

**Česká zemědělská univerzita v Praze**

Fakulta lesnická a dřevařská

Katedra zpracování dřeva a biomateriálů

**Využití technologie obrábění laserem v dřevařství**

Bakalářská práce

Autor: Šimek David

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

2020

# ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Fakulta lesnická a dřevařská

## ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

David Šimek

Dřevařství  
Dřevařství

Název práce

**Využití technologie obrábění laserem v dřevařství**

Název anglicky

**Application of laser machining technology in woodworking**

---

### **Cíle práce**

Cílem této práce je charakterizovat obrábění laserem a typové rozdělení technologie. Zhodnocení a porovnání technologie s klasickým způsobem obrábění dřeva.

### **Metodika**

Teoretický rozbor metody obrábění laserem. Rozdělení laserů. Popsat dělení materiálů laserem a metodu gravírování, rozdíly mezi těmito operacemi a klasickým způsobem obrábění. Výhody a nevýhody při obrábění laserem. Použití laseru i v jiných oblastech průmyslu.

**Doporučený rozsah práce**

35 – 45 strán

**Klíčová slova**

obrobek, laser, nekonvenční obrábění

---

**Doporučené zdroje informací**

- BEER, P. Niekonwencjonalne narzedzia do obróbki drewna. Poznań, Wydawnictwo Akademii Rolniczej. 2007. s. 58-70. ISBN 978-83-7160-445-4.
- BERNARD, K. E. Schneiden mit Laserstrahlung und Wasserstrahl. Printed in Germany. 1993. s. 3-93. ISBN 3-8169-0748-2.
- CARISTAN, Ch. L. Laser cutting guide for manufacturing. 1 th ed. Michigan: SME. 2004. 447 s., ISBN 978-0-87263-686-6.
- HILL, C. A. S. Wood modification chemical, thermal and other processes. Chichester: John Wiley & Sons Ltd, UK. 2006. 239 s
- KRAJNÝ, Z. Nekonenčné technológie a bezpečnosť pri práci. Bezpečná práca 4/1991. 1991. s. 152 – 156.
- KVIETKOVÁ, M. Obrábění dřeva. CARTER Praha. 2015. 295 s., ISBN 978-80-213-2604-0.
- POŽGAJ, A. a kol. Štruktúra a vlastnosti dreva. 2. vyd. Bratislava Príroda. 1997. 488 s., ISBN 80-07-00960-4.

---

**Předběžný termín obhajoby**

2019/20 LS – FLD

**Vedoucí práce**

doc. Ing. Monika Sarvašová Kvietková, PhD.

**Garantující pracoviště**

Katedra zpracování dřeva a biomateriálů

---

Elektronicky schváleno dne 27. 2. 2020

**Ing. Radek Rinn**

Vedoucí ústavu

---

Elektronicky schváleno dne 3. 3. 2020

**prof. Ing. Róbert Marušák, PhD.**

Děkan

V Praze dne 21. 03. 2020

## **Prohlášení**

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma „Využití technologie obrábění laserem v dřevařství“ vypracoval samostatně pod vedením doc. Ing. Moniky Sarvašové Kvietkové, PhD. a použil jen prameny, které uvádím v seznamu použitých zdrojů.

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

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

.....

Šimek David

## **Poděkování**

Děkuji tímto paní doc. Ing. Monice Sarvašové Kviťkové, PhD. za dobré vedení při mé práci, za cenné rady a všechny připomínky k mé bakalářské práci. Také bych chtěl tímto poděkovat celé mé rodině, přítelkyni a všem přátelům, kteří mě podporovali po celou dobu.

## **Abstrakt**

Tato bakalářská práce je zaměřena na laserovou technologii a její celkové použití jak v dřevařství, tak v dalších oborech. V první části jsou popsány jednotlivé části laseru, bez kterých by nemohl fungovat. Je zde popsáno, na co slouží a jejich princip. Následuje rozdělení laserů podle určitých kritérií. Podle aktivního prostředí, vlnové délky, výkonu nebo použití. Následují způsoby využití laserové technologie, především při obrábění a jako další jsou zde sepsány výhody a nevýhody u této technologie. V praktické části je porovnání nekonvenčního obrábění spolu s konvenční technologií na jednoduchém projektu. Tento jednoduchý projekt dopomohl k určení, které z těchto technologií je výhodnější v porovnání s druhou. Všechny přednosti, ale také nevýhody, ukázal právě tento projekt. Dosažené výsledky jsou více rozepsány v poslední kapitole. Jako jsou například opálené hrany na výrobku při použití laserové technologie nebo esteticky nedokonalý tvar při použití konvenčních technologií.

## **Klíčová slova**

obrobek, laser, nekonvenční obrábění

## **Abstrakt**

This bachelor's thesis is focused on laser technology and its general use in the wood industry and other industries. Individual components of the laser essential for a correct function are described in the first section. Then, laser technologies are divided according to given criteria. These criteria include the active environment, wavelength, power or use. After, ways of using laser technology are described, especially in wood machining. Advantages and disadvantages of laser technologies are stated as well. In the practical part, a simple project demonstrates how the unconventional technology of wood-machining compares with the conventional technology. This simple project helped to determine which method is more suitable for this particular use. It was this project that helped to show advantages and disadvantages. The obtained results are shown in detail in the last chapter. These include flamed edges of the product after the use of the laser technology or aesthetically imperfect shape with the use of the conventional technology.

## **Key words**

woodwork, laser, unconventional wood-machining

# Obsah

<b>1</b>	<b>ÚVOD</b> .....	<b>8</b>
<b>2</b>	<b>CÍL PRÁCE</b> .....	<b>9</b>
<b>3</b>	<b>NEKONVENČNÍ OBRÁBĚNÍ</b> .....	<b>10</b>
<b>4</b>	<b>OBRÁBĚNÍ LASEREM</b> .....	<b>11</b>
4.1	HISTORIE LASERU .....	12
4.2	ZÁKLADNÍ ČÁSTI LASERU .....	13
4.2.1	Aktivní prostředí .....	13
4.2.2	Rezonátor .....	13
4.2.3	Budící zařízení .....	14
4.2.4	Zdroj energie buzení .....	14
4.2.5	Chladící zařízení .....	14
4.3	ZÁKLADNÍ ROZDĚLENÍ LASERU .....	14
4.3.1	Rozdělení dle aktivního prostředí .....	14
4.3.2	Rozdělení dle vlnové délky .....	16
4.3.3	Rozdělení dle dosahovaného výkonu .....	16
4.3.4	Rozdělení dle použití .....	16
4.3.5	Rozdělení dle excitace aktivního prostředí .....	17
4.4	ZPŮSOBY VYUŽITÍ LASERU .....	17
4.4.1	Řezání .....	17
4.4.2	Gravírování .....	18
4.4.3	Svařování .....	19
4.4.5	Medicína .....	19
	Neurochirurgie .....	20
	Dermatologii .....	20
	Stomatologie .....	20
	Oční operace .....	21
4.4.6	Průmysl .....	22
4.4.7	Astronomie, geodézie, geofyzika .....	22
4.4.8	Ekologie a meteorologie .....	22
4.4.9	Vojenské aplikace .....	22
4.4.10	Laserová tiskárna .....	23
4.4.11	Kompaktní optické disky (CD, DVD) .....	23
4.4.12	Čárový kód .....	24
4.5	VÝHODY A NEVÝHODY LASEROVÉ TECHNOLOGIE .....	24
<b>5</b>	<b>KONVENČNÍ OBRÁBĚNÍ</b> .....	<b>25</b>
5.1	PÁSOVÁ PILA .....	25
5.2	KOTOUČOVÁ PILA .....	26
5.3	VYKRUŽOVAČKA .....	26
<b>6</b>	<b>METODIKA – PRAKTICKÁ ČÁST</b> .....	<b>28</b>
6.1	NÁVRH PROJEKTU .....	28
6.2	POUŽITÝ MATERIÁL .....	28
6.3	POSTUP NÁVRHU .....	29
6.4	VÝROBA POMOCÍ LASERU .....	30
6.5	VÝROBA POMOCÍ KONVENČNÍ TECHNOLOGIE .....	32
<b>7</b>	<b>VÝSLEDKY</b> .....	<b>36</b>
<b>8</b>	<b>DISKUZE</b> .....	<b>37</b>
<b>9</b>	<b>ZÁVĚR</b> .....	<b>38</b>

10.	SEZNAM ZDROJŮ .....	39
11.	SEZNAM PŘÍLOH .....	42



## Seznam obrázků

<b>OBRÁZEK 1 METODY DĚLENÍ MATERIÁLŮ .....</b>	<b>10</b>
<b>OBRÁZEK 2 STIMULOVANÁ EMISE FOTONŮ.....</b>	<b>12</b>
<b>OBRÁZEK 3 ŘEZÁNÍ LASEREM DO DŘEVA .....</b>	<b>18</b>
<b>OBRÁZEK 4 GRAVÍROVÁNÍ LASEREM .....</b>	<b>19</b>
<b>OBRÁZEK 5 PÁSOVÁ PILA.....</b>	<b>25</b>
<b>OBRÁZEK 6 KOTOUČOVÁ PILA .....</b>	<b>26</b>
<b>OBRÁZEK 7 VYKRUŽOVAČKA .....</b>	<b>27</b>
<b>OBRÁZEK 8 PŘEKLIŽKA UMÍSTĚNÁ DO LASEROVÉHO STROJE .....</b>	<b>29</b>
<b>OBRÁZEK 9 EPILOG LEGEND EXT 36x24.....</b>	<b>30</b>
<b>OBRÁZEK 10 ZAČÁTEK LASEROVÉHO ŘEZÁNÍ.....</b>	<b>31</b>
<b>OBRÁZEK 11 KONEČNÝ VÝROBEK POMOCÍ LASEROVÉ TECHNOLOGIE.....</b>	<b>32</b>
<b>OBRÁZEK 12 KONEČNÝ VÝROBEK POMOCÍ KONVENČNÍ TECHNOLOGIE .....</b>	<b>35</b>
<b>OBRÁZEK 13 NÁVRH PROJEKTU – LASEROVÁ TECHNOLOGIE .....</b>	<b>43</b>

# 1 Úvod

Obrábění laserem je jedna z nekonvenčních technologií. Laser lze použít na mnoho materiálů a jeho variabilita je téměř nekonečná. Ať už se jedná o řezání kovového materiálu nebo dřevěného materiálu. Jelikož se jedná o novou a moderní technologii, která může velmi často ulehčit náročnou práci, je tato technologie stále více vyhledávaná. Nejde pouze o obrábění materiálu, kde se využívá laserová technologie. Laserů je spousta druhů a používají se v mnoha odvětvích. Stále se využívá ve více a více oborech, a jako nová technologie podstupuje řadě dalších výzkumů, aby toto využití bylo co nejefektivnější. Proto můžeme jen odhadovat, kde by tato technologie byla, pokud by měla stejné historické kořeny jako běžné konvenční technologie. A měla stejný čas na vývoj jako třeba rámová pila.

Laser je neuvěřitelným pomocníkem pro člověka ve 21.století. Využití laserové technologie usnadňuje práci v mnoha oborech. Už se nejedná pouze o představu, že v budoucnosti budeme pomocí laserových mečů bojovat. Nebo že laser je pouze pomocník na ukazování sloužící místo dřevěného ukazovátka. Tuto technologii používá dnes již téměř každý, a mnoho z nás si to ani neuvědomuje. Málo koho z nás napadne, že sledování filmů na DVD nebo poslouchání muziky na CD je z velké části ovlivněno právě laserovou technologií nebo při běžném nákupu v obchodě, projde každý výrobek přes pokladnu, která pomocí laseru zpracovává čárový kód z výrobku a převádí tento kód do počítače. Běžné věci, které děláme téměř každý den.

A právě ona myšlenka, kde všude v běžném denním životě by se mohl laser vyskytovat, mě přivedla k základnímu tématu mé bakalářské práce. Pak už následovalo bližší spojení s mým studijním oborem a představou, jakým by laser mohl být pomocníkem při mé budoucí práci.

