

Změna mechanických vlastností dřeva po jeho stabilizaci

Bc. Daniel Šišák

Diplomová práce
2019

 Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická
Ústav výrobního inženýrství
akademický rok: 2018/2019

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. Daniel Šišák**
Osobní číslo: **T17579**
Studijní program: **N3909 Procesní inženýrství**
Studijní obor: **Výrobní inženýrství**
Forma studia: **kombinovaná**

Téma práce: **Změna mechanických vlastností dřeva po jeho stabilizaci**

Zásady pro vypracování:

1. Vypracujte literární rešerši na zadané téma
2. Připravte vzorky stabilizovaného dřeva komerčně dostupným systémem
3. Analyzujte mechanické vlastnosti vzorků stabilizovaného dřeva
4. Exponujte zkoumané vzorky zrychlenému UV stárnutí a následně analyzujte jejich mechanické vlastnosti
5. Diskutujte získané výsledky

Rozsah diplomové práce: cca 60 stran
Rozsah příloh: dle pokynů VDP
Forma zpracování diplomové práce: tištěná/elektronická

Seznam odborné literatury:

1. Bekhta P., Niemz P.: Effect of high temperature on the change in color, dimensional stability and mechanical properties of spruce wood. *Holzforschung*, 57 (2003) 539-546.
2. PECINA, Pavel a Josef PECINA. *Materiály a technologie – dřevo*. Brno: Masarykova univerzita, 2006, 132 s. ISBN 80-210-4013-0.
3. Evans P.D., Michell A.J., Schmalzl K.J.: Studies of the degradation and protection of wood surfaces. *Wood Science and Technology*, 26 (1992) 151-163.

Vedoucí diplomové práce: doc. Ing. Michal Sedlačík, Ph.D.
Ústav výrobního inženýrství
Datum zadání diplomové práce: 2. ledna 2019
Termín odevzdání diplomové práce: 17. května 2019

Ve Zlíně dne 7. února 2019

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že

- beru na vědomí, že odevzdáním diplomové práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb. o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších právních předpisů, bez ohledu na výsledek obhajoby ¹⁾;
- beru na vědomí, že diplomová práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitním informačním systému dostupná k nahlédnutí, že jeden výtisk diplomové/bakalářské práce bude uložen na příslušném ústavu Fakulty technologické UTB ve Zlíně a jeden výtisk bude uložen u vedoucího práce;
- byl/a jsem seznámen/a s tím, že na moji diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, zejm. § 35 odst. 3 ²⁾;
- beru na vědomí, že podle § 60 ³⁾ odst. 1 autorského zákona má UTB ve Zlíně právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona;
- beru na vědomí, že podle § 60 ³⁾ odst. 2 a 3 mohu užít své dílo – diplomovou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití jen s předchozím písemným souhlasem Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše);
- beru na vědomí, že pokud bylo k vypracování diplomové práce využito softwaru poskytnutého Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně nebo jinými subjekty pouze ke studijním a výzkumným účelům (tedy pouze k nekomerčnímu využití), nelze výsledky diplomové práce využít ke komerčním účelům;
- beru na vědomí, že pokud je výstupem diplomové práce jakýkoliv softwarový produkt, považují se za součást práce rovněž i zdrojové kódy, popř. soubory, ze kterých se projekt skládá. Neodevzdání této součásti může být důvodem k neobhájení práce.

V Hradčovicích dne 7. 5. 2019

.....

¹⁾ zákon č. 111/1998 Sb. o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších právních předpisů, § 47 Zveřejňování závěrečných prací:

(1) Vysoká škola nevydělečně zveřejňuje disertační, diplomové, bakalářské a rigorózní práce, u kterých proběhla obhajoba, včetně posudků oponentů a výsledku obhajoby prostřednictvím databáze kvalifikačních prací, kterou spravuje. Způsob zveřejnění stanoví vnitřní předpis vysoké školy.

(2) Disertační, diplomové, bakalářské a rigorózní práce odevzdané uchazečem k obhajobě musí být též nejméně pět pracovních dnů před konáním obhajoby zveřejněny k nahlížení veřejnosti v místě určeném vnitřním předpisem vysoké školy nebo není-li tak určeno, v místě pracoviště vysoké školy, kde se má konat obhajoba práce. Každý si může ze zveřejněné práce pořizovat na své náklady výpisy, opisy nebo rozmnoženiny.

(3) Platí, že odevzdáním práce autor souhlasí se zveřejněním své práce podle tohoto zákona, bez ohledu na výsledek obhajoby.

²⁾ zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, § 35 odst. 3:

(3) Do práva autorského také nezahnuje škola nebo školské či vzdělávací zařízení, užije-li nikoli za účelem přímého nebo nepřímého hospodářského nebo obchodního prospěchu k výuce nebo k vlastní potřebě dílo vytvořené žákem nebo studentem ke splnění školních nebo studijních povinností vyplývajících z jeho právního vztahu ke škole nebo školskému či vzdělávacímu zařízení (školní dílo).

³⁾ zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, § 60 Školní dílo:

(1) Škola nebo školské či vzdělávací zařízení mají za obvyklých podmínek právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla (§ 35 odst. 3). Odpírá-li autor takového díla udělit svolení bez vážného důvodu, mohou se tyto osoby domáhat nahrazení chybějícího projevu jeho vůle u soudu. Ustanovení § 35 odst. 3 zůstává nedotčeno.

(2) Není-li sjednáno jinak, může autor školního díla své dílo užít či poskytnout jinému licenci, není-li to v rozporu s oprávněnými zájmy školy nebo školského či vzdělávacího zařízení.

(3) Škola nebo školské či vzdělávací zařízení jsou oprávněny požadovat, aby jim autor školního díla z výdělku jím dosaženého v souvislosti s užitím díla či poskytnutím licence podle odstavce 2 přiměřeně přispěl na úhradu nákladů, které na vytvoření díla vynaložily, a to podle okolností až do jejich skutečné výše; přitom se přihlédne k výši výdělku dosaženého školou nebo školským či vzdělávacím zařízením z užití školního díla podle odstavce 1.

ABSTRAKT

Diplomová práce je zaměřena na stabilizaci dřeva za pomoci běžné, komerčně dostupné, stabilizační pryskyřice. Cílem této práce bylo zpracování studie vlivu stabilizace na změnu mechanického chování dřeva po jeho stabilizaci. Vzorky dřeva byly podrobeny mechanickým zkouškám a UV záření, kdy byly zjišťovány rozdíly v chování stabilizovaných a nestabilizovaných vzorků jednotlivých druhů dřev.

Klíčová slova: Stabilizace dřeva, pryskyřice, ořech, smrk, modřín

ABSTRACT

The thesis is focused on the stabilization of wood with the help of common commercially available stabilizing resin. The aim of this work was to elaborate a study of the effect of stabilization on the change of mechanical behavior of wood after its stabilization. Wood samples were subjected to mechanical tests and UV radiation, when differences in the behavior of stabilized and non-stabilized samples of wood species were determined.

Keywords: Wood stabilization, resin, walnut, spruce, larch

Tímto chci poděkovat vedoucímu mé diplomové práce panu doc. Ing. Michalu Sedlačkovi Ph.D. za vedení, cenné rady a čas, který mi věnoval při tvorbě této diplomové práce. Dále chci poděkovat své rodině za podporu při studiu. Mé poděkování patří také panu Bc. Jiřímu Kocourkovi za možnost využití jeho zařízení ke stabilizaci vzorků dřeva.

Prohlašuji, že odevzdaná verze bakalářské/diplomové práce a verze elektronická nahraná do IS/STAG jsou totožné.

OBSAH

ÚVOD.....	11
I TEORETICKÁ ČÁST.....	12
1 STROMY JAKO ZDROJ DŘEVA.....	13
1.1 ROZDÍL MEZI TVRDÝM A MĚKKÝM DŘEVEM	13
1.2 STAVBA DŘEVA	14
1.3 HODNOCENÍ ANATOMICKÉ STAVBY DŘEVA	16
1.4 MAKROSKOPICKÉ ZNAKY DŘEVA	17
1.4.1 Letokruhy	17
1.4.2 Dřeň, dřeňové paprsky	17
1.4.3 Cévy	18
1.4.4 Pryskeřičné kanálky	19
1.4.5 Jádru a běl	19
1.5 FYZIKÁLNÍ VLASTNOSTI DŘEVA	20
1.5.1 Hmotnost a hustota.....	20
1.5.2 Vlhkost	20
1.5.2.1 Bod nasycení vláken	21
1.5.2.2 Sesychání a bobtnání dřeva	21
1.5.2.3 Rovnovážná vlhkost	21
1.5.2.4 Teplota a vlhkost vzduchu	22
1.5.3 Barva	22
1.5.4 Lesk.....	22
1.5.5 Textura	22
1.5.6 Vůně	22
1.5.7 Zvuk	22
1.6 MECHANICKÉ VLASTNOSTI DŘEVA	23
1.6.1 Pevnost dřeva	23
1.6.1.1 Pevnost v tlaku	24
1.6.1.2 Pevnost v tlaku ve směru vláken	24
1.6.1.3 Pevnost v tlaku napříč vlákny	25
1.6.2 Pevnost v tahu	26
1.6.2.1 Pevnost v tahu ve směru vláken	26
1.6.2.2 Pevnost v tahu napříč vláken	27
1.6.3 Pevnost v ohybu	27
1.7 VADY DŘEVA	28
1.7.1 Suky.....	28
1.7.2 Trhliny.....	28
1.7.3 Křivost.....	29
1.7.4 Točitost.....	29
1.7.5 Rakovina	29
1.7.6 Poškození hmyzem.....	29
1.7.7 Poškození cizopasnými rostlinami	30
1.7.8 Mechanické poškození	30
1.8 DEGRADACE.....	30
1.8.1 Sluneční záření	30
1.8.2 Voda	31

1.9	VLIV TEPLoty A VLHKOSTI NA MECHANICKÉ A OPTICKÉ VLASTNOSTI	31
2	OCHRANA DŘEVA	33
2.1	KONSTRUKČNÍ OCHRANA	33
2.2	CHEMICKÁ OCHRANA	33
3	TĚŽBA DŘEVA	34
3.1	PRŮBĚH TĚŽBY	34
4	POLYMERACE	35
4.1	POLYKONDENZACE.....	35
4.1.1	Polykondenzující monomery	35
4.1.2	Polykondenzační rovnováhy	35
4.2	POLYADICE	36
4.2.1	Polyuretany	36
4.2.2	Epoxidové pryskyřice.....	37
5	STABILIZACE.....	38
5.1	ÚČINKY STABILIZACE NA DŘEVO.....	38
5.2	JAKÉ DŘEVO LZE STABILIZOVAT	39
5.3	ČÍM LZE STABILIZOVAT	39
5.4	PRINCIP STABILIZACE	39
5.5	ZPRACOVÁNÍ STABILIZOVANÉHO DŘEVA.....	40
5.6	APLIKACE STABILIZOVANÉHO DŘEVA	40
6	SHRnutí TEORETICKÉ ČÁSTI.....	41
II	PRAKTICKÁ ČÁST	42
7	CÍLE DIPLOMOVÉ PRÁCE	43
8	STABILIZACE DŘEVA V DOMÁCÍCH PODMÍNKÁCH.....	44
8.1	PŘÍPRAVA DŘEVĚNÝCH POLOTOVARŮ	44
8.2	PROSYCENÍ DŘEVA PRYSKYŘICÍ	45
8.3	VYTVRZENÍ	45
8.4	KONTROLA.....	46
9	ZKOUŠKA REOLOGICKÝCH VLASTNOSTÍ.....	47
10	ZKOUŠKA TVRDOSTI METODOU SHORE D.....	49
10.1	ZKOUŠKA TVRDOSTI SHORE D DŘEVA OŘEŠÁKU	50
10.1.1	Výsledky zkoušek	50
10.2	ZKOUŠKA TVRDOSTI SHORE D DŘEVA SMRKU.....	51
10.2.1	Výsledky zkoušek	51
10.3	ZKOUŠKA TVRDOSTI SHORE D DŘEVA MODŘÍNU.....	51
10.3.1	Výsledky zkoušek	51
11	RÁZOVÁ ZKOUŠKA.....	53
11.1	ZKOUŠKA RÁZOVÉ HOUŽEVNATOSTI DŘEVA OŘEŠÁKU	54
11.1.1	Výsledky zkoušek	54
11.2	ZKOUŠKA RÁZOVÉ HOUŽEVNATOSTI DŘEVA SMRKU	55
11.2.1	Výsledky zkoušek	55

11.3	ZKOUŠKA RÁZOVÉ HOUŽEVNATOSTI DŘEVA MODŘÍNU.....	56
11.3.1	Výsledky zkoušek	57
12	OHYBOVÁ ZKOUŠKA	58
12.1	ZKOUŠKA TŘÍBODOVÉHO OHYBU DŘEVA OŘEŠÁKU	59
12.1.1	Výsledky zkoušek	59
12.2	ZKOUŠKA TŘÍBODOVÉHO OHYBU DŘEVA SMRKU.....	61
12.2.1	Výsledky zkoušek	61
12.3	ZKOUŠKA TŘÍBODOVÉHO OHYBU DŘEVA MODŘÍNU	62
12.3.1	Výsledky zkoušek	62
13	UV DEGRADACE A INDEX ŽLUTOSTI.....	64
13.1	INDEX ŽLUTOSTI.....	64
13.1.1	Index žlutosti dřeva ořešáku.....	64
13.1.2	Index žlutosti dřeva smrku	65
13.1.3	Index žlutosti dřeva modřínu	66
14	DISKUZE VÝSLEDKŮ.....	67
15	ZÁVĚR.....	68
	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....	69
	SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK.....	72
	SEZNAM OBRÁZKŮ	73
	SEZNAM TABULEK.....	74

ÚVOD

Dřevo je materiál, který je člověkem využíván velmi dlouhou dobu. Postupem času ustupovalo jiným, pro dané aplikace vhodnějším, materiálům, avšak i přesto zůstalo důležitým materiálem, který je využíván dodnes. Stále častěji se také stává, že je používáno i tam, kde bylo dříve vytlačeno. Děje se tak především kvůli dnešnímu tlaku na větší ekologii, kdy dřevo řadíme mezi obnovitelné zdroje a lze jej dobře recyklovat.

Pro konstrukční využití je třeba počítat s anizotropií vlastností, tedy s vlastnostmi závislými na směru. Zapomínat nelze také na pórovitost, díky které je strom schopný zadržovat velké množství vody, které je u dřeva nutné odstranit sušením. Avšak předtím, než je dřevo zpracováno, urazí dlouhou cestu. Růst stromu je letitý proces, jenž je ovlivněn celou řadou faktorů. Strom může být během svého růstu postižen širokou škálou vad, které mohou snižovat jeho hodnotu, což ovšem nemusí neplatit, pokud je takové dřevo využito ke stabilizaci.

Stabilizaci dřevo prakticky zvěčníme. S výhodou tedy lze využívat i dřevo různě poškozené. Požadované mechanické vlastnosti tomuto dřevu dodá stabilizační pryskyřice, kterou se prosytí jeho objem a následně se stabilizuje za zvýšené teploty, čímž dojde k jejímu vytvrzení.

Pro účely této diplomové práce bylo použito dřevo ořešáku, smrku a modřínu. Vzorky těchto dřev byly podrobeny mechanickému namáhání v podobě zkoušky tvrdosti, rázové houževnatosti a tříbodového ohybu. Z estetického hlediska bylo dále dřevo exponováno účinkům UV záření a byla vyhodnocena jeho barevnost po expozici odpovídající ekvivalentu 1 roku při exteriérových aplikacích.

