

Stanovení vlivu stabilizace dřeva na jeho užité vlastnosti

Bc. Jiří Kocourek

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. Jiří Kocourek**
Osobní číslo: **T18593**
Studijní program: **N3909 Procesní inženýrství**
Studijní obor: **Výrobní inženýrství**
Forma studia: **kombinovaná**

Téma práce: **Stanovení vlivu stabilizace dřeva na jeho užité vlastnosti**

Zásady pro vypracování:

- 1. Literární rešerše na zadané téma**
- 2. Stabilizace různých typů dřeva polymerní složkou**
- 3. Analýza užitečných vlastností (hustota, pevnost, tvrdost, navlhavost, tvarová stálost při navlhání a opětovném sesychání)**
- 4. Vyhodnocení a srovnání získaných výsledků**

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

Seznam odborné literatury:

1. DODIUK, Hanna a Sidney H. GOODMAN. Handbook of thermoset plastics. 3rd ed. Amsterdam: Elsevier, c2014, xxv, 768 s. PDL handbook series. ISBN 978-1-4557-3107-7.
2. PECINA, Pavel a Josef PECINA. Materiály a technologie - dřevo. Brno: Masarykova univerzita, 2006, 132 s. ISBN 80-210-4013-0.
3. Literární zdroje dostupné v rámci knihovny UTB

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

doc. Ing. Roman Čermák, Ph.D.
děkan

prof. Ing. Berenika Hausnerová, Ph.D.
ředitel ústavu

Příjmení a jméno:

Obor:

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že

- beru na vědomí, že odevzdáním diplomové/bakalářské 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/bakalářská 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/bakalářskou 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/bakalářskou 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/bakalářské 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/bakalářské práce využít ke komerčním účelům;
- beru na vědomí, že pokud je výstupem diplomové/bakalářské 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.

Ve Zlíně

.....

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 nezasahuje 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 výdělků 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 výdělků dosaženého školou nebo školským či vzdělávacím zařízením z užití školního díla podle odstavce 1.

ABSTRAKT

Tato diplomová práce představuje studii změny užitečných vlastností dřeva po jeho chemické stabilizaci, spočívá ve vyplnění pórů obsahujících vzduch jiným materiálem. Hlavní měřené vlastnosti budou: hustota, pevnost, tvrdost, navlhavost a tvarová stálost při navlhání a opětovném sesychání. Měření byla prováděna na zkušebních vzorcích o různé počáteční hustotě, z důvodu lepšího popsání vlivu struktury dřeva.

Klíčová slova: dřevo, polymer, kompozitní materiál, stabilizace dřeva, napouštění, konsolidace dřeva navlhavost, absorpce, stálost, užitná vlastnost, tvrdost, hustota, kopolymer, petrifikace.

ABSTRACT

The Master thesis presents a study of the change of utility properties of wood after its chemical stabilization, which is based on the filling of pores containing air with another material. The main measured properties will be 3-point bending modulus, impact strength, hardness, wetness and shape stability during wetting and re-drying. The measurements were carried out on test samples of different initial density to better describe the effect of the wood structure.

Keywords: wood, polymer, composite material, wood stabilization, impregnation, wood consolidation, wetting, absorption, durability, utility, hardness, density, copolymer, petrification.

Poděkování:

Bylo mi ctí, spolupracovat s doc. Ing. Michalem Sedlačíkem, Ph.D., který mi byl vždy neochvějnou oporou a velmi dobrým vedoucím, při tvorbě této diplomové práce. Práce jako taková, mě osobně obohatila a doufám, že v ní nalezne obohacení i nejjeden čtenář, zabývající se problematikou stabilizace dřeva.

Motto:

„Když přírodní materiál už nemůže, tak mu člověk pomůže.“ *Jiří Kocourek*

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

OBSAH

ÚVOD.....	12
I TEORETICKÁ ČÁST.....	13
1 STAVBA DŘEVA.....	14
1.1 ŘEZY DŘEVEM A SMĚRY KE KMENI	14
1.2 STAVBA KMENE.....	15
1.3 MAKROSKOPICKÁ STAVBA DŘEVA	15
1.3.1 Letokruhy	15
1.3.2 Běl, jádro a dřevo vyzrálé	16
1.3.3 Dřeňové paprsky	16
1.3.4 Pryskeřičné kanálky	16
1.3.5 Póry	16
1.3.6 Ostatní makroskopické znaky dřeva	17
1.4 CHEMICKÉ SLOŽENÍ DŘEVA	18
1.4.1 Celulóza.....	18
1.4.2 Hemicelulóza.....	18
1.4.3 Lignin	18
1.4.4 Vedlejší složky dřeva	19
1.5 SUBMIKROSKOPICKÁ STAVBA DŘEVA.....	19
1.6 SUBMIKROSKOPICKÁ STAVBA ZTENČENIN.....	20
1.7 MIKROSKOPICKÁ OBECNÁ STAVBA DŘEVA.....	21
1.8 MIKROSKOPICKÁ STAVBA DŘEVA JEHLIČNATÉHO	22
1.8.1 Tracheidy.....	22
1.8.2 Parenchymatické buňky	22
1.8.3 Dřeňové paprsky	23
1.8.4 Pryskeřičné kanálky	23
1.9 MIKROSKOPICKÁ STAVBA DŘEVA LISTNATÉHO	24
1.9.1 Cévy	24
1.9.2 Tracheidy.....	25
1.9.3 Librifonní vlákna	25
1.9.4 Parenchymatické buňky	25
1.9.5 Dřeňové paprsky	25
2 DŘEVO A JEHO VLASTNOSTI.....	27
2.1 VODA VE DŘEVĚ.....	27
2.1.1 Voda volná	27
2.1.2 Voda vázaná	27

2.2	VLHKOST DŘEVA	27
2.3	NAVLHAVOST	28
2.4	NASÁKAVOST	29
2.5	HUSTOTA	30
2.6	PÓROVITOST	30
2.7	PROSTUPNOST DŘEVA KAPALINAMI	30
2.8	TEXTURA	31
2.9	BARVA A LESK	31
2.10	TRVANLIVOST VŮČI STRUKTURÁLNÍM ZMĚNÁM	32
2.11	MECHANICKÉ VLASTNOSTI	32
2.11.1	Pevnost (pružnost)	32
2.11.2	Houževnatost (štípatelnost)	33
3	POŠKOZENÍ A VADY DŘEVA	34
3.1	PŘIROZENÉ VADY ZPŮSOBENÉ RŮSTEM	34
3.2	POŠKOZENÍ ZPŮSOBENÉ POVĚTRNOSTNÍMI VLIVY	34
3.3	POŠKOZENÍ ZPŮSOBENÉ DŘEVOKAZNÝMI HOUBAMI	36
3.3.1	Celulózovorní houby	36
3.3.2	Lignovorní houby	37
3.3.3	Měkká hniloba	38
3.3.4	Dřevo zbarvující houby	38
3.4	POŠKOZENÍ ZPŮSOBENÉ PLÍSNĚMI	38
3.5	POŠKOZENÍ ZPŮSOBENÉ DŘEVOKAZNÝMI ŠKŮDCI	39
3.5.1	Červotoči	39
3.5.2	Hrbohlavci	40
3.5.3	Tesařík krovový	40
3.5.4	Kůrovci, Lýkožrouti	41
3.6	POŠKOZENÍ ZPŮSOBENÉ ŠPATNÝM ZPRACOVÁNÍM A MANIPULACÍ	41
3.7	POŠKOZENÍ ZPŮSOBENÉ VLIVEM TEPLoty	42
3.7.1	Tepelná degradace krátkodobá	42
3.7.2	Tepelná degradace dlouhodobá	42
4	PŘÍPRAVA, KONDICIONOVÁNÍ A SUŠENÍ DŘEVA	43
4.1	PRACOVNÍ POSTUP SUŠENÍ	43
4.2	KONDICIONOVÁNÍ	45
5	STABILIZAČNÍ SYSTÉMY A JEJICH DĚLENÍ	46
5.1	PŘÍRODNÍ STABILIZAČNÍ LÁTKY	46
5.2	NÍZKO VISKÓZNÍ MONOMERY A KOPOLYMERY	46
5.3	EPOXIDOVÉ PRYSKYŘICE	47
5.4	OBCENĚ POŽADOVANÉ VLASTNOSTI STABILIZAČNÍHO SYSTÉMU	48
6	TECHNOLOGIE STABILIZACE A POSTUP VÝROBY	49

6.1	POSTUP VÝROBY STABILIZOVANÉHO DŘEVA - VAKUOVĚ TLAKOVÁ METODA	49
6.2	POSTUP VÝROBY KOMPOZITU ZE STABILIZOVANÉHO DŘEVA A EPOXIDU	50
7	SHRNUTÍ TEORETICKÉ ČÁSTI.....	51
II	PRAKTICKÁ ČÁST	52
8	CÍLE PRÁCE	53
9	TESTOVACÍ VZORKY A JEJICH VOLBA.....	54
9.1	ZKUŠEBNÍ TĚLÍSKA TVARU KVÁDR	54
9.2	ZKUŠEBNÍ TĚLÍSKA TVARU VIDLIČKA	54
9.3	TOTOŽNÉ PARAMETRY VÝROBY TĚLÍSEK OŘECH, MODŘÍN, SMRK.....	54
9.3.1	Specifické parametry výroby tělísek stabilizovaného ořechu	55
9.3.2	Specifické parametry výroby tělísek stabilizovaného modřínu	55
9.3.3	Specifické parametry výroby tělísek stabilizovaného smrku.....	55
10	MÍRA NAPUŠTĚNÍ VZORKŮ A HNOTNOSTNÍ ROZDÍLY.....	56
10.1	METODIKA MĚŘENÍ	56
10.2	ROZDÍLY HMOTNOSTÍ PŘI ZPRACOVÁNÍ VZORKŮ OŘECHU	56
10.3	ROZDÍLY HMOTNOSTÍ PŘI ZPRACOVÁNÍ VZORKŮ MODŘÍNU	58
10.4	ROZDÍLY HMOTNOSTÍ PŘI ZPRACOVÁNÍ VZORKŮ SMRKU	60
11	POSTUP STABILIZACE A PRŮBĚHY TEPLIT	62
11.1	MĚŘICÍ A REGULAČNÍ PŘÍSTROJ ARDUINO UNO R3	62
11.2	ODPOROVÁ PEC VLASTNÍ KONSTRUKCE V1.3	62
11.3	METODIKA MĚŘENÍ	63
11.4	PRŮBĚH STABILIZACE PRO SYSTÉM CACTUS JUICE A MODŘÍN.....	63
11.5	PRŮBĚH STABILIZACE PRO SYSTÉM CACTUS JUICE A OŘECH.....	64
11.6	PRŮBĚH STABILIZACE PRO SYSTÉM CACTUS JUICE A SMRK	65
12	REOLOGIE STABILIZAČNÍHO SYSTÉMU.....	67
13	VLIV STABILIZACE NA RÁZOVOU HOUŽEVNATOST.....	68
13.1	RÁZOVÁ HOUŽEVNATOST CACTUS JUICE A OŘECH	68
13.2	RÁZOVÁ HOUŽEVNATOST CACTUS JUICE A MODŘÍN	71
13.3	RÁZOVÁ HOUŽEVNATOST CACTUS JUICE A SMRK.....	73
14	VLIV STABILIZACE NA MODUL OHYBU	75

14.1	OHYBOVÁ ZKOUŠKA CACTUS JUICE A OŘECH.....	75
14.2	OHYBOVÁ ZKOUŠKA CACTUS JUICE A MODŘÍN.....	76
14.3	OHYBOVÁ ZKOUŠKA CACTUS JUICE A SMRK	77
14.4	OHYBOVÁ ZKOUŠKA POROVNÁNÍ NEJVYŠŠÍ PEVNOSTI.....	79
14.5	OHYBOVÁ ZKOUŠKA POROVNÁNÍ STLAČENÍ PŘI MAXIMÁLNÍ SÍLE	80
14.6	OHYBOVÁ ZKOUŠKA POROVNÁNÍ STLAČENÍ PŘI PORUŠENÍ	81
14.7	OHYBOVÁ ZKOUŠKA POROVNÁNÍ MODULU PRUŽNOSTI	82
15	VLIV STABILIZACE NA TVRDOST SHORE D.....	83
15.1	VLIV CACTUS JUICE NA TVRDOST DŘEVA OŘECHU	83
15.2	VLIV CACTUS JUICE NA TVRDOST DŘEVA MODŘÍN	84
15.3	VLIV CACTUS JUICE NA TVRDOST DŘEVA SMRKU	85
15.4	POROVNÁNÍ NAMĚŘENÝCH VÝSLEDKŮ TVRDOSTI SHORE D PRO OŘECH, MODŘÍN, SMRK	86
16	VLIV STABILIZACE A UV ŽÁŘENÍ NA BARVEVNOU STÁLOST	87
16.1	VÝPOČET DOBY UV STÁRNUTÍ.....	87
16.2	INDEX ŽLUTOSTI LOVIBOND RT 850i	87
16.3	ZMĚNA INDEXU ŽLUTOSTI VZORKŮ OŘECHU NE/STABILIZOVANÝCH	88
16.4	ZMĚNA ŽLUTOSTI VZORKŮ MODŘÍNU NE/STABILIZOVANÝCH	90
16.5	ZMĚNA INDEXU ŽLUTOSTI VZORKŮ SMRKU NE/STABILIZOVANÝCH	92
17	VLIV STABILIZACE NA CYKlickOU NASÁKAVOST	94
17.1	CYKlickÁ NASÁKAVOST NE/ZASTABILIZOVÁNÉHO OŘECHU	94
17.2	CYKlickÁ NASÁKAVOST NE/ZASTABILIZOVÁNÉHO MODŘÍNU.....	97
17.3	CYKlickÁ NASÁKAVOST NE/ZASTABILIZOVÁNÉHO SMRKU.....	99
18	ZÁVĚR.....	101
18.1	TEORETICKÁ ČÁST.....	101
18.2	PRAKTICKÁ ČÁST	101
19	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	103
20	SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK.....	105
21	SEZNAM OBRÁZKŮ.....	107
22	SEZNAM TABULEK	109

ÚVOD

Dřevo je jeden z prvních lidmi používaných materiálů, díky kterému se lidstvo mohlo pracovat od klacku (dřeva), jako nejjednoduššího stroje páky, až ke složitým kompozitním materiálům a strojům, které umožnily cestu lidstva až ke hvězdám, z níž vzešlo.

Je lidskou přirozeností, věci známé vylepšovat a vyvíjet, aby uspokojili svou zvědavost a touhu po dokonalejších a stálejších výrobcích. Nač by bylo vytvářet pracně dokonalost, když bude velice pomíjivá.

Stabilizace dřeva je metoda zpracování, pro dosažení co nejoptimálnějších užitných vlastností. Snoubí se vněm dřevo, se svojí krásnou a hlavně nevyrobitelnou strukturou, barevností a vzorováním, spolu s mechanickou odolností a stálostí polymerních systémů, vyvinutých v posledních desítkách let. Aby vznikl nový kompozitní materiál využívající všech nejlepších vlastností z obou či více složek, z níž je vytvořeno.

I. TEORETICKÁ ČÁST

1 STAVBA DŘEVA

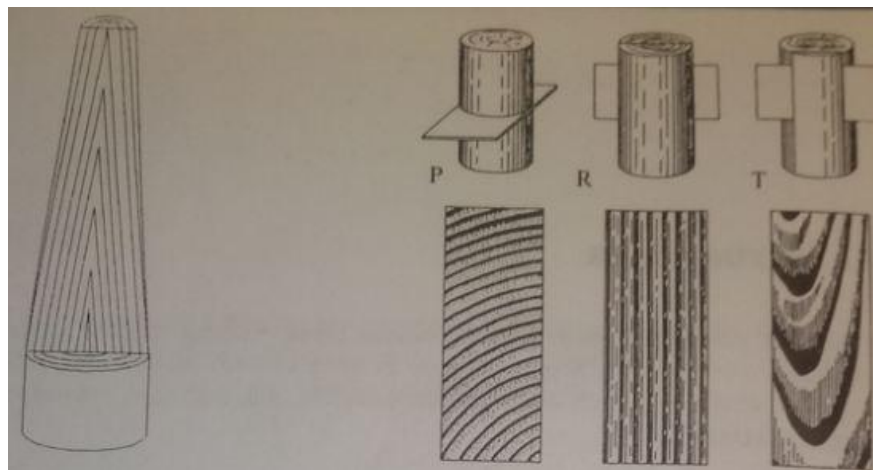
Dřevo je anizotropní, nehomogenní, vláknitý přírodní materiál, jehož stavbu ovlivňují různorodé faktory. Ze stromu se využívá hlavně kmen, ale kmen je jen jednou z částí stromu, ten se skládá z několika základních částí: kořeny, kmen, větve a koruna. Jak řekl básník: „Jen jedna koruna je úctyhodná, koruna stromu.“ *S. K. Neumann.*

1.1 Řezy dřevem a směry ke kmeni

Stromy přirůstají ve vrstvách, proto stavba kmene je kuželovitě válcovitá, co vrstva to rok. Šířka vrstev záleží na růstových podmínkách, kterým byl strom vystaven. V oblastech, ve kterých se střídá zimní a letní období, je zjevná pouhým okem a hmatem změna jak šířky, hustoty, tak i barvy přírůstků. Ty se nazývají letokruhy, stromy rostoucí v pásmech tropických a subtropických letokruhy nemají, protože jejich růst je rovnoměrný v průběhu celého roku.

Z těchto důvodů můžeme rozdělovat tři hlavní směry řezu kmenem.

- Transversální (příčný, čelní) - Tento řez je veden kolmo na osu směru růstu, čili příčně na směr vláken. Tento řez je charakteristický soustřednými letokruhy. Při zkosení tohoto řezu lze dosáhnout kruhové, parabolické či eliptické kresby letokruhů.
- Radiální (středový, poloměrový) - Tento řez je veden biologickou osou kmene. Letokruhy jsou rovnoběžné.
- Tangenciální (tečný) - Tento řez je rovnoběžný s biologickou osou kmene, ale neprochází jí. V tomto řezu vytváří letokruhy hyperbolické vzory.



Obrázek 1 Kuželovitě válcovitá stavba kmene a jeho hlavní řezy [1]

1.2 Stavba kmene

- Kůra – Jedná se o povrchovou vrstvu kmene, jenž slouží v průběhu života stromu jako ochranná vrstva.
- Lýko – Tvoří vrstvu hned pod kůrou a slouží k vedení vody, minerálních látek a látek vzniklých v listech za pomoci fotosyntézy.
- Kambium – Jedná se o tenkou vrstvu, která je tvořena jedinou vrstvou buněk. Veškeré objemové přírůstky dřevní hmoty jsou tvořeny právě zde.
- Dřevo centrální (jádrové) – Tvoří zhruba 70 – 93 % celkového objemu stromu a všech jeho dřevnatých částí. Slouží jako mechanická opora stromu a umožňuje mu další růst.
- Dřeň – Je řídké (měkké) pletivo zhruba ve středu kmene. V prvních letech růstu stromu má podíl na vedení vody. Dle druhu stromu má různé tvary. Jeho špatné mechanické vlastnosti neblaze ovlivňují kvalitu dřeva a mohou způsobit popraskání při sušení směrem od biologické osy kmene.

1.3 Makroskopická stavba dřeva

1.3.1 Letokruhy

Letokruh je tvořen přírůstkem dřevní hmoty během jednoho vegetačního období růstu stromu. Vzniká ve vrstvě kambia a v našich podmínkách lze rozlišit pouhým okem. Síla, barva a hustota letokruhu je ovlivněna rychlostí růstu stromu a závisí na prostředí. To se netýká, stromů rostoucích v tropických a subtropických podnebních pásmech, protože stromy rostou srovnatelnou rychlostí po celý rok.

Stavba a šířka letokruhů je ovlivněna druhem stromu, jeho věkem, podmínkami a polohou v kmeni. Proto šířka letokruhů běžně dosahuje od 1 mm až po 1 cm, to určuje do značné míry tvrdost konkrétního dřeva.

Pro historiky jsou letokruhy velice užitečné, při porovnání přírůstků jednotlivých vzorků dřeva lze poměrně přesně datovat dobu, ve které strom rostl. Při velkém množství dat lze tak snadno nepřímou určit vegetační podmínky v dávné minulosti na naší planetě. Tento vědní obor se nazývá dendrochronologické datování dřeva. Jinými slovy dendrochronologie získává data měřením šířek letokruhů.

1.3.2 Běl, jádro a dřevo vyztřalé

- Běl

Je mladá část dřeva vznikající na vnitřní straně kambia. Ve stromě slouží k transportu vody a živin z kořenů do listů a k ukládání zásobních látek. Je tvořena živými buňkami, postupně se přeměňuje na dřevo vyztřalé a pak na dřevo jádrové, kdy tyto části již primárně slouží jako opora.

- Jádro

Je část nacházející se nejbliže biologické ose růstu. Je prostá živých buněk a neumožňuje vedení vody, což je způsobeno ukládáním pryskyřic u jehličnanů a gummy u listnatých stromů.

- Vyztřalé dřevo

Je strukturně podobné dřevu jádrovému, ale barevně se podobá běli.

1.3.3 Dřeňové paprsky

Slouží k dopravě vody a živin horizontálně, tj. kolmo na směr růstu. Významně ovlivňují mechanické vlastnosti dřeva, bohužel k horšímu, mají odlišnou barvu. U druhů dřevin, kde jsou viditelné okem, vytvářejí lesklé plošky (zrcátka). Výška šířka a velikost dřeňových paprsků dobře slouží k identifikaci jednotlivých druhů dřeva. Široké paprsky jsou typicky přítomny na dubu, buku, platanu.

1.3.4 Pryskyřičné kanálky

Jsou tvořeny systémem buněk vylučujícími a rozvádějícími pryskyřici. Nachází se téměř u všech jehličnanů až na jedli, tis, a jalovec. Listnaté stromy pryskyřičné kanálky nemají. Systém je tvořen horizontálními a vertikálními kanálky, z toho vertikálních jsou 2/3 z celkového množství. Objem pryskyřičných kanálků je závislý na druhu stromu, ale i při vysoké koncentraci ve dřevě nepřesáhují 0,7 % objemu, tudíž mají malý vliv na mechanické vlastnosti.

1.3.5 Póry

Póry se vyskytují jen u listnatých stromů, jsou rostlé rovnoběžné s osou stromu a na průřezu jsou okrouhlé. Slouží k vedení živin, k tomu využívají kapilárního jevu. Jejich průměr

je běžně větší než 0,1 mm. Vyšší koncentrace větších cév je v jarním dřevě s nižší hustotou.

1.3.6 Ostatní makroskopické znaky dřeva

- Suky

Jsou pozůstatkem odumřelých či ještě živých větví. Nachází se v každém dřevě a významně ovlivňují nehomogenitu dřeva, což má neblahý vliv na mechanické vlastnosti. Suky rostou vždy od středu kolo na biologickou osu stromu.

- Barva dřeva

Barvu dřeva ovlivňují látky obsažené v buněčných stěnách či lumenech. Barva závisí na prostředí, v kterém strom vyrůstá. Obecně platí, že stromy v tropech mají tmavší barvu. Intenzita barvy se zvyšuje spolu s rostoucím věkem stromu.

- Lesk dřeva

Je zejména způsoben procentuálním zastoupením dřevných paprsků.

- Textura dřeva

Čili kresba dřeva, je ovlivněna růstem stromu a z které části kmene je dřevo odebráno. Nejzajímavější kresbu mají nádory, kořenovice, nebo obrostlé poškozené části stromu.

- Očka

Jsou zarostlé pupeny větví. Vznikají těsně u lýka a projevují se velice složitou a krásnou tvarovou kresbou. Proto jsou velice ceněny a užívány pro dekorační účely, jako např. rukojeti ručně vyráběných nožů.

- Svalovitost

Jedná se o zkroucení dřevních vláken, způsobeno zejména vnějšími vlivy. Nejvýznamnější jsou: vítr a směr slunečního záření.

- Kořenice

Jedná se o velice tvarově složitou a krásnou část dřeva, která se nachází pod pařezem. Vzniká srůstáním letokruhů jednotlivých kořenů. Také se jedná o velice ceněnou část dřeva.