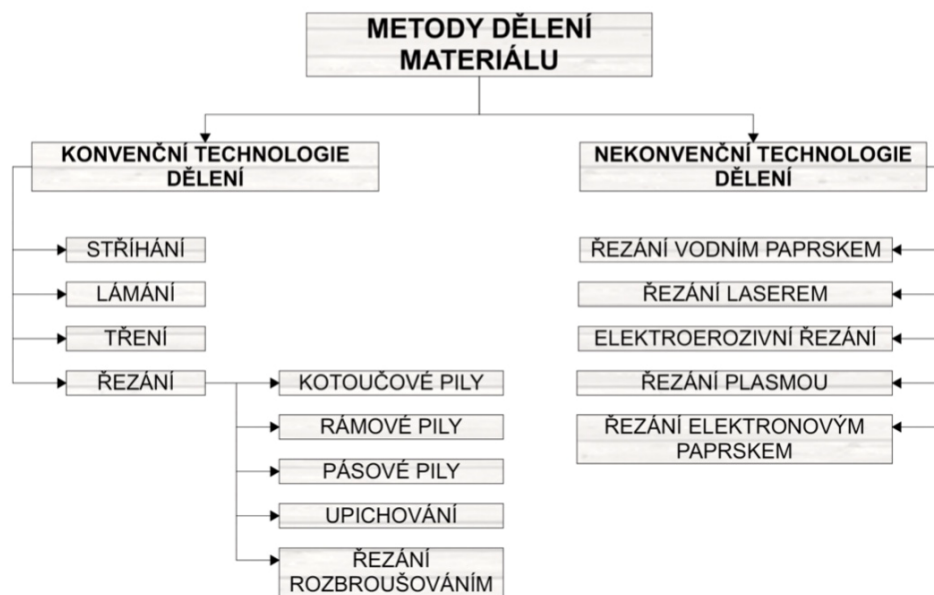
## **2 Cíl práce**

Jako hlavní cíl práce je ukázat jednu z nekonvenčních technologií, kterou je obrábění za pomoci laseru. Charakterizovat obrábění za pomoci laseru, popsat rozdělení laseru podle určitých kritérií. Jako další cíl je zhodnotit a popsat mezi sebou konvenční a nekonvenční technologie na jednoduchém projektu. Ukázat výhody a zároveň i nevýhody na jednoduchém projektu, který provedeme na konvenčních a nekonvenčních technologiích.

### 3 Nekonvenční obrábění

Při tradičních způsobech obrábění dřeva vznikají většinou značné ztráty dřevní hmoty v podobě třísek. Rovněž otupování nástrojů a jejich údržba nepříznivě ovlivňuje ekonomii dosavadních způsobů obrábění, zejména při obrábění abrazivních hmot (desky z aglomerovaného dřeva, některé plasty a jiné materiály). Konvenční metody nejsou vždy ekonomicky ani technologicky výhodné, a proto se stále více dostávají do popředí metody nekonvenční.

Jedná se o každou technologii, kdy dochází k oddělování materiálu jiným způsobem než oddělováním řezným klínem. Tyto metody se využívají především tam, kde by způsob klasickým řezným klínem byl velmi náročný nebo finančně nákladný. Jedná se o obrábění pomocí tepelného účinku, abrazivními nebo chemickými látkami a také jejich vzájemnou kombinací. Jejich obrovskou výhodou jsou velmi přesné a kvalitní produkty. Mezi další výhody patří i to, že nevznikají klasické třísky jako je tomu u obrábění řeznými klíny. Rozdělení metod, které se používá na dělení materiálu, je vyobrazeno na obrázku 1 (Maňková, 2000; Osička, 2012).



Obrázek 1 Metody dělení materiálu

Kašpar, 2008

V této práci se budu věnovat především obrábění za pomoci laserové technologie, tuto technologii přiblížím v následujících kapitolách blíže.

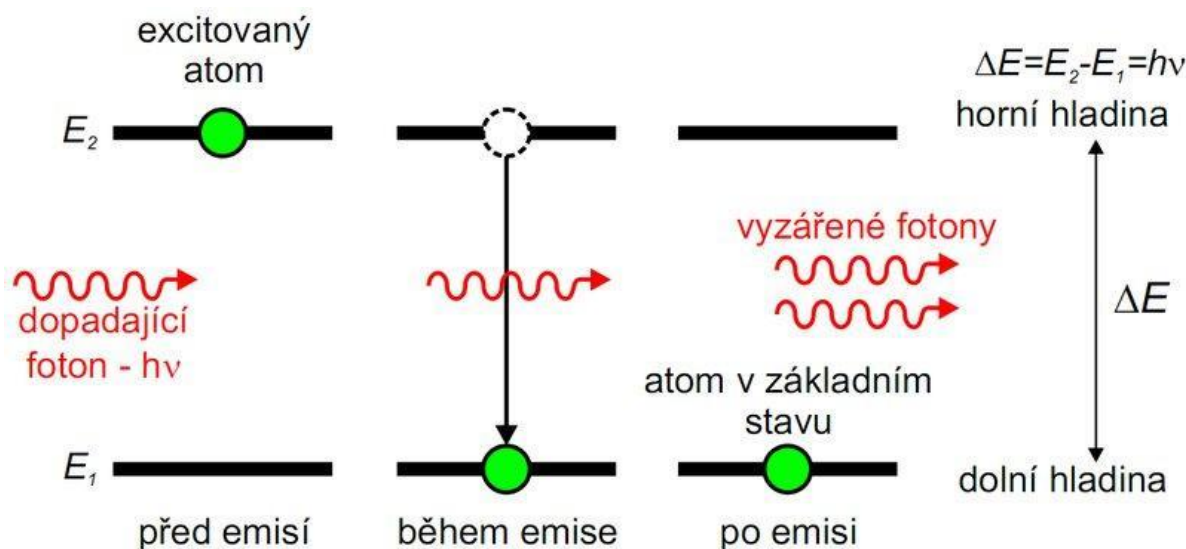
## 4 Obrábění laserem

Laser (Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation) není nic jiného než světlo. Světlo, jak ho známe, je neuspořádaný, chaotický běh fotonů. Na druhé straně laser je pouze světelná podoba, která má svůj řád. V laseru všechny fotony jsou usměrněné a všechny fotony mají svůj řád.

Hlavní podstatou laseru je ovládnání náhodných vyzářených fotonů a usměrňování těchto fotonů do určitého řádu, který potřebujeme. Jedná se o Bohrovu teorii elektronového obalu, který v této teorii říká, že při pohlcení fotonu elektronem dojde k excitaci na vyšší hladinu, kde má elektron větší energii. Při opětovném přechodu elektronů na nižší neboli základní hladinu, dojde k vyzáření přebytečné energie v podobě fotonu. Zde se jedná o spontánní emisi záření, která je nevyužitelná pro zesílení a dojde k vyzáření v podobě tepla.

V laseru je zapotřebí dosáhnout stimulované emise, která se dá využít na zesílení záření o jedné vlnové délce. K tomuto kroku, aby docházelo ke stimulované emisi, pomáhá výbojka. Stimulovaná emise je znázorněna na obrázku 2. Výbojku si můžeme představit jako zdroj energie v laseru. Výbojka má za hlavní úkol do aktivního prostředí dodávat energii, která řekne elektronům v aktivním prostředí, že mají ze své základní energetické hladiny excitovat do vyšší energetické hladiny. A dojde k jevu inverze populace, tento jev není nic jiného než většina elektronů excitovaných ve vyšší hladině. Když se elektrony z vyšší hladiny vrací zpět na svou základní hladinu, dochází k vyzáření energie ve formě dalších fotonů. Tyto fotony se setkávají s dalšími elektrony a spouštějí stimulovanou emisi fotonů. Stimulované fotony mají stejnou energii, jakou má iniciační foton. A tato stimulovaná emise se dá využít pro zesílení záření na rozdíl od spontánní emise (Maňková,2000; <http://coptel.coptkm.cz/index.php?action=2&doc=33788&instance=2>, 11.3.2020).

Teď už víme, jak laser funguje a můžeme se podívat na samotný vývoj laseru. Jak a kdy postupoval vývoj, popřípadě kdo se na tom podílel.



Obrázek 2 Stimulovaná emise fotonů

<http://www.lao.cz/lao-info-49/serial-na-tema-lasery---zakladni-princip-laseru-a-jejich-deleni-127>, 11.3.2020

#### 4.1 Historie laseru

Zde se podíváme na vývojové milníky potřebné k tomu, aby laser mohl vzniknout a co tomuto vzniku předcházelo. Také se podíváme na jména několika významných osobností, bez kterých by laser nejspíš nikdy nevznikl.

Roku 1897 vznikla první část potřebná k laserové technologii. Tohoto roku byl vynalezen Fabry-Perotonův interferometr, který se používá jako rezonátor. O několik let později (rok 1916) přišel Albert Einstein s úvahou o stimulované emisi. Roku 1928 fyzikové Rudolf Landenburg a Hans Kopfermann úspěšně prokazují úvahu, s kterou přišel Einstein. Roku 1957 dává americký fyzik Gordon Gould zkratku LASER (Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation / Zesílení světla stimulovanou emisí záření). Předchůdce laseru byl MASER, který funguje na stejném principu jako laser, ale generuje mikrovlnné záření. Maser sestavili roku 1956 američtí fyzikové Arthur Schawlow a Charles Townes. O dva roky později dokazují, že frekvenční pásmo Maseru půjde rozšířit i do oblasti světla. 16. května roku 1960 Theodore Maiman poprvé získává emisi laserového světla pomocí umělého rubínového krystalu. Toho samého roku sestavuje také Ali Javan svůj plynový He-Ne laser, který je prvním plynovým laserem. Pouze o rok později vzniká výkonný CO<sub>2</sub> laser s kontinuálním provozem. Díky svému výkonu je široce využíván v průmyslu. Dále se lasery využívají hojně v mnoha odvětvích jako například v elektrotechnice na ukládání dat na CD, v lékařství a dalších. V další části se zaměříme na základní části laseru, bez kterých by samotný stroj nemohl fungovat ([https://www.welt.de/welt\\_print/wissen/article7649341/Meilensteine-aus-der-Geschichte-des-Lasers.html](https://www.welt.de/welt_print/wissen/article7649341/Meilensteine-aus-der-Geschichte-des-Lasers.html), 11.3.2020).

## 4.2 Základní části laseru

Každý laser se musí skládat z několika částí, aby mohl účinně pracovat. Každá tato část má svou funkci, kterou musí plnit.

Základní části:

- 1) aktivní prostředí,
- 2) rezonátor,
- 3) budící zařízení,
- 4) zdroj energie buzení,
- 5) chladicí zařízení.

V následujících kapitolách je podrobněji popsáno více k těmto základním částem. Která část co způsobuje a za co je zodpovědná, aby laser mohl správně a bezpečně fungovat.

### 4.2.1 Aktivní prostředí

Toto prostředí je látka, které umožňuje elektronům pohybovat se (excitovat) ze základní vrstvy na vyšší vrstvu. Pokud jsou elektrony na základní hladině, potřebují dodat energii, aby mohly excitovat na vyšší hladinu. Jak už to v přírodě bývá, tak elektrony se snaží být na své základní hladině, a proto přeskakují zpátky. Při tomto zpětném procesu se část energie vyzáří v podobě fotonu (Maňková, 2000).

Aktivní prostředí se dělí na:

- a) plynové,
- b) pevnolátkové,
- c) diodové,
- d) kapalinové.

### 4.2.2 Rezonátor

V rezonátoru dochází k usměrňování jednotlivých fotonů a také jejich zesílení. Je tvořen nejméně dvěma zrcadly, která jsou většinou rovinná, ale mohou být i zakřivená. Lze použít také vyduté (konkávni) nebo vypuklé (konvexní) zrcadlo. Stabilita rezonátoru závisí na poloměru zakřivení jednotlivých zrcadel a také na celkové délce rezonátoru. Průměr a zakřivení také určují intenzitu záření energetickou rozbíhavost (Řasa, Kerečaninová 2008).

### 4.2.3 Budící zařízení

Toto zařízení ovlivňuje pracovní režim laseru a zaleží vždy na laserovém médiu. Každé médium je buzeno totiž trochu jinak. Plynné médium je buzeno pomocí proudu, a to jak střídavým proudem, tak stejnosměrným proudem. Na druhé straně, kde je médium pevné, se nejčastěji využívá buzení za pomoci výbojek. Dále se k buzení může využít chemická reakce, fotodisociace nebo rychlá expanze plynu (Řasa, Kerečaninová 2008).