I. TEORETICKÁ ČÁST

1 STROMY JAKO ZDROJ DŘEVA

Stromy se rozrůstají z pupenů, což je tkáň, která je základem budoucího rostlinného orgánu. Tato tkáň je velmi snadno dělitelná a má téměř rovnostranné tenkostěnné buňky bohaté na plazmu, která se odborně nazývá „meristém“. Meristém je dělivé pletivo – v tomto případě rostlinné dělivé pletivo, tvořené buňkami s dělivou funkcí. Střed tohoto buněčného systému tvoří dřev, zatímco buňky na vnější straně se rozšiřují a rozdělují. Tímto způsobem je uspořádán cévní systém kolem osy větve sloužící k dopravě mízy. [1]

Bezprostředním dělením stromů (a dřeva) lze označit dělení na tvrdé a měkké dřevo. To je poněkud nesprávné pojmenování, protože označení je ve skutečnosti jen oddělením mezi kvetoucími rostlinami (kvetoucí rostliny, jako je javor či dub) a jehličnatými stromy (borovice, smrk nebo jedle). [2]

1.1 Rozdíl mezi tvrdým a měkkým dřevem

Rozdíl mezi dřevem tvrdým a měkkým se ve skutečnosti týká jejich reprodukce. Stromy se reprodukují pomocí semen, ale struktura semen se liší. Stromy tvrdého dřeva jsou angiospermy (krytosemenné), což jsou rostliny, které produkují semena s krycí vrstvou. Může to být ovoce (jablko) nebo tvrdé skořápky (žalud). [3] Strom z tvrdého dřeva mívá rozvětvený, nebo rozdělený kmen. [2]

Měkká dřeva jsou gymnospermy (nahosemenné), kdy tyto rostliny nechávají semena spadnout na zem bez krytí. Do této kategorie spadají například borovice, které pěstují semena v tvrdých šiškách. Jakmile semena zrají, borovice uvolní semena do větru, a tak se reprodukují na širší plochu. [3]

Měkké dřevo má tendenci mít jehlu, v neobvyklých případech však také široké a ploché listy. Strom s měkkým dřevem zpravidla roste s jedním dominantním rovným kmenem, na němž rostou menší boční větve. [2]

S příchodem chladného počasí listy angiospermů opadávají, zatímco gymnospermů udrží své listy po celý rok. Lze tedy říci, že celoročně zelené stromy mají měkké dřevo a naopak, opadavé stromy mají tvrdé dřevo. Celoročně zelené stromy mají tendenci být také méně husté a proto je lze snadněji řezat než tvrdé dřeviny, které jsou hustší a tím i silnější. Nicméně neexistuje klasifikace, která stanovuje hmotnost k oddělení skupin tvrdého a měkkého dřeva. [3]

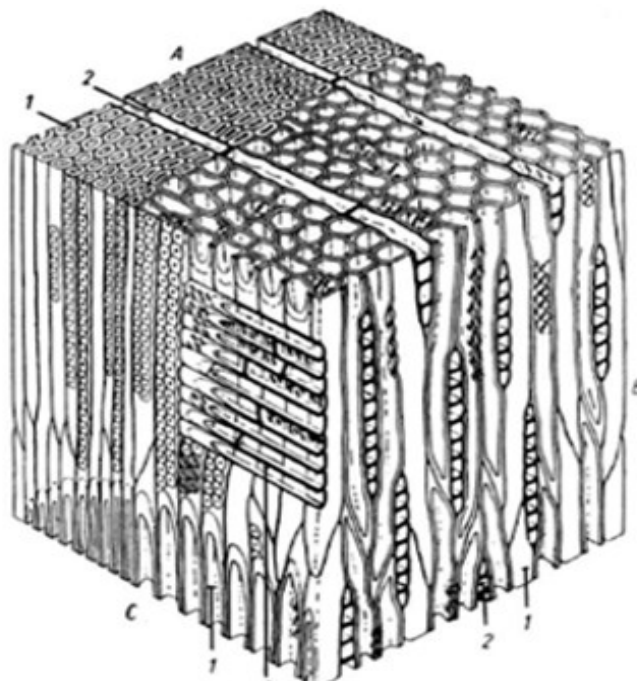
1.2 Stavba dřeva

Dřevo se skládá z celulózy, ligninu, hemicelulóz a menšího (obvykle méně než 10 %) množství cizích materiálů obsažených v jeho buněčné struktuře. Rozdíly v poměru jednotlivých složek a rozdíly v celulórní struktuře dělají dřevo těžkým nebo lehkým, tuhým nebo pružným, tvrdým nebo měkkým. [4]

Při 20 násobném zvětšení je možné na vzorku **měkkého dřeva** vidět, jak různé buňky společně vytvářejí odlišnou strukturu (Obr. 1.). Nejběžnější typ buněk, podélné tracheidy, dopravují vodu po délce kmene, což stromu dodává stabilitu. Dřeňové paprsky přepravují živiny v radiálním směru. Podélné buňky parenchymu uchovávají zásobu živin, zatímco kruhové buňky podporují výměnu materiálu. [5]

Evolučně mladší **tvrdé dřeviny** vytvářejí větší specializaci (Obr. 2.). Cévní buňky jsou vázány k vytvoření vysoce účinného vodovodu, kde tracheidy dopravují vodu. Dřevní vlákna pak zajišťují především stabilitu. Podélné buňky parenchymu přepravují a skladují živiny. [5]

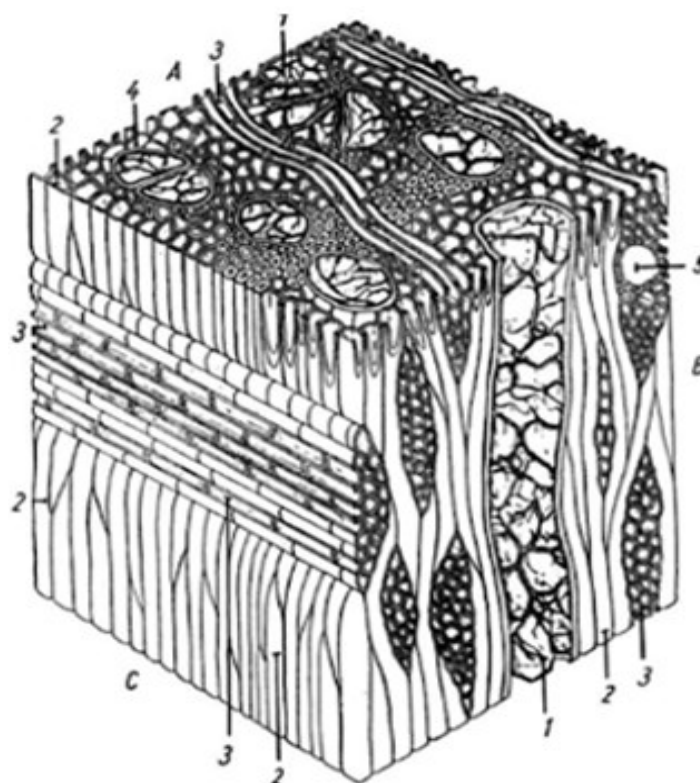
Buňky probíhají převážně po délce kmene stromu. Tato skutečnost vede k anizotropii a tedy k rozdílným vlastnostem dřeva v podélném, radiálním a tangenciálním směru. Následkem je také změna mechanické stability. Pevnost v tahu je u dřeva téměř dvakrát vyšší, než jeho pevnost v tlaku. Je značný rozdíl mezi pevností dřeva podél a napříč vlákny. Poměr hodnot pevnosti v tahu podél vláken a napříč vlákny se pohybuje v rozmezí 100:3 – 100:4 a poměr hodnot u pevnosti v tlaku 100:14 – 100:21. [5]



Obr. 1. Mikroskopická struktura měkkého dřeva.

A – průřez, B – tangenciální část, C – radiální část,

1 – tracheidy, 2 – dřevní vlákna [6]



Obr. 2. Mikroskopická struktura tvrdého dřeva.

A – průřez, B – tangenciální část, C – radiální část,

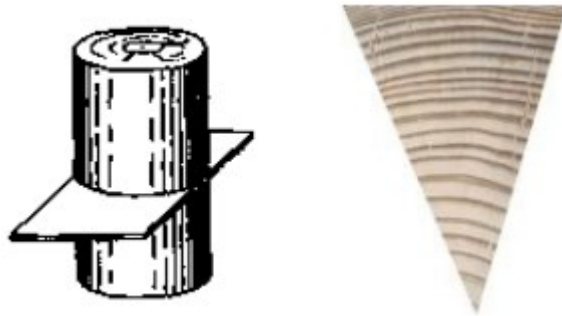
1 – cévy s tylózou, 2 – libriformní vlákna,

3 – dřevní vlákna, 4 – podélný parenchym [6]

1.3 Hodnocení anatomické stavby dřeva

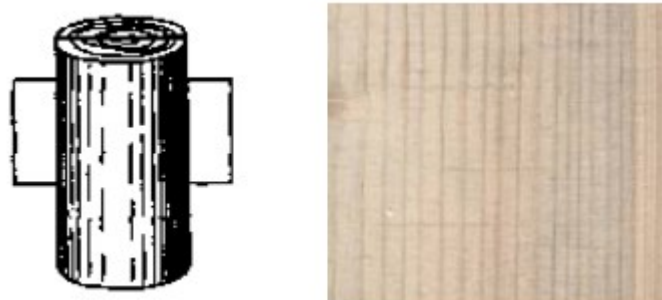
K hodnocení anatomické stavby dřeva je používáno tři základních druhů řezů:

Příčný řez (značen P) - je veden kolmo k podélné ose kmene. [4] Tradičně jej lze pozorovat na pářezu nebo čele kulatiny. Z toho důvodu bývá také označován jako čelní řez. [7]



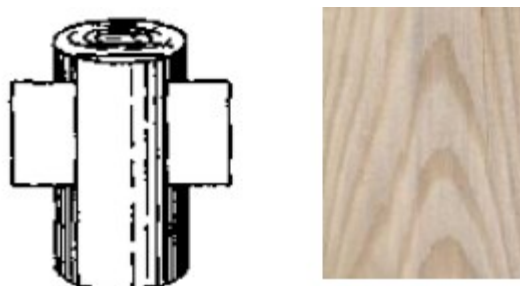
Obr. 3 Příčný řez [10]

Radiální řez (značen R) - je veden podélnou osou kmene a je tedy kolmý k příčnému řezu. [4] Z pohledu příčného řezu je veden po poloměru (resp. průměru) kmene. Z tohoto důvodu bývá také označován jako řez poloměrový. [7]



Obr. 4. Radiální řez [10]

Tangenciální řez (značen T) - je veden rovnoběžně s podélnou osou kmene ve směru tečny k některému letokruhu. Je kolmý na radiální řez procházející tečným bodem na tomto letokruhu. [4]



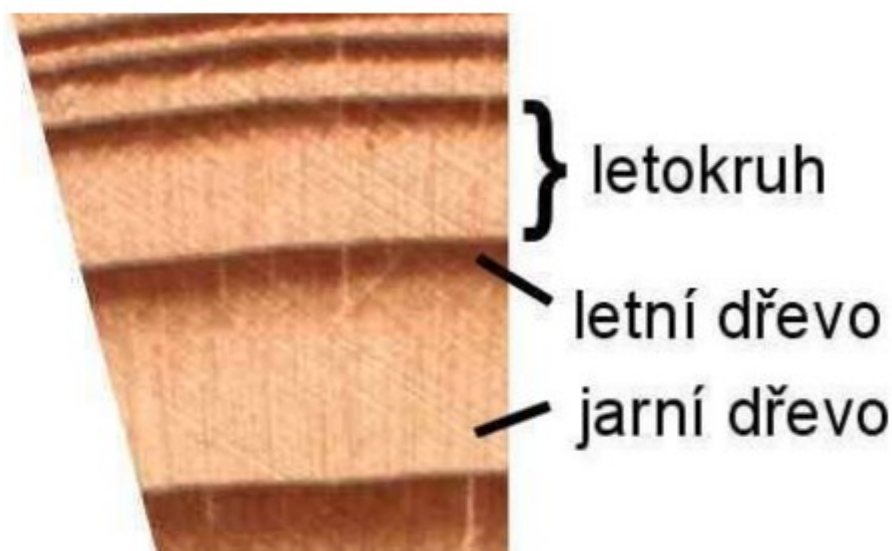
Obr. 5. Tangenciální řez [10]

1.4 Makroskopické znaky dřeva

1.4.1 Letokruhy

Letokruhy jsou tvořeny ročním přírůstkem dřeva, který vzniká činností dělivých buněk kambia. U některých dřevin je možné letokruhy dobře rozlišit, jelikož se sestávají ze dvou vrstev - jarního a letního dřeva. [8]

Jarní dřevo je tvořeno z velkých a tenkostěnných buněk bohatých na vodu, proto má nižší hustotu a je světlé. Jeho primární funkcí je vedení vody. Letní dřevo je tvořeno menšími, tlustostěnnými a zploštěnými buňkami. Z tohoto důvodu je tvrdší, tmavší a má větší hustotu. [8]

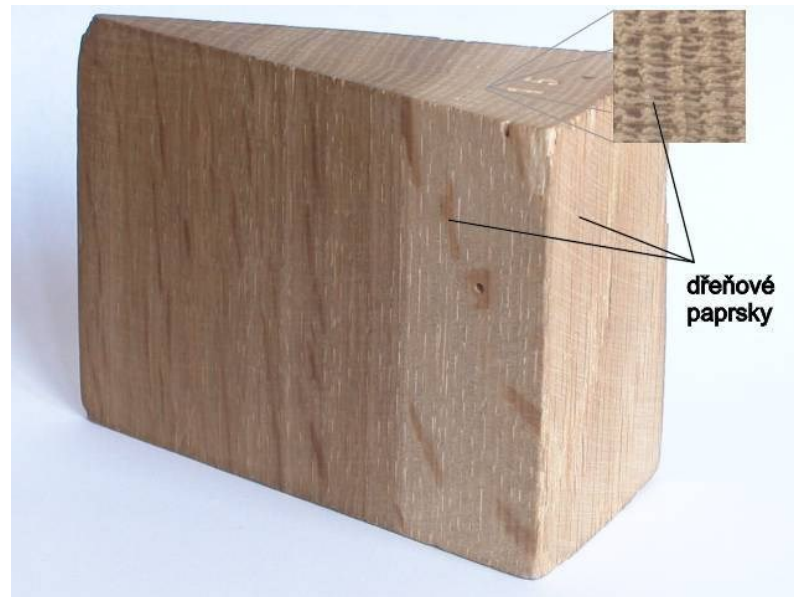


Obr. 6. Rozdíl stavby jarního a letního dřeva [12]

1.4.2 Dřeň, dřeňové paprsky

Dřeň se nachází uprostřed kmene a je měkčí než okolní dřevo. [8] Jedná se o odumřelé parenchymatické buňky vzniklé v prvním roce růstu stromu. [9] Její umístění nebývá v přesném geometrickém středu kmene, ale většinou je více či méně posunuta mimo něj. [8]

Dřeňové paprsky mají pomocnou zásobní a vodivou funkci. Jsou to různě velká seskupení buněk orientovaných kolmo na osu kmene. Na příčném řezu je lze pozorovat jako čáry, které vybíhají z dřeně ke kůře. [8]



Obr. 7. Dřeňové paprsky [12]

1.4.3 Cévy

Cévy, nebo také tracheje, jsou vodivé elementy, které se vyskytují pouze u listnatých dřevin. Na příčném řezu je lze pozorovat jako drobné otvory. Rozeznáváme dvojí dělení dřevin podle uspořádání cév: kruhovitě pórovité a roztroušeně pórovité. [8]

Roztroušeně pórovité vytvářejí cévy stejného průměru celé vegetační období. Kruhovitě pórovité vytvářejí na jaře cévy velkého průměru, v létě pak průměru malého. [9]

Cévy lze také dělit podle jejich velikosti:

1. Mikrocévy - průměr menší než 0,1 mm
2. Makrocévy - průměr větší než 0,1 mm



Obr. 8. Mikrocévy a makrocévy [12]

1.4.4 Pryskyřičné kanálky

Jsou charakteristické pro jehličnaté dřeviny. Tvoří je buňky, které vytvářejí a produkují pryskyřici. Pryskyřičné kanálky mohou mít rovnoběžný směr s osou kmene, nebo procházejí dřeňovými paprsky. [9]

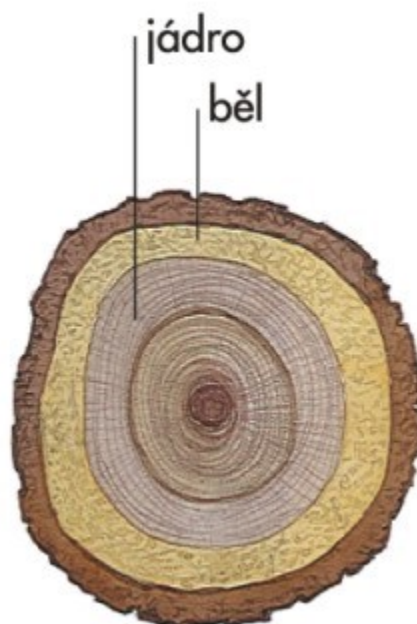


Obr. 9. Pryskyřičné kanálky [12]

1.4.5 Jádru a běl

Jádru je obvykle tmavěji zbarvená část kmene. Na rozdíl od běle, jádru neobsahuje živé parenchymatické buňky a vodivé cesty jsou zpravidla pro vodu neprůchodné. Funkcí jádra je zvyšovat stabilitu kmene. [9]

Běl je vnější část dřeva, která přiléhá ke kambiu. Běl charakterizuje přítomnost živých parenchymatických buněk ve dřevě rostoucího stromu a také volné vodivé cesty. [9]



Obr. 10. Jádru a běl [28]

1.5 Fyzikální vlastnosti dřeva

Hlavní fyzikální vlastnosti u dřeva zahrnují hmotnost a hustotu, vlhkost, barvu, lesk, texturu, vůně, vnitřní napětí, trhliny, deformace, zvuk. [13]

1.5.1 Hmotnost a hustota

Hmotnost dřeva je pro praktickou aplikaci velmi důležité kritérium. K rozdělení a zařazení dřeva se používá hustota. Podle ní je možné dřeviny třídit na:

- velmi lehké (balza),
- lehké (lípa, topol, jedle),
- poměrně lehké (smrk, borovice, modřín),
- středně těžké (javor, buk, jasan),
- těžké (habr, palisandr),
- velmi těžké (kvajak, eben). [5]

Hustota je jedna z nejdůležitějších fyzikálních vlastností dřeva. Hustota je hmotnost dřeva dělená jeho objemem při daném obsahu vlhkosti. Jednotky pro hustotu jsou typicky vyjádřeny jako gramy na krychlový metr ($\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$) nebo kilogramy na kubický metr ($\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$). Pokud jsou hodnoty hustoty uvedeny v literatuře, musí být též uveden obsah vlhkosti dřeva. Obvykle jsou hodnoty hustoty uvedeny pro suché dřevo, což znamená 12 % vlhkost v Severní Americe a Evropě, ale také přibližně 15 % vlhkost v tropických zemích. [5]

Hustota dřevní substance se vztahuje pouze na hmotu buněčných stěn bez všech dutin a její hodnota je pro všechny dřeviny přibližně $1,56 \text{ g}/\text{cm}^3$, hustota dřeva zahrnuje i objem veškerých pórů ve dřevě a proto je hustota dřeva závislá na stavbě dřeva - podíl jarního a letního dřeva, přítomnost jádra a běli, a množství vody ve dřevě. [5]

1.5.2 Vlhkost

Dřevo je hydrokopický materiál. Znamená to, že přijímá ze vzduchu vodu v podobě vodních par, nebo ji zpět do vzduchu odevzdává. Obsah vody v jednotlivých částech stromu není stejný, báze kmene má nižší obsah vody než vrcholek, běl má zpravidla vyšší obsah vlhkosti než jádro. Na obsah vody ve stromě má vliv také druh dřeviny, velikost a stáří stromu, a také roční období, ve kterém byl strom pokácen. Na základě těchto faktorů kolísá obsah vody v rozmezí 30 – 200 % hmotnosti sušiny. [9]

Vlhkost dřeva se vyjadřuje podílem hmotnosti vody k hmotnosti dřeva v absolutně suchém stavu - vlhkost absolutní, nebo podílem hmotnosti vody k hmotnosti mokrého dřeva - vlhkost relativní. Vlhkost se nejčastěji vyjadřuje v procentech. [11]

V závislosti na množství vody obsažené ve dřevě rozeznáváme toto dělení:

- mokré dřevo - dřevo ležící dlouhou dobu ve vodě,
- čerstvě pokácené,
- vysušené na vzduchu - dřevo uložené dlouhou dobu na vzduchu,
- vysušené při pokojové teplotě,
- absolutně suché. [18]

