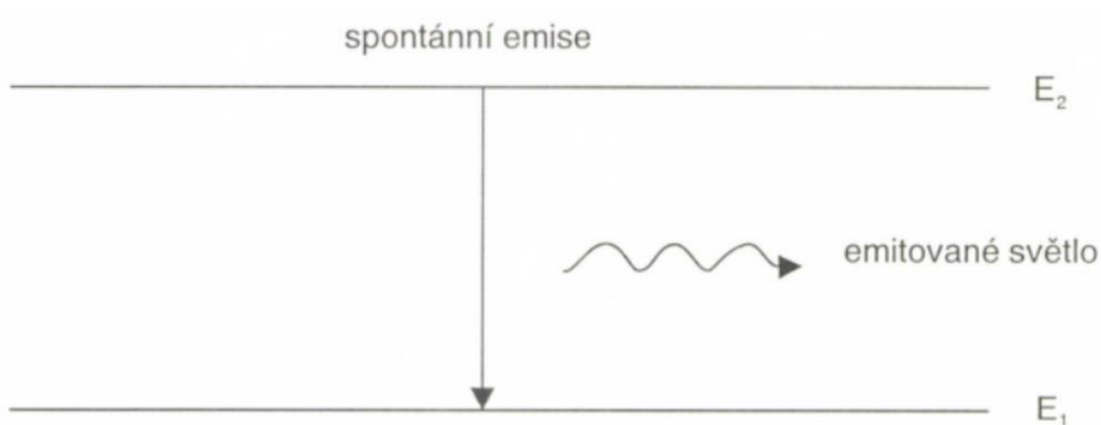
$$E = h * \nu = E_2 - E_1 \quad (1)$$

Kde:

E – velikost kvanta energie,

h – Planckova konstanta ($h = 6,62 * 10^{-34}$),

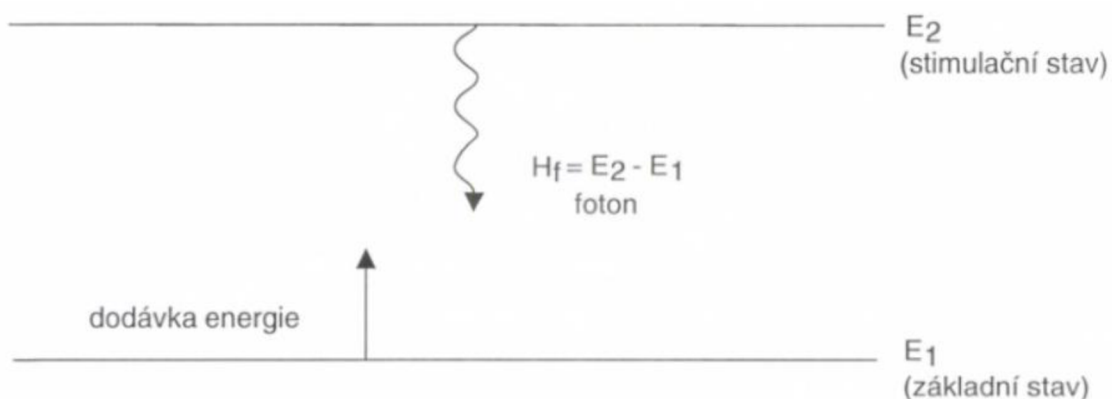
ν – frekvence záření.



Obrázek 5 Spontánní emise
(Javůrek, 1995)

3.3.4 Stimulovaná emise

Mnoho atomů má elektrony ve vzbuzeném, excitovaném stavu. Pokud se objeví foton, jehož energie přesně odpovídá energii mezi stavy elektronových okruhů atomu, vyvolá tento foton přestup elektronů z vyššího energetického stavu na stav nižší, a přitom vyzáří další foton (Obr. 6). Tento sekundární foton má ovšem stejnou energii jako foton původní a oba jsou dokonale synchronizovány. Nový foton tak může opět vyvolat emisi dalšího fotonu a tvorba fotonů pokračuje. Jeden foton tak nakonec vytvoří záplavu stejných fotonů v základní látce. (Javůrek, 1995)

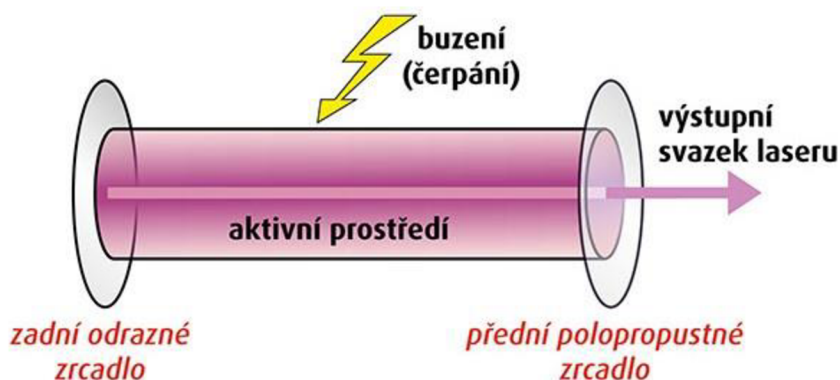


Obrázek 6 Stimulovaná emise
(Javůrek, 1995)

3.3.5 Základní části laseru

Laser se skládá ze 4 hlavních částí (Obr.7):

1. aktivní prostředí – tvoří látka, která obsahuje oddělené kvantové energetické hladiny elektronů jako například plyn, rubín, polovodič, kapalinu atp.;
2. rezonátor – převážně je tvořen dvěma zrcadly, která jsou na sebe rovnoběžné a kolmé na osu laseru. Je tvořen zadním odrazným zrcadlem a druhým polopropustným, přes který prostupuje výstupní svazek laseru;
3. buzení (čerpání) – dá se popsat jako energie, která je potřebná ke vzniku laserového paprsku, existuje několik typů buzení jako např. optické, elektrickým polem atd.;
4. laserový paprsek – je tvořen v rezonátoru, kde je aktivní prostředí a prochází přes polopropustné zrcadlo do zrcadla co je v 45°, dále přes čočku až k obráběnému materiálu.



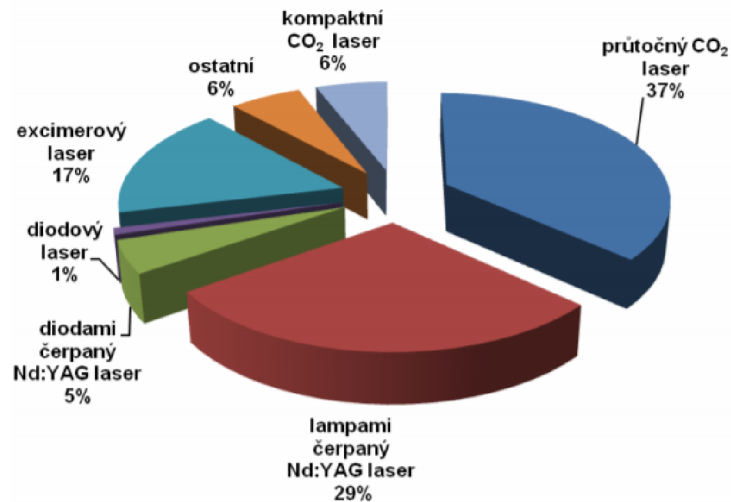
Obrázek 7 Schéma optického rezonátoru

www.mega-blog.cz (14.02.2021)

Energie potřebná k tavení nebo odpařování je u dřeva, plastů a podobných materiálů 2000 až 4000 J.cm^{-3} , u kovů $30\,000$ až $100\,000 \text{ J.cm}^{-3}$. Důležitým činitelem při obrábění materiálu je přesné zaostření svazku, vyplývající z poměrně malé hloubky ostrosti. Lze však řezat i materiály o tloušťce řádově převyšující hloubku ostrosti, jestliže se odstraňuje odpařený nebo spálený materiál dostatečně silným proudem plynu, protože dochází k mnohonásobnému odrazu paprsku od stěn spáry, takže stěny řezu mohou být téměř rovnoběžné. (Prokeš, 1978)

3.3.6 Využití na trhu

Největší procento na trhu v laserovém řezání a obrábění zaujímá průtočný CO₂ laser (Obr. 8). Je to díky velkému využití v oblasti řezacích a gravírovacích center. Mezi další možné důvody používání toho typu laseru je jejich vlnová délka, snadná údržba a jednoduchá obsluha stoje.



Obrázek 8 Rozdělení podílu na trhu
www.mmspektrum.com (07.03.2021)

Díky snadné obsluze stroje a bezpečné práci na stroji je CO₂ řezací a gravírovací centrum vhodné i pro začínající malé podniky a pro kutily, kteří se rozhodnou pracovat v tomto odvětví.

3.3.7 Typy laserů

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, popř. plazmatické. 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)

Lasery můžeme rozdělit podle několika kritérií, podle aktivního prostředí, vlnových délek optického záření, časového provozu, výkonu a mnoha dalších.

Podle skupenství aktivního prostředí:

1. pevnolátkové lasery;
2. plynové lasery;
3. kapalinové lasery;
4. polovodičové.

Podle vlnových délek:

1. infračervené (780 nm – 1 mm);
2. ultrafialové (10 nm – 360 nm);
3. rentgenové (10 nm – pm);
4. viditelné světlo (360 nm – 780 nm).

Podle časového provozu:

1. pulsní (pw) – pulsy s vysokou opakovací frekvencí;
2. kontinuální (cw) – nepřetržité generování záření;
3. impulzní (Qs) – vysoce energetické pulsy s nízkou opakovací frekvencí.

Podle výkonu se lasery dělí do dvou základních skupin. Nízko výkonné, od několika 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)

Tabulka 1 Rozdělení laserů (Maňková, 2000)

Druh laseru	Aktivní látka	Vlnová délka [μm]	Typ paprsku	Výkon laseru [W]	Oblast použití
Pevnolátkové					
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	
Plynové					
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	
Kapalinové					
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

Níže se seznámíme se třemi nejrozšířenějšími typy laseru: s pevnolátkovými, plynovými a kapalinovými.

Pevnolátkové

Jejich aktivní prostředí tvoří pevné krystalické, případně amorfní látky dopované příměsí vhodných iontů. K vlastnímu optickému zesílení dochází na elektronových přechodech iontů příměsí. Krystaly musí být pevně orientované z důvodu jejich anizotropie. Jako příměsí se nejčastěji používá iontů vzácných zemin. Ozáření se provádí xenonovou výbojkou. Jako aktivní prostředí se používá například rubínový krystal nebo sklo, ale pro účely svařování a řezání zejména ittrito – hlinitý granát (YAG). S výjimkou YAG laseru dosahují tato zařízení poměrně malých výkonů, a proto se většinou pro technologie svařování a řezání nepoužívají. (Kovařík et al., 2000)

Plynové lasery

U těchto laserů je aktivní prostředí tvořeno plynem nebo směsí plynů. Jako buzení je nejčastěji používán doutnavý výboj, elektronový paprsek nebo adiabatická expanze. Běžně používané je buzení doutnavým výbojem. Ten lze realizovat v uzavřené trubici na koncích opatřené elektrodami. Připojíme-li na tyto elektrody dostatečně vysoké napětí, dojde v prostoru trubice k ionizaci a vytvoří se sloupec ionizovaného plynu – doutnavý výboj. Pro doutnavý výboj je charakteristické rozdělení elektronů podle energie, přibližně podle Maxwell – Boltzmannovy distribuce. (Kovařík et al., 2000)

Zatímco lasery s pevnou fází pracují především v pulzním provozu, využívá se plynových laserů zejména jako zdrojů kontinuálního stimulovaného záření v daleko širším spektrálním oboru a na relativně mnohem větším počtu vlnových délek. Proces stimulované emise v plynné fázi probíhá jak mezi elektronovými stavy neutrálních atomů, iontů či molekul, tak také mezi rotačně-vibračními hladinami molekulárního spektra. Poněvadž koncentrace aktivních částic v plynné fázi je podstatně menší než u pevných aktivních prostředí, jsou zisky plynových laserů na jednotku délky mnohem menší, a tedy délka trubice naplněná plynem, nezbytná pro provoz laseru, vychází podstatně větší. (Blabla et al., 1968)

Kapalinové lasery

Kapalinové lasery se svými vlastnostmi jeví v mnoha směrech perspektivnější ve srovnání s impulzovými krystalovými a skleněnými lasery. Jednou z hlavních předností takových generátorů je možnost přeladění kmitočtu záření v dostatečně širokých mezích. Lze toho poměrně jednoduše dosáhnout např. u laseru s podélným buzením změnou délky kyvety. Při zvětšování délky rezonančního objemu generátoru se mění na výstupy zesílení a energie. Přitom se změní i kmitočet záření. Optická délka kyvety se může měnit plynule, např. v důsledku posuvu jednoho z okének kyvety pod vlivem hydrostatického tlaku, vyvolaného pístem v pomocné nádrži, spojené s kyvetou. (Katys a Jiráček 1978)

Organická barviva tvoří velkou část aktivního prostředí Kapalinových laserů. Aktivním prostředím jsou ionty organických barviv v různých kapalných rozpouštědlech, jako například voda, etylalkohol, metylalkohol, toluen, benzen, aceton, glycerin a další. Organická barviva jsou komplexy organických sloučenin majících široká absorpční pásma ve viditelné a blízké ultrafialové oblasti spektra. chemická struktura organických

barviv je charakterizována kombinací několika benzenových, pyridinových, azinových, pyrolových a dalších chemických organických jader. (Vrbová et al., 1998)

3.4 Pomocný plyn

Může být buď aktivní nebo také neaktivní plyn, který je do oblasti vypalované zóny přiváděn speciálními tryskami. Jako aktivní plyn může být kyslík, který v oblasti vytváří exotermní reakci, což zlepšuje účinnost laseru, ale vede ke vzniku oxidovaného okraje. Neaktivní plyn, tedy inertní plyn, představuje nejčastěji dusík, helium, argon a CO₂. Snižují řeznou rychlost, ale díky tomu poskytují vynikající kvalitu hran.