- Reakční dřevo

Vzniká namáháním vnějšími silami, zejména větrem. Ten představuje mechanickou zátěž. Projevuje se vyosením letokruhů.

1.4 Chemické složení dřeva

Obecné přibližné chemické složení různých druhů dřeva je 49,5 % uhlíku, 44,2 % kyslíku, 6,3 % vodíku, 0,1 – 1 % dusíku. Hlavní složku dřeva 90 – 98 % reprezentují polymerní látky, které tvoří buněčné stěny a mezibuněčnou hmotu. Konkrétně se zde jedná o polysacharidy, celulóza, hemicelulóza lignin. V menším zastoupení jsou nízkomolekulární aromatické polymery.

1.4.1 Celulóza

Jedná se o základní stavební jednotku buněčných stěn, tvoří přibližně 43 až 52 % z celkové hmotnosti dřeva. Čistá celulóza je homopolymer, který dosahuje délky řetězců průměrně od 8000 až 10000 lineárně navázaných monomerních jednotek. Tyto řetězce dosahují délky až 0,01 mm, se zvyšující délkou roste pevnost dřeva. Řetězce jsou krystalicko-amorfní a jsou vzájemně svázány vodíkovými můstky v krystalických částech, které tvoří 40 – 70 %. Voda se váže převážně na části amorfní. Čím více je celulóza krystalická, tím je odolnější proti bobtnání dřeva a mechanickým namáháním.

1.4.2 Hemicelulóza

Jedná se o lineární polysacharidy s krátkými postranními řetězci, které mají oproti celulóze nižší molární hmotnost, nejsou tak chemicky odolné a lze je snadněji chemicky hydrolyzovat. Dosahují polymeračního stupně až 150 článků a jsou z větší části amorfní. Zastoupení ve dřevě je zhruba 20 až 35 hmotnostních %.

1.4.3 Lignin

Třetím základním kamenem dřeva je lignin, který tvoří 20 až 30 % hmotnosti dřeva. Ve dřevě zajišťuje zdřevnatění (lignifikaci) buněčných stěn. Jedná se o amorfní polymer složený z fenylypropanu. Má složitou strukturu, složenou ze 70 až 130 podjednotek a ty spojeny v počtu až 500 podjednotek vytváří jednu ligninovou makromolekulu. Lignin zvyšuje odolnost proti pronikání vody a mikroorganických organismů, je hydrofobní a zvyšuje tlakovou a tahovou pevnost. Rozklad ligninu začíná od teploty nad 140 °C.

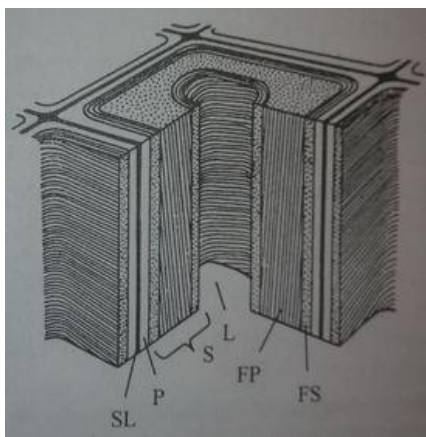
1.4.4 Vedlejší složky dřeva

Jedná se o pestrou škálu stopových látek anorganických i organických. Mezi anorganické látky obsažené ve dřevě patří zejména Ca, K, Mg, Na, Mn a další.

Mezi organické látky se řadí sacharidy, terpenoidy, třísloviny, flavonoidy, chinony, lignany, alkaloidy, acyklické kyseliny, alkoholy, bílkoviny, tuky, vosky a mnohé další.

1.5 Submikroskopická stavba dřeva

Lignifikované buňky dřeva se skládají z buněčné stěny a dutiny. Je možné je pozorovat jen mikroskopem a to nejlépe elektronovým. Buněčná stěna je zobrazena na obrázku níž.



Obrázek 2 Struktura buněčné stěny [1]

- střední lamela (SL)
- primární stěna (P)
- sekundární stěna (S)
- lumen (L)
- podélně uložené fibrily (FP)
- spirálové fibrily (FS)

Střední lamela. Její síla je závislá na druhu dřeva, v průměru je 0,2 až 0,5 nm. Tvoří ji převážně lignin (70 %), zbylá část je tvořena pektiny a hemicelulózou.

Primární stěna. Je chemicky podobná střední lamele, avšak je dále tvořena ze 7 až 15 % celulózu. Síla této vrstvy se pohybuje mezi 0,1 až 0,5 μm . Má výrazně méně směrově uspořádané celulózové fibrily oproti vnitřním vrstvám.

Sekundární stěna. Je tvořena vnější, střední a vnitřní vrstvou se složením až 43 % celulózy, která má vysokou míru uspořádanosti. Vysoký objem celulózy tvoří podstatnou míru mechanické odolnosti. Její stálost je způsobena lignifikací. Tento proces vytváří chemické a fyzikální vazby mezi ligninem a polysacharidy. Sekundární stěna je tvořena jednou až třemi vrstvami v závislosti na druhu dřeva. Mezi celulóзовými vlákny díky rozdílným orientacím a uspořádáním vznikají submikroskopické dutiny, které slouží k dopravě velkého množství vody pomocí kapilárních sil.

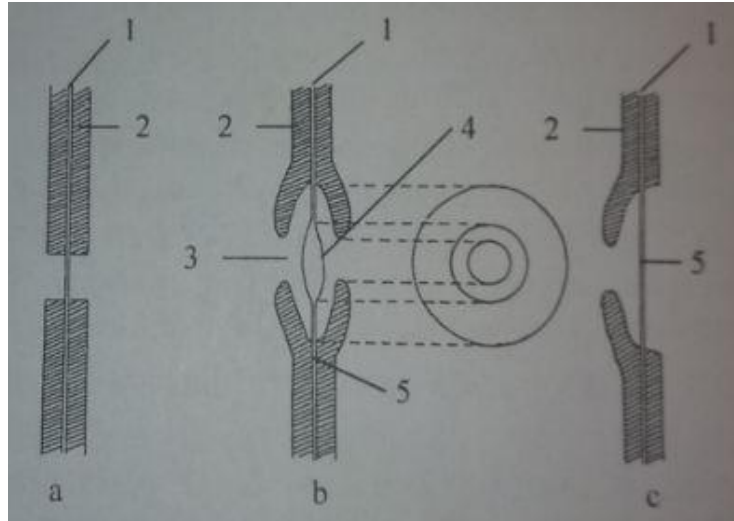
Vnější vrstva. Obsah ligninu je také převládající částí jak u předchozích vrstev. Hlavní rozdíl je v uspořádání fibril celulózy, ty svírají úhel průměrně 60° , u jehličnanů je to 45° a její síla je 0,1 až 0,35 μm .

Střední vrstva. Je z vrstev sekundární stěny nejsilnější a je tvořena zejména krystalickou celulózou a ligninem jehož objem se pohybuje mezi 5 až 20 %. Má velmi husté fibrily s orientací 5 až 15° výjimečně 30° od osy buněčné stěny. Toto uspořádání způsobuje vysoké mechanické vlastnosti zejména v tahu po směru vláken dřeva. Pravidelné uspořádání narušují ztenčeniny. Průměrná síla této vrstvy se pohybuje v rozmezí od 0,2 až 0,5 μm .

Vnitřní vrstva. Je tvořena převážně celulózou a hemicelulózou. Orientace fibril je kolmá na osu buňky a jednotlivé fibrily jsou od sebe poměrně vzdálené, tím jsou oproti vrstvě střední tvořeny větší mikrokapiláry sloužící k vedení vody.

1.6 Submikroskopická stavba ztenčenin

Mezi buňkami jsou dva druhy průchodů, které zabezpečují výměnu vody a potřebných živin. Tyto průchody se nazývají ztenčeniny. Ztenčeniny vytváří mikroskopické ztenčené místa v buněčné stěně, která oslabují buňku jak po stránce mechanické, tak zejména usnadňují vstup hub a plísní. Jednodušší ztenčeniny jsou tečky a dvůrkaté ztenčeniny, složitější se nazývají dvojtečky.



Obrázek 3 Ztenčeniny typu a - tečka; b - dvojtečka; c - poloviční dvojtečka

1 - střední lamela; 2 - sekundární buněčná stěna; 3 - porus; 4 - torus; 5 - magro. [1]

- Tečky

Mají okrouhlý tvar a nachází se ve ztenčeném místě, jsou tvořeny pouze primární stěnou a střední společnou lamelou pro dvě sousedící buňky. Uspořádání tvar a velikost teček je dána druhem dřeva.

- Dvojtečky

Název mají dle vzhledu pod mikroskopem při radiálním řezu jako dvě soustředné kružnice. Jsou velmi propustné, protože jsou tvořeny vlákny paprskovitého uspořádání. Ve střední části jsou ztloustlé a méně propustné. To v kombinaci s umístěním v dutině tvořené sekundární stěnou slouží jako ventil, kdy při rozdílných tlacích mezi buňkami, se porus opře o vydutou sekundární buněčnou stěnu a téměř uzavře průchod dvojtečkou. To má za následek zhoršené pronikání kapalin či stabilizačního roztoku mezi jednotlivými buňkami.

1.7 Mikroskopická obecná stavba dřeva

Dřevo jako organický materiál se skládá z hlavních tří typů buněk, ty mají v průběhu života různé funkce a vlastnosti.

Parenchymatické buňky slouží k distribuci živin.

Sklerenchymatické buňky slouží jako mechanická podpora.

Cévy slouží k distribuci živin a lze je rozdělit na tracheje = pravé cévy a na tracheidy = cévnice.

Dle zastoupení jednotlivých buněk lze rozdělit dřeviny na listnaté či jehličnaté. Jejich rozlišení se provádí porovnáním jednotlivých základních řezů. Dřevo jehličnanů má totiž snadno rozpoznatelnou homogenní strukturu, hlavně v řezu příčném oproti dřevům listnáčů. Rozlišení dřev listnatých dřevin vzájemně od sebe bývá obtížnější, stejně jako odlišit od sebe jednotlivé druhy dřev jehličnanů. K tomu je potřeba znát stavbu dřeva, všimnout si jejich typických znaků, zastoupení jednotlivých typů buněk a mnohých dalších rysů, jež jsou popsány níže.

1.8 Mikroskopická stavba dřeva jehličnatého

Jehličnany jsou evolučně starší druhy dřevin a jako takové mají i jednodušší stavbu dřeva. Převážná složka je tvořena tracheidy, ty tvoří 90 až 94 % objemu jehličnatého dřeva.

1.8.1 Tracheidy

Tracheidy mají různé tvary (oblé, špičaté, vidličkovité) i velikosti, ty závisí na poloze v letokruhu, tedy na období vzniku, stáří stromu, poloze v kmeni a růstových podmínkách stromu. Ve dřevě zaujímají různé funkce v závislosti na období vzniku (jarní, letní). Dle tvaru a četnosti jsou jedním z diagnostických znaků k rozlišení druhu dřeva. Většina tracheid je rostlá vertikálně.

- Jarní tracheidy

Jarní tracheidy jsou tenkostěnné buňky s vysokou četností dvojteček, v závislosti na druhu dřeva je počet v rozmezí 70 až 90 dvojteček na buňku. Jejich délka je 2 až 6 mm a šířka 2 až 3 μm . Velké množství dvojteček předurčuje jarní tracheidy k významné distribuci vody a živin. Velká nevýhoda pro stabilizaci dřeva tkví v tom, že po vysušení dřeva se většinou významná část uzavírá a tím brání jak vysychání, tak následnému napouštění.

- Letní tracheidy

Letní tracheidy mají oproti jarním tlustostěnné buňky a obsahují výrazně méně dvojteček 8 až 25 na jednu buňku. Bývají až o 10 % delší a průměrná síla buněčné stěny je 3 až 7 μm .

1.8.2 Parenchymatické buňky

Tyto buňky slouží zejména k ukládání zásobních látek, jsou vybaveny jednoduchými ztenčeninami, průměrné rozměry jehličnatých parenchymatických buněk jsou v řádů 10 –

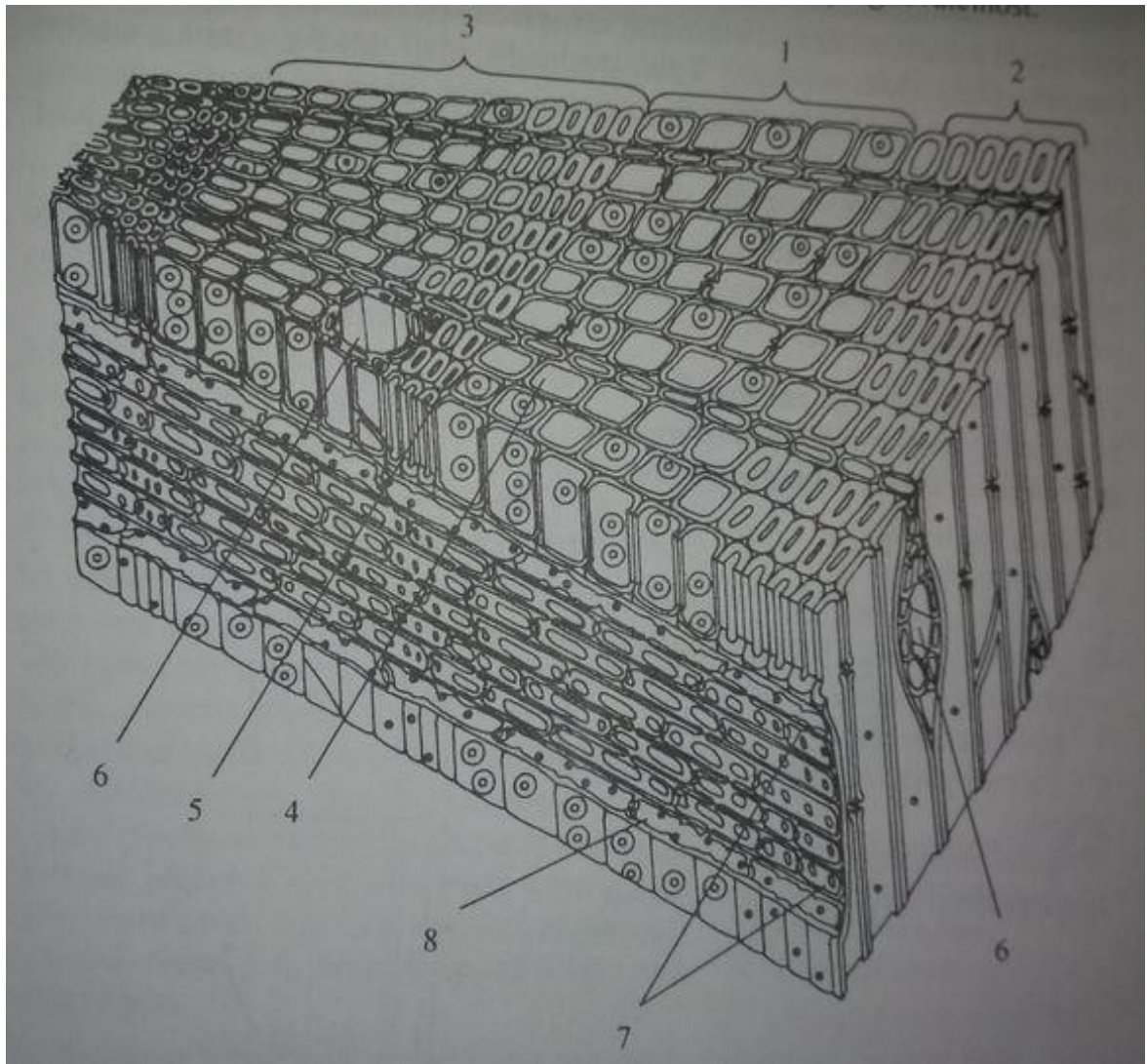
70 μm . Dále se podílejí na skladbě dřevových paprsků, pryskyřičných kanálků a parachy-
mu.

1.8.3 Dřeňové paprsky

Dřeňové paprsky zabírají 5 až 10 % objemu jehličnanů. Dělí se na dva druhy a to stejně buněčné a různě buněčné. Jehličnany, které nemají pryskyřičné kanálky, mají zpravidla dřevové paprsky jednoduché. Jehličnany, které mají pryskyřičné kanálky, mají vždy dřevové paprsky různě buněčné a tím pádem vícevrstvé.

1.8.4 Pryskyřičné kanálky

Pryskyřičné kanálky se dělí na dva typy: vertikální a horizontální. Jsou to dutiny ve dřevě vyplněné pryskyřicí, rozpínající se v celém objemu stromu. Jejich počet a orientace je významným diagnostickým znakem pro určování dřeva, tím pádem je pro každou dřevinu specifická. Průměr kanálků bývá přibližně 0,036 až 0,048 mm.



Obrázek 4 Anatomická stavba jehličnatého dřeva [2]

1 – jarní dřevo; 2 – letní dřevo; 3 – letokruh; 4 – jarní tracheida s dvojtečkami; 5 – letní tracheida; 6 – pryskyřičný kanálek; 7 – dřevový paprsek; 8 – příčná tracheida

1.9 Mikroskopická stavba dřeva listnatého

Listnaté dřeviny jsou evolučně mladší a tím pádem mají i složitější stavbu dřeva. Jsou oproti jehličnanům tvořeny větším a výrazně specializovanějším počtem buněk. Listnaté dřeviny jsou tvořeny buňkami cévními, tracheidami, libriformními buňkami a parenchymatickými buňkami.

1.9.1 Cévy

Cévy jsou rostlé s biologickou osou růstu listnatých stromů a slouží jako rozvodná síť pro vodu a živiny. Objem ve dřevě se u listnáčů významně liší druh od druhu. Například javor

má 4 až 8 % svého objemu tvořených cévami. Habr má 10 až 15 %, u buku či topolu je to 22 až 37 % objemu, které tvoří cévy. Cévy dosahují až 10 mm délky, ale jsou známy i dřeviny, jenž mají délku až jednotky metrů. Stavba cév obsahuje i perforace, které jsou typické pro jednotlivé druhy listnáčů. Dělí se na jednoduché perforace a složené perforace. Stěny cév obsahují dvůrkaté ztenčeniny tzv. dvojtečky, ale na rozdíl od stromů jehličnaných ztenčeniny neobsahují torus. To je předurčuje k snadnějšímu napouštění, protože se vysokým rozdílem tlaku kapaliny nedokážou uzavřít. Dvojtečky listnáčů oproti jehličnanům jsou početnější, menší a vytváří různé uskupení v závislosti na druhu dřeviny, to je dalším s diagnostických znaků druhu dřeva. Mezi parenchymatickou buňkou a cévou jsou ztenčeniny poloviční dvojtečky. Parenchymatická buňka má tečku a strana cévní má dvojtečku.

1.9.2 Tracheidy

Tracheidy jsou spojovacími prvky mezi buňkami různých struktur dřeva, funkci mají jak mechanickou tak i přenosnou. Jejich počet opět záleží na druhu dřeva. Při pohledu mikroskopem jsou obvykle těžko rozpoznatelné. Jsou známy tři základní druhy listnatých tracheid: cévové tracheidy, vazicentrické tracheidy, a vláknité tracheidy. Liší se zejména svojí polohou a mírou funkce mechanické a distribuční.

1.9.3 Libriformní vlákna

Tato vlákna plní především mechanickou funkci, průměrně tvoří 50 až 60 % objemu dřeva. Jsou známi i dřeviny s objemy až 75 %, ale i pouhých 36 %. Jejich průměrná délka je 0,2 až 2 mm a šířka 0,015 až 0,05 mm.

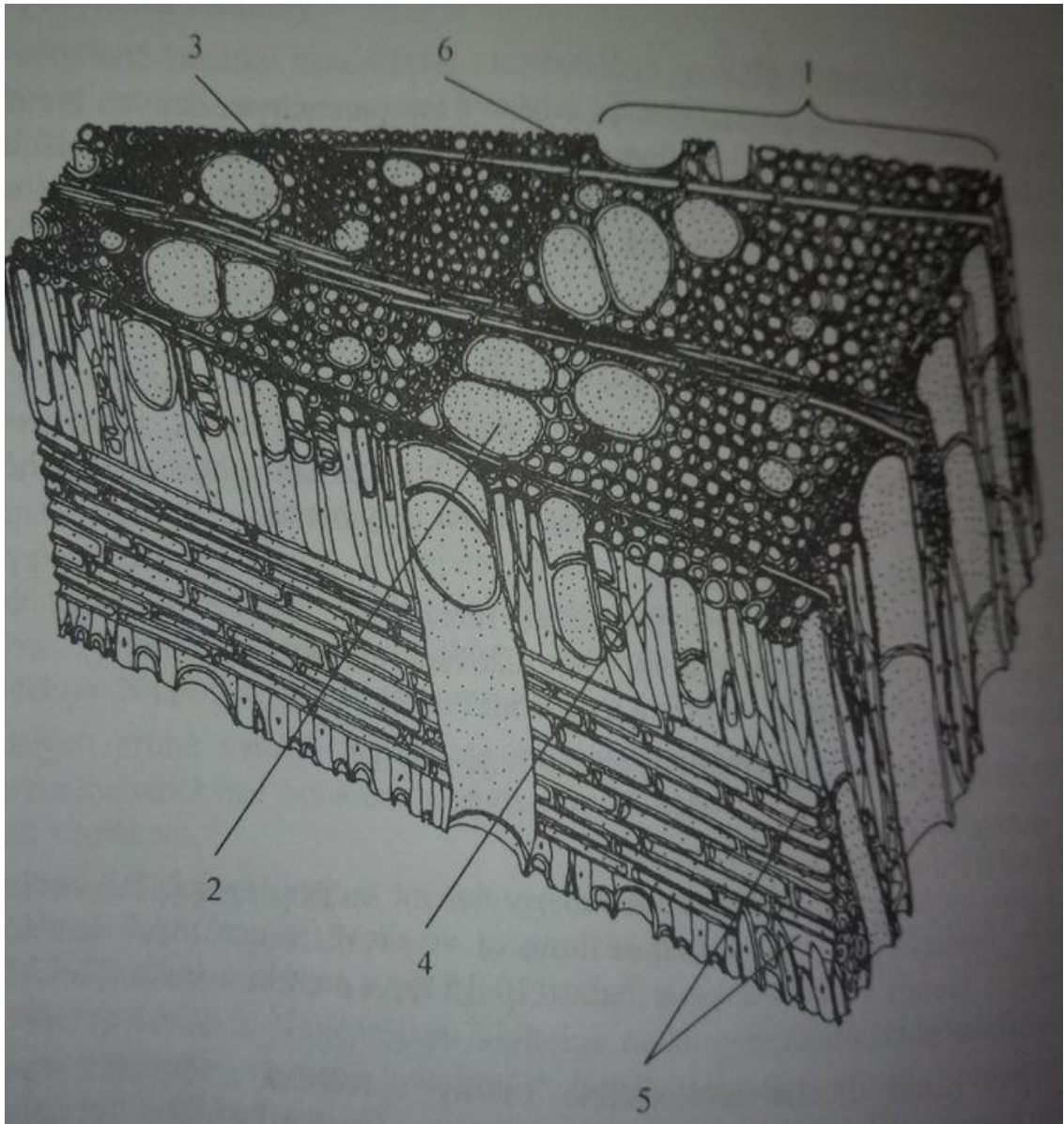
1.9.4 Parenchymatické buňky

U listnáčů tvoří 8 až 35 % objemu dřeva a oproti jehličnanům jsou tvarově rozmanitější. Známe dva typy dle orientace ve dřevě, a to vertikální a horizontální. Tvoří nedílnou část cévních kanálků a slouží k uvolňování latexů pryskyřic a gum, a to dle druhu dřeviny.

1.9.5 Dřeňové paprsky

Tyto paprsky jsou vždy rostlé kolmo na biologickou osu růstu stromu. U listnáčů jsou téměř vždy vícevrstvé a tvarově velice pestré. Jejich stěny jsou tenké a poseté tečkami. Dělíme je dle pozice vůči cévám na kontaktní, izolační a kontaktně izolační. Různé druhy listnáčů mají různě široké dřeňové paprsky. Na řezu dřevem lze pozorovat jejich přímost a

vytváří okem pozorovatelné lesklé plošky. Proto je jejich četnost, velikost a tvar významným diagnostickým znakem konkrétních druhů dřevin.