1.5.2.1 Bod nasycení vláken

Okamžitě po pokácení stromu začíná dřevo vysychat. Tento proces začíná snižováním obsahu volné vody uložené ve vnitřních prostorách buněk (kapilární voda). V okamžiku, kdy dojde k vyschnutí těchto prostor, je dosaženo bodu nasycení vláken. Po dosažení této hranice je vlhkost dřeva určována vodou vázanou, což je voda obsažená v buněčných stěnách. Hodnota bodu nasycení vláken se v závislosti na dřevině pohybuje v rozmezí 22 – 35 %. [9]

1.5.2.2 Sesychání a bobtnání dřeva

Voda, která je uložena v buněčné stěně, se odpařuje pomaleji. Tento proces trvá v závislosti na dřevině, tloušťce, vlhkosti a teplotě vzduchu i několik let. Vlivem snižování obsahu vázané vody dochází i ke zmenšování objemu - dřevo sesychá. Jestliže dřevo začne ve stádiu pod bodem nasycení vláken přijímat vodu, začne se tato voda ukládat do buněčných stěn a dojde ke zvětšení objemu - dřevo bobtná. Jakmile je dosažen bod nasycení vláken, další voda se ukládá do vnitrobuněčných prostor. Z tohoto důvodu nedochází ke změnám objemu dřeva. [9]

1.5.2.3 Rovnovážná vlhkost

Dřevo je, jak již bylo zmíněno výše, hyroskopický materiál. Přizpůsobuje se tedy s ohledem na vlhkost svému okolí - suché dřevo přijímá vodu z okolního vlhčího prostředí, naopak vlhké dřevo odevzdává vodu do okolního suššího prostředí. Tento proces trvá do doby, než dojde k rovnováze mezi vlhkostí dřeva, relativní vlhkostí vzduchu a teplotou okolí. Vzhledem k proměnlivému podnebí v našem prostředí nastává rovnovážný stav vlhkosti jen zřídka. [9]

1.5.2.4 Teplota a vlhkost vzduchu

Tyto parametry mají taktéž vliv na vlhkost dřeva. Vzduch vždy obsahuje určité množství vodních par. Čím je teplota vyšší, tím více vody dokáže vzduch pohltit. To lze dobře sledovat za parného slunečného dne. [9]

1.5.3 Barva

Různé druhy dřeva mají odlišné barvy - od bílé až po černou. Způsobují to látky uložené v dutině dřeva nebo v buněčných stěnách. [13]

1.5.4 Lesk

Leskem se rozumí schopnost odrážet světelný paprsek. Lesk závisí na hustotě dřeva a dřevních paprscích. [13] Dále závisí na dřevině, vlhkosti a druhu řezu. Ovlivňují jej také vady dřeva. Smrk a javor mají lesk hedvábný, zatímco habr a jabloň jsou téměř bez lesku, a přirozeným leskem disponuje dub a akát. [14]

1.5.5 Textura

Textura je kresba, která je viditelná na povrchu dřeva po jeho rozřezání. Jsou v ní vykresleny letopočty, dřeňové paprsky, pryskyřičné kanálky a cévy. [13] Dřevo listnatých stromů má výraznější kresbu, než dřevo jehličnanů. [14]

1.5.6 Vůně

Dřevu dodávají charakteristickou vůni esenciální oleje, pryskyřice a další látky v něm obsažené. [13]

1.5.7 Zvuk

Zvuková vodivost je materiálová vlastnost pro zvuk. Je charakterizována jako šíření zvuku v materiálu. Rychlost je tím vyšší, čím je nižší hustota materiálu a větší jeho pevnost. Rychlosti se liší také v závislosti na druhu dřeva a směru vláken (ve směru vláken je rychlost šíření zvuku nejvyšší). [13]

1.6 Mechanické vlastnosti dřeva

Mechanické vlastnosti dřeva charakterizují jeho schopnost odolávat účinkům vnějších sil. Rozeznáváme dělení do tří skupin:

- základní,
- odvozené,
- technologické. [15]

Základní mechanické vlastnosti jsou pružnost, pevnost, plastičnost a houževnatost. Tvrdost, odolnost proti tečení, odolnost proti trvalému zatížení a odolnost proti únavovému lomu jsou charakteristiky, které patří mezi odvozené vlastnosti. Poslední skupinou jsou technologické vlastnosti, jsou to štípatelnost, opotřebovatelnost, impregnovatelnost a ohýbatelnost. [15]

Dřevo je známé svým anizotropním charakterem. Tento je dán vnitřním uspořádáním a orientací molekul, což se promítá také do mechanických vlastností. [15]

O mechanickém namáhání se mluví ve chvíli, kdy dochází k interakci mezi mechanickou silou a dřevem. Výsledkem tohoto působení sil jsou dočasné či trvalé změny tvaru. Při působení vnějšími mechanickými silami, vzniká ve dřevě napětí. Rozeznáváme několik druhů tohoto napětí, které má vliv na rozlišení základních druhů namáhání. [15]

Napětí je definováno jako velikost vnitřní síly vztažené na jednotku plochy namáhaného tělesa. Pokud tyto síly působí kolmo na průřez tělesa, vzniká napětí normálové. Typickým příkladem tohoto typu jsou napětí v tahu a tlaku. Jestliže síly působí v rovině průřezu, jedná se o tangenciální, čili smykové napětí. Příkladem tangenciálního napětí je právě napětí ve smyku. Kombinací normálového a smykového napětí vznikne ohyb. [15]

S ohledem na schopnosti dřeva odolávat působení napětí, jsou důležité dvě vlastnosti - pružnost a pevnost. Pružnost dřeva je charakterizována jako jeho schopnost dosáhnout původních rozměrů po uvolnění zatěžujících sil. Pevnost dřeva charakterizuje odolnost dřeva proti trvalému porušení. [15]

1.6.1 Pevnost dřeva

Dřevo je jedním z nejstarších a nejznámějších konstrukčních materiálů. Je velmi všestranné a má širokou škálu fyzikálních a mechanických vlastností. [15]

Pevnost dřeva je charakterizována jeho odolností vůči trvalému poškození. U dřeva se pracuje se skutečnou pevností dřeva, která se zjišťuje prostřednictvím zkoušek, při nichž se

sleduje skutečné napětí v okamžiku porušení zkušebního tělesa. Pro zkoušení dřeva jsou stanoveny základní zásady spočívající ve stanovení velikosti zkušebního tělesa, postupu zkoušky a výpočtu výsledků. [15]

Pevnost dřeva lze dělit následovně:

1. stav napjatosti - jednoosý, víceosý,
2. způsob zatížení - tah, tlak, ohyb, krut, smyk,
3. časový průběh zatížení - statický, dynamický,
4. účinky zatížení na dřevo - destruktivní, nedestruktivní způsob. [15]

1.6.1.1 Pevnost v tlaku

Při namáhání dřeva hraje velmi důležitou roli směr působící síly. Dřevo je silně anizotropní materiál a je nutné tuto vlastnost zohlednit. S důrazem na směr působící síly vzhledem k orientaci vláken a letokruhům dřeva rozlišujeme tlakové namáhání na:

1. pevnost v tlaku ve směru vláken,
2. pevnost v tlaku napříč vlákny. [15]

1.6.1.2 Pevnost v tlaku ve směru vláken

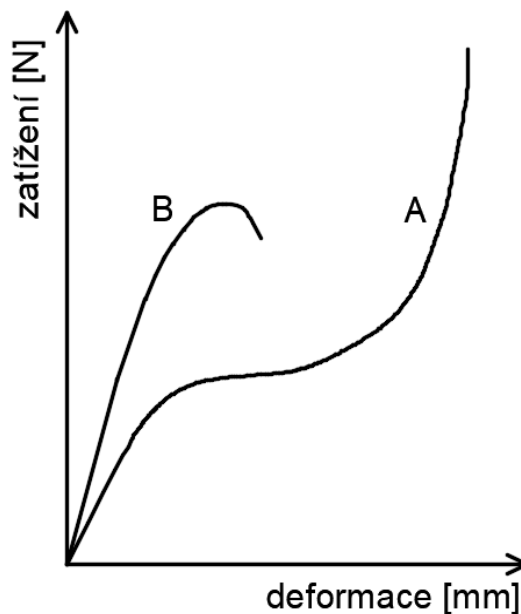
Pevnost v tlaku ve směru vláken je u dřeva důležitou vlastností z praktického hlediska. Dává nám informaci o velikosti deformace, tedy zkrácení délky tělesa při určitém zatížení. Charakter této deformace je rozdílný v závislosti na jakosti dřeva, hustotě a vlhkosti. [15]

Vysušené dřevo má vysokou hustotu a tím i vysokou pevnost. Při zatížení dochází k poruše ve formě smyku jedné části zkušebního vzorku vzhledem k druhé po linii, která na tangenciální ploše probíhá pod úhlem 60° vzhledem k podélné ose tělesa. [15]

Vlhké dřevo má naopak hustotu nízkou, a proto při zatížení dochází k otláčení vláken na čelních plochách a k vybočení stěn zatěžovaného tělesa. Poté dochází k porušení podél vláken a ke vzniku tzv. skluzových čar. Skluzové čáry s osou tracheid svírají úhel 70° a dále se mění na čáry porušení. V další fázi již vznikají pouhým okem viditelné deformace vláken a buněčných stěn. [15]

1.6.1.3 Pevnost v tlaku napříč vlákny

Při tomto způsobu zatěžování nebývá dřevo porušeno oddělováním jednotlivých částí jako je tomu u zatěžování dřeva po směru vláken, ale dochází k postupné deformaci a dřevní struktura se zhušťuje v celém svém objemu. S ohledem na makroskopickou stavbu letokruhu dochází ke dvěma situacím průběhu závislosti napětí - dvoufázová a třífázová deformace. [15]



Obr. 11. A – třífázová deformace,

B - dvoufázová deformace [15]

U dvoufázové deformace lze na diagramu sledovat lineární část, která má průběh téměř do maximálního pružného zatížení. Po překročení meze úměrnosti nastávají poruchy v soudržnosti, což se projevuje na hranicích letokruhů. Dochází k jejich oddělování a rozvoji plastické deformace. Dvoufázová deformace je charakteristická zejména pro jehličnany a dřevo listnatých dřevin s kruhovitě pórovitou stavbou letokruhů při tlaku v tangenciálním směru, kdy dochází k současnému stlačování elementů jarního i letního dřeva. [15]

K třífázové deformaci dochází typicky zatížením dřeva při tlaku napříč vlákny v radiálním směru pro všechna naše dřeva s výjimkou dubu. Z Obr. 11. je patrná první, lineární, část deformace, která je způsobena stlačením jarního dřeva v letokruzích. Po konci první fáze je dosaženo meze úměrnosti. Ztrátou stability anatomických elementů začíná jejich stlačování. Tato fáze je charakteristická stejným, nebo je malým vzrůstáním napětí a postupným rozvojem plastické deformace. Postupná deformace obou vrstev letokruhu vede k započítí třetí

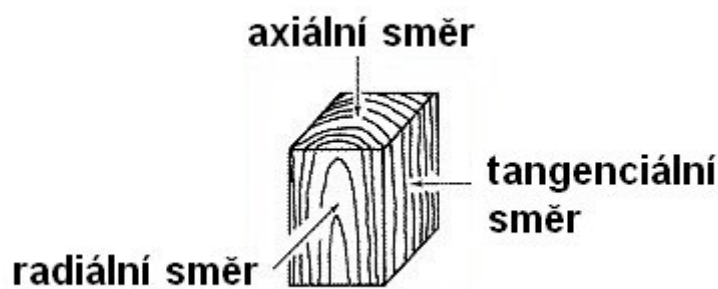
fáze deformace. Zde dochází ke zhušťování dřeva při velkém zatížení, avšak nedochází k úplnému porušení dřeva. [15]

K celkovému porušení dřeva při působení tlakem napříč vlákny téměř nedochází a z tohoto důvodu se pevnost tlaku odvozuje z meze úměrnosti. S ohledem na fakt, že vlastní mez úměrnosti je obtížné stanovit, tak se mez úměrnosti stanovuje na základě stanovených kritérií. [15]

1.6.2 Pevnost v tahu

Obdobně, jako je tomu u tlaku, zohledňuje se anizotropie vlastností dřeva i u pevnosti v tahu:

1. pevnost v tahu ve směru vláken,
2. pevnost v tahu napříč vlákny:
 - ve směru radiálním,
 - ve směru tangenciálním. [15]



Obr. 12. Směry napětí u pevnosti v tahu. [16]

1.6.2.1 Pevnost v tahu ve směru vláken

Pevnost dřeva v tahu ve směru vláken je oproti ostatním vlastním pevnostem největší. Při porušení tělesa při tomto druhu namáhání dojde k roztrhnutí buněk dřeva v pracovní části tělesa. Vysoká pevnost v tahu podél vláken je zajištěna především buňkami s vláknitým tvarem a strukturou buněčných stěn. Letní tracheidy a libriformní vlákna jsou elementy zajišťující převážně mechanickou funkci. Mají zdřevnatělou buněčnou stěnu, jež je tvořena z více jak 50 % makromolekulami celulózy. Tyto makromolekuly mají téměř rovnoběžnou orientaci s podélnou osou buněk. Pokud by molekuly celulózy vytvářely pouze kovalentní vazby orientované v podélném směru, byla by teoretická pevnost v tahu až 8000 MPa. Problém tkví v amorfních částech tvořících se ve fibrilární struktuře, které tuto hodnotu podstatným

způsobem snižují. Vysokou teoretickou pevnost v tahu redukují také dřeňové paprsky. I z tohoto důvodu je průměrná hodnota pevnosti v tahu ve směru vláken pro naše dřeva 120 MPa. [15]

1.6.2.2 Pevnost v tahu napříč vláken

Zatěžování dřeva tahem napříč vlákny vykazuje vysoký rozdíl hodnot od předchozího namáhání. Jedná se o velmi malé hodnoty, které se pohybují v rozsahu od 1,5 do 5 MPa. Z tohoto důvodu je žádoucí se při používání dřeva na nosné konstrukce tomuto způsobu zatížení vyhnout. [15]

1.6.3 Pevnost v ohybu

Tato je jedna z nejdůležitějších mechanických vlastností. Rozlišují se dva způsoby pevnosti v ohybu, a to na základě průběhu vláken:

1. pevnost v ohybu s vlákny probíhajícími rovnoběžně s podélnou osou tělesa, kdy síla působí napříč vláken v radiálním nebo tangenciálním směru,
2. pevnost v ohybu s vlákny probíhajícími kolmo na podélnou osu tělesa, kdy příčný řez je orientován ve směru nebo kolmo k působící síle. [15]

Častěji se pracuje s pevností dřeva v ohybu napříč vláken. Zkušební tělesa jsou při zkoušení obvykle orientována tak, aby zatížení působilo napříč vlákny v tangenciálním směru - tangenciální ohyb. Větších rozdílů v mezi pevnosti dřeva v ohybu v radiálním a tangenciálním směru se dosáhne u dřeva jehličnatých dřevin, kde mez pevnosti v tangenciálním směru je o 10-12 % větší než ve směru radiálním. U dřevin listnatých stromů jsou hodnoty meze pevnosti dřeva při statickém ohybu v obou směrech téměř totožné, rozdíl činí maximálně 2-4 %. [15]

Zatížením tělesa vzniká v jeho horní části tlakové napětí a ve spodní části napětí tahové. Část v tělese, kde nedochází k napětí, a tedy ani k deformaci se nazývá neutrální osa. Mezi tahovým a tlakovým napětím je napětí smykové. Porušení tělesa při ohybu začíná v zóně tlaku, a to vybočováním vláken, což je málokdy pozorovatelné pouhým okem. Děje se tak z důvod, kdy tlaková pevnost dřeva podél vláken je mnohem menší než pevnost tahová. [15]

Konečné porušení tělesa nastává v tahové zóně poté, co dojde k překročení meze pevnosti. Nejprve se začnou odštěpovat krajní vlákna a poté se zlomí celé těleso. Křehké a málo pevné dřevo má zlom téměř hladký. Houževnaté, pevné dřevo má zlom vláknitý nebo třískovitý. Mez pevnosti ve statickém ohybu (napříč vlákny) je průměrně 100 MPa. Hodnoty ohybové

pevnosti dřeva leží mezi hodnotami tahové a tlakové pevnosti dřeva ve směru vláken. Mez úměrnosti při statickém ohybu je průměrně 70% meze pevnosti. [15]

1.7 Vady dřeva

1.7.1 Suky

Suk je přirozený jev – přirozený nedostatek dřeva, který vzniká zarůstáním větve ve kmeni. Sukem je přerušen normální průběh letokruhů souběžný s podélnou osou stromu. Jestliže je větev živá, dochází k normálnímu zarůstání. S postupnými přírůstky letokruhů kmene přirůstají i letokruhy větve. Na povrchu kmene se přitom vytváří vlivem tloustnutí kmene a větve zvrásněná kůra ve tvaru paraboly, nazývaná vousy nebo čínské vousy. Přestane-li větev růst, dojde postupně k vysychání větve, jejímu hnití a nakonec i k odpadnutí. Zbytek po větvi již nemůže dále růst a srůstat s letokruhy kmene. Místo po odpadlé větvi je postupně zavalováno okolními letokruhy kmene až do úplného překrytí rány. [17]

1.7.2 Trhliny

Trhlinami je z dendrologického hlediska rozuměno rozdělení dřeva podél vláken, ke kterému může dojít vlivem nestejnomyšerného, jednostranného namáhání větrem, sněhem či mrazem.