Účel pomocného plynu:

- odstranit odpařený nebo spálený materiál z řezané nebo gravírované spáry, a chránit čočku před poškozením, popřípadě znečištěním,
- snížení rizika na pracovišti kvůli zamezení tvorby vyšších teplot při obrábění na stroji,
- použité pomocné plyny ovlivňují hloubku tepelně ovlivněné oblasti,
- Lisičan (1988) stanovil, že pomocný plyn slouží k ochlazení místa fokusovaného svazku, aby se tavicí účinky nešířily do šířky řezné spáry, zamezí se také ztracení výkonu laseru a předejde se pálení materiálu, což je důležité pro řezání hlavně organických materiálů a materiálů na bázi dřeva s nízkou hranicí hořlavosti jako je například dřevo.

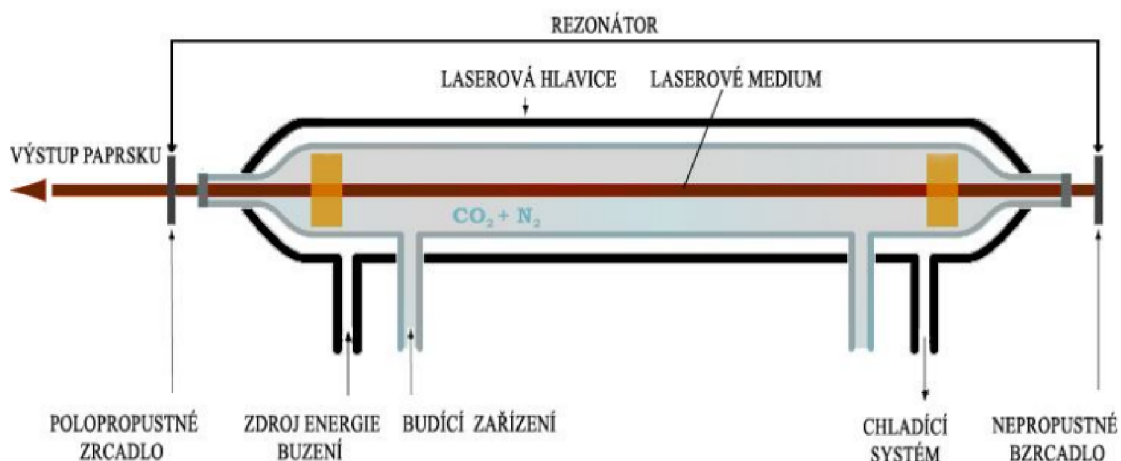
3.5 CO₂ lasery

Tyto lasery jsou v současné době nejvýkonnější, a proto jsou také nejčastěji používány pro svařování, řezání, tepelné zpracování a podobné technologie. Výkony prvních CO₂ laserů se pohybovaly okolo 1 VA. Pracují bez světelných efektů, neboť jejich záření se pohybuje v oblasti infračerveného záření. (Kovařík et al., 2000; Powell, 1993)

Generuje stimulované záření o vlnové délce 10,6 μm nebo 9,6 μm s účinností až 25 %. Záření je usměrňováno odrazovými zrcadli s vysoce precizními naváděcími systémy, což zaručuje stálou kvalitu. (Elektro: odborný časopis pro elektrotechniku, 2005)

Jeho aktivní prostředí je tvořeno směsí plynů, nejčastěji oxidu uhličitého, dusíku a helia v poměru 1:5:20 a tlaku 27 mbar, přičemž dusík a helium se v praxi nejvíce osvědčily pro zvýšení efektivity tvorby laserového paprsku.

Původně byla používána kovová zrcadla, která byla pozlacena pro zmenšení vazebních ztrát. V dnešních modelech jsou tato zrcadla nahrazena polopropustnými zrcadly z germania, nebo arsenidu galia s napařenými reflexními a antireflexními vrstvami. Za běžných podmínek dostáváme z 1 m trubice až 50 VA výkonu. Také účinnost těchto laserů 15 % až 20 % je velmi dobrá. (Kovařík et al., 2000)



Obrázek 9 Schéma CO₂ laseru

http://digilib.k.utb.cz/bitstream/handle/10563/28664/chud%FD_2014_dp.pdf?sequence=1 (13.03.2022)

3.6 Gravírování dřeva

Laserové gravírování se používá také při obrábění organických materiálů, včetně dřeva. Metoda gravírování může být použita zejména k reklamním, dekorativním a informačním účelům. Dřevo díky svému přírodnímu vzhledu výborně plní svou estetickou vlastnost a hodí se tedy pro všechny účely gravírování.

Knotek (2007) uvádí způsob gravírování jako technologii umožňující zdobit, nesmazatelně označovat nebo vyrývat stopy do nejrůznějších předmětů a výrobků. Jedná se o princip nekonvenčního odebrání materiálu v řádu mikrometrů.

Gravírování se používá pro vytváření jednoduchých i velmi složitých reliéfů, především do kalených ocelí (např. do forem pro stříkání plastů, zápustek apod.), keramických materiálů, dřeva, gumy aj. Podstatou metody je odpaření materiálu v místě, kde působí paprsek laseru. Pro gravírování do kovových a keramických materiálů se používají především Nd:YAG lasery, pro gravírování do dřeva a gumy se používají CO₂ lasery. (Řasa et al., 2005; Barnekov et al., 1986)

3.6.1 Laserové gravírky

Laserové gravírky patří mezi ty nejmodernější. Nejpoužívanější je druh laseru CO₂ (Obr. 10), který gravíruje organické materiály, jako jsou dřevo, kůže, sklo a plast. Výsledkem je přesný a trvalý popis, odstranitelný pouze hrubou silou. Využití laserové gravírky je oblíbené v reklamě při vytváření loga nebo názvu na různé předměty ze dřeva, gumy, skla, koženky a kovu jako jsou například přívěsky, zapalovače, různé stojánky, dřevěná prkénka a tácy. (Anonym, 2020)



Obrázek 10 Menší CO₂ laserový stroj MT3050-60
www.cnc.inshop.cz (13.04.2021) Výrobní postup gravírky

Výrobní postup laserového gravírování je prakticky totožný s prací na kreslicím nebo řezacím plotru. Předlohy pro gravírování musí být dodány v běžných grafických formátech a grafika musí být zpracována ve vektorových křivkách. Z počítače je potom digitálně zpracovaná grafika odeslaná na periférii stejným způsobem jako k tisku, ale místo ovladače digitální tiskárny nebo řezacího plotru převezme zasláná data driver laserové gravírky a potom už její obsluha běžným způsobem ovládá spouštění jednotlivých pracovních cyklů. Nakládání a vykládání gravírovaných předmětů probíhá ručně, takže po vyjmutí předmětu s vypálenou grafikou následuje vložení dalšího, uzavření pracovního prostoru laseru, nebo zasunutí pracovní plochy do ochranné komory a může být spuštěn další pracovní cyklus gravírování. (Reklamní produkce: časopis pro pracovníky reklamních agentur s hlavním zaměřením na tiskovou produkci, 2009)

3.7 Použitý materiál ke gravírování

Pro svou studii jsem si vybral překližovanou desku z břízy bělokoré. V následujících podkapitolách přiblížím břízu bělokorou (*Betula pendula*, Roth) z pohledu charakteristiky a výskytu této dřeviny.

3.7.1 Bříza bělokorá (*Betula pendula*, Roth)

Listnatý strom s nepravidelně utvářenou korunou, který dosahuje výšky až 30 metrů. Kmen břízy bělokoré může dosáhnout průměru až 75 centimetrů. Větve nižších řádů jsou velmi jemné a tedy převísle, tvoří velké množství výmladků. Snadno rozpoznatelná je dle bílého kmenu, na jehož bázi se ve starším věku vytváří silně rozpukaná černá borka. Typické jsou i dvakrát pilovité listy, 3–6 centimetrů dlouhé listy kosníkovitého tvaru. (Úřadníček et al., 2009)

Tato dřevina má značný význam v kolářství, protože pro svou ohebnost a houževnatost nahradí téměř všechny listnáče. Je též hledanou surovinou pro výrobu okrasných dých a překližek, snadno se obrábí řezbou a soustružením a je též dobrým palivem.

Na kvalitu stanoviště se jedná o dřevinu velice nenáročnou. Bez větších problémů snáší přímé oslunění i velmi nízké teploty. Díky své odolnosti efektivně obsazuje nová stanoviště. (Pokorný, 1990)

3.7.2 Výskyt břízy bělokoré

Výskyt břízy bělokoré se rozprostírá v celé Eurasii (Obr. 11). S činností člověka a jeho hospodařením v lesích se zastoupení břízy zvýšilo. (Úradníček, 2009)

V České republice téměř ve všech vegetačních stupních (mimo sbalp a mimo zaplavená území luhů), především však na místech nezastíněných. Maximální nadmořská výška výskytu na území České republiky je okolo 900 – 1150 m n. m., horní hranice rozšíření: Šumava 900 – 1000 m, Krušné hory 950 – 980 m, Krkonoše 900 – 1000 m, Hrubý Jeseník 1100 m, Moravskoslezské Beskydy (Lysá hora) 1150 m n. m. (Musil a Möllerová, 2005)



Obrázek 11 Výskyt břízy bělokoré v Eurasii
www.euforgen.org (11.04.2021)

3.7.3 Mikroskopická stavba

Cévy ojedinělé nebo po 2–3 zřídka až po 7 v radiálních řadách, 32–130 μ široké, s mřížovitou perforací, s četnými drobnými dvojtečkami na tangenciálních stěnách; dvojtečky mají skulinovité póry, křížící se s póry sousední cévy. Radiální stěny cév mají dvojtečky hlavně jen na plochách styčných s dřevným paprskem. Dřevové paprsky jedno- až čtyř- vrstvé, z buněk poměrně tlustostěnných 2-3 x 6-14 μ . Librifonní vlákna mají řídké, drobounké tečky. Parenchym dřevní velmi sporý, z buněk podobných buňkám dřevových paprsků a obsahujících značně tříslovin. (Kavina, 1932)



Obrázek 12 Příčný řez břízy bělokoré

http://r.fld.czu.cz/vyzkum/multimedia/atlas_drev/index1308.html?sekce=atlas&drevina=BRIZA
(14.04.2021)

3.8 Kompozitní materiál

3.8.1 Definice kompozitního materiálu

Pod pojmem kompozitní materiály (kompozity) můžeme rozumět heterogenní materiály složené ze dvou nebo více fází, které se vzájemně výrazně liší svými mechanickými, fyzikálními a chemickými vlastnostmi (Obr. 13). Obvykle je jedna fáze v kompozitu spojitá, takovou fázi nazýváme matrice. Fází, která je nespojitá, nazýváme výztuž. V porovnání s matricí má výztuž obvykle výrazně lepší mechanické vlastnosti (modul pružnosti, pevnost, tvrdost atd.) a hlavním cílem vyztužení je tedy zlepšení uvedených vlastností. Nejznámějším přírodním kompozitem je bezesporu dřevo složené z celulózových vláken uložených v ligninu. (Kratochvíl et al., 2005; Davim, 2011)

3.8.2 Základní rozdělení kompozitních materiálů na bázi dřeva

Níže jsou popsány základní rozdělení kompozitních materiálů podle Svoboda a Hrázský, ©2013:

1. Překližované materiály

- dýhy (loupané, krájené, řezané),
- překližky (truhlářské, stavební, letecké),
- spárovky,
- laťovky,
- lepené lamelové dřevo,

- různé výlisky.

2. Aglomerované materiály

- DTD,
- OSB desky,
- DVD, MDF.

3. Aglomerované materiály s přídavkem nedřevěných materiálů

- cementotřískové desky,
- sádrovláknité a cementovláknité desky,
- materiály s přídavkem gumy a kaučuku.

4. Modifikované dřevo – dřevo speciálně upravené pomocí:

- teploty,
- tlaku – lisováním,
- chemicky



Obrázek 13 Materiály na bázi dřeva
<https://drevene-materialy.fld.czu.cz/uvod> (12.02.2022)

Dále se pro výrobu kompozitních materiálů mohou být použité speciální materiály na bázi dřeva jako je například proutí, bambus, rákos nebo také konopí.