### 4.2.4 Zdroj energie buzení

Zdroj energie buzení je zařízení, které udává impuls elektronům. Záleží vždy na aktivním prostředí, jak dochází k buzení, může docházet pomocí elektrického výboje, chemicky nebo třeba diodami (Řasa, Kerečaninová 2008).

### 4.2.5 Chladicí zařízení

Slouží především na ochlazování a odvádění tepelné energie z laseru. Při vytváření laseru se nepřemění všechna energie na laserové záření, ale dochází zde i k vytváření tepelné energie, kterou je potřebné odvádět, aby nedocházelo k přehřívání stroje. Nejčastěji se používá voda a vzduch (Řasa, Kerečaninová 2008).

## 4.3 Základní rozdělení laseru

Lasery můžeme rozdělit podle mnoha kritérií. Jelikož laserů je velké množství při čemž mají i rozdílné vlastnosti, jiný výkon a také jiné možnosti použití.

Lasery lze rozdělit podle aktivního prostředí, vlnové délky, výkonu laseru, použití a rozdělení podle excitace aktivního prostředí. Na podrobnější rozdělení se podíváme níže.

### 4.3.1. Rozdělení dle aktivního prostředí

Dělení podle aktivního prostředí můžeme dělit do několika skupin, v následující kapitole se tomu budeme věnovat důkladněji.

- pevnolátkové (Nd:YAG, Yb:YAG, Ti:safir),
- plynné (He-Ne, Ar, Kr, CO<sub>2</sub>, KrO),



- kapalinové (fluorescein, rhodamin),
- polovodičové (GaAs, GaN, InAsSb),
- plazmatické.

### **Pevnolátkové lasery**

Tyto lasery jsou stabilní a jsou využívány kvůli svým nízkým nákladům na výrobu. Jejich aktivní prostředí tvoří především krystalické nebo amorfní izolanty spolu s vhodnými ionty. Nejznámější jsou lasery, jejichž aktivní prostředí je tvořeno krystalem rubínu, ale nejrozšířenější jsou lasery, kde jejich aktivní prostředí tvoří neodym (Nd:YAG). Jejich záření je na hranici viditelného nebo infračerveného záření (Vrbová,1994; <https://www.lascam.cz/rozdeleni-laseru/>,11.3.2020).

### **Kapalinové lasery**

Zde aktivní prostředí tvoří roztoky s organickými barvivy, díky těmto barvivům je rozhraní vlnových délek téměř neomezené. Pohybuje se v rozmezí 300nm až do 1500nm. Barviva jsou nejčastěji organického původu. Jejich velká nevýhoda je krátká životnost aktivního prostředí, které se kvůli zahřívání při použití rozkládá. Nejčastější použití kapalinových laserů je ve spektroskopii (Vrbová,1994; <https://www.lascam.cz/rozdeleni-laseru/>,11.3.2020).

### **Polovodičové lasery**

U polovodičových laserů aktivní prostředí tvoří dioda, které má velmi malé rozměry. Malé rozměry jsou zde považovány za výhodu. Účinnost polovodičových laserů je až 50 % a jejich výkon pomocí elektrického proudu se dá jednoduše upravovat pomocí elektrického proudu. Tyto lasery se často používají ve spotřební elektronice, telekomunikaci i ve výpočetní technice (Vrbová,1994; <https://www.lascam.cz/rozdeleni-laseru/>,11.3.2020).

### **Plynové lasery**

Aktivní prostředí je tvořeno pomocí plynu, kde dochází k excitaci pomocí elektrického výboje. Plyn je tvořen atomy, ionty nebo molekulami. Nejznámější lasery jsou CO<sub>2</sub> lasery, jejich aktivní prostředí tvoří oxid uhličitý. CO<sub>2</sub> lasery vytváří záření o vlnové délce nejčastěji 1,06 μm. A proto jsou řazeny do oblasti infračerveného záření. Pracují v kontinuálním nebo pulzním režimu (Vrbová,1994; <https://www.lascam.cz/rozdeleni-laseru/>,11.3.2020).

### **4.3.2. Rozdělení dle vlnové délky**

Lasery můžeme rozdělit také podle toho s jakou vlnovou délkou pracují. Lasery tedy dělíme na lasery s viditelným zářením, infračervené záření, ultrafialové záření a rentgenové záření.

#### **Viditelné záření**

Neboli světlo, Jedná se o záření, které můžeme pozorovat pouhým okem. Vlnové délky se pohybují od 390nm až do 790nm (<http://www.fyzika007.cz/optika/prehled-elektromagnetickeho-zareni>, 19.4.2020)

#### **Infračervené záření**

Jeho vlnové délky se pohybují od 790nm, je tedy větší než u viditelného světla. Jde zde o tepelné záření a všechna tělesa ho vyzařují (<http://www.fyzika007.cz/optika/prehled-elektromagnetickeho-zareni>, 19.4.2020)

#### **Ultrafialové záření**

Jedná se o UV záření, za které je zodpovědné slunce. Jeho vlnové délky jsou kratší než u viditelného světla (<http://www.fyzika007.cz/optika/prehled-elektromagnetickeho-zareni>, 19.4.2020)

#### **Rentgenové záření**

Je forma elektromagnetického záření, jehož vlnová délka se pohybuje od 10nm až po 1pm (<http://www.fyzika007.cz/optika/prehled-elektromagnetickeho-zareni>, 19.4.2020)

### **4.3.3. Rozdělení dle dosahovaného výkonu**

Podle výkonu se dají lasery rozdělit na nízkovýkoné a vysokovýkoné. Nízkovýkoné lasery se dají použít na řezání dřevěných materiálů a nekovových materiálů. Jejich výkon je pouze nízký v řádu desítek až stovek W. Na druhé straně jsou tu vysokovýkoné lasery, které se používají především na řezání kovových materiálů při velkém výkonu. Výkon může dosahovat až stovky tisíc W (<https://www.lascam.cz/rozdeleni-laseru/>, 11.3.2020).

### **4.3.4. Rozdělení dle použití**

Lasery se v dnešní době dají použít v mnoha odvětvích. Dají se použít například v medicíně na různé druhy operací díky velké přesnosti laseru. Dále také ve strojírenství, na řezání, čištění, svařování, broušení nebo třeba gravírování. Lasery lze také použít třeba v geodezii na různá měření. Laserová

technologie nachází uplatnění stále častěji ve více oborech. Proto je potřeba je také rozdělit (<https://www.lascam.cz/rozdeleni-laseru/>,11.3.2020).

#### **4.3.5. Rozdělení dle excitace aktivního prostředí**

Další rozdělení je podle toho, co způsobuje excitaci a vznik laserového paprsku. Lasery můžeme rozdělit na optické, chemické a elektrické (<https://www.lascam.cz/rozdeleni-laseru/>,11.3.2020).

##### **Optické buzení**

U optických laserů dodává energii potřebnou na vznik laserového paprsku světlo. Jde zde o záblesk světla, který umožní, aby atomy excitovaly na vyšší hladinu a při jejich zpětné reakci se vyzáří část energie ve formě laserového záblesku (<https://www.lascam.cz/rozdeleni-laseru/>,11.3.2020).

##### **Chemické buzení**

Zde je využívána chemická reakce pro dodání energie atomům. Nejčastěji se jedná o exotermickou reakci, při které vyzářené teplo z chemické reakce přejde na atomy, které tím mají dostatek energie na to, aby excitovaly na vyšší hladinu a při návratu na základní hladinu se vyzáří část energie ve formě laserového záblesku (<https://www.lascam.cz/rozdeleni-laseru/>,11.3.2020).

##### **Elektrické buzení**

Elektrické buzení dochází pomocí elektrického výboje, který předá svou energii atomům a ty mohou excitovat. Dochází v plynovém prostředí laseru (<https://www.lascam.cz/rozdeleni-laseru/>,11.3.2020).

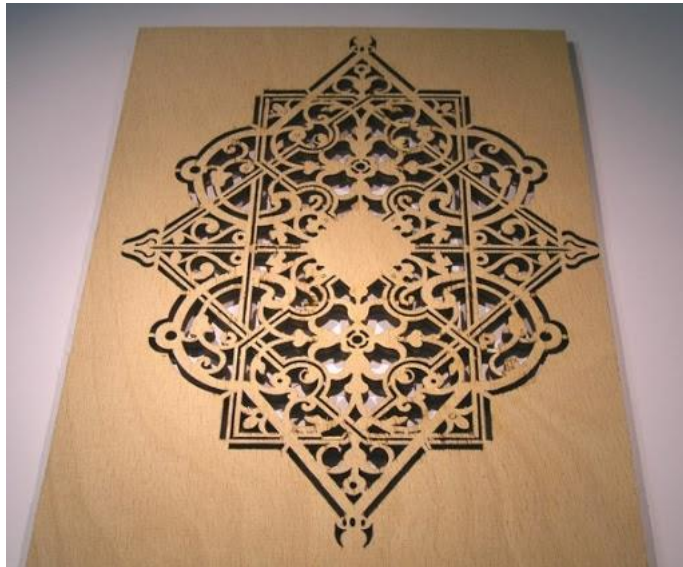
#### **4.4 Způsoby využití laseru**

Laser má mnoho funkcí, které se dají využívat různými způsoby. Každý laser nejde použít na vše, proto vždy záleží na druhu laseru, který je vhodný na danou práci. Na některé využití se podíváme v následující kapitole.

##### **4.4.1. Řezání**

Řezání pomocí laseru je jedna z nekonvenčních technologií, při které dochází k oddělování materiálu. Pomocí laseru lze řezat materiály kovové i nekovové s různou šířkou materiálu. Základem

je usměrnit energii na velmi malý prostor. Při dotyku laseru s materiálem dochází k nahromadění energie a pokud tato energie je větší než energie, kterou materiál dokáže odvézt pomocí vedení tepla, dochází k průchodu materiálu. Dochází zde k roztavení nebo odpaření materiálu. Nedochozí zde k poškození nástroje, jako to je u klasického řezání pomocí řezného klínu ([https://www.trumpf.com/de\\_CH/anwendungen/laserschneiden/](https://www.trumpf.com/de_CH/anwendungen/laserschneiden/), 11.3.2020; <https://factoryautomation.cz/cnc-rezani-laserem-10-vyhod-ktere-prinasi/>, 21.3.2020; Caristan, 2014).



**Obrázek 3 Řezání laserem do dřeva**

<http://www.lao.cz/aplikace-79/laserove-rezani-80/rezani-dreva-a-preklizky-laserem-82>, 21.3.2020

#### **4.4.2. Gravírování**

Jedná se o jednu z nekonvenčních technologií pomocí laseru. Jedná se o vyřezávání do dřeva. Tato technologie je čím dál více rozšířena. Pomocí této technologie lze vyřezávat neuvěřitelně přesné a dokonalé detaily. Lze gravírovat obrázky a reliéfy ve vysokém rozlišení. Při této technologii nevzniká téměř žádný odpadní materiál. Netvoří se při ní třísky, a proto je téměř nulová nutnost čištění stroje. Jelikož se jedná o technologii bez nástroje, nedochází proto k žádnému opotřebení nástroje.

Při gravírování se pohybuje hlava laseru a obrobek zůstává na místě. Hlava laseru se pohybuje velkou rychlostí s nízkým výkonem. Jako při řezání dřeva laserem tak i u gravírování nemá téměř žádné omezení náročnosti tvarů. Jedna z nevýhod u gravírování je opalování okrajů. Pokud se ale zvolí správná rychlost se správným výkonem, dosáhne se perfektních výsledků s minimální ztrátou materiálu (<https://ceskykutil.cz/clanek-13538-technika-gravirovani-je-oblibena-i-dnes>, 21.3.2020; <https://shop.gravixlaser.cz/clanky/gravirovani/>, 11.3.2020).



