

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE
FAKULTA LESNICKÁ A DŘEVAŘSKÁ

PEVNOST LEPENÝCH SPOJŮ NA PLOCHÁCH
OBROBENÝCH LASEREM

2019

Bc. Kamil Řípa

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE
FAKULTA LESNICKÁ A DŘEVAŘSKÁ

**PEVNOST LEPENÝCH SPOJŮ NA PLOCHÁCH
OBROBENÝCH LASEREM**

DIPLOMOVÁ PRÁCE

Studijní program:

Dřevařské inženýrství

Pracoviště (katedra/ústav):

Katedra zpracování dřeva a biomateriálů

Vedoucí diplomové práce:

doc. Ing. Milan Gaff, PhD.

Konzultant diplomové práce: (nepovinný)

Ing. Miroslav Sedlecký Ph.D.

Praha 2019

Bc. Kamil Řípa

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Bc. Kamil Řípa

Dřevařské inženýrství

Název práce

Pevnost lepených spojů na plochách obrobených laserem

Název anglicky

Strength of bonded joints on laser-treated surfaces

Cíle práce

Cílem práce je zkoumání vlivu řezání ploch dubového a bukového řeziva laserovým paprskem v porovnání s pilovým kotoučem. Změna pevnosti lepených spojů bude vyhodnocována při vybraných faktorech, kterými jsou druh dřeviny, ohnisková vzdálenost laseru a počáteční vlhkost řeziva.

Metodika

1. Úvod
2. Cíle práce
3. Analýza současného stavu:
 - Teorie řezání dřeva laserovým paprskem
 - Vliv řezání dřeva (parametru řezání) laserovým paprskem na kvalitu povrchu
 - Vliv struktury dřeva na změnu jeho kvality povrchu po řezání laserovým paprskem
4. Metodika práce:
 - Výběr a příprava zkušebních vzorků
 - Experimentální část a měření vlivu vybraných faktorů na sledované charakteristiky
 - Výsledky a vyhodnocení
 - Přínos pro vědu a praxi
5. Závěr

Doporučený rozsah práce

80 stran

Klíčová slova

řezání dřeva, laserový paprsek, kvalita povrchu

Doporučené zdroje informací

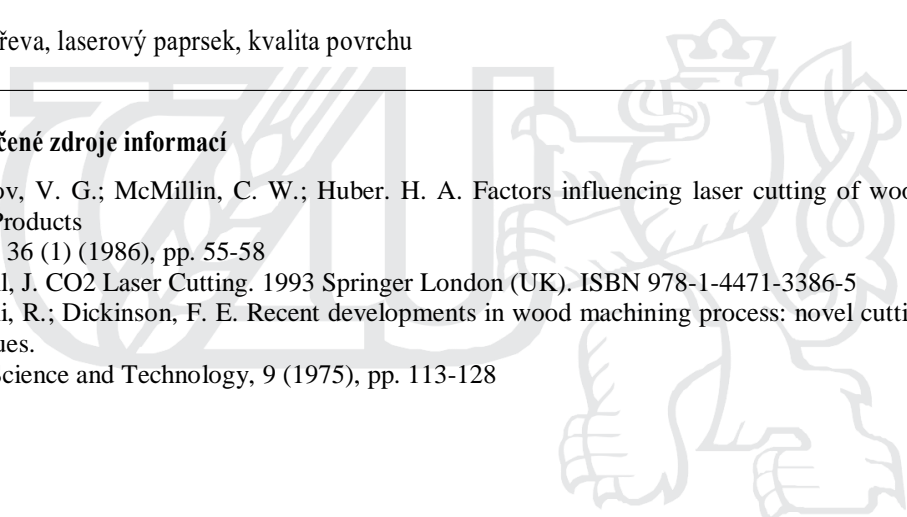
Barnekov, V. G.; McMillin, C. W.; Huber, H. A. Factors influencing laser cutting of wood. Forest Products

Journal, 36 (1) (1986), pp. 55-58

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

2017/18 LS – FLD

Vedoucí práce

doc. Ing. Milan Gaff, PhD.

Garantující pracoviště

Katedra zpracování dřeva a biomateriálů

Konzultant

Ing. Miroslav Sedlecký Ph.D.

Elektronicky schváleno dne 23. 2. 2019

doc. Ing. Milan Gaff, PhD.

Vedoucí ústavu

Elektronicky schváleno dne 13.3.2019

prof. Ing. Marek Turčáni, PhD.

Děkan

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci na téma Pevnost lepených spojů na plochách obrobených laserem; vypracoval samostatně pod vedením doc. Ing. Milana Gaffa, PhD. a použil jen prameny, které uvádím v seznamu použitých zdrojů. Jsem si vědom, že zveřejněním diplomové 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 2019

.....
Bc. Kamil Řípa

Poděkování

Tímto bych chtěl poděkovat vedoucímu diplomové práce doc. Ing. Milan Gaff, PhD. za veškeré připomínky a odbornou pomoc při vypracování této práce.

Abstrakt ve státním jazyce

Tato diplomová práce se zabývá tématem pevnosti lepených spojů na plochách obroběných laserem, aby bylo možné samotnou pevnost porovnat, musí být vybrán další způsob dělení dřevního materiálu a tím je řez pilovým kotoučem. Práce je rozdělena na část sumarizační a část experimentální. V části sumarizační jsou podrobně popsány metody třískového (mechanického) úběru materiálu, to včetně kinematiky a technologie řezného kotouče. V dalším tématu je popsán samotný princip fungování laserového paprsku, způsob dělení dřevní hmoty a technologický popis částí laseru. Dále je popsána charakteristika dřeviny dubu zimního a buku lesního, jakožto domácí dřeviny včetně makroskopické a mikroskopické stavby, fyzikálních a mechanických vlastností. V experimentální části této práce je přistoupeno k přípravě šedesáti vzorků od zástupce dřevin buku a dubu a jejich jednotlivé testování v návaznosti na způsobu zvoleného pořezu jeho počáteční osmi procentní vlhkosti dřeviny a následně s vlhkostí na bod nasycení vláken. Výstupem celé práce je porovnání smykové pevnosti pro rozdílné dřeviny s různým druhem pořezu a počáteční vlhkosti.

Klíčová slova: řezání dřeva, laserový paprsek, kvalita povrchu

Abstrakt v cizím jazyce

This diploma thesis deals with the topic of the strength of glued joints on laser machined surfaces, so that the strength itself can be compared, another method of dividing the wood material must be chosen and this is a saw blade cut. The work is divided into a summary and an experimental part. In the section summarizing the methods of mechanical (mechanical) material removal, including kinematics and cutting wheel technology, are described in detail. The next topic describes the principle of the laser beam, the method of dividing the wood mass and the technological description of the laser parts. Furthermore, the characteristics of woody species of oak and beech, as woody species including macroscopic and microscopic structure, physical and mechanical properties are described. In the experimental part of this work, the preparation of sixty samples from the representative of beech and oak wood species and their individual testing in relation to the method of selected cutting by its initial eight percent moisture content of the wood and then with moisture to the fiber saturation point. The output of this work is a comparison of shear strength for different woods with different types of cut and initial moisture.

Keywords: wood cutting, laser beam, surface quality

Obsah

Obsah	7
Seznam obrázků	9
Seznam tabulek	10
Seznam zkratk a značek	11
1 Úvod.....	12
2 Dělení dřevního materiálu.....	13
3 Dělení materiálu mechanickým způsobem	16
3.1 Kotoučové pily	24
3.2 Technologie pilového kotouče	27
3.3 Rozdělení pilových kotoučů a jejich částí	28
3.4 Vliv řezání dřeva (parametru řezání) pilovým kotoučem na kvalitu povrchu.....	31
3.5 Vliv struktury dřeva na změnu jeho kvality povrchu po řezání pilovým kotoučem	32
4 Dělení dřevního materiálu laserová technologie	33
4.1 Historie	33
4.2 Laser	33
4.3 Teorie pořezu laserem	35
4.4 Dělení laseru.....	36
4.5 Využití laseru.....	38
4.6 Popis laseru.....	40
4.6.1 Aktivní prostředí	40
4.6.2 Rezonátor	41
4.6.3 Doprovodné části laseru.....	42
4.7 Vliv řezání dřeva (parametru řezání) laserovým paprskem na kvalitu povrchu.....	43
4.8 Vliv struktury dřeva na změnu jeho kvality povrchu po řezání laserovým paprskem	44
5 Dřevina buk lesní (<i>Fagus sylvatica</i>)	46
5.1 Makroskopická a mikroskopická stavba dřeva buku lesního (<i>Fagus sylvatica</i>)	48
5.1.1 Makroskopická stavba	48
5.1.2 Stavba letokruhů	48

5.1.3	Mikroskopická stavba	48
5.1.4	Fyzikální vlastnosti bukového dřeva	49
5.1.5	Mechanické vlastnosti dřeva buku	49
6	Dřevina dub zimní (<i>Quercus petraea</i>)	51
6.1	Makroskopická a mikroskopická stavba dřeva dubu zimního (<i>Quercus petraea</i>)	52
6.1.1	Makroskopická stavba	52
6.1.2	Stavba letokruhů	52
6.1.3	Mikroskopická stavba	53
6.1.4	Fyzikální vlastnosti dubové dřeva	53
6.1.5	Mechanické vlastnosti dřeva dubu	53
7	Metodika práce	55
8	Metodika experimentální práce	55
8.1	Příprava zkušebních vzorků – řezání kotoučem	55
8.2	Příprava zkušebních vzorků – laser	56
8.3	Laboratorní přístroj	56
8.4	Charakteristika lepidla	57
8.5	Zkušební tělísko dle ČSN EN 205	58
8.6	Vzorky dubu – značení	59
8.7	Vzorky buku – značení	60
9	Experimentální část a měření vlivu vybraných faktorů na sledované charakteristiky	61
9.1	Zkouška pevnosti lepených vzorků	61
9.2	Postup zkoušky	61
10	Výpočty	63
10.1	Pevnost v tahu ve smyku EN 205 (2003)	63
10.2	Hustota dřeva	63
10.3	Obsah vlhkosti ve vzorcích	64
11	Výsledky a vyhodnocení	65
12	Přínos pro vědu a praxi	69
13	Diskuze	70
14	Závěr	71
15	Seznam použité literatury	72

Seznam obrázků

Obr. č. 1 – Anizotropie dřeva	13
Obr. č. 2 – Úhly rezného nástroje	17
Obr. č. 3 – Měření úhlů v případě pilového kotouče	18
Obr. č. 4 – Kinematické schéma vícekotoučové rozřezávací pily	24
Obr. č. 5 – Pilové kotouče rozmítací pily	25
Obr. č. 6 – Pilové kotouče omítací kotoučové pily.....	26
Obr. č. 7 – Kotoučová formátovací pila.....	26
Obr. č. 8 – Zkracovací kotoučová pila na kulatinu	27
Obr. č. 9 – Rozložení teploty na pilových zubech	28
Obr. č. 10 – Druhy pilových kotoučů	29
Obr. č. 11 – Hlavní používané ozubení pilových kotoučů.....	30
Obr. č. 12 – Tvar pilových zubů pro hladký řez	31
Obr. č. 13 – Princip CO ₂ laseru KORÁN, 2013	37
Obr. č. 14 – Možnosti gravírování dřeva	38
Obr. č. 15 – Schéma zařízení pro obrábění laserem	40
Obr. č. 16 – Uspořádání zrcadel optického rezonátoru.....	42
Obr. č. 17 – Řezání laserem.....	43
Obr. č. 18 – Ukázka ploch řezaných laserem	45
Obr. č. 19 – Listy a plody buku	46
Obr. č. 20 – Zkušební stroj UTS 50	56
Obr. č. 21 – Zkušební těleso – schéma	58
Obr. č. 21 – Zkušební těleso – dub	59
Obr. č. 22 – Zkušební těleso – buk	60
Obr. č. 23 – Upnutí tělesa	62

Seznam tabulek

Tab. č.1 - Řezné rychlosti různých materiálů při použití CO ₂ laseru	35
Tab. č.2 – Fyzikální vlastnosti buku	49
Tab. č.3 – Mechanické vlastnosti buku.....	50
Tab. č.4 – Fyzikální vlastnosti dubu	53
Tab. č.5 – Mechanické vlastnosti buku.....	54
Tab. č.6 - Průměrné hodnoty sledovaných faktorů a pevnost ve smyku ve smyku (fv) pro jednotlivé sady zkušebních vzorků a variační koeficient pro vzorky řezané laserem.	65
Tab. č.7. - Statistické vyhodnocení jednosměrné analýzy sledovaných faktorů interakce na hodnotách pevnosti v tahu ve smyku na vzorcích řezaných laserem.....	66
Tab. č.8. - Statistické vyhodnocení jednosměrné analýzy sledovaných faktorů interakcí na hodnoty pevnosti v tahu ve smyku na vzorcích řezaných pilou.	66
Tab. č.9. - Porovnání účinku sledovaných faktorů interakce měřených na vzorcích řezaných laserem.....	67
Tab. č.10. - Porovnání účinku sledovaných faktorů interakce měřených na řezaných vzorcích.....	68

Seznam zkratk a značek

α – úhel mezi letokruhy a rovinou slepu

b – šířka zkušební tělesa - šířka zkušební plochy

l_1 - celková délka zkušební tělesa

l_2 - délka přeplátování - délka zkušební plochy

s – tloušťka zkušební tělesa

A – slepená zkušební plocha v (mm^2)

FSP - fiber saturation point – bod nasycení vláken

N – newton, jednotka síly v soustavě SI

F-test – test o shodnosti (homogenitě) rozptylů dvou nezávislých výběrů

1 Úvod

Ve všech odvětvích průmyslu, a i jiných, než průmyslných dochází k neustálým změnám technologií a inovacím. Zkracují se jednotkové časy spotřeby času na výrobní jednotku v návaznosti na rychlejší splnění cílů s následnou ekonomickou efektivností a důrazem na kvalitu výrobku. V nynější době dochází k pokusům dělení řeziva/kmenů/dílců i jinými než pouze třískovým požezem materiálu, a to za použití laserové technologie. Tento způsob dělení je znám již delší období, avšak s postupným strojním zdokonalením má až nyní větší potenciál v dřevařském průmyslu. S dostupnými novými technologiemi vznikají i nové skutečnosti, které se u klasického řezání nevyskytují.

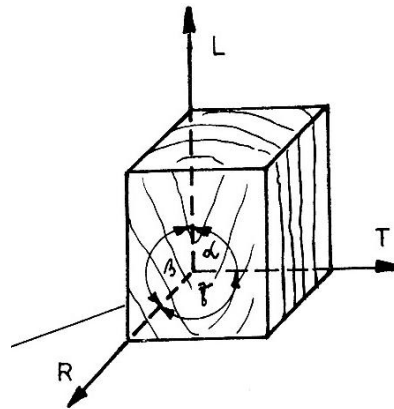
Tato diplomová práce se zabývá jedním z nich a to „Pevnost lepených spojů na plochách obrobených laserem“. Tento proces dělení dřevní hmoty je v rámci dřevozpracujících závodů využíván minimálně, spíše až v druhovýrobě, kde plní funkci již hotových výrobků nebo dílců sloužící k dalšímu použití. Samotný technologický proces řezání dřeva třískovým obráběním je nezbytný pro následnou sortimentaci řeziva tak jak ji známe dnes.

Je zřejmé, že obrobek a konkrétně plochy obrobku, budou vykazovat rozdílné kvality povrchu po obrobení laserem a třískovým úběrem materiálu včetně různé drsnosti a tepelnému opotřebení obráběných ploch. Jako lepicí složkou je zvolené lepidlo PVAc, které je v dřevařském průmyslu nejvíce používané. Vzájemně budou porovnány pevnosti ve smykovém namáhání na testovacím zařízení typu UTS 50 s dobou porušení od 30s do 50s. po obrobení materiálu kotoučem a laserem, společně s faktory ohniskové vzdálenosti laseru a počáteční vlhkostí dřeva.

Pro účely samotného testování jsou vybrány jednotlivé vzorky dřevin, zástupně Dub zimní (*Quercus petraea*) a Buk lesní (*Fagus sylvatica*). Samotná metodika zkoušky je podřízená normě ČSN EN 1465.