Obrázek 5 Anatomická stavba listnatého dřeva [2]

,Kdy 1 - letokruh; 2 – jarní céva; 3 – letní céva; 4 – libriformní vlákno; 5 – dřeňový prvek; 6 – podélný parenchym

2 DŘEVO A JEHO VLASTNOSTI

2.1 Voda ve dřevě

Voda ve dřevě se dělí na dvě skupiny, na vodu vázanou a vodu volnou. Vlhkost a rychlost sdílení vody mezi jednotlivými buňkami je výrazně vyšší ve směru vláken, což je působeno kapilárními jevy a strukturou dřeva. Napříč vlákny je rychlost sdílení vody výrazně nižší. Množství vody ve dřevě se dá určit velkým množstvím metod, lze je dělit na metody přímé a nepřímé.

Přímá metoda je metoda gravimetrická, která porovnává hmotnost suchého vzorku a navlhčeného vzorku. Nepřímé metody závisí na: rozdílu elektrické vodivosti, či pohlcování a odrazu elektromagnetických vln.

Další složkou je voda chemicky vázaná, ta se však nepodílí na vlhkosti dřeva, ale plní strukturální podstatu dřeva jako takového.

2.1.1 Voda volná

Je voda rozptýlena v mezibuněčných prostorech a lumenech buněk. Množství vody volné je úměrné pórovitosti dřeva. Je přítomna jen při plném obsazení vody fyzikálně vázané. Voda volná je lehce uvolnitelná a sorbovatelná.

2.1.2 Voda vázaná

Voda vázaná je uzavřená v buňkách dřeva, nebo je vázána vodíkovými můstky na strukturu dřeva jako takového, proto se vysouší a navlhá výrazně pomaleji. Důvodem je, že voda uzavřená v buňce ji může opustit především ztenčeninami. Ztenčeniny zvané dvojtečky při vysokém rozdílu tlaku vlhkosti se uzavírají a tím proces difúze vody mezi buňkami výrazně zpomalují. Proto je důležité při sušení dodržet sušicí postup. Maximální množství vázané vody se pohybuje okolo 30 % hmotnosti dřeva. Tato hodnota se průměrně považuje za maximální sorpci dřeva.

2.2 Vlhkost dřeva

Měrná vlhkost dřeva, w , je poměr množství vody ku množství sušiny. Sušinou se označuje dřevo vysoušené při teplotě $103\text{ °C} \pm 2\text{ °C}$ a to do dosažení konstantní vlhkosti. Takto vy-

sušené dřevo je dřevo bez fyzikálně vázané vody. Vlhkost dřeva tedy lze zjišťovat několika způsoby.

- Měření hmotnosti dle ČSN 490103. [3] Vzorek se suší při teplotě 101 °C až 105 °C, až k ustálené vlhkosti dle vzorce.

$$w = \frac{m_w - m_o}{m_o} \cdot 100 [\%] \quad \text{Rovnice 1} \quad (1)$$

, kdy w - vlhkost dřeva, m_w - vlhkost vzorku dřeva a m_o - vlhkost vysušeného vzorku dřeva.

- Měření elektrickým vlhkoměrem. Vlhkost se určuje elektrickou vodivostí dřeva závisící na druhu dřeva a jeho vlhkosti. Dle druhu přístroje je v návodu srovnávací tabulka k správnému odčítání měřených hodnot. Obvyklá přesnost těchto měřících přístrojů je $\pm 1 \%$. Dále velice záleží na hloubce vniku měřících sond, které hodnotu odčítají, proto je nutné měření opakovat a vytvořit průměrnou hodnotu vlhkosti vzorku. [4]

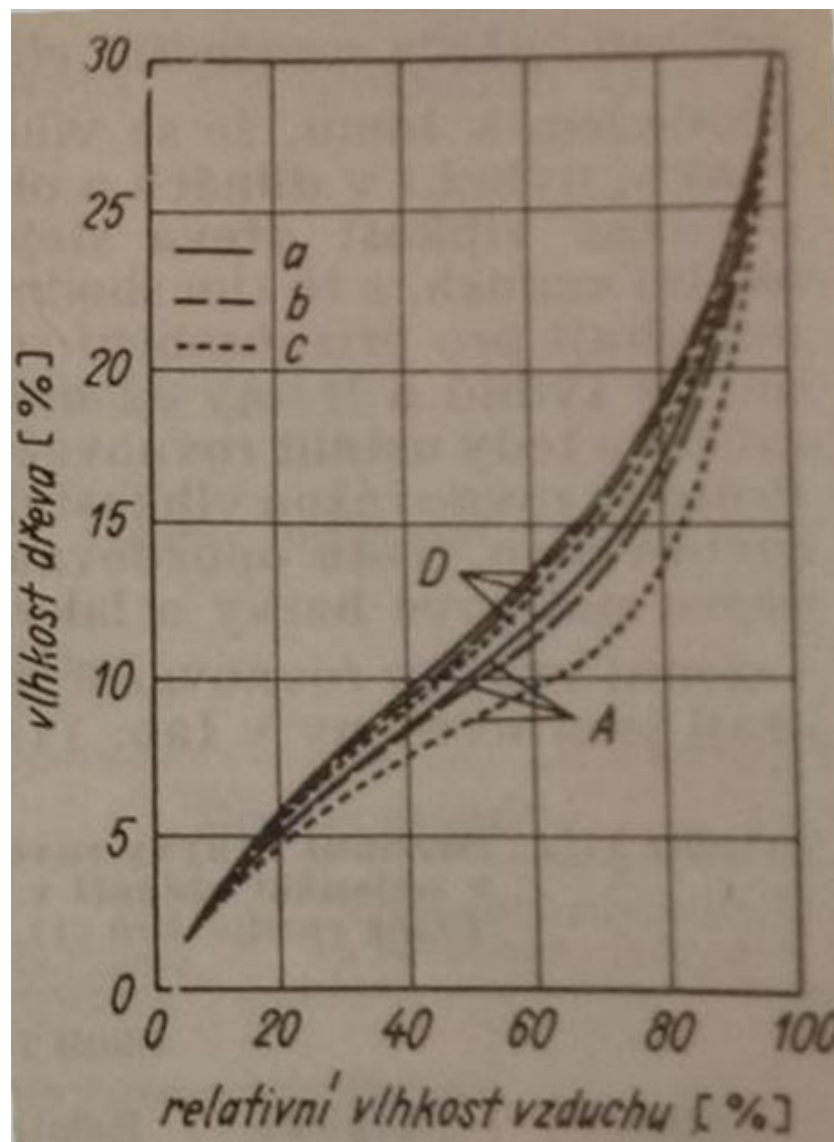
Tabulka 1 Vybrané hodnoty vlhkostí dřeva [5], [6], [7], [8]

Označení	DIN	vlhkost dřeva [w%]
absolutně suché	-	0
listnaté dřevo pro výrobu schodů	68126	10 – 14
normovaná prkna, lišty	68128	16 – 18
na vzduchu sušené dřevo	EN 844-4	< 20
mezní hodnota pro růst hub	68364	20
dřevo suché na uskladnění	EN 844-4	< 25
vlhkost při plném nasycení vláken, při 100% relativní vlhkosti	-	25 – 32
čerstvé surové dřevo	EN 844-4	> 30

2.3 Navlhavost

Navlhavost je schopnost dřeva, jako hygroskopického přírodního materiálu, pohlcovat či uvolňovat vodu ve skupenství plynném, v závislosti na relativní vlhkosti a teplotě v okolním prostředí. Odborně se navlhání nazývá absorpce a vysychání desorpce.

Dřevo jako navlhavý materiál, při expozici vzduchu s určitou vlhkostí a teplotou v závislosti na hustotě, povrchu a velikosti vzorku dřeva, dosahuje po určitém čase rovnovážné vlhkosti.



Obrázek 6 Hystereze sorpce dřeva.

,Kdy a – vysušené; b – vysušené uměle při 60 °C; c – vysušené uměle při 115 °C; D – desorpce; A – absorpce. [3]

2.4 Nasákavost

Nasákavost je vlastnost dřeva absorbovat vodu ve skupenství kapalném. Hlavní vlastnost ovlivňující faktor nasákavosti je míra pórovitosti dřeva, kdy s rostoucí hustotou klesá pórovitost a tím i nasákavost dřeva. Voda nasáklá je primárně volně vázaná. Orientace vláken, rozdíl tlaků spolu s plochou povrchu jsou nejpodstatnější faktory rychlosti a míry nasákavosti.

Plné nasycení dřeva je dosaženo poměrně po dlouhé době. K určení přesného faktoru nasákavosti je norma ČN 49 0104 a norma rozlišující stupně vlhkosti ČSN 49 0600.

$$w_{\max} = \text{BNV} + \frac{1,54 - R_0}{1,54 \cdot R_0} \cdot 100 \text{ [%]} \quad (2)$$

, kdy w_{\max} – maximální nasycení dřeva, BNV – bod nasycení vláken (značí maximální množství vody volné a fyzikálně vázané) a R_0 – objemová hustota dřeva absolutně suchého [9]

2.5 Hustota

Dřevo je dnes rozdělováno do 3 základních skupin na dřevo měkké, polotvrdé a tvrdé, ale je možné jej dělit i podrobněji. Na hustotě se podílí hlavně druh dřeviny, rychlost růstu, míra zdřevnatění a pozice v kmeni, ze které bylo dřevo odebráno.

Tabulka 2 Dřívější rozdělení tvrdosti dřeva z roku 1934 [10]

skupina	kg/cm ³	příklady
Velmi měkká	≤ 350	smrk, borovice, limba, jedle, topol, vrba, lípa
Měkká	> 350	modřín, douglaska, kleč, jalovec, břiza, olše, jíva
Středně tvrdá	> 500	kaštan jedlý, platan, jilmy, líska
Tvrdá	> 650	dub, ořešák, javor, třešeň, jabloň, jasan, buk, hrušeň, švestka, akát, habr
Velmi tvrdá	> 1000	dřín, svída, ptačí zob, dub pýřitý
Neobyčejně tvrdá	>1500	eben cejlonský, africký grenadil, jiné exotické dřeviny

2.6 Pórovitost

Pórovitost je poměr mezi objemem plným a objemem pórů. Je dána zejména druhem dřeva, polohou růstu, podmínkami a prostředím, stářím stromu a částí, ze které byl kus odebrán. Pórovitost je zásadní vlastnost dřeva pro množství nasáknutí stabilizačního roztoku.

2.7 Prostupnost dřeva kapalinami

Prostupnost dřeva záleží na druhu dřeviny, makroskopické struktuře, teplotě a tlakovém gradientu. Významnými faktorem je množství cév, průměry buněčných dutin, typ a počet mezibuněčných ztenčení. Propustnost jehličnanů oproti listnáčům je 3 až 10 krát nižší.

Další významný faktor ovlivňující propustnost je přítomnost či míra napadení houbami a dřevokazným hmyzem. Propustnost dřeva popisuje Darcyho zákon.

$$\frac{V}{t} = k \cdot (S \cdot \Delta p \cdot \eta \cdot L) \quad (3)$$

, kdy V – objem proteklé kapaliny, t – doba toku, k – koeficient specifické propustnosti dřeva, S – plocha kolmá na tok, Δp – rozdíl tlaků, η – dynamická viskozita kapaliny, L – délka dráhy toku. [1]

2.8 Textura

Každý kus dřeva je originál s originální texturou dřeva. Ta je dána velkým množstvím těžko ovlivnitelných vlivů. Texturu dřeva ovlivňují zejména:

- druh stromu.
- stáří stromu.
- část stromu, ze které bylo dřevo odebráno.
- letokruhy a konkrétní roky, kdy dřevo rostlo.
- podnební pásmo,
- dřeňové paprsky,
- vrozené či vývojové vady,
- vlivy prostředí,
- napadení dřevokaznými houbami,
- napadení dřevokazným hmyzem.

2.9 Barva a lesk

Barva dřeva je jednou z nejpodstatnějších užitných vlastností. Je dána hlavně druhem stromu a prostředím, ve kterém vyrůstá. Obvykle se vyskytuje barva světle žlutá, hnědá až černá. Velký vliv má podnebné pásmo, ve kterém strom roste, kdy v mírném pásmu mají stromy světlejší dřevo s letokruhy, avšak v pásmu tropickém a subtropickém má dřevo obvykle barvu tmavší a letokruhy nejsou patrné z důvodů rovnoměrného růstu stromu po celý rok.

Lesk dřeva je dán jeho složitou strukturou a orientací vláken. Lesklé plošky ve dřevě způsobují zejména dřeňové paprsky, které se nachází v jehličnatém i listnatém dřevě. Dřevo listnaté je, bohužel, celkově matnější oproti jehličnanům.

Dělení nejznámějších v české republice rostoucích dřevin podle barvy a odstínu jsou:

- bílá až nažloutlá: smrk, jedle, lípa, javor, jasan.
- bílá s narůžovělým odstínem: bříza, buk.
- růžová až hnědofialová: hrušeň, modřín.
- oranžová až červenohnědá: olše, borovice.
- šedohnědá až hnědá: dub, ořešák.
- skořicově hnědá: jilm.
- zelenohnědá: akát. [11]

2.10 Trvanlivost vůči strukturálním změnám

Je dána převážně hustotou dřeva jako takového, dále jeho jakostí v neposlední řadě obsahem pryskyřice, která má impregnační vlastnosti, což je hlavně hydrofobicita.

2.11 Mechanické vlastnosti

Mechanické vlastnosti dřeva jsou dány především orientací a hustotou vláken celulózy a mírou lignifikace. V běžné praxi i z tabulek je nejlépe použitelný faktor hustoty dřeva, kdy téměř vždy platí, že se vzrůstající hustotou dřeva se zlepšují i mechanické vlastnosti. Běžně se udávají hodnoty podél vláken a příčně na tato vlákna.

Z důvodů vysoké strukturální složitosti je velice obtížné přesné stanovení mechanických vlastností. Mnohé studie zabývající se touto problematikou uvádí lehce rozdílné hodnoty pro konkrétní druhy dřeva, protože nezáleží jen na druhu, ale i na jakosti a konkrétním vzorku. Cestou k dosažení přesné hodnoty by bylo provedení limitně nekonečno měření.

2.11.1 Pevnost (pružnost)

Pevnost se udává v závislosti na jakosti a směru orientace vláken vůči zatěžující síle. Pružnost je vysoce závislá na stejných podmínkách jako pevnost až na vlhkost, ta ovlivňuje pružnost významněji. Pevnost ovlivňuje zejména směr působící síly v závislosti na orientaci letokruhů, směru vláken, vlhkosti dřeva, hustotě dřeva, teplotě, makroskopické stavbě, poškození celistvosti, napadením houbami a škůdci.

2.11.2 Houževnatost (štípatelnost)

Pojmem houževnatost lze měřit jako odolnost proti štípaní. Hlavní faktor je míra soudržnosti příčně na vlákna mezi vlákny samými. Hlavní faktor ovlivňující tuto pevnost je množství ligninu a úroveň lignifikace.

Tabulka 3 Průměrné hodnoty mechanických vlastnosti vybraných dřev [3]

Dřevo	Vlhkost [%]	hustota [g/cm ³]	Pevnost v ohybu [MPa]	modul pružnosti [MPa]	tvrdost dle Brinela po vláknech- kolmo [MPa]	odpor proti štípaní [-]
osika	15	0,4	5,2	780	2,3-1,1	-
vrba bílá	12	0,5-0,46	3,7	720 - 380	3,5-1,6	nízká
hruška	12	0,64	9,8	800	6-3,2	střední
modřín	12	0,52-0,48	9,9	13800 - 970	5,3-1,9	vysoká
smrk	12	0,4-0,38	7,8-4	1100 - 860	3,2-1,2	velmi nízká
ořech	12	0,6	14,7	1250	7,0 - 2,9	nízká
dub letní	12	0,60-0,55	8,8-6,5	1170 - 970	-	nízká
buk	12	0,63-0,57	12,3-6	1600 - 960	7,2-3,4	vysoká
bříza	12	0,57-0,52	14,7-6	1650 - 1300	2,0-1,0	velmi nízká
akát	12	0,66-0,60	15-9,7	1360 - 1300	7,4-4,8	vysoká

je pouze skromným výběrem z rozsáhlé tabulky mechanických vlastností dřevin. Různé hodnoty hustoty konkrétních vzorků výrazně ovlivňují mechanické vlastnosti, což je důvodem rozsahů měřených hodnot.

3 POŠKOZENÍ A VADY DŘEVA

3.1 Přírozené vady způsobené růstem

Dřevo jako živý a organický materiál je jako takové špatně popsatelné co do tvaru tak i mechanických a užitných vlastností, které ovlivňují různé faktory v průběhu růstu, tj. od zasazení sazenice či semena, až po skácení kmene. Nejběžnějšími důvody jsou typ či odrůda stromu, podmínky růstu, tj. bohatost půdy na živiny, množství srážek, pH půdy, vhodnost polohy, teplota a světelné podmínky. To jsou faktory, na které člověk nemá většinou absolutní možnost dohledu.

V průběhu růstu je přirozeností stromu se rozvětvovat v závislosti na okolních podmínkách. To tvoří v konečné struktuře kmene suky různých uskupení, tvarů a četností či jednotlivé přirozené vady.

3.2 Poškození způsobené povětrnostními vlivy

Dřevo může být poškozováno biotickými či abiotickými vlivy. Mírou poškození se mění jeho vlastnosti, zejména pevnost, hustota, vzhled, tepelná vodivost a mnohé další. Z pohledu možné stabilizace dřeva za účelem estetického využití je nejpodstatnější změna vzhledu, která dodává dřevu námi tak ceněnou kresbu.

Mezi hlavní abiotické činitele lze řadit:

- Voda (mlhu, vodu, led, sníh),
- Teplota (vysoká, nízká),
- Sluneční záření (infračervené a UV záření).

Synergický efekt těchto přirozených degradačních procesů v závislosti na čase narušuje strukturu dřeva. To má za následek snadnější zahájení biotického rozkladu dřeva hlavně dřevokaznými houbami, plísněmi a hmyzem. O kterých je psáno v dalších kapitolách.

Pro určení třídy ohrožení dřeva se užívá norma ČSN EN 355-1 viz následující tabulka. [12]

Tabulka 4 Definice tříd ohrožení dřeva biotickými škůdci dle ČSN EN 335-1, 2, 3 [12], [13]

Třída	Charakteristické vlivy a podmínky	Prostředí a příklady použití
-------	-----------------------------------	------------------------------

ohrožení		
1	vlhkost dřeva 10 až 20 %	neklimatizované suché interiéry (půdní prostory, krovy)
2	vlhkost dřeva může občas překročit 20 %	neklimatizované interiéry s relativní vlhkostí vzduchu i více než 80 % (sklepy, prádelny)
3	vlhkost dřeva často překračuje 20 % + působení povětrnostních vlivů	exteriéry, ale bez kontaktu se zemí (venkovní obklady a konstrukce)
4	vlhkost dřeva trvale vyšší než 20 % + působení povětrnostních vlivů a kontakt se zemí	dřevo zabudované do země nebo částečně i vody (sloupy, pražce)
5	vlhkost dřeva trvale vyšší než 20 % + působení mořské vody	dřevo zbudované do mořské vody (i částečně) (lodě, mola)

Norma ČSN EN 350-2 určuje odolnost dřevin proti biotickým degradačním účinkům (Tabulky 2 a 3).

Tabulka 5 Přírozená odolnost nejběžněji užívaných dřevin ČSN EN 350-2 [12]

Název		přírozená trvanlivost			impregnovatelnost	
		houby	tesařík	červotoč	jádro	běl
smrk ztepilý	<i>Picea abies</i>	4	SH	SH	03-Apr	3v
borovice lesní	<i>Pinus sylvestris</i>	03-Apr	S	S	03-Apr	1
jedle bělokora	<i>Abies alba</i>	4	SH	SH	02-Mar	2v
modřín opadavý	<i>Larix decidua</i>	03-Apr	S	S	4	2v
buk lesní	<i>Fagus sylvatica</i>	5	-	S	1 (4-jádro)	1
dub letní	<i>Quercus robur</i>	2	-	S	4	1

Tabulka 6 vysvětlivka ČSN EN 350-2 [12], [14]

dřevokazné houby:	hmyz:
1- velmi trvanlivé	D- trvanlivé
2- trvanlivé	S -náchylné
3- středně trvanlivé	SH- náchylné je jádrové dřevo
4- slabě trvanlivé	
5- netrvanlivé	

3.3 Poškození způsobené dřevokaznými houbami

Houby jsou podstatnou a nedílnou součástí rostlinného života. Základní dělení je na houby rozkladné a houby symbiotické. Houby symbiotické žijí v symbióze se stromy a rostlinami, zásobují dřeviny vodou, minerálními látkami a za oplátku z dřevin získávají cukry. Dále houby slouží jako komunikační prostředek mezi jednotlivými stromy. Spolu s vodou přenášejí i stopové množství chemických sloučenin přirovnatelných k lidským hormonům, které stromy vytvářejí jako reakci na různé napadení a životní podmínky. Tím se starší a houbami prorostlejší společenství rostlin a hlavně stromů stávají odolnější proti případným útočníkům. Tím zvyšují svoji konkurenceschopnost a zvyšují rychlost růstu a zlepšují své zdraví. Tyto houby vytvářejí rozlehlou síť, tzv. houbový internet, kdy houbové internety jsou dva konkurenční systémy a to hub dřevokazných a hub symbiotických.

Dřevokazné houby se dají dělit do hlavních 2 skupin, dle způsobu degradace dřeva. Dřevěné stavby nejčastěji napadají houby stopkovýtusné (Basidiomycetes) a vřeckovité (Ascomycetes, výtrusy vznikají ve vřečkách).

Stopkovýtusné houby se rozmnožují prasknutím vnější strany výtrusu (basidiospory) a z uvolněných výtrusů vyrůstají vlákna (hyfy), která vytvářejí primární podhoubí. Po setkání dvou primárních podhoubí vzniká mycelium. Teprve mycelium je dvoujaderné a umožňuje vytvářet plodnice, které vytvářejí nové výtrusy. To se dělí na dva druhy:

- Substrátové – proniká do objemu dřeva a rozkládá jej
- Povrchové – rychle se šíří po povrchu a napadá tak velké plochy a sousední kusy

Dřevokazné houby se dají poznat a rozřadit dle složky dřeva, které rozkládají. Houby napadající celulózu a hemicelulózu se jmenují celulózovorní houby a projevují se hnědou hnilobou, takže dřevo jimi napadené hnědne. Houby napadající lignin, celulózu i hemicelulózu se nazývají ligninovorní houby a ty se projevují bílou hnilobou.

Nejpodstatnější podmínky umožňující růst hub jsou vlhkost 30 až 70 % a teplota 20 až 30 °C. [12]

3.3.1 Celulózovorní houby

Dřevomorka domácí (Serpula lacrymans)

Napadá hlavně jehličnaté dřeviny, to se projevuje hnědou až tmavě hnědou hnilobou dřeva. Tvoří příčné trhliny následované rozpadem na kostky a v závěru na tmavohnědý prach.

Liší se od jiných hub zejména nízkou potřebnou vlhkostí dřeva 18 až 20 % a aktivní je již při teplotách 3 až 26 °C. Dřevo (celulózu) rozkládá na cukry a vodu, která zvlhčuje napadené dřevo, což umožňuje další snadné šíření. Plodnice mají oranžovo-hnědou až rezavou barvu.

Koniofora sklepní (*Coniophora puteana*)

Dřevo napadené touto houbou se rozpadá obdobně jako u napadení dřevomorkou domácí, ale oproti ní má hnědě až černé zbarvení. Napadá jehličnaté i listnaté dřevo, jenž má 45 až 90% vlhkost a daří se jí při teplotách 3 až 35 °C. Její plodnice mají bílý okraj, který směrem do středu přechází do žlutohnědé až zelenohnědé.