3.8.3 Překližka (Plywood)

Překližované desky si na rozdíl od třískových a vláknitých desek zachovávají vzhled přírodního dřeva. Výroba dých a překližovaných desek zaznamenává značný technický a technologický vývoj. Nedostatek dřevní suroviny, její snižující se kvalita a zejména její rostoucí cena, vedou výrobce dých a překližovaných desek k používání stále novějších a modernějších technologií a techniky, které umožňují efektivní zhodnocení při zpracování dřevní suroviny s cílem dosažení vyšších estetických vlastností dřeva. (Král a Hrázský, 1999)

Díky vzájemnému slepení tenkých velkoplošných listů ze dřeva (dých) vznikne překližka (Obr. 14). Takový materiál má odstraněny nežádoucí vlastnosti masivního dřeva, zejména není anizotropní a je výrazně sníženo jeho sesychání a také bobtnání. Při použití různých dřevin, volbou vrstev a tloušťkami jednotlivých dých, případně volbou lepidla a povrchovou úpravou lze vyrobit získat překližky různých estetických vzhledů a mechanických s nižší nebo vysokou odolností proti vlhkosti. Některé překližky jsou vyrobeny pro přímý styk s vlhkostí a jiné jsou určeny jen pro suché prostředí interiéru. (Böhm et al., 2012)



Obrázek 14 Vzhled truhlářské překližky

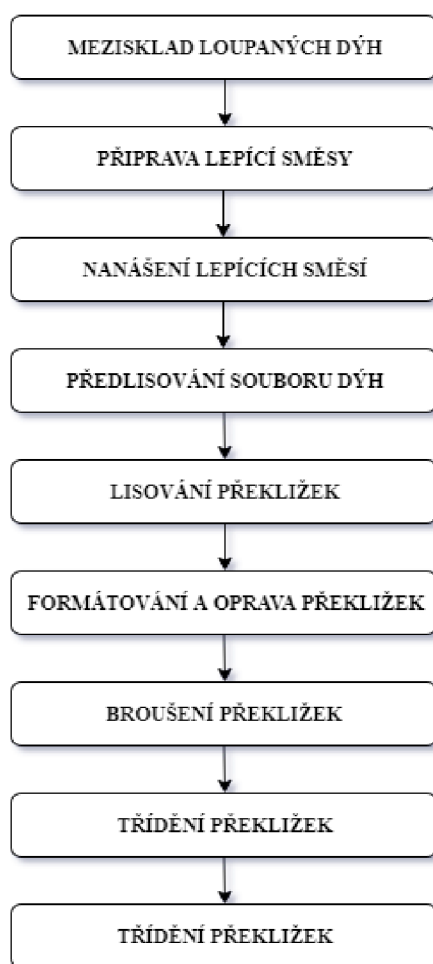
<https://drevene-materialy.fld.czu.cz/katalog/materialy> (18.04.2020)

Překližky se dělají z rovných dřev bez suků. Zpracují se veškeré dřeviny, zejména listnaté, jako: olše, bříza, buk, jilm, platan, osika, dub, kaštan, ořech, jasan, gabon, white wood, palisandr a mahagon. (Kavina, 1932)

Výroba překližek

Pro výrobu překližek se obvykle používají měkčí dřeviny s nevýraznou kresbou a dřeviny méně ceněné. Z domácích dřevin se užívá SM, BO, TP, BK, BR, OL. V minulosti se do ČR dovážela také tropická překližkárenská kulatina, především africká limba (*Terminalia superba*) a gabon – okume (*Aucoumea klaineana*). (Böhm et al., 2012)

Výroba probíhá následujícím způsobem: Po odkornění výřezů následuje jejich plastifikace a po ní loupání dýh. Vyrobené dýhy se dále upravují (suší, třídí) a pak se sesazují do požadovaných rozměrů. Po nanesení lepidla probíhá lisování, následuje formátování, broušení a třídění překližek (Obr. 15). (Beránková, 2010)



Obrázek 15 Blokové schéma výroby překližek
(Král a Hrázský, 2000)

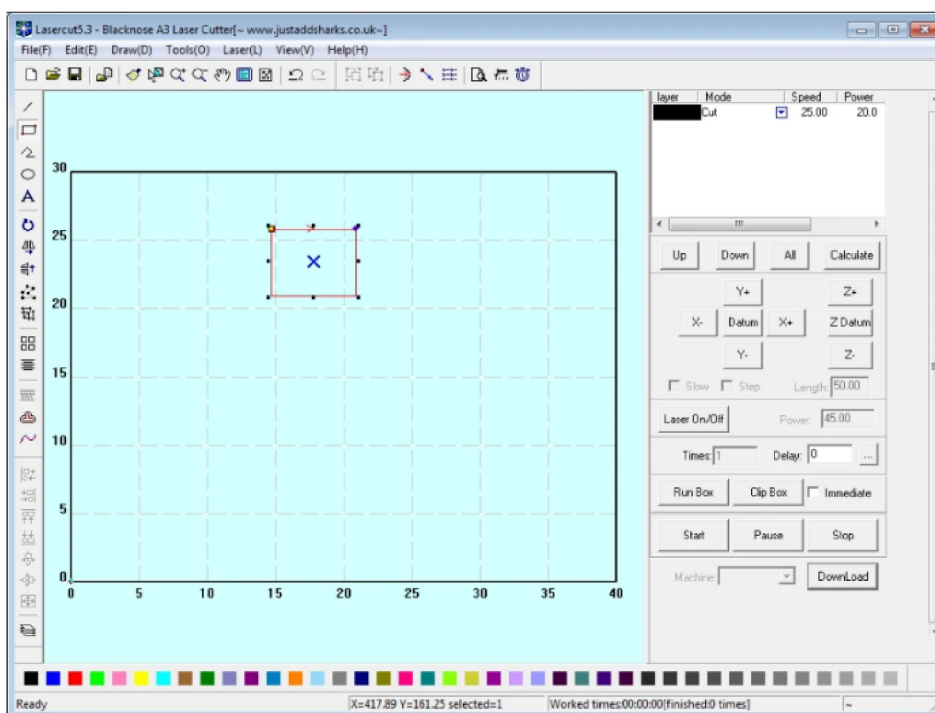
Na výrobu překližek se u nás používají z listnatých dřevin zejména – buk, bříza, olše, topol v tloušťkách 1,2; 1,8; 2,0 a 3,0 mm. (Král a Hrázský, 2000)

Vlastnosti překlížky

Jako hlavní předností překlížek je, odstranění anizotropního charakteru masivního dřeva, z toho vyplívá dobré zajištění pevnosti ve všech směrech i u poměrně tenkého materiálu (sedáky židlí nebo dna zásuvek). Další předností překlížek je omezení pracování dřeva při změnách vlhkosti prostředí. Běžně se vyrábí v tloušťkách od 2 do 40 mm. Při použití vhodného lepidle je možné zajistit také vysokou odolnost lepených spojů, která se ještě může zvýšit pomocí povrchových nátěrů, nebo nalisováním (laminováním) papírové fólie s voděodolnou pryskyřicí. Takto ošetřené překlížky se používají zejména jako bednicí materiál při betonáži ve stavebnictví. (Böhm et al., 2012)

3.9 Rozhraní programu LaserCut 5.3

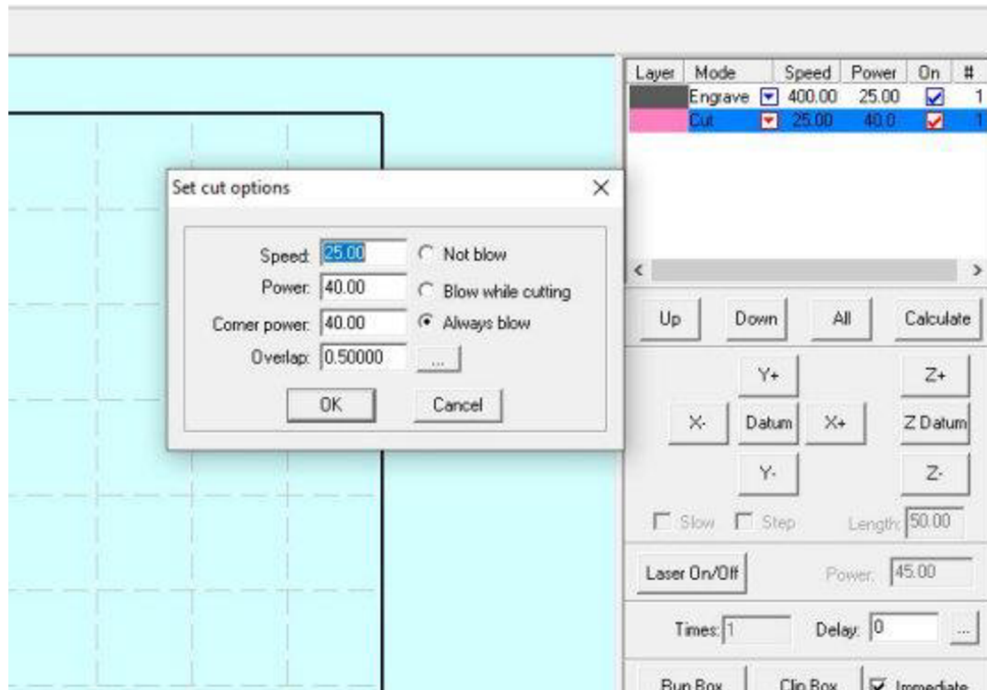
Software je napsaný firmou Leetro Automation Co Ltd (Čína). Jedná se o speciální software pro ovládání řezacích a gravírovacích center (Obr.16), který funguje jako komunikační platforma mezi počítačem a laserovým centrem. Připravuje se v něm řezací soubor, který se následně odesílá do hardwaru řadiče laserového centra.



Obrázek 16 Rozhraní programu LaserCut 5.3

www.smokeandmirrors.store (09.04.2021)

Nastavení hladin se nastavuje v pravém okně (Obr.17) programu, kde si lze hladiny pro přehlednost barevně rozlišit a také nastavit ke každé hladině různou rychlost a výkon řezacího centra. Tato funkce slouží k ulehčení a urychlení při práci v softwaru.



Obrázek 17 Nastavení hladin v programu LaserCut 5.3
Hpclaser.co.uk (10.04.2021)

3.10 Měření barvy

3.10.1 Co je to barva

Barva je stimulující, uklidňující, výrazná, znepokojivá, bujná, symbolická. Prostupuje každý aspekt života, zkrášluje všednost a dodává každodenním předmětům krásu a drama. Jestliže černobílé obrázky přinášejí novinku dne, barva píše poezii. (Holtzschue, 2017)

Jedním z důležitých předpokladů přežití člověka jako živočišného druhu v průběhu jeho druhového a historického vývoje je fakt, že lidské oko je schopno vnímat barvy. Člověk v minulosti musel mít schopnost, pomocí které dokázal například rozeznat „špatné“ a „dobré“ ovoce, mimo jiné podle jeho barvy, a tato schopnost mohla znamenat až rozdíl mezi životem a smrtí. V současnosti však schopnosti lidského oka, a zejména intuitivní popis barvy předmětů, narážejí v mnoha oborech lidské činnosti na hranice možného. Ukazuje se, že již není vhodné a dostatečné popisovat barvy jen prostým slovním označením oranžová, meruňková, lososová apod. Do obrovského množství

barev, které je schopen člověk vnímat, je nutno vnést nějaký řád a také nějakou kvantifikaci. (Kohout, 2013)

3.10.2 Definice barvy

Dvěma základními systémy jsou aditivní a subtraktivní systémy míchání barev. Rozdíl mezi nimi spočívá ve zdroji světla. Pokud barva vzniká mícháním světla vyzařovaného přímo ze zdroje, např. bodového reflektoru, obrazovky počítače nebo televizoru, jde o aditivní systém míchání barev. Pokud barva vzniká odrazem světla od povrchu předmětu nebo jeho pohlcováním, jde o subtraktivní systém míchání barev. Předměty nemají vlastní barvu, ale je jim vlastní schopnost určitou část světelných paprsků odrážet a jinou pohlcovat. (Hashimoto, 2008)

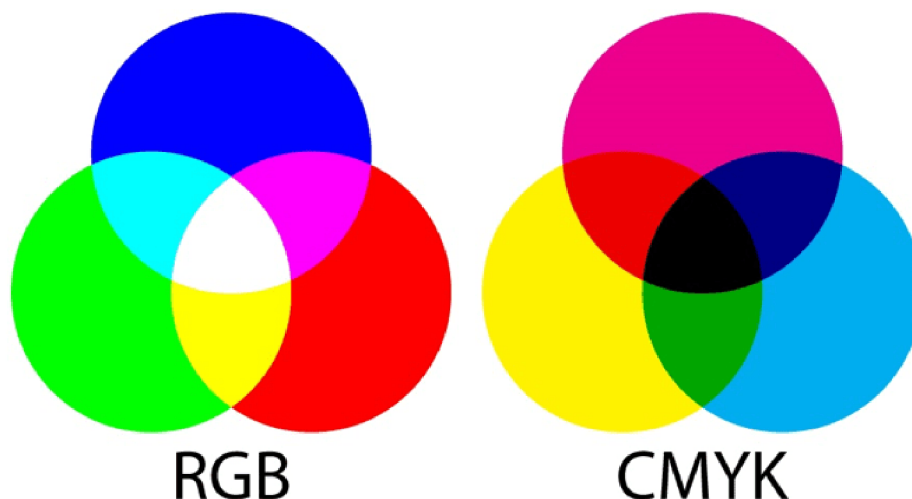
3.10.3 Základní atributy barev

Každou barvu lze jednoznačně charakterizovat určitými kvalitativními vlastnostmi (například chromatičností, světlostí, jasem, čistotou atd.), které jsou závislé nejen na charakteru světelného zdroje a vlastnostech povrchu, ale také na schopnostech a zkušenostech člověka s vnímáním barev. Jedním z prvních autorů, kteří pojmenovali základní atributy barvy, byl Hermann von Helmholtz. Ten použil k přesnému označení barvy na sobě nezávislé hodnoty: barevný tón, světlost a sytost (Dannhoferová, 2012).