2 Dělení dřevního materiálu

Z hlediska teorie dělení dřeva (a také dřevných materiálů) se v případě dřeva jedná o surovinu, která vykazuje ve třech na sebe kolmých směrech různé (mechanické, fyzikální aj.) vlastnosti a tento jev je nazýván jako *anizotropie dřeva* (POŽGAJ, A. a kol. 1997). Tento fakt má velký význam nejen při konstrukci nábytku, ale především při procesech obrábění a dělení dřeva, kdy je třeba zohlednit především vlhkost, sesychání, bobtnání, tvrdost apod. To platí především o pilařských provozech, kde je výrobkem řezivo a toto může být vlivem vlhkostních poměrů nevyhovující příslušným normám (KOŽELOUH, B. 2014). Anizotropie je znázorněna na obr. č. 1, přičemž dobrým vodítkem určení směrů bývá směr letokruhů.



Obr. č. 1 – Anizotropie dřeva

POŽGAJ a kol., 1997

R – směr radiální, T – směr tangenciální, L – směr podélný

K anizotropii je nutné doplnit, že z hlediska přírodního materiálu má na dělení a obrábění dřeva velký vliv již zmíněná vlhkost, kterou je nutné při mechanických procesech dělení nebo obrábění zohlednit a dřevo vysušit na vlhkost, dle jeho následného zamýšleného použití.

Z hlediska této práce je možné zpracování dřeva, jako obnovitelného zdroje, možné rozdělit na dvě základní komodity (ZAUŠKOVÁ, A. 2002):

- *komodity primárního zpracování dřeva*, které probíhá mechanickým (řezání, sekání apod.) anebo chemickým (působením chemikálií apod.) způsobem a výrobkem je v prvním případě *řezivo* dělené na deskové, hraněné a polohraněné a dále štěpky, třísky, které se využívají pro následné zpracování a v druhém případě celulóza a papír,
- *komodity sekundárního zpracování dřeva*, které mají již konečné vyhotovení určitého výrobku, jako např. nábytek, hudební nástroje, obaly, dřevěné hračky, dřevostavby apod.

V úvodu se tato práce zabývá především pořezem na kotoučových pilách, což je branné jako primární zpracování dřeva mechanickým způsobem, tzn. *řezáním na výrobek, či polotovar řezivo, které vznikne podélným nebo příčným dělením výřezů na části* (obecně desky) (ZAUŠKOVÁ, A. 2002).

Jak již bylo uvedeno výše, tak na vlastní technologický proces řezání dřeva mají vliv jeho fyzikální a také mechanické vlastnosti dřeva. Tyto vlastnosti jsou podmíněné ovšem chemickým složením dřeva a na jeho základě je potom rozlišováno dřevo měkké, polotvrdé a tvrdé. Dřevo je ve své podstatě přírodním polymerem, kterého hlavní složky jsou:

- celulóza, kdy různé druhy dřevin obsahují od 32 do 56 % celulózy, přičemž dřevo jehličnatých dřevin obsahuje 46 až 54 % celulózy a dřevo listnatých dřevin od 41 do 45 %,
- hemicelulózy (xylany, galaktany apod.), kdy obecně dřevo obsahuje 20 až 35 % hemicelulóz a jejich obsah je vyšší v listnatých dřevinách,
- lignin, kdy u různých druhů dřevin je 15 až 36 % ligninu, přičemž dřevo jehličnatých dřevin ho obsahuje od 25 až do 36 % a listnaté dřeviny obsahují obecně méně ligninu (15 až 25 %).

Dále dřevo obsahuje ještě další, tzv. průvodní složky od 5 do 10 % a to. vosky, třísloviny, škroby apod., ale tyto jsou důležité především z hlediska chemického zpracování dřeva (buničina, papír apod.). Z výše uvedeného je zřejmé, že jehličnaté a

listnaté dřeviny obsahují sice z chemického hlediska stejné komponenty, ale v jiném procentuálním zastoupení. Nezanedbatelný je také vliv konkrétní dřeviny. Tato vlastnost ovlivňuje svým způsobem poměrně výrazně mechanické zpracování dřeva, a to nejen po chemické stránce (GEFFERT, A. 2013).

3 Dělení materiálu mechanickým způsobem

V předchozím textu bylo již zmíněno zpracování dřeva, které je možné chemickým, termickým nebo mechanickým způsobem. Pod pojmem „zpracování“ dřeva se tedy rozumí využití dřeva různým způsobem což již může být jako finální výrobek a to např. řezivo, nábytek, buničina, papír apod.

Z hlediska terminologie je potřeba upřesnit rozdíl mezi „dělením“ a „obráběním“ dřeva nebo dřevných materiálů. Jako dělení se obvykle myslí výroba polovýrobku, jako je např. kmen zkrácený na výřez, tzn. na menší kus. V případě obrábění se z polovýrobku zajišťuje přesný tvar o určité povrchové kvalitě apod., to je např. již výše zmíněné řezivo. Dělení a obrábění se obvykle děje pomocí nástroje – pilový kotouč, fréza apod.

Pojem „řezání“ je specifikován jako *proces porušování dřevních částic ostrou hranou řezného klínu vnikajícího do dřeva* (LISIČAN, J. a kol. 1996). Právě v případě pilového kotouče je možné provádět jak řezání, tak také dělení, což v podstatě znamená, že každý nástroj jak dělicí, tak také obráběcí vykonává řezný proces, který je pojmem „dělení“ a „obrábění“ nadřazený samozřejmě za předpokladu, že povrchovou kvalitou lze získat také jinými metodami než řezným procesem, což je v této práci uváděný proces gravírování laserem.

Zde je nutné ještě doplnit, že jak dělení, tak také obrábění může být třískové a beztřískové. Je tedy možné uvést následující zjednodušený přehled:

- dělení,
 - beztřískové (štípání rostlého dřeva, stříhání kulatiny apod.),
 - třískové (řezání, sekání, krájení dýh apod.),
- obrábění,
 - beztřískové (tepelnou energií → laserem, ohýbání, lisováním apod.),
 - třískové (hoblování, frézování, vrtání apod.) (LISIČAN, J. a kol. 1996)

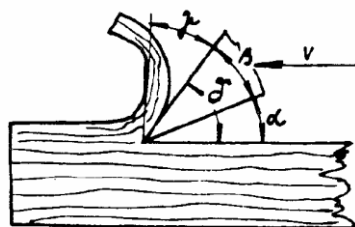
V přehledu není např. zmínka o rozvláknování, hydro-termické defibraci, apod. Z uvedeného přehledu je samozřejmě nejdůležitější řezání a obrábění laserem, které je přímo spjato s tématem této práce.

Je nutné zmínit jeden velmi důležitý fakt, kdy v dřevařském průmyslu je proces řezání dřeva kotoučovými pilami nejvíce využíván (SVOREŇ, J. 2002). Řezání dřeva je složitý technologický proces, kde sehrávají svoji roli následující faktory:

- obráběný materiál (druh a vlastnosti dřeva),
- obráběcí materiál (tvar, materiál, otáčky, otupování),
- nástroj a obrobek současně (posuv, tloušťka třísky, řezná síla apod.) (LISIČAN, J. a kol. 1996).

V případě dřeva (viz obr. č. 1) je nutné zohlednit, zdali se řezání uskutečňuje ve směru dřevních vláken nebo proti nim, to se v případě aglomerovaných materiálů na bázi dřeva (DTD, DVD, MDF.) díky jeho stejnorodosti nevyskytuje, a to s přímým vlivem na kvalitu řezu.

Z hlediska definice řezného nástroje je jím každý řezný klín různého tvaru, na kterém je realizovaný jeden nebo větší počet řezných hra. Prvky (úhly) řezného klínu jsou uvedeny na obr. č. 2. (LISIČAN, J. a kol. 1996).

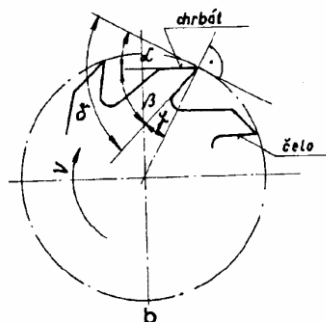


Obr. č. 2 – Úhly řezného nástroje

LISIČAN, 1997

α – úhel hřbetu, β – úhel ostří (břítu), γ – úhel čela, $\alpha + \beta = \delta =$ úhel řezu

Měření výše uvedených úhlů v případě pilového kotouče je uvedeno na obr. č. 3, přičemž se jedná o rotační pohyb.



Obr. č. 3 – Měření úhlů v případě pilového kotouče

LISIČAN, 1997

V případě řezání obecně se využívají tzv. modely řezání. Dále se jedná z mikroskopického hlediska o zborcení buněčných stěn a jejich nakupení k sobě, čímž vzniká plastická deformace, až dojde v podstatě k přestřížení buněčných stěn. Samozřejmě dochází i k fyzikálním jevům, kde je možné zmínit zvýšení teploty apod. (LISIČAN, J. a kol. 1996). Z chemických procesů se jedná o uvolňování látek (akát, dub, borovice apod.) vlivem teploty a dochází k otupování rezného nástroje. Dále je nutné zmínit samozřejmě vznik třísek dle různých forem, přičemž v případě kotoučových pil se jedná o piliny s nerovnoměrnou tloušťkou, a to také v závislosti na rychlosti posuvu do řezu a rychlosti otáček nástroje (LISIČAN, J. a kol. 1996).

V případě procesu řezání na kotoučových pilách je třeba vzít v úvahu také řeznou rychlost. Řezná rychlost pilového kotouče se určí z rovnice (SVOREŇ, J. 2002):

$$v_c = \pi \cdot D \cdot n \quad (\text{m} \cdot \text{s}^{-1}) \quad (1)$$

kde: D – průměr pilového kotouče (m)
 n – otáčky pilového kotouče (s^{-1})

Posuvná rychlost v případě válcového podacího mechanismu materiálu se určuje z rovnice (SVOREŇ, J. 2002):

$$v_f = \pi \cdot D_v \cdot n_v (1 - 0,01 \cdot \varepsilon_0) \quad (\text{m} \cdot \text{min}^{-1}) \quad (2)$$

kde: D_v – průměr podávacích válců (m)
 n_v – otáčky podávacích válců (min^{-1})
 $n_v = n_m \cdot i_{ob}$, kde n_m jsou otáčky poháněcího elektromotoru [min^{-1}] a i_{ob} obecný převodový poměr kinematického řetězu podávacího mechanismu ($i_{ob} = i_1 \cdot i_2 \dots i_n$),
 $\varepsilon_0 = \varepsilon_t + \varepsilon_r + \varepsilon_v + \dots + \varepsilon_n$ – výsledný prokluz v třecích, řemenových a jiných převodech na podávacích válcích

Posuvná rychlost v případě řetězového, pásového a článkového podacího mechanismu se určuje z rovnice (SVOREŇ, J. 2002):

$$v_f = z_p \cdot t_p \cdot n_m \cdot i_{ob} \cdot (1 - 0,01 \cdot \varepsilon_0) \quad (\text{m} \cdot \text{min}^{-1}) \quad (3)$$

kde: z_p – počet zubů poháněcího prvku pásu anebo řetězu (řetězové kolo, buben apod.),
 t_p – rozestup zubů poháněcího prvku [m]

Posuv na zub pilového kotouče se určuje z rovnice (SVOREŇ, J. 2002):

$$f_z = \frac{v_f}{z \cdot n} \quad (\text{m}) \quad (4)$$

kde: v_f – posuvná rychlost ($\text{m} \cdot \text{min}^{-1}$)

z – počet zubů pilového kotouče
n – otáčky pilového kotouče (min^{-1})

Dále je potřebné znát řeznou sílu F_c , kterou působí pilový kotouč na obráběný materiál v rovině (SVOREŇ, J. 2002):

$$F_c = \frac{k_c \cdot s_t \cdot H_{max} \cdot v_f}{60 \cdot v_c} \quad (\text{N}) \quad (5)$$

kde: k_c – řezná síla na jednotku plochy řezu (Pa)
 s_t – šířka řezné spáry (šířka zubů) (m)
 H_{max} – maximální výška řezu (m)
 v_f – posuvná rychlost ($\text{m} \cdot \text{min}^{-1}$)
 v_c – řezná rychlost ($\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$)
 k_c – řezná síla na jednotku plochy řezu je daná rovnicí
(SVOREŇ, J. 2002):

$$k_c = (1,1 \div 1,2) \cdot K_{bor} \cdot K_d \cdot K_w \cdot K_{hs} \cdot K_v \cdot K_f \cdot K_p \quad (\text{Pa}) \quad (6)$$

kde: K_{bor} – řezná síla na jednotku plochy řezu pro borovici,
 K_d – součinitel druhu dřeviny,
 K_w – součinitel vlhkosti,
 K_{hs} – součinitel střední tloušťky třísky,
 K_v – součinitel řezné rychlosti,
 K_p – součinitel opotřebení řezné hrany,
 K_f – součinitel tření.

Výpočty dynamických prvků řezných procesů se provádějí podle různých metodik (SVOREŇ, J. 2002):

- technicko-statistická metoda,
- objemová metoda,
- podle „tabulkové síly“,
- analytická metody.

Je vhodné se zmínit o jedné z uvedených metod alespoň v teoretické rovině. Byla vybrána objemová metoda. Tato metoda ve všeobecnosti vyjadřuje proporcionalitu výkonu řezání P_r k objemu dřeva přeměněného na třísky za 1 s (HOLOPÍREK, J. 2001).

$$P_r = A_{r1} \cdot V_1 \quad (W) \quad (7)$$

kde: A_{r1} – měrná řezná práce při daném procesu řezání a při zadaných výpočtových podmínkách obrábění ($J \cdot cm^{-3}$),
 V_1 – objem dřeva přeměněného na třísky za jednu sekundu ze vztahu $V_1 = S \cdot u$ ($cm^3 \cdot s^{-1}$), kde S – plocha řezu (plocha obráběné vrstvy, otvory atd.) kolmá k vektoru posuvné rychlosti u (mm^2), u – posuvná (podávací) rychlost ($m \cdot s^{-1}$).

Měrná řezná práce A_{r1} se určí z jednotkové měrné řezné práce A_{r1}^1 (tabulková hodnota) a opravných součinitelů pro jednotlivé podmínky řezání za vztahu:

$$A_{r1} = A_{r1}^1 \cdot k_d \cdot k_w \cdot k_t \cdot k_v \cdot k_r \cdot k_h \cdot k_e \cdot k_\sigma \cdot k_{\varphi 0} = A_{r1}^1 \cdot k_{co} \quad (J \cdot cm^{-3}) \quad (8)$$

kde: A_{r1}^1 – jednotková měrná řezná práce
 k_d – opravný součinitel vlivu dřeviny
 k_w – opravný součinitel vlivu vlhkosti
 k_t – opravný součinitel vlivu teploty
 k_v – opravný součinitel vlivu řezné rychlosti
 k_r – opravný součinitel vlivu otupení ostří
 k_h – opravný součinitel vlivu dřeviny
 k_σ – opravný součinitel vlivu řezného úhlu

k_e – opravný součinitel vlivu tření

k_{ϕ_0} – opravný součinitel mezi ostrím a vlákny

Veškeré výše uvedené koeficienty jsou tabulkovány a v podstatě každý koeficient nějakým způsobem v sobě zahrnuje výše zmíněné vlastnosti dřeva (fyzikální, mechanické a částečně také chemické).

Správná analýza řezných procesů se projeví v provozu konkrétních technologických zařízení především v těchto oblastech:

- kapacita (výrobní),
- životnost strojního a technologického zařízení,
- tvarové a rozměrové přesnosti výrobků,
- možnosti mechanizace a automatizace atd. (HOLOPÍREK, J. 2001)

Poslední aspekt má v současnosti stále se zvyšující význam, a to vzhledem k pojmu tzv. Průmyslu 4.0, což se v budoucnu projeví poptávkou po nových moderních spotřebních a průmyslových technologiích s cílem urychlit vývoj robotizace a moderních plně automatických řídicích systémů, co nejvíce nezávislých na lidské obsluze (VOJÁČEK, A. 2016).