Pórnatka placentová (*poria placenta*)

Napadá hlavně jehličnany, avšak jsou známy i případy napadení listnatých dřevin. Potřebná vlhkost pro růst je 35 až 50 % a teplota 3 až 35 °C. Plodnice vytváří klobouky dosahující až 20 cm délky a 1 až 2 cm tloušťky. Povrchové mycelium je bílé barvy. Tato houba se užívá ke zkoušce ČSN EN pro třídu ohrožení 113.

Támovka plotní (*Gloophyllum sepiarium*)

Vytváří klobouky rezavé až kaštanově hnědé. Vhodné podmínky růstu jsou vlhkost 35 až 40 % a teplota 5 až 45 °C. Tato houba rozkládá dřevo hlavně zevnitř, bez patrných vnějších znaků.

3.3.2 Lignovorní houby

Rozkládají lignin, celulózu a hemicelulózu zároveň, nebo v první řadě lignin a pak další složky dřeva.

Outkovka pestrá (*Coriolus versicolor*)

Tato houba napadá zejména listnaté stromy, ale jsou známi i případy napadení jehličnanů. Tato houba zřídka vytváří 2 až 12cm klobouky, jinak nebývá na povrchu patrná.

Pevník chlupatý (*Stereum hirsutum*)

Také napadá hlavně listnaté stromy a vyskytuje se zejména na stromech v exteriéru, živých i uhynulých. Mycelium se na povrchu vyskytuje zřídka a má bílou až nažloutlou barvu.

3.3.3 Měkká hniloba

Tyto houby napadají hlavně dřevo s vysokou vlhkostí (sloupy, pražce, atd.). Většinou jde o nákazu více druhů najednou. Ty rozkládají všechny základní složky dřeva.

3.3.4 Dřevo zbarvující houby

Tyto houby výrazně neoslabují mechanické vlastnosti dřeva, ale dřevo jimi napadené umožňuje snadnější napadení jinými druhy hub. Dřevo zbarvující houby rozkládají plazmatický obsah buněk, tím viditelně a výrazně zbarvují dřevo i do větších hloubek. Hyfy pronikají dřevními buněčnými stěnami skrz tečky a dvojtečky. Dřevo je zbarvováno vylučováním pigmentů substrátovým myceliem. Houby zbarvující vyhledávají zejména dřevo velmi vlhké či čerstvě pokácené. Zbarvování výrazně podporuje vyšší teplota.

Zbarvující houby a jejich účinky:

- Modře – (hlavně smrk, borovice) – rod *Ophiostoma*, *ceratotomella pilifera*, *Phoma Peterci*
- Hnědě – *Penicillium aureum*, *Graphium album*, *Cladosporium harberum*
- Červeně – (hlavně borovice) – *Fusarium sambucinum*, *Penicillium roseum*, *Fusarium reticulatum*
- Zeleně – *Hormonema demetioides*, *Chlorosplenium aeruginosum*
- Žlutě – *Eidomia catenulata*, *Verticilium galium*, *Corticium laeve*
- Fialově – *Fusarium javanicum*
- Černě – rod *Aureobasidium*, rod *Caratocystis*, rod *Graphium*
- Šedočerně – rod *Scierophoma* [12]

3.4 Poškození způsobené plísněmi

Plísně nezhoršují mechanické vlastnosti napadeného dřeva. Rostou a šíří se pouze po povrchu. Jejich růst je rychlý, ale potřebují vysokou relativní vlhkost. Udává se rozmezí 85 až 99 %. Dále je pro jejich růst a množení vhodná teplota 27 až 37 °C. Jejich růst se dá rychle zastavit snížením vlhkosti pod hranici 85 %. Napadení plísní mnohdy slouží jako akcelerátor dřevokazných hub. Plísně se rozmnožují spóry, ty jsou velmi škodlivé pro lidské zdraví víc než pro dřevo.

Barvy hojně se vyskytujících plísní:

- Bílá – *Aspergillus niger* (bílý mycelium, později zčerná)

- Zelená – *Trichodrema viride* (potlačuje růst dřevokazných hub)
- Žluto-zelená – *Aspergillus amstelodami*, *Penicillium brevicompactum*
- Modor-zelená – *Penicillium cylopium*
- Hnědá – *Alternaria alternata*, *Paecilomyces variotti* [12, 1]

3.5 Poškození způsobené dřevokaznými škůdci

Hlavní důvody, pro které hmyz napadá dřevo, jsou získání úkrytu, potravy a pro kladení larev. Hmyz se nedokáže živit hlavními složkami dřeva jako celulóza, lignin, polysacharidy. Proto pro získání potravy potřebuje dřevo napadené houbami či plísní, ty rozloží zdravé dřevo na hmyzem stravitelné meziprodukty.

Hmyz napadající odkorněné dřevo je zejména čeledi červotočovitě, hrbohlavovitě, tesařici a brouci Coleoptera. Jejich životní cyklus spočívá ve vyhloubení chodbiček pro kladení vajíček. Z vajíček se vylíhnou larvy, které se dokáží živit dřevem, kdy délka času potřebná k jejich růstu do zakuklení je závislá na druhu a podmínkách. Po dorostení se přesunou k povrchu dřeviny a zakuklí se. Po metamorfóze se z nich vyvinou dospělci, ti se prokoušou ven a celý cyklus se opakuje. Potřebné podmínky pro vývoj jsou srovnatelné s potřebnými podmínkami pro růst hub: [15]

- Vlhkost – minimálně 10 – 12 %,
- Teplota – 20 – 30 °C,
- Přítomnost kyslíku.

3.5.1 Červotoči

Červotoči dorůstají délky 2 – 8 mm, jejich zbarvení je tmavě-hnědé až černé. Samička během života o trvání 6 – 28 dní klade průměrně 30 vajíček. Larvy jsou bílé délky 5 – 10 mm, kdy této délky dosáhnou po 1-3 letech v závislosti na okolních podmínkách. Mezi v Česku žijící druhy řadíme:

- Červotoč proužkovaný, domácí

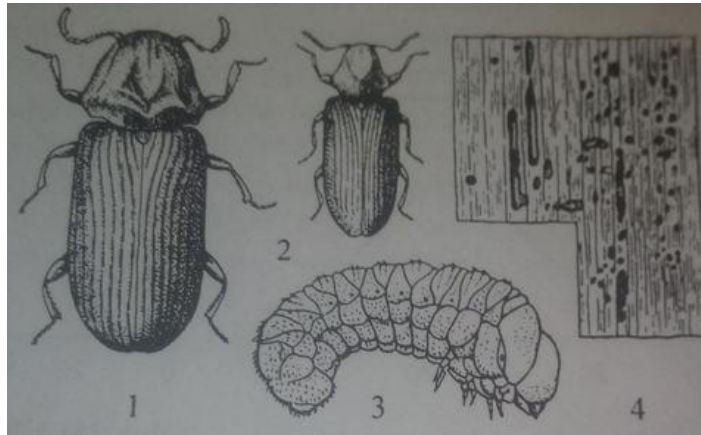
Je nejobávanější a na našem území nejvíc rozšířený druh, zejména je nebezpečný svojí nevybíravostí dřevin. Tvoří dírky o průměru 1,5 mm.

- Červotoč umrlčí

Výletové chodbičky dosahují průměru až 2 mm.

- Červotoč kostkovaný

Výletové chodbičky dosahují průměru až 3 mm.



Obrázek 7 Červotoč proužkovaný:

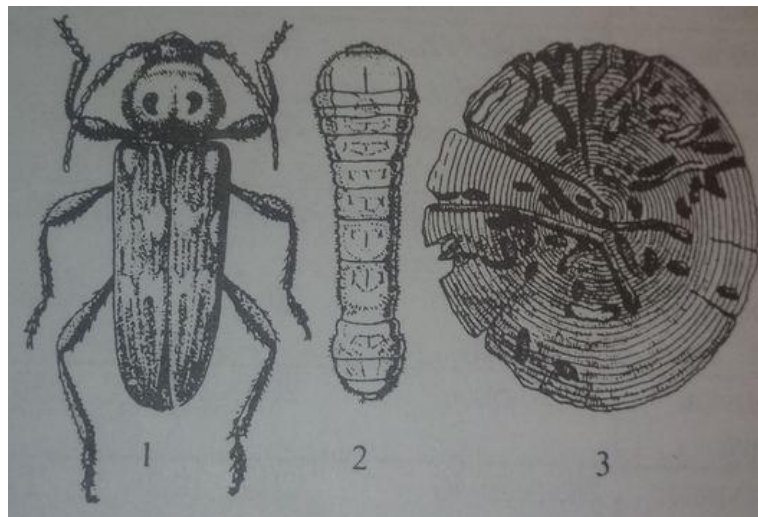
1 – samička; 2 – sameček; 3 – larva; 4 - požerek [15]

3.5.2 Hrbohlavci

Dorůstají až 5mm délky, jsou všežraví, jejich výletové otvory dosahují 1,5 mm.

3.5.3 Tesařík krovový

Dorůstají délky 10 – 20 mm a výletové otvory mají průměr 5 – 10 mm.



Obrázek 8 Tesařík krovový:

1 – brouk; 2 – larva; 3 - požerek [15]

3.5.4 Kůrovci, Lýkožrouti

V české republice je nejrozšířenějším kůrovcem lýkovec smrkový, daří se mu zejména díky vysokému procentu smrkových lesů. Dorůstá velikosti 4 – 5,5 mm, jeho výletové otvory jsou průměru 2 – 2,5 mm. V lýku pod kůrou vytváří chodbičky, kde samice kladou vajíčka. Vylíhlé larvy se živí lýkem a tím významně oslabují schopnost stromu dodávat živiny mezi kořeny a jehličím. [16]



Obrázek 9 Lýkožrout smrkový, severský, lesklý [16]

3.6 Poškození způsobené špatným zpracováním a manipulací

Jedná se zde o časový interval od porážky kmene po začátek zpracování. Začínaje špatnou volbou techniky porážky stromu. Špatnou manipulací v průběhu přepravy ke zpracování. To vede k poškození hlavně svrchních vrstev mechanickým působení efektorů, drapáků či dopravních strojů. Patří zde také špatné dočasné uskladnění kmenů na sběrných místech, jako je například na podmáčené půdě nebo v blízkosti toku vod. Dále pak může být poškození způsobené také špatně vybraným ročním obdobím, kdy má strom pryskyřičné kanálky či tracheje plné mízy. Nadměrné vystavení vlhkosti či naopak suchu, teple a slunečnímu svítu jsou dalšími možnými zdroji poškození.

Možnosti poškození dřeva lze dále pozorovat v průběhu jeho sušení a zpracování. Nedodržení doporučeného sušícího cyklu může zapříčinit zatažení svrchní vrstvy a přerušení či poškození kanálků vedoucích vlhkost z jádra na povrch. Dále nerovnoměrné rozložení vlhkosti v objemu špalíku způsobuje zkroucení, což má vliv na procentuální využitelnost špalíku. Přehřátím struktury nad 80 až 200 °C (záleží na druhu) dochází k změně barvy a tmavnutí. To má hlavně vliv na estetické vlastnosti. Užitím nadměrných mechanických sil

při obrábění. Vystavení chemickým sloučeninám narušujícím organickou strukturu či mající vliv na lidské zdraví nebo nepříjemně zapáchající.

3.7 Poškození způsobené vlivem teploty

3.7.1 Tepelná degradace krátkodobá

Při teplotách do 100 °C probíhá pouze sušení. V rozmezí teplot 130 až 150 °C začíná rozklad, který je intenzivní při teplotách 180 – 195 °C za uvolňování hořlavých plynů.

3.7.2 . Tepelná degradace dlouhodobá

U vysušeného dřeva na 0 % vlhkosti po kondicionování 4 až 5 hodin je 1% ztráta hmotnosti při zahřátí na 250 °C po dobu 1 minuty. Při teplotě 195 °C vzniká 1% ztráta po 1 hodině. Při 155 °C vzniká 1% úbytek hmotnosti po 24 hodinách. Úbytek 1 % dále vzniká při teplotách 130 °C po dobu 7 dnů a při teplotě 110°C po uplynutí 30 dnů. [17]

4 PŘÍPRAVA, KONDICIONOVÁNÍ A SUŠENÍ DŘEVA

Správná příprava dřeva před stabilizací je alfou a omegou úspěšné stabilizace dřeva. Při nedostatečném, nebo nerovnoměrném vysoušení nedojde k dobrému a úspěšnému odsátí vzduchu a par z pórů dřeva. Pokud je po sušení ve dřevě zbytková vlhkost, tak při snížení tlaku dochází v objemu dřeva k odpařování vody a tříslovin za vzniku par, což vytváří gradient tlaku od jádra po povrch tělesa. To prodlužuje odsávání v extrémních případech až na neúnosnou dobu. Při napouštění stabilizačními systémy nemusí dojít k napouštění v celém objemu nebo nedojde k nasátí tak velkého množství, jak by bylo žádáno pro dosažení požadované hustoty napuštěného vzorku.

4.1 Pracovní postup sušení

1. Stanovení vlhkosti dřeva před sušením

Dle množství sušeného dřeva se odebere přiměřený počet vzorků, z čela se odříznou destičky pro hmotnostní měření vlhkosti dřeva. Vypočte se průměrná hodnota a запиše se do průchozího dokumentu sušení.

2. Určení plánu sušení

Dle ČSN 49 0651 se určí sušící stupeň a řád vlhkosti, odečte se doba sušení a zlahodnění. Tyto údaje se zapíší do průchozího dokumentu sušení. [18]

3. Kontrola sušícího zařízení

Kontrola všech měřících a vlhkost regulujících přístrojů, celistvost sušárny. Proveďte se případný úklid zbytků z důvodů výskytu dřevokazných hub a hmyzu.

4. Poskládání dřeva do hranic

Dřevo musí být zbaveno pilin a špíny. Podstava musí být vzdušná, pak se započne stavba hranice s rovnoměrnými rozestupy alespoň 3 cm mezi jednotlivými kusy na patře i patry, pro dosažení rovnoměrného sušení.

5. Sušení

Spustí se ventilátor při zavřené klapce a zapne se topení. Po dosažení předepsaných hodnot teploty suchého a vlhkého teploměru se začne odvádět přebytečná vlhkost přimícháváním čerstvého vzduchu či za využití kondenzačního zařízení. Průběžně se kontroluje hmotnost vzorků, tím se kontroluje rychlost sušení a dodržování sušícího plánu.

V případě nepozorování chyb sušení čili prasklinek je možné sušit tvrději, tj. zvýšit teplotu suchého teploměru a tím snížit teplotu vlhkého teploměru; při nadměrné vlhkosti vzduchu víc otevřít klapku nebo zvýšit výkon kondenzačního zařízení. V případě pozorování trhlinek na testovacích vzorcích se musí postup otočit a sušit měkčeji, aby nedošlo k hlubšímu porušení struktury dřeva. Všechny poruchy a měřené hodnoty se zapisují do průchozího dokumentu sušení. Sušení se ukončí po dosažení požadované vlhkosti u všech kontrolních vzorků.

6. Konečné ošetření

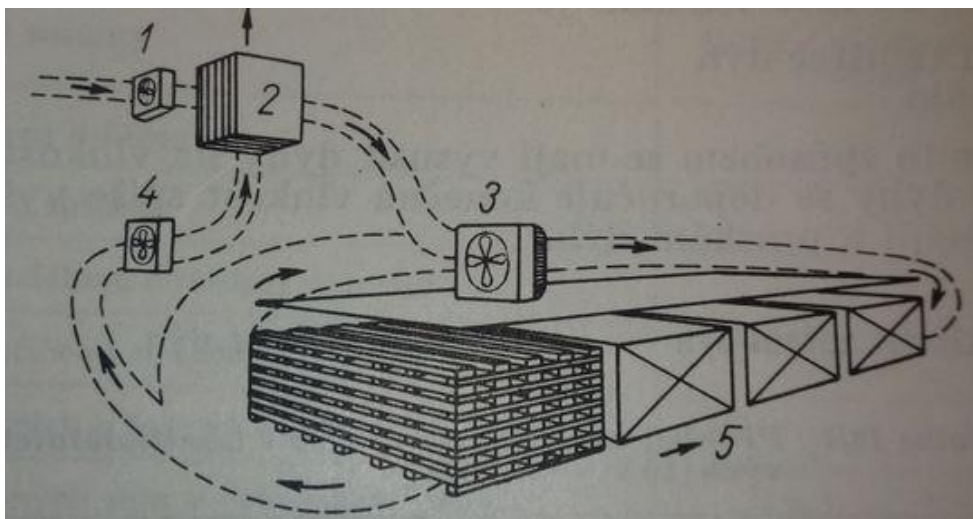
Dřevo se zkontroluje, jestli nekornatí. Pokud ano musí se dle tabulky nastavit správná teplota a vzdušná vlhkost do doby, než se vlhkost ve dřevě vyrovná napříč vrstvami. Dále je možné dřevo zlahodnět, tj. obdobný postup pro vyrovnání vnitřních pnutí a rozdílů vlhkostí

7. Ukončení sušení

Dřevo se vyjme a nechá se odstát před dalším zpracováním, jehličnany 24 hodin a listnáče 48 hodin.

8. Stanovní vlhkosti dřeva po sušení

Stanoví se konečná vlhkost vysušeného dřeva dle ČSN 49 0103 nebo elektrickým měřicím přístrojem. Určí se míra zkornatění vidličkovým testem. Zkontroluje se možná přítomnost prasklin, pak se dřevo rozřadí dle jakosti a všechny výsledky se zapíší do průchozího dokumentu sušení.

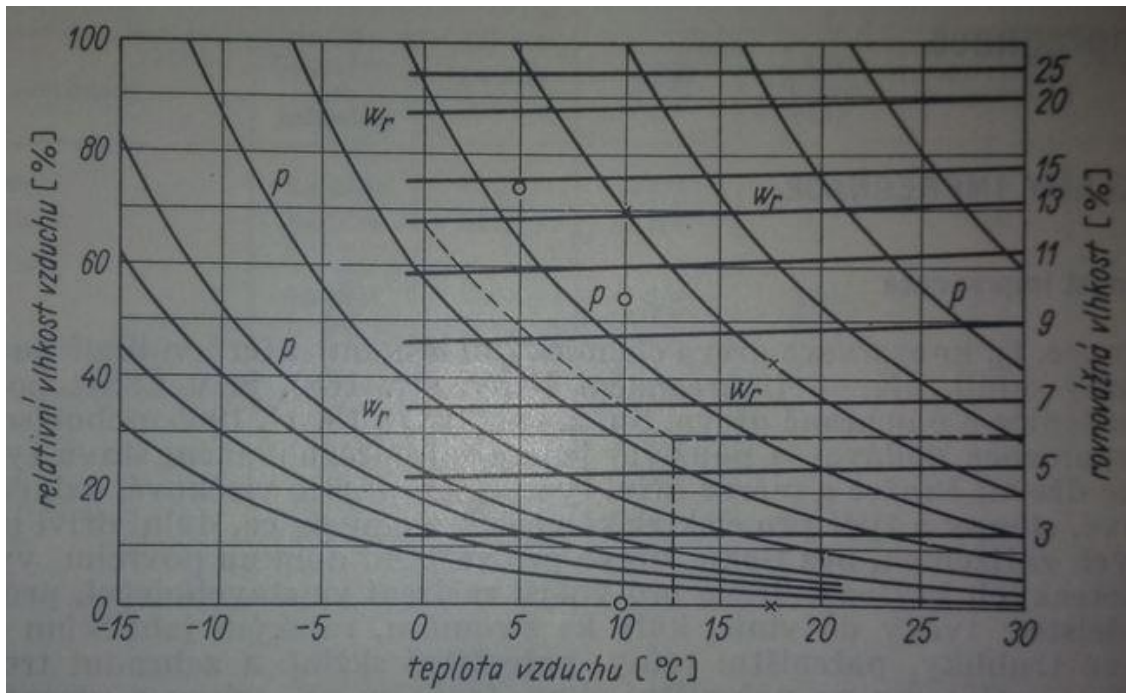


Obrázek 10 Tunelová sušárna [3]

1 – sací ventilátor; 2 – výměník tepla; 3 – cirkulační ventilátor s topením; 4 – výfukový ventilátor; 5 – směr proudění vzduchu

4.2 Kondicionování

Sušené dřevo je možné kondicionovat na technologii nebo zákazníkem požadovanou přesnou vlhkost, pro dosažení neoptimalnějších zpracovatelských vlastností. K přesnému nastavení zařízení slouží následující diagram, který napomáhá i k stanovení sušícího plánu.



Obrázek 11 Diagram závislosti relativní vlhkosti vzduchu, tlaku vodní páry, rovnovážné vlhkosti dřeva a teploty vzduchu [3]

p – křivky tlaku páry

5 STABILIZAČNÍ SYSTÉMY A JEJICH DĚLENÍ

5.1 Přírodní stabilizační látky

Mezi přírodní stabilizační látky lze řadit kamenu, damary, šelaky, oleje, vosky, fermež, klíh, avšak nejčastěji se používají různé druhy olejů, které snadno pronikají do struktury dřeva a tím brání pronikání vody kvapné i vzdušné. Různé druhy olejů mají různé vlastnosti, jako jsou vysychavost, tepelná odolnost a v neposlední řadě mají různý vliv na změnu barvy dřeva po nasátí. Dalším častým zástupcem této skupiny jsou vosky, které vytváří zejména povrchové ochranné vrstvy zamezující vnikání jak hub, tak vody, ale lze je zkapalnit a díky nízké molekulární hmotnosti zahřáním a metodou podtlaku a přetlaku napustit do struktury dřeva.

5.2 Nízko viskózní monomery a kopolymery

Výhoda tohoto způsobu stabilizace spočívá v tom, že dřevo je plné kapilár a jejich naplnění zle dosáhnout snadněji nižší viskozitou systémem, naopak vyšší viskozita se dá kompenzovat vyšším tlakem při napouštění. Nevýhoda spočívá v udržení stabilizačního systému v požadovaných vlastnostech do doby vytvrzení. Limitující je hlavně velikost pórů a dutin, kdy při větších objemech již na kapalinu nepůsobí kapilární síly dostatečně, aby zabránily vytékání před vytvrzením. V praxi se používají zejména tři způsoby dodání iniciační energie pro započítí polymerace:

- Tepelně iniciovaná polymerace,
- Radiačně iniciovaná polymerace,
- Chemicky iniciovaná polymerace.

Na trhu jsou konvenčně dostupné a mezi řemeslníky nejčastěji používané následující stabilizační systémy. Česká firma P.M.P. Company s.r.o. nabízí stabilizační systém Jatapol WR-90N, kdy jeho složení je utajené. Druhá firma je původem ze Spojených států amerických z Texasu (TurnTex Woodworks), a prodává stabilizační systém CactusJuice, který je na bázi methyl-methakrylát monomeru. [19]

Následující polymerní systémy se také užívají k stabilizaci dřeva, jsou používány zejména pro restaurátorské práce. Nejběžněji používané monomery jsou MMA – methylmethakrylát a BuMA – polybutylmethakrylát. MMA se částečně váže na strukturu dřeva, což lze dále podpořit polárním rozpouštědlem.

Tabulka 7 Výběr užívaným polymerních stabilizačních systémů [1], [20]

polymerní systémy		
název výrobku	výrobce	složení
Solakryl BMX	Lučební závody	kopolymer MMA s Bu-MA
Veropal KP 709	Synpo	akrylové pojivo
Paraloid B72	Roh & Haas	kopolymer MA s EMA
Paraloid B67	Roh & Haas	poly-i-butylmethakrylát
Paraloid B82	Roh & Haas	kopolymer MMA s EA
Butvar B90	Monsanto Plastic & Resins	polyvinylbutyral
Butvar B90	Monsanto Plastic & Resins	polyvinylbutyral
Mowital B30H	Hoechts AG	polyvinylbutyral
Mowital B60H	Hoechts AG	polyvinylbutyral

EA – ethylakrylát; EMA – etylmethakrylát; MMA – methylmethakrylát; BuMA - polybutylmethakry

5.3 Epoxidové pryskyřice

Jedná se o dvousložkový systém, který po smíchání jednotlivých chemických komponent a určitém čase samovolně reaguje. Jejich vzhled lze vylepšit širokou škálou pigmentů a to jak kapalných tak částicových, matných, případně lesklých.