3.10.4 Barevné modely

Barevné modely popisující barvy jsou dnes standardizovány a jsou založeny na různých principech popisu a reprodukce barev. Běžné barevné modely jsou HSB (hue – odstín, saturation – sytost, brightness – jas), RGB (red – červená, green – zelená, blue – modrá), CMYK (cyan – azurová, magenta – purpurová, yellow – žlutá a black (key) – černá) a systém Lab. (Čulík, 2006)

Dva nejrozšířenější barevné modely jsou RGB (používaný například v digitálních fotografiích a CMYK (používaný pro barevný tisk) (Obr. 18).

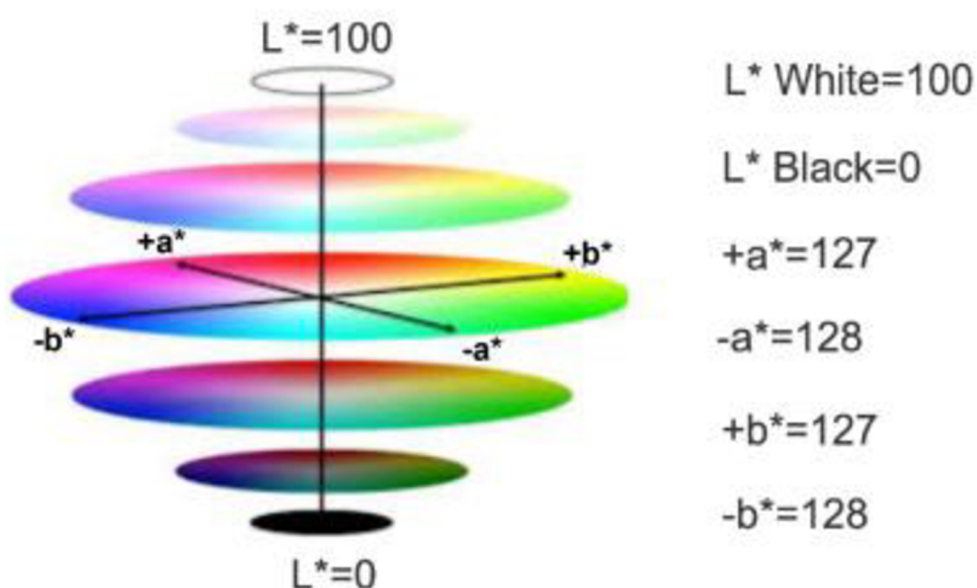


Obrázek 18 Barevné modely RGB a CMYK

<https://mamiart.cz/mam-blog/53-neni-barva-na-monitoru-jako-barva-na-papire> (13.02.2022)

3.10.5 Měření barvy pomocí systému Lab

System Lab je založen na barevném modelu, který byl navržen roku 1931 mezinárodní komisí Commission Internationale d'Eclairage (CIE) na mezinárodní standart pro měření barev. V roce 1976 byl tento model upřesněn na základě nových poznatků o barvách a nazván CIE $L^* a^* b^*$ (Obr. 18) nebo také CIELAB. Model Lab je navržen tak, aby byl nezávislý na zařízení. To znamená, že vytváří vždy shodné barvy, bez ohledu na zařízení (jako je monitor, tiskárna nebo počítač), které použijete k vytvoření nebo výstupu obrazu. (Čulík, 2006)



Obrázek 19 CIE $L^*a^*b^*$ barevný prostor
(Kumah et al., 2019)

Technicky vzato je barevný prostor obvykle mapován pomocí trojrozměrného prostoru číslic pro digitální reprezentaci, jsou hodnoty L^* , a^* a b^* doplněné o předem definovaný rozsah (Obr. 19). Hodnota světla L^* představuje $L^* = 0$ (černá) a $L^* = 100$ (bílá). Barevné kanály a^* , b^* představují skutečné hodnoty neutrální šedé $a^* = 0$ a $b^* = 0$. Osa a^* představuje zelený až červený modul se zelenou v záporném směru a červenou v kladném směru. Osa b^* představuje modrou až žlutou složku s modrou v negativním směru a žlutou v pozitivním směru. Měřítko a omezení os a^* , b^* se často počítají v rozsahu -128 až +127. (Kumah et al., 2019)

3.10.6 Popis ΔE – rozdíl barev

Nejpodstatnější vlastností percentuálně uniformního barevného prostoru, jako jsou CIELAB je, že umožňují vypočítat hodnotu, které vyjadřuje, jak „blízko“ jsou navzájem dvě dané barvy. Tato hodnota se označuje ΔE a nazývá se rozdíl barev. V praxi se používá zejména ΔE počítané v prostoru CIELAB. (Kohout, 2013)

Vzorec pro výpočet ΔE je následující:

$$\Delta E = \sqrt{(L_2^* - L_1^*)^2 + (a_2^* - a_1^*)^2 + (b_2^* - b_1^*)^2} \quad (2)$$

Kde:

ΔE – rozdíl barev,

L^* – měrná světelnost a hodnota v intervalu od 0 (černá) až po 100 (bílá)

a^* - představuje modul v intervalu kladném 127 (červená) a záporném -128 (zelená)

b^* - představuje modul v intervalu kladném 127 (žlutá) a záporném - 128 (modrá)

Rozdíl barev neboli ΔE představuje všeobecně uznávanou metodu hodnocení rozdílů barev. Podle její velikosti lze hodnotit například barevný rozdíl při obrábění dřeva, barevná změna při barvení atd., pro usnadnění při orientaci byla stanovena stupnice, která udává stupeň neshody (Tabulka 2). (Zmeškal et al., 2002)

Tabulka 2 Hodnocení odchylek ΔE (Zmeškal et al., 2002)

	Hodnota ΔE	Výsledný rozdíl
1	$\Delta E < 0,5$	Neviditelný rozdíl
2	$0,5 < \Delta E < 1$	Pozorovatelný rozdíl pouze pro cvičené oko
3	$1 < \Delta E < 2$	Pozorovatelný rozdíl, který je sotva postřehnutelný
4	$2 < \Delta E < 4$	Pozorovatelný rozdíl, který je jasně zřetelný
5	$4 < \Delta E < 5$	Výrazný barevný rozdíl
6	$5 < \Delta E$	Rozdíl vyhodnocen jako odlišná barva

3.11 Měření lesku

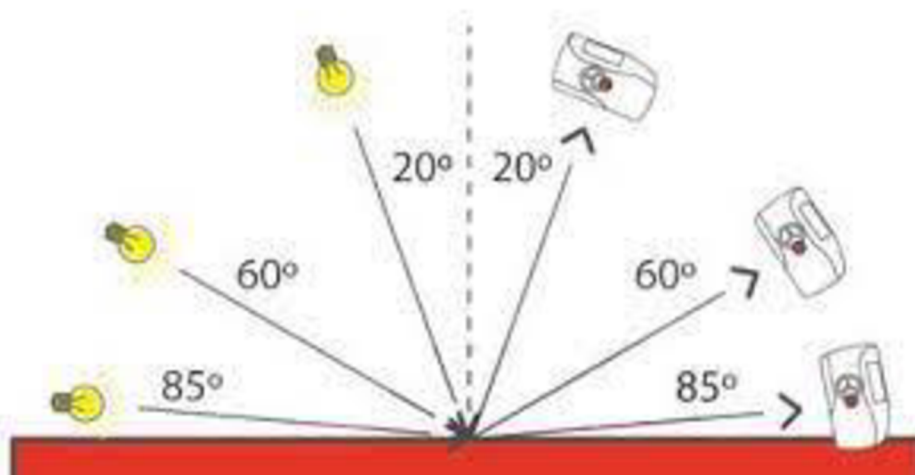
3.11.1 Co je to lesk

Lesk je vizuální vnímání, dojem, který vzniká při pozorování povrchu daného objektu a výrazně závisí na stavu jakosti povrchu hodnoceného dílu. Čím více se přímé světlo od povrchu odráží, tím jasnější, lesklejší se povrch bude jevit. Vysoký lesk odpovídá vysokému odrazu na objekt dopadajícího světla, což znamená, že dopadající světlo se odráží v jednom hlavním směru odrazu, úhel odrazu rovná se úhlu dopadu. (Zeman, 2018)

3.11.2 Měření lesku

Lesk povrchu měříme pomocí přístroje = leskoměru, který je založen na jednoduchém principu reflexní geometrie = měření hodnoty vyslaného světla, které se odráží od povrchu. Hodnota povrchu je vyjádřena v jednotkách lesku (GU - gloss units) v rozsahu od 0 do 100 jednotek. (Anonym, 2017)

Pro diferenciaci lesku v celém rozsahu měření (od vysokého lesku po matový povrch) jsou standardizovány tři měřící geometrie: 20°, 60°, 85° (Obr. 20). Tři jsou z důvodu, že při porovnávání různých úrovní lesku nemusí jedna měřící geometrie (například 60°) poskytnout výsledek korelující s vizuálním pozorováním. Každá ze tří geometrií používá stejnou clonu pro zdroj světla, ale jinou clonu pro snímač. (Zeman, 2018)



Obrázek 20 Úhly při měření lesku

https://www.valsparindustrialmix.com/emea/cz/downloads/G3_Gloss_Measurement.pdf (25.03.2022)

Volba geometrie závisí na tom, zda chceme provádět všeobecné hodnocení lesku, nebo porovnávat povrchy s vysokým leskem, nebo hodnotit díly s nízkým leskem. (Zeman, 2018)

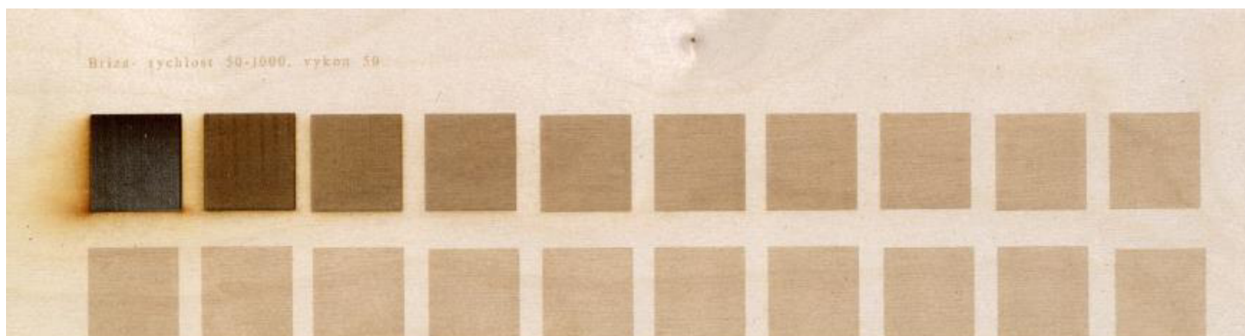
4. Metodika

4.1 Příprava zkušebních vzorků

K výzkumu byla potřebná překližovaná deska z březového dřeva nspecifikovaných rozměrů, na kterou se dalo vygravírovat potřebný počet zkušebních polí, který činil 200 polí. Zároveň na desce nebyly žádné viditelné vady jako například suky nebo praskliny což by mohlo ve výsledcích zkreslovat výsledky a snížit tím celkový výstup výzkumu. Normy nspecifikují rozměry vzorků pro měření barvy a lesku, naše měřené pole měly rozměry 30 x 30 mm.

4.2 Výroba vzorků

V programu LaserCut 5.3 se připravila jednotlivá zkušební pole s uvedenými rozměry, pro jednotný výkon bylo zapotřebí 20 zkušebních polí. Posléze se nastavil jednotný výkon pro všechna pole například 50 W a na každém poli se zvyšovala rychlost gravírování o $50 \text{ mm}\cdot\text{s}^{-1}$, tedy od $50 \text{ mm}\cdot\text{s}^{-1}$ až po $1000 \text{ mm}\cdot\text{s}^{-1}$ (Obr. 21).



Obrázek 21 Zkušební pole s výkonem 50 W a rychlost gravírování od 50 mm.s⁻¹ do 1000 mm.s⁻¹

Překližovaná deska se vložila do gravírovacího a řezacího centra Numco C 1290 (Obr. 22) kam se pomocí softwaru LaserCut 5.3 přes počítač zaslala data do laserového centra a tím byl stroj připraven ke práci. Technické parametry gravírovacího a laserového centra jsou uvedeny v Příloze 1.