Trhliny u surového dříví se dělí na:

1. Čelní trhliny - vychází pouze na čelo kulatiny a nepřecházejí na její bok,
 - 1.1 dřeňové - trhliny probíhající v radiálním směru,
 - 1.2 odlupčivé - trhliny probíhající mezi letokruhy. [17]
2. Boční trhliny - vychází na boční povrch kulatiny nebo na bok i čelo,
 - 2.1 mrazové - radiální trhlina značné délky způsobená na rostoucím stromě mrazem, probíhající směrem od kůry ke dřeni,
 - 2.2 výsušné - radiálně probíhající trhlina, která vzniká v pokáceném stromě následkem sesychání. [17]

V závislosti na hloubce průniku lze boční trhliny dále dělit na:

1. nepronikající mělké,
2. nepronikající hluboké,
3. pronikající. [17]

1.7.3 Křivost

Tato vada vzniká převážně vlivem prostředí, kdy převážně světlo, vítr a tlak sněhu nepříznivě ovlivňují růst stromu a způsobují křivost kmene. Rovněž mělké, svahovité, kamenité půdy chudé na živiny a špatná péče o porost způsobují nerovnosti kmenů. Obecně lze konstatovat, že křivost se vyskytuje zejména u modřínů, borovic a převážně pak u listnatých stromů se vyskytuje více směrná - prostorová křivost. [17]

Křivost se také mění s tloušťkou kmene. U tenkých kmenů je četnost výskytu vyšší než u kmenů tlustých. [17]

1.7.4 Točitost

Točivostí se rozumí spirálovité uložení vláken viditelné na bočním povrchu kulatiny, kdy se na kmenech mohou vyskytovat také spirálovité trhliny. Vznik vady se vysvětluje zešikmením buněk kambia, ale příčina vzniku není dostatečně popsána. Točitost je poměrně častou vadou (v západosibiřských borových lesích dosahuje až 78%, v modřínových a smrkových lesích Uralu až 88%). Směr točitosti není pevně dán, může být různý, a dokonce se po délce kmene může i měnit. Točité kmeny se vyskytují převážně v místech s méně hustým porostem a také v místech, kde má slunce dobrý přístup k velké části kmenu. [17]

1.7.5 Rakovina

Činností bakterií a parazitních hub dojde k poškození kmene stromu, kdy poškození má zpravidla formu prohlubně nebo vydutí. Napadení dřeva rakovinou se zevně projevuje nádorem různého tvaru. Houby pronikají do stromů mechanicky poškozenými místy vzniklými poškozením, mrazem apod. Rakovina se může vyskytnout u všech dřevin. [17]

1.7.6 Poškození hmyzem

Dřevo je pro některé druhy hmyzu biologicky podmíněným substrátem jejich vývoje. Poškozením dřeva se rozumí mateční a larvální chodby a výletové otvory. Pro většinu druhů hmyzu je dřevo zdrojem potravy. Buďto se jedná o přímý druh potravy – pojídání dřeva, nebo nepřímý druh potravy, kdy hmyz pěstuje houby v chodbičkách. Největší výskyt hmyzu je v prasklinách kůry, kde jsou kladena vajíčka. [17]

1.7.7 Poškození cizopasnými rostlinami

Cizopasná rostlina poškozují strom otvory v jeho dřevě. Tyto otvory vytváří kořeny cizopasných rostlin (jmelí, ochmet). Cizopasná rostlina získává z napadeného stromu vodu a minerální látky. Oba druhy těchto cizopasných rostlin rozšiřují drozdovití ptáci, kteří se živí jejich bobulemi. [17]

1.7.8 Mechanické poškození

Mechanické poškození je poškození dřeva v době jeho růstu, které způsobil vnější činitel. Jeho příčin může být několik, nejčastěji však vzniká při těžbě, kdy padající stromy poraní stojící stromy stržením větví, sedřením kůry či poranění bělového dřeva. Podobná poranění jako při těžbě vznikají při polomech a vývratech. Mechanické poškození narušuje celistvost dřeva a může způsobovat snížení jeho výtěžnosti. [17]

1.8 Degradace

Dřevo je z velké části tvořeno makromolekulárními látkami, konkrétně je to z 90-98 %. Tyto látky formují strukturu buněčných stěn: celulózy, hemicelulózy a ligninu. Dřevo umístěné ve venkovním prostředí podléhá degradaci. Tato degradace je způsobena chemickými, fyzikálními a biologickými vlivy, které ovlivňují a znehodnocují jeho estetický vzhled, možnosti technických aplikací a trvanlivost. Největší vliv na stárnutí dřeva má sluneční záření a voda (srážky a vlhkost). [18]

Degradaci dřeva urychlují také atmosférické vlivy. Vlivný je například SO_2 (oxid siřičitý) a NO_x (oxidy dusíku). [18]

1.8.1 Sluneční záření

Sluneční záření, především pak jeho krátkovlnná, vysoce energetická složka, má rozhodující vliv na stárnutí povrchu dřeva a degradaci dřevní hmoty. UV záření se svojí vlnovou délkou max. 75 mikrometru proniká do menší hloubky dřeva než viditelné záření (až do 200 mikrometru) a rovněž se na povrchu absorbuje. Lignin však rychleji degraduje než celulóza. Současně s tím klesá i pevnost v tahu dřeva. [19]

Při dalším působení záření se bude barva povrchu dřeva přibližovat přírodní barvě celulózy (stříbrně bílá) a postupem času se dostaví nevyhnutelné znečištění, což způsobí typické šedé zbarvení dřeva. S postupujícím časem vystavení dřeva účinkům světla se zešednutí zintenzivňuje, což je způsobeno přítomností mikroorganismů. Různé druhy dřeva, např. smrk,

modřín a dub vykazují při zešednutí jen menší barevné rozdíly, které nejsou na první pohled patrné. [19]

U dřeva, které je vystavené slunečnímu záření, dochází k zvyšování teploty povrchu. U světlého dřeva je to až na 40 °C a u dřeva tmavého pak až na 80 °C. Dřevo má navíc nízkou tepelnou vodivost, což urychluje vznik různě velkých trhlin. U smrku, modřínu a borovice dochází k výronu pryskyřice. Zvýšená teplota také urychluje chemické degradační procesy v povrchových vrstvách dřeva. [18]

1.8.2 Voda

Kapalná voda (dešťová voda, rosa, tající sníh) nebo vodní pára mají schopnost snadno pronikat povrchovou vrstvou dřeva až do jeho buněčných stěn. Tím je způsobena změna obsahu vlhkosti. Při zvýšení obsahu vázané vody (sorpci) zvětšuje dřevo svůj objem, naopak při desorbci se smršťuje. S tím úzce souvisí situace, kdy může dojít k rozdílnému obsahu vlhkosti na povrchu a uvnitř dřeva a tím ke vzniku napětí, které způsobuje praskliny. V důsledku prasklin dochází k deformacím dřeva a zdrsněním jeho povrchu. [18]

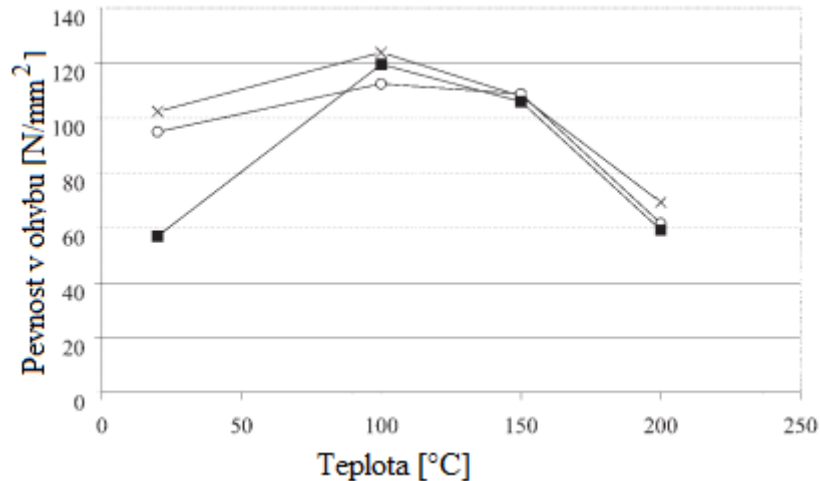
Biodegradaci dřeva nepřímo způsobuje také led. Ten vytváří trhliny ve dřevě, které jsou důsledkem zvětšení původního objemu vody. Trhliny se vytvářejí ve dřevě s vysokým obsahem nevázané vody, která je ve dřevě nerovnoměrně rozložena. Vzniklými trhlinami se do dřeva dostávají houby a dřevokazný hmyz způsobující biodegradaci. [18]

1.9 Vliv teploty a vlhkosti na mechanické a optické vlastnosti

Ukrajinská státní univerzita Lesnická a dřevařská a Švýcarský federální technologický institut provedli studii [20], ve které zkoumali vliv zvýšené teploty a vlhkosti na optické a mechanické změny vlastností smrkového dřeva.

Výsledky ukazují, že tepelné zpracování smrkového dřeva za teploty přibližně 200 °C má za následek ztmavnutí dřeva a zlepšení jeho rozměrové stability při snížení mechanických vlastností. Pokles pevnosti v ohybu byl asi 44-50 %, přičemž modul pružnosti se snížil jen o 4-9 %. Pokud jde o barevné reakce, bylo zjištěno, že relativní vlhkost vzduchu nemá na změnu podstatný vliv. Dále byla zjištěna silná korelace celkového rozdílu barev a jak modulu pružnosti, tak i pevnosti v ohybu. Z toho vyplývá, že změnu barevných parametrů lze použít ke kvalitativnímu odhadu změn mechanických vlastností dřeva. [20]

Pevnost v ohybu smrkového dřeva se snížila o téměř 50 %, zatímco teplota zpracování tohoto dřeva se zvýšila ze 100 °C na 200 °C. Nejvyšší hodnoty pevnosti v ohybu bylo dosaženo při teplotě zpracování 100 °C. Se zvyšováním teploty nad tuto hodnotu docházelo ke snižování pevnosti v ohybu, viz Obr. 13. [20]



Obr. 13. Vliv teploty tepelného zpracování na pevnosti v ohybu smrkového dřeva při různé relativní vlhkosti.

×: RV = 35 %; ○: RV = 65 %; ■: RV = 95 %. [20]

Vysoká teplota má významný vliv nejen na barevné skvrny, ale i na rozměrovou stabilitu a mechanické vlastnosti smrkového dřeva. Tepelným zpracováním při teplotě 200 °C bylo dosaženo ztmavnutí a zarudnutí zkušebního dřeva. Dřevo vystavené vysoké teplotě bobtná méně než dřevo tepelně neupravené. Vlivem poklesu hodnot u trojbodového ohybu se zdá, že závisí na době trvání zahřívání. Teplota zpracování má silnější účinek na pevnost v ohybu, než na modul pružnosti. [20]

2 OCHRANA DŘEVA

Je známo několik způsobů ochrany dřeva. Jak je uvedeno výše, dřevo může být napadeno a poškozeno dřevokaznými houbami, dřevokazným hmyzem apod. Z tohoto důvodu je důležité dřevo chránit, aby nebyly narušeny jeho užité vlastnosti. Nejznámějším způsobem ošetření je chemická ochrana, která by však měla v úvahu přicházet až jako poslední varianta po vyčerpání ostatních možností. [21]

Způsoby ochrany dřeva se dělí na:

- konstrukční ochrana dřeva (voda, zvýšená vlhkost),
- chemická ochrana:
 - proti povětrnosti (nátěrové hmoty bez biocidů),
 - proti biotickým činitelům (ochranné prostředky a nátěrové hmoty s obsahem biocidů),
 - proti ohni (snížená reakce na oheň, požární odolnost),
- jiný způsob ochrany:
 - tepelná úprava dřeva,
 - sušení dřeva (likvidace biotických činitelů),
- ochrana zářením (mikrovolnné záření, UV záření, radioizotopy). [21]

2.1 Konstrukční ochrana

Konstrukční ochranou dřeva se rozumí soubor technických a konstrukčních opatření, která vedou k ochraně dřeva před povětrnostními vlivy a možným zvýšením vlhkosti, což může mít následek v podobě dřevokazných hub. [21]

2.2 Chemická ochrana

Chemická ochrana dřeva se provádí za použití nátěrových hmot nebo ochranných prostředků na dřevo. Tato ochrana může být preventivní, nebo likvidační. Preventivní ochranou se rozumí ochrana proti ohni, povětrnostním vlivům či biotickým činitelům, což mohou být například dřevokazné houby a dřevokazný hmyz. Likvidační ochrana může být použita pouze k likvidaci dřevokazného hmyzu a plísním. [21]

3 TĚŽBA DŘEVA

Cílem těžby je zvýšení stability, odolnosti a druhové rozmanitosti lesa. Důraz je kladen na obnovu lesa novými, odolnějšími, kvalitnějšími a druhově pestřejšími lesními porosty. Při těžbě dochází k odstranění stromů nemocných, poškozených či napadených různými škůdci. [22]

V rámci rozdělení se těžba dělí na:

- těžbu úmyslnou – řádná (mýtní, předmýtní) a mimořádná,
- těžbu nahodilou. [14]

Mýtní těžbou se rozumí pravidelná, každoroční udržitelná těžba. Předmýtní těžba je těžební zásah v porostu do 60 let. Mimořádnou těžbou dochází k překročení schváleného vytěžitelného množství dřeva a děje se tak na zvláštní povolení. [14]

Nahodilou těžbou se získává dřevo kalamitní. Tím se rozumí dřevo z vývrátů, polomů a jinak poškozených stromů. [14]

3.1 Průběh těžby

Celkový průběh těžby dřeva je logisticky náročný proces a zahrnuje mnoho dílčích činností, konkrétně se jedná o následující:

- přípravné práce,
- kácení,
- odvětfování,
- odkorňování,
- štípání,
- třídění a ukládání,
- skladování,
- doprava. [14]

4 POLYMERACE

Polymerace je taková chemická reakce, při které dochází k tvorbě vysokomolekulárních látek (polymerů) z nízkomolekulárních látek (monomerů).

4.1 Polykondenzace

Polykondenzace je stupňovitou polymerací. Jedná se o postupnou kondenzaci monomerů a oligomerů. [24]

Vznik dočasně velkých (jsou-li lineární – dlouhých), definovaných makromolekul je podmíněn jednoznačností reakcí, kterými vznikají. Výchozí nízkomolekulární sloučeniny (monomery) musí být dostatečně stálé vůči agresivním vlivům okolí a jejich kondenzace schopné funkční skupiny naopak reaktivní. Ovšem jen právě potřebnou reakcí – reakce vedlejší musí být prakticky eliminovány. Vlastnosti makromolekul jsou velmi citlivou funkcí strukturního uspořádání, zdánlivě nepatrné defekty vlastností silně ovlivní (zvláště u makromolekul lineárních, makromolekulární sítě jsou méně senzitivní). Každá ze stovek (eventuálně tisíců) kondenzací vytvářejících makromolekulu musí být tedy jednoznačná a její chemismus totožný. Ne každá skupina ochotná kondenzovat je tedy pro makromolekulární syntézy vhodná. Těch vhodných je však dostatečný počet v dostatečném výběru. [24]

Zjednodušeně lze říci, že polykondenzace je reakce, při níž se spojují 2 molekuly dohromady a mimo výsledný polymer se ještě uvolňuje malá molekula (H_2O , NH_3 , CH_3OH). Právě odštěpením těchto molekul je umožněno vytvořit nové vazby mezi monomery.

4.1.1 Polykondenzující monomery

Vznik polymeru polykondenzací je zřejmě podmíněn existencí nejméně dvou kondenzace schopných skupin. Lineární makromolekuly vzniknou z monomerů s právě jen dvěma funkčními skupinami. [24]

4.1.2 Polykondenzační rovnováhy

Kondenzace je vratná reakce. Při výstavbě makromolekul je existence zpětného kroku zvláště významná – je omezujícím faktorem pro vznik dostatečně dlouhých (velkých) makromolekul. A to jak odštěpováním monomerních jednotek z rostoucích konců, tak – hlavně – možností drobení řetězců štěpením vazeb jejich páteří. Důsledky existence rovnováh lze popsat jednoduchými rovnicemi. Když vyšetříme hodnoty veličin, z nichž se ony rovnice

skládají, můžeme výpočtem odvodit podmínky vzniku produktu žadáných vlastností. Nejdůležitějším parametrem, který ovlivní všechny vlastnosti polykondenzátu, je jeho polymerační stupeň. [24]

Je to zvláště významné pro syntézu lineárních makromolekul kondenzací monomerů, z nichž každý nese dvě funkční skupiny. Vícefunkční monomery vytvoří obvykle trojrozměrnou síť z celé monomerní násady a počet nezreagovaných funkčních skupin ovlivní hustotu sítě, ne však její rozměry. Délka lineárních makromolekul je naproti tomu citlivou záležitostí (relativního) počtu zreagovaných funkčních skupin. [24]

4.2 Polyadice

Polyadice, stejně jako polykondenzace, je stupňovitá polyreakce. Na rozdíl od ní se však při spojování monomerních jednotek neuvolňuje nízkomolekulární sloučenina. Při reakci funkčních skupin zúčastněných monomerů dochází k charakteristickému přesunu atomu vodíku z funkční skupiny jednoho typu na heteroatom funkční skupiny druhého typu. Tímto způsobem vzniká nový typ chemické vazby, elementární složení reakčního produktu je pochopitelně shodné se složením výchozí směsi monomerů. Podobně jako u polykondenzace se předpokládá stejná reaktivita funkčních skupin v monomerech, v oligomerech vzniklých jejich spojením i v polymerních produktech. Rovnováha polyadičních reakcí je za obvyklých reakčních podmínek výrazně posunuta ve prospěch vznikajících produktů a zpravidla se tedy neuvažuje reakce zpětná. [24]

V porovnání s polykondenzací je počet významných a prakticky využitelných polyadičních reakcí jednoznačně menší. K nejdůležitějším patří syntéza polyuretanu a epoxidových pryskyřic.