Tabulka 8 Výběr používaných epoxidových pryskyřic [1], [20]

epoxydy		
název výrobku	výrobce	složení
CSH epoxy 510	Spolchemie	nízkomolekulární EP
CSH epoxy 531	Spolchemie	nízkomolekulární EPs RR
EBOLIT 105	Chemotex	nízkomolekulární EP s T150
Ketone Resin N	BASF AG	cyklohexanon-formaldehydová pryskyřice
CHS Polyester 141	Spolchemie	nenasycená PES se styrenem

EP – epoxidová pryskyřice; PES – polyesterová pryskyřice; RR – reaktivní rozpouštědlo

5.4 Obecně požadované vlastnosti stabilizačního systému

Stabilizační systém by měl zlepšit jak užitné tak i mechanické vlastnosti, bez negativních vlivů. Každý stabilizační systém ovlivňuje jinou mírou vlastnosti dřeva, proto je potřeba provést vhodnou volbu. Nejpodstatnější jsou tyto:

- zlepšení vzhledu, zvýraznění kontrastu přirozené struktury s kresbou dřeva,
- minimální vliv na smrštění při konsolidaci dřeva při vytvrzení,
- kladné ovlivnění míry bobtnání dřeva,
- zlepšení mechanických vlastností dřeva, zejména jeho pevnost, houževnatost, pevnost napříč vlákny a oděru vzdornost,
- zlepšení odolnosti proti povětrnostním vlivům, vnikání kyslíku, ozónu, rozkladným vlivům hub a dřevokazných organismů,
- netoxický charakter při běžném používání.

6 TECHNOLOGIE STABILIZACE A POSTUP VÝROBY

Je několik základních metod stabilizace dřeva. Základní a velice neúčinný způsob je metoda máčení, tato metoda může zabírat až roky do plného prosycení. Účinnější metoda je máčení za zvýšeného tlaku, tím se nasycení urychluje. Nejúčinnější metoda je vakuově přetlaková, tou lze dosáhnout plného nasycení v řádu hodin.

6.1 Postup výroby stabilizovaného dřeva - vakuově tlaková metoda

Tato metoda se používá, jsou-li ve dřevě menší póry, poruchy, které neumožní vytékání stabilizačního systému před řádným vytvrzením. Metoda je účinnější tím, čím je dosaženo jemnějšího vakua a následného vyššího přetlaku. Jinými slovy je nutné dosáhnout nejvyšší možný tlakový gradient. Postup je následovný:

1. Vysušení dřeva pod 10 % vlhkosti.

Čím nižší vlhkost dřeva je, tím je čas potřebný k odsátí plynů výrazně nižší, optimální vlhkost dřeva je 0 %.

2. Podtlakové vysátí vzduch z pórů, kanálků a prasklinek.

Vysátí vzduchu z pórů lze pozorovat dle úniku bublinek z povrchu dřeva, běžně stačí 30 min podtlaku.

3. Tlakové natlačení stabilizačního systému do objemu dřeva.

Tento krok trvá obvykle také 30 min do plného prosycení, v případě nízké impregnovatelnosti dřeva, obvykle s vysokou hustotou, se čas násobně prodlužuje.

4. Zasiťování stabilizačního systému dodáním iniciační energie za kontrolované teploty.

Zde je potřeba odvádět přebytečné teplo vzniklé polymerací, aby nedošlo k vyvření stabilizačního systému.

5. Odstranění vyteklé, vytvrzené přebytečné směsi z povrchu výrobku.

Po vytvrzení je potřeba pouze z estetických důvodů přebrousit dřevo do požadovaného tvaru a velikosti polotovaru.

6.2 Postup výroby kompozitu ze stabilizovaného dřeva a epoxidu

Tato metoda se používá, jsou-li ve dřevě větší póry, které umožní vytékání stabilizačního systému před řádným vytvrzením a je potřeba nevyplněné póry zaplnit dodatečně pro získání celistvé struktury.

1. Výroba formy.

Většinou se jedná o kvádr bez horní stěny nebo lze použít tvarově složitou avšak odformovatelnou formu, například rukojeť.

2. Uložení dřeva a případné upevnění do formy.

Při ukládání je zapotřebí dřevo uložit tak, aby byl umožněn odvod bublinek a tím dosaženo celistvé struktury.

3. Namíchání epoxidu a plniv.

Míchá se dle receptu konkrétního epoxidu, lze přidat barviva. Po namíchání poměrů složek je nesmírně důležité co nejdůkladnější míchání (elektrický mixér).

4. Odsátí plynů z namíchané směsi vývěvou.

Před zalitím je podstatné z namíchané směsi snížením tlaku vypudit veškeré bublinky pro dosažení vysoké jakosti.

5. Zalití formy epoxidem.

Lije se pozvolna z důvodů snadného úniku vzduchu a omezení vzniku bublinek.

6. Odsátí formy vývěvou.

Slouží k odsátí a vyemigrování případně vzniklých bublinek litím epoxidu.

7. Technologický prostoj.

Záleží na konkrétní směsi, obvykle desítky hodin, až dny.

8. Finální vytvrzení v peci.

Pro vytvrzení je doporučeno prohřátí na teplotu a to v závislosti na konkrétní směsi (orientačně 60 °C po dobu 1 – 3 hodin).

9. Odformování a dočištění výrobku.

Vyjmutí z formy, následované očištěním formy pokud je nepoškozena pro opětovné použití. Po odformování je potřeba pouze z estetických důvodů přebrousit dřevo do požadovaného tvaru a velikosti polotovaru.

7 SHRNUÍ TEORETICKÉ ČÁSTI

Teoretická část se zabývá zejména stavbou dřeva na různých úrovních struktury, pro pochopení různorodosti nasákavosti jednotlivých vzorků, v závislosti na poruchách a stavbě struktury dřeva. Jsou zde rozebrány nejvýznamnější vlivy a způsoby poškození a jejich projevy.

Dále je rozebrána problematika stabilizačních systémů a jejich vlastností pro úspěšnou impregnaci dřeva. V neposlední řadě je rozebrána problematika technologie správného sušení dřeva před stabilizací, jenž je klíčová k dosažení úspěchu.

II. PRAKTICKÁ ČÁST

8 CÍLE PRÁCE

Hlavní cíle práce jsou zejména, zjistit míru změny užitných vlastností v závislosti na míře nasycení dřeva, stabilizačním systémem. Měření rozdílných vlastností stabilizovaného dřeva jeho výroby a analýza naměřených dat. Při porovnáním s neupravenými vzorky.

- Míra a úspěšnost nasátí stabilizačního roztoku, do vzorků různých dřevin (konkrétně jsou v práci použity ořech, modřín, smrk). Rozbor technologického postupu výroby, jenž ovlivňuje zejména: teplota, čas, míra podtlaku a přetlaku.
- Reologie stabilizačního systému Cactus juice.
- Vliv stabilizace na mechanické vlastnosti dřeva, zejména rázová houževnatost, modul v ohybu, tvrdost dle Shore D.
- Vliv stabilizace a UV záření na změnu indexu žlutosti.
- Vliv stabilizace na cyklickou navlhavost dřeva.

9 TESTOVACÍ VZORKY A JEJICH VOLBA

Je velice důležité dbát na správný výběr co možná nejhomogennějších vzorků. Bez zjevných vad ve struktuře dřeva, jako jsou suky, nádory, kořenovice, prasklinky, poškození od hub či dřevokazných živočichů. To má za následek snížení rozptylu naměřených hodnot a směrodatné odchylky. Je to důležité hlavně z důvodů nízkého počtu vzorků a dosažení výpovědné hodnoty. Zajisté by bylo zajímavé doplnit data o tělíska trpící právě těmito vadami a porovnat vliv stabilizace dřeva s vadami a bez vad. Dle obecného předpokladu by mohlo dojít k výraznějšímu zlepšení užitných vlastností právě ve skupině méně jakostního dřeva oproti skupině s vyšší jakostí, a to i když by skupina s vyšší jakostí měla obecně lepší mechanické vlastnosti. Dále stojí za připomínku, že dřevo méně jakostní je vzhledově zajímavější a tedy i vhodnější ke stabilizaci.

Dále je velice důležitá orientace a směr vláken, kdy i malé odchylky mohou způsobit víc jak 10% rozdíly měřených hodnot. Další vlivy, které ovlivňují vlastnosti dřeva, jsou vlhkost, teplota, hustota (záleží na klimatických a nutričních podmínkách v průběhu růstu), orientaci světové strany, předchozí zatížení a doba případné zátěže.

9.1 Zkušební tělíska tvaru kvádr

Jako zkušební tělísko se běžně užívá hranolek o rozměrech 20x20x200 mm. Pro účely této práce byly nicméně dále zvoleny rozměry zkušebních tělísek ca. 10x7x80mm, kdy tyto více odpovídají normovaným rozměrům zkušebních těles pro mechanické zkoušky.

9.2 Zkušební tělíska tvaru vidlička

Zkušební tělísko pro porovnání tvarové stability a vlivu zpracování na vnější rozměry je tzv. vidlička. Je to tělísko podobné písmenu Y či U jen s pravoúhlými stěnami o nominálních rozměrech 40x10x90 mm a průřezu jednotlivých ramen 10x10 mm.

9.3 Totožné parametry výroby tělísek ořech, modřín, smrk

Tělíska byla ponořena do stabilizačního roztoku methyl-methakrylátu (Cactus juice) a zatížena závažím k dosažení jistoty ponoření v průběhu odsávání vzduchu. Proces podtlaku a přetlaku byl prováděn v autoklávu, kdy po dosažení uvedené hodnoty tlaku byl tento ponechán 30 minut při stejných tlakových podmínkách. Teplota se pohybovala okolo 20 °C.

9.3.1 Specifické parametry výroby tělísek stabilizovaného ořechu

Tabulka 9 Průběh tlaků a časové výdrže při výrobě tělísek ořechu

ořech Cactus juice			
	podtlak	přetlak	polymerace
tlak [atm]	-0,85	2,5	1
čas [min]	30	30	128

Průměrná vlhkost tělísek ořechu před napouštěním stabilizačním systémem byla 8,9 %.

9.3.2 Specifické parametry výroby tělísek stabilizovaného modřínu

Tabulka 10 Průběh tlaků a časové výdrže při výrobě tělísek modřínu

modřín Cactus juice			
	podtlak	přetlak	polymerace
tlak [atm]	-0,9	2,5	1
čas [min]	30	30	130

Průměrná vlhkost tělísek modřínu před napouštěním stabilizačním systémem byla 11 %.

9.3.3 Specifické parametry výroby tělísek stabilizovaného smrku

Tabulka 11 Průběh tlaků a časové výdrže při výrobě tělísek smrku

smrk Cactus juice			
	podtlak	přetlak	polymerace
tlak [atm]	-0,9	2,5	1
čas [min]	30	30	129

Průměrná vlhkost tělísek smrku před napouštěním stabilizačním systémem byla 7,6 %.

10 MÍRA NAPUŠTĚNÍ VZORKŮ A HNOTNOSTNÍ ROZDÍLY

10.1 Metodika měření

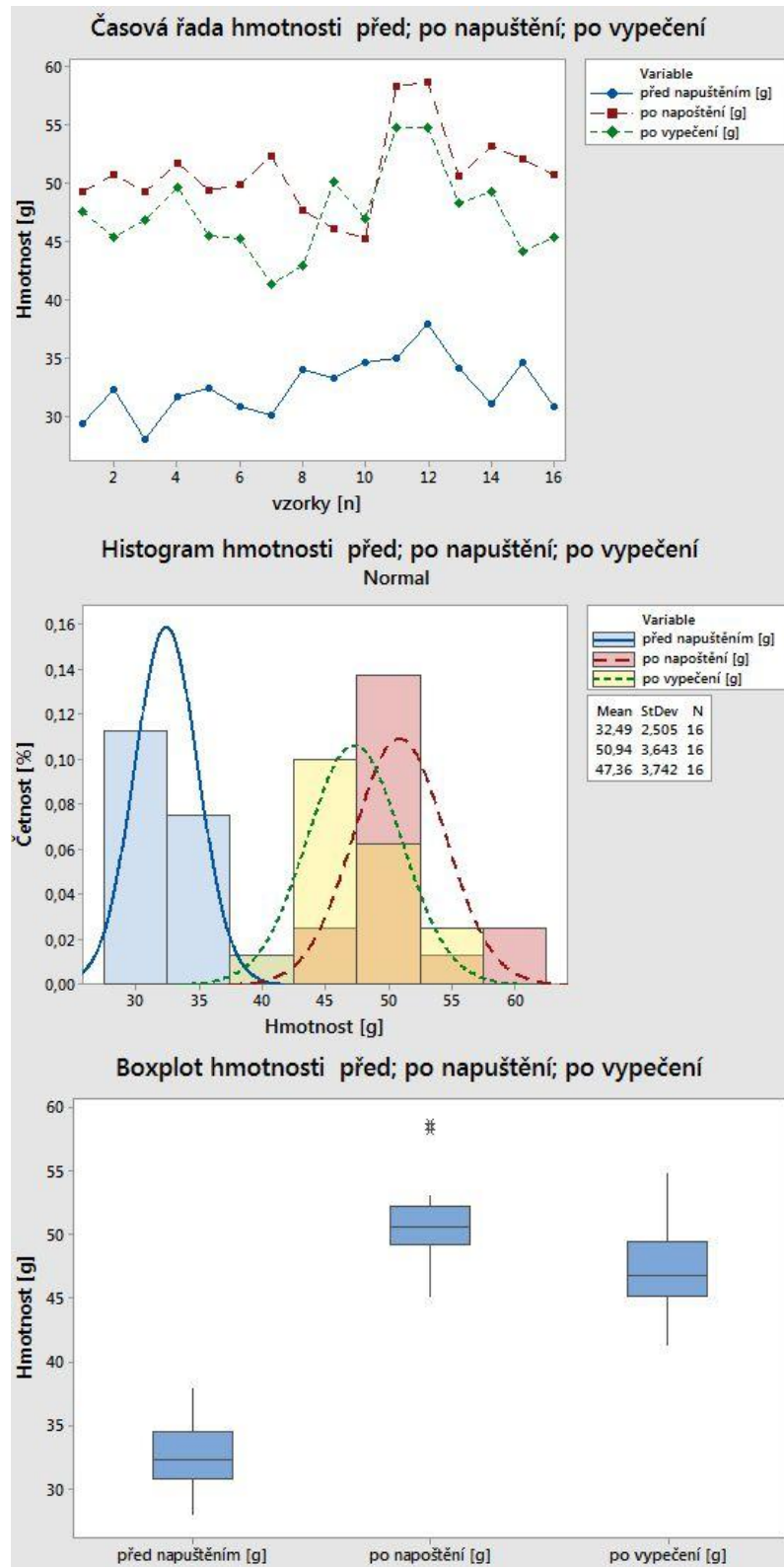
Suché vzorky byly kus po kusu položeny na střed měřicí misky digitálních vah DKV-2000 a hodnota byla odečtena po ustálení hodnoty. Vzorky nasáté stabilizačním roztokem byly pečlivě odkapány, aby nedošlo k měření stabilizačního systému na povrchu vzorku. Dále byly vzorky váženy také kus po kusu, kdy po ustálení hodnoty byla hodnota zapsána. Měření jednotlivých vzorků různých druhů bylo prováděno vždy stejně pro dosažení co nejvyšší výpovědní hodnoty měřených a porovnávaných souborů hodnot.

10.2 Rozdíly hmotností při zpracování vzorků ořechu

Tabulka 12 Rozdílné hmotnosti vzorků ořechu

číslo [n]	hmotnost před napuštěním [g]	Hmotnost s Cactusem [g]	hmotnost po vypečení [g]
1	29,3	49,3	47,6
2	32,3	50,7	45,4
3	28,0	49,2	46,8
4	31,7	51,7	49,6
5	32,4	49,4	45,5
6	30,8	49,9	45,2
7	30,1	52,3	41,3
8	34,0	47,7	42,9
9	33,3	46,1	50,1
10	34,6	45,2	46,9
11	34,9	58,3	54,8
12	37,9	58,7	54,7
13	34,1	50,6	48,3
14	31,0	53,1	49,2
15	34,6	52,1	44,1
16	30,8	50,7	45,3
průměr	32,5	50,9	47,4
smodch.	2,5	3,6	3,7
min.	28,0	45,2	41,3
max.	37,9	58,7	54,8

Vzorky ořechu se nasály o 57 hm. %. Po vypečení měli o 46 hm. % větší hmotnost oproti původnímu stavu. Úbytek hmotnosti po vypečení je způsoben přehřátím a částečným vylíním stabilizačního roztoku.



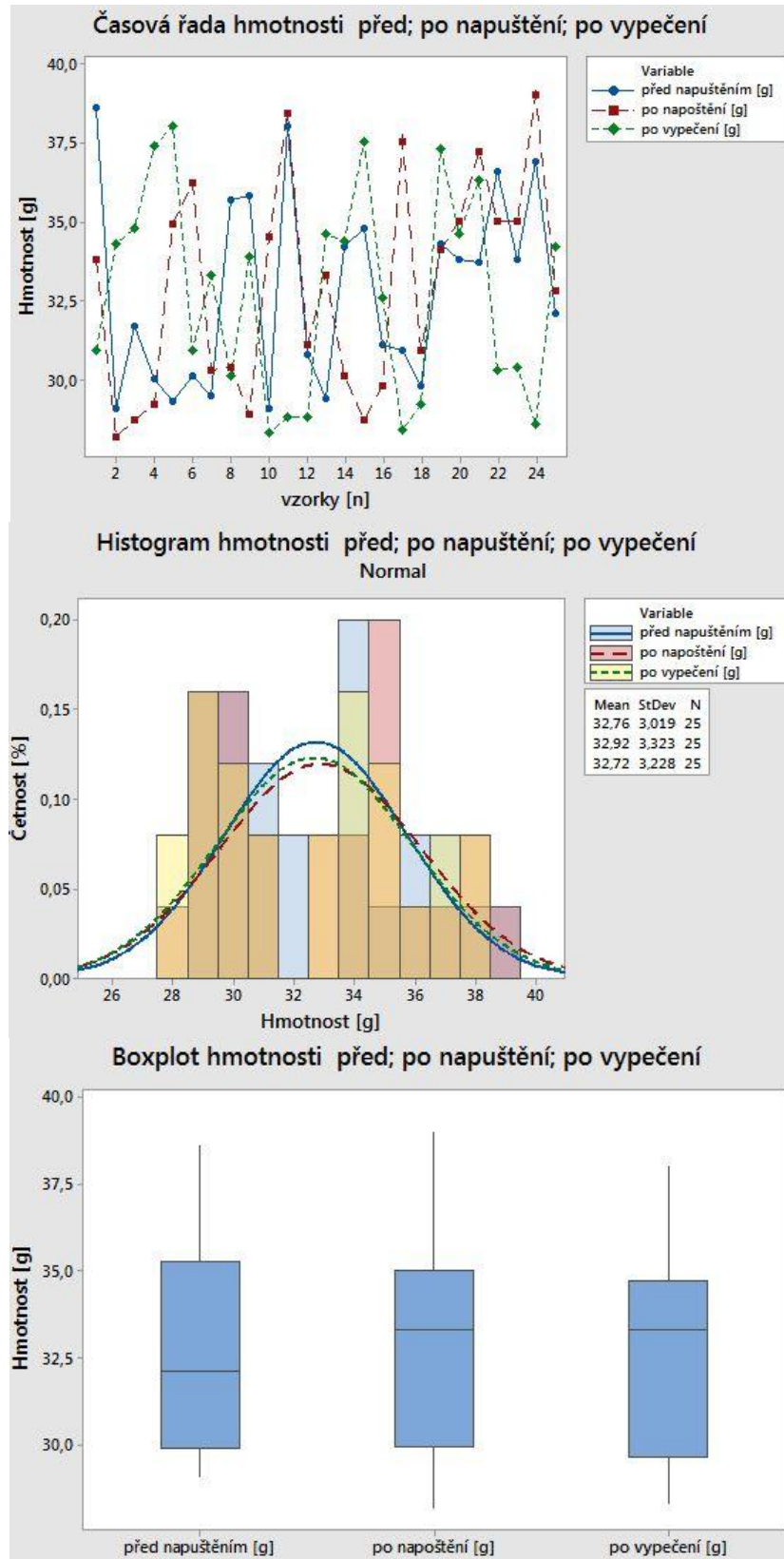
Obrázek 12 Minitab 17 časová řada, histogram, boxplot pro hmotnosti ořechu

10.3 Rozdíly hmotností při zpracování vzorků modřínu

Tabulka 13 Rozdílné hmotnosti vzorků modřín

číslo [n]	hmotnost před napuštěním [g]	hmotnost s Cactusem [g]	hmotnost po vypečení [g]
1	38,6	33,8	30,9
2	29,1	28,2	34,3
3	31,7	28,7	34,8
4	30,0	29,2	37,4
5	29,3	34,9	38,0
6	30,1	36,2	30,9
7	29,5	30,3	33,3
8	35,7	30,4	30,1
9	35,8	28,9	33,9
10	29,1	34,5	28,3
11	38,0	38,4	28,8
12	30,8	31,1	28,8
13	29,4	33,3	34,6
14	34,2	30,1	34,4
15	34,8	28,7	37,5
16	31,1	29,8	32,6
17	30,9	37,5	28,4
18	29,8	30,9	29,2
19	34,3	34,1	37,3
20	33,8	35	34,6
21	33,7	37,2	36,3
22	36,6	35,0	30,3
23	33,8	35,0	30,4
24	36,9	39,0	28,6
25	32,1	32,8	34,2
průměr	32,8	32,9	32,7
smodch.	3,0	3,3	3,2
min.	29,1	28,2	28,3
max.	38,6	39,0	38,0

Vzorky modřínu se neprosytily stabilizační pryskyřicí, kdy ani po vypečení v peci nelze mluvit o hmotnostním rozdílu.