Obrázek 22 Gravírovací a řezací laser Numco C 1290

Zkušební pole o výkonu 10 W se nemohla dále měřit z důsledku slabého výkonu zařízení po kterém nebylo možné změřit jak jejich barvu, tak i lesk. Při výkonu 20 W bylo možné měřit pouze 5 zkušebních polí, a to v rozmezí rychlosti gravírování od 50 mm.s⁻¹ až po 250 mm.s⁻¹ (Obr. 23). Dále již zkušební pole nešlo měřit ze stejného důvodu jako u výkonu 10 W. V konečném důsledku se tedy dalo měřit pouze 165 zkušebních polí. Všechny měřené rychlosti a výkony vzorků jsou uvedeny v Tabulce 3.



Obrázek 23 Výkon 20 W a rychlost gravírování od 50 mm.s⁻¹ do 250 mm.s⁻¹

Tabulka 3 Parametry výkonů a rychlostí při gravírování

Překližovaná deska (PDP) z březového dřeva	
Výkon	Rychlost
20 W	50–250 mm.s ⁻¹
30 W	50–1000 mm.s ⁻¹
40 W	50–1000 mm.s ⁻¹
50 W	50–1000 mm.s ⁻¹
60 W	50–1000 mm.s ⁻¹
70 W	50–1000 mm.s ⁻¹
80 W	50–1000 mm.s ⁻¹
90 W	50–1000 mm.s ⁻¹
100 W	50–1000 mm.s ⁻¹

Po provedeném gravírování překližované desky se zkušebními poli došlo k naformátování na menší obdélníky pomocí formátovací pily SCM si 400 Class (Obr. 24) umístěné v dílnách dřevařského pavilonu pro lepší manipulaci při měření fyzikálních parametrů.



Obrázek 24 Formátovací pila SCM si 400 Class
www.panas.cz (10.04.2021)

4.3 Průběh zkoušek

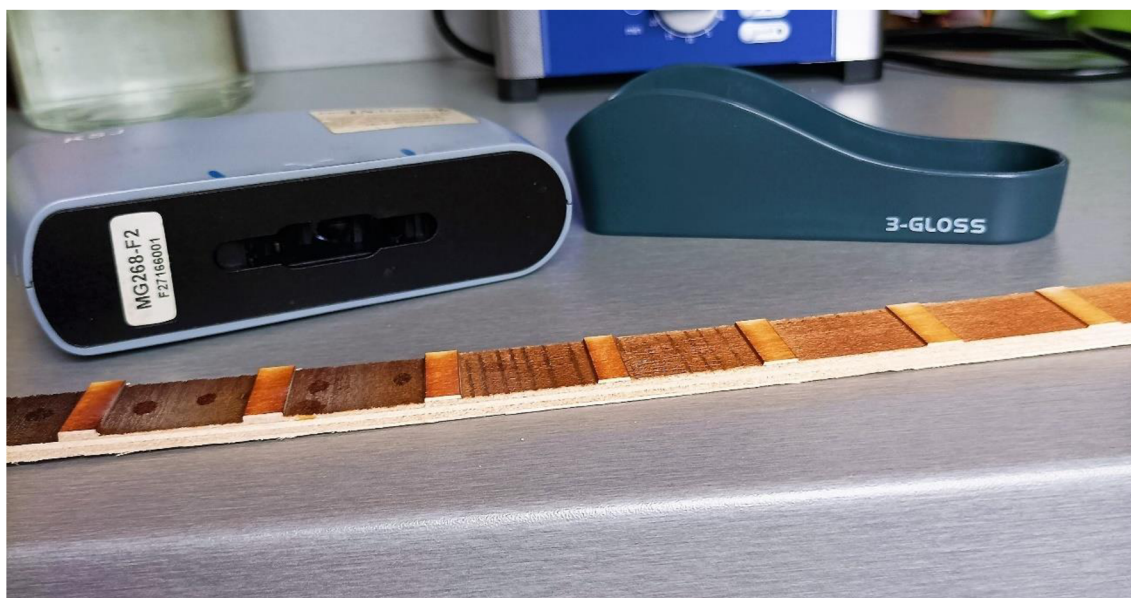
Zkouška měření barvy probíhala podle stanovené normy ČSN 01 1718, která slouží pro měření barev, tj. chromatičnosti a kolority, a pro jejich číselné vyjadřování v některé z kolorimetrických soustav jako soustava CIELAB. Pro měření se použil spektrofotometr značky Konica Minolta CM-600d (Obr. 25).



Obrázek 25 Měření barvy spektrofotometrem Konica Minolta CM-600d

Všechna zkušební pole měla stanovené rozměry. Každé měření bylo provedeno třikrát a pokaždé na jiném místě daného pole pro lepší výsledky pro zkoušku měření barvy, všechny výsledky se vložily do programu Excel. Dále byl spočítán aritmetický průměr pro každé pole.

Zkouška měření lesku probíhala podle stanovené normy ČSN EN ISO 2813, která slouží pro měření lesku. Tato mezinárodní norma specifikuje metodu stanovení lesku při úhlech 20°, 60° a 85°. Metoda je vhodná pro měření lesku povlaků bez textury na plochých neprůhledných podkladech. Při měření byl použit speciální přístroj „leskoměr“ značky KSJ MG268-F2 (Obr. 26).



Obrázek 26 Měření lesku pomocí leskoměru KSJ MG268-F2

Každé měření bylo provedeno třikrát a pokaždé se měřilo na jiném místě daného pole pro lepší výsledky pro zkoušku měření lesku. Všechny výsledky se vložily do programu Excel. Dále byl spočítán aritmetický průměr pro všechny úhly 20°, 60° a 85°.

Pro kategorizaci lesku jsme postupovali podle Tabulka 4, kdy jsme určili všechny vzorky jako nízko lesklé či matné, protože hodnoty GU pod úhlem 60° byly vždy po 10 jednotek. Norma ČSN EN ISO 2813 při zkouškách se modifikovala a vyhodnocovaly se všechny výše zmíněné úhly ne tedy jenom jeden, který by nám vyšel po změření při úhlu 60°.

Tabulka 4 Kategorizace lesku (Zeman, 2018)

Kategorie lesku	Hodnota pro úhel 60°
Vysoký lesk	> 70 GU
Střední lesk	10 – 70 GU
Nízký lesk / mat	< 10 GU

4.4 Statistické zpracování dat

Pro statistické zhodnocení byl použit software Excel 2019 (Microsoft, Redmont, Washington, USA) a STATISTICA 13 (TIBCO Software INC, CA USA), pro samotný statistické testování jsme volili ANOVA a Duncenův test. Před samotným zpracování dat bylo provedeno vyloučení odlehlých hodnot (Grubbsův test) a histogramy byla prokázána normalita rozdělení dat, pro zjištění shody rozptylu byl použit Bartlettův test - shoda rozptylů se potvrdila. Všechny testy byly prováděny na hladině významnosti $p = 0,05$.

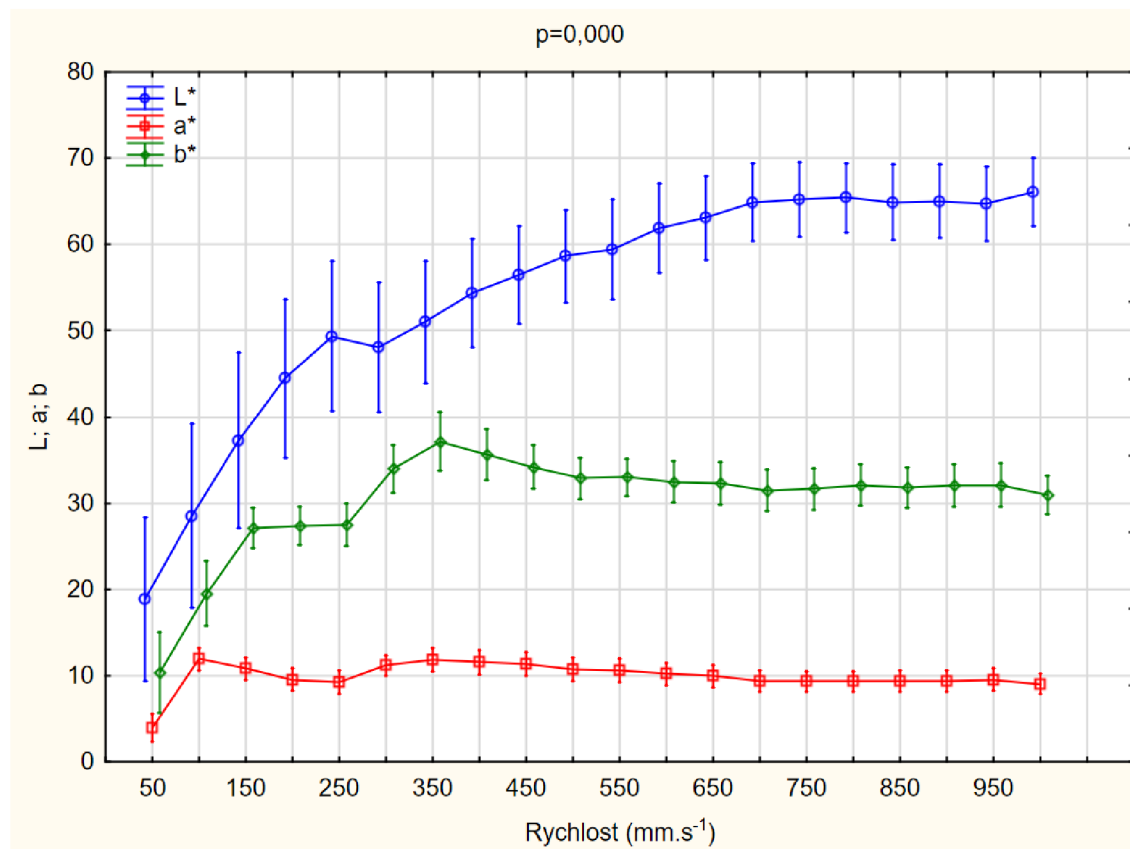
5. Výsledky

5.1 Výsledky měření barvy

Měření se provádělo za účelem zkoumání barvy. Na následujících obrázcích 27, 28 a 29 můžeme pozorovat změnu jednotlivých souřadnic v trojrozměrném kolorimetrickém modelu CIELAB i s barevným rozdílem vyjádřeným pomocí ΔE z hlediska změn rychlosti a výkonu pro použitý kompozitní materiál.

5.1.1 Vliv změny rychlosti na barvu

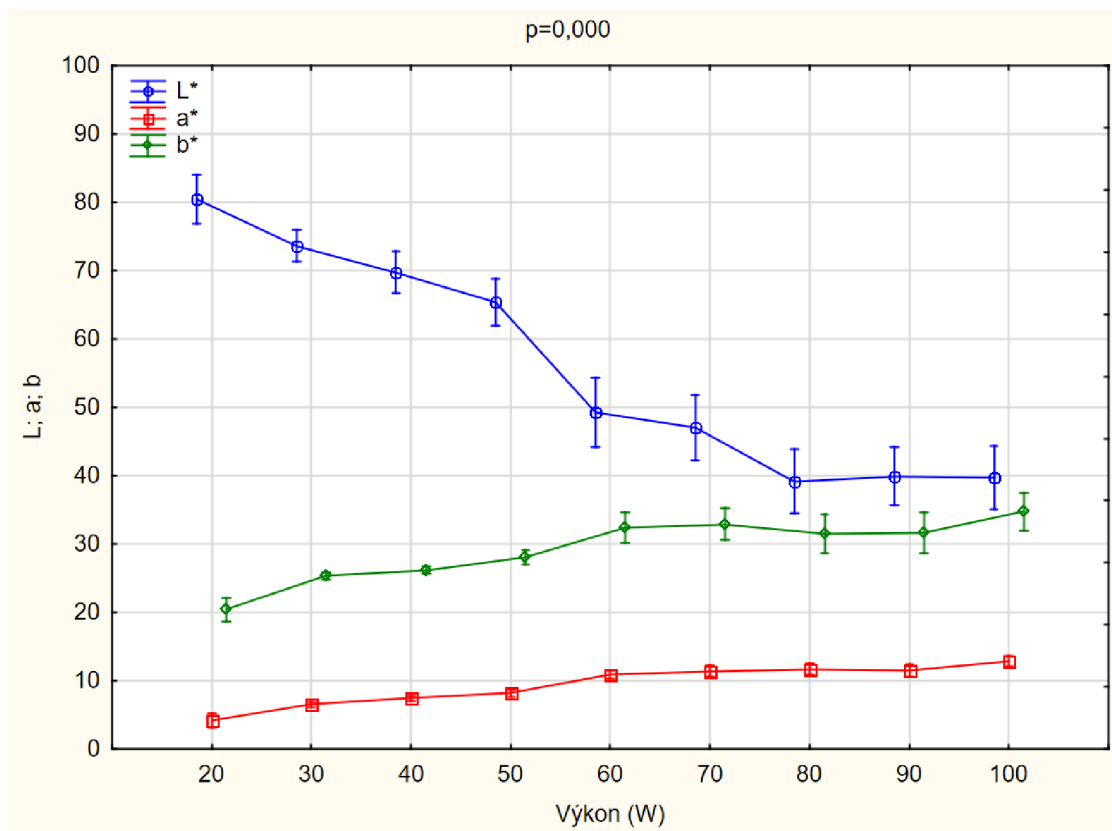
Na obrázku 27 vidíme grafické znázornění vlivu rychlosti na změnu jednotlivých parametrů z barevného spektra. Statisticky významný rozdíl se zde potvrdil. Složka barevného spektra L^* , která udává rozdíly mezi bílou a černou má největší viditelný nárůst tendence z 50 mm.s^{-1} na 1000 mm.s^{-1} , kdy procentuální rozdíl z nejnižší do nejvyšší hodnoty byl o 250 %. U parametru a^* , které udává rozdíl mezi červenou a zelenou, byl nárůst viditelný od 50 mm.s^{-1} až po 350 mm.s^{-1} , poté hodnota postupně klesala. Na parametru b^* můžeme pozorovat zvýšený nárůst při rychlosti z 50 mm.s^{-1} na rychlost 350 mm.s^{-1} , celkový procentuální rozdíl na celém průběhu činí 130 %.