4.2.1 Polyuretany

Základem syntézy polyuretanů je adice diisokyanátu na dvoj- nebo vícefunkční alkoholy za vzniku karbamátové (uretanové) vazby. [24]

Isokyanáty velmi snadno reagují se všemi sloučeninami, které obsahují aktivní vodík, např. s vodou, alkoholy, či karboxylovými kyselinami apod. Hlavní růstová reakce je proto doprovázena řadou vedlejších reakcí, z nichž některé se cíleně využívají při výrobě určitých typů polyuretanů. [24]

4.2.2 Epoxidové pryskyřice

Epoxidové pryskyřice jsou produktem sesíťování relativně nízkomolekulárních epoxidových prepolymerů obsahujících alespoň dvě oxiranové skupiny. Pro vytvrzení epoxidových polymerů se využívají reakce koncových oxiranových skupin i hydroxylových skupin s různými vícefunkčními sloučeninami. Jedním z nejobvyklejších způsobů je adice oxiranových skupin na polyaminy. Pro vznik sesíťované struktury je nezbytné, aby použitý polyamin obsahoval v molekule minimálně tři aktivní atomy vodíku. Často se používá např. diethylen-triamin. [24]

5 STABILIZACE

Stabilizací dřevo prakticky zvěčníme. Nezáleží, jestli se před tímto procesem nachází ve stavu suchém, zchřadlém, nebo napadeném houbami. Proces stabilizace se provádí ve vakuu za vysokých teplot a tlaků, kdy se do mikrostruktury dřeva vtlačuje pryskyřice. Dřevo se nejprve vloží do velké nádoby s pryskyřicí. Z této nádoby se odčerpá vzduch, a tak se odstraní malé bublinky z pórů. Když přestane pryskyřice pěnit, tlak v nádobě se opět zvýší, aby se pryskyřicí prosytil celý objem dřeva. Tímto postupem mohou i méně kvalitní dřeviny získat velmi dobrou hustotu a vlastnosti srovnatelné s tropickými dřevy. [25]

V průběhu procesu lze do stabilizační pryskyřice přidat speciální pigmenty, které zbarví stabilizované dřevo do takových odstínů, ve kterých se běžně v přírodě nevyskytují. Takto zpracované dřevo se těší své oblibě u výrobců nožů, kulečnickových tág, šperkařů a výrobců luxusních per. Využití jej lze též na pažby zbraní. [25]

Vlivem stabilizace si dřevo zachová estetickou krásu a zdůrazní se jeho kresba. Takové dřevo lze samozřejmě vyleštit do vysokého lesku. Takto upravené dřevo má také velmi dobrou odolnost vůči vlhkosti a parazitům. Udávaná nasákavost se pohybuje maximálně do 1,8 %. Mezi další výhody stabilizace patří odstranění vnitřního pnutí dřeva, zvýšení hmotnosti, zpevnění a zvýšení odolnosti vůči mechanickému namáhání. Z tohoto důvodu je možné použít i dřevo napadené škůdci, hnilobou či trouchnivějící dřevo. Za normálních podmínek by takto poškozené dřevo bylo jen stěží použitelné, ale díky stabilizaci se z něj stane vyhledávaný kus, neboť je pro spoustu lidí zajímavější a více estetické než zdravé dřevo. [26]

5.1 Účinky stabilizace na dřevo

1. zvýší se hmotnost stabilizovaného špalíku o 20 - 150%. Děje se tak vlivem pryskyřice, která se dostane do dutin dřeva, záleží tedy na druhu a stavu dřeva (porézní dřevo jako javor přijme více pryskyřice než husté a tvrdé dřevo jako např. Eben). [25]

2. Dojde ke zpevnění a zvýšení tvrdosti materiálu. Velmi výrazným způsobem se sníží možnost, že dřevo bude dále pracovat. Další výhodou je také zvýšení odolnosti proti vlhkosti a vodě. [25]

3. Nasákavost stabilizovaného dřeva je velmi nízká - do cca 2%. Nasákavost je závislá na druhu stabilizovaného dřeva a objemu pryskyřice, který pojme. [25]

4. Dojde k uvolnění napětí ve dřevě a k minimalizaci nebezpečí, že vlivem okolních podmínek dojde k jeho deformaci a sesychání. [25]

5.2 Jaké dřevo lze stabilizovat

Obecně lze konstatovat, že nejlepší dřeviny ke stabilizaci jsou ty měkké, popřípadě dřeva napadená hnilobou a houbami. Je to z důvodu, kdy pojmu velké množství pryskyřice. Naopak některé druhy dřevin lze stabilizovat jen velmi obtížně. Jedná se zejména o dřeviny s vysokým obsahem pryskyřic či olejů - např. oliva nebo vysoce tvrdá dřeva. U tvrdých druhů dřev je vysoká hustota vláken a tím méně prostoru kam může při stabilizaci pryskyřice vniknout. Hustá vlákna slouží také jako filtr a při stabilizaci barevnou pryskyřicí se barva přes tato vlákna přefiltruje. Do hlubších vrstev dřeva se tedy dostane jen čistá pryskyřice bez pigmentu a nedojde tak k probarvení do hloubky jako u měkčích dřevin. [25]

5.3 Čím lze stabilizovat

Pro stabilizaci dřeva se obecně používají různé typy polymerů, kdy určují pro daný typ právě budoucí využití stabilizovaného dřeva. Velmi často se používá pro stabilizaci dřeva metakrylát, tj. monomer, který snadno tvoří polymery, jelikož jeho dvojité vazby jsou velmi reaktivní, nebo například různé termosetické pryskyřice. [16]

5.4 Princip stabilizace

Proces stabilizace dřeva probíhá na molekulární úrovni. Dřevo má dvě základní součásti a těmi jsou stěny buněk a prostor uvnitř buněk. Buňky živého stromu ukládají a transportují vodu a živiny. Pokud strom uschne, odstraněná vlhkost zanechá mikroskopický prostor uvnitř těchto buněk prázdný. Právě tento volný prostor je využíván při stabilizaci. [16]

Při stabilizaci dojde k vyplnění tohoto prostoru stabilizační pryskyřicí. Následně dojde vlivem zahřívání k chemické reakci a vytvrzení pryskyřice. Aby byla stabilizace dostatečně účinná, je nutné mít stabilizační pryskyřici s nízkou viskozitou, která umožní vyplnit volné prostory. [16]

Monomer se smíchá s katalyzátorem předtím, než je umístěn do vakuové komory a než je započat proces prosycení dřeva. Katalyzovaný monomer zůstává tekutý, dokud není vystaven teplu, kdy katalyzátor zahájí reakci a převede monomer na komplexní řetězce polymeru, které jsou spojeny v celém ošetřovaném dřevu. [16]

5.5 Zpracování stabilizovaného dřeva

Stabilizované dřevo se zpracovává stejnými metodami jako dřevo nestabilizované - řezání, frézování, soustružení, pilování, vrtání, broušení, leštění atd. Rozdíl spočívá v procesních podmínkách, kdy se stabilizované dřevo nesmí přehřát - teplota materiálu by při opracování neměla přesáhnout 150 °C z důvodu obsahu pryskyřice, na kterou tato teplota působí negativně a může dojít ke změknutí a zalepení nástroje, či degradace povrchu stabilizovaného materiálu. Proces stabilizace zvýší tvrdost dřeva a zaplní část otevřených pórů v jeho struktuře. Díky tomu lze u stabilizovaného dřeva získat kvalitnější povrch než u neošetřeného. [26]

5.6 Aplikace stabilizovaného dřeva

Možnosti použití stabilizovaného dřeva stále přibývají. Standardně jej používají nožíři pro rukojeti nožů, další uplatnění lze najít u pažeb zbraní. V dnešní době však stabilizované dřevo stále častěji nachází uplatnění i jako designový prvek. Ať už jde o výrobu prstenů, náušnic a dalších drobných šperků, nebo o nábytek, především pak stoly.



Obr. 14. Příklady použití stabilizovaného dřeva u designových výrobků. [27]

6 SHRUTÍ TEORETICKÉ ČÁSTI

Teoretická část si kladla za úkol popsat dílčí části procesu zpracování dřeva, od jeho růstu až po stabilizaci.

V první části jsou popsány vlastnosti a charakteristické znaky dřeva, jakožto nehomogenního materiálu. Předložena jsou fakta, která vedou k lepšímu pochopení struktury dřeva, jeho fyzikálních a mechanických vlastností, vzniku a charakteru vad a s tím související degradace.

Další kapitola úzce souvisí s první, když dává na vědomí způsoby ochrany stromu a dřeva před negativními vlivy a škůdci. Pro účely stabilizace se s výhodou používá i dřevo poškozené, ale z hlediska ekologie je důležité předcházet poničení stromu a tím i jeho předčasnému kácení. Následujících několik řádků vede k seznámení s těžbou dřeva.

Následuje popis polykondenzace a polyadice, což jsou stupňovité polymerace. Polymerace se správným průběhem je nezbytnou součástí procesu stabilizace dřeva. Výsledkem polymerace je totiž spojení monomerů (malé molekuly) do polymerů (vysokomolekulární látky).

Teoretickou část uzavírá kapitola, ve které je popsána stabilizace – její princip, přínos i výsledky, kterých lze dosáhnout.

II. PRAKTICKÁ ČÁST

7 CÍLE DIPLOMOVÉ PRÁCE

Cílem této diplomové práce je:

1. Stabilizace dřeva - stabilizování pomocí stabilizační pryskyřice JATAPOL WR90⁽¹⁾ a JATAPOL WR90N⁽²⁾.
2. Zkoušení a srovnání vlastností dřev před stabilizací a po stabilizaci.
 - Vzorčky dřeva budou podrobeny mechanickému namáhání při stanovení tvrdosti vtlačováním hrotu tvrdoměru Shore D, instrumentované rázové zkoušce a zkoušce tříbodovým ohybem.
 - U vzorků dřeva bude zkoumána UV odolnost spolu s indexem žlutosti.
 - Stabilizační pryskyřice bude podrobena reologické zkoušce s ohledem na její vytvrzování.
3. Analýza a vyhodnocení naměřených dat.

Pozn. 1. a 2. – Přesné složení stabilizačních pryskyřic JATAPOL WR90 a JATAPOL WR90N není známo z důvodu „výrobního tajemství“. Dle vyjádření výrobce došlo u stabilizační pryskyřice JATAPOL WR90N k „mírné inovaci receptury“. Tato inovovaná receptura má stejnou vytvrzovací teplotu jako její předchůdce JATAPOL WR90. S tím souvisí i stejná viskozita u obou stabilizačních pryskyřic.

8 STABILIZACE DŘEVA V DOMÁCÍCH PODMÍNKÁCH

Stabilizované dřevo, jak již bylo zmíněno v teoretické části této diplomové práce, má velké uplatnění především při použití na rukojeti nožů a také další, častěji spíše drobné designové prvky. Obvyklým limitem pro tvorbu stabilizovaného dřeva jsou jeho rozměry a cena. Rozměrově jsme limitováni velikostí vakuové komory a někdy i velikostí pece, což je ale méně časté. Cenová omezení vyvstávají na povrch vlivem vysoké pořizovací ceny stabilizační pryskyřice. Průměrně jeden špalík o rozměrech 30 x 40 x 125 mm pojme přibližně 100 g pryskyřice, tudíž z 1 litru lze vyrobit cca 10 špalíků. S přihlédnutím k ceně stabilizační pryskyřice (1 l stojí cca 600 – 800 Kč) je jasné, proč je ke stabilizaci častěji používáno malých špalíků.

Jak název kapitoly naznačuje, stabilizaci lze provádět nejen v provozech tomu určených, ale i v domácích podmínkách. Ke stabilizaci vzorků dřeva určených pro potřeby diplomové práce byly použity níže uvedené položky:

- materiál určený ke stabilizaci,
- komora schopná udržet podtlak,
- vakuové čerpadlo,
- vytvrzovací pec,
- závaží k udržení dřeva u dna,
- hliníková fólie,
- osobní ochranné prostředky.

8.1 Příprava dřevěných polotovarů

Pro potřeby stabilizace je nutné mít suché dřevo, které musí mít obsah vlhkosti nižší než 10 %. Docílit tohoto stavu lze několika způsoby. Jedním ze způsobů je použití horkovzdušné sušárny, další možností je sušička ovoce, jejíž použití je zdlouhavější. Kontrolovat obsah vlhkosti ve dřevě lze za pomoci běžných, komerčně dostupných měřičů vlhkosti dřeva. Po vysušení je důležité vložit dřevo do vzduchotěsné nádoby a tam jej nechat zchladit. Horké dřevo by způsobilo předčasnou polymeraci, což je nežádoucí.

8.2 Prosyčení dřeva pryskyřicí

Dřevěný polotovár se ponoří do pryskyřice smíchané s aktivátorem a zatíží se tak, aby dřevo zůstalo plně ponořené a pryskyřice se mohla dostat do celého objemu dřeva.



Obr. 15. Zatížení dřevěných polotovarů

Následně je takto připravené dřevo i s nádobou vloženo do vakuové komory a po uzavření je zahájeno odsávání vzduchu. Podtlak je nutné držet do doby, než na povrch pryskyřice přestanou vyplouvat bublinky vzduchu. Dále se pomalu přejde k aplikaci přetlaku. U každé sady vzorků byl při jejich přípravě držen podtlak 0,85 bar po dobu 30 minut, následovaný přetlakem 2,5 bar po dobu 30 minut. Tento proces se dělá z důvodu, aby se ze dřeva odsál vzduch a poté se do dřeva natlačilo co největší množství pryskyřice.

8.3 Vytvrzení

Před vložením dřeva do vytvrzovací pece se špalíky zabalí do hliníkové fólie. Vytvrzování probíhá za zvýšených teplot, v případě stabilizační pryskyřice JATAPOL WR90 a JATAPOL WR90N použitých pro potřeby této diplomové práce se jedná o rozsah 80 – 85 °C. Zde je důležité udržovat teplotu právě ve stanoveném rozmezí, jelikož při nižší

teplotě nedojde k polymerizaci a při teplotě vyšší dojde k překročení bodu varu pryskyřice. Je také vhodné pamatovat na fakt, že při polymeraci vzniká teplo (exotermní reakce) a proto je žádoucí použít čidlo snímající teplotu mezi špalíky. Doba setrvání špalíků v peci, nebo horkovzdušné troubě je pro výše zmíněné pryskyřice 120 minut.

8.4 Kontrola

Vzorky byly váženy před prosycováním stabilizační pryskyřicí a poté znovu po prosycení. Dělo se tak z důvodu zjištění nasákavosti stabilizovaných druhů dřev. Po stabilizaci byly špalíčky řezány z důvodu kontroly úspěšnosti stabilizace a především pak za účelem úpravy rozměrů.

Tab. 1. Průměrný rozdíl hmotnosti dřeva před a po prosycení pryskyřicí

Dřevo	Průměrný rozdíl hmotnosti [g]
Ořešák + WR90	13,4
Ořešák + WR90N	13,9
Smrk + WR90	15,7
Smrk + WR90N	17,7
Modřín + WR90N	0,5

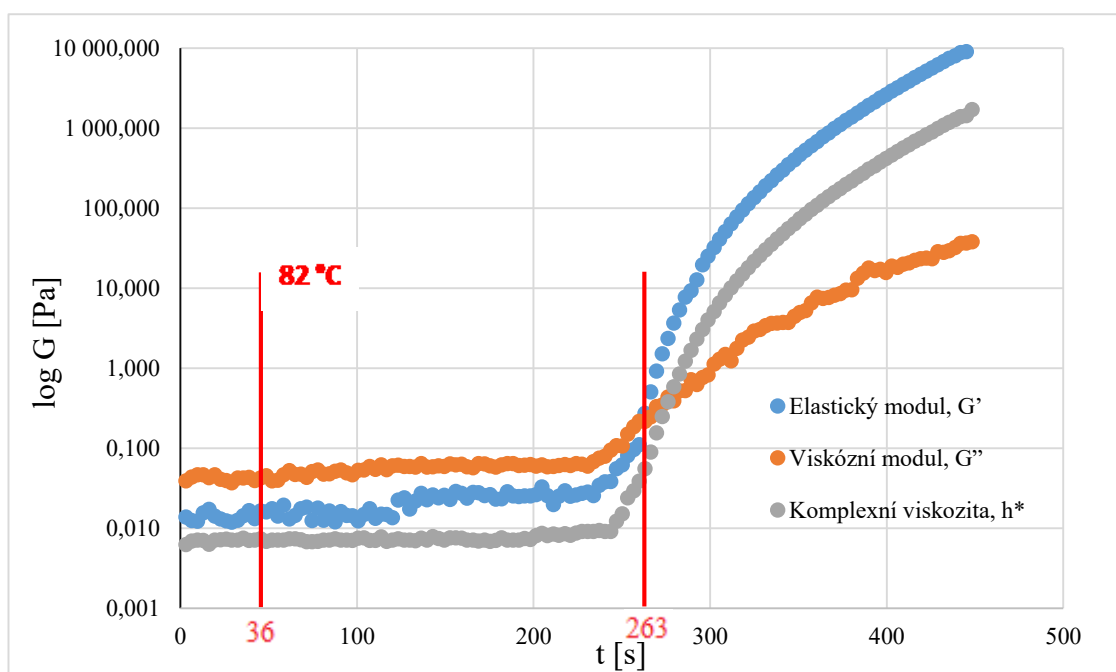
Z důvodu ověření správného prosycení dřeva modřínu stabilizační pryskyřicí byly vzaty nové vzorky tohoto dřeva a proces sycení byl uskutečněn znovu. Avšak i toto poukázalo na nízkou schopnost dřeva modřínu přijmout stabilizační pryskyřici do svého objemu.

9 ZKOUŠKA REOLOGICKÝCH VLASTNOSTÍ

Zkouška byla provedena na rotačním viskozimetru Bohlin Instruments – Gemini Advanced Rheometer.

Stabilizační pryskyřice JATAPOL WR90N byla testována při oscilačním režimu reometru, kde byly zjišťovány její viskoelastické vlastnosti. Druhá stabilizační pryskyřice použitá pro potřeby této diplomové práce – JATAPOL WR90 nebyla testována z důvodu, kdy již nebyla k dispozici. Ovšem dle vyjádření výrobce její chování má být téměř shodné se stabilizační pryskyřicí JATAPOL WR90N.

Samotné měření probíhalo při konstantní deformaci 0,0005 %, která se nachází v oblasti lineární viskoelasticity, a frekvenci 1 Hz pomocí geometrie deska-deska, kdy vzdálenost mezi deskami, a tedy i výška smýkaného materiálu, byla nastavena na 0,5 mm.