**Obrázek 4 Gravírování laserem**

<http://www.gravoservis.cz/gravirovani-dreva/>, 21.3.2020

#### **4.4.3. Svařování**

Svařování se používá zejména na spojování kovů. Jedná se v podstatě o lepení kovů. Pomocí laserové technologie dochází k roztavení kovů, přičemž následná zpětná reakce (tuhnutí) zapříčiní jejich pevné spojení. U sváření závisí na mnoha faktorech, jako jsou třeba vlastnosti a druh svařovaného materiálu, rychlost posuvu, vlnová délka laseru a mnoho dalších. Díky velké rychlosti svařování nedochází k deformacím okolního materiálu. Další velkou výhodou u svařování pomocí laseru je, že se nemusí přidávat žádný materiál, vysoká rychlost a sváry jsou tenké a hladké téměř s žádnou pórovitostí (<https://www.svarecky-elektrody.cz/zakladni-metody-svarovani/t-87>, 11.3.2020; <https://www.lintech.cz/produkty/laserove-technologie/laser-podle-aplikace/svarovani/laserove-svarovani-kovu/>, 21.3.2020; Steen, 2003).

V této části se zaměříme na jiné využití laseru v mnoha oborech. Laser se nepoužívá pouze na obrábění dřeva, kovů nebo plastů, ale našel využití i v řadě jiných odvětvích, jako je třeba medicína, průmysl a spousta dalších, na které se podíváme níže.

#### **4.4.5. Medicína**

Ačkoli se laser využívá v nejrůznějších profesích, medicína představuje jednu z těch nejpodstatnějších. Laser působí přesně, rychle a s minimální invazivitou. Díky těmto vlastnostem se v posledním půlstoletí začal hojně využívat v odvětvích jako dermatologie, oftalmologie, zubařství,

neurochirurgie a mnoho dalších. Laser se stal nenahraditelným chirurgickým a diagnostickým nástrojem. Přesná lokalizace vypálení snižuje rozsah řezu jinak způsobený skalpelem. Dále mohou odpařit daný povrch tkáně. Skrze optická vlákna může laser poskytnout náhled přímo do vnitřku pacientova těla. V závislosti na míru vystavení ( $W/cm^2$ ) a dobu vystavení laseru můžeme použití laseru zařadit do 6 kategorií: elektro-mechanický mód, odstranění, odpaření, koagulace, fotochemický mód a biostimulace (Beck,1984; Wheeland,1995).

## **Neurochirurgie**

Neurochirurgie těžší z velké rozdílnosti absorpčních vlastností normální a abnormální mozkové tkáně. Mozkové nádory mají vysoký obsah hemoglobinu díky své husté vaskularizaci. Díky tomu vykazuje vysoko absorpci záření v délkách 400–800 nm. Díky těmto vlastnostem se při otevřených operacích mozku začaly v osmdesátých letech využívat argonové a diodové lasery. Bylo však zjištěno, že argonové lasery mohou porušit okolní tkáň. CO<sub>2</sub> lasery s novějším modelem přenosu energie jsou bezpečnější a jsou v současné době využívány pro velmi přesné a snadno kontrolovatelné otevřené operace mozku. Laser může být využit i pro uzavřené operace mozku. Nově se laserem řízená termální odstranění používají pro ablací epileptických lézí. Přesnost zákroku je řízena pomocí magnetické rezonance (Beck,1984).

## **Dermatologii**

Povaha dermatologie, jež se zabývá bezproblémově přístupnou tkání, umožnila studii laseru v kontaktu s člověkem už od poloviny 60. let minulého století. Možnosti využití a limitace laseru byly v počátcích určeny právě díky práci dermatologů. Při dermatologickém využití je důležitá specifita laseru. Odstraňovaná tkáň má jinou povahu než tkáň normální. Když je absorpce odstraňované tkáně spárována s odpovídající vlnovou délkou laseru, dochází k maximalizaci specifity interakce mezi tkání a laserem. Nejčastěji se lasere využívá k odstranění vaskulárních lézí, benigních a maligních nádorů, pigmentových lézí. Časté je také využití pro kosmetické účely a při odstraňování tetování (Wheeland,1995).

## **Stomatologie**

Bakterie zubního plaku vytváří na zubní sklovině biologické filmy, které jsou nejčastěji odstraňovány vrtáním. Nicméně terapie využívající laser se ukazuje být méně invazivní s velmi efektivními antibakteriálními účinky. Navíc lze tuto metodu použít i jako prevenci při běžných kontrolách a vyhubit tak bakterie dříve, než začnou tvořit problematické plaky. Bakterie způsobují

ještě závažnější problémy při usazení u kořenu zubu, kde způsobuje subgingivální zubní kámen a může vést až ke ztrátě zubu. Fyzické odstranění v kombinaci s topikálními antibakteriálními přípravky. Je však těžké udržovat potřebnou koncentraci těchto přípravků kvůli přítomnosti slin, které je ředí. Laser může být použit ke sterilizaci buďto skrze tenkou gingivální stěnu, případně zavedením optického kabelu přímo do periodontální kapsy. Laser je také vhodný ke sterilizaci kořenového kanálku, jež je jen složitěji léčitelný kvůli své komplexní rozvětvené anatomii. Zásadní výhodou laseru oproti konvenční léčbě je také eliminace rizika mutací bakterií a stimulace antimikrobiální resistance (WILSON a kol., 1995; WILSON a kol., 1992).

### **Oční operace**

Žádný z oborů medicíny nezaznamenal při použití laserů takový úspěch jako oftalmologie. Výhodou této technologie je schopnost laseru vniknout do oka bez způsobení zranění. Oftalmologie využila laser bezprostředně po jeho vynalezení v 60. letech. Lasery jsou dodnes neodmyslitelnou součástí mikrochirurgie oka díky své minimální invazivitě a přesnosti. Zaostřovací systém rohovky a čočky přenesou zaostřený laserový paprsek přímo do oka. Toto může vyústit v zranění při neopatrné manipulaci s laserem, ale při správném použití je výsledkem terapeutický účinek. Při laserové operaci očí rozlišujeme 4 rozdílné druhy interakce mezi tkání a paprskem: foto-narušení, foto-ablace, foto-koagulace a fotochemické reakce.

Foto-narušení způsobuje mikroexplozi, díky kterým se vytvoří malé řezy i při minimální tepelném poškození. Mechanismu foto-narušení se využívá při léčbě glaukomu, obecně známého jako zelený zákal. Foto-ablace také zahrnuje minimální termální poškození a je základem pro nejběžnější operaci očí, laserově asistovanou in situ keratamileusis, zkráceně LASIK. Tato metoda používá foto-ablaci k úpravě oční rohovky. LASIK je schopný napravit hyperopii (dalekozrakost) až do 5 dioptrií a myopii (krátkozrakost) až do 12 dioptrií. LASIK je tedy alternativou pro nošení brýlí. Fotokoagulace využívá tepelnou energii laseru k utěsnění krevních cév, které mohou být narušené kvůli cukrovce, způsobující retinopatii. Poslední druh interakce, fotochemický účinek je generovaný především nízkenergetickými lasery. Tento druh použití je vhodný pro léčbu choroidální neovaskularizace. Při této nemoci nadměrné tvoření nových cév může vést ke ztrátě zraku. Laser je použit k zastavení neovaskularizace (Krauss, Puliafito, 1995).

Kromě využití v medicíně nebo obrábění se využívají také v průmyslu, astronomii nebo nejrůznější měření zemského povrchu, ve vojenství, při tisknutí na kopírce nebo třeba pro uchovávání a čtení dat z disků. Všechno toto využití je popsáno v dalších kapitolách.

#### **4.4.6. Průmysl**

V průmyslu se začaly lasery používat takřka ihned. Slouží například k řezání materiálu, gravírování nebo svařování (viz kapitola 4.4). Dále se mohou používat na měření vzdáleností, vytyčování určitých vzdáleností na stavbách nebo jako laserová vodováha a další. Celkové použití v průmyslu je především na zkvalitnění a zjednodušení práce, oproti běžným technologiím.

#### **4.4.7. Astronomie, geodézie, geofyzika**

V těchto oborech se laser využívá zejména na měření vzdáleností jednotlivých objektů. Využívají se především pulzní lasery, kde délka impulzu je až 10-15 sekund. Princip spočívá na vyslání impulzu do koutového odražeče, který odrazí impuls zpět ke zdroji. Doba, za kterou dojde k tomuto procesu, je úměrná vzdálenosti objektu. Koutové odražeče jsou vyrobeny tak, aby vždy poslaly impuls ve stejném směru jako je směr dopadání impulzu. Nezáleží tedy na úhlu dopadu. Jde také o jeden z prvních přístrojů, které američtí astronauti umístili na povrch Měsíce. Díky tomu můžeme měřit jednotlivé vzdálenosti Měsíce s velkou přesností. Novodobé mapy jsou vytvořené díky laserové technologii, s maximální přesností (<https://www.cez.cz/edee/content/microsites/laser/k34.htm>, 15.4.2020).

#### **4.4.8. Ekologie a meteorologie**

V této oblasti se lasery používají na měření znečištěného ovzduší. Tyto laserové radary se zde označují jako LIDARY, které vyzáří paprsek do ovzduší kde se část signálu odrazí a vrací se zpět a další část se rozptýlí. Následně se vyhodnocují odražené paprsky a tím se měří obsah škodlivých látek v ovzduší. Dále se za pomoci laserové technologie dají změřit turbulence v atmosféře, čehož se využívá na kosmických sondách, při studiu jednotlivých atmosfér planet ve Sluneční soustavě. Pro měření oblačnosti a proudění větru se také dají využít LIDARY (<https://www.cez.cz/edee/content/microsites/laser/k34.htm>, 15.4.2020).

#### **4.4.9. Vojenské aplikace**

Spojené státy a Rusko vynaložili spoustu úsilí, a především financí, na vytvoření laserových zbraní. Jejich snaha byla vytvořit laser, který by dokázal ničit. To se zatím nikomu nepovedlo, proto lasery ve vojenství slouží především na zaměřování cílů. V Rusku začali s vývojem mezi 50. a 60. lety 19 století. Měli několik laserových zbraní (Terra-3 a Omega), které musely být ukotveny v zemi a sloužily především na zneškodnění balistických střel. Po zákazu balistických střel museli přenastavit tyto zbraně na poškozování satelitů na oběžné dráze, což se ukázalo jako velmi účinné. Následně



vyrobili i tři tanky s lasery, které dokázaly oslepit nepřátele poškozením jejich optiky. Tyto tanky potřebovaly velké množství syntetického rubínu, proto byla výroba velmi nákladná. Rusové rozhodli, že není důvod investovat do této technologie takové finance, když jediné, co umí, je oslepotvat nepřátele. Zřejmě nejmodernější bojeschopný laser (LaWS) byl vyvinut pro americké námořnictvo. Vývoj tohoto laserů stál 40 milionů dolarů (950 milionů korun). Vývoj bojových laserů určitě není u konce a stále se vynakládá spousta prostředků na jejich vývoj. Obrovská výhoda je jejich cenová efektivita, kde jeden výstřel je velmi levný a měl by dokázat napáchat obrovské škody (Durda,2016).

#### **4.4.10. Laserová tiskárna**

Historie laserové tiskárny sahá až do roku 1971, kdy ji vymyslel a vynalezl Gary Starkweather, v tehdy velice známe a revoluční technologické společnosti Xerox (o pět let předběhla nyní již mnohem známější společnosti IBM, která se svojí laserovou tiskárnou přišla v roce 1976). V 70. letech byly laserové tiskárny velké přes celou místnost a používaly se pouze v podnikové sféře. Komerční využití do domácností našla laserová tiskárna až po roce 1980, kdy se začala prodávat velmi draho, v přepočtu kolem 80 tisíc korun českých a rozměrově byla několikrát větší, než jaké jsou v současné době. Fungování dnešních laserových tiskáren se tedy může nazývat xeroxování, právě podle společnosti Xerox. Jde o proces přenesení toneru na papír pomocí elektrostatické energie. Dnes jsou již laserové tiskárny dostupné do každé domácnosti, nezaberou moc místa a můžete je pořídit vcelku velice levně (<https://www.tonerpartner.cz/clanky/laserova-tiskarna-od-a-do-z-jak-funguje-21188cz39332/>, 17.4.2020; [https://www.ibm.com/ibm/history/history/year\\_1976.html](https://www.ibm.com/ibm/history/history/year_1976.html), 17.4.2020).