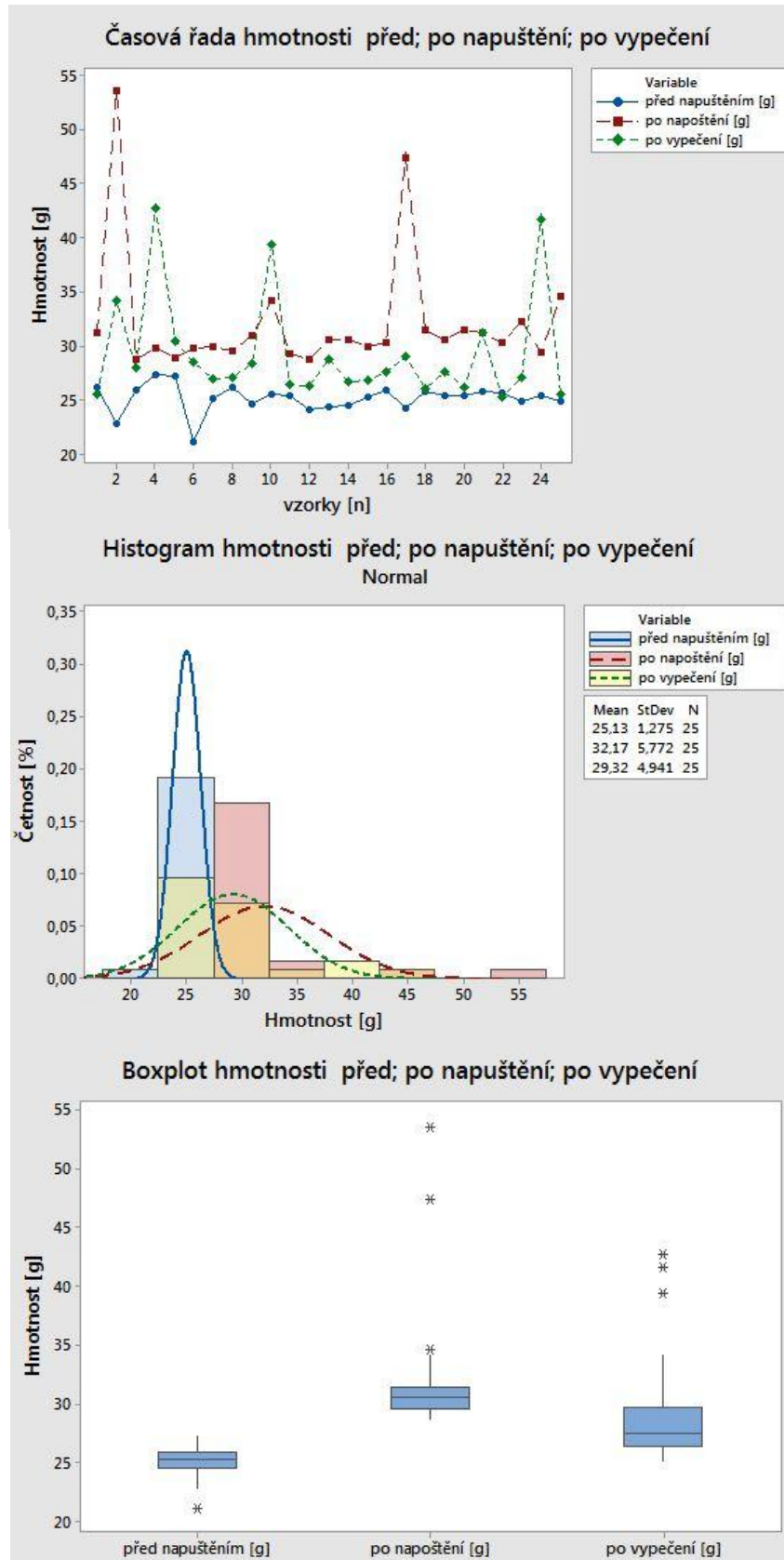
Obrázek 13 Minitab 17 časová řada, histogram, boxplot pro hmotnosti modřínu

10.4 Rozdíly hmotností při zpracování vzorků smrku

Tabulka 14 Rozdílné hmotnosti vzorků smrku

číslo [n]	hmotnost před napuštěním [g]	hmotnost s Cactusem [g]	hmotnost po vypečení [g]
1	26,1	31,2	25,5
2	22,8	53,6	34,2
3	25,9	28,7	28,0
4	27,3	29,7	42,7
5	27,2	28,9	30,4
6	21,1	29,8	28,5
7	25,1	29,9	26,9
8	26,2	29,5	27,1
9	24,6	30,9	28,4
10	25,5	34,1	39,4
11	25,4	29,3	26,4
12	24,1	28,7	26,3
13	24,3	30,6	28,7
14	24,4	30,6	26,7
15	25,2	29,9	26,8
16	25,9	30,3	27,6
17	24,2	47,4	29,0
18	25,8	31,4	26,0
19	25,3	30,6	27,5
20	25,4	31,5	26,2
21	25,8	31,2	31,2
22	25,6	30,3	25,2
23	24,8	32,2	27,1
24	25,3	29,4	41,7
25	24,9	34,6	25,5
průměr	25,1	32,2	29,3
smodch.	1,3	5,8	4,9
min.	21,1	28,7	25,2
max.	27,3	53,6	42,7
poměrná změna		1,28	1,17

Vzorky smrku přijaly 28 hm. % stabilizační pryskyřice Cactus Juice, po vypečení zůstal hmotnostní nárůst o 17 hm. %. Úbytek hmotnosti po vypečení je způsoben přehřátím a částečným vyvřením stabilizačního systému.



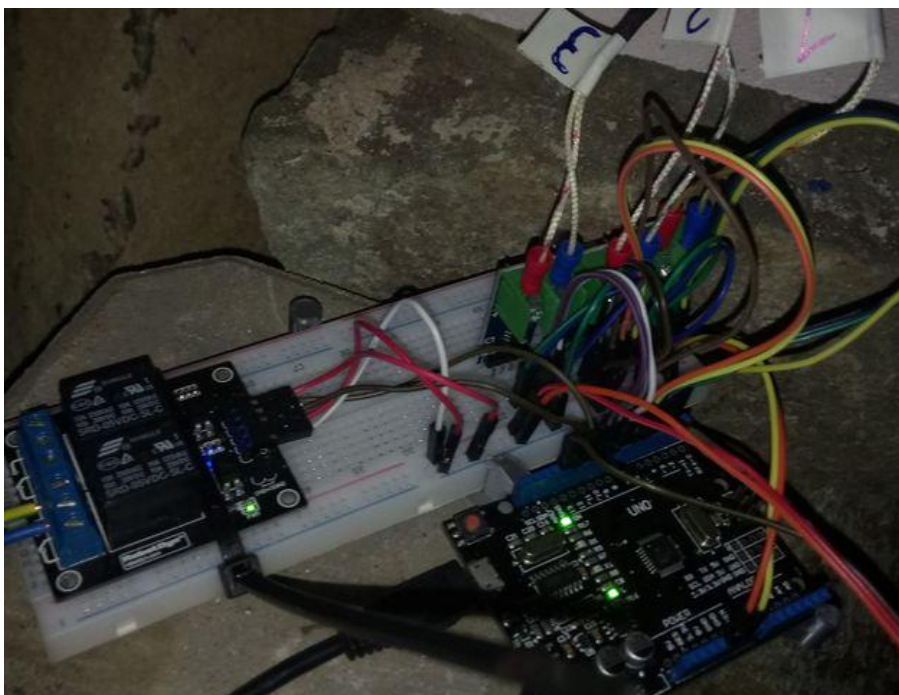
Obrázek 14 Minitab 17 časová řada, histogram, boxplot pro hmotnosti smrku

11 POSTUP STABILIZACE A PRŮBĚHY TEPLOT

11.1 Měřicí a regulační přístroj Arduino UNO R3

Vývojová deska Arduino UNO R3 je malý jednodeskový počítač, dá se jím odečítat i posílat signál jak analogový tak i digitální. Lze k němu připojit bezpočet typů senzorů a naprogramovat převodník analogových hodnot pro získání logických proměnných k regulaci prakticky čehokoliv, dle spuštěného programu. [21]

Zařízení sestavené a naprogramované pro regulaci odporové pece se skládá z Arduino UNO R3 (jedgeskový počítač), 3x MAX6675 Module termočlánek, 2 relé spínané 5V, propojovací drátky, rozváděcí deska, USB kabel, program pro řízení.



Obrázek 15 Měřicí a regulační systém Arduino UNO R3

11.2 Odporová pec vlastní konstrukce V1.3

Topení v odporové peci je realizováno odporovým drátem s odporem 31Ω při napětí 230 V a výkonu 1674 W, výkon se opalováním drátu a postupem času snižuje až na 959 W, kdy náprava poklesu výkonu je prováděna zkrácením celkové délky drátu. Tím klesne odpor a zvýší se proud, čímž i celkový výkon; nebo výměnou drátu.



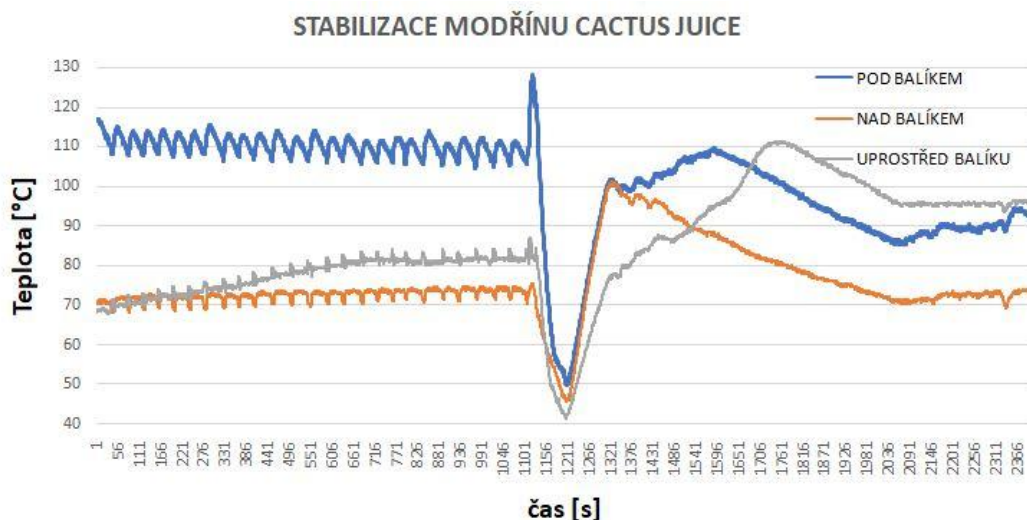
Obrázek 16 Odporová pec s regulací teploty V1.3 $P \pm 1200W$ s balíkem dřeva

11.3 Metodika měření

Odčítání hodnot se provádí pomocí 3 analogových teploměrů MAX6675 Module. Prodleva mezi měřeními je 1 sekunda, kdy po každém měření je programem rozhodnuto, zda se bude pokračovat v ohřevu či se topný okruh vypne pomocí 5V relé spínající 230 V střídavého napětí z distribuční sítě. Když teplota čidla v balíku stoupne nad $95\text{ }^{\circ}\text{C}$ nebo průměrná hodnota čidla nad a pod balíkem nad $95\text{ }^{\circ}\text{C}$, vypne se topný okruh v peci. Následný nárůst teploty v balíku je způsoben teplem z polymerace (exotermní reakce). Balík byl přikryt alobalem a senzor zhruba uprostřed hranice vyskládané ze vzorků.

11.4 Průběh stabilizace pro systém Cactus juice a modřín

Na Obr. č. 17 je znázorněn průběh teploty před, během a po zahájení polymerace.



Obrázek 17 Graf stabilizace modřínu systémem Cactus juice

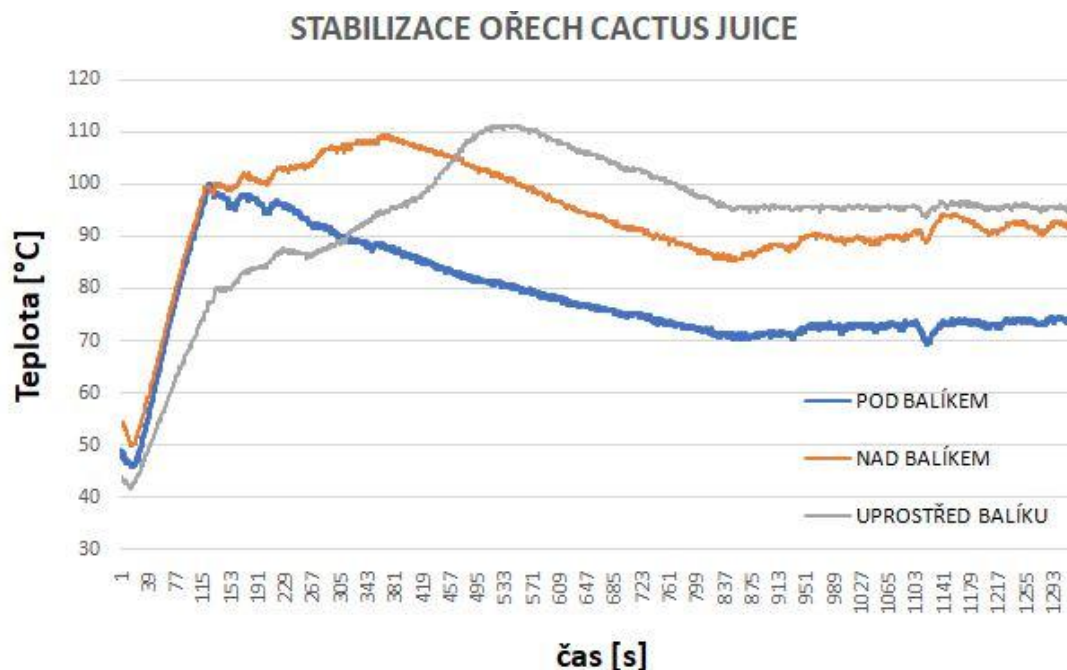
Při kontrole a otvírání pece v $t = 1120$ s se čidlo přiblížilo odporovému drátu. V čase $t = 1220$ s byly dvířka zavřeny a teplota narůstala. V časovém intervalu $t = 1590$ s až $t = 2090$ s byl topný okruh se odpojen a teplo bylo dodáváno ze samotné polymerace. Poté následoval ustálený stav další 2 hodiny. Tyto vzorky nenasály téměř žádný stabilizační roztok, to lze vidět na řezu.



Obrázek 18 Stabilizované vzorky modřínu

11.5 Průběh stabilizace pro systém Cactus juice a ořech

Na Obr. č. 19 je znázorněn průběh teploty před, během a po zahájení polymerace.



Obrázek 19 Graf stabilizace ořechu Cactus juice

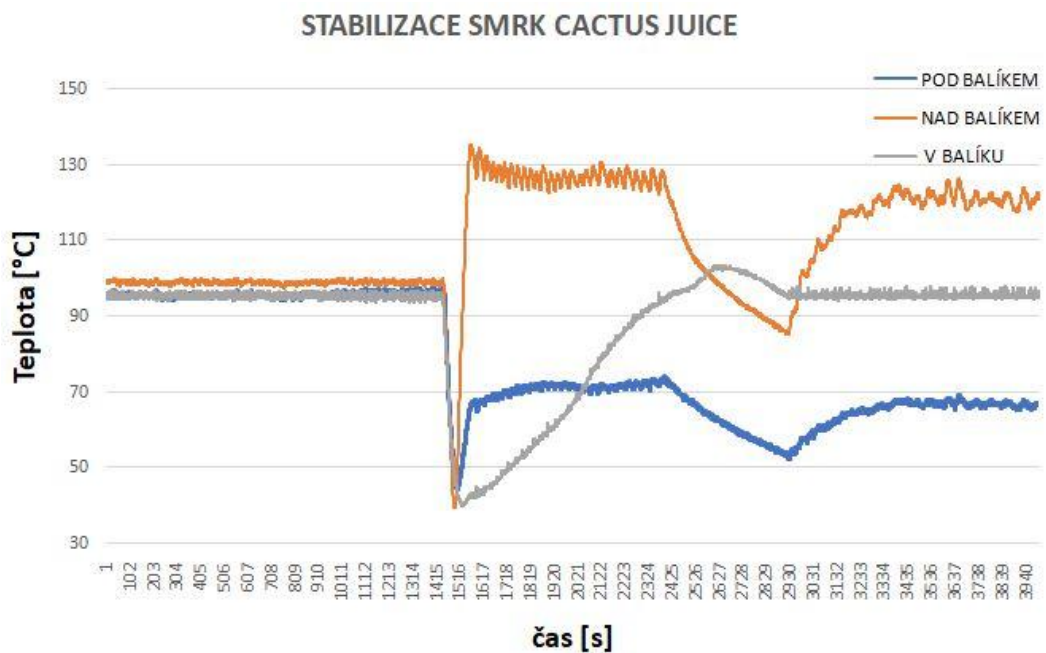
V čase $t = 415$ s došlo k odpojení topného okruhu a teplo bylo dodáváno pouze ze samotné polymerace. V čase $t = 848$ s byl topný okruh znovu zapojen. V čase $t = 1118$ s byla provedena rychlá vizuální kontrola systému. Ustálený stav trval další 2 hodiny.



Obrázek 20 Stabilizované vzorky ořechu

11.6 Průběh stabilizace pro systém Cactus juice a smrk

Na Obr. č. 21 je znázorněn průběh teploty před, během a po zahájení polymerace.



Obrázek 21 Graf stabilizace smrku Cactus juice

Do času $t = 1408$ s probíhal přehřev pece. V čase $t = 1502$ s byl vložen balík se smrkem, rozmístěna čidla a byl započat ohřev. V čase $t = 2365$ s bylo teplo opět dodáváno pouze polymerací a to do času $t = 2915$ s. Poté následoval po 2 hodiny ustálený stav. Tyto vzorky byly nedostatečně dlouho ponořeny v stabilizačním roztoku, po vláknech došlo k vysušení.

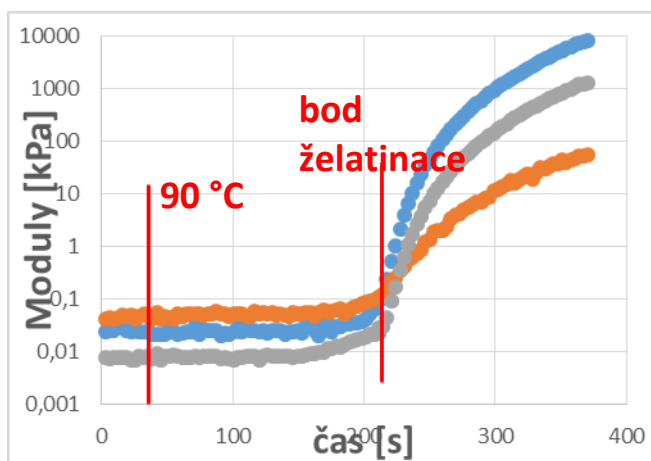


Obrázek 22 Pouze napuštěné vzorky smrku před vypečením

12 REOLOGIE STABILIZAČNÍHO SYSTÉMU

Stanovení kinetiky vytvrzování stabilizační pryskyřice Cactus juice bylo realizováno na rotačním viskozimetru Bohlin Gemini CVOR150 (UK) a oscilačním režimu a geometrii deska-deska.

Stabilizační systém byl nanesen na vyhřívanou spodní část měřicí geometrie. Vzdálenost mezi deskami geometrie byla nastavena na 0,2 mm. Jak již bylo uvedeno, měření probíhalo v oscilačním modu, kdy amplituda deformace byla zvolena z oblasti lineární viskoelastičity, a to 0,05, a frekvence kmitání byla zvolena 1 Hz. Vzorek byl z důvodu zabránění předčasné síťovací reakce vložen do měřicího systému při teplotě 80 °C a teprve v průběhu započatých oscilací byla řízeně teplota korigována na 90 °C, tj. teplotu, kterou udává výrobce stabilizačního systému jako síťovací. Ze zaznamenaných dat byl následně vyhodnocen bod gelace, tj. doba, při které dochází k protnutí viskoelastických modul. Jinými slovy lze říci, že původně vyšší ztrátový modul udávající viskózní charakter vzorku byl v bodě gelace převýšen původně nižším elastickým modulem a tedy systém za tímto bodem začal vykazovat spíše elastické chování dané sesíťovanou strukturou. Oproti materiálovému listu bylo bodu gelace dosaženo mnohem dříve, jelikož vytvrzování probíhalo ve velmi tenké vrstvě s dokonalým ohřevem, kterého není v reálných podmínkách možné dosáhnout.



Obrázek 23 Vytvrzování systému Cactus Juice. Modré body – elastický modul, oranžové body – viskózní modul, šedé body – komplexní viskozitu

13 VLIV STABILIZACE NA RÁZOVOU HOUŽEVNATOST

Tato měření byla prováděna v souladu s normou ČSN EN ISO 179-1 (640612) s využitím rázového kladiva 15J (Obr. 24). Nejprve byl přeměřen testovací vzorek. Kladivo bylo umístěno do výchozí polohy dle obrázku a zaaretováno. Následně byl vzorek umístěn na měřicí podložku a upevněn. Další krok je uzavřít pracovní prostor a spustit test. Odečte se rozdíl výšky kladiva před a po testu, rozdíl energie byl spotřebován na přelomení tělíska a zapsán do tabulky. [22]



Obrázek 24 Charpyho kladivo s 15J závažím

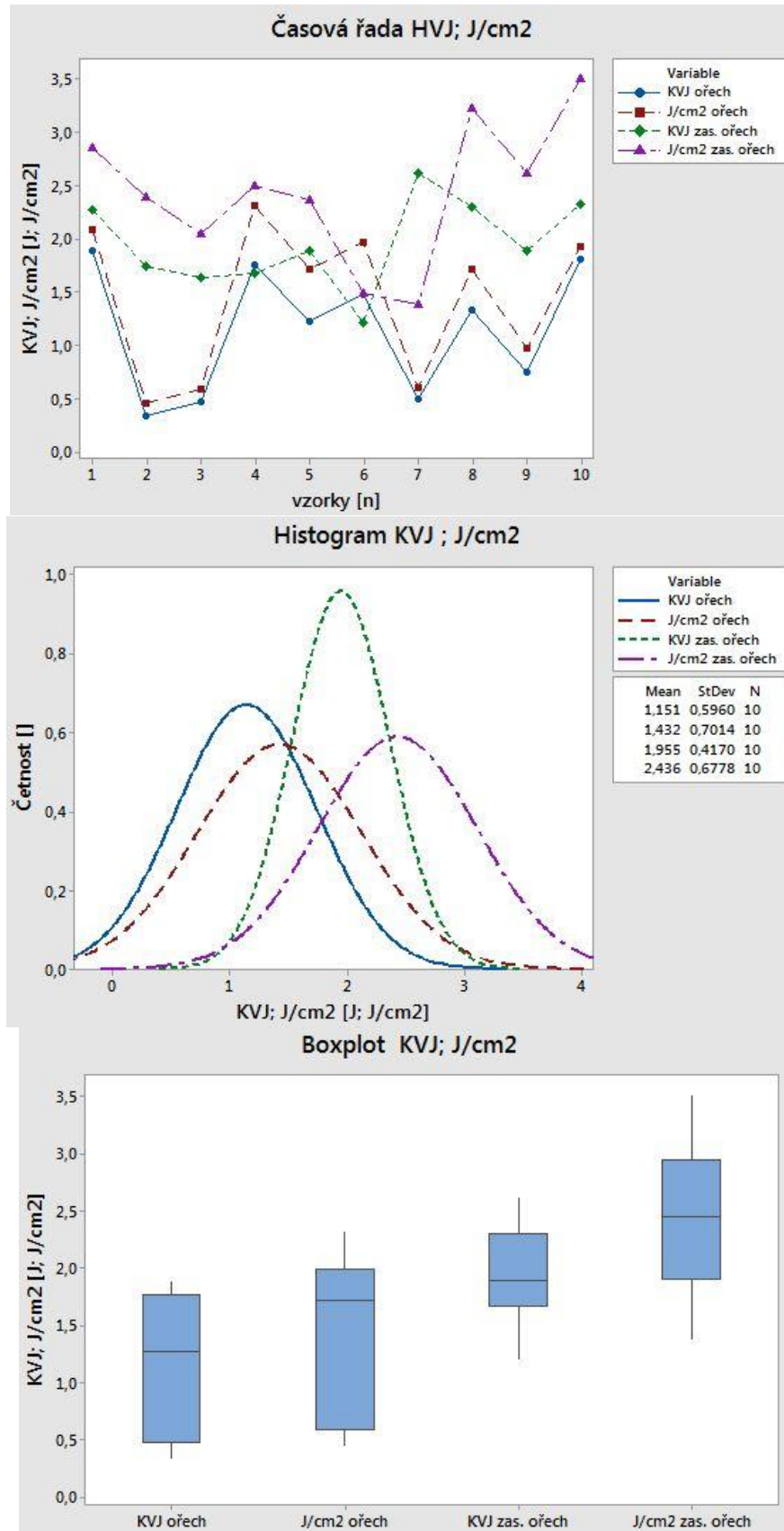
13.1 Rázová houževnatost Cactus juice a ořech

Tabulka 15 Rázová houževnatost nezastabilizovaného ořechu

ořech	KVJ	J/cm ²	rozměr A	rozměr B
1	1,88	2,08	10,2	8,9
2	0,34	0,46	9,7	7,5
3	0,47	0,59	10,2	7,8
4	1,75	2,31	9,6	7,9
5	1,22	1,72	9,8	7,2
6	1,48	1,96	10,1	7,4
7	0,49	0,60	9,4	7,9
8	1,33	1,71	10,6	7,3
9	0,74	0,97	10,0	7,6
10	1,81	1,92	9,4	7,1
průměr	1,15	1,43	9,90	7,66
smodch.	0,60	0,70	0,39	0,52
min.	0,34	0,46	9,40	7,10
max.	1,88	2,31	10,60	8,90

Tabulka 16 Rázová houževnatost zastabilizovaného ořechu

stab. ořech	KVJ	J/cm ²	rozměr A	rozměr B
1	2,27	2,85	9,6	8,3
2	1,74	2,39	9,9	7,4
3	1,64	2,05	10,0	8,0
4	1,68	2,5	9,2	7,3
5	1,89	2,36	10,0	8,0
6	1,21	1,49	10,6	7,7
7	2,61	1,38	11,1	7,1
8	2,3	3,23	9,6	7,4
9	1,89	2,61	10,1	7,2
10	2,32	3,50	9,6	6,9
průměr	1,96	2,44	9,97	7,53
smodch.	0,42	0,68	0,55	0,45
min.	1,21	1,38	9,20	6,90
max.	2,61	3,50	11,10	8,30