Obr. 16. Proces vytvrzování stabilizační pryskyřice JATAPOL WR90N

Zkouška započala při teplotě 60 °C a to z důvodu potlačení možné síťovací reakce před započítáním samotného vyhodnocování viskoelastických dat a zároveň vyšší viskozity materiálu odrážející se v pohodlném zaplnění měřící geometrie. Vytvrzovací teploty 82 °C bylo dosaženo po 36 s od započetí zkoušky. Z počátku byl viskózní modul vyšší než modul elastický, což poukazuje na viskózní charakter systému. Avšak jak Obr. 16. ukazuje, tento stav se stal po 263 s od počátku měření neplatný a vlivem procesu tvorby chemických vazeb začal elastický modul nabývat vyšších hodnot, než modul viskózní. Z naměřených hodnot tedy plyne, že k zesíťování reaktoplastu došlo po 263 s od započetí měření, respektive 227 s od

dosažení teploty 82 °C, což je přibližný střed rozmezí teplot vytvrzování, udávaný výrobcem (80 – 85 °C). Takto krátké vytvrzovací doby bylo dosaženo z důvodu tenké vrstvy, která byla navíc přímo v kontaktu s vyhřívanou geometrií. V praktických podmínkách je teplo potřebné k reakci dodáváno pouze konvekcí a navíc je nutný prostup skrze dřevěné špalíky, a lze tedy očekávat výrazně delší dobu potřebnou k dostatečnému proreagování pryskyřice.

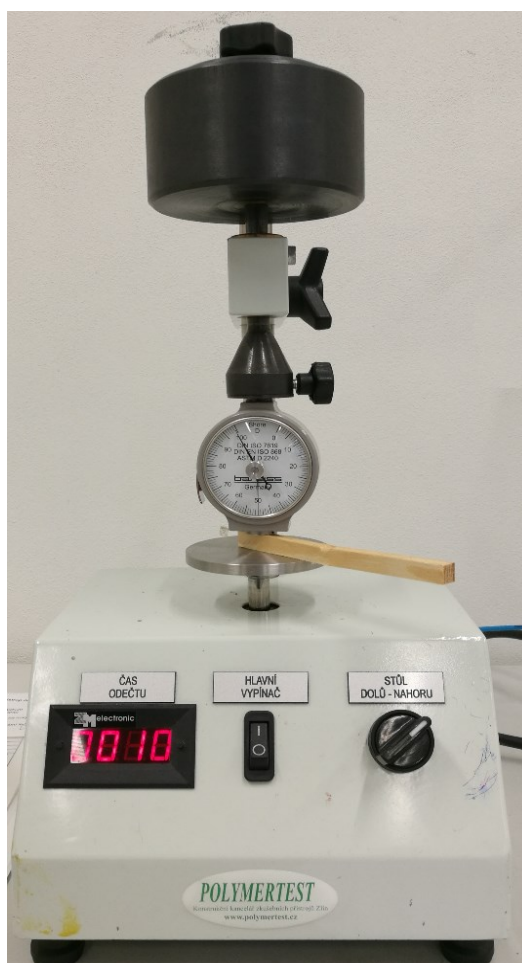
10 ZKOUŠKA TVRDOSTI METODOU SHORE D

Vzorky dřeva byly podrobeny zkoušce tvrdosti vlačováním zkušebního hrotu Shore D. Po přitlačení měřicí hlavy a působení přitlačné síly v době trvání 15 s došlo k odečtení tvrdosti z displeje přístroje, totéž se poté opakovalo v jiné části zkušebního vzorku. Celkem bylo naměřeno 10 hodnot na 5 vzorcích pro jednotlivé typy dřev.

Stanovení tvrdosti vlačováním hrotu tvrdoměru Shore D bylo provedeno za okolní teploty 22 °C a relativní vlhkosti vzduchu 65 % dne 11. 3. 2019.

Stanovení tvrdosti vlačováním hrotu tvrdoměru Shore D bylo provedeno v souladu s normou ČSN EN ISO 868 [30].

Vzorky byly před zkouškou kondicionovány v sušicím zařízení Climacell dle požadavků normy ČSN EN 408 + A1 [31] na teplotu 22 °C a relativní vlhkost vzduchu 65 %.



Obr. 17. Měřicí zařízení – tvrdost Shore D

Tab. 2. Zkušební zařízení a jeho metrologická návaznost pro zkoušku tvrdosti Shore D

Zkušební zařízení, měřidlo	Specifikace
Digitální úchylkoměr Mitutoyo 543-394B, ID-C112CXB	Rozsah: 0 - 12,7 mm Rozlišení: 0,001 mm Přesnost: 0,003 mm
Stojánek s tvrdoměrem Polymertest, měřicí hlava Shore D	Zatěžující stíla – 50 N (5,098 kg) Čas působení přitlačné síly – 15 s

10.1 Zkouška tvrdosti Shore D dřeva ořešáku

Zkoušce byly podrobeny 3 druhy vzorků. Jednalo se o dřevo ořešáku vlašského, které doplnily stabilizované vzorky téhož dřeva stabilizované stabilizační pryskyřicí JATAPOL WR90 a JATAPOL WR90N

10.1.1 Výsledky zkoušek

Tab. 3. Naměřené hodnoty tvrdosti Shore D (ořešák).

Číslo vzorku	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	\bar{x}	s
Ořešák	57	59	57	58	57	60	62	61	58	56	59	2
Ořešák + WR90	75	73	72	65	67	70	68	63	65	69	69	4
Ořešák + WR90N	68	67	65	71	74	70	71	73	75	71	71	3

Z naměřených hodnot je zřejmé, že stabilizace zvýšila tvrdost zkoumaného vzorku dřeva ořešáku. U vzorku dřeva ořešáku stabilizovaného stabilizační pryskyřicí JATAPOL WR90 došlo k navýšení průměrné hodnoty tvrdosti o 17,5 %, u dřeva Ořešáku stabilizovaného stabilizační pryskyřicí JATAPOL WR90N došlo k navýšení průměrné hodnoty tvrdosti dokonce o 20,5 %.

Stabilizace se dá hodnotit pozitivně s ohledem na zvýšení tvrdosti. Stabilizační pryskyřicí JATAPOL WR90N bylo dosaženo vyšší hodnoty tvrdosti a procesní podmínky stabilizace zůstaly nezměněny, tudíž lze toto zvýšení průměrné tvrdosti přisuzovat změnám v receptuře.

10.2 Zkouška tvrdosti Shore D dřeva smrku

10.2.1 Výsledky zkoušek

Tab. 4. Naměřené hodnoty tvrdosti Shore D (smrk).

Číslo vzorku	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	\bar{x}	s
Smrk	41	44	45	48	46	44	38	40	46	48	44	3
Smrk + WR90	51	44	45	48	46	53	49	50	46	48	48	3
Smrk + WR90N	42	50	48	42	49	45	48	43	46	48	46	3

V případě dřeva smrku je po jeho stabilizaci opět patrný nárůst tvrdosti. Ovšem po výpočtu procentuálního zvýšení tvrdosti a srovnání tohoto s ostatními stabilizovanými dřevy se ukazuje vliv stabilizace na průměrnou tvrdost méně významný (obdobně jako pro druhý typ měkkého dřeva viz níže). Smrkové dřevo se stabilizační pryskyřicí JATAPOL WR90 zaznamenalo zvýšení průměrné hodnoty tvrdosti o 9,1 % a totéž dřevo se stabilizační pryskyřicí JATAPOL WR90N pouze 4,8 %.

Jinými slovy lze říci, že výsledné průměrné hodnoty tvrdosti i v případě dřeva smrku ukazují její zvýšení, avšak toto zvýšení je v absolutní hodnotě i procentuálně nižší, než je tomu u dřeva ořešáku.

10.3 Zkouška tvrdosti Shore D dřeva modřínu

Zkoušce byly podrobeny 2 druhy vzorků. Jednalo se o dřevo modřínu, které doplnily stabilizované vzorky téhož dřeva napuštěné stabilizační pryskyřicí JATAPOL WR90N.

10.3.1 Výsledky zkoušek

Tab. 5. Zkouška tvrdosti Shore D (modřín).

Číslo vzorku	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	\bar{x}	s
Modřín	35	35	37	39	35	36	32	33	34	32	35	2
Modřín+ WR90N	38	36	36	40	37	38	34	38	38	41	38	2

Stabilizací dřeva modřínu došlo k nárůstu průměrné hodnoty tvrdosti povrchu o 8,1 %. Teoreticky by dřevo modřínu mělo mít vyšší tvrdost, než dřevo smrku [23], praktické měření

konkrétních vzorků však ukázalo opak. K přesnému popisu důvodu, proč tomu tak je, bylo nutné provést výzkum velkého množství vzorků s různým stářím stromů.

Výsledná průměrná hodnota zvýšení tvrdosti dřeva modřínu po jeho stabilizaci stabilizační pryskyřicí JATAPOL WR90N je také výrazně nižší, než je tomu v případě dřeva ořešáku. Vysvětlením může být špatná nasákavost tohoto dřeva [29] a tím pádem následný nižší obsah stabilizační pryskyřice v jeho objemu.

11 RÁZOVÁ ZKOUŠKA

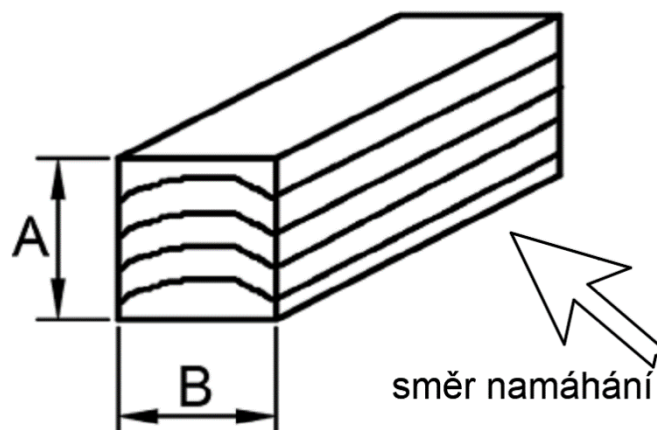
Instrumentovaná rázová zkouška byla provedena za okolní teploty 22 °C a relativní vlhkosti vzduchu 65 % ve dnech 8. 3. 2019 a 11. 3. 2019

Instrumentovaná rázová zkouška byla provedena v souladu s normou ČSN EN ISO 179-2 [32] s využitím kladiva 15 J.

Vzorky byly před zkouškou kondicionovány v sušicím zařízení Climacell dle požadavků normy ČSN EN 408 + A1[31] na teplotu 22 °C a relativní vlhkost vzduchu 65 %.



Obr. 18. Měřicí zařízení Izod Pendulum Impact Tester 2.75 J



Obr. 19. Způsob měření vzorků při rázové zkoušce

Tab. 6. Zkušební zařízení a jeho metrologická návaznost pro rázovou zkoušku

Zkušební zařízení, měřidlo	Specifikace
Digitální úchylkoměr Mitutoyo 543-394B, ID-C112CXB	rozsah: 0 – 12,7 mm rozlišení: 0,001 mm přesnost: 0,003 mm
Izod Pendulum Impact Tester 2.75 J	rozpětí mezi podpěrami: 64 mm kladivo: 15 J

11.1 Zkouška rázové houževnatosti dřeva ořešáku

Zkoušce byly podrobeny 3 druhy vzorků. Jednalo se o dřevo ořešáku a stabilizované vzorky téhož dřeva napuštěné stabilizační pryskyřicí JATAPOL WR90 a JATAPOL WR90N.

11.1.1 Výsledky zkoušek

Při instrumentované rázové zkoušce byly zjišťovány hodnoty energie při přeražení W_B [KVJ] a hodnoty rázové energie a_c [J/cm²], vztažené na počáteční průřez.

Tab. 7. Rázová zkouška dřeva ořešáku

Číslo vzorku	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	\bar{x}	s
W_B [KVJ]	1,88	0,34	0,47	1,75	1,22	1,48	0,49	1,33	0,74	1,81	1,15	0,60
a_c [J/cm ²]	2,08	0,46	0,59	2,31	1,72	1,96	0,60	1,71	0,97	2,70	1,51	0,80
Rozměr A [mm]	10,2	9,7	10,2	9,6	9,8	10,1	9,4	10,6	10	9,4		
Rozměr B [mm]	8,9	7,5	7,8	7,9	7,2	7,4	7,9	7,3	7,6	7,1		

Tab. 8. Rázová zkouška dřeva ořešáku + WR90

Číslo vzorku	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	\bar{x}	s
W_B [KVJ]	2,20	2,67	1,65	0,74	1,17	1,26	2,82	1,16	0,77	2,56	1,70	0,80
a_c [J/cm ²]	2,59	3,26	2,45	0,98	1,49	1,40	3,35	1,63	1,04	2,96	2,12	0,91
Rozměr A [mm]	9,9	10,9	9,9	9,1	9,8	10,4	7,8	9,7	9	9,8		
Rozměr B [mm]	8,6	7,5	6,8	8,3	8	8,6	10,8	7,3	8,2	8,8		

Tab. 9. Rázová zkouška dřeva ořešáku + WR90N

Číslo vzorku	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	\bar{x}	s
W_B [KVJ]	2,23	2,38	1,78	1,55	1,92	2,00	1,29	0,85	2,62	1,52	1,81	0,53
a_c [J/cm ²]	3,19	3,32	2,33	2,23	2,56	2,67	1,98	1,41	3,28	1,74	2,47	0,66
Rozměr A [mm]	9,7	9,7	9,2	7,8	8	9,4	9,3	9	10	9,6		
Rozměr B [mm]	7,2	7,4	8,3	8,9	9,4	8	7	6,7	8	9,1		

Stabilizací vzorků dřeva ořešáku došlo k výraznému navýšení hodnoty rázové energie potřebné k přeražení zkušebního tělesa. Průměrná hodnota rázové energie vztažená na počáteční průřez zaznamenala u dřeva stabilizovaného stabilizační pryskyřicí JATAPOL WR90 nárůst o přibližně 40,4 % a u dřeva stabilizovaného stabilizační pryskyřicí JATAPOL WR90N dokonce o 63,6 %. Toto navýšení je markantní a o to více zajímavé, že stabilizované dřevo ořešáku jako jediné z testovaných, při instrumentované rázové zkoušce, zaznamenalo nárůst hodnoty rázové energie oproti nestabilizovanému dřevu. Je možné přiklonit se k názoru, že dřevo ořešáku profituje z makropórů v jeho struktuře [29], které jsou vhodně využitelné při stabilizaci.

S ohledem na výsledky této zkoušky lze konstatovat, že pokud je požadavek na zvýšení rázové houževnatosti dřeva ořešáku, stabilizace pomocí stabilizační pryskyřice se jeví jako vhodná volba.

11.2 Zkouška rázové houževnatosti dřeva smrku

Zkoušce byly podrobeny 3 druhy vzorků. Jednalo se o dřevo smrku a stabilizované vzorky téhož dřeva napuštěné stabilizační pryskyřicí JATAPOL WR90 a JATAPOL WR90N.

11.2.1 Výsledky zkoušek

Při instrumentované rázové zkoušce byly zjišťovány hodnoty energie při přeražení W_B [KVJ] a hodnoty rázové energie a_c [J/cm²], vztažené na počáteční průřez.

Tab. 10. Rázová zkouška dřeva smrku

Číslo vzorku	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	\bar{x}	s
W_B [KVJ]	1,53	1,48	1,17	1,75	1,4	0,91	1,4	1,54	1,09	1,18	1,35	0,25
a_c [J/cm ²]	2,21	2,21	1,46	2,87	1,86	1,32	1,92	2,02	1,63	1,72	1,92	0,44
Rozměr A [mm]	7,2	6,9	7,6	6,3	8,1	7,2	7,4	7,4	7,3	7		
Rozměr B [mm]	9,6	9,7	10,6	9,7	9,3	9,6	9,8	10,3	9,2	9,7		

Tab. 11. Rázová zkouška dřeva smrku + WR90

Číslo vzorku	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	\bar{x}	s
W_B [KVJ]	1,29	1,47	1,06	1,61	1,5	0,91	1,77	1,81	1,22	1,35	1,40	0,29
a_c [J/cm ²]	1,62	1,96	1,42	2,28	1,89	1,14	2,20	2,38	1,82	2,03	1,87	0,39
Rozměr A [mm]	7,9	7,5	7,4	7,6	7,7	8	10,1	9,4	7,6	7,5		
Rozměr B [mm]	10,1	10	10,2	9,3	10,3	10	8	8,1	8,8	8,9		

Tab. 12. Rázová zkouška dřeva smrku + WR90N

Číslo vzorku	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	\bar{x}	s
W_B [KVJ]	0,91	1,79	1,99	0,93	0,92	1,48	1,81	1,37	1,08	1,01	1,33	0,42
a_c [J/cm ²]	1,31	2,77	2,91	1,26	1,46	1,90	2,54	2,03	1,53	1,49	1,92	0,62
Rozměr A [mm]	7,2	6,8	7,2	7,2	7	7,4	7,3	6,9	7,2	7,1		
Rozměr B [mm]	9,7	9,5	9,5	10,3	9	10,5	9,8	9,8	9,8	9,5		

Z výsledků měření vyplývá, že stabilizací stabilizační pryskyřicí JATAPOL WR90 došlo u dřeva smrku ke snížení schopnosti odolávat rázové energii. Konkrétní pokles hodnot rázové energie vztažené na počáteční průřez je 2,6 %, u stabilizační pryskyřice JATAPOL WR90N ke změně nedošlo.

11.3 Zkouška rázové houževnatosti dřeva modřínu

Zkoušce byly podrobeny 2 druhy vzorků. Jednalo se o dřevo modřínu a stabilizované vzorky téhož dřeva napuštěné stabilizační pryskyřicí JATAPOL WR90N.

11.3.1 Výsledky zkoušek

Při instrumentované rázové zkoušce byly zjišťovány hodnoty energie při přeražení W_B [KVJ] a hodnoty rázové energie a_c [J/cm^2], vztažené na počáteční průřez.

Tab. 13. Rázová zkouška dřeva modřínu

Číslo vzorku	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	\bar{x}	s
W_B [KVJ]	1,64	2,5	3,24	1,51	1,72	1,24	2,15	2,04	2,72	1,06	1,98	0,69
a_c [J/cm^2]	1,67	2,68	2,95	1,43	1,83	1,37	2,54	2,36	2,92	1,22	2,10	0,68
Rozměr A [mm]	10,1	10	11,2	9,6	10,3	10,1	9,3	9,5	9,3	9,4		
Rozměr B [mm]	9,6	9,2	9,8	11	9,1	9	9,1	9,1	10	9,2		

Tab. 14. Rázová zkouška dřeva modřínu + WR90N

Číslo vzorku	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	\bar{x}	s
W_B [KVJ]	2,11	1,71	1,1	2,25	1,54	1,38	0,99	1,07	1,63	2,89	1,67	0,60
a_c [J/cm^2]	3,18	1,92	1,24	2,26	1,49	1,40	1,16	1,42	2,18	3,17	1,94	0,75
Rozměr A [mm]	8,2	9,4	10,6	10,2	9,7	9,9	8,5	8,7	8,8	8,6		
Rozměr B [mm]	8,1	9,5	8,5	9,8	10,5	9,9	9,9	8,5	8,5	10,5		

S ohledem na výsledky předchozích zkoušek lze konstatovat, že stabilizací dřeva modřínu došlo ke snížení odolnosti vůči působení síly rázem. I při této zkoušce se ukázalo, že dřevo modřínu nemá dostatečnou nasákavost [29]. V objemu dřeva tedy patrně není dostatek stabilizační pryskyřice, která by zvyšovala odolnost vůči působení rázové energie.