Z hlediska kapacity se technické parametry dřevařských strojů vyjadřují buď kvantitativně, tj. množstvím (otáčky, zdvih, řezná rychlost apod.) nebo kvalitativně, tzn., jakostí (spotřeba energie, kapacita apod.). Obě dvě veličiny spolu vzájemně souvisí, i když pro tuto práci je nejdůležitější *kapacita stroje, což je výkonnost měřená v kusech anebo v objemu výrobků nebo zpracovaného dřeva za jednotku času (hodina, směna, den, rok)*. Rozlišují se tři druhy kapacity strojů:

- technologická kapacita – množství výrobku za časovou jednotku bez pomocných operací a ztrát $C_{technolog} = \frac{1}{T_h}$, kde T_h je čas hlavní operace (čas hlavního pracovního mechanismu),
- technická kapacita – množství výrobků za časovou jednotku bez existence ztrát $C_t = \frac{1}{T_h + T_p} = \frac{1}{T_c}$, kde T_p je čas pomocných operací a T_c čas pracovního cyklu,
- provozní kapacita (efektivní) – množství výrobků za časovou jednotku se všemi možnými ztrátami $C_{ef} = \frac{1}{T_h + T_p + T_{st}}$, kde T_{st} jsou ztrátové časy vzniklé

při výrobě. Vzorce pro výpočet obvykle bývají tabulkovány (BARCÍK, Š. 2001).

V praxi se především vychází z výpočtu využitelného časového fondu, který je vypočítáván následovně:

kalendářní časový fond

- nepracovní dny (T_p)

nominální časový fond (T_n)

- plánované prostoje (t_i)

využitelný časový fond (T_p)

(RAŠNER, J., SKLENKA, I. 1989).

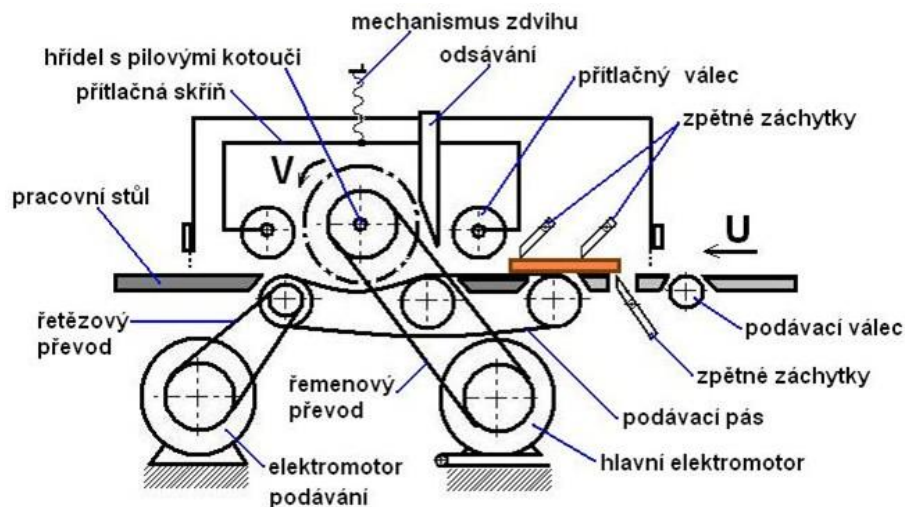
Výrobní kapacita stroje je potom $Q_p = T_p \cdot V_p$, kde V_p je výkon v naturálních jednotkách za 1 hod. a T_p využitelný časový fond. Výrobní kapacita linky (v kusech dílců) je následující:

$$Q_p = \frac{T_{sm} - T_{př}}{r} \cdot n \quad (9)$$

Ve vzorci (7) znamená T_{sm} – čas směny [min], $T_{př}$ – čas přestávek (min), r – rytmus linky (min/kus) a n – počet směny za rok.

3.1 Kotoučové pily

Na obr. č. 4 je uvedeno zjednodušené kinematické schéma vícekotoučové rozřezávací pily s popisem.



Obr. č. 4 – Kinematické schéma vícekotoučové rozřezávací pily

DOSKOČIL, 2013

Popis k obr. č. 4 v podstatě je svým způsobem univerzální z hlediska kotoučové pily s jedním nebo více pilovými kotouči, protože kotoučové pily se obecně skládají z následujících mechanismů a uzlů:

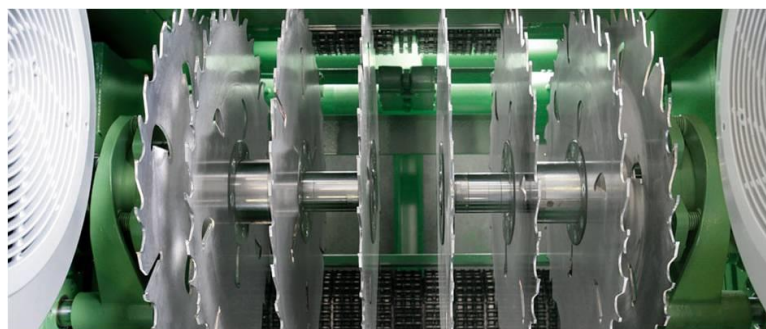
- řezací mechanismus,
- podávací mechanismus,
- opěrný mechanismus,
- nakládací a vykládací mechanismus,
- pomocný nastavovací mechanismus,
- pohonný převodový mechanismus,
- stojan sloužící na upevnění všech ostatních mechanismů (SVOREŇ, J. 2002).

Jednotlivé mechanismy se samozřejmě od sebe liší, a to především v případech, jak bude dále uvedeno, zda se jedná o formátovací pilu nebo průmyslově využívanou např. zkracovací, rozmítací stroj apod. Podle technologického určení je možné kotoučové pily rozdělit:

- pro podélné řezání,
 - pro příčné řezání,
 - pro řezání velkoplošných materiálů
- (SVOREŇ, J. 2002).

Na základě výše uvedeného rozdělení je třeba z technologického hlediska rozdělit pojmy, že při řezání podélném se dřevo (nebo řezivo) rozmítá a při řezání příčném zkracuje. Zde se také jedná o vliv dřevních vláken a jejich rozdílnému působení odporu při samotném dělení dřeva (LISIČAN, J. a kol. 1996).

Dále jsou na obr. č. 5 uvedeny pilové kotouče na hřídeli tzv. rozmítací kotoučové pily, která má široké uplatnění v pilařské výrobě, kdy se jedná především rozmítání hranolů na řezivo pro další použití nebo již jako samostatný výrobek apod.



Obr. č. 5 – Pilové kotouče rozmítací pily

REPARO,2018

V případě omítací kotoučové pily se jedná o dva pilové kotouče, jejichž úkolem je odstranění zbytků kůry (krajnice) z řeziva. Uplatnění je stejně jako u rozmítací kotoučové pily v pilařské výrobě. Pilové kotouče jsou uvedeny na obr. č. 6.



Obr. č. 6 – Pilové kotouče omítací kotoučové pily

DŘEVAŘI, 2018

Pro malosériovou výrobu jsou při rozřezávání velkoplošných materiálů na specifikované dílce různých rozměrů vhodné formátovací kotoučové pily (viz obr. č. 7) se svislým stolem.



Obr. č. 7 – Kotoučová formátovací pila

HOESCHSMANN, 2019

Kromě výše uvedených kotoučových pil existují ještě kotoučové pily zkracující kulatinu na výřezy na skladech kulatiny v pilařské výrobě, jak ukazuje obr. č. 8.



Obr. č. 8 – Zkracovací kotoučová pila na kulatinu

DŘEVOSTROJ., 2018

3.2 Technologie pilového kotouče

Jako základní rozdělení pilových kotoučů je možné uvést rozdělení podle materiálů, ze kterých jsou vyrobeny:

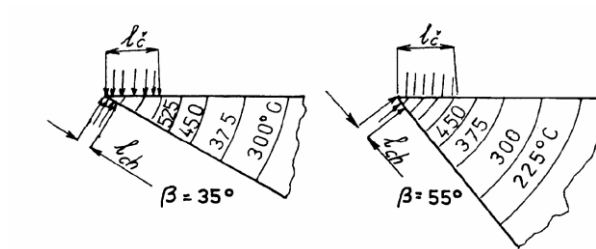
- kotouče s břity ze slinutého karbidu (pilové kotouče SK),
- kotouče s diamantovými břity (pilové kotouče PKD),
- pilové kotouče z nástrojové oceli
(PILANA, 2019)

Vnější průměry pilových kotoučů jsou odstupňovány, nejběžněji od 150 do 235 mm u ručně vedených pil a až do 700 mm u stacionárních okružních pil. V současné době se stále více používají kotouče s naletovanými plátky ze slinutých karbidů (tvrdo-kov), přičemž se jedná o velmi tvrdé břity, které vydrží déle ostré. Současně jsou ale křehké a při nárazu na nějaký cizorodý předmět se mohou vylomit (KRÁSENSKÝ, T. 2019).

V případě řezání dřeva je důležité dbát na teplotu nástroje, že při určitých teplotách je pozorován evidentní pokles tvrdosti některých nástrojových druhů ocelí a to následovně:

- | | |
|--------------------------------------|-------------|
| • uhlíkové a nástrojové oceli | 150÷300 °C, |
| • nízko a středně legované oceli | 350÷500 °C, |
| • rychlořezné oceli (vysokolegované) | 500÷700 °C, |
| • SK (slinutý karbid) | 900÷950 °C |
| • pojivo syntetického diamantu | 750 °C |
- (LISIČAN, J. a kol. 1996).

Důvodem je zahřátí pilového kotouče tak, jak naznačuje obr. č. 9 v závislosti na úhlu břitu.



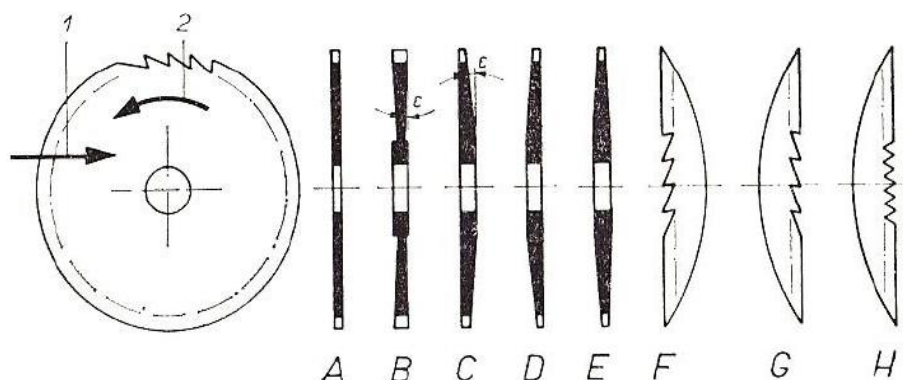
Obr. č. 9 – Rozložení teploty na pilových zubech

LISIČAN, 1997

Z obrázku č. 9 je přímo ukázáno, že teplota klesá směrem ke středu pilového kotouče. Zde je třeba si povšimnout možnosti přehřátí ostří, které se projevuje změnou barvy špičky břitu a dochází tak k většímu otupení nástroje, které může vést až k samotnému nevratnému znehodnocení.

3.3 Rozdělení pilových kotoučů a jejich částí

Vždy je vhodné zvolit nástroj, který by měl být vybráno podle toho, co je třeba řezat. Všeobecně tedy platí, že není vhodné používat pouze jeden pilový kotouč „na všechno“ (IGM, 2019). Pilové kotouče se dělí podle druhu ozubení a podle průřezu. Dále se dělí podle směru řezání vzhledem k vláknům na kotouče pro příčné nebo pro podélné řezání tak, jak je uvedeno na obr. č. 10.

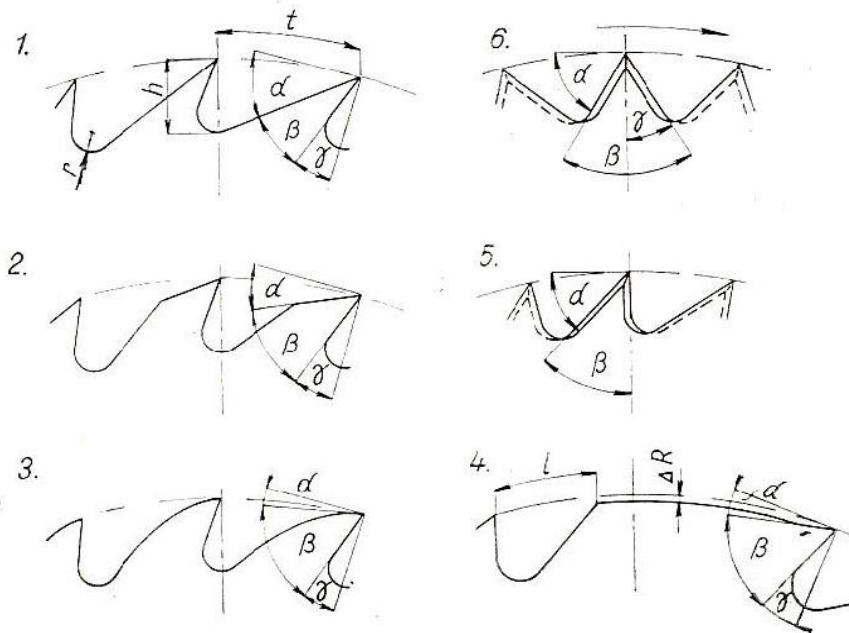


Obr. č. 10 – Druhy pilových kotoučů

MÁROVÁ, 2012

Z obrázku č. 10 je uveden směr (1), kterým se udává pohled na určování pravé a levé strany pilového kotouče a také je zde uveden směr otáčení pilového kotouče (2). Úhel ϵ je úhel boční plochy. Rozdělení kotoučů je tedy následující: (A) přímý, (B) podbroušený, (C) seřezávací pravý, (D) seřezávací levý, (E) seřezávací souměrný, (F) vpravo vypouklý, (G) vlevo vypouklý a (H) vypouklý s trojúhelníkovým souměrným ozubením.

Kotouče se liší profilem ozubení a způsobem broušení. Průměr kotouče při řezání by měl být co nejmenší, a to kvůli zlepšení jakosti řezné plochy (zmenší se šířka řezné spáry a tím i potřebný výkon), stabilitě a nižší hladině hluku. Používané ozubení pilových kotoučů je uvedeno na obr. č. 11.



Hlavní typy ozubení pro řezání podélné (1 až 4) a příčné (5 až 6)

Obr. č. 11 – Hlavní používané ozubení pilových kotoučů

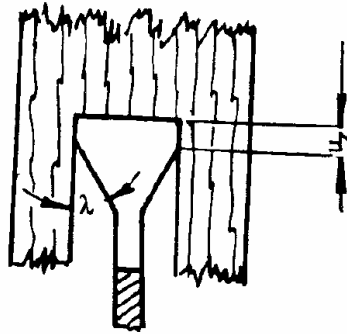
MÁROVÁ, LISIČAN, 1997

1 a 5 – trojúhelníkové nesouměrné, 2 – vlčí s lomeným hřbetem, 3 – vlčí s oblým hřbetem, 4 – vlčí s oblým hřbetem a prodlouženou zubovou mezerou, 6 – trojúhelníkové souměrné

Z obrázku č. 11 plyne, že ozubení 1 až 4 se používá pro podélné řezání (ve směru vláken) a ozubení 5 a 6 pro příčné řezání. Dále je nutné rozlišit, zdali zuby jsou rozpěchované nebo rozvedené, popř. ze slinutých karbidů (SK). V případě pozic 5 a 6 na obrázku č. 11 se jedná o šikmé ostření zubů.

3.4 Vliv řezání dřeva (parametru řezání) pilovým kotoučem na kvalitu povrchu

V případě kvality povrchu řezného materiálu, tedy dřeva je důležité přihlédnout především ke kmitání pilového kotouče (LISIČAN, J. a kol. 1996). Pokud by totiž pilový kotouč axiálně vůbec nekmital, byl by pro získání hladké a rovné plochy vhodný tvar zubu, jak naznačuje obr. č. 12.



Obr. č. 12 – Tvar pilových zubů pro hladký řez

LISIČAN 1996

Podle obrázku č. 12 by byl nejvhodnější pilový kotouč s tvarem zubu, kterého boční hrany by měly velikost posuvu na zub u_z . Největší vliv tedy na drsnost řezného povrchu má kmitání pilového kotouče vyvolávající enormní zvyšování teploty, zabíhání v řezu apod. Příčinou je ztráta tuhosti pilového kotouče.