#### **4.4.11. Kompaktní optické disky (CD, DVD)**

Na kompaktní disky se pomocí laseru vytvoří miniaturní prohlubně, které jsou velké jen několik tisícín milimetru. Kompaktní disky se začaly využívat především pro jejich snímání záznamu, které je bez kontaktní, proto nedochází k jejich poškození nebo opotřebení při samotném snímání. Samotná čtení záznamů probíhá také pomocí laserové technologie. Miniaturní laserová dioda vyzařuje infračervený paprsek, který je vyzářen na disk, část se odrazí nazpět, ty poté přechází přes řadu detektorů, z kterých vychází přerušovaný digitální impuls a ten směřuje do elektrických obvodů, kde se vytváří požadovaný záznam. (zvukový, obrazový). Kompaktní disky zcela nahradily starší variantu záznamu, kterým byly diskety nebo gramofonové desky (Roubal,2012).

#### 4.4.12. Čárový kód

Čárový kód byl vymyšlen ve Spojených Státech Amerických pro urychlení výdeje zboží. Jeho vynálezci byli spolužáci a nechali si technologii (tehdy se ještě nečetly čárové kódy pomocí laseru) patentovat v roce 1949. Využití do běžné praxe se však datuje až do roku 1974, konkrétně byl čárovým kódem poprvé zaznamenán nákup žvýkaček společnosti Wrigley. Československo bylo jednou z prvních evropských zemí, která vstoupila do European Article Number asociace a první nákupy pomocí čárového kódu se zde začaly praktikovat od roku 1985. Technologie čárového kódu je založena na pružích (obrazcích) v různé velikosti a vzdálenosti od sebe, které v sobě ukrývají informaci pro toho, kdo ji určitou technologií dokáže přečíst. V současné době je využíváno a definováno přes 200 druhů čárových kódů, z nichž každý slouží svému specifickému účelu. Jeden druh, který se začal v současné době hojně používat v běžném životě, je například QR kód, který našel využití zejména pro informační funkci (<https://www.national-geographic.cz/clanky/60-let-s-carovym-kodem-pochopte-jeho-anatomii.html>, 17.4.2020).

V těchto oborech často nachází laserová technologie obrovské uplatnění, ale jsou téměř vždy nápomocné pro uživatele. Jestli jsou spíše užitečné či nikoli, se dozvíme níže.

#### 4.5. Výhody a nevýhody laserové technologie

V této kapitole jsou představeny výhody a nevýhody především u zpracování dřeva. Laser jako nekonvenční technologie je využíván pro svoje výhody v řadě různých oborů. Je využíván díky své rychlosti. Zároveň s rychlostí se jedná o velmi precizní proces. Při obrábění jde o možnost opracování bez kontaktu s výrobkem. Oblast, kde dochází ke styku, je velmi málo ovlivněna tepelně díky své rychlosti, proto zde dochází k velmi malému tepelnému pnutí a deformaci uvnitř materiálu. Řezná spára je velice tenká a lze zde dodržet toleranci až 0,05mm. Pomocí laseru lze vytvářet všechny tvary bez použití nástroje a bez nutnosti výměny nástroje. Lze řezat ve všech směrech. Jde také o téměř beztržkový proces, proto jde o velmi čistý provoz a snadnou údržbu stroje. Snadno se dá regulovat výkon pro dosažení nejlepšího výsledku. Po použití laserové technologie odpadá spousta dokončovacích operací.

Mezi nevýhody se řadí větší pořizovací cena zařízení, která je až několika násobně vyšší než pořizovací cena u běžných nástrojů. Další nevýhodou mohou být přísné bezpečnostní opatření, které je potřeba dodržovat a dbát na dobré zaučení pracovníka. Další nevýhodou u zpracování dřeva je znát důkladně druh dřeva, který chceme opracovat, abychom mohli zvolit správné hodnoty řezné rychlosti, výkonu a frekvence. Pokud nezvolíme správně tyto hodnoty, dochází k nedokonalému opracování. Jako je například nadměrné opalování hran.

V předchozích kapitolách jsem se věnoval laserové technologii, v následující části přiblížím konvenční obrábění, které jsem potřeboval na svou praktickou část.

## 5. Konvenční obrábění

Konvenční technologie nebo také klasické technologie je všechno obrábění, při kterém dochází k dotyku obrobku a rezného nástroje. V podstatě můžeme říci, že se jedná o třískové obrábění, jelikož při tomto obrábění vzniká velké množství odpadního materiálu, a to třísek. Co se týče konvenční technologie, jde o velké množství strojů nebo nástrojů. V praktické části bylo za potřebí využít několika strojů na vytvoření požadovaného výrobku. Tím byly pásová pila, kotoučová pila a vykružovačka. Proto se na tyto tři stroje podíváme blíže v následující části (BARCÍK a kol., 2013; Kvietková, 2015).

### 5.1. Pásová pila

Pásovou pilu vynalezl už v roce 1808 Angličan Newsberry. Ze začátku používání pásových pil byly velké problémy se samotnými pásy, které se velmi často trhaly. Důvodem bylo používání nekvalitní nástrojové oceli. O téměř padesát let později, roku 1852 přišel s novým patentem na pásovou pilu Francouz Perin, tento nový návrh měl všechny znaky dnešních pásových pil. Po průmyslové revoluci dostává pila další vylepšení a až v 20. století dostávají pily dnešní podobu za pomoci výpočetní techniky a zaváděním nových mechanických prvků. Hlavním nástrojem je nekonečný pilový pás, který obíhá kolem dvou nebo více pásovců za konstantní rezné rychlosti. Nekonečný pás je proto, že konce jsou k sobě spojeny za pomoci svaření. Pásové pily můžeme rozdělit na vertikální a horizontální nebo podle použití na kmenové, rozmítací a truhlářské (BARCÍK a kol., 2013; Kvietková, 2015).



Obrázek 5 Pásová pila

## 5.2. Kotoučová pila

Vynalezena byla roku 1780 v Anglii, první kotoučové pily se umísťovaly ve vodních nebo větrných mlýnech. Používaly se především na zkracování řeziva. Z počátku se nestaly příliš výhodnými na pořez kulatiny z důvodu potřeby velkého množství energie. Až po příchodu parních strojů se začaly využívat více na pořez kulatiny s velkými kotouči. Tyto kotouče mohly dosahovat průměru až 2970 mm. V dnešní době se jedná o nejrozšířenější způsob obrábění dřeva. Hlavní nástrojem je pilový kotouč, který se vyrábí z nástrojové uhlíkové nebo legované oceli, tepelně upravené na požadovanou tvrdost. Vykonávají rotační pohyb a posuvný pohyb zde může vykonávat jak obrobek, tak i nástroj (BARCÍK a kol., 2013).



Obrázek 6 Kotoučová pila

## 5.3. Vykrůžovačka

Jedná se o nástroje, které slouží k vyrobení otvorů a děr na obrobku. Hlavním nástrojem je zde vrták, který koná rotační pohyb kolem své osy a také vykonává posuv do obrobku. Rotační pohyb je poháněn nejčastěji elektromotorem a posuv především ručně. Tyto stroje dokáží vyřezat velmi přesné kruhové tvary (BARCÍK a kol., 2013).



**Obrázek 7 Vykrůžovačka**

## **6. Metodika – praktická část**

Tato práce je sepsána metodikou vyhledávání materiálů v odborných textech, v literatuře, ve studijních materiálech a dalších zdrojích. Některé další informace pocházejí od odborných firem, práce dále zohledňuje praktické informace a podklady, které jsem získal při návštěvě firmy.

V této části se budeme věnovat srovnávání kladů a záporů u obou technologií navzájem. Porovnání obou technologií, tedy laserové technologie spolu s běžným způsobem obrábění na jednoduchém příkladu. Z pohledu časové náročnosti, kvality obrobku a celkové ceny.

### **6.1. Návrh projektu**

Pro porovnání byl navrhnut jednoduchý projekt strategické deskové hry jménem Piškvorky. Oba návrhy se vyráběly ze stejného materiálu a mají stejné rozměry pro dobré porovnání všech parametrů.

Základní pojetí na návrh bylo vymyslet něco originálního, ale naopak něco běžného, co zná každý. Něco, co si umíme ihned představit v běžném pojetí, ale povznést to na jiný stupeň za pomocí laserové technologie, tak aby vzniklo něco jedinečného. Piškvorky zná každý a stačí k tomu pouze tužka a papír, jak jednoduché. A proto výroba za pomocí laseru je takřka nepředstavitelná.

Velmi důležité je ujasnit si celkové pojetí. Kdo bude výrobek využívat, z jakého materiálu se bude vyrábět, jak velký bude rozměrově, jaká bude jeho cenová nákladnost a jestli to vůbec bude zajímavé.

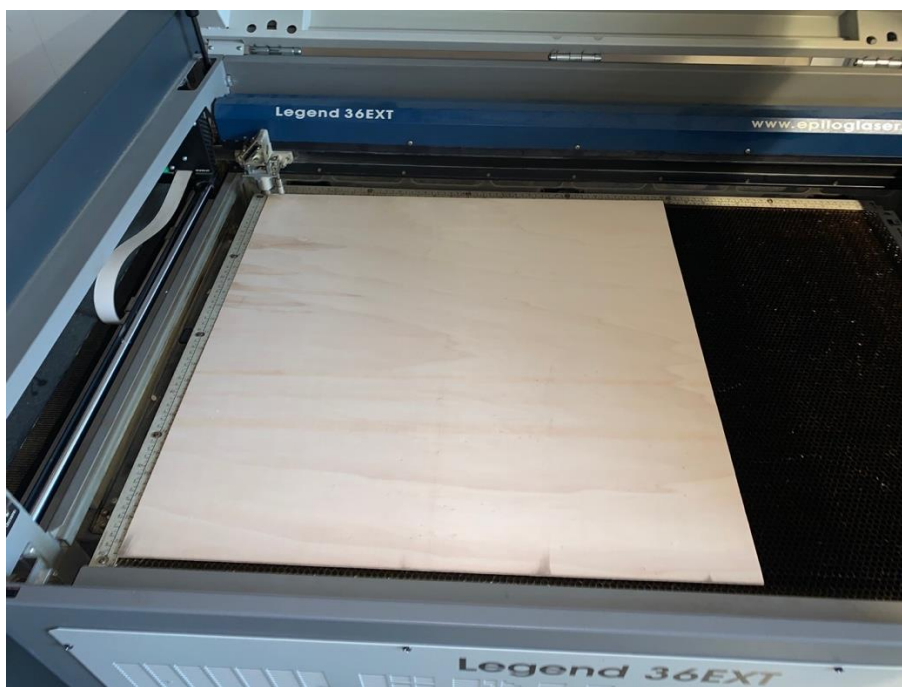
Piškvorky jsou velmi jednoduchá hra a může je hrát prakticky každý, kdo pochopí základní pravidla a systém hry. Proto můžeme předpokládat, že hra je pro hráče od 6 let. Věkový limit zde nenajdeme.

Tato strategická desková hra je známa všude na světě, jde o velmi jednoduchou hru. Cíl této hry je sestavit řadu ze svých obrazců dříve než protihráč. Dva hráči se snaží získat v jedné řadě tři nebo pět svých obrazců. Tři obrazce, pokud se hraje na poli 3x3 nebo pět obrazců, pokud se jedná o větší pole.

### **6.2. Použitý materiál**

U obou projektů byla použita topolová překližka. Jedná se o kompozitní materiál, který je nejčastěji tvořen třemi nebo pěti vrstvami dýhy. Obvykle je tedy lichý počet dýh. Spojuje se ve vzájemné pootočení o devadesát stupňů tak, aby se předešlo anizotropním vlastnostem, které dřevo

má. Překližka se vyrábí v nejrůznějších rozměrech. Pro výrobu obou projektů se použil rozměr 600x600x4 mm. Každý projekt se vyráběl z jedné desky o těchto rozměrech. Jde o topolovou překližku, která je velmi lehká a také cenově dostupná. Nemá žádnou nápaditou strukturu dřeva, ale pro její jednoduché vykreslení jsem zvolil právě ji. Dalším důvodem bylo, že je prakticky neohebná, to jsem potřeboval, aby nedocházelo při manipulaci s jednotlivými díly k ohýbání a tím i poškození výrobku.