12 OHYBOVÁ ZKOUŠKA

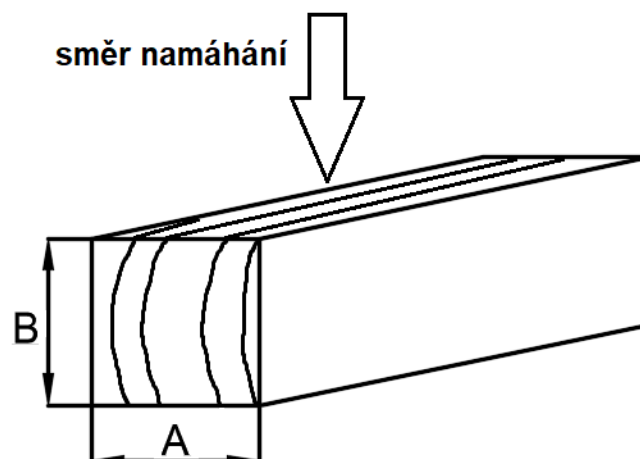
Zkouška tříbodovým ohybem byla provedena za okolní teploty 22 °C a relativní vlhkosti vzduchu 65 % ve dnech 8. 3. 2019 a 11. 3. 2019

Zkouška tříbodovým ohybem byla provedena v souladu s ČSN EN ISO 178 [33]

Vzorky byly před zkouškou kondicionovány v sušicím zařízení Climacell dle požadavků normy ČSN EN 408 + A1[31] na teplotu 22 °C a relativní vlhkost vzduchu 65 %.



Obr. 20. Zkušební zařízení Testometric M350-5CT



Obr. 21. Způsob měření vzorků při ohybové zkoušce

Tab. 15. Zkušební zařízení a jeho metrologická návaznost pro ohybovou zkoušku

Zkušební zařízení, měřidlo	Specifikace
Digitální úchylkoměr Mitutoyo 543-394B, ID-C112CXB	rozsah: 0 – 12,7 mm rozlišení: 0,001 mm přesnost: 0,003 mm
Testometric M350-5CT	rozpětí mezi podpěrami: 64 mm siloměr: 3000 N (300 kg) rychlost zkoušky: 2 mm/min předzátěž: vypnuto

12.1 Zkouška třibodového ohybu dřeva ořešáku

Zkoušce byly podrobeny 3 druhy vzorků. Jednalo se o dřevo ořešáku a stabilizované vzorky téhož dřeva napuštěné stabilizační pryskyřicí JATAPOL WR90 a JATAPOL WR90N.

12.1.1 Výsledky zkoušek

Při zkoušce třibodovým ohybem byly zjišťovány hodnoty nejvyšší pevnosti σ_{MAX} [N] a hodnoty modulu v ohybu M_O [MPa].

Tab. 16. Ohybová zkouška dřeva ořešáku

Číslo vzorku	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	\bar{x}	s
σ_{MAX} [N]	474	503	604	623	384	536	648	528	467	461	528	85
M_O [MPa]	2347	2110	1979	2894	1974	2345	1900	1856	2180	1901	2149	317
Rozměr A [mm]	6,8	8,8	8,8	7,3	6,6	7,3	8,4	7,0	6,8	8,2		
Rozměr B [mm]	10,0	9,6	10,0	10,0	10,2	9,9	10,0	10,1	9,8	9,8		

Tab. 17. Ohybová zkouška dřeva ořešáku + WR90

Číslo vzorku	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	\bar{x}	s
σ_{MAX} [N]	713	752	577	490	610	776	511	615	560	534	614	101
M_O [MPa]	2664	2782	2882	2986	2719	2732	2904	2016	3350	3119	2815	349
Rozměr A [mm]	8,2	7,8	8,1	7,7	8,2	8,2	8,0	7,3	7,8	8,0		
Rozměr B [mm]	9,7	10,0	9,7	9,4	9,6	10,3	9,7	10,6	9,3	9,3		

Tab. 18. Ohybová zkouška dřeva ořešáku + WR90N

Číslo vzorku	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	\bar{x}	s
σ_{MAX} [N]	676	754	682	640	508	790	462	735	705	640	659	104
M_O [MPa]	2566	2424	3887	3695	3675	2775	3571	3826	3716	2423	3256	623
Rozměr A [mm]	7,8	8,1	7,4	7,9	7,5	8,3	7,9	7,9	7,2	7,5		
Rozměr B [mm]	9,8	10,1	8,9	9,3	9,0	10,4	9,1	9,0	8,8	10,6		

Z výsledků měření vyplývá zvýšení průměrné nejvyšší pevnosti σ_{MAX} [N] i průměrné hodnoty modulu v ohybu M_O [MPa] u stabilizovaného dřeva. Jasně patrný je vysoký rozptyl naměřených hodnot. Například nejvyšší průměrná pevnost u dřeva ořešáku stabilizovaného stabilizační pryskyřicí JATAPOL WR90 zaznamenala nárůst o 16 % oproti průměrné pevnosti nestabilizovaných vzorků. Svým rozptylem však tento stabilizovaný vzorek pokrývá i průměrnou hodnotu nestabilizovaných vzorků.

Takto výrazný rozptyl hodnot od průměru je možný vlivem nestejného rozměru zkušebních těles a také samotné struktury dřeva, které ze své podstaty obsahuje nehomogenity, které měření značně ovlivňují.

Jednoznačně vyšší průměrná hodnota ohybového momentu byla dosažena u vzorků stabilizovaných stabilizační pryskyřicí JATAPOL WR90N, procentuálně vyjádřený rozdíl oproti průměrné hodnotě nestabilizovaných vzorků činí více než 51 %. Je však nutné poznamenat,

že i u vzorku stabilizovaného stabilizační pryskyřicí JATAPOL WR90 došlo ke zvýšení průměrné hodnoty ohybového momentu a to o téměř 31 %.

12.2 Zkouška tříbodového ohybu dřeva smrku

Zkoušce byly podrobeny 3 druhy vzorků. Jednalo se o dřevo smrku a stabilizované vzorky téhož dřeva napuštěné stabilizační pryskyřicí JATAPOL WR90 a JATAPOL WR90N.

12.2.1 Výsledky zkoušek

Při zkoušce tříbodovým ohybem byly zjišťovány hodnoty nejvyšší pevnosti σ_{MAX} [N] a hodnoty modulu v ohybu M_O [MPa].

Tab. 19. Ohybová zkouška dřeva smrku

Číslo vzorku	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	\bar{x}	s
σ_{MAX} [N]	442	392	413	411	396	438	407	440	450	404	419	21
M_O [MPa]	2400	2749	2529	2866	2586	2539	2531	2695	2883	3087	2687	210
Rozměr A [mm]	7,7	7,0	8,2	7,1	7,3	7,3	6,8	7,6	7,0	7,1		
Rozměr B [mm]	9,7	9,7	9,4	9,5	9,8	9,6	9,8	9,7	9,9	9,2		

Tab. 20. Ohybová zkouška dřeva smrku + WR90

Číslo vzorku	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	\bar{x}	s
σ_{MAX} [N]	637	594	651	532	501	634	448	485	383	520	539	89
M_O [MPa]	2878	3434	3402	3722	3648	2760	2878	3501	3860	3196	3328	385
Rozměr A [mm]	8,7	7,9	9,4	8,2	7,1	8,6	7,2	7,8	7,5	6,8		
Rozměr B [mm]	10,0	9,2	10,0	8,6	9,4	10,2	9,0	8,9	8,4	10,4		

Tab. 21. Ohybová zkouška dřeva smrku + WR90N

Číslo vzorku	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	\bar{x}	s
σ_{MAX} [N]	570	623	464	621	613	440	519	569	684	489	559	79
M_0 [MPa]	3179	3557	3293	3442	3820	3664	2678	3028	3652	2533	3285	431
Rozměr A [mm]	7,5	7,1	7,2	7,4	6,9	7,2	7,1	7,2	7,4	7,2		
Rozměr B [mm]	9,2	9,5	9,2	9,2	9,2	9,0	10,1	9,2	9,7	10,1		

Na výsledcích měření lze pozorovat, že průměrná hodnota nejvyšší pevnosti i ohybového modulu u nestabilizovaného dřeva jsou nižší, než u obou stabilizovaných vzorků. I zde se tedy naplnil předpoklad a stabilizací došlo ke zvýšení nejvyšší pevnosti i ohybového modulu.

Průměrné hodnoty jednotlivých veličin u obou stabilizovaných dřev jsou si podobné, zvláště pak, přihlédneme-li na rozptyl hodnot. Na základě této skutečnosti tedy lze usoudit, že vzorky dřeva smrku stabilizované stabilizační pryskyřicí JATAPOL WR90 i JATAPOL WR90N nabývají při zkoušce tříbodovým ohybem téměř stejných hodnot.

Průměrná hodnota nejvyšší pevnosti se u vzorků stabilizovaných stabilizační pryskyřicí JATAPOL WR90 zvýšila oproti průměrné hodnotě nejvyšší pevnosti u nestabilizovaných vzorků o více než 28 % (resp. o více než 33 % v případě vzorku s JATAPOL WR90N). V případě modulu v ohybu došlo u téže vzorků k nárůstu průměrné hodnoty o téměř 24 % (resp. o více než 21 %).

12.3 Zkouška tříbodového ohybu dřeva modřínu

Zkoušce byly podrobeny 2 druhy vzorků. Jednalo se o dřevo modřínu a stabilizované vzorky téhož dřeva napuštěné stabilizační pryskyřicí JATAPOL WR90N.

12.3.1 Výsledky zkoušek

Při zkoušce tříbodovým ohybem byly zjišťovány hodnoty nejvyšší pevnosti σ_{MAX} [N] a hodnoty modulu ohybu M_0 [MPa].

Tab. 22. Ohybová zkouška dřeva modřínu

Číslo vzorku	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	\bar{x}	s
σ_{MAX} [N]	392	479	620	532	418	439	413	375	376	523	457	81
M_0 [MPa]	2063	2196	2401	2112	2516	1828	1634	1799	1813	2532	2089	320
Rozměr A [mm]	9,2	9,2	9,3	8,8	8,1	9,1	9,7	9,0	9,1	10,8		
Rozměr B [mm]	9,4	9,9	10,0	10,0	9,7	10,8	9,4	9,5	9,6	9,1		

Tab. 23. Ohybová zkouška dřeva modřínu + WR90N

Číslo vzorku	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	\bar{x}	s
σ_{MAX} [N]	626	698	451	666	656	506	677	475	573	581	591	89
M_0 [MPa]	3498	2835	3145	2273	2512	3119	2033	2367	3540	2097	2742	563
Rozměr A [mm]	9,7	9,7	10,4	10,3	9,9	10,0	10,2	9,1	9,6	8,5		
Rozměr B [mm]	9,0	9,5	8,0	9,1	9,3	8,5	9,9	8,5	8,4	10,1		

I v případě dřeva modřínu lze u stabilizovaného dřeva pozorovat nárůst průměrné hodnoty nejvyšší pevnosti i ohybového modulu. Vyjádřeno procenty, u průměrné nejvyšší pevnosti došlo k nárůstu o více než 29 % a průměrná hodnota ohybového modulu zaznamenala nárůst o více než 31 %. S přihlédnutím k výsledkům ostatních zkoušek při zkoušení dřeva modřínu lze říci, že i přes nižší schopnost nasycení stabilizační pryskyřicí bylo toto nasycení dostatečné k tomu, aby došlo ke zvýšení mechanických vlastností při tomto způsobu namáhání.

13 UV DEGRADACE A INDEX ŽLUTOSTI

Principem testu UV degradace je simulace UV záření vyzářeného sluncem, avšak ve vyšší intenzitě tak, aby doba expozice byla kratší a podala informace o chování v delším časovém horizontu. V této zkoušce byla délka testování 42 dní při maximálním vyzařování 340 nm, což odpovídá průměrné roční expozici v oblasti okresu Zlín. Konkrétně je roční globální solární záření pro oblast okresu Zlín přibližně 1100 kWh/m². Lampy použité pro tuto zkoušku vyzařovaly s 8,6x vyšší intenzitou, než je intenzita pro již zmiňovanou oblast Zlína.

13.1 Index žlutosti

Index žlutosti je číslo, jež je vypočítané ze spektrofotometrických údajů, které popisují změnu barvy zkušební vzorku z čirého nebo bílého na žlutý. Nejčastěji je tato metoda využívána pro vyhodnocení změn barev v materiálu způsobeném skutečnou nebo simulovanou venkovní expozicí.

Měření indexu žlutosti bylo realizováno na přístroji Lovibond RT850i.

13.1.1 Index žlutosti dřeva ořešáku

Tab. 24. Žlutost dřeva ořešáku

Číslo vzorku	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	\bar{x}	s
Původní	43,46	44,68	44,44	44,04	42,87	44,26	44,47	45,03	44,30	44,98	44,25	0,63
UV 1 rok	53,18	48,26	50,41	52,59	52,63	53,99	53,82	51,48	49,48	51,52	51,74	1,79

Tab. 25. Žlutost dřeva ořešáku + WR90

Číslo vzorku	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	\bar{x}	s
Původní	44,32	48,40	48,14	47,83	49,03	48,49	53,29	51,26	45,62	49,12	48,55	2,40
UV 1 rok	58,52	62,58	61,41	54,92	62,39	72,53	73,93	67,60	64,50	54,18	63,26	6,32

Tab. 26. Žlutost dřeva ořešáku + WR90N

Číslo vzorku	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	\bar{x}	s
Původní	76,82	74,79	75,68	74,68	74,11	73,75	73,44	74,98	76,05	76,07	75,04	1,05
UV 1 rok	56,34	53,55	54,82	51,51	50,74	51,22	52,25	51,95	51,24	51,60	52,52	1,72

Z naměřených dat vyplývá, že nejhůře odolávaly působení UV záření vzorky dřeva ořešáku stabilizovaného stabilizační pryskyřicí JATAPOL WR90. Nelze si nevšimnout vysoké hodnoty směrodatné odchylky, avšak její rozptyl nijak nezměnil postavení těchto vzorků vůči vzorkům samotného ořešáku, nebo ořešáku stabilizovaného stabilizační pryskyřicí JATAPOL WR90N. Naopak velmi zajímavé je chování vzorků stabilizovaných stabilizační pryskyřicí JATAPOL WR90N, u kterých došlo ke snížení indexu žlutosti.

13.1.2 Index žlutosti dřeva smrku

Tab. 27. Žlutost dřeva smrku

Číslo vzorku	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	\bar{x}	s
Původní	84,46	82,81	83,71	78,49	77,94	74,93	75,39	79,10	74,98	74,97	78,68	3,59
UV 1 rok	83,36	87,80	88,85	86,40	88,27	87,11	81,70	83,81	88,98	82,33	85,86	2,65

Tab. 28. Žlutost dřeva smrku + WR90

Číslo vzorku	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	\bar{x}	s
Původní	89,90	85,74	77,51	74,84	75,66	78,33	79,39	82,96	81,28	76,75	80,24	4,54
UV 1 rok	84,46	79,91	72,41	75,01	76,96	82,77	87,80	84,12	81,81	81,27	80,65	4,45

Tab. 29. Žlutost dřeva smrku + WR90N

Číslo vzorku	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	\bar{x}	s
Původní	80,10	81,59	81,72	82,90	80,94	81,96	86,46	86,48	84,88	91,18	83,82	3,24
UV 1 rok	73,55	73,55	73,51	73,79	71,57	75,29	68,87	79,69	77,16	77,21	73,96	3,35

V případě vzorků dřeva bez stabilizační pryskyřice došlo opět ke zvýšení hodnoty žlutosti, kdežto dřeva smrku stabilizovaná stabilizační pryskyřicí JATAPOL WR90 zůstala na prakticky stejné úrovni, čímž se liší od vzorků dřeva ořešáku stabilizovaných též pryskyřicí, které zaznamenaly vysoký nárůst po UV ozáření o ekvivalentu jednoho roku. Vzorky dřeva stabilizované stabilizační pryskyřicí JATAPOL WR90N zaznamenaly i v tomto případě pokles indexu žlutosti.

13.1.3 Index žlutosti dřeva modřínu

Tab. 30. Žlutost dřeva modřínu

Číslo vzorku	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	\bar{x}	s
Původní	64,45	58,48	61,73	63,66	63,42	61,95	61,65	65,84	66,14	62,97	63,03	2,14
UV 1 rok	89,50	88,55	88,07	90,33	88,42	89,92	87,70	89,00	88,47	88,28	88,82	0,8

Tab. 31. Žlutost dřeva modřínu + WR90N

Číslo vzorku	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	\bar{x}	s
Původní	83,36	84,19	82,45	78,99	82,54	75,71	75,49	78,29	76,59	72,33	78,99	3,80
UV 1 rok	83,89	92,24	88,11	85,65	82,99	83,16	89,92	83,45	88,96	85,52	86,39	3,07

I poslední zkouška ukázala tendenci nestabilizovaného dřeva žloutnout. Na rozdíl od předchozích zkoušek se zde kombinace dřeva modřínu a stabilizační pryskyřice JATAPOL WR90N ukázala jako ne zcela prospěšná a UV záření se projevilo zvýšením indexu žlutosti i u vzorků stabilizovaných výše zmíněnou stabilizační pryskyřicí. Procentuálně ale ne tak moc, jako u nestabilizovaného dřeva. Konkrétní nárůst indexu žlutosti u nestabilizovaného dřeva byl 40,9 % a u stabilizovaného 9,4 %.