Obrázek 27 Výsledek zvýšení výkonu na změnu barvy

5.1.2 Vliv změny výkonu na barvu

Na obrázku 28 vidíme grafické znázornění vlivu výkonu na změnu jednotlivých parametrů z barevného spektra. Kde se potvrdil statisticky významný rozdíl. Na parametru L^* je zřetelně viditelná klesající tendence při navyšování výkonu, kdy L^* udává rozdíly mezi bílou a černou, největší viditelný pokles lze pozorovat při změně výkonů od 10 W do 80 W potom probíhá lineárně do 100 W. Vypočítaný procentuální rozdíl pro parametr L^* udává pokles o 51 % po celém průběhu navyšování výkonu W. Parametry a^* , b^* mají podobnou stoupající tendenci po celém průběhu navyšování.



Obrázek 28 Výsledek zvýšení rychlosti na změnu barvy

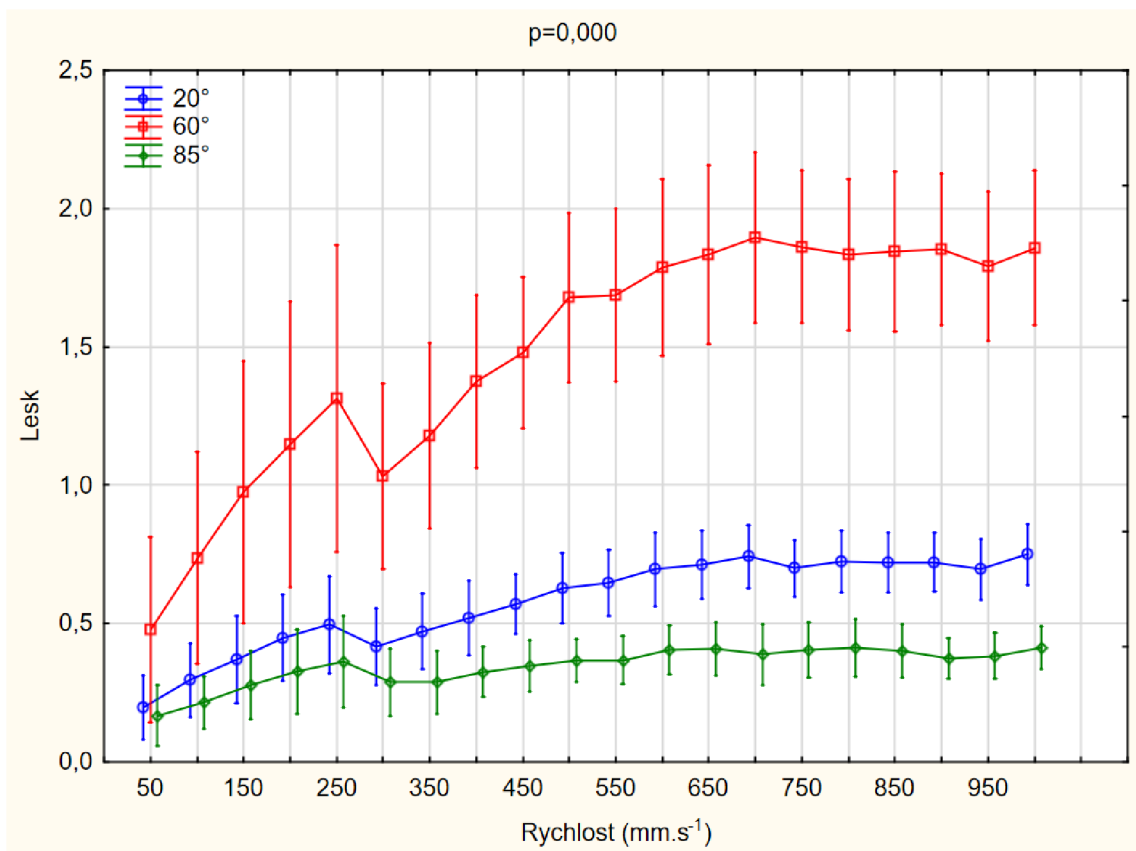
5.2 Výsledky měření lesku

Měření se provádělo za účelem zkoumání lesku při změně rychlosti a výkonu. Na následujících obrázcích (Obr. 29 a 30) můžeme pozorovat změnu jednotlivých hodnot GU pro lesk při úhlech 20°, 60° a 85° pro použitý kompozitní materiál.

5.2.1 Změna rychlosti na lesk

Při změně rychlosti při gravírování se statisticky významný rozdíl prokázal. Můžeme tedy s 95 % pravděpodobností říci, že rychlost při laserovém gravírování má

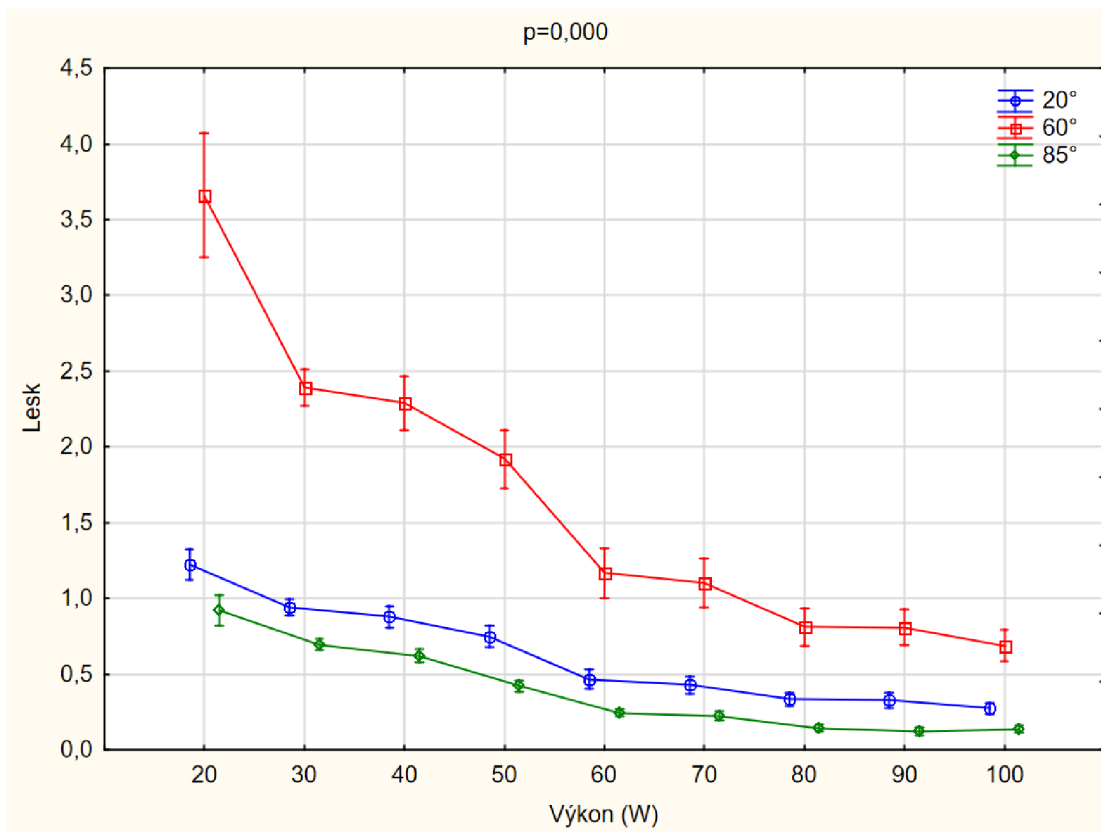
statisticky významný vliv na lesk. Pod úhlem 60° vidíme největší nárůst v hodnotách lesku, procentuální rozdíl mezi rychlostmi 50 mm.s^{-1} až 1000 mm.s^{-1} je 290 %. Úhly 20° a 85° mají také stoupající tendenci a vzájemně se kopírují (Obr. 30).



Obrázek 29 Výsledek zvýšení rychlosti na změnu lesku

5.2.2 Změna výkonu na lesk

Při změně výkonu se více jak z 95 % prokázal statisticky významný rozdíl. Z grafu můžeme vypočítat klesající tendenci při všech úhlech 20° , 60° a 85° . Nejvíce výrazný pokles je viditelný při úhlu 60° , kdy je procentuální rozdíl po celém klesajícím průběhu je o 81 %. U zbývajících dvou úhlu 20° a 85° je klesající trend mírnější a vzájemně se téměř kopírují (Obr. 30).



Obrázek 30 Výsledek zvýšení výkonu na změnu lesku

6. Diskuse

Po provedení zkoušek gravírování vybraného kompozitního materiálu se potvrdil statisticky významný rozdíl. Hodnota p při vyhodnocování nepřesáhla stanovenou hranici pravděpodobnosti $p = 0,05$ a tím se potvrdilo tvrzení, kdy při zvyšování rychlosti a výkonu se zaznamenal významný vliv na fyzikální vlastnosti (barvu a lesk). Z toho plyne potřeba dalšího zkoumání pro optimální nastavení vlastností laseru při použití jiných materiálů na bázi dřeva.

Ve většině studií se zahraniční i tuzemští autoři v oblasti laserového obrábění zaměřují spíše na nedřevěné materiály jako je například železo, plast atd. a upřednostňují spíše metodu řezání než gravírování. Nicméně výsledky této práce se mohly porovnat i s jinými výzkumy v oblasti nekonvenčního obrábění laserem. V roce 2022 Li se svými kolegy v práci nazvané „Modelování a predikce barevných změn povrchu dřeva při modifikaci CO₂ laserem“ prováděli výzkum při kterém si jako vstupní parametry pro modifikaci zvolili výkon laseru a rychlost laserové trysky. Výzkum prováděli do topolové překližky s jednotnou barvou a bez viditelných vad. Pro práci použili kolorimetrický systém CIELAB a stanovili úhel pro měření lesku 60°. Svou práci podrobili analýze

rozptylu ANOVA. Při své práci dospěly k výsledkům, které ukázaly, že výkon laseru a rychlost posuvu měli významný vliv jak na barvu, tak i na lesk topolové překližky. (Li et al., 2022) Tato práce se zaměřuje na překližku březovou, která jako topol patří do kategorie roztroušeně pórovitých dřevin bez významného rozlišení jarního a letního dřeva. Z tohoto hlediska jde výsledky v práci porovnávat s daným výzkumem v oblasti měření barvy a lesku. Kdy tato práce také potvrdila statisticky významný rozdíl. Rozdíl vznikl pouze v tom, že topolová překližka byla ošetřena bezbarvým lakem zatím co překližka v této práci byla nelakovaná. Nicméně (Li et al., 2022) ve svém výzkumu dále zmiňuje „*Při laserovém ozařování topolové dřevo absorbovalo laserovou energii, načech došlo na povrchu překližky k příslušným fyzikálním a chemickým změnám, které vyvolaly úbytek hmoty. Když laser zahřál povrch překližky na určitou teplotu, dřevěné součásti se vypařily, roztavily nebo karbonizovaly*“. Proto bych nedával velkou váhu faktu, že v této práci nebyla překližka lakována jen se pomocí kategorizace lesku pod úhlem 60° zařadila mezi nízko lesklé až matné materiály. Může to hrát určitou roli a výsledky zkreslovat, ale je potřeba více výzkumů, aby se toto tvrzení mohlo prokázat. Nejvíce znatelný při testování barvy se stal parametr L*. V roce 2021 Jurek a Wágnerová ve své práci „*Kalibrace laserovým paprskem pro barevnou úpravu povrchu dřeva*“ uvedli, že pod elektronovým mikroskopem viděli, že rozostřený laser způsobuje karbonizaci na povrchové vrstvě dřevěného vzorku. Tento proces zanechává značné množství anorganických sloučenin (černý uhlík), které ztmavují výslednou barvu. (Jurek a Wagnerová, 2021) Díky karbonizaci dochází k výraznému poklesu parametru L*, což má za následek postupné tmavnutí při navyšování výkonu. V roce 2016 Jindra ve své diplomové práci „*Optimalizace parametrů laserového zařízení v závislosti na druhu obráběného materiálu*“ posuzoval také kvalitu gravírování na vybrané materiály. Uvedl, že posuzování této kvality je zejména subjektivní záležitostí. A pomocí nastavení rychlosti a výkonu lze docílit světlejšího nebo tmavšího zabarvení. Z výsledků vyšlo, že mezi nejvhodnější materiály pro gravírování patří roztroušeně pórovité dřeviny s nevýrazným přechodem mezi jarním a letním dřevem. (Jindra, 2016) S tímto tvrzením bych do jisté míry souhlasil z důvodu preferencí každého jedince a jeho subjektivního názoru na výsledný barevný odstín oproti původnímu. Někdo by měl finální produkt více ztmavlý a další zase světlejší. Proto se tato práce spíše soustředí na subjektivním pohledu daného jedince, jaké barevné změny by chtěl při svém gravírování docílit. Toto téma si zaslouží větší výzkumné podklady především proto, že doposud nejsou standardizovány žádné podklady pro gravírování.