V případě zvyšování posuvné rychlosti při obrábění dřeva má tato negativní vliv na výslednou kvalitu opracované plochy. Naopak u řezné rychlosti je tato korelace opačná.

3.5 Vliv struktury dřeva na změnu jeho kvality povrchu po řezání pilovým kotoučem

V případě řezání pilovým kotoučem se jedná o mechanické řezání, při kterém se nový povrch tvoří mechanickým narušením celistvosti materiálu ostrou hranou řezného klínu nástroje a oddělování jeho částí (ZEMIAR, J. a kol. 2009). Jedná se v podstatě o třískové dělení materiálu (dřeva). V případě řezání je kvalita řezné plochy nižší, než např. v případě frézování z čehož plyne, že takto vytvořené povrchy musí být dále příslušným způsobem opracovány, jako je např. broušením apod. Mimo výše uvedeného je potřebného vzít v úvahu také strukturu dřeva jako přírodního materiálu, tzn., výskyt suků, trhlín, dřeň, barva dřeva (ZEMIAR, J. a kol. 2009) apod., což v konečném důsledku snižuje jak kvalitativní, tak také kvantitativní ukazatele ve výrobě, na které musí být brán zřetel.

Kvalita povrchu je důsledkem anatomické stavby dřeva, což je v podstatě rozsáhlý systém kapilár a dutin, který se projevuje vysokými hodnotami specifického povrchu dřeva, který je v případě suchého dřeva řádově $10^8 \text{ m}^2 \cdot \text{m}^{-3}$ a v podstatě *vnější povrch dřeva je možné definovat jako plochu, která odděluje těleso z dřeva od okolního prostředí* (LIPTÁKOVÁ, E., SEDLIČIK, M. 1989). Geometrie reálného povrchu dřeva je výsledkem interakce anatomické stavby dřeva a pracovního nástroje.

4 Dělení dřevního materiálu laserová technologie

4.1 Historie

Princip fungování samotného laseru popsal už samotný Albert Einstein v roce 1917. Předchůdcem byl Maser, zařízení, které pracuje na podobném principu jako laser, to znamená na principu stimulované emise, ale rozdíl spočívá v generování mikrovlnného záření. V roce 1960 v USA Theodore H. Maiman sestavil první funkční laser, který byl následně předveden veřejnosti. Jako aktivní prostředí použil krystal rubínu, za použití tří energických hladin. Tento laser pracoval pouze v pulzním režimu.

V roce 1963 C. Kumara a N. Patel objevil plynový CO₂ laser. Dva sovětské fyzici Nikolaj Basov a Alexandr Prochorov, kteří vyřešili problém neustálého výstupu tím, že použili více než jen dvě energetické hladiny a tím umožnili ustavení populační inverze. V roce 1964 tak obdrželi Charles Townes, Nikolaj Basov a Alexandr Prochorov společně Nobelovu cenu za fyziku.

Od 60let 20. století si laser nacházel rychlé uplatnění napříč obory a to např. ve vědě, průmyslu, medicíně, chemie, biologie, energetiky, ale také i v běžném životě. V roce 1961 bylo laserové záření použito k léčení očních a kožních onemocnění (WIKIPEDIA, 2013)

4.2 Laser

V podkapitole 2.1 je uvedeno, že kromě tradičních dřevo-dělicích a dřevoobráběcích procesů existují také procesy, u kterých nevzniká tříška nebo hoblina apod., a proto se jim říká beztrískové obrábění. Sem patří ohýbání nebo lisování dřeva a také řezání vodním paprskem nebo laserem. V případě tématu této práce se bude dále jednat o řezání dřeva laserem, kde dochází k úbytku materiálu, a to sublimací dřeva – odpaření v podobě kouře.

Laser je zkratka pro **L**ight **A**mplification by **S**timulated **E**mission of **R**adiation. Světelné vlny jsou tak zesilovány v procesu stimulace atomů nebo molekul, které mají přebytečnou energii, kterou mohou vyslat v podobě fotonů stejné frekvence a fáze jako má světelná vlna (LT, 2019). V případě sublimačního řezání dřeva je důležité správné nastavení optiky v závislosti na tloušťce řezaného materiálu. Maximální rezná rychlost je

nepřímo úměrná odpařovacímu teplu materiálu a přímo úměrná rychlosti proudění řezného plynu (ŘASA, J., KEREČANINOVÁ 2008).

V současnosti patří laserové technologie k nejrozšířenějším nekonvenčním technologiím, přičemž laserem je možné řezat jak kovové, tak také dřevěné materiály a materiály na bázi dřeva. K tomuto účelu se využívají laserové řezací stroje, které postupují neustálému technologickému vývoji a vylepšení. V současnosti patří tzv. CO₂ laser k nejrozšířenějším laserům. Jeho předností je rozsah výstupního výkonu laserového paprsku (0,1 až 30) kW, také jeho poměrně vysoká účinnost (8 až 10) %.

V současnosti v rámci operací řezání dřeva převažují klasické, tedy třískové metody dělení a obrábění dřeva z důvodu eliminace spálených ploch po opracování laserem. Tento fakt je možné přičíst i dalším neméně významným podmínkám, a to především ekonomickým činitelům (VAŇKOVÁ, M. 2018), kdy vzhledem k vysoké produktivitě není ekonomické zhotovovat kusové nebo výrazně malosériové zakázky.

V případě srovnání řezání kotoučovými pilami se operace řezání s pilovými kotouči řadí mezi nejproduktivnější způsoby dělení materiálu. Mezi hlavní vlastnosti této metody patří vysoká produktivita, přesný řez s čistou plochou a při správné údržbě pilového kotouče také dlouhá životnost (LUMNITZER, R., a kol. 2015).

V případě řezání laserem je zdrojem energie pro postupné tavení a odpařování materiálu v řezné spáře fokusovaný světelný paprsek vznikající v plynové komoře laseru naplněné směsí CO₂ + N₂ + He. Možnost řezání laserem závisí hlavně na světelné absorpci materiálu. Nekovové materiály absorbují svazek laserového záření poměrně dobře. Materiály se silným odrazem světelného záření se laserem nedají řezat. Předností řezání laserem je:

- malá šířka řezu – ideální pro využití pro řezání malých poloměrů s vysokou přesností,
- vysoká rychlost řezu s vysokou produktivitou práce,
- vysoká kvalita řezu – kde odpadá nutnost dalšího opracování,
- nízký teplotní vliv na materiál – to platí při vysokých řezných rychlostech a velkém výkonu laseru,
- možnost regulace výkonu – režim řezání/režim gravírování.

Za nevýhody laseru se považují:

- při nižších řezných rychlostech dochází k vyššímu přenosu tepelné energie a dochází k opalování hran,
- výška řezu je u běžně dostupných laserů maximálně 50 mm,
- vysoké náklady na pořízení,

4.3 Teorie pořezu laserem

Jedná se o progresivní technologii řezání materiálu. Používá se obvykle tam, kde to jiným způsobem není možné nebo se vyžadují speciální vlastnosti výsledného výrobku (gravírování apod.). Z ekonomického hlediska je však řezání laserem méně efektivní než třeba řezání vodním paprskem. Příkladné materiály k řezání laserem jsou uvedeny v tabulce č. 1.

Tab. č. 1 - Řezné rychlosti různých materiálů při použití CO₂ laseru

Řezný materiál	Maximální tloušťka (mm)	Rychlost řezání (cm. min ⁻¹)	Výkon laseru (W)
Azbest	6	2,5	200
Dřevo	50	10	200
Kůže	3	63, 5	200
Ocel	6	63	650
Sklo	4	10	200

Vaňková, 2018

Vysoce koncentrovaná světelná energie vyvolaná elektrickým potenciálem v proudícím laserovém plynovém médiu vystupuje z plynové komory jako paprsek, který zrcadlo usměrní přes bezpečnostní ventil čočky.

Tato čočka soustředí a koncentruje laserový paprsek přecházející tryskou do ohniska řezné zóny obrobku. V této zóně soustředěné vysoké teplo taví a odpařuje řezný materiál. Laserový paprsek světelné energie vzniká v plynové komoře použitím směsi plynů CO₂ + N₂ + He. Takovým laserovým paprskem lze řezat materiály o tloušťce 1–3 mm. Pokud se do laserového paprsku přivádí další inertní nebo aktivní plyn, lze řezat materiály tlustší než 10 mm. Do laserového paprsku se může přivádět vzduch, který se

při řezání nekovových materiálů chová jako inertní plyn a při řezání kovů jako aktivní plyn (VAŇKOVÁ, M. 2018).

4.4 Dělení laseru

V praxi existují různá rozdělení, přičemž pro tuto práci je možné využít dvě základní rozdělení podle aktivního prostředí:

- plynové, kde aktivní prostředí je v plynné fázi. Zástupcem tohoto typu je CO₂ laser, aktivním prostředím jsou molekuly oxidu uhličitého. Buzen je elektrickým výbojem, který zapaluje směsici plynů CO₂, N₂ a He,
- pevnolátkové – aktivní prostředí je dielektrikum, tj. pevná, opticky propustná látka. Používají se tyto druhy:
 - rubínový laser – aktivním prostředím je krystal generující záření o vlnové délce 0,6943 μm,
 - Nd: YAG laser – je dnes nejvíce používaným typem pevnolátkového laseru. Aktivním prostředím je krystal yttrium aluminium granátu dopovaný atomy neodymem,
- vláknové – optické vlákno dopované atomy erbia nebo yterbia,
- polovodičové – elektricky čerpaná polovodičová dioda, arzenid galia, aktivním prostředím polovodičových laserů je polovodičový materiál, ve kterém jsou aktivními částicemi nerovnovážné elektrony a díry, tj. volné nosiče náboje, které mohou být injektovány. Hlavní předností polovodičových laserů je jejich kompaktnost, velká účinnost (až 50 %), možnost spektrálního přeladění v široké spektrálním pásmu a pomocí výběru aktivního prostředí generace záření vlnových délek od $\lambda = 0,3$ do 30 μm. Nevýhodou je rozbíhavost generovaného záření na teplotě aktivního polovodičového materiálu. Polovodičové lasery se používají především pro popisování součástí, řezání, tepelné a svařování a v technologiích Rapid Prototyping,
- chemické – lasery buzené chemickou reakcí,

- excimer – lasery buzené elektrickým výbojem,
 - barvičkové – za pomoci použití organických barviv
- (SARVAŠOVÁ KVIETKOVÁ, 2015)

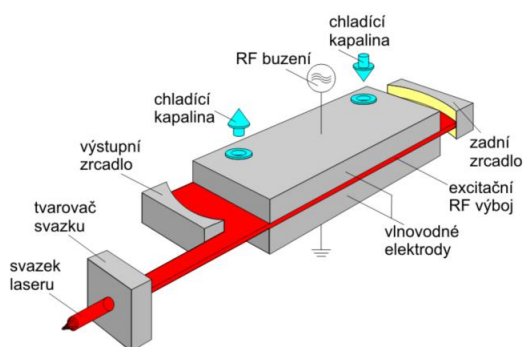
Podle využití v průmyslu:

- lasery na řezání,
- lasery na svařování a pájení,
- lasery na gravírování a značení,
- na vrtání a mikro obrábění,
- na kalení,
- na zaměřování a měření vzdáleností,
- využitelné v medicíně (oční, dermatologické apod.),

Podle výkonu:

- malé výkony od 3 W do 10 W, popř. 100 W,
- velké výkony 100 W až do 100 kW.

Využití CO₂ laserů je pro značení, gravírování a řezání nekovů (plasty, kůže, papír, skla, dřeva apod.), kdy nelze využít jiné typy laserů s vlnovou délkou 10 μm. Zde se používají výkony do 1,5 kW. Princip tohoto laseru je uveden na obr. č. 13.



Obr. č. 13 – Princip CO₂ laseru

KOŘÁN, 2013

Uvádí se, že CO₂ lasery patří do skupiny plynových laserů (aktivní prostředí je směsí plynů obsahující CO₂). Z těchto CO₂ laserů se v průmyslu používají lasery buzené buď radiofrekvenčně, nebo elektrickým výbojem. Tyto lasery vynikají vysokou spolehlivostí, dlouhou životností a nízkými provozními náklady.

Další průmyslovou aplikací je řezání a svařování kovů (výkony až do 20 kW), kde jsou CO₂ lasery dobře zavedeny. Na rozdíl od laserů s vlnovou délkou cca 1 μm, nelze záření CO₂ laseru (10,6 μm) vést optickým vláknem a je nutné pro vedení svazku používat zrcadla, což je velká nevýhoda, protože v tomto případě je optická dráha složitější s tím, že je nutná její pravidelná kalibrace a dále zde existují vyšší nároky na čistotu a údržbu zrcadel atd. (LT, 2019).

4.5 Využití laseru

Laser se pro zpracování dřeva používá tehdy, když jsou požadovány čisté hrany a vysoké rychlosti zpracování. Typickým použitím pro laserové řezání, gravírování a také laserové popisování dřeva jsou dárkové předměty, šperky, intarzie, hračky a stavba modelů tak, jak je možné vidět na obr. č. 14.



Obr. č. 14 – Možnosti gravírování dřeva

BOEHMOVÁ T. 2015

V případě masivního dřeva se využívají především následující dřeviny: akát, javor, jedle, borovice, buk, lípa, bříza, smrk, dub, topol, jasan, třešeň apod. Při laserovém obrábění nedochází díky velkému působení horka ke vzniku třísek a prachu. Organický materiál se jednoduše odpaří a odsaje se jako kouř. Po procesu obrábění laserem není nutné čistit stroj ani jeho okolí. Velká výhoda rychlosti oproti mechanickému obrábění dřeva vyplývá z hran řezaných laserem. Laserem řezané dřevo není nutné po procesu řezání dále opracovávat, protože hrany jsou seříznuty na desetinu milimetru přesně a díky vysoké teplotě dokonce uzavřeny (RAYJETLASER – ON-LINE 2019).

V oblasti aplikace laserových technologií na obráběcích strojích v průmyslovém využití jsou zřejmé tři přístupy:

-
- využití stávajícího obráběcího stroje a jeho doplnění vhodným laserem, přičemž se jedná o kombinaci umožňující provádět operace třískového obrábění i laserové technologie na jednom stroji, tedy na jedno upnutí obrobku;
 - využití podstatné části obráběcího stroje (rámu a pracovních stolů, včetně řízení a pohonů) a doplnění laserem, kdy toto uspořádání umožňuje provádění pouze laserových technologií;
 - zařazení laseru do výrobní linky
(ŘASA, J., JINDROVÁ, R 2006)

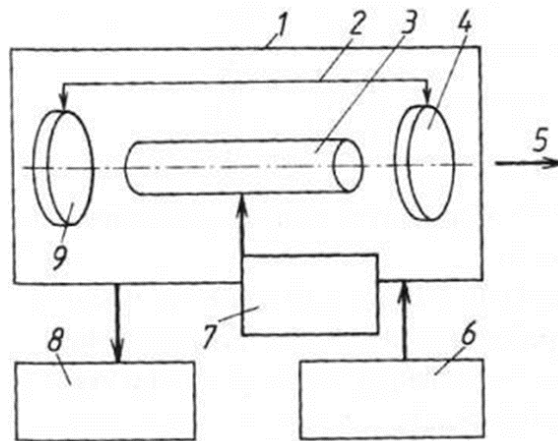
Z výše uvedených možností vyplývá, že laserové řezání se z ekonomických a jiných důvodů využívá především v rámci oddílu CZ NACE – 31, což je z hlediska klasifikace ekonomických činností nábytkářství (sekundární zpracování dřeva) na rozdíl od CZ NACE - 16 Zpracování dřeva, což je pilařská výroba, tedy primární zpracování. Svoji úlohu zde sehrává samozřejmě také velikost obráběného materiálu (suroviny), kdy nábykářský přířez je rozměrově daleko menší než pilařská kulatina nebo výřez.

Z uvedeného plyne, že trendy v laserových strojích a technologiích směřují k získání možnosti provádět jedním laserem více technologií, např. mikro frézování, leštění, kalení, vrtání malých děr atd.