14 DISKUZE VÝSLEDKŮ

Cílem této diplomové práce bylo zjistit mechanické vlastnosti u vzorků stabilizovaného dřeva doplněné o UV degradaci a tyto následně porovnat se vzorky dřeva nestabilizovaného.

Po stabilizaci dřeva následovaly samotné zkoušky. Jako první byla provedena zkouška reologických vlastností stabilizační pryskyřice JATAPOL WR90N, kterou bylo zjištěno, že k zesíťování došlo po 227 s od dosažení teploty 82 °C. Avšak této doby nelze v praxi dosáhnout z důvodu, kdy pro měření na reometru byla použita vrstva o tloušťce pouze 0,5 mm.

Druhou zkoušku byla zkouška tvrdosti Shore D. Provedením této zkoušky bylo zjištěno, že největší zvýšení tvrdosti zaznamenalo stabilizované dřevo ořešáku, kdy vzorky tohoto dřeva stabilizované stabilizační pryskyřicí JATAPOL WR90 i JATAPOL WR90N dosáhly velmi podobné hodnoty. U dřeva smrku i dřeva modřínu došlo stabilizací pouze k minimálnímu nárůstu tvrdosti, které je v rozsahu směrodatné odchylky daného výběru.

Další v pořadí byla rázová zkouška. U této zkoušky došlo u stabilizovaných vzorků dřeva modřínu (JATAPOL WR90 i JATAPOL WR90N) jako u jediných k nárůstu hodnoty energie při přeražení W_B i hodnoty rázové energie a_c . U zbylých vzorků dřev byl zaznamenán spíše pokles obou sledovaných parametrů a to i přes fakt, že smrkové dřevo bylo schopno pojmout větší množství stabilizační pryskyřice do svého objemu.

Ohybovou zkouškou bylo zjištěno podstatné zvýšení hodnot nejvyšší pevnosti σ_{MAX} i hodnot modulu v ohybu M_O u stabilizovaných vzorků. Nejvyššího nárůstu hodnot M_O bylo dosaženo u dřeva ořešáku stabilizovaného stabilizační pryskyřicí JATAPOL WR90N. Stabilizované vzorky dřeva smrku vykazovaly přibližně stejné hodnoty nárůstu sledovaných parametrů u obou stabilizačních pryskyřic. Dřevo modřínu stabilizované stabilizační pryskyřicí JATAPOL WR90N vykazovalo v absolutních hodnotách nárůstu rozdíl přibližně 4 % hodnoty nejvyšší pevnosti σ_{MAX} ve prospěch stabilizovaného dřeva smrku. U hodnot M_O pak byl tento rozdíl přibližně 10 % ve prospěch stabilizovaného dřeva modřínu.

Poslední ze zkoušek byl test odolnosti vůči UV záření o ekvivalentu průměrné roční expozici v oblasti okresu Zlín. Tímto bylo zjištěno, že stabilizační pryskyřice JATAPOL WR90N byla schopna snížit index žlutosti u dřeva ořešáku i dřeva smrku. U dřeva modřínu stabilizovaného výše uvedenou stabilizační pryskyřicí k tomuto jevu nedošlo, což je patrně způsobeno nedostatečnou nasákavostí.

15 ZÁVĚR

Z jednotlivých naměřených hodnot lze konstatovat, že dřevo modřínu není vhodné pro stabilizaci stabilizační pryskyřicí JATAPOL WR90N, neboť jeho schopnost prosycení touto stabilizační pryskyřicí je nízká, což se projevilo při zkouškách. Jedinou výjimku tvoří ohybová zkouška, kdy u tohoto stabilizovaného dřeva byl zjištěn nárůst nejvyšší pevnosti σ_{MAX} i ohybového momentu M_O , potřebného k porušení zkušebních těles.

U dřeva smrku, které mělo největší schopnost nasytit svůj objem stabilizační pryskyřicí z testovaných dřev, došlo k pozitivnímu účinku stabilizace pouze ve zkoušce tříbodovým ohybem a vlivu expozice UV záření na barevnou stálost. U zkoušky tříbodovým ohybem byl nárůst hodnot nejvyšší pevnosti σ_{MAX} i ohybového momentu M_O zaznamenán u obou stabilizačních pryskyřic, kdežto index žlutosti byl snížen pouze u smrkového dřeva stabilizovaného stabilizační pryskyřicí JATAPOL WR90N.

Dřevo ořešáku se ukázalo jako nejvhodnější z trojice testovaných dřev pro stabilizaci stabilizační pryskyřicí JATAPOL WR90 i JATAPOL WR90N. Je to z důvodu, kdy jako jediné zaznamenalo zlepšení mechanických vlastností ve všech testech. Výjimkou byl jen index žlutosti, kde vzorky stabilizované stabilizační pryskyřicí JATAPOL WR90 dosáhly horšího výsledku, než nestabilizované dřevo ořešáku.

Při porovnání jednotlivých zkoušek a jejich výsledků je patrné, že stabilizační pryskyřice JATAPOL WR90N dosahuje lepších dílčích výsledků, než její předchůdkyně JATAPOL WR90.

S ohledem na výsledky zkoušek lze říci, že stabilizace dřeva má pozitivní vliv na jeho mechanické vlastnosti. Avšak pro úplnost je nutné dodat, že musí být správně zvolen druh dřeva, které má být k tomuto účelu použito a to i s ohledem na jeho nasákavost.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] WENZL, Harmann. *The Chemical Technology of Wood*. [online]. Academic Press: Elsevier, 1970. [cit. 2018-11-12]. ISBN 9780323143127. Dostupné z: https://books.google.cz/books/about/The_Chemical_Technology_of_Wood.html?id=tgChxeM6ka8C&redir_esc=y
- [2] MEIER, Eric. What is Wood? In: *Wood-database* [online]. 2018 [cit. 2018-11-20]. Dostupné z: <https://www.wood-database.com/wood-articles/what-is-wood/>
- [3] What is the difference between a hardwood and a softwood?. In: *HowStuffWorks.com* [online]. 21. 3. 2001 [cit.2018-11-25]. Dostupné z: <https://science.howstuffworks.com/life/genetic/question598.htm>
- [4] PECINA, Pavel a Josef PECINA. *Materiály a technologie - dřevo*. Brno: Masarykova univerzita, 2006. ISBN 80-210-4013-0.
- [5] ROWELL, Roger M., ed. *Handbook of wood chemistry and wood composites*. 2nd ed. [online]. Boca Raton: CRC Press, c2013. [cit. 2018-10-20]. ISBN 978-1-4398-5380-1. Dostupné z: https://books.google.cz/books/about/Handbook_of_Wood_Chemistry_and_Wood_Comp.html?id=QMn6rsl_PPgC&redir_esc=y
- [6] *Wood characteristics: description, causes, prevention, impact on use and technological adaptation*. New York: Springer, 2014. ISBN 9783319074214.
- [7] VOJÁČKOVÁ, Barbora a kol. *ZÁKLADY ARBORISTIKY*. Mendelova univerzita v Brně, 2013. Skriptum. Mendelova univerzita v Brně Lesnická a dřevařská fakulta.
- [8] Ústav nauky o dřevě, Mendelova univerzita v Brně. Výuka anatomické stavby dřeva, Makroskopická stavba dřeva [online]. 2012 [cit. 2018-11-25]. Dostupné z: http://ldf.mendelu.cz/unod/multimedia/stavba_dreva/uvod/uvod.htm
- [9] JOSTEN, Elmar, Thomas REICHE a Bernd WITTCHEN. *Dřevo a jeho obrábění*. Praha: Grada, 2010. Průvodce truhláře. ISBN 9788024729619.
- [10] *Stavba dřeva - Makroskopická stavba dřeva* [online]. Mendelova univerzita v Brně [cit. 2019-01-13]. Ke stažení dostupné z: https://akela.mendelu.cz/~xcepl/inobio/inovace/Stavba_dreva/SDR-pr01-makroskopicka_stavba_dreva.pdf
- [11] Vlhkost dřeva. In: *Mendelova univerzita v Brně* [online]. [cit. 2018-12-12]. Dostupné z: https://is.mendelu.cz/eknihovna/opory/zobraz_cast.pl?cast=9177

- [12] *Dřevo - přírodní polymer* [online]. Oddělení povrchového inženýrství [cit. 2019-01-15]. Ke stažení dostupné z: <https://www.opi.zcu.cz/download/drevo.pdf>
- [13] Wood main physical properties. In: *ArchiLine Wooden Houses* [online]. 2018 [cit. 2019-01-02]. Dostupné z: <http://www.ownwoodenhouse.com/index.pl?act=NEWSSHOW&id=2011062001>
- [14] Ing. BÍLEK, K. a kolektiv. *Učební texty z předmětu Těžba a doprava dříví* [online]. Vyšší odborná škola lesnická a Střední škola Bedřicha Schwarzenberga Písek. Písek 2013 [cit. 2019-01-04]. Ke stažení dostupné z: <https://www.clatrutnov.cz/index.php/en/skola/dokumenty/category/22-ucebni-texty?download=116:tezba-a-doprava-drivi-ucebni-texty>
- [15] ZEJDA, J., TIPPNER, V., SEBERA, V., KOŇÁSKOVÁ, E., DÁNIEL, V., Fyzikální a mechanické vlastnosti dřeva. Dostupné z: <https://is.mendelu.cz/eknihovna/opory/index.pl?opora=554;lang=cz>
- [16] NORTHERN, Ken. Stabilizing Wood. In: *Arizona Woodturners Association* [online]. [cit. 2019-01-12]. Dostupné z: http://azwoodturners.org/pages/tips/Vacuum_Stabilizing.pdf
- [17] Klír, J. [1981]. *Vady dřeva*. Praha: Státní nakladatelství technické literatury.
- [18] *Nátěry oken - historie a současnost* [online]. Ústav chemické technologie restaurování památek, Vysoká škola chemicko-technologická v Praze [cit. 2018-12-23]. Ke stažení dostupné z: <https://www.studioaxis.cz/images/pamatky2005/kucerova.pdf>
- [19] GABRIEL, Ingo. *Dřevěné fasády: materiály, návrhy, realizace*. Praha: Grada, 2011. ISBN 9788024738192.
- [20] Bekhta P., Niemz P.: *Effect of high temperature on the change in color, dimensional stability and mechanical properties of spruce wood*. *Holzforschung*, 57 [2003].
- [21] PTÁČEK, Petr. *Ochrana dřeva*. Praha: Grada, 2009. Profi & hobby, 137. ISBN 978-80-247-2326-6.
- [22] Lesní těžba. In: *LESY ČR* [online]. 2018 [cit. 2019-01-02]. Dostupné z: <https://lesy-cr.cz/drevo/lesni-tezba/>
- [23] *Lesnický naučný slovník*. Praha: Agrospoj, 1994. ISBN 80-7084-111-7.
- [24] PROKOPOVÁ, Irena. *Makromolekulární chemie*. Praha: Vydavatelství VŠCHT, 2004. ISBN 8070805544.

- [25] Vše o stabilizaci dřeva. In: *Jatagan (P. M. P. Company s.r.o.)* [online]. [cit. 2018-12-20]. Dostupné z: <https://www.jatagan.eu/clanky/stabilizace-dreva#pomucky>
- [26] *O stabilizaci dřeva* [online] 8. 8. 2017 [cit. 2019-01-16]. Dostupné z: <https://www.facebook.com/MAMUTOVINA.cz/posts/o-stabilizaci-drevastabilizace-se-provadi-ve-vakuu-za-vysokych-tlaku-a-vysoke-te/1963277113962100>
- [27] *Dřevo a pryskyřice* [online] 8. 1. 2018 [cit. 2019-01-16]. Dostupné z: <https://www.fler.cz/magazin/drevo-a-pryskyrice-2311>
- [28] *Běl* [online]. [cit. 2019-01-16]. Dostupné z: <https://leporelo.info/bel-2>
- [29] ZÍVALÍK, L. *Nasáklivost dřevin*. Brno, 2009. Diplomová práce. Mendelova univerzita v Brně, Lesnická a dřevařská fakulta, Ústav nauky o dřevě.
- [30] ČSN EN ISO 868 - *Plasty a ebonit - Stanovení tvrdosti vlačováním hrotu tvrdoměru (tvrdost Shore)*. 2003. Praha: Český normalizační institut. Třídící znak 64 0624.
- [31] ČSN EN 408+A1 *Dřevěné konstrukce - Konstrukční dřevo a lepené lamelové dřevo - Stanovení některých fyzikálních a mechanických vlastností*. 2012. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví. Třídící znak 73 1741.
- [32] ČSN EN ISO 179-2 *Plasty - Stanovení rázové houževnatosti Charpy - Část 2: Instrumentovaná rázová zkouška*. 2000. Praha: Český normalizační institut. Třídící znak 64 0612.
- [33] ČSN EN ISO 178 *Plasty - Stanovení ohybových vlastností*. 2003. Praha: Český normalizační institut. Třídící znak 64 0607.

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

SO ₂	Oxid siřičitý
NO _x	Oxidy dusíku
RV	Relativní vlhkost
H ₂ O	Voda
NH ₃	Amoniak
CH ₃ OH	Methanol
ČSN	Česká technická norma
EN	Evropská norma
ISO	International Organization for Standardization
\bar{x}	Aritmetický průměr
s	Směrodatná odchylka
W _B	Energie při přeražení [KVJ]
a _c	Rázová energie [J/cm ²],
σ _{MAX}	Nejvyšší pevnost [
M _O	Ohybový modul [MPa]

SEZNAM OBRÁZKŮ

<i>Obr. 1. Mikroskopická struktura měkkého dřeva</i>	15
<i>Obr. 2. Mikroskopická struktura tvrdého dřeva</i>	15
<i>Obr. 3. Příčný řez</i>	16
<i>Obr. 4. Radiální řez</i>	16
<i>Obr. 5. Tangenciální řez</i>	16
<i>Obr. 6. Rozdíl stavby jarního a letního dřeva</i>	17
<i>Obr. 7. Dřeňové paprsky</i>	18
<i>Obr. 8. Mikrocévy a makrocévy</i>	18
<i>Obr. 9. Pryskeřičné kanálky</i>	19
<i>Obr. 10. Jádro a běl</i>	19
<i>Obr. 11. A – třífázová deformace, B - dvoufázová deformace</i>	25
<i>Obr. 12. Směry napětí u pevnosti v tahu</i>	26
<i>Obr. 13. Vliv teploty tepelného zpracování na pevnosti v ohybu smrkového dřeva při různé relativní vlhkosti</i>	32
<i>Obr. 14. Příklady použití stabilizovaného dřeva u designových výrobků</i>	40
<i>Obr. 15. Zatížení dřevěných polotovarů</i>	45
<i>Obr. 16. Proces vytvrzování stabilizační pryskyřice JATAPOL WR90N</i>	47
<i>Obr. 17. Měřicí zařízení – tvrdost Shore D</i>	49
<i>Obr. 18. Měřicí zařízení Izod Pendulum Impact Tester 2.75 J</i>	53
<i>Obr. 19. Způsob měření vzorků při rázové zkoušce</i>	53
<i>Obr. 20. Zkušební zařízení Testometric M350-5CT</i>	58
<i>Obr. 21. Způsob měření vzorků při ohybové zkoušce</i>	58

SEZNAM TABULEK

<i>Tab. 1. Průměrný rozdíl hmotnosti dřeva před a po prosycení pryskyřicí</i>	<i>46</i>
<i>Tab. 2. Zkušební zařízení a jeho metrologická návaznost pro zkoušku tvrdosti Shore D ...</i>	<i>50</i>
<i>Tab. 3. Naměřené hodnoty tvrdosti Shore D (ořešák)</i>	<i>50</i>
<i>Tab. 4. Naměřené hodnoty tvrdosti Shore D (smrk)</i>	<i>51</i>
<i>Tab. 5. Zkouška tvrdosti Shore D (modřín)</i>	<i>51</i>
<i>Tab. 6. Zkušební zařízení a jeho metrologická návaznost pro rázovou zkoušku</i>	<i>54</i>
<i>Tab. 7. Rázová zkouška dřeva ořešáku</i>	<i>54</i>
<i>Tab. 8. Rázová zkouška dřeva ořešáku + WR90</i>	<i>54</i>
<i>Tab. 9. Rázová zkouška dřeva ořešáku + WR90N</i>	<i>55</i>
<i>Tab. 10. Rázová zkouška dřeva smrku</i>	<i>56</i>
<i>Tab. 11. Rázová zkouška dřeva smrku + WR90</i>	<i>56</i>
<i>Tab. 12. Rázová zkouška dřeva smrku + WR90N</i>	<i>56</i>
<i>Tab. 13. Rázová zkouška dřeva modřínu</i>	<i>57</i>
<i>Tab. 14. Rázová zkouška dřeva modřínu + WR90N</i>	<i>57</i>
<i>Tab. 15. Zkušební zařízení a jeho metrologická návaznost pro ohybovou zkoušku</i>	<i>59</i>
<i>Tab. 16. Ohybová zkouška dřeva ořešáku</i>	<i>59</i>
<i>Tab. 17. Ohybová zkouška dřeva ořešáku + WR90</i>	<i>60</i>
<i>Tab. 18. Ohybová zkouška dřeva ořešáku + WR90N</i>	<i>60</i>
<i>Tab. 19. Ohybová zkouška dřeva smrku</i>	<i>61</i>
<i>Tab. 20. Ohybová zkouška dřeva smrku + WR90</i>	<i>61</i>
<i>Tab. 21. Ohybová zkouška dřeva smrku + WR90N</i>	<i>62</i>
<i>Tab. 22. Ohybová zkouška dřeva modřínu</i>	<i>63</i>
<i>Tab. 23. Ohybová zkouška dřeva modřínu + WR90N</i>	<i>63</i>
<i>Tab. 24. Žlutosti dřeva ořešáku</i>	<i>64</i>
<i>Tab. 25. Žlutosti dřeva ořešáku + WR90</i>	<i>64</i>

<i>Tab. 26. Žlutosti dřeva ořešáku + WR90N</i>	64
<i>Tab. 27. Žlutosti dřeva smrku</i>	65
<i>Tab. 28. Žlutosti dřeva smrku + WR90</i>	65
<i>Tab. 29. Žlutosti dřeva smrku + WR90N</i>	65
<i>Tab. 30. Žlutosti dřeva modřínu</i>	66
<i>Tab. 31. Žlutosti dřeva modřínu + WR90N</i>	66