Pro případné rozšíření výzkumu v tomto směru bych v tuto chvíli volil úplně jinou metodu. Zejména pro větší rozmanitost dřevěných materiálů při gravírování s možnými povrchovými úpravami. Například se může použít smrková překližka nelakovaná a lakovaná. Výsledné rozdíly se mezi sebou mohou dále porovnávat. Takový výstup může mít pozitivní dopad pro chod rukodílen díky ulehčení a urychlení časovosti při práci na laserovém centru, při výrobě gravírovaných výrobků či při práci na jiných výzkumech.

7. Přínos pro vědu

Gravírování laserem patří do technologie „nekonvenčních metod obrábění“. Tato technologie je stále ve svých začátcích a potřebuje další řadu výzkumů. Stále neexistuje norma pro stanovení podmínek pro obrábění nebo gravírování různých kompozitních materiálů pomocí laseru pro dřevěné materiály.

Studie přinesla výsledky, která nám umožňují optimalizovat gravírování z hlediska barvy a lesku. Je potřeba dalších výzkumů, které dále mohou doplňovat výzkumy stávající, zejména pro různé druhy materiálů na bázi dřeva (popřípadě pro jiné jako železo, plast, keramika atd.). Tyto výsledky mohou být použity na další hodnocení laserového obrábění jako takového a mohou pomoci při tvorbě normy pro gravírování a řezání laserem. Přínosem pro vědu je zejména ucelená práce v oblasti gravírování, které by mohly přispět pro budoucí vylepšení stávajících technologií.

8. Přínos pro praxi

Tato práce nám přináší možnost optimalizace z hlediska barvy a lesku při gravírování laserem. Práce je vhodná zejména pro praxi, kdy je práce zpracována přímo pro laserové centrum, které je umístěné v rukodílnách, kde se vyrábí gravírované výrobky. Hlavním přínosem je tedy optimalizace daného centra pro budoucí výrobky, či výzkumy, které se na to stroji budou v budoucnu provádět.

Je určitě namístě zkonstatovat, že metoda obrábění laserem je finančně náročnější než metody klasické. Při sériovosti výrobků se ale pořizovací náklady gravírovacího centra začínají brzy vracet. Otázkou času je hlavně kdy si koupí a provozovací náklady budou moci dovolit i malé firmy či drobní podnikatelé v tomto oboru. Bezpečnost práce na stroji se také řadí na velké výhody obrábění pomocí této technologie, kdy při klasickém obrábění je riziko poranění mnohonásobně vyšší.

9. Závěr

Tato bakalářská práce se zaměřuje na gravírování vybraného druhu kompozitního materiálu (březová překližka) pomocí paprsku laseru. Cílem byla charakteristika nekonvenčních metod obrábění, jejich rozdělení a přiblížení čtenáře s metodou řezání či gravírování pomocí laseru. Závěrem je možno zkonstatovat, že provedený výzkum splnil svou podstatu. Na základě zhodnocení naměřených výsledků v podstatě potvrzeny hlavní cíle práce.

Práce je rozdělena na dvě části. První část se zaměřuje na teoretickou charakteristiku popisem laseru, historií a vznikem laseru, principem fungování laseru, popisem kompozitního materiálu, definice měření barvy a lesku. Druhá část se zabývá přípravou a výrobou zkušebních vzorků, průběhem zkoušek, měřením výsledků a následně jejich vyhodnocením.

V rámci řešení byl zkoumán jeden velkoplošný kompozitní materiál (březová překližka) při gravírování laserem. Zkoumaly se změny vybraných fyzikálních vlastností barvy a lesku při změně rychlosti gravírování a změně výkonu. Ve výzkumu se výkon laseru zvedal postupně od 10 W do 100 W vždy s 10 % nárůstem ze 100 W, zatímco se rychlost gravírování u jednotlivých výkonů zvedala od 50 mm.s⁻¹ do 1000 mm.s⁻¹ vždy s nárůstem 50 mm.s⁻¹. Po vygravírování všech polí se následně měřily hodnoty barvy a lesku.

Ve výsledcích se potvrdil statisticky významný rozdíl pro všechny kombinace měření. Z toho můžeme usoudit, že změna rychlosti a výkonu má významný dopad na finální barvu a lesk gravírovaného materiálu. Nejzajímavější tendenci u barvy měl parametr L* (bílá – černá), kdy při změně rychlosti od 50 mm.s⁻¹ do 1000 mm.s⁻¹ dosáhl procentuálního rozdílu až 250 %, tedy materiál zesvětloval. Z hlediska zkoumání lesku byl poutavý úhel 60°, kdy při stejné změně rychlosti gravírování měl stoupající trend a procentuální rozdíl byl dokonce o 290 %, čím více se tedy navyšovala rychlost tím stoupal i lesk daného materiálu.

Jsem si vědom, že mnou prováděná práce je jen dílčím cílem a bude potřeba mnohem více prací na podobné téma, kdy s přihlédnutím k výsledkům této práce a výzkumy celosvětovými na obdobné téma je tato problematika stále aktuální a vyžaduje další důkladná řešení v oblasti gravírování laserem.

10. Seznam použité literatury a elektronických zdrojů

Anonym. *Gravírování*. In: Wikipedia: the free encyclopedia [online]. San Francisco (Kalifornie): Wikimedia Foundation, 2001-, 02006, 2020. Dostupné také z: <http://cs.wikipedia.org/wiki/Grav%C3%ADrov%C3%A1n%C3%AD> [cit. 2021-02-05].

Anonym. www.proinex.cz [Online]. Proinex Instruments s.r.o., 2017. Dostupné také z: https://www.proinex.cz/cs/blog/12_mereni-lesku-pomoci-leskomeru [Cit. 2022-02-24].

BADONIYA, Pushkal. (2018). *CO₂ Laser Cutting of Different Materials-A Review. International Journal of Engineering and Technical Research*. 5. 2103-2115.

BARNEKOV, V. G.; MCMILLIN, C. W.; HUBER H. A. *Factors influencing laser cutting of wood*. Forest Products Journal, 36 (1) (1986), pp. 55 - 58

BERÁNKOVÁ, Jitka. PROLIGNUM. *Materiály na bázi dřeva* [online]. 2010 Prohlubovací kurs v oboru dřevostaveb. Dostupné také z: <https://doczz.cz/doc/398913/2-materi%C3%A1ly-na-b%C3%A1zi-d%C5%99eva> [cit. 2022-03-13].

BLABLA, Jan, ŠIMEČEK, Tomislav a TRKAL, Viktor. *Kvantové generátory: (masery a lasery)* [online]. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1968.

BÖHM, Martin, Jan REISNER a Jan BOMBA. *Materiály na bázi dřeva* [online]. Vydání: první. Česká zemědělská univerzita v Praze, Fakulta lesnická a dřevařská, Katedra zpracování dřeva, 2012. ISBN 978-80-213-2251-6. Dostupné také z: <https://docplayer.cz/3636313-Materialy-na-bazi-dreva.html> [cit. 2022-02-15].

CSANÁDY, Etele, Endre MAGOSS a Lázsló TOLVAJ. *Quality of machined wood surfaces*. Cham: Springer - Verlag, 2015. Materials Science/Chemistry. ISBN 978-3-319-22418-3.

ČIHÁKOVÁ, V. *Vliv řezání laserovým paprskem na změnu barvy a lesku řezaných ploch*. Praha, 2019. Diplomová práce. Česká zemědělská univerzita v Praze. Fakulta lesnická a dřevařská. 78 s.

ČULÍK, Miroslav. *CorelDRAW 12: podrobný průvodce*. Praha: Grada, 2006. Průvodce (Grada). ISBN 80-247-1331-4.

DANNHOFEROVÁ, Jana. *Velká kniha barev: kompletní průvodce pro grafiky, fotografy a designéry*. Brno: Computer Press, 2012. ISBN 978-80-251-3785-7.

DAVIM, J. P. *Wood Machining*. Chichester: John Wiley, 2011. ISBN 978-1-84821-315-9.

Elektro: odborný časopis pro elektrotechniku. Praha: FCC Public, 25.03.2005, 15(4). s. 90. ISSN 1210-0889.

ELTAWAHNI, H.A. et al. "High Power CO₂ Laser Cutting for Advanced Materials – Review." Reference Module in Materials Science and Materials Engineering, 2016, <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-803581-8.04019-4>.

HASHIMOTO, Alan. *Velká kniha digitální grafiky a designu*. Brno: Computer Press, 2008. ISBN 978-80-251-2166-5.

HOLTZSCHUE, Linda. *Understanding color: an introduction for designers*. Fifth Edition. Hoboken: Wiley, 2017. ISBN 978-1-118-92078-7.

- JAVŮREK, Jan.** *Fototerapie biolaserem: léčebná metoda budoucnosti*. Praha: Grada, 1995. s. 38. ISBN 80-7169-046-5.
- JUREK, M., WAGNEROVÁ, R.** Kalibrace laserovým paprskem pro barevnou úpravu povrchu dřeva. *Eur. J. Wood Prod.* 79, 1097–1107(2021). Dostupné také z: <https://doi.org/10.1007/s00107-021-01704-3>
- KATYS, Georgij Petrovič a JIRÁČEK, Milič.** *Optoelektronické zpracování informace*. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1978. s. 102.
- KAVINA, Karel.** *Anatomie dřeva*. V Praze: Ministerstvo zemědělství, 1932.
- KOHOUT, Václav.** *Historie a elementární základy teorie barev I.: Fyzika kolem nás*. Školská fyzika [online]. Západočeské univerzity v Plzni: Časopis Školská fyzika, 2012, 2012(4). Dostupné také z: https://sf.zcu.cz/data/2012/sf2012_04_3.pdf. ISSN 2336-2774. [cit. 2022-02-25].
- KOHOUT, Václav.** *Historie a elementární základy teorie barev III.: Fyzika kolem nás*. Školská fyzika [online]. Západočeské univerzity v Plzni: Časopis Školská fyzika, 2013, 2013(2) 41–48. Dostupné také z: https://sf.zcu.cz/data/2013/sf2013_02_8.pdf. ISSN 2336-2774. [cit. 2022-03-20].
- KOŘÁN, Pavel.** *Seriál na téma lasery – laserové řezání (Laser cutting)* [online]. 2011. Dostupné také z: <http://www.lao.cz/lao-info-49/serial-na-tema-lasery---laserove-rezani-laser-cutting-129> [cit. 2021-03-08].
- KOVAŘÍK, Rudolf a ČERNÝ, František.** *Technologie svařování*. Plzeň: Západočeská univerzita, Strojní fakulta, 2000. s. 121. ISBN 80-7082-697-5.
- KRÁL, Pavel a Jaroslav HRÁZSKÝ.** *Výroba dřív a překližovaných materiálů I*. Brno: Mendelova zemědělská a lesnická univerzita, 1999. ISBN 80-7157-358-2.
- KRÁL, Pavel a Jaroslav HRÁZSKÝ.** *Výroba dřív a překližovaných materiálů II*. Brno: Mendelova zemědělská a lesnická univerzita, 2000. ISBN 80-7157-423-6.
- KRATOCHVÍL, Bohumil, Václav ŠVORČÍK a Dalibor VOJTĚCH.** *Úvod do studia materiálů*. Praha: Vysoká škola chemicko-technologická, 2005. ISBN 80-7080-568-4.
- KUMAH, Charles, et al.** “Color Measurement of Segmented Printed Fabric Patterns in Lab Color Space from RGB Digital Images.” *Journal of Textile Science and Technology*, vol. 05, no. 01, 2019, pp. 1–18., <https://doi.org/10.4236/jtst.2019.51001>.
- KVIETKOVÁ, Monika.** *Obrábění dřeva*. V Praze: Česká zemědělská univerzita, Fakulta lesnická a dřevařská, 2015. ISBN 978-80-213-2604-0.
- LI, R., HE, C. & WANG, X.** *Vliv parametrů zpracování na ztrátu hmoty a vlastnosti povlaku topolové překližky při modifikaci CO₂ laserem*. *Eur. J. Wood Prod.* (2022). Dostupné také z: <https://doi.org/10.1007/s00107-022-01802-w>
- LISIČAN, J.** *Obrábanie a delenie drevných materiálov*. Zvolen: Vysoká škola lesnícka a drevárska vo Zvolene v edičnom stredisku, 1988. 108 s.
- MÁDL, Jan.** *Technologie obrábění a montáže: návody ke cvičení: [určeno pro stud. fak. strojní]*. Praha: ČVUT, 1990. s. 144. ISBN 80-01-00237-3.
- MAŇKOVÁ, Ildikó.** *Progressívne technológie*. Košice: Vienala, 2000. Edícia vedeckej a odbornej literatúry. ISBN 80-7099-430-4.
- MIŠEK, Ján, KORTÁN, Josef a KUČERA, Ladislav.** *Polovodičové zdroje optického záření*. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1988. s. 173.