4.6 Popis laseru

Laserové zařízení musí obsahovat těchto pět základních částí:

1. Aktivní prostředí.
2. Rezonátor.
3. Budící zařízení.
4. Zdroj energie pro buzení.
5. Chladicí systém.



Obr. č. 15 – Schéma zařízení pro obrábění laserem

ŘASA J. a KEREČANINOVÁ Z. 2008

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

4.6.1 Aktivní prostředí

Definice aktivního prostředí je přímo látka, která obsahuje oddělené energetické hladiny elektronů, na těchto hladinách přeskakují elektrony z nižší na vyšší a následně zpět na nižší hladinu. Na nižší energetickou hladinu mohou elektrony přeskočit dvěma způsoby, pomocí stimulované emise, nebo spontánní emise. Lasery pracují pouze na bázi stimulované emise (MAŇKOVÁ, 2000)

Aktivní prostředí lze dělit do čtyř základních skupin:

- plynové – aktivní prostředí se skládá z jednoho nebo více plynů,
- pevnolátkové – prostředí je tvořeno krystalem,
- diodové – tvořené polovodičem s přechodem typu p-n,
- kapalinové – tvořeny roztoky různých organických barviv.

4.6.2 Rezonátor

Rezonátor je zařízení, které umožňuje zformovat a zesílit záření, to znamená že vlastně zesiluje elektromagnetickou vlnu z něj vycházející. Konstruktivní uspořádání rezonátoru určuje jeho vlastnosti, jako jsou na př. koherenci, intenzitu záření, jeho pravidelnost, spektrální a prostorové charakteristiky.

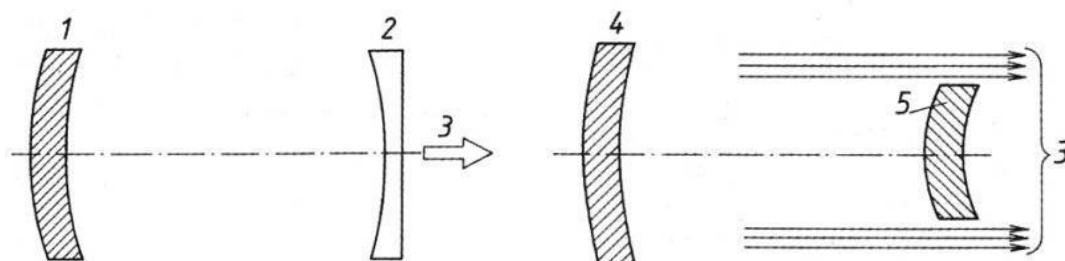
Optický rezonátor je tvořen nejméně dvěma zrcadly. Nejčastěji používaná zrcadla jsou zrcadla sférická v konfokálním stabilním nebo konfokálním nestabilním uspořádáním dle obr. 16. Dle průměru a zakřivení zrcadel se určuje rozdělení intenzity záření a energetická rozbíhavost laserového záření, to znamená odklon paprsku, který je dán rovinným nebo prostorovým úhlem, ve kterém je šířen.

Intenzitu záření v průřezu výstupního paprsku laseru vyjadřuje tzv. mod. Mod je označení pro vlastní kmity elektromagnetického pole rezonátoru, které je charakterizováno danou frekvencí a zvláštnostmi rozložení pole v rezonátoru. Základní mod pro většinu technologických operací je značen jako TEM₀₀, v tomto modu je intenzita záření rozdělena podle Gaussovy křivky. Mod TEM₁₀ se využívá na příklad pro tepelné zpracování nebo povlakování. Některé druhy laserů dokáží vyvinout dostatečně mohutnou energii při průchodu aktivním prostředím, aniž by potřebovali rezonátor a pracují tzv. superadičně, to znamená že tyto lasery dokážou získat dostatečnou energii jedním průchodem rezonátoru. Mezi takto principiálně fungující lasery patří měděný laser nebo dusíkový laser.

Rezonátor se nepoužívá také u laserových zesilovačů. Laserový zesilovač je tvořen aktivním prostředím, kterým akorát prochází laserový paprsek z důvodu jeho zesílení a pokračuje dál bez jakéhokoliv odrazu.

Zrcadla rezonátoru jsou ve většině případů rovná, ale mohou mít i zakřivení. Dle druhu použití lze použít zrcadla konkávní – konkávní zrcadlo neboli vyduté má směr

dovnitř. Nebo můžeme použít zrcadla konvexní – konvexní zrcadlo v opačném případě vypuklé má směr ven. Stabilita záření v rezonátoru závisí především na jeho poloměru zakřivení zrcadla a na délce rezonátoru (KACHTÍK, L. 2019, ŘASA, J., KEREČANINOVÁ, Z. 2008).



a) Konfokální stabilní

b) Konfokální nestabilní

Obr. č. 16 – Uspořádání zrcadel optického rezonátoru

ŘASA J. a KEREČANINOVÁ Z. 2008

1 – nepropustné zrcadlo, 2 – polopropustné zrcadlo, 3 – výstupní záření, 4 – zadní zrcadlo, 5 – přední zrcadlo

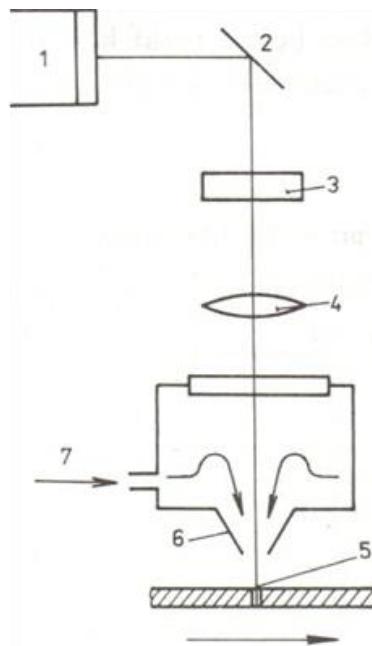
4.6.3 Doprovodné části laseru

Chladicí zařízení je důležitá součást laseru a slouží především k jeho chlazení, a k ochraně probíhajícího procesu, který odvádí nevyužitou energii, tato energie se totiž nepřemění v samotné záření, ale v tepelnou energii. Nejčastěji používané chladicí medium je voda. Chladicí kruh se skládá ze dvou větví, z vnitřní větve, v této větvi se používá deionizovaná voda, a vnější větve, v této větvi se používá voda z vodovodního řádu, nebo ze speciálního zásobníku s čerpadlem. Výrobci laserových zařízení dodávají také speciální chladicí zařízení, u kterých je vnitřní okruh chlazen vzduchem (ŘASA J. a KEREČANINOVÁ Z. 2008).

Pracovní režim laseru je ovlivňován budícím zařízením. Způsob buzení je určen laserovým médiem. Elektrickým výbojem je vždy buzeno plynné medium, pomocí střídavého nebo stejnosměrného proudu. Lampami a diodami je nejčastěji buzeno pevné laserové medium (ŘASA J. a KEREČANINOVÁ Z. 2008).

K dodávání energie elektronům v aktivním prostředí slouží zdroj záření, aby se mohly přesouvat z nižší energetické hladiny na vyšší energetickou hladinu (ŘASA J. a

KEREČANINOVÁ Z. 2008). Princip řezání laserovým paprskem lze vysvětlit podle obrázku č. 17.



Obr. č. 17 – Řezání laserem

(Vaňková, 2018)

1- plynová komora, 2 - odrazové zrcadlo, 3 - bezpečnostní ventil, 4 - čočka, 5 - řezná zóna, 6 - ryska, 7 - přídavný plyn

4.7 Vliv řezání dřeva (parametru řezání) laserovým paprskem na kvalitu povrchu

Uvádí se, že doba interakce dřeva s laserem má vliv na kvalitu obráběné plochy do určité hodnoty a po jejím přesáhnutí je již konstantní, což se dá využít v případě optimální doby obrábění nebo počtu průchodů materiálu (tzn. dřeva, popř. skla apod.), a tak snížení výrobních nákladů např. v nábytkářství (WARIAMU, G., IKUA, B. W., KIONI, P. N. 2015). Obecně lze faktory týkající se řezání dřeva laserem rozdělit následujícím praktickým způsobem:

- charakteristika laserového paprsku,
- vlastní strojní (laserové) zařízení,
- vlastnosti obrobku (vlhkost, typ dřeviny apod.).

(BARNEKOV, V. G.; McMILLIN, C. W.; HUBER. H. A. (1986)

V případě, že se neřeže masivní dřevo, ale aglomerované materiály ze dřeva (překližka, DTD apod.) závisí výše uvedené také na typu použitého lepidla.

Vzhledem k tomu, že dřevo je přírodní materiál, musí uživatel laseru zvážit jeho různé vlastnosti, jako je například hustota a obsah pryskyřice. Měkké druhy dřeva, jako je např. balza, vyžadují nižší výkon laseru a mohou být řezány vyšší rychlostí. Tvrdá dřeva, jako jsou například dub nebo buk, vyžadují naopak vyšší výkon laseru (BOEHMOVÁ, T. 2015).

4.8 Vliv struktury dřeva na změnu jeho kvality povrchu po řezání laserovým paprskem

V řezné spáře materiálu laser vytváří vysokou teplotu, která je vyšší, než je teplota sublimace dřeva. Pod laserovým paprskem se najednou dřevo odpaří – jinými slovy sublimuje – ve formě kouře, který rychle uniká. Jak již bylo výše uvedeno, tak tento kouř také odvádí teplo vznikající při řezání. V důsledku toho, je zde pouze relativně nízké tepelné namáhání materiálu v blízkosti řezaného místa. Jen přesným zaostřením, výběrem vhodné optiky a přidáním stlačeného vzduchu může být vytvořen kvalitní řez. Řezné hrany s jejich hnědou barvou lze často účinně použít v modelech (BOEHMOVÁ, T. 2015).

V případě využití průmyslového CO₂ laseru lze předpokládat také barevné změny dřeva, což je možné měnit jednoduchým způsobem pomocí velikosti přivedené energie. Z dosažených výsledků vyplývá, že barva dřeva je závislá na dávce ozáření v poměrně širokém rozsahu. Nejvíce se přitom mění světlost, v menší míře barevný odstín dřeva. Velikost dávky ozáření, potřebná k dosažení žádoucích barevných diferencí, závisí na druhu dřeviny (při srovnatelné hodnotě vlhkosti dřeva). Tento fakt lze v praxi využít k popisování dřeva a na dekorativní úpravu povrchu dřeva. Na rozdíl od klasických metod (nanášení nátěrových látek) stačí v tomto případě dodat energii ve formě elektromagnetického záření, což má také nezanedbatelný ekologický aspekt (KUBOVSKÝ, I., IGAZ, R. 2014).

Právě popisování, značení a kvalita řezaných ploch je velkou výhodou oproti mechanickému obrábění dřeva, protože, jak již bylo zmíněno, takové dřevo není nutné po procesu řezání dále opracovávat (brousit) jak ukazuje obr. č. 18.



Obr. č. 18 – Ukázka ploch řezaných laserem

www.rayjetlaser.com

Uvádí se, že po ozáření CO₂ laserem existují degradační procesy z hlediska chemického složení, a to především v případě ligninu a méně již v případě celulózy. Hemicelulózy jsou naopak nejstabilnější (KAČÍK, F., a kol. 2010).

Efektivnější proces vzniká tehdy, pokud se zvýší tlak pomocného plynového proudu, kdy se zvýší odstranění materiálů než v případě nižších tlaků plynů. Zde je velký rozdíl mezi dřevinami, a to hlavně jehličnatých dřevin, jako je např. borovice (HERNANDEZ, J. C., CROUSE, P., LI, L 2007)

5 Dřevina buk lesní (*Fagus sylvatica*)

Jedná se o strom velkých rozměrů, a to v rámci našich zeměpisných měřítek s rovným a válcovitým kmenem. Má hladkou a tenkou, šedou borku. Koruna stromu se u volně rostoucích exemplářů zakulacuje. V porostu je metlovitá. Buk dosahuje výšky kolem 35-45 m s průměrem kmene až 1,5 m. Doba dožití je od 200-400 let s největším zásobou dřevní hmoty až 30 m³. Kmen stromů je do koruny průběžný a větve odstávají v ostrém úhlu. Zprvu prohýbané a bělavě pýřité, později lysé až červenohnědé letorosty nesou odstávající hnědé, dvouřadé střídavé, štíhle a vřetenovitě ostře zašpičatělé pupeny s bělavě pýřitými šupinami. Listy jsou celokrajné, na okraji zvlňžené, zašpičatělé, na bázi zaokrouhlené až klínovité, paždí žilek a na okraji listů v počátku jara dlouze bělavě pýřité. Listy se navzájem střídají, jejichž délka je v rozmezí 5–10 cm. Při vystavení listů slunci jsou pevné s čepelí k okraji zdviženou. Ve stínu plošně rozložené, s tenkou čepelí. V podzimním období se buky barví nejdříve žlutě, pak červeně a posléze tmavohnědě.

Samčí květy v paždí listů v dlouze stopkatých svazečcích. Samičí květy po dvou v červenavé číšce zevně porostlé dlouze chlupatými a později dřevnatíci výrůstky. Jedná se o jednodomou dřevinu. Plodem jsou trojboké bukvice uzavřené po dvou v dřevnaté číšce se čtyřmi chloupky. Buk ve volném prostranství začíná plodit mezi 20. a 40. rokem. Plodná období jsou nepravidelná s intervalem 5–10 let. Bukvice jsou jedlé s oříškovou chutí, poroto jsou roznášena ptáky a drobnými hlodavci.



Obr. č. 19 – Listy a plody buku

www.prirodopis.eu, 2019

Kořenový val je srdčitý, z mohutného křenového uzlu pod povrchem vyhání buk silné kořeny různými směry do půdy. V půdě je tedy dobře ukotven a tím je zajištěna jeho stabilita, ve zhoršených povětrnostních podmínkách. Na živných půdách však koření

mělce a vrchní vrstvu prokoření velmi důkladně. Výmladkovost buku je velmi slabá. Zvěř je často poškozován zvěří, která okusuje borku a vznikají tak rozsáhlé škody na nově zasázených, tak i déle rostoucích kmenech (ÚŘADNÍČEK, 2001).

Buk je dřevina, která je odolná vůči zástínu, pro tuto schopnost mohou mít i čisté bučiny několik pater, protože potlačení jedinci vydrží dlouho v podrostu. Proto také dochází na příznivých stanovištích k vytlačování ostatních dřeviny a vznikají tak pouze bukové porosty. Buk je středně náročný na vláhu v půdě, v letních měsících vyžaduje dostatečnou relativní vlhkost vzduchu. V oblastech rozšíření je buk neutrální ke geologickému podkladu. Roste na všech druzích hornin, kromě pískovitých a těžkých jíílů, bažin a rašelinišť. Nejlepší bučiny jsou na půdách bohatých na humus, vápník a tam, kde klima a jiné faktory nejsou již optimální, stoupají nároky buku na půdu. Je citlivý na pozdní mrazy a vyhovuje mu mírné oceánské klima (ÚŘADNÍČEK, 2001).

Buk lesní je téměř rozšířen po celém území ČR s těžištěm v mezofytech a oreofytikum, schází v oblastech od neolitu zemědělsky využívaných. Jeho výskyt je zhruba od 300 do 1000 m. n. m. hlavně v suprakolinním až montánním stupni. Vzácněji už ve stupni kolinním. Na severních svazích, především na vápenci. (Květena ČR, 1990). Území naší republiky leží uvnitř areálu buku, a proto tuto dřevinu nalezneme ve všech středohorských oblastech (ÚŘADNÍČEK, 2001). Buk a dub jsou společně naše nejdůležitější hospodářské listnaté dřeviny. Celkový podíl lesních porostů činí 168 212 ha – zastoupení buku je to 10,3 % z celkové plochy porostů (UHUL, 2015)

Cenné sortimenty dává spíše hladká část kmene, ostatní části se používají spíše na palivo nebo k výrobě celulózy. Bukové dřevo má bohaté využití. Z bukovic se například dříve lisoval olej, nebo jako ozdoba parků (ÚŘADNÍČEK, 2001).