Obrázek 8 Překližka umístěná do laserového stroje

### 6.3. Postup návrhu

Nejprve jsem si zvolil požadované rozměry. Míry musí být dostatečně velké, ale nesmí být zbytečně moc velké, aby se s jednotlivými částmi dalo jednoduše manipulovat. Nejprve jsem si načrtl návrh na obyčejný papír, abych si dokázal představit celkovou velikost deskové hry. Po několika náčrtech jsem zvolil rozměr 25 cm. Tento rozměr bude tvořit strany základové desky a obvod jednotlivých vnějších stran u mřížky. Poté jsem musel vymyslet, jak velké budou křížky a kolečka, aby se pohodlně daly ukládat a poté zase odebrat z mřížky spojené s deskou. U křížků jsem zvolil rozměr 6x6,5 cm. U koleček jsem zvolil poloměr 7 cm. Tyto rozměry jsem vybral proto, že oba obrazce dobře vyplňují prostor v mřížce, ale na druhé straně nedochází k problému s vkládáním obrazců do mřížky. Jednotlivé čtverce v mřížce mají vnitřní strany dlouhé 8 cm.

Po vytvoření návrhu jsem přešel na samotnou práci. Jako první představím výrobu za pomoci laserové technologie.

#### 6.4. Výroba pomocí laseru

Použil jsem laser Epilog Legend EXT 36x24 s 60 Watty. Tento lasere slouží jak na řezání, tak gravírování. Gravírování nebylo v projektu zapotřebí, proto se využilo pouze programu na řezání.

Tento CO2 lasere, který jsem použil, měl příkon 60 wattů, celková plocha pro řezání a gravírování je 914 x 610 mm. Je chlazen pomocí vzduchu a k odstranění tepla a hořlavých plynů z řezací plochy posloužil vzduchový kompresor, který je od stejné firmy jako samotný laser. Maximální tloušťka řezaného materiálu je 6 mm. Laser má v sobě zabudovaný systém, který předává přes počítač všechny informace potřebné k řezání nebo gravírování.



Obrázek 9 Epilog Legend EXT 36x24

Nejprve jsem musel všechny zvolené rozměry spolu s požadovaným tvarem vymodelovat v programu ArchiCAD verzi 22. Práce v programu na vymodelování piškvorek není vůbec složitá, protože se jedná pouze o jednoduché operace, jako jsou linky, čtverce a kolečka. Po vymodelování jsem musel celý soubor připravit na konečné řezání na laseru tak, aby ho počítačová jednotka na laseru mohla přečíst. Označil jsem linie, které se budou řezat, pokud bych chtěl i něco gravírovat, musel bych rozlišit tyto linie. Po této mezipřípravě jsem zkontroloval desku, ze které jsem vyřezával konečný výrobek. Deska se mi trochu kroutila, což bylo zapříčiněno nedokonalou přepravou na místo řezání. Tento problém jsem vyřešil pouze přilepením hran na laserové měřítko pomocí lepicí pásky tak, aby



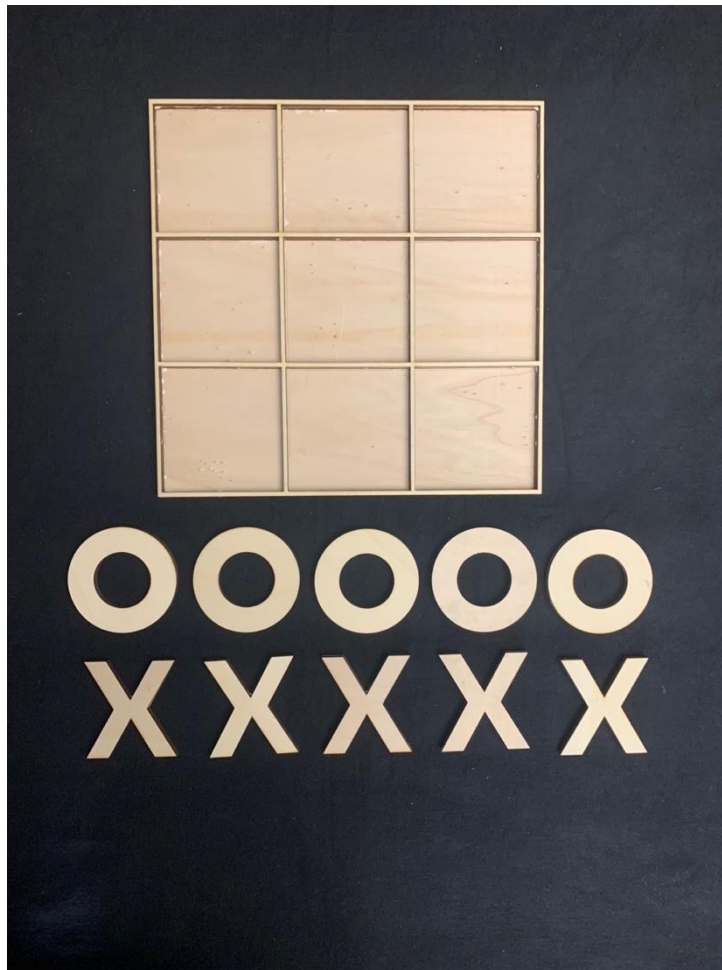
celá plocha překližky doléhala na pracovní desku. Pokud bych toto neudělal, řezné hrany by nebyly dokonale rovné a mohlo by dojít k většímu opálení horní vrstvy. Je vždy důležité zkontrolovat postavení laserové hlavy. Laserová hlava by neměla být příliš daleko nebo příliš blízko od desky. K tomuto měření slouží pravítko, které se připevní na laserovou hlavu a poté se posouvá pracovní deska pomocí automatického posuvu. Po konečných přípravách jsem upravil řeznou rychlost a výkon na laseru. Nesmíme také zapomenout na zapnutí odsávání a poté se může spustit samotný laser. Na obrázku (obrázek 10) můžeme vidět, že laser pracuje od horního levého rohu, kde má naprogramovaný svůj počátek souřadnicového systému. Dále postupuje po úhlopříčce směrem k pravému dolnímu rohu. Poté, co laser vyřeže všechny námi zadané linie, vrátí se zpět do počátku. Otevřeme víko laseru a můžeme vyndat všechny vyřezané objekty. Následně jsem slepil podkladovou desku s mřížkou, tak aby tvořily jeden celek. Kolečka a křížky jsem také slepil k sobě, aby vytvořily tloušťkově větší objekt a lépe se s nimi manipulovalo a byly bytelnější.



**Obrázek 10** Začátek laserového řezání

Vše bylo řízeno počítačem, proto je konečný výrobek velmi kvalitní a přesný, nemusel jsem dále opravovat žádné chyby. Jedinou úpravu jsem udělal po nanesení a zaschnutí lepidla. Jelikož po vytvrnutí lepidla by se nadbytek dostal ven z lepených spár, proto byla potřeba začistit výrobek, aby nebylo poznat konečné lepení. Na začistění jsem použil pouze papírový ubrousek, který mi umožnil velmi snadno odstranit nadbytek lepidla. Po zaschnutí lepidla jsem použil ostrý nůž, pomocí kterého

jsem odřezal i zaschlé lepidlo. Na výrobku je patrné opracování za pomoci tepelné energie, což dokazují zřetelně opálené boční hrany. Nicméně nebylo zapotřebí dále výrobek upravovat.



**Obrázek 11 Konečný výrobek pomocí laserové technologie**

Časová náročnost při výrobě za pomoci laserové technologie trvala celkově dvě hodiny a deset minut. Nejprve jsem během dvaceti minut navrhl celý projekt v počítačovém programu ArchiCAD, následné řezání v laseru probíhalo dvacet minut při mnou zvolené rychlosti. Po řezání jsem musel slepit jednotlivé díly, tento proces zabral necelých dvacet minut, ale lepidlo jsem nechal hodinu odpočívat, aby došlo k dobrému propojení. Konečné očištění od lepidla mi zabralo deset minut, aby vše bylo dokonalé.

## **6.5. Výroba pomocí konvenční technologie**

Počáteční návrh byl stejný jako u předchozího modelu. Musel jsem zde vymyslet za pomoci kterých strojů a nástrojů dosáhnou nejkvalitnějšího a pokud možno nejefektivnějšího modelu. Vybral jsem v podstatě pouze tři stoje, které mi umožnili vyrobit strategickou deskovou hru. Jednalo se

především o pásovou pilu, kotoučovou a vykružovačku. (viz kapitola 5 Konvenční technologie). Celý projekt se vyrábí ze stejného materiálu jako u laserové technologie, tím je topolová překližka o tloušťce 4 mm.

Jako první jsem si narýsoval na zvolený materiál všechny potřebné obrazce se všemi vybranými rozměry. (kapitola 6.3.) Vše jsem připravil na překližku tak, aby vše zabíralo co nejméně místa a ušetřil jsem, pokud možno, co nejvíce materiálu.

Po narýsování všech obrazců můžeme přejít k samotné výrobě. Nejprve jsem si pomocí pásové pily rozdělil celou překližku na tři části. Na první části pouze s křížky, druhé části s kolečky a třetí, z které se vyráběla hrací deska společně s mřížkou. Toto rozdělení jsem udělal z důvodu, abych mohl lépe manipulovat s menšími částmi. A také z toho důvodu, že jsem každý prvek vyráběl pomocí jiné technologie. Po tomto rozdělení jsem přešel k výrobě samotných křížků. U pásové pily ještě zůstaneme, protože právě křížky jsem vyráběl na pásové pile. Bohužel jsem každou linii musel vyřezávat samostatně tak, abych dosáhl dobré kvality. Celkově jsem ze 4 mm překližky vyřezával 10 křížku.

Po vyřezání všech deseti křížků jsem se přesunul na vykružovačku, na které jsem vyráběl kolečka. I zde jsem vyráběl 10 koleček. Nejprve jsem vyřezal vnější obvod kruhu, abych později dosáhl přesného vyřezání vnitřního kruhu. Kdybych to udělal obráceně, byla by jen malá šance, že bych dosáhl přesného výsledku. Vykružovací vrták byl připevněn ke středovému vrtáku, který jsem nasměřoval doprostřed kruhu. Pokud bych nejprve vyřezal vnitřní kruh, později bych neměl kam směřovat středící vrták s vykružovacím vrtákem pro vnější obvod kruhu, proto by bylo velmi obtížné dosáhnout přesného středu. Stroj jsem musel po přibližně třech kolečkách vždy zastavit a vyndat vyřezaný materiál, který se dostal do vykružovacího vrtáku. Toto vypínání a vyndání jsem musel provádět, aby nedocházelo k vysokému přehřátí kvůli tření materiálu. To by mohlo poškodit výrobek a konečný vzhled celého výrobku.

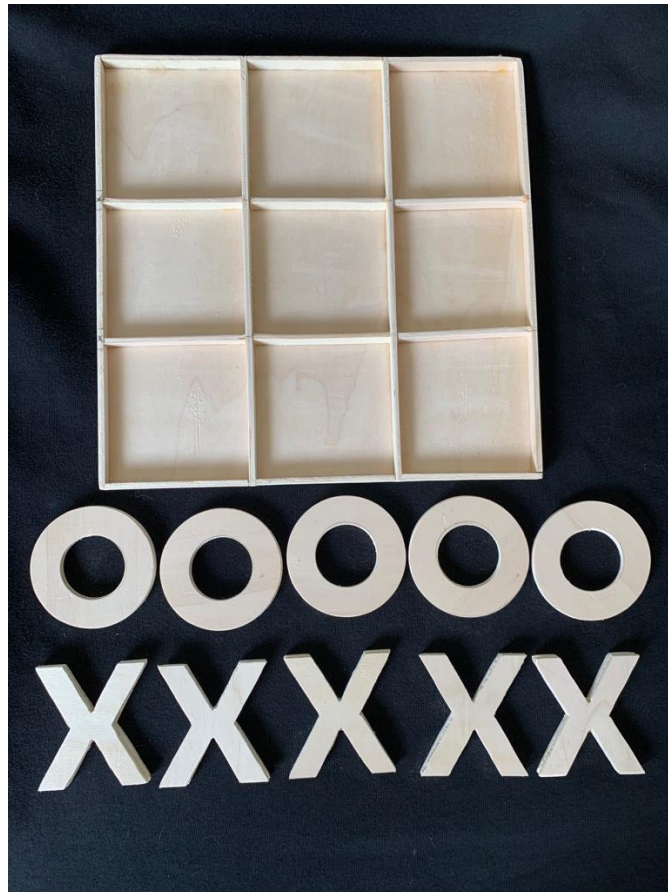
Křížky a kolečka bych měl, přichází na řadu hrací deska, kam se vkládají obrazce. Velký problém, který jsem měl, byla mřížka. Bylo by téměř nemožné vyřezat celou mřížku z jednoho kusu. Určitě by to šlo, ale kvůli časové náročnosti jsem zvolil variantu z jednotlivých linií a pozdějším spojení dohromady. Nejprve jsem uřízl podkladovou desku, které má 25x25 cm. Celou hrací plochu jsem vyrobil na kotoučové pile. Následně jsem přešel k řezání jednotlivých linií v mřížce. Tuto mřížku jsem si rozdělil na čtyři dlouhé linie a dvanáct krátkých. Jako první jsem vyrobil na kotoučové pile dlouhé linky za pomoci zbytku z podkladové desky. Jelikož jsem využil zbytky z podkladové desky, usnadnilo mi to práci, jelikož tyto čtyři linie mají stejnou délku jako je rozměr jedné strany podkladové desky, čili 25 cm. Následovala drobná úprava měřítka na kotoučové pile z 25 cm na 8 cm. Tento rozměr mají kratší linky v mřížce. Těchto kratších kusů jsem vyrobil 12.