Obrázek 25 Minitab 17 vyhodnocení rázové houževnatosti ořechu

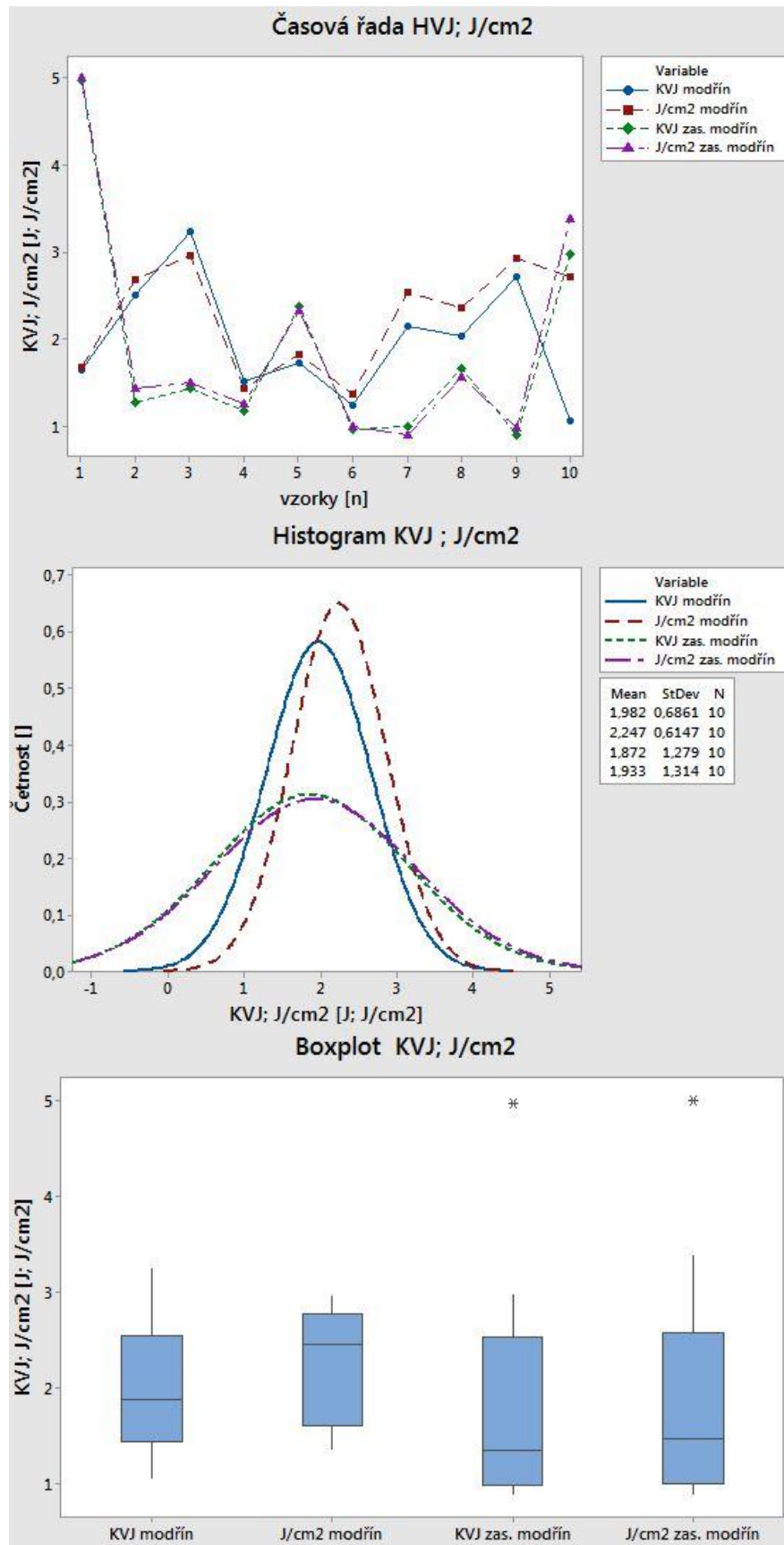
13.2 Rázová houževnatost Cactus juice a modřín

Tabulka 17 Rázová houževnatost nezastabilizovaného modřínu

modřín	KVJ	J/cm ²	rozměr A	rozměr B
1	1,64	1,67	10,1	9,6
2	2,50	2,68	10,0	9,2
3	3,24	2,95	11,2	9,8
4	1,51	1,43	9,6	11,0
5	1,72	1,83	10,3	9,1
6	1,24	1,37	10,1	9,0
7	2,15	2,54	9,3	9,1
8	2,04	2,36	9,5	9,1
9	2,72	2,92	9,3	10,0
10	1,06	2,72	9,4	9,2
průměr	1,98	2,25	9,88	9,51
smodch.	0,69	0,61	0,59	0,62
min.	1,06	1,37	9,30	9,00
max.	3,24	2,95	11,20	11,00

Tabulka 18 Rázová houževnatost zastabilizovaného modřínu

stab. modřín	KVJ	J/cm ²	rozměr A	rozměr B
1	4,97	5,00	10,8	9,2
2	1,27	1,43	9,5	9,3
3	1,44	1,50	9,6	9,2
4	1,17	1,25	10,9	8,6
5	2,38	2,32	9,5	10,8
6	0,96	1,00	10,5	8,8
7	0,99	0,90	11,2	9,8
8	1,66	1,57	8,9	11,9
9	0,90	0,98	9,7	9,4
10	2,98	3,38	8,9	9,9
průměr	1,87	1,93	9,95	9,69
smodch.	1,28	1,31	0,84	0,99
min.	0,90	0,90	8,90	8,60
max.	4,97	5,00	11,20	11,90



Obrázek 26 Minitab 17 vyhodnocení rázové houževnatosti modřínu

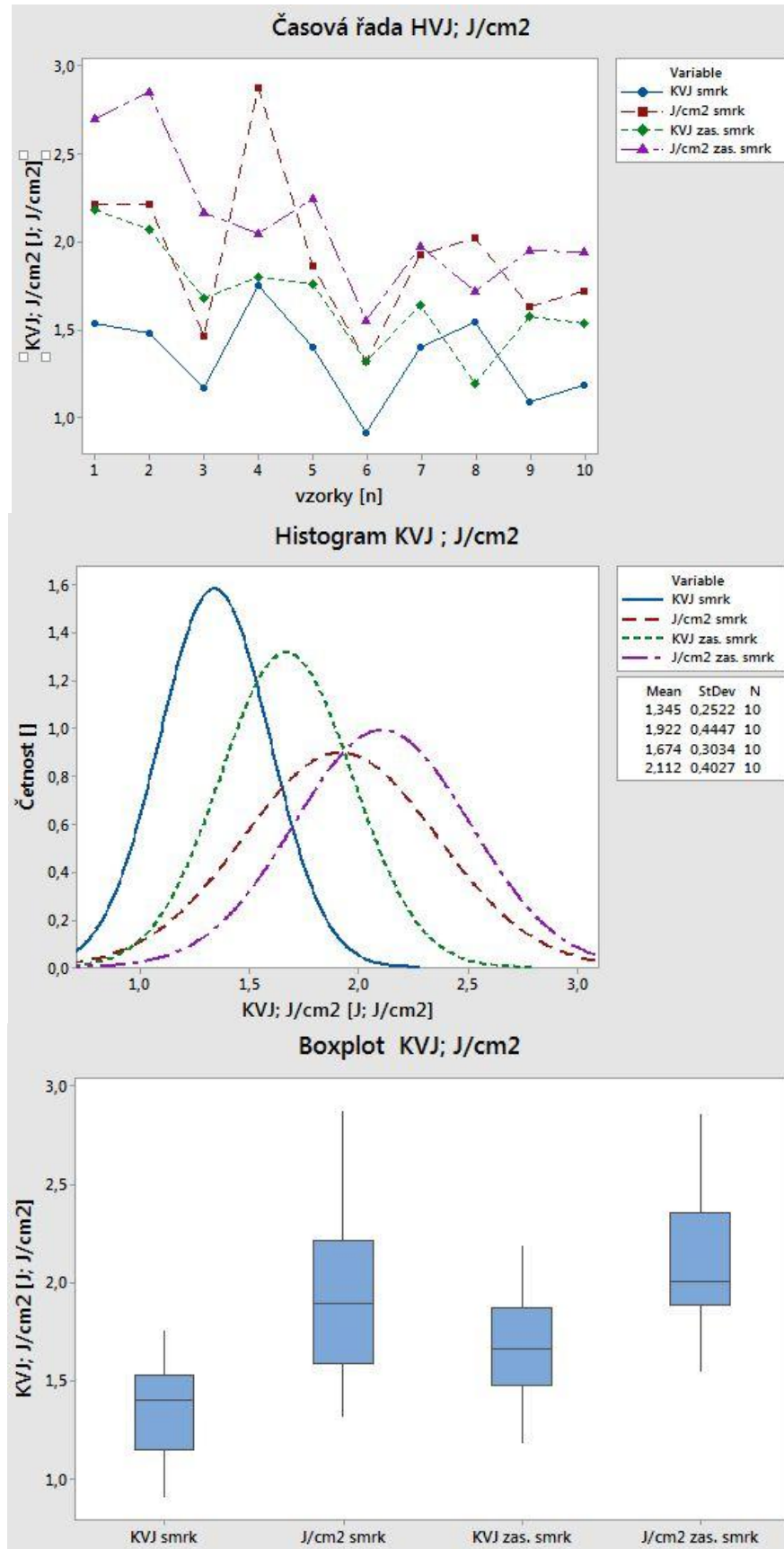
13.3 Rázová houževnatost Cactus juice a smrk

Tabulka 19 Rázová houževnatost nezastabilizovaného smrku

smrk	KVJ	J/cm ²	rozměr A	rozměr B
1	1,53	2,21	7,2	9,6
2	1,48	2,21	6,9	9,7
3	1,17	1,46	7,6	10,6
4	1,75	2,87	6,3	9,7
5	1,40	1,86	8,1	9,3
6	0,91	1,32	7,2	9,6
7	1,40	1,92	7,4	9,8
8	1,54	2,02	7,4	10,3
9	1,09	1,63	7,3	9,2
10	1,18	1,72	7,0	9,7
průměr	1,35	1,92	7,24	9,75
smodch.	0,25	0,44	0,47	0,42
min.	0,91	1,32	6,30	9,20
max.	1,75	2,87	8,10	10,60

Tabulka 20 Rázová houževnatost zastabilizovaného smrku

stab. smrk	KVJ	J/cm ²	rozměr A	rozměr B
1	2,18	2,7	8,2	9,8
2	2,07	2,85	8,0	9,1
3	1,68	2,16	8,0	9,7
4	1,8	2,04	8,4	10,5
5	1,76	2,24	8,3	9,5
6	1,32	1,55	8,2	10,4
7	1,64	1,97	8,0	10,4
8	1,19	1,72	7,7	9,0
9	1,57	1,95	7,6	10,6
10	1,53	1,94	8,3	9,5
průměr	1,67	2,11	8,07	9,85
smodch.	0,30	0,40	0,26	0,59
min.	1,19	1,55	7,60	9,00
max.	2,18	2,85	8,40	10,60



Obrázek 27 Minitab 17 vyhodnocení rázové houževnatosti smrku

14 VLIV STABILIZACE NA MODUL OHYBU

Stanovení tříbodového ohybu bylo realizováno na trhacím stroji Testometric M35-5CT, kdy vzdálenost postranních podpěr byla dle normy a rozměrů zkušebních těles zvolena 64 mm. Vzorek se umístil na podpěry a bylo započato měření, které bylo zaznamenáno jako pozvolný nárůst tlačné síly a průběžného záznamu hodnot síly, deformace a modulu ohybu.



Obrázek 28 Trhací/ohýbací stroj M350-5CT

14.1 Ohybová zkouška Cactus juice a ořech

Tabulka 21 Průběh ohybové zkoušky nezastabilizovaný ořech

	Nejvyšší pevnost (N)	Stlačení při nejv. síle (mm)	Stlačení při porušení (mm)	Modul pružnosti (MPa)	Šířka (mm)	Tloušťka (mm)
1	474,2	3,91	3,92	2346,76	6,80	10,00
2	503,3	3,83	3,96	2109,74	8,80	9,60
3	604,3	4,21	4,21	1978,53	8,80	10,00
4	622,5	4,15	4,16	2893,47	7,30	10,00
5	383,9	2,94	2,95	1974,01	6,60	10,20
6	535,9	4,15	4,16	2344,51	7,30	9,90
7	647,8	4,58	4,59	1899,81	8,40	10,00
8	582,0	4,66	4,66	1855,49	7,00	10,10
9	466,5	3,60	3,60	2179,65	6,80	9,80
10	461,1	3,69	3,75	1901,69	8,20	9,80
min.	383,9	2,94	2,95	1855,49	6,60	9,60
průměr	528,2	3,97	3,99	2148,37	7,60	9,94
max.	647,8	4,66	4,66	2893,47	8,80	10,20

smodch.	84,7	0,50	0,50	316,78	0,86	0,17
---------	------	------	------	--------	------	------

Tabulka 22 Průběh ohybové zkoušky zastabilizovaný ořech

	Nejvyšší pevnost (N)	Stlačení při nejv. síle (mm)	Stlačení při porušení (mm)	Modul pružnosti (MPa)	Šířka (mm)	Tloušťka (mm)
1	654,9	2,43	2,43	3524,87	7,40	9,80
2	765,5	3,00	3,00	3008,16	7,00	10,30
3	565,2	3,29	3,30	3099,12	7,50	9,60
4	514,2	2,67	2,73	2066,40	6,90	10,70
5	531,0	3,71	3,71	2435,54	7,50	9,70
6	988,6	3,10	3,20	3042,82	8,50	10,00
7	754,1	5,45	5,45	3632,12	8,50	8,80
8	806,3	3,09	3,10	3012,45	7,10	10,20
9	807,0	3,45	3,45	3116,98	7,40	9,90
10	718,5	4,94	5,04	3057,26	7,10	9,30
min.	514,2	2,43	2,43	2066,40	6,90	8,80
průměr	710,5	3,51	3,54	2999,57	7,49	9,83
max.	988,6	5,45	5,45	3632,12	8,50	10,70
smodch.	147,5	0,96	0,97	458,76	0,57	0,53

14.2 Ohybová zkouška Cactus juice a modřín

Tabulka 23 Průběh ohybové zkoušky nezastabilizovaný modřín

	Nejvyšší pevnost (N)	Stlačení při nejv. síle (mm)	Stlačení při porušení (mm)	Modul pružnosti (MPa)	Šířka (mm)	Tloušťka (mm)
1	392,1	3,29	3,29	2062,62	9,20	9,40
2	479,1	3,71	3,71	2195,51	9,20	9,90
3	620,1	4,87	6,00	2400,78	9,30	10,00
4	532,0	3,49	3,49	2111,52	8,80	10,00
5	417,8	5,74	6,21	2515,71	8,10	9,70
6	439,8	3,75	3,84	1827,51	9,10	10,80
7	412,6	3,73	3,73	1634,04	9,70	9,40
8	375,3	3,69	3,69	1798,81	9,00	9,50
9	376,3	4,31	4,41	1813,34	9,10	9,60
10	523,4	4,66	5,03	2532,26	10,80	9,10
min.	375,3	3,29	3,29	1634,04	8,10	9,10
průměr	456,9	4,12	4,34	2089,21	9,23	9,74
max.	620,1	5,74	6,21	2532,26	10,80	10,80
smodch.	80,5	0,76	1,05	320,39	0,69	0,47

Tabulka 24 Průběh ohybové zkoušky zastabilizovaný modřín

	Nejvyšší pevnost (N)	Stlačení při nejv. síle (mm)	Stlačení při poru- šení (mm)	Modul pružnosti (MPa)	Šířka (mm)	Tloušťka (mm)
1	587,9	4,87	5,02	3066,40	9,00	9,40
2	566,6	4,61	5,07	2521,74	9,50	9,20
3	527,8	3,91	4,01	3240,29	9,40	8,70
4	592,3	3,42	3,43	2796,87	9,70	8,90
5	554,0	4,35	5,11	2533,68	9,60	9,70
6	627,4	4,08	4,09	3189,38	11,90	8,70
7	506,6	4,85	5,57	4334,95	8,90	8,10
8	641,9	4,52	4,53	3136,23	10,90	8,60
9	522,4	3,11	3,11	2776,74	8,80	9,10
10	440,7	3,23	3,23	2958,31	8,90	9,10
min.	440,7	3,11	3,11	2521,74	8,80	8,10
průměr	556,8	4,10	4,32	3055,46	9,66	8,95
max.	641,9	4,87	5,57	4334,95	11,90	9,70
smodch.	60,2	0,66	0,88	517,15	1,00	0,45

14.3 Ohybová zkouška Cactus juice a smrk

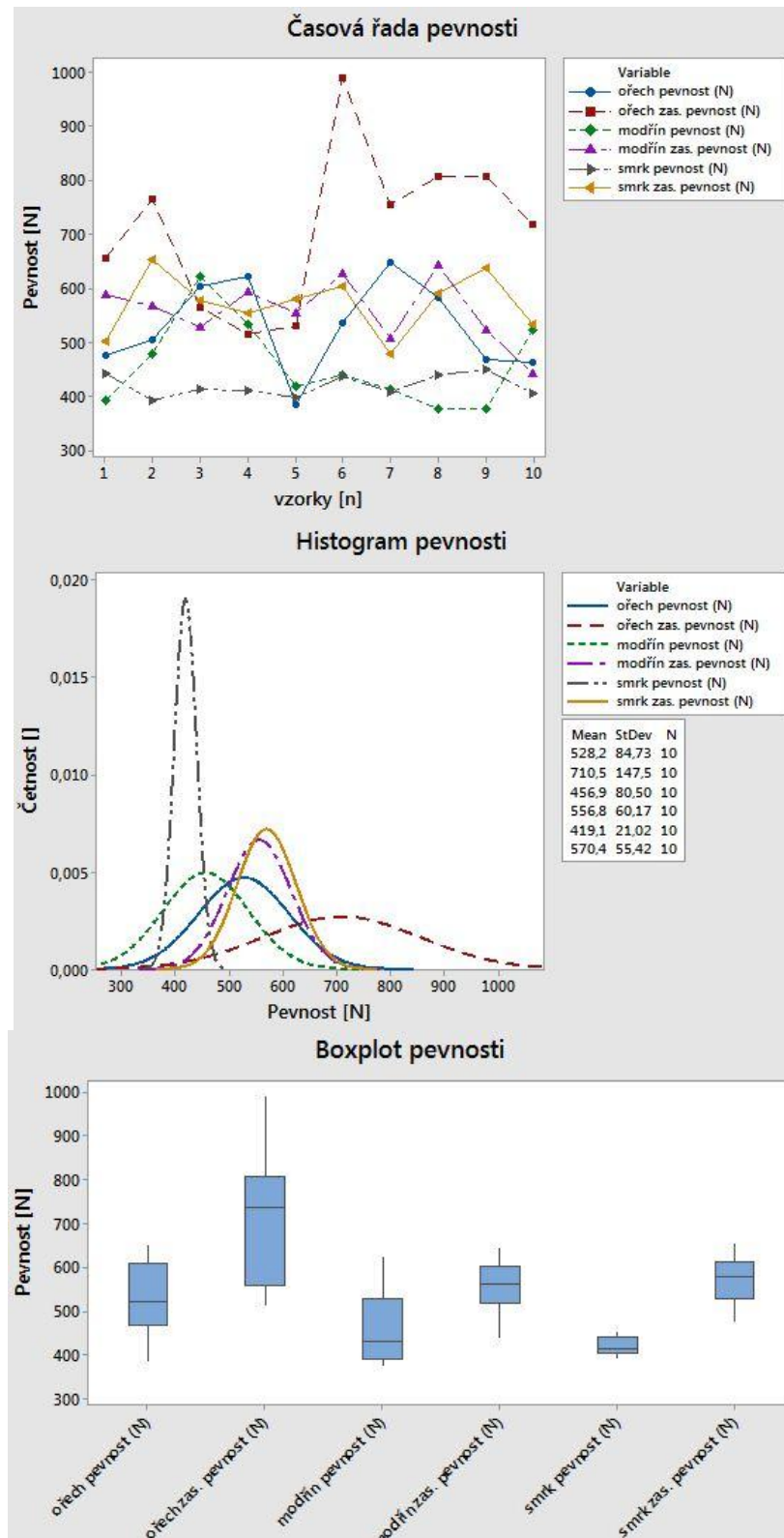
Tabulka 25 Průběh ohybové zkoušky nezastabilizovaný smrk

	Nejvyšší pevnost (N)	Stlačení při nejv. síle (mm)	Stlačení při poru- šení (mm)	Modul pružnosti (MPa)	Šířka (mm)	Tloušťka (mm)
1	441,7	3,69	3,69	2400,46	7,70	9,70
2	391,8	4,75	4,78	2749,13	7,00	9,70
3	412,6	4,82	5,08	2528,66	8,20	9,40
4	410,9	3,65	4,22	2865,92	7,10	9,50
5	396,3	3,74	4,26	2585,81	7,30	9,80
6	437,5	4,54	5,07	2539,03	7,30	9,60
7	406,6	4,51	4,65	2530,95	6,80	9,80
8	440,0	3,48	3,48	2695,28	7,60	9,70
9	449,7	4,07	5,43	2883,43	7,00	9,90
10	404,2	3,96	3,96	3086,57	7,10	9,20
min.	391,8	3,48	3,48	2400,46	6,80	9,20
průměr	419,1	4,12	4,46	2686,52	7,31	9,63
max.	449,7	4,82	5,43	3086,57	8,20	9,90
smodch.	21,0	0,50	0,64	210,25	0,42	0,21