5.1 Makroskopická a mikroskopická stavba dřeva buku lesního (*Fagus silvatica*)

5.1.1 Makroskopická stavba

Dřevo buku je řazeno do skupiny roztroušené pórovitých dřevin. Dřevo je světle hnědé až narůžovělé, s nádechem do červená. Jedná se o bělové dřevo s vyvráleným dřevem. Stromy, které jsou starší 80 let mají často vyvinuté fakultativně vytvořené nepravé jádro černohnědé barvy. Letokruhy jsou tmavší a póry v letním dřevě ostře ohraničeny. Na příčném řezu nejsou pórovité cévy pouhým okem zřetelné. Na příčném řezu jsou dřevné paprsky široké 0,1 – 0,5 mm. Na řezu tangenciálním jsou dřevné paprsky zřetelné jako načervenalá větve, na radiálním jako méně nápadná zrcátka, která ovlivňují výslednou kresbu dřeva. Dřevo je na tangenciálním řezu méně výrazné, lehce žíhané. Objemová hmotnost buku lesního je v rozmezí od $\rho_0 = 620 \text{ kg/m}^3$, $\rho_{12} = 720 \text{ kg/m}^3$ (GROSSER, 1977).

5.1.2 Stavba letokruhů

Jarní dřevo vzniká činností kambia a tvoří tak každou vrstvu letokruhu, je pórovitější, řidší a světlejší. Letní dřevo se tvoří v pozdějším vegetativním období a je hustší, tmavší a tenčí. Dřevo buku má obtížně rozeznatelné letokruhy. V rámci celé skupiny roztroušeně pórovitých dřevin je viditelnost letokruhů relativně dobrá (LESNICKÝ NAUČNÝ SLOVNÍK, 1994).

5.1.3 Mikroskopická stavba

Dřevo buku lesního má roztroušeně pórovitou skladbu s pozvolným úbytkem počtu a velikostí cév směrem k letnímu dřevu. Počet cév vztažené na 1 mm^2 se pohybuje v rozmezí 80–100 ks. Cévy jsou rozloženy jednotlivě, nebo v malých skupinkách, jejichž tvar je kruhovitý, až oválný a v příčném řezu mnohoúhelníkový. Jsou malé, tangenciální průměr je 60–80 μm . Perforace cév u buku jsou ve složení jednoduché tak i složené žebříčkové, a to do dvaceti štěrbinových otvorů. První zmíněné převládají a druhý typ perforací se vyskytuje především v letním dřevě. Mezi cévami jsou dvojtečky uspořádány v horizontálních řadách nebo někdy schodovitě. Thyly se vyskytují jen ve vyvinutém

nepravém jádře. Dřevní parenchym je bohatý, rozdělen jednotlivě, nebo v menších skupinách, mezi buňkami základního pletiva.

Dřeňové paprsky se nachází ve dvou velikostech – jednovrstvené a dvou až dvaceti pěti vrstvené. Na hranicích letokruhu jsou širší dřeňové paprsky rozšířené, na podélném řezu několik milimetrů vysoké. Jsou homogenní, příležitostně slabší heterogenita je pro určení druhu dřeviny nedůležitá.

Dřevo buku obsahuje základní tlustostěnné pletivo, a to především vlákna librifonní a v menším zastoupení také vláknité tracheidy (GROSSER, 1977).

5.1.4 Fyzikální vlastnosti bukového dřeva

Dřevo buku je řazeno do skupiny dřevin se střední hustotou, patří mezi dřeviny, které hodně sesychají a bobtnají. Jako základní hodnoty fyzikálních vlastností jsou vypsány v tabulce č. 2.

Tab. č.2 – Fyzikální vlastnosti buku

<i>Hustota $w = 0$ (g/cm³)</i>	680
<i>Hustota $w = 12$ (g/cm³)</i>	720
<i>Bobtnání podél (%)</i>	0,3
<i>Bobtnání radiální (%)</i>	5,3
<i>Bobtnání tan. (%)</i>	12,5
<i>Bobtnání objemové (%)</i>	17,5

Požgaj, 1997

5.1.5 Mechanické vlastnosti dřeva buku

Charakteristika vlastnosti bukového dřeva je uvedeno v tabulce č.3., všechny hodnoty jsou vztaženy k 12% vlhkosti dřeviny.

Tab. č. 3 – Mechanické vlastnosti buku

	Požgaj, 1997 (MPa)
<i>Mez pevnosti v tlaku podél vláken</i>	56,7
<i>Mez pevnosti v tlaku napříč vláken</i>	8,5-12,9
<i>Modul pružnosti v tlaku</i>	16837
<i>Mez pevnosti v tahu podél vláken</i>	135,5
<i>Mez pevnosti v tahu napříč vláken</i>	3,4 -4,4
<i>Mez pevnosti v ohybu</i>	124

Požgaj, 1997

6 Dřevina dub zimní (*Quercus petraea*)

Dub zimní, je česky nazýván drnák, je listnatý strom, který řadíme do čeledi bukovitých, spolu s dubem letním je ve střední Evropě nejvýznamnější dřevina hned po buku. Dub dorůstá výšky v rozmezí 20–40 metrů v závislosti na stanovišti. Koruna je štíhle vejčitá nebo nepravidelná a uvnitř olistěná. V porovnání s dubem letním (*Quercus robur*) dosahuje menších rozměrů i nižšího věku. Letorosty jsou tmavě olivově zelené, lysé a lenticely řídké, drobné. Pupeny mají vejcovitý tvar, jejichž délka je až 8 mm. Listy mají zřetelně řapíkatý tvar, čepel široce obevejčitá, nejširší v horní polovině. Listy dorůstají délky až 16 cm a šíři 10 cm. Plody se nazývají nažky (lidově žaludy) umístěné v paždí listů po jednom, třech nebo pěti kusech. Nažky podlouhlé vejcovitého tvaru o délce 14–25 mm, a v průměru 8–14 mm a často klíčí už na stromě. Žaludy jsou přisedlé k větvím.

Silný kořen kulovitěho tvaru není příliš vyvinut, proto často dochází k vývratím. Dub zimní má schopnost v tvoření častých kmenových a pařezových výmladků. Dub zimní požaduje výrazné nároky na teplo a světlo. Oproti dubu letnímu (*Quercus robur*) je méně náchylnější. Dub zimní (*Quercus petraea*) roste na půdách, které nejsou příliš bohaté na živiny, mělkých a kyselých. Nalezneme jej i na bohatších stanovištích, vápencových nebo kamenitých půdách. Nevhodné umístění je na přemokřených půdách, místa často zaplavená a oglejené půdy.

Výskyt dubu zimního (*Quercus petraea*) je od nížin po pahorkatiny, výjimečně až do podhůří. Maximální nadmořská výška se pohybuje do 850 m n.m. Je dominantní dřevinou v kyselých doubravách, někdy je součástí smíšených porostů s jedlí. V teplejších oblastech bývá napadán ochmetem evropským (*Loranthus europaeus*), který působí polo paraziticky. Je háklivý na místa, kde se vyskytují mrazy. Vytváří vztahy mykorrhizy s našimi domácími houbami.

Dub je rozšířený od západní po jihovýchod Evropy. Na severu je běžně pozorovaný až po 61. stupeň severní šířky. Je to důležitý strom v nižších polohách a pahorkatin (KOBLÍŽEK, 1990).

6.1 Makroskopická a mikroskopická stavba dřeva dubu zimního (*Quercus petraea*)

6.1.1 Makroskopická stavba

Dubové dřevo má rozlišené jádro od bělí, viditelné pouhým okem. Běl je užší nažloutlé až světle hnědé barvy, jádro světle až tmavě hnědé. Je to typický zástupce dřeviny s kruhovitě pórovitou stavbou a zřetelnými hranicemi mezi jednotlivými letokruhy jarního a letního dřeva. Makro póry tvoří na řezu zřetelné póry v oblasti jarního dřeva na podélných řezech. Mikro póry tvoří na transversálním řezu v letním dřevě radiální světlé pásy. Dřeňové paprsky jsou viditelné na všech řezech. V příčném řezu tvoří viditelné pásy, které jsou kolmé k letokruhům. V radiálním řezu vytváří tzv. zrcátka a řezu tangenciálním až několik centimetrů dlouhé tmavé pásy (ŠLEZINGEROVÁ, GANDELOVÁ, 2004).

6.1.2 Stavba letokruhů

Dubové dřevo řadíme k jádrovým dřevinám, běl je úzká a nažloutlá až světle hnědá. Járo světlé až tmavohnědé. Dřevina je typickým zástupcem kruhovitě pórovitých dřevin se zřetelným přechodem mezi jednotlivými letokruhy jarního a letního dřeva. Makro póry v zóně jarního dřeva tvoří zřetelné póry, na podélných řezech rýhy. Mikro póry tvoří světlé radiální pásy tzv. plaménky viditelné na příčném řezu. Dřeňové paprsky patrné na všech řezech. Na příčném řezu viditelné pásy, které jsou kolmé k letokruhům, na radiálním křivolaká lesklá zrcadla a na tangenciálním řezu tvoří až několik cm vysoké tmavší pásy. Dřevo dubu je středně těžké, hustota u dubu letního $\rho_0 = 680 \text{ kg/m}^3$, $\rho_{12} = 725 \text{ kg/m}^3$. Dub pro svůj velký obsah tříslovin patří k našim nejtrvanlivějším dřevinám. Dřevo je dobře opracovává a hůře se suší. Obtížněji impregnovatelné. Dubové dřevo se používá na vodní stavby, ke stavbě lodí, v nábytkářství, v řezbářství, soustružnictví, (ŠLEZINGEROVÁ, 2001).

6.1.3 Mikroskopická stavba

Jarní cévy dubu se nachází jednotlivé a nebo převážně jednotlivě. V letním dřevě jsou cévy uspořádány v radiálním seskupení. Lumeny jsou vyplněné thylami. Perforace jednoduchá. Dřeňové paprsky jednovrstnaté a vícevrstnaté, homogenní.

Podélný dřevní parenchym je apotracheální, v tangenciálních skupinách rozptýlen, nakupený, síťkovitý až síťovitý (ŠLEZINGEROVÁ, GANDELOVÁ 1999).

6.1.4 Fyzikální vlastnosti dubové dřeva

Dřevo dubu je řazeno do skupiny dřevin se střední hustotou, podobné hustotě buku, avšak s rozdílnými vlastnostmi nasákavosti. Jako základní hodnoty fyzikálních vlastností jsou vypsány v tabulce č. 4.

Tab. č.4 – Fyzikální vlastnosti dubu

<i>Hustota w = 0 % (g/cm³)</i>	680
<i>Hustota w = 12 % (g/cm³)</i>	725
<i>Bobtnání podél (%)</i>	0,15
<i>Bobtnání radiální (%)</i>	3,88
<i>Bobtnání tan. (%)</i>	10,1
<i>Bobtnání objemové (%)</i>	12-16,7

Požgaj, 1997

6.1.5 Mechanické vlastnosti dřeva dubu

Charakteristika vlastnosti dubového dřeva je uvedeno v tabulce č.5., všechny hodnoty jsou vztaženy k 12% vlhkosti dřeviny.

Tab. č. 5 – Mechanické vlastnosti buku

	Požgaj, 1997 (MPa)
<i>Mez pevnosti v tlaku podél vláken</i>	59,8
<i>Mez pevnosti v tlaku napříč vláken</i>	9,8
<i>Modul pružnosti v tlaku</i>	11 778
<i>Mez pevnosti v tahu podél vláken</i>	132
<i>Mez pevnosti v tahu napříč vláken</i>	5,8
<i>Mez pevnosti v ohybu</i>	108

Požgaj, 1997, Ugolev 1986

7 Metodika práce

Na základě cíle práce je možné metodiku práce rozdělit do následujících bodů:

1. příprava zkušebních těles,
2. měření,
3. vyhodnocení výsledků,
4. diskuze.

8 Metodika experimentální práce

8.1 Příprava zkušebních vzorků – řezání kotoučem

Pro přípravu jednotlivých vzorků bylo použito řezivo o vlhkosti $8 \pm 2\%$ a vlhkosti vyšší přes bod nasycení vláken. Řezivo prošlo postupným strojním opracováním, kde na rozmítací pile došlo k podélnému rozřezání na jednotlivé přířezy. Poté byl materiál pomocí srovnávací frézky pravoúhle zarovnan. Hranolky prošly dalším stupněm opracování na tloušťkovací fréze. Celková tloušťka hranolky před finálním opracováním činila $26 \pm 0,1$ mm, šíře a délky byly rozdílné dle nutnosti zarovnání. Následné opracování probíhalo již na kalibrační brusce, kde výsledná tloušťka tělesa měla již požadovaný rozměr dle ČSN EN 205 a to $25 \pm 0,1$ mm. Kalibrované výřezy bylo zapotřebí upravit na přesnou šíři $5 \pm 0,1$ mm. To bylo docíleno postupným nařezáním na formátovací pile na jednotlivé pásy o celkové tloušťce $5 \pm 0,1$ mm.

Příčné krácení vzorků před samotným lepením za opětovného použití formátovací pily, bylo dosaženo finální délky zkušebního tělesa $110 \pm 0,1$ mm. Na jednotlivé pásy bylo nanášeno jednostranně lepidlo pomocí nanášecích válečků s přesným dávkováním lepidla. Velikost nánosu lepidla odpovídalo množství doporučené výrobcem. Pomocí jednoetážového lisu byly jednotlivé soubory zkušebních vzorků zalisovány s přesným lisovacím tlakem $0,6$ MPa po dobu 90 s při $20 \pm 0,1$ °C. Tímto posledním úkonem bylo získáno zkušební těleso, které splňovalo požadavky normy ČSN EN 205 a postupovalo již samotnému testování. Pro přehlednost při testování byl každý ze vzorků číselně označen.

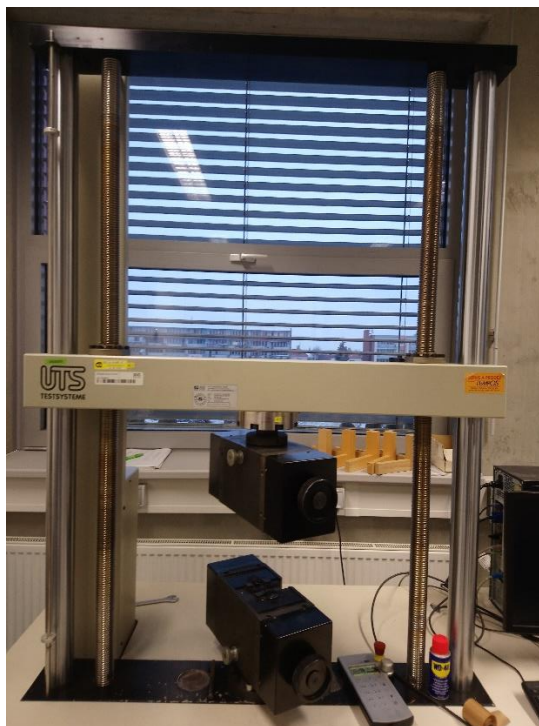
8.2 Příprava zkušebních vzorků – laser

U přípravy zkušebních vzorků byl shodný postup s přípravou pro třískový úběr s rozdílem výsledného obrobení plochy dílce namísto podélného řezu pilovým kotoučem byl tento řez nahrazen laserem. Tento povrch byl vystaven působení laserové technologie od firmy BIATEC LASER TECHNOLOGY s.r.o.

Po kalibraci zkušebních tělísek byly plochy vloženy do laseru a opracovány při ohniskové vzdálenosti 2/3 výšky zkušebních těles. Pro přehlednost při testování byl každý ze vzorků číselně označen.

8.3 Laboratorní přístroj

Měření smykové pevnosti probíhalo na přístroji UTS 50. Jedná se o univerzální zkušební stroj s rozsahem do 50kN řízený PC, modernizován softwarově na TIRA. Slouží ke zkouškám mechanických vlastností dřeva.