Teď mám již všechno připravené, proto přecházím ke konečnému montování. Na podkladovou desku přilepím nejprve jeden dlouhý okraj, od kterého budu pokračovat dál. Následují boční kratší dílce, které tvoří třetinu okraje z jedné a druhé strany. Na tyto kratší dílce připevním další dlouhý díl. Takto pokračuji až do konce protějšího okraje. Poté co máme nalepené všechny dlouhé linie spolu s šesti krátkými krajními díly, přichází na řadu vlepění vnitřních přepážek. Abych dosáhl přesného rozdělení a věděl kam mám přepážky připevnit, použil jsem pravítko a pod úhlem devadesáti stupňů jsem narýsoval čáry v rozestupu 8 cm přes celou délku hrací desky. Po tomto měření jsem připevnil přepážky a vše jsem upevnil pomocí lepicí pásky k podkladové desce, aby vše drželo na svém místě a mohlo lepidlo dokonale zaschnout.

Mřížku s deskou máme připravenou a necháme dostatečně dlouho dobu v klidu, aby lepidlo vytvrdlo. Mezi tím jsem přešel ke spojení jednotlivých obrazců. Tyto obrazce jsem obrousil, jelikož při vyřezávání došlo na spodní straně k vytrhání drobných vláken překližky. Na jednu obroušenou stranu jsem nanesl lepidlo a spojil s druhou obroušenou stranou tak aby nám vznikl obrazec o tloušťce 8 mm. Takto jsem pokračoval u všech křížků a koleček. Když jsem měl spojené všechny tvary vše jsem položil na rovnou plochu a z vrchu zatížil, aby lepidlo vytvořilo jednotnou spáru a vše se dobře spojilo.

Poté co jsem nechal mřížku a všechny díly dobře zaschnout, musel jsem přejít k úpravám. Téměř všude byly vidět nedokonalosti v podobě vytečeného lepidla nebo přečnívajících třísek z předchozího obrábění. Proto jsem musel všechno lepidlo očistit a přečnívající třísky ručně obrousit. Pro broušení jsem zvolil brusný papír G 140, aby všechny okraje nebyly ostré a nebezpečné pro manipulaci a dosáhl hladkého povrchu.

Po celkovém obroušení a všech úpravách můžeme vidět konečný výrobek. Na výrobku jsou patrné drobné nedokonalosti v podobě lepené mřížky, která nemá jednotný vzhled. U křížků a koleček si můžeme všimnout chybějícího materiálu, který se odstranil při obrábění. Hrací deska je lehce zvlněná a při dotyku s mřížkou jsou vidět drobné otvory.



**Obrázek 12 Konečný výrobek pomocí konvenční technologie**

Výroba za pomoci konvenčních technologií trvala přibližně čtyři a půl hodiny. První rýsování na překližku trvalo necelých dvacet minut. Následné řezání všech potřebných dílů zabralo nejvíce času, a to dvě hodiny. Spojování jednotlivých dílů za pomoci lepidla trvalo třicet minut. Následně jsem musel vyčkat na zatvrdnutí lepidla. Pro dobrou kvalitu jsem celkové vytvrdnutí nechal hodinu. A konečné práce, jako broušení a čištění, zabraly bez mála padesát minut.

## 7. Výsledky

Pokud se podíváme na oba dva projekty, už na první pohled je zřejmé, že jsou dost rozdílné. Všechny rozměry jsem zvolil stejné na obou projektech, aby jejich porovnání mohlo být zřejmé.

Pokud se podíváme na vizuální stránku, můžeme si všimnout zabarvených okrajů na projektu, který se vyráběl za pomoci laseru. Na druhou stranu zde nevidíme žádné nedokonalosti v podobě nepřesných tvarů, všechny řezy jsou provedeny dokonale přesně a každý objekt je úplně stejný. Samotná mřížka s podkladovou deskou tvoří jednotný vzhled a nikdo nepozná, že se jedná o několika vrstvou desku. Samotná práce na piškvorkách z laseru byla jednoduchá, v podstatě se zde spojovaly maximálně tři díly dohromady, proto lepení bylo o mnoho jednodušší.

Při pohledu na piškvorky za pomoci konvenčních technologií si můžeme všimnout nesoudružnosti na mřížce, která je tvořena ze sedmnácti samostatných dílů, které na sebe úplně dobře nenavazují. Lepení těchto všech dílů bylo velmi náročné, především při uchycení dílu na své místo. Nevidíme zde opálené okraje, ale můžeme si všimnout nedokonalostí na jednotlivých tvarech, především u křížků, které jsou způsobeny vyřezáváním každého křížku zvlášť. I přes konečné úpravy tyto nedokonalosti můžeme zaznamenat.

Časová náročnost jednotlivých modelů je více než dvakrát delší u konvenční technologie. Proto, pokud bych měl časový limit, za pomoci laseru bych dokázal vyrobit dvakrát více modelů za stejný čas než za pomoci běžných technologií. U laseru by časová náročnost byla ještě kratší, jelikož bych nemusel znovu modelovat celý projekt v programu ArchiCAD, mohl bych použít již vytvořený, proto by se čas posunul pod dvě hodiny. U konvenčních technologií by se nedal ušetřit téměř žádný čas, pouze pokud bych pomocí opakovaného vyrábění získal více zkušeností. Zároveň s tím celková pracnost u jednotlivých modelů byla jednoznačně menší u nekonvenční technologie.

Cena u každého projektu byla velmi podobná. Cena za překližku je tedy stejná. Pokud bych počítal do celé ceny i nákup jednotlivých strojů, dostal bych se i tak na velmi podobná čísla. Sice laserová technologie je o poznání dražší na nákup, jde zde pouze o jeden stroj, popřípadě počítač s příslušným programem. Ale u konvenčního obrábění by byly za potřebí stroje tři. Zároveň bych zde musel připočítat nástroj, který se opotřebovává. Jako další bych musel započítat elektrickou energii, u laserové technologie se jedná o pouze rychlý proces, ale náročný na energie. Naopak u konvenčních strojů jde o delší proces na všech strojích.

## 8. Diskuze

Kdybych měl porovnat konvenční a nekonvenční technologie z pohledu několika vlastností, těžko bych se dobral konečného výsledku. Každá z technologií má v určitém ohledu navrch. Obě tyto technologie mají především pozitivní vliv na dnešní obrábění a bez konkrétních specifik nemůže jednoznačně říci, která tato technologie je lepší. Každá zvláště má velké zastoupení a hodí se také na různé využití. Pokud bych potřeboval velmi složitý tvar, určitě bych k tomu využil laserovou technologii, na druhé straně, pokud bych řezal nebo upravoval velkoplošný materiál pouze na devadesáti stupňové úhly, zvolil bych k tomu jednu z konvenčních technologií. Bylo by velmi zbytečné na rovinné velkoplošné materiály využívat laser. Hrany by byly dokonale opracované, ale z finančního hlediska a celkové náročnosti využití laserové technologie by toto bylo naprosto nepraktické. Při využití například kotoučové nebo pásové pily je možnost dosáhnout prakticky stejného výsledku při lepším ekonomickém zhodnocení.

Opracování pomocí laseru je sice velmi důkladné, ale opalování hran můžeme brát jako jednu z jejich nevýhod. Následné opracování je časově náročnější a pokud využijeme laser a další technologie na opracování, dostaneme se znovu o kousek výše z finančního hlediska.

Jak píše ve své práci Kroupa (2011), který laserovou technologii využil na kovový materiál, při obrábění laserem není potřeba dalšího opracování řezné hrany, což má za následek snižování dalších nákladů a úspory času. Dále se ve své práci zabývá jednou z výhod, kterým je možnost výroby nejrůznějších tvarů a zároveň možnost přímo vygravírovat označení jednotlivých prvků (Kroupa, 2011).

Popřípadě u Duška (2013), který ukazuje na správné použití laseru s pulzním režimem nebo kontinuálním režimem. Vybrání správného laseru můžeme mít také vliv na kvalitu řezu, popřípadě rychlosti řezání (Dušek, 2013).

Proto je téměř nemožné říct, která technologie je lepší. A ještě tomu tak dlouho bude. Vždy bude záležet na jaký výrobek budou technologie použité. Porovnání s jinými autory je velmi složité, protože každý používá jiný materiál, popřípadě jiné řezné vlastnosti.

## 9. Závěr

Laserová technologie stále prochází určitým vývojem a posouvá se dál a dál dopředu. Dostává se stále do více oborů a ulehčuje stále více lidem svoji práci. Nejedná se tedy už pouze o science fiction, ale je běžný v každodenním životě.

V této bakalářské práci bylo popsáno celkové rozdělení laserů do několika kategorií, ať už rozdělení podle aktivního prostředí, použití nebo třeba podle vlnové délky. Ukázal jsem mnoho dalších použití ve spoustě oborech, kde se využívají často podobně jako ve dřevařství nebo na různé měření vzdáleností, znečištění ovzduší a spoustu dalších.

V praktické části jsem se zaměřil na porovnání nekonvenční technologie spolu s konvenční technologií a vyrobil za pomoci těchto technologií stejný produkt. Pomocí tohoto produktu jsem mohl dobře zjistit výhody a nevýhody u obou technologií. Zároveň jsem zjistil, jak snadné je pracovat s laserem. To mi ukázalo, jak velký pomocník může být. Oproti tomu klasický způsob obrábění byl o poznání pracnější, a to jak na přípravu všech potřebných rozměrů až po samotné opracování překližky.

Pokud se podívám na laser jako na nový způsob opracování, z mého pohledu jde o mnohem efektivnější a jednodušší způsob. Víím, že laser v dnešní podobě má mnohé omezení, a proto nemůže plně nahradit klasické obrábění. Ale už v dnešní době je velkým pomocníkem, a proto doufám, že tato technologie se bude dále a dále vyvíjet. Abychom si, pokud možno, co nejvíce ulehčili práci při obrábění.

Na závěr se dá říct, že výroba strategické deskové hry Piškvorky je snazší při výrobě na laseru. Samozřejmě šlo pouze o jeden kus této hry. Kdybychom toto vyráběli ve velkém počtu, je možné, že by se snáz a rychleji vyrábělo na běžných strojích.