MUSIL, Ivan a Jana MÖLLEROVÁ. *Lesnická dendrologie*. Praha: Česká zemědělská univerzita, 2005. ISBN 80-213-1367-6.

POKORNÝ, Jaromír. *Stromy*. 2. české vyd. Ilustroval Vlasta MATOUŠOVÁ, ilustroval Milena KONEČNÁ. Praha: Aventinum, 2003. Krystal (Aventinum). ISBN 80-7151-147-1.

POWELL, J. *CO2 Laser Cutting*. 1993 Springer London (UK). ISBN 978-1-4471-3386-5.

PROKEŠ, Stanislav. *Obrábění dřeva a nových hmot ze dřeva: Určeno [též] žákům dřevařských škol všech stupňů*. Praha: SNTL, 1978. s. 558.

Reklamní produkce: časopis pro pracovníky reklamních agentur s hlavním zaměřením na tiskovou produkci [online]. Praha: Svět tisku, 2009(1). s. 24. Dostupné také z: <https://ndk.cz/uuid/uuid:1c63e18e-49e6-4947-8907-28ded651ac64> [cit. 2021-03-25].

ŘASA, Jaroslav, POKORNÝ, Přemysl a GABRIEL, Vladimír. *Strojírenská technologie 3, 2. díl: Obráběcí stroje pro automatizovanou výrobu, fyzikální technologie obrábění*. Praha: Scientia, 2005. s. 174. ISBN 80-7183-336-3.

SADÍLEK, Marek. *Nekonvenční metody obrábění I*. Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, 2009. ISBN 978-80-248-2107-8.

SEDLÁČEK, Karel. *Laser v mnoha podobách*. Praha: Naše vojsko, 1982. Mars.

SOVA, František. *Technologie obrábění a montáže: Určeno pro 2. roč. fak. strojní*. Plzeň: Vys. škola strojní a elektrotechn., 1989. s. 190. ISBN 80-7082-006-3.

SVOBODA Jaroslav a HRÁZSKÝ Jaroslav. *NIS - Nábytkářský informační systém* [online]. Copyright ©2013. Dostupné z: <http://www.n-i-s.cz/cz/materialy-na-bazi-dreva/page/79/> [cit. 2022-03-30].

ÚRADNÍČEK, Luboš. *Dřeviny České republiky*. 2., přeprac. vyd. Kostelec nad Černými lesy: Lesnická práce, 2009. ISBN 978-80-87154-62-5.

VRBOVÁ, Miroslava, JELÍNKOVÁ Helena a GAVRILOV Petr. *Úvod do laserové techniky*. Dot. 1. vyd. Praha: České vysoké učení technické, 1998. ISBN 80-01-01108-9.

ZEMAN, Lubomír. *Vstřikování plastů: teorie a praxe*. Praha: Grada Publishing, 2018. ISBN 978-80-271-0614-1.

ZMEŠKAL, Oldřich, Michal ČEPPAN a Petr DZIK. *Barevné prostory a správa barev* [online]. 2002. Dostupné také z: http://www.fch.vut.cz/lectures/imagesci/download/stud06_rozn02.pdf

11. Seznam příloh

Příloha 1 Technické parametry laserového centra Numco C 1290

Příloha 2 Změna barvy při výkonu 20 W

Příloha 3 Změna barvy při výkonu 30 W

Příloha 4 Změna barvy při výkonu 40 W

Příloha 5 Změna barvy při výkonu 50 W

Příloha 6 Změna barvy při výkonu 60 W

Příloha 7 Změna barvy při výkonu 70 W

Příloha 8 Změna barvy při výkonu 80 W

Příloha 9 Změna barvy při výkonu 90 W






Příloha 10 Změna barvy při výkonu 100 W

Příloha číslo 1 Technické parametry laserového centra Numco C 1290









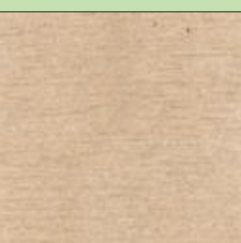
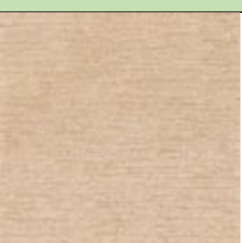
Tabulka 5 Technické parametry laserového centra Numco C 1290











Technická data	Hodnota
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, volitelně 100 W
Typ laseru	CO ₂
Životnost laserové trubice	8000 hodin
Rychlost gravírování	0 – 1000 mm.s ⁻¹
Řezná rychlost	0 – 600 mm.s ⁻¹
Max. hloubka řezu	Akryl 20 mm
Pohony os	Krokové motory
Opakovatelná přesnost	0,01 mm
Teplota pracovního prostředí	0 – 45 C°
Vlhkost pracovního prostředí	35 – 70 %
Chlazení vodou	Ano
Podporovaný software	ArtCut, CorelDraw, PhotoShop a AutoCad
Podporované grafické formáty	PLT, DXF, BMP, JPG, GIF, PGN, TIF
Komunikační rozhraní	USB
Celkový příkon	1200 W
Elektrické připojení	230 V
Pracovní výška	0 – 280 mm
Rozměry (š x v x h)	1830 x 1240 x 1500 mm
Hmotnost	320 kg

Příloha číslo 2 Změna barvy při výkonu 20 W











Výkon 20 Rychlost 50	Výkon 20 Rychlost 100
	
Výkon 20 Rychlost 150	Výkon 20 Rychlost 200
	
Výkon 20 Rychlost 250	
	











Příloha číslo 3 Změna barvy při výkonu 30 W

Výkon 30 Rychlost 50	Výkon 30 Rychlost 100
	
Výkon 30 Rychlost 150	Výkon 30 Rychlost 200
	
Výkon 30 Rychlost 250	Výkon 30 Rychlost 300
	
Výkon 30 Rychlost 350	Výkon 30 Rychlost 400
	
Výkon 30 Rychlost 450	Výkon 30 Rychlost 500
	











Výkon 30 Rychlost 550	Výkon 30 Rychlost 600
	
Výkon 30 Rychlost 650	Výkon 30 Rychlost 700
	
Výkon 30 Rychlost 750	Výkon 30 Rychlost 800
	
Výkon 30 Rychlost 850	Výkon 30 Rychlost 900
	
Výkon 30 Rychlost 950	Výkon 30 Rychlost 1000
	











Příloha číslo 4 Změna barvy při výkonu 40 W

Výkon 40 Rychlost 50	Výkon 40 Rychlost 100
	
Výkon 40 Rychlost 150	Výkon 40 Rychlost 200
	
Výkon 40 Rychlost 250	Výkon 40 Rychlost 300
	
Výkon 40 Rychlost 350	Výkon 40 Rychlost 400
	
Výkon 40 Rychlost 450	Výkon 40 Rychlost 500
	

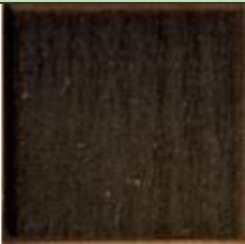









Výkon 40 Rychlost 550	Výkon 40 Rychlost 600
	
Výkon 40 Rychlost 650	Výkon 40 Rychlost 700
	
Výkon 40 Rychlost 750	Výkon 40 Rychlost 800
	
Výkon 40 Rychlost 850	Výkon 40 Rychlost 900
	
Výkon 40 Rychlost 950	Výkon 40 Rychlost 1000
	











Příloha číslo 5 Změna barvy při výkonu 50 W

Výkon 50, Rychlost 50	Výkon 50, Rychlost 100
	
Výkon 50, Rychlost 150	Výkon 50, Rychlost 200
	
Výkon 50, Rychlost 250	Výkon 50, Rychlost 300
	
Výkon 50, Rychlost 350	Výkon 50, Rychlost 400
	
Výkon 50, Rychlost 450	Výkon 50, Rychlost 500
	









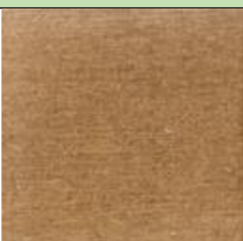

Výkon 50, Rychlost 550	Výkon 50, Rychlost 600
	
Výkon 50, Rychlost 650	Výkon 50, Rychlost 700
	
Výkon 50, Rychlost 750,	Výkon 50, Rychlost 800
	
Výkon 50, Rychlost 850	Výkon 50, Rychlost 900
	
Výkon 50, Rychlost 950	Výkon 50, Rychlost 1000
	











Příloha číslo 6 Změna barvy při výkonu 60 W

Výkon 60 Rychlost 50	Výkon 60 Rychlost 100
	
Výkon 60 Rychlost 150	Výkon 60 Rychlost 200
	
Výkon 60 Rychlost 250	Výkon 60 Rychlost 600
	
Výkon 60 Rychlost 350	Výkon 60 Rychlost 400
	
Výkon 60 Rychlost 450	Výkon 60 Rychlost 500
	

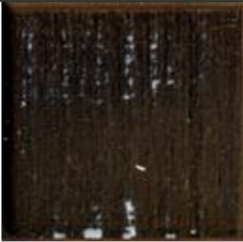









Výkon 60 Rychlost 550	Výkon 60 Rychlost 600
	
Výkon 60 Rychlost 650	Výkon 60 Rychlost 700
	
Výkon 60 Rychlost 750	Výkon 60 Rychlost 800
	
Výkon 60 Rychlost 850	Výkon 60 Rychlost 900
	
Výkon 60 Rychlost 950	Výkon 60 Rychlost 1000
	











Příloha číslo 7 Změna barvy při výkonu 70 W

Výkon 70 Rychlost 50	Výkon 70 Rychlost 100
	
Výkon 70 Rychlost 150	Výkon 70 Rychlost 200
	
Výkon 70 Rychlost 250	Výkon 70 Rychlost 300
	
Výkon 70 Rychlost 350	Výkon 70 Rychlost 400
	
Výkon 70 Rychlost 450	Výkon 70 Rychlost 500
	











Výkon 70 Rychlost 550	Výkon 70 Rychlost 600
	
Výkon 70 Rychlost 650	Výkon 70 Rychlost 700
	
Výkon 70 Rychlost 750	Výkon 70 Rychlost 800
	
Výkon 70 Rychlost 850	Výkon 70 Rychlost 900
	
Výkon 70 Rychlost 950	Výkon 70 Rychlost 1000
	











Příloha číslo 8 Změna barvy při výkonu 80 W

Výkon 80 Rychlost 50	Výkon 80 Rychlost 100
	
Výkon 80 Rychlost 150	Výkon 80 Rychlost 200
	
Výkon 80 Rychlost 250	Výkon 80 Rychlost 300
	
Výkon 80 Rychlost 350	Výkon 80 Rychlost 400
	
Výkon 80 Rychlost 450	Výkon 80 Rychlost 500
	

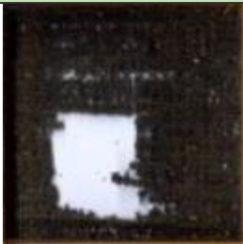









Výkon 80 Rychlost 550	Výkon 80 Rychlost 600
	
Výkon 80 Rychlost 650	Výkon 80 Rychlost 700
	
Výkon 80 Rychlost 750	Výkon 80 Rychlost 800
	
Výkon 80 Rychlost 850	Výkon 80 Rychlost 900
	
Výkon 80 Rychlost 950	Výkon 80 Rychlost 1000
	









Příloha číslo 9 Změna barvy při výkonu 90 W

Výkon 90 Rychlost 50	Výkon 90 Rychlost 100
	
Výkon 90 Rychlost 150	Výkon 90 Rychlost 200
	
Výkon 90 Rychlost 250	Výkon 90 Rychlost 300
	
Výkon 90 Rychlost 350	Výkon 90 Rychlost 400
	
Výkon 90 Rychlost 450	Výkon 90 Rychlost 500
	

Výkon 90 Rychlost 550	Výkon 90 Rychlost 600
	
Výkon 90 Rychlost 650	Výkon 90 Rychlost 700
	
Výkon 90 Rychlost 750	Výkon 90 Rychlost 800
	
Výkon 90 Rychlost 850	Výkon 90 Rychlost 900
	
Výkon 90 Rychlost 950	Výkon 90 Rychlost 1000
	

Příloha číslo 10 Změna barvy při výkonu 100 W

Výkon 100 Rychlost 50	Výkon 100 Rychlost 100
	
Výkon 100 Rychlost 150	Výkon 100 Rychlost 200
	
Výkon 100 Rychlost 250	Výkon 100 Rychlost 300
	
Výkon 100 Rychlost 350	Výkon 100 Rychlost 400
	
Výkon 100 Rychlost 450	Výkon 100 Rychlost 500
	

Výkon 100 Rychlost 550	Výkon 100 Rychlost 600
	
Výkon 100 Rychlost 650	Výkon 100 Rychlost 700
	
Výkon 100 Rychlost 750	Výkon 100 Rychlost 800
	
Výkon 100 Rychlost 850	Výkon 100 Rychlost 900
	
Výkon 100 Rychlost 950	Výkon 100 Rychlost 1000