Obr. č. 20 – Zkušební stroj UTS 50

Řípa K. – fotografie, 2019

8.4 Charakteristika lepidla

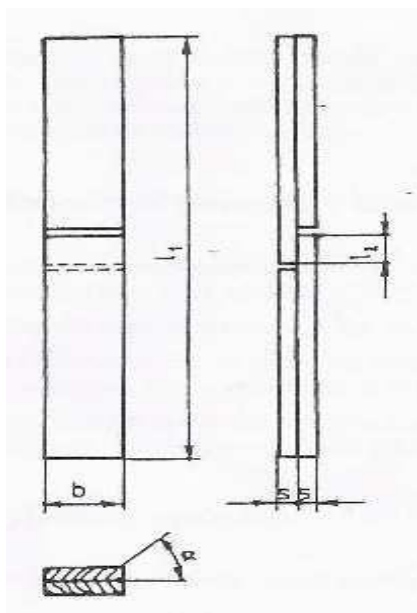
Použití lepidla je jeden z nejdůležitějších aspektů při samotných prováděných zkouškách. Celkovou pevnost lepeného spoje ovlivňuje množství naneseného lepidla, drsnost povrchu, vlhkost dřeva, teplota a lisovací tlak. Pro metody zkoušky bylo vybráno lepidlo na bázi lepidla PVAc, značky RAKOLL EXPRESS D3. Veškeré množství nanášeného lepidla bylo dodrženo dle doporučení od výrobce.

Charakteristika lepidla RAKOLL EXPRESS D3

Teplota místnosti a materiálu	18–20 °C
Vlhkost dřeva	8–10 %
Relativní vlhkost vzduchu	60–70 %
Množství nánosu:	
Montážní lepení	160–180 g/m ²
Plošné lepení	80–140 g/m ²
Otevřený čas při 150 g/m ²	8 - 12 min
Lisovací tlak u dílů bez pnutí	0,1 - 0,5N/mm ²
Minimální lisovací čas:	
plošné lepení dekoračních folií v taktových lisech	5 - 10 sec
vysokofrekvenční lepení s ohřevem od	15 sec
plošné lepení HPL/CPL v taktových lisech při 70 °C	od 45 sec
montážní lepení:	8 - 15 min
spárovka, lepení bloků:	10 - 15 min

(Demos Trade a.s., 2019)

8.5 Zkušební tělísko dle ČSN EN 205



Obr. č. 21 – Zkušební těleso – schéma

(ČSN EN 205)

α – úhel mezi letokruhy a rovinou slepu = 30° až 90°

b – šířka zkušební tělesa

(šířka zkušební plochy) = (25 +/- 0,1) mm

l_1 - celková délka zkušební tělesa = (110 +/- 1) mm

l_2 - délka přeplátování (délka zkušební plochy) = (10 +/- 0,1) mm

s – tloušťka zkušební tělesa = (5 +/- 0,1) mm

8.6 Vzorky dubu – značení

Vzorky dubu již s příslušnými rozměry byly jednotlivě popsány pro lepší přehlednost a celkovou orientaci při následných testech.



Obr. č. 21 – Zkušební těleso – dub

Řípa Kamil – fotografie, 2019

8.7 Vzorky buku – značení

Vzorky buku byly taktéž popsány a podstoupeny testům.



Obr. č. 22 – Zkušební těleso – buk

Řípa Kamil – fotografie, 2019

9 Experimentální část a měření vlivu vybraných faktorů na sledované charakteristiky

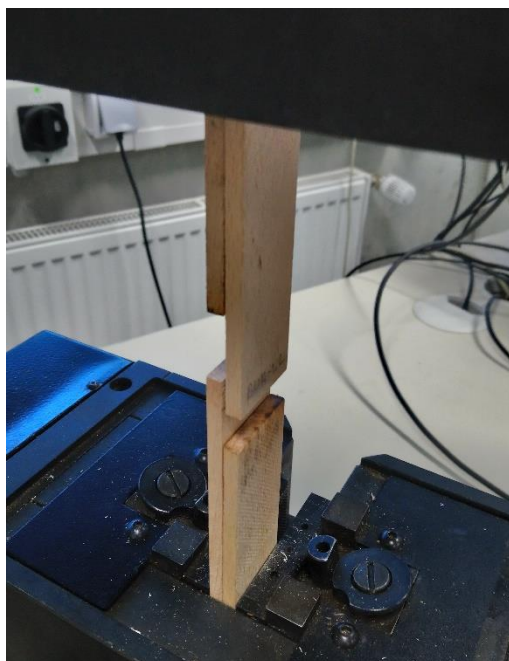
9.1 Zkouška pevnosti lepených vzorků

Pevnost lepeného spoje je schopnost odolávat silám působící posunutí lepených povrchů. V mém případě byly vzorky vystaveny tahovému namáhání, přičemž u nich byla měřena pevnost lepeného spoje ve smyku tahem. Podmínky zkoušky splňovaly požadavky normy dle ČSN EN 205, které je podkladem pro průběh zkoušky. Při zkoušce byly zaznamenány jednotlivé veličiny. Při zkoušce na pevnost lepeného spoje ve smyku tahem, byla zaznamenána maximální síla potřebná k porušení lepeného spoje pevnost lepeného spoje.

9.2 Postup zkoušky

Jednotlivé vzorky jsou před zahájením měření zkontrolovány, a to konkrétně jejich příslušné rozměry a nevyskytující se vady. Žádný ze vzorků nevykazoval nedokonalosti a mohlo být přistoupeno k samotnému měření dle ČSN EN 205.

Zkouška se skládá z uchycení vzorku do horní čelisti, následné vynulování přístroje a upnutí do spodní čelisti zkušebního trhacího stroje. Uchycení vzorku ve stroji cca 40 až 50 mm. Následně bylo přistoupeno, k již samotné zkoušce „trhání“, kdy se kleštiny stroje začaly od sebe vzdalovat. Stroj na vzorky působil silou rovnoběžnou s osou zkušebního tělesa do doby, než došlo k porušení lepeného spoje nebo odtržení dřevních vláken a lepený spoj zůstal zachován. Tento jev byl pozorován u Dubu zimního (*Quercus petrae*). Rychlost posuvu trhacích čelistí byla nastavena konstantně na 5 +/- 0,5 mm/min s dobou selhání 30 až 50 s. Hodnoty pevnosti ve smykové vazbě byly vyhodnoceny pomocí MANOVA, konkrétně s využitím Fischerova F-testu v softwaru STATISTICA 13. Zřetel byl brán na výsledky u vzorků, které byly přetržené ve dřevě (mimo lepený spoj) a vzorky, které byly porušeny v lepeném spoji, aby se daly porovnat jednotlivé naměřené hodnoty.



Obr. č. 23 – Upnutí tělesa
Řípa Kamil - fotografie, 2019

10 Výpočty

10.1 Pevnost v tahu ve smyku EN 205 (2003)

Prioritní veličinou zkoumanou při tahových zkouškách je velikost veličiny F_{max} , potřebná k porušení zkoušeného tělesa. Pomocí F_{max} se vypočte pevnost v $N \cdot mm^{-2}$ a to pomocí rovnice:

$$\tau = \frac{F_{max}}{2a} = \frac{F_{max}}{l_2 \cdot b} \quad (N \cdot mm^{-2}) \quad (10)$$

Kde znamená F_{max} – největší vynaložená síla v (N), A – slepená zkušební plocha v (mm^2), l_2 – délka lepení zkušební plochy (mm), b – šířka lepené plochy (mm)

10.2 Hustota dřeva

Voda, která je obsažená v buněčných prostorech přímo ovlivňuje mechanické vlastnosti dřeva. Při sledování vlivu hustoty dřeva na pevnost vylučuje se vliv vody přepočtem na 12 % nebo 0 % vlhkost. Přímá závislost mezi hustotou a mechanickými vlastnostmi není úměrná, jelikož vstupují do proměnných i jiné faktory a to anatomie dřeva (odklon vláken, směr atd.)

Pevnost dřeva se všeobecně s rostoucí hustotou zvětšuje. Vztah mezi hustotou a pevností nemusí být vždy významný. Jasnější vztah mezi strukturou, hustotou a mechanickými vlastnostmi dřevě lze zjistit z makroskopické stavby letokruhů, tj. šířky letokruhu a podílu letního dřeva. (GANDELOVÁ, HORÁČEK, ŠLEZINGEROVÁ, 2004)

$$\rho_w = \frac{m_w}{V_w} \quad (kg / m^3) \quad (11)$$

kde ρ_w je hustota vzorku při obsahu vlhkosti w (kg / m^3), m_w je hmotnost vzorku při obsahu vlhkosti w (kg) a V_w je objem vzorku při obsahu vlhkosti w (m^3) Hustota byla stanovena podle ISO 13061-2 (2014)

10.3 Obsah vlhkosti ve vzorcích

Dřevo je hyroskopický materiál schopný přijímat a odevzdávat vodu do okolního prostředí, a to v pevném nebo plynném skupenství. Dřevo má schopnost přijímat nejen vodu, ale i jiné tekutiny. Z praktického hlediska je nejdůležitější voda. Rostoucí strom obsahuje velké množství vody, která se po skácení zpravidla snižuje. Vzhledem k hygroskopicitě má strom vždy určité procentuální zastoupení vody. Ve většině případů množství vody zapříčiňuje změnu vlastností dřeva, převážně zhoršení.

Vlhkostí dřeva se rozumí přítomností vody ve dřevě a vyjadřuje se podílem hmotnosti vody vůči hmotnosti dřeva v absolutně suchém stavu. (GANDELOVÁ, HORÁČEK, ŠLEZINGEROVÁ, 2004)

$$w = \frac{m_w - m_0}{m_0} * 100 \quad (\%) \quad (12)$$

kde w je obsah vlhkosti vzorků (%), m_w je hmotnost vzorku při obsahu vlhkosti w (kg) a m_0 je hmotnost vzorku sušeného v sušárně (kg). Sušení v komoře bylo prováděno podle ISO 13061-1 (2014).

11 Výsledky a vyhodnocení

Průměrné hodnoty všech sledovaných faktorů, a to obsahu vlhkosti, druhu dřeviny a metody řezání vzorků ovlivňují střední pevnost ve smyku, tak jak je uvedeno v tabulce č. 1. Průměrné hodnoty zvlnění povrchu a drsnosti povrchu vstupovaly jako potenciální faktory ovlivňující pevnost ve smyku. Z tabulky č.6 je patrné, že vzorky vykazovaly rozdílné smykové pevnosti při zachování stejných podmínek, a to více u buku 11,9MPa při 8 % vlhkosti řezaného kotoučem v porovnání s dubem 5,9MPa, a to o rozdíl 101,7 %.

Požez vzorků laserem o vlhkosti 8 % a při zachování stejných podmínek dosahovaly hodnoty výsledku u buku 4,2MPa o 90,9 % vyšší pevnosti oproti dubu 2,2MPa. Tyto hodnoty jsou nižší z důvodu opálené plochy po aplikaci laseru.

Pro laser bylo následně zvoleno lepení dubového a bukového dřeva nad bodem nasycení buněčných stěn (FSP). Tyto údaje již vykazují rozdílné parametry ve smykové pevnosti zapříčiněné zvýšeným obsahem vody ve dřevě oproti 8 %. Jak je z názorného výsledku patrné, rozdíl pevnosti je vyšší u buku 7,9MPa oproti dubu 5,4MPa a to o 46,2 %. Při porovnání kotoučového požezu vůči laseru při 8% vlhkosti je pevnost u dubu 5,9MPa a při použití laseru 2,2MPa. Pokles pevnosti o 168,1 %. Při porovnání bukových vzorků při 8% vlhkosti a použití kotoučového požezu je pevnost 11,9 MPa a vůči laseru je pevnost 4,2MPa. Pokles pevnosti o 183,3 %. Při změně vlhkosti nad FSP pro vzorky řezané laserem a pro vzorky řezané kotoučem s vlhkostí 8 % je rozdíl pevností následující. Pro požez kotoučem u dubu 5,9MPa a laseru 5,4MPa, rozdíl 9 % pevnosti. U požezu kotoučem pro buk 11,9MPa a laseru 7,9MPa, rozdíl 50,6 % pevnosti.

Tab. č.6 - Průměrné hodnoty sledovaných faktorů a pevnost ve smyku ve smyku (f_v) pro jednotlivé sady zkušebních vzorků a variační koeficient pro vzorky řezané laserem.

Metoda řezání	Druh dřeviny	vlhkost (%)	f_v (Mpa)	Hustota (kg/m ³)	N
Kotouč	Dub	8	5,9 (23,8)	511 (2,37)	20
Kotouč	Buk	8	11,9 (17,6)	683 (2,26)	20
Laser	Buk	8	4,2 (23,1)	667 (2,9)	20
Laser	Dub	8	2,2 (14,2)	638 (4,8)	20
Laser	Buk	>FSP	7,9 (11,3)	662 (3,2)	20
Laser	Dub	>FSP	5,4 (16,2)	787 (3,0)	20

Hodnoty v závorkách jsou variační koeficienty v procentech

Vliv na pevnost ve smyku u buku nebo dubu řezaného laserem je a analyzován a porovnán s účinky lepené oblasti u buku nebo dubu řezaného pilou. Na základě jednosměrné analýzy měla vlhkost statisticky významný vliv na hodnoty pevnosti ve smyku pro řez laserem (tabulka č. 7), stejně jako u kotouče (tabulka č. 8).

Tab. č.7. - Statistické vyhodnocení jednosměrné analýzy sledovaných faktorů interakce na hodnotách pevnosti v tahu ve smyku na vzorcích řezaných laserem.

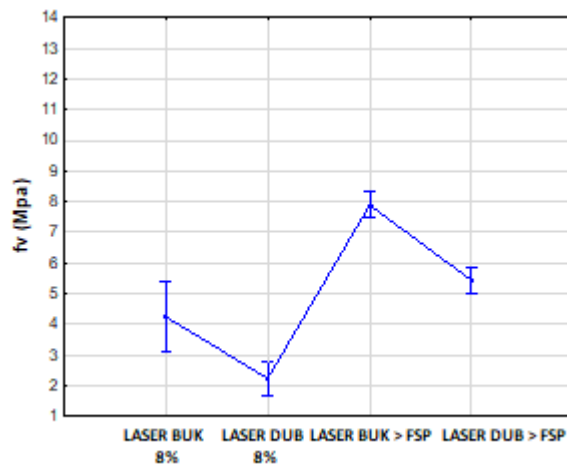
Řezání laserem					
Sledovaný faktor	Součet čtverců	Stupeň volnosti	Odchylka	Fischerův F - Test	Úroveň významnosti
Průsečík	1718,771	1	1718,771	928,2396	***
Interakce vybraných faktorů	285,424	3	95,141	51,3821	***
Chyby	124,060	67	1,852		
Příslušný model vysvětluje zhruba 100% celkového součtu čtverců.					

NS – nevýznamné. *** - významný. Úroveň významnosti byla přijata při $P < 0,05$

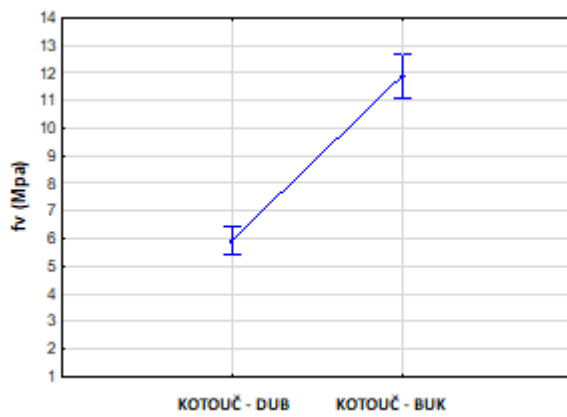
Tab. č.8. - Statistické vyhodnocení jednosměrné analýzy sledovaných faktorů interakcí na hodnoty pevnosti v tahu ve smyku na vzorcích řezaných pilou.

Řezáno kotoučem					
Sledovaný faktor	Součet čtverců	Stupeň volnosti	Odchylka	Fischerův F - Test	Úroveň významnosti
Průsečík	4774,222	1	4774,222	1487,797	***
Interakce vybraných faktorů	531,276	1	531,276	165,562	***
Chyby	186,117	58	3,209		
Příslušný model vysvětluje zhruba 55,4% celkového součtu čtverců					

NS - nevýznamné. *** - významný. Úroveň významnosti byla přijata při $P < 0,05$



Interakce shromážděných faktorů



Interakce shromážděných faktorů

Tab. č.9. - Porovnání účinku sledovaných faktorů interakce měřených na vzorcích řezaných laserem.