## 10. Seznam zdrojů

1. 60 let s čárovým kódem: Pochopte jeho anatomii - National Geographic. National Geographic [online]. Copyright © [cit. 17.04.2020]. Dostupné z: <https://www.national-geographic.cz/clanky/60-let-s-carovym-kodem-pochopte-jeho-anatomii.html>
2. BARCÍK, Š. a kol. Dřevoobráběcí nástroje – údržba a provozování. Powerprint s.r.o..2013. 355 s., ISBN 978-80-87415-80-1.
3. BECK, OTTO J., 1984, Use of the Nd-YAG laser in neurosurgery. *Neurosurgical Review*. 1984. Vol. 7, no. 2-3, p. 151-158. DOI 10.1007/bf01780698. Springer Science and Business Media LLC
4. CARISTAN, Charles L. Laser cutting guide for manufacturing. 1 th ed. Michigan: SME, 2004. p. 447. ISBN 978-0-87263-686-6.
5. CNC řezání laserem: 10 výhod, které přináší. FactoryAutomation.cz - Časopis o automatizaci a robotice [online]. Copyright © [cit. 21.03.2020]. Dostupné z: <https://factoryautomation.cz/cnc-rezani-laserem-10-vyhod-ktere-prinasi/>
6. Co je gravírování?. Hledáte originální dárky? - Gravírovat nás baví [online]. [cit. 11.03. 2020]. Dostupné z: <https://shop.gravixlaser.cz/clanky/gravirovani/>
7. DURDA, T. Lasery a jejich využití v civilním - vojenském letectví. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2016. 31 s. Vedoucí bakalářské práce doc. Ing. Slavomír Vosecký, CSc.
8. DUŠEK, P. Aplikace laseru při obrábění dřeva. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2013. 87 s. Vedoucí diplomové práce Ing. Karel Osička, Ph.D..
9. Historie rytectví a techniky gravírování - Český Kutil.cz. Český Kutil.cz - inspirace pro hobby, stavbu, rekonstrukci, zahradu a domácnost [online]. Copyright © 2012 [cit. 21.03.2020]. Dostupné z: <https://ceskykutil.cz/clanek-13538-technika-gravirovani-je-oblibena-i-dnes>
10. IBM Archives: 1970s. [online]. Copyright © Copyright IBM Corp. 2011 [cit. 17.04.2020]. Dostupné z: [https://www.ibm.com/ibm/history/history/year\\_1976.html](https://www.ibm.com/ibm/history/history/year_1976.html)
11. KACHTÍK, Lukáš. Úvod do světa laserů [online]. lasery.wz. [cit. 11.03. 2020]. Dostupné z : <http://lasery.wz.cz/uvod.html>
12. KAŠPAR, L. Analýza konvenční technologie dělení materiálu. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2008. 42 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Oskar Zemčík, CSc.
13. KRAUSS, JOEL M. and PULIAFITO, CARMEN A., 1995, Lasers in ophthalmology. *Lasers in Surgery and Medicine*. 1995. Vol. 17, no. 2, p. 102-159. DOI 10.1002/lsm.1900170203. Wiley
14. KROUPA, J. Technologie obrábění pomocí laseru. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2011. 58 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Oskar Zemčík, CSc.
15. KVIETKOVÁ, M. Obrábění dřeva. CARTER Praha. 2015. 295 s., ISBN 978-80-213-2604-0.

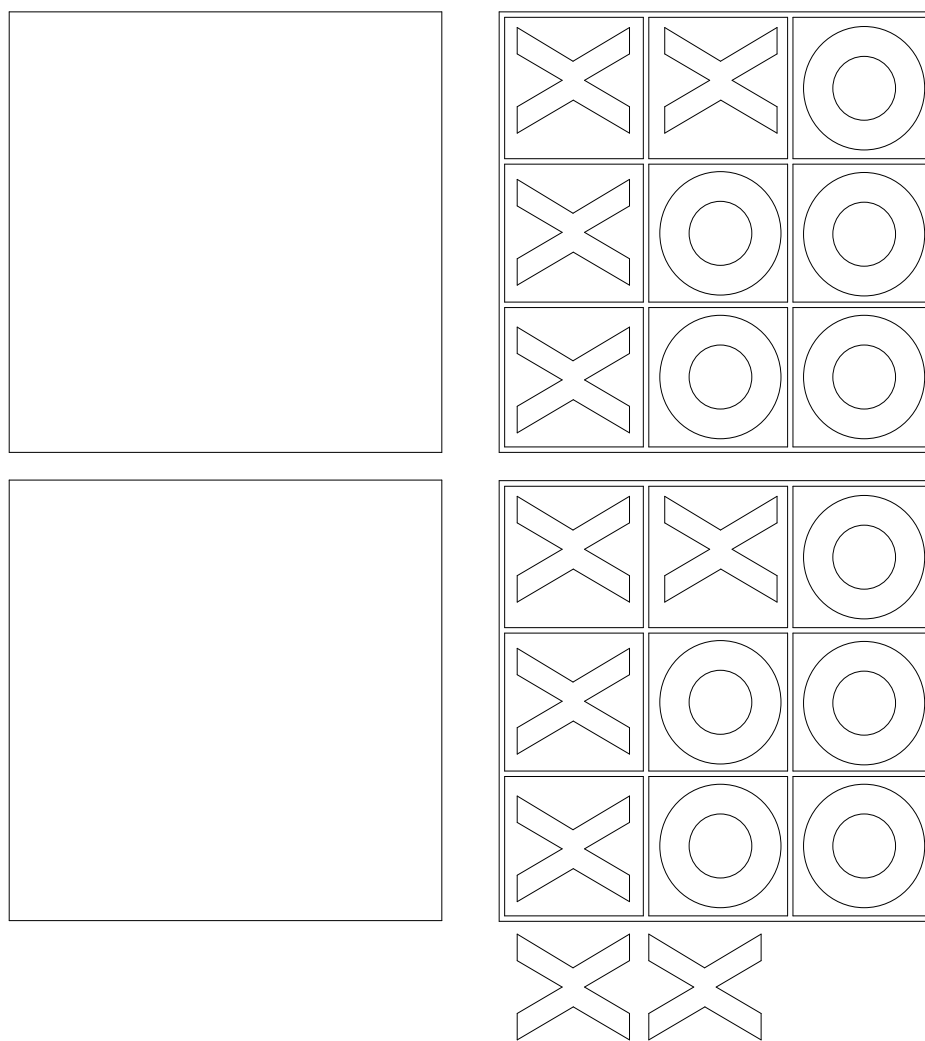
16. Laserová tiskárna od A do Z: jak funguje - TonerPartner.cz. Tonery a cartridge za super ceny. TonerPartner.cz[online]. Copyright © 2020 TonerPartner.cz [cit. 17.04.2020]. Dostupné z: <https://www.tonerpartner.cz/clanky/laserova-tiskarna-od-a-do-z-jak-funguje-21188cz39332/>
17. Laserschneiden - TRUMPF. [online]. Copyright © 2020 [cit. 11.03.2020]. Dostupné z: [https://www.trumpf.com/de\\_CH/anwendungen/laserschneiden/](https://www.trumpf.com/de_CH/anwendungen/laserschneiden/)
18. Lintech - Laserové svařování kovů [online]. Copyright © 2020 Lintech. Všechna práva vyhrazena [cit. 21.03.2020]. Dostupné z: <https://www.lintech.cz/produkty/laserove-technologie/laser-podle-aplikace/svarovani/laserove-svarovani-kovu/>
19. MAŇKOVÁ, Ildikó. Progresívne technológie. 1. vydanie. Košice: Vienaľa, 2000. 275 s. ISBN 80-7099-430-4.
20. Meilensteine aus der Geschichte des Lasers - WELT. WELT - Aktuelle Nachrichten, News, Hintergründe & Videos [online]. Copyright © Axel Springer SE. Alle Rechte vorbehalten. [cit. 11.03.2020]. Dostupné z: [https://www.welt.de/welt\\_print/wissen/article7649341/Meilensteine-aus-der-Geschichte-des-Lasers.html](https://www.welt.de/welt_print/wissen/article7649341/Meilensteine-aus-der-Geschichte-des-Lasers.html).
21. NOVOTNÝ, BUBENSKÝ: Progresivní metody svařování a tepelného dělení materiálu. Technickoekonomický výzkumný ústav hutního průmyslu. Praha4 : 1986, SIP 41093/04867
22. OSIČKA, Karel a Milan, KALIVODA. Nekonenční technologie obrábění. vzdělávací a tréninkový modul. Brno : OPUS- vzdělanostní síť k výrobním technologiím, 2012. 96 s. reg.č. CZ.1.0/2.4.00/12.0029.
23. Přehled elektromagnetického záření - FYZIKA 007. FYZIKA 007 [online]. [cit.19.4.2020] Dostupné z: <http://www.fyzika007.cz/optika/prehled-elektromagnetickeho-zareni>
24. ROUBAL, Pavel. Informatika a výpočetní technika pro střední školy: Teoretická učebnice. Brno: Computer Press, 2012, 103 s. ISBN 9788025132289
25. Rozdělení laserů – LASCAM systems. LASCAM systems - průmyslové laserové a kamerové systémy [online]. Copyright © LASCAM systems s.r.o. [cit. 11.03.2020]. Dostupné z: <https://www.lascam.cz/rozdeleni-laseru/>
26. ŘASA, Jaroslav a Zuzana, KEREČANINOVÁ. Nekonenční metody obrábění – 4. díl [online]. Kód článku: 080304 Vyšlo v MM : 2008 / 3, 19.03.2008 v rubrice Inovace / Nekonenční technologie, Strana 80, MM průmyslové spektrum. [cit. 17. února 2020]. Dostupné z : <http://www.mmspektrum.com/clanek/nekonenncni-metody-obrabeni-4-dil.html>
27. Součást vzdělávacího programu SVĚT ENERGIE, RNDr. Jaroslav Kusala, 2004 [online]. [cit. 15.04.2020] Dostupné z: <https://www.cez.cz/edee/content/microsites/laser/k34.htm>
28. STAVINOHA, Zdeněk, Výukové materiály: Nekonenční metody obrábění [online]. COPTEL Internetový portál. [cit. 11.03. 2020]. Dostupné z : <http://coptel.coptkm.cz/index.php?action=2&doc=33788&instance=2>.
29. Steen WM. Laser material processing. London: Springer-Verlag; 2003. p. 19–20.
30. VRBOVÁ, Miroslava. Lasery a moderní optika. Praha: Prometheus, 1994. 474 s. ISBN 80-85849-56-9.

31. Využití laserů v medicíně – WikiSkripta. 301 Moved Permanently [online]. [cit. 20.03. 2020]. Dostupné z: [https://www.wikiskripta.eu/w/Využit%C3%AD\\_laserů\\_v\\_medic%C3%ADně](https://www.wikiskripta.eu/w/Využit%C3%AD_laserů_v_medic%C3%ADně)
32. WHEELAND, RONALD G., 1995, Clinical uses of lasers in dermatology. *Lasers in Surgery and Medicine*. 1995. Vol. 16, no. 1, p. 2-23. DOI 10.1002/lsm.1900160103. Wiley
33. WILSON, M., BURNS, T., PRATTEN, J. and PEARSON, G.J., 1995, Bacteria in supragingival plaque samples can be killed by low-power laser light in the presence of a photosensitizer. *Journal of Applied Bacteriology*. 1995. Vol. 78, no. 5, p. 569-574. DOI 10.1111/j.1365-2672.1995.tb03101.x. Wiley
34. WILSON, MICHAEL, DOBSON, JOHN and HARVEY, WILSON, 1992, Sensitization of oral bacteria to killing by low-power laser radiation. *Current Microbiology*. 1992. Vol. 25, no. 2, p. 77-81. DOI 10.1007/bf01570963. Springer Science and Business Media LLC
35. WOOD, SIMON, NATTRESS, BRIAN, KIRKHAM, JENNIFER, SHORE, ROGER, BROOKES, STEVEN, GRIFFITHS, JOHN and ROBINSON, COLIN, 1999, An in vitro study of the use of photodynamic therapy for the treatment of natural oral plaque biofilms formed in vivo. *Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology*. 1999. Vol. 50, no. 1, p. 1-7. DOI 10.1016/s1011-1344(99)00056-1. Elsevier BV
36. Základní metody svařování - SVÁŘEČKY-ELEKTRODY.CZ. SVÁŘEČKY-ELEKTRODY.CZ - profesionální e-shop se svařovací technikou[online]. [cit. 11.03. 2020]. Dostupné z: <https://www.svarecky-elektrody.cz/zakladni-metody-svarovani/t-87>

## **11. Seznam příloh**

Příloha 1      Výkres potřebný na laserovou technologii

Příloha 1



Obrázek 13 Návrh projektu – laserová technologie