Pevnost ve smyku					
Metody	Interakce vybraných faktorů	(1) 4,24 65	(2) 2,23 58	(3) 7,8898	(4) 5,4292
1	Laser-Buk-8				
2	Laser-Dub-8	0,00			
3	Laser-Buk->FSP	0,00	0,00		
4	Laser-Dub->FSP	0,01	0,00	0,00	

Tab. č.10. - Porovnání účinku sledovaných faktorů interakce měřených na řezaných vzorcích.

Hodnoty pevnosti ve smyku			
Metoda	Interakce vybraných faktorů	(1)	(2)
		4,2465	2,2358
1	Kotouč-Dub		0,000
2	Kotouč-Buk	0,000	
Ra (μm)			
Metoda	Interakce vybraných faktorů	(1)	(2)
		10,246	6,7864
1	Kotouč-Dub		0,000
2	Kotouč-Buk	0,000	
Wa (μm)			
Metoda	Interakce vybraných faktorů	(1)	(2)
		18,190	8,3748
1	Kotouč-Dub		0,000
2	Kotouč-Buk	0,000	

12 Přínos pro vědu a praxi

Lepení dřeva je používáno ve většině odvětví sekundárního zpracování dřeva za nenahraditelnou část operace, kterou se vlastnosti dřeva zpravidla vylepšují. Má nezastupitelnou roli při kompletaci dílců nebo přířezů postupující dalšímu zpracování ve výrobě, kde poznatky z naměřených hodnot mohou být podkladem pro důležitá rozhodnutí v rámci zvolené technologie či návrhu konstrukčních prvků. Dále je potřeba zmínit, že s nástupem nových technologií budou vznikat i nové termické jevy, které doposud u třískového obrábění nebyly tak patrné. U pořezu laserem je nežádoucí zbarvení řezné plochy, které při následném lepení nemusí vykazovat dostatečné mechanické pevnosti. Po vědecké stránce je možné navázat na již získané hodnoty z měření, které mohou být podkladem pro další průběh testování. Je možné i rozvinout o jiné zástupce dřevin.

13 Diskuze

Výsledky zkoušky ve smykovém namáhání jednotlivých dřevin jsou rozdílné s ohledem na použití kotoučové pily, laseru a změny vlhkosti dřeviny pro 8 % a FSP. Dosažené výsledky reflektují předpokládané hodnoty před samotným měřením. Pevnost lepených spojů dubových vzorků byla při použití pilového kotouče vůči laseru při 8 % vlhkosti vyšší o 168,1 %. Podobný jev byl zaznamenán u bukového dřeva za stejných podmínek, a to snížení pevnosti o 183,3 %. Zajímavostí je porovnání pevnosti dřevin buku a dubu při pořezu kotoučem při vlhkosti 8 % a laseru při vlhkosti nad FSP, kdy pro dub byl pokles pevnosti pouze o 9 %, oproti buku 50,6 %. Tento jev je dán mikroskopickou stavbou dřeva a faktem, že v případě použití laseru defacto probíhá lokální vysoušení dřeva. Vlhkost lepeného dřeva má vliv na vytvrzování, protože od vlhkosti závisí difuze rozpouštědla, vody.

Testování pevnosti lepených spojů bylo sepsáno již mnoho prací s rozdílnými výsledky v rámci použité metodiky a vstupních vzorků, které závisí na celkovém počtu vzorků, druhu dřeviny a lokaci dřeviny, směr dřevních vláken, počáteční vlhkosti dřeviny, kvalitě lepeného povrchu (drsnosti), použitého lepidla, lisovacího tlaku a teploty lisování. Z uvedeného výčtu proměnných je zřejmé, že variabilita výsledků je obrovská a přímé srovnání výsledků není možné. Pro nepřímé porovnání je nejbližší diplomová práce na téma *“Vliv technologických parametrů na pevnost lepených spojů“* (Pekař J., 2007). V této práci jsou uvedeny smykové pevnosti více než patnácti rozdílných dřevin tak i dřevin stejnorodých. Pro potřeby této práce jsem vybral výsledky smykových pevností dub-dub a buk-buk, kde šíře a délka lepené spáry činí 20 x 20 mm, druh lepidla Vinalep 830, lisovací tlak 2,5 MPa a nános lepidlové směsi 120 g/m² vlhkost není známá tak jako povrch zkušebních těles. Výstupem práce jsou smykové pevnosti pro dub-dub 3,953 N/mm² a buk-buk 6,370 N/mm². Je zjevné, že ačkoliv některé parametry jsou shodné, není možné přímého porovnání výsledků.

14 Závěr

V práci jsou popsány jednotlivé technologické procesy řezání, které svojí charakteristikou přímo ovlivňují výslednost lepeného spoje. To dávalo ucelený pohled na problematiku lepeného spoje s rozdílným způsobem pořezu třískovým nebo beztřískovým úběrem. Spolu s proměnlivou vlhkostí bylo jasně definována pevnost při smykovém zatížení.

Cílem práce je zkoumání vlivu řezání ploch dubového a bukového řeziva laserovým paprskem v porovnání s pilovým kotoučem. Změna pevnosti lepených spojů byla vyhodnocována při vybraných faktorech, kterými byl druh dřeviny, ohnisková vzdálenost laseru a počáteční vlhkost řeziva. Těchto cílů bylo dosaženo za pomoci zkouškových metod smykové pevnosti na laboratorním zařízení UTS 50 s následujícím vyhodnocením.

Při laboratorních zkouškách bylo zjištěno, že způsob pořezu a vlhkost dřeva přímo ovlivňují pevnost lepeného spoje. Při 8% vlhkosti vykazoval buk vyšší smykovou pevnost o 101,7 % oproti dubu při řezání kotoučem. Při stejné počáteční vlhkosti 8 % pro řez laserem byla snižená pevnost na 90,9 %. Rozdíl pevností dvou výsledků pro stejné dřeviny byl dáván za vinu laseru pro jeho termickou modifikaci řezné plochy a nemožností vytvoření pevných vazeb. Snižování poréznosti materiálu dochází k menší pevnosti lepeného spoje.

Následující zkouška pořezu materiálu laserem pro dřeviny buk a dub s vlhkostí vyšší, než bod nasycení vláken vykazovala rozdílné vlastnosti oproti stejné dřevině a druhu pořezu při 8% vlhkosti. Rozdíl hodnot pro vlhkost nad bodem nasycení vláken činil 46,2 % oproti 8% vlhkosti, která činila 90,9 %.

Z výsledků je patrné, že způsob pořezu a vlhkost dřeva mají významný vliv na pevnost lepeného spoje. Při pořezu kotoučem byla pevnost ve smyku vyšší než při požití laseru. Při změně vlhkosti nad bod nasycení vláken a zachování stejného pořezu pevnost dřevin vykazovala však vyšší hodnoty oproti pořezu laserem při 8% vlhkosti u vzorků dubu a buku.

15 Seznam použité literatury

- BARCÍK, Š. (2001). *Stroje a zariadenia. Návody na cvičenia*. 1. vyd. Zvolen: TU, ISBN 80-228-1035-5
- BARNEKOV, V. G.; McMILLIN, C. W.; HUBER, H. A. (1986) Factors influencing laser cutting of wood. *Forest Products Journal*, 36 (1), (1986), pp. 55-58, ISSN 0015-7473
- BOEHMOVÁ, T. (2015) Jak řezat laserem do dřeva a jaký laser si na to pořídit. [online], [cit. 2015-12-11]. Dostupné z: <https://www.mega-blog.cz/lasery/jak-rezat-laserem-do-dreva-a-jaky-laser-si-na-to-poridit/>
- DOSKOČIL, V. (2013). Vícekotoučová rozřezávací pila. [online], [cit. 2013-08-01]. Dostupné z: <https://slideplayer.cz/slide/5762256/>
- Dřevari.cz (2019). [online], [cit. 2019-02-14]. Dostupné z: <https://www.drevari.cz/>
- Dřevostroj Čkyně, a.s. (2019). [online], [cit. 2019-02-14]. Dostupné z: <http://www.drevostroj.cz/produkty/default.asp?s1=5&s2=1&s3=7&s4=0>
- GAFF, M., KAPLAN, L. Vliv posuvné rychlosti na kvalitu obrábění. *Dřevařský magazín*. 17(3), 2016, s. 48-49, ISSN 1338-371X
- GANDELOVÁ, L., HORÁČEK, P., ŠLEZINGEROVÁ, J.. *Nauka o dřevě*. 2. vyd. Brno : Mendelova zemědělská a lesnická univerzita, 2004. 184 s. ISBN 80-7157-577-1.
- GEFFERT, A. (2013). *Chemické technológie dreva*. 1. vyd. Zvolen: TU, ISBN 978-80-228-2619-8
- GROSSER, D. *Die Hölzer Mitteleuropas : Ein mikrophotographischer Lehratlas*. 1. Auflage. Berlin : Springer-Verlag Berlin Heidelberg , 1977. ? s. ISBN 3-540-08096-1.
- HERNANDEZ, J. C., CROUSE, P., LI, L. High-power Yb-doped Fibre Laser for Cutting Dry Fibre Wood. *Proceedings of the World Congress on Engineering, WCE 2007*, July 2-4, 2007, Vol II, London UK, ISBN 978-988-98671-2-6
- HÖECHSMAN – Technology for Wood. (2019). [online], [cit. 2019-02-22]. Dostupné z: <https://www.hoechsmann.com/>
- HOLOPÍREK, J. (2001). *Teorie obrábění dřeva. Návody na cvičení*. 1. vyd. Brno:MZLU, ISBN 80-7157-503-8
- HomeN, [online], [cit. 2019-02-24]. Dostupné z: <http://homen.vsb.cz/~hla80/2009Svarovani/>
- IGM – Nástroje a stroje. Jak vybrat správná pilový kotouč? [online], [cit. 2019-02-18]. Dostupné z: <https://www.igm.cz/tematicke-clanky/jak-vybrat-spravny-pilovy-kotouc/>
- KAČÍK, F., a kol. (2010) Zmeny sacharidov při ožarování javorového dřeva CO2 laserem. *Acta facultatis xylogologiae*, 52(1): s. 33–40, 2010, Zvolen, TU, ISSN 1336–3824

KACHTÍK, L.. Úvod do světa laserů [online]. lasery.wz. [3.3. 2019]. Dostupné z: <http://lasery.wz.cz/uvod.html>

KOBLÍŽEK, J.. (1990): Quercus L. In: Hejný S., Slavík, B. (eds.): Květena ČR 2. Academia, Praha, p. 21 – 35.

KOŘÁN, P. Základní přehled průmyslových laserů. [online], [cit. 2013-02-19]. Dostupné z: <http://www.lao.cz/lao-info-49/serial-na-tema-lasery---hlavni-typy-laseru-pouzivanych-v-prumyslu-128>

KOŽELOUH, B. (2014). Třídění a návrhové charakteristiky konstrukčního dřeva. [online], [cit. 2014-06-16]. Dostupné z: <http://stavba.tzb-info.cz/drevene-a-ocelove-konstrukce/11353-trideni-a-navrhove-charakteristiky-konstrukcniho-dreva>, ISSN 1801-4399

KRÁSENSKÝ, T. (2019). Pilové kotouče. [online], [cit. 2019-02-19]. Dostupné z: <http://www.chatar-chalupar.cz/pilove-kotouce/>

KUBOVSKÝ, I., IGAZ, R. Použitie CO2 lasera jako netradičného nástroja na zmenu farby dreva. Acta facultatis technicae. Zvolen, 19, 2014 (1), s. 79-88, ISSN 1336-4472

KUČERA, M, etc., 2016, Oddělení Národní inventarizace lesů, ÚHÚL Brandýs nad Labem, Výstupy národní inventarizace lesů uskutečněné v letech 2011–2015. Dostupné z: http://nil.uhul.cz/data/documents/vysledky_projektu_nil2/zastoupeni_drevin_lp_cerven_2016.pdf

KVĚTENA ČESKÉ REPUBLIKY . Editoři - Slavomil Hejný, Bohumil Slavík;. 1. vyd. Praha : Academia, 1990. 544 s.

Leonardo technology (2019). Automatizace průmyslového značení. [online], [cit. 2019-02-23]. Dostupné z: <http://www.lt.cz/>

LIPTÁKOVÁ, E., SEDLIAČIK, M. (1989). Chémia a aplikácia pomocných látok v drevárskom priemysle. 1. vyd. Bratislava: Alfa, ISBN 80-05-00116-9

LISIČAN, J. a kol. (1996). Teória a technika spracovania dreva. 1. vyd. Zvolen: Matcentrum, ISBN 80-967-315-6-4

LUMNITZER, R., a kol. (2015). Metodológia komplexného hodnotenia zdravotných rizík v priemysle I. 1. vyd. Košice, TU, 240 s. ISBN 978-83-938890-0-6

MAŇKOVÁ, Ildikó. Progresívne technológie. 1. vydanie. Košice: Vienala, 2000. 275 s. ISBN 80-7099-430-4.

MÁROVÁ, H. (2012) Strojní opracování dřeva. Kapitola 7. Pilové nástroje. 1. vyd. Havířov: SŠTO. Dostupné z: <http://www.ssto-havirov.cz/katalog-obrazku/clanek-172/2039-vy-52-inovace-5219-7.pdf>

Moskva 1986.365 s.

-
- POŽGAJ, A. a kol. (1997). Štruktúra a vlastnosti dreva. 2. vyd. Bratislava: Príroda, ISBN 80-07-00960-4
- RAŠNER, J., SKLENKA, I. (1989). Organizácia a riadenie výroby v drevospracujúcom priemysle. Návod na cvičenia - II. časť. Zvolen: VŠLD, ISBN 80-228-0019-8
- REPARO – pilařské technologie. (2019). [online], [cit. 2019-02-14]. Dostupné z: <https://www.reparo.cz/>
- ŘASA J. a KEREČANINOVÁ Z.. Nekonenční metody obrábění – 4. díl [online]. MM průmyslové spektrum. [vid. 19.03.2008] č.3, s. 80-82. ISSN 1212-2572. Dostupné: <http://www.mmspektrum.com/clanek/nekonenncni-metody-obrabeni-4-dil.html>
- ŘASA, J., KEREČANINOVÁ, Z. Nekonenční metody obrábění – 4. díl. In MM Průmyslové spektrum, 2008, č.3, s. 80-82. ISSN 1212-2572
- SVOREŇ, J. (2002) Drevárske stroje. Časť I. 1. vyd. Zvolen: TU, ISBN 80-228-1188-2
- ŠLEZINGEROVÁ, J.; GANDELOVÁ L.: Stavba dřeva-cvičení, MZLU v Brně, Brno 2004, 130 s., ISBN 80-7157-400-7
- UGOLEV V.N.: Drevesinovedenije s osnovami lesnovo tovarovedenija.
- ÚRADNÍČEK, L., et al. Dřeviny České republiky. 1. vyd. Písek : Matice Lesnická, spol. s. r. o., 2001. 333 s. ISBN 80-86271-09-9.
- VAŇKOVÁ, M. (2018). Vodní paprsek nebo laser? [online], [cit. 2018-01-24]. Dostupné z: <https://www.talentica.cz/vodni-paprsek-laser/>
- VOJÁČEK, A. (2016). Co se skrývá pod výrazy Industry 4.0/Průmysl 4.0. [online], [cit. 2016-03-19]. Dostupné z: <https://automatizace.hw.cz/mimochodem/co-je-se-skryva-pod-vyrazy-industry-40-prumysl-40.html>
- WARIAMU, G., IKUA, B. W., KIONI, P. N. (2015). CO2 laser machining od wood, perspex and glass with and without use of assists gas. International Journal of Scientific Research and Innovative Technology. 2(2), 2015, pp. 128-133, ISSN 2313-3759
- WIKIPEDIA [online].cz.wikipedia.org.[vid. 2. února 2013]. Dostupné z:<http://cs.wikipedia.org/wiki/Laser>
- ZAUŠKOVÁ, A. (2002). Drevárske komodity. 1. časť – komodity prvostupňového spracovania dreva. 1. vyd. Zvolen: Bratia Sabovci, ISBN 80-89029-41-8
- ZEMIAR, J., a kol. (2009). Technológia výroby nábytku. 1. vyd. Zvolen: TU, ISBN 978-80-228-2064-6