Tabulka 26 Průběh ohybové zkoušky nastabilizovaný smrk

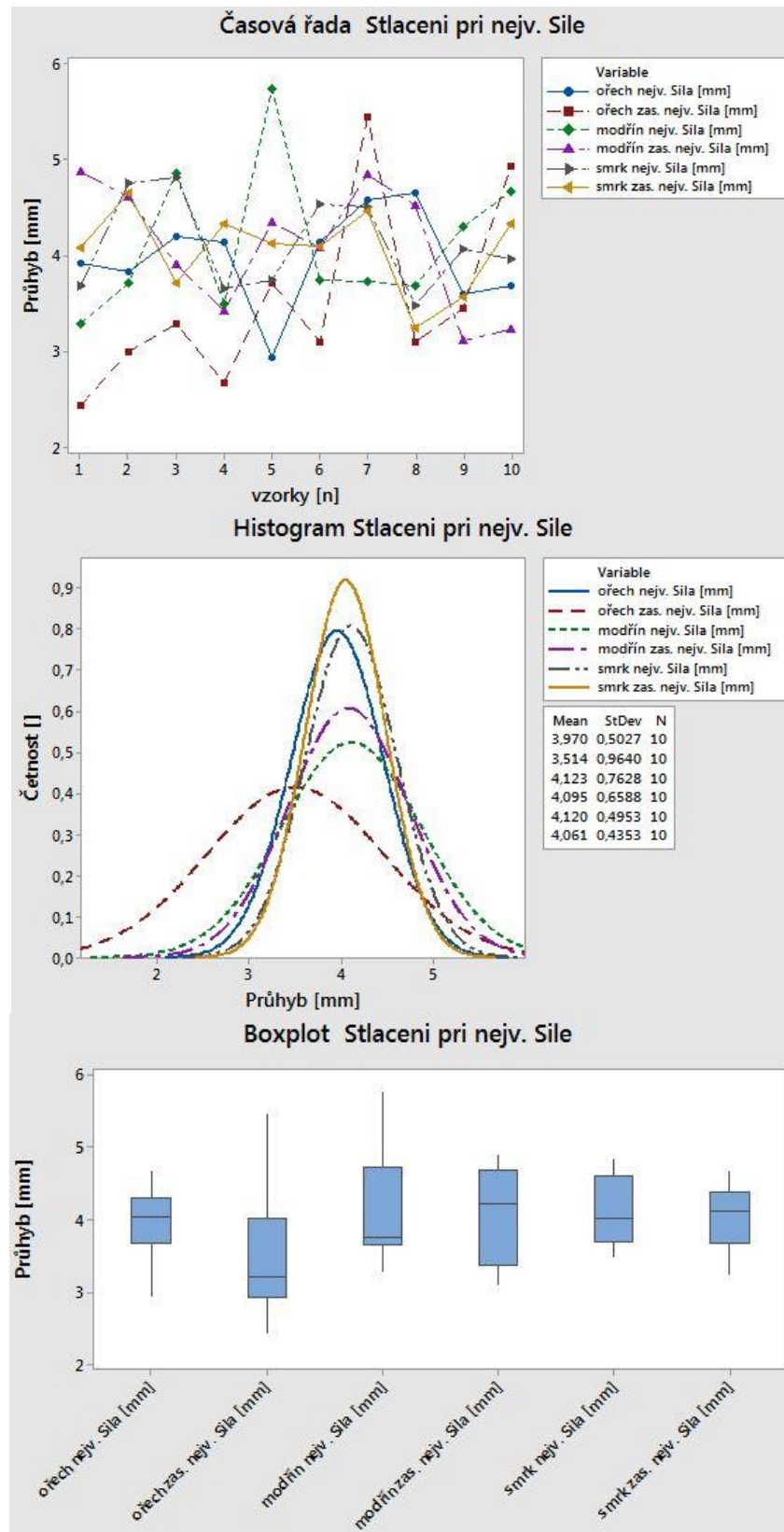
	Nejvyšší pevnost (N)	Stlačení při nejv. síle (mm)	Stlačení při poru- šení (mm)	Modul pružnosti (MPa)	Šířka (mm)	Tloušťka (mm)
1	501,4	4,08	4,69	2149,02	8,00	10,20
2	652,2	4,65	4,66	3356,41	8,40	9,20
3	575,8	3,71	3,71	2038,29	8,20	10,40
4	553,6	4,34	4,34	3187,66	8,40	9,00
5	579,6	4,13	4,13	3052,45	8,50	9,10
6	602,3	4,10	4,18	2976,86	8,10	9,40
7	477,4	4,46	4,88	3007,44	7,90	9,30
8	591,3	3,25	3,26	2687,38	8,20	10,20
9	636,5	3,56	3,57	3810,89	7,50	9,70
10	534,0	4,34	4,34	2984,26	8,60	9,50
min.	477,4	3,25	3,26	2038,29	7,50	9,00
průměr	570,4	4,06	4,17	2925,07	8,18	9,60
max.	652,2	4,65	4,88	3810,89	8,60	10,40
smodch.	55,4	0,44	0,53	528,52	0,33	0,50

14.4 Ohybová zkouška porovnání nejvyšší pevnosti



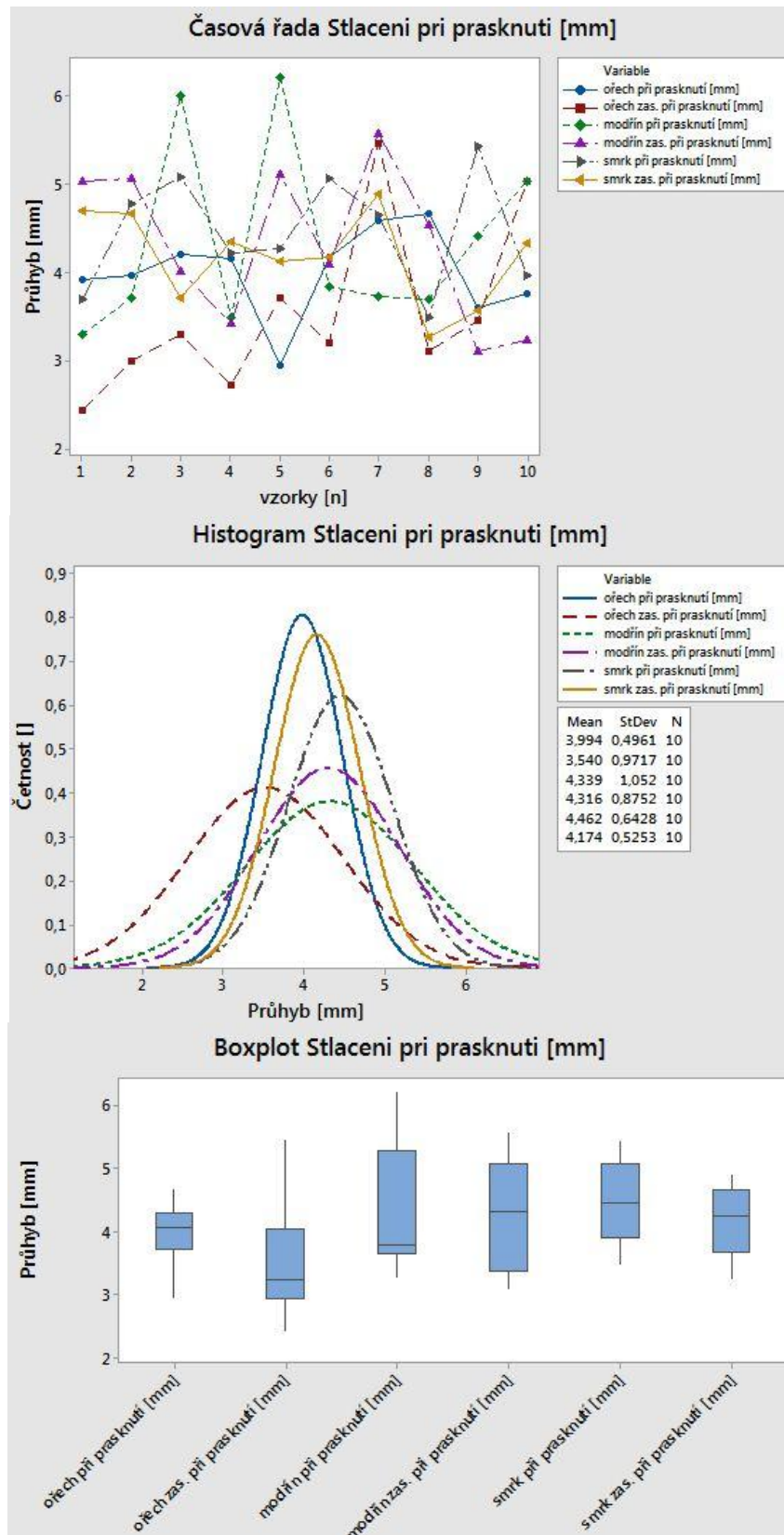
Obrázek 29 Minitab 17 vyhodnocení nejvyšší dosažené pevnosti

14.5 Ohybová zkouška porovnání stlačení při maximální síle



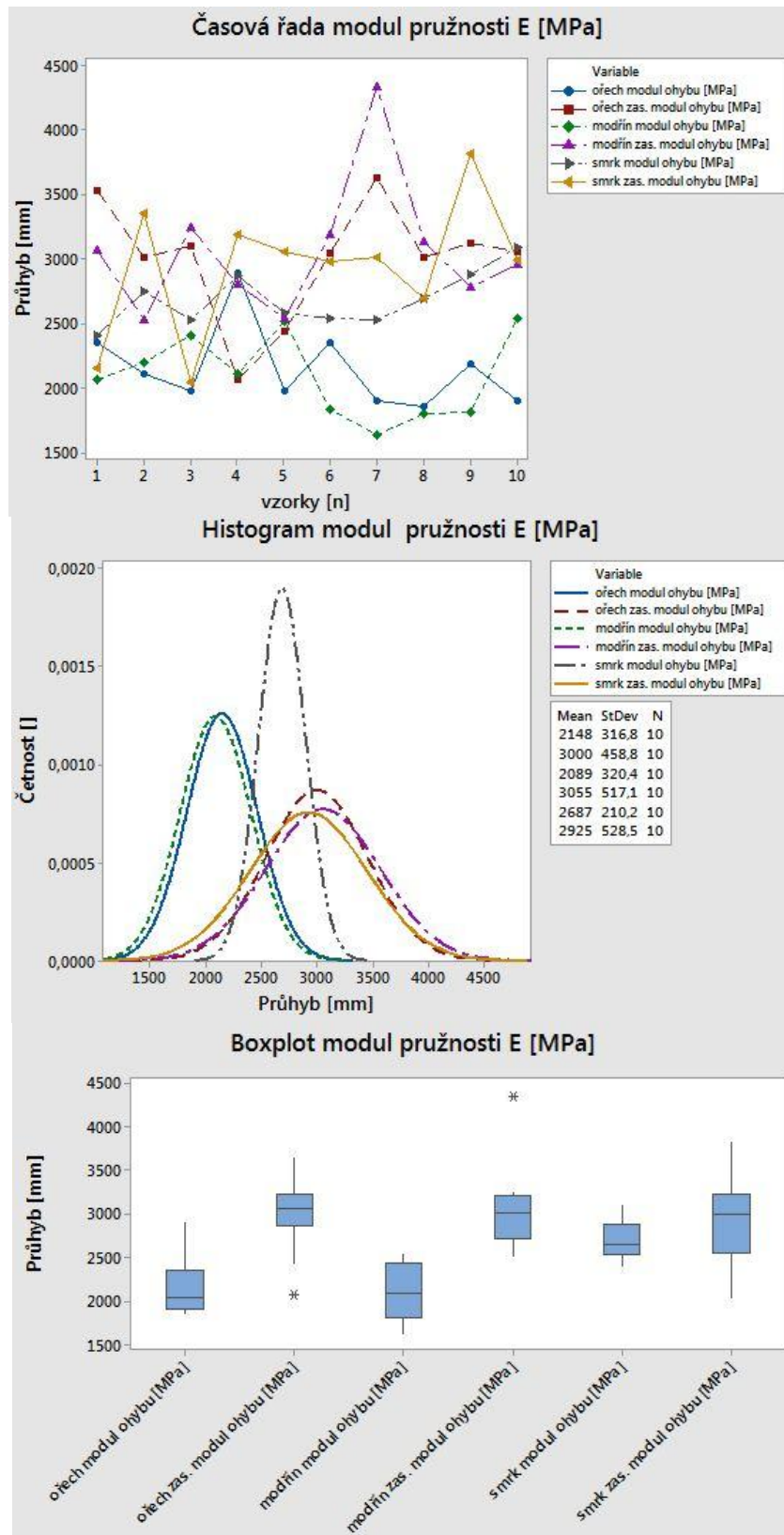
Obrázek 30 Minitab 17 vyhodnocení stlačení při maximální síle

14.6 Ohybová zkouška porovnání stlačení při porušení



Obrázek 31 Minitab 17 vyhodnocení maximální stlačení do porušení

14.7 Ohybová zkouška porovnání modulu pružnosti



Obrázek 32 Minitab 17 vyhodnocení dosažené moduly pružnosti

15 VLIV STABILIZACE NA TVRDOST SHORE D

Tvrдость vzorku Shore D původního i stabilizovaného dřeva stabilizační pryskyřicí Cactus juice byla stanovena na tvrdoměru od společnosti Polymertest. Každý vzorek byl měřen na různých místech kolmo na orientaci vláken. Z důvodů vysoké anizotropie struktury dřeva je i směrodatná odchylka naměřených hodnot vysoká.



Obrázek 33 Měřicí přístroj Shore a závaží HShD

15.1 Vliv Cactus juice na tvrdost dřeva ořechu

Z Tab. 27 je patrný 20% nárůst tvrdosti Shore D zastabilizovaného dřeva ořechu vůči dřevu nezastabilizovanému.

Tabulka 27 Tvrđost Shore D ne/zastabilizovaného ořechu

ořech		
n [-]	nezast. HShD	zast. HShD
1	57	70
2	59	69
3	57	68
4	58	74
5	57	70
6	60	71
7	62	75
8	61	70
9	58	65
10	56	69
průměr	59	70
smodch.	2	3
min.	56	65
max.	62	75

15.2 Vliv Cactus juice na tvrdost dřeva modřín

Z Tab. 28 je vidět 9% nárůst tvrdosti zastabilizovaného dřeva modřínu vůči dřevu nezastabilizovanému, ale je nutno podotknout, že dřevo modřínu nenasálo skoro žádný stabilizační systém. Možná se jedná tedy jen o zpevnění povrchové vrstvy.

Tabulka 28 Tvrdost Shore D ne/zastabilizovaného modřínu

modřín		
n [-]	nezast. HShD	zast. HShD
1	35	41
2	35	34
3	37	40
4	39	37
5	35	36
6	36	39
7	32	40
8	33	37
9	34	37
10	32	38
průměr	35	37
smodch.	2	2
min.	32	34
max.	39	41

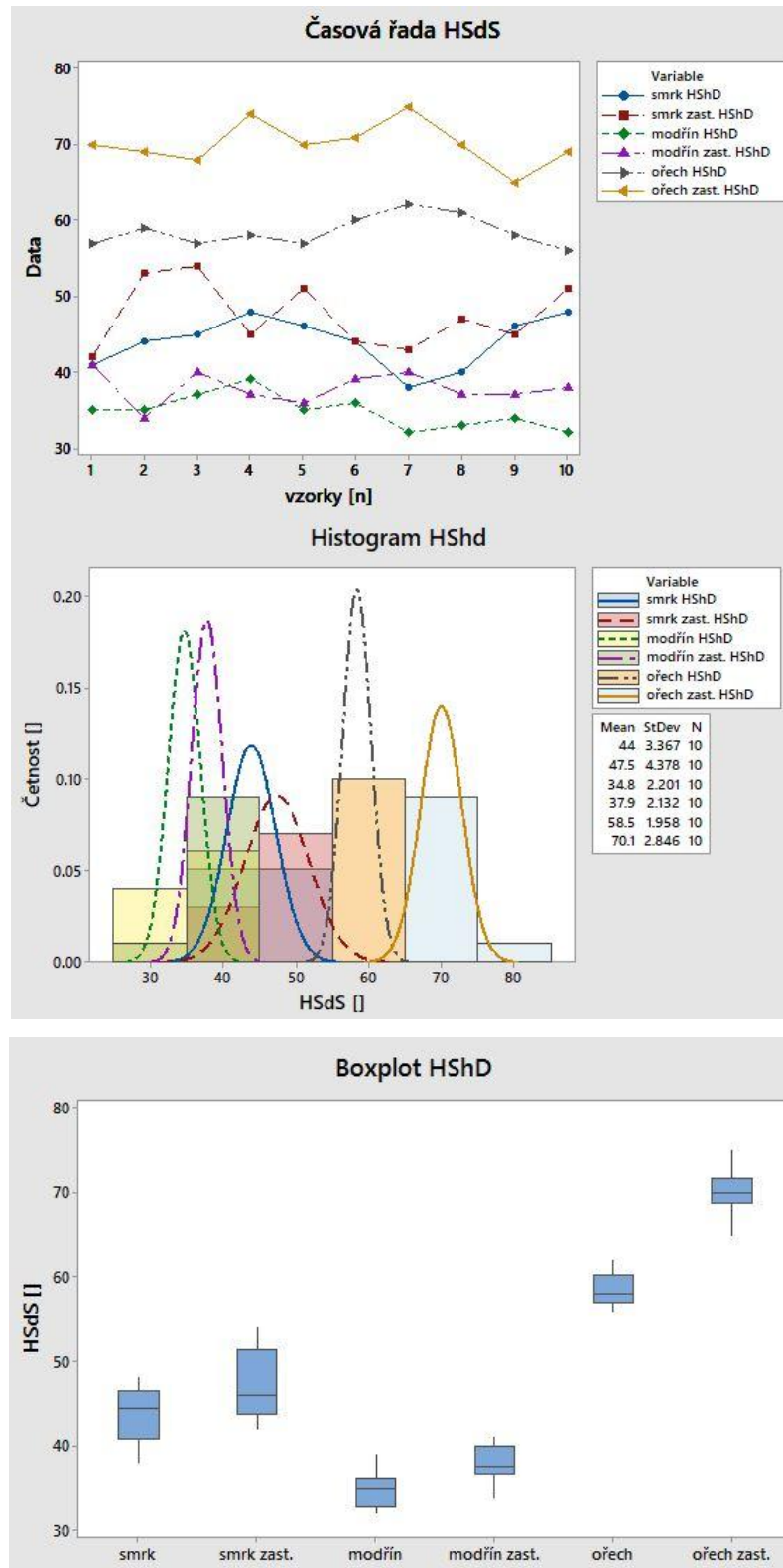
15.3 Vliv Cactus juice na tvrdost dřeva smrku

Z Tab. 29 je vidět 8% nárůst tvrdosti zastabilizovaného dřeva smrku vůči dřevu nezastabilizovanému. Smrk nasál o 17 hm. % víc oproti modřínu, ale nárůst tvrdosti je nižší. Dále je důležité podotknout přítomnost vysoké směrodatné odchylky.

Tabulka 29 Tvrđost Shore D ne/zastabilizovaného smrku

smrk		
n [-]	nezast. HShD	zast. HShD
1	41	42
2	44	53
3	45	54
4	48	45
5	46	51
6	44	44
7	38	43
8	40	47
9	46	45
10	48	51
průměr	44	48
smodch.	3	4
min.	38	42
max.	48	54

15.4 Porovnání naměřených výsledků tvrdosti Shore D pro ořech, modřín, smrk



Obrázek 34 Minitab 17 vyhodnocení Shore D pro jednotlivé vzorky

16 VLIV STABILIZACE A UV ŽÁŘENÍ NA BARVEVNOU STÁLOST

16.1 Výpočet doby UV stárnutí

Pro výpočet ekvivalentního zářivého toku v rámci testování pomocí zrychleného stárnutí je nezbytné nejprve určit roční úhrn slunečního záření pro vybranou polohu. V této práci byla volena poloha Česká republika lokalita Zlín, kde je roční úhrn světelného záření 3960 MJ/m^2 . Z této hodnoty bylo dále na základě experimentálních dat určeno odpovídající sluneční záření v UV oblasti, které tvoří 6 % celkového záření, což činí $237,6 \text{ MJ/m}^2/\text{rok}$. Dále dle parametrů výrobce pro přístroj QUV tester se odečte hodnota záření UV A použité lampy UVA-340, ta je se započtením opravného koeficientu $65,27 \text{ W/m}^2$. Dále se přepočte na $234,96 \text{ kJ/m}^2/\text{hod}$. Finálně se vezme celková dodaná energie UV A za rok tj. $237,6 \text{ MJ/m}^2$, která se podělí výkonem lampy $234,96 \text{ kJ/m}^2$, čímž vyjde celková potřebná doba využití zařízení na zrychlené stárnutí pro ekvivalent odpovídající 1 roku expozice ve venkovních podmínkách jako 252,8 h.

16.2 Index žlutosti Lovibond RT 850i

Pro analýzu změn barevnosti byla jako odpovídající hodnota zvolen index žlutosti, který byl analyzován pomocí spektrofotometru Lovibond RT 850i (Obr. č. 36), který představuje zařízení měřící barevnost v různých barevnostních prostorech dle nastavené definice třemi nezávislými senzory, pro každou barevnou škálu jedním. Zařízení měří tyto barevné škály: bílá-černá žlutá-modrá, zelená-červená pro barevnostní prostor CIELAB. Průměr měřicí štěrbiny byl zvolen 6 mm.

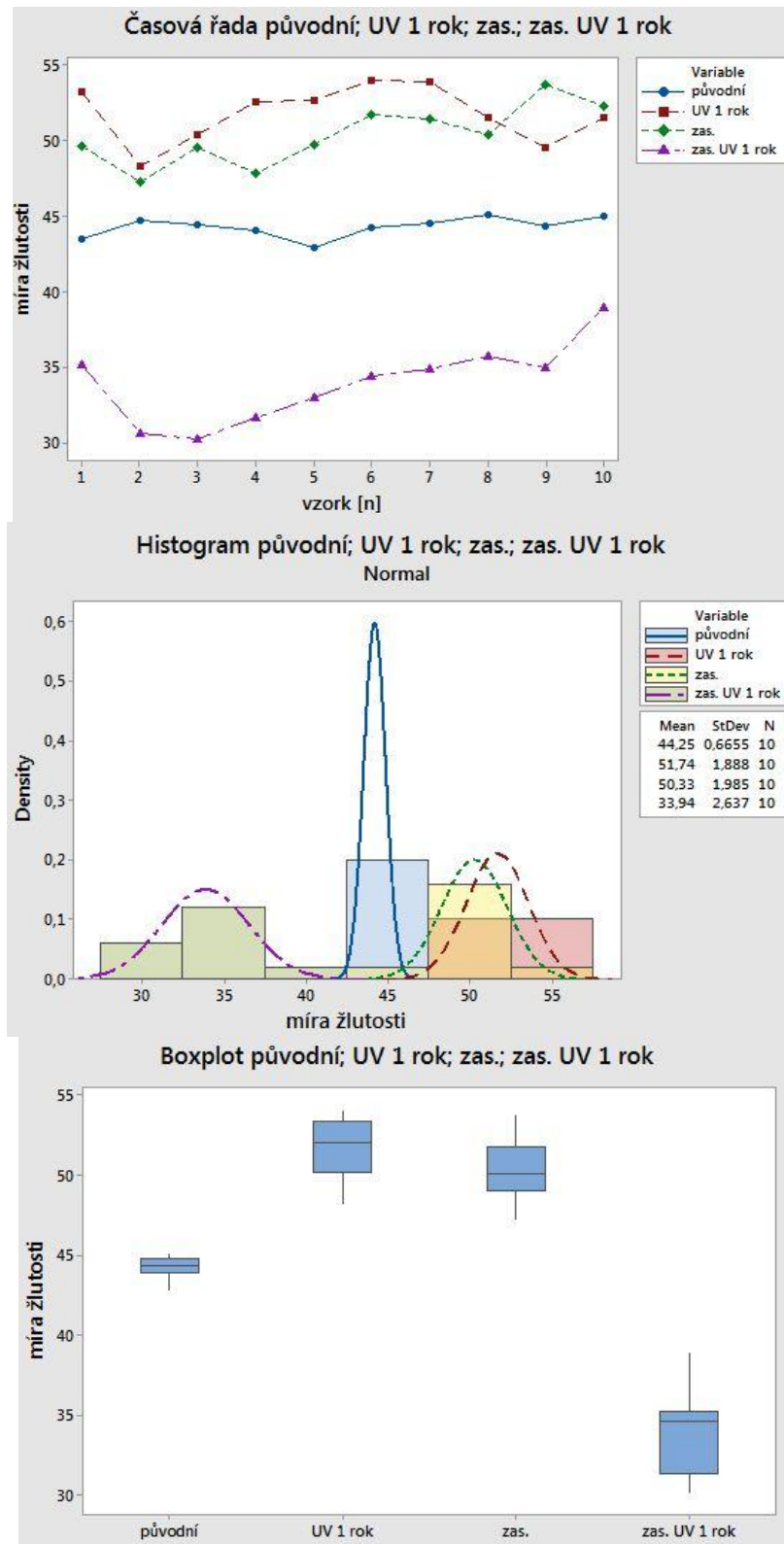


Obrázek 35 Měřicí přístroj Lovibond RT 850i

16.3 Změna indexu žlutosti vzorků ořechu ne/stabilizovaných

Tabulka 30 Změna indexu žlutosti ořechu ne/stabilizovaného

	Ořech		Ořech s Cactus juice	
	původní	UV 1 rok	stabiliz.	stab. UV 1 rok
	43,46	53,18	49,63	35,15
	44,68	48,26	47,23	30,58
	44,44	50,41	49,49	30,23
	44,04	52,59	47,80	31,63
	42,87	52,63	49,72	33,00
	44,26	53,99	51,66	34,41
	44,47	53,82	51,44	34,86
	45,03	51,48	50,39	35,70
	44,30	49,48	53,69	34,92
	44,98	51,52	52,22	38,91
průměr	44,25	51,74	průměr	50,33
smodch.	0,67	1,89	smodch.	1,98
min.	42,87	48,26	min.	47,23
max.	45,03	53,99	max.	53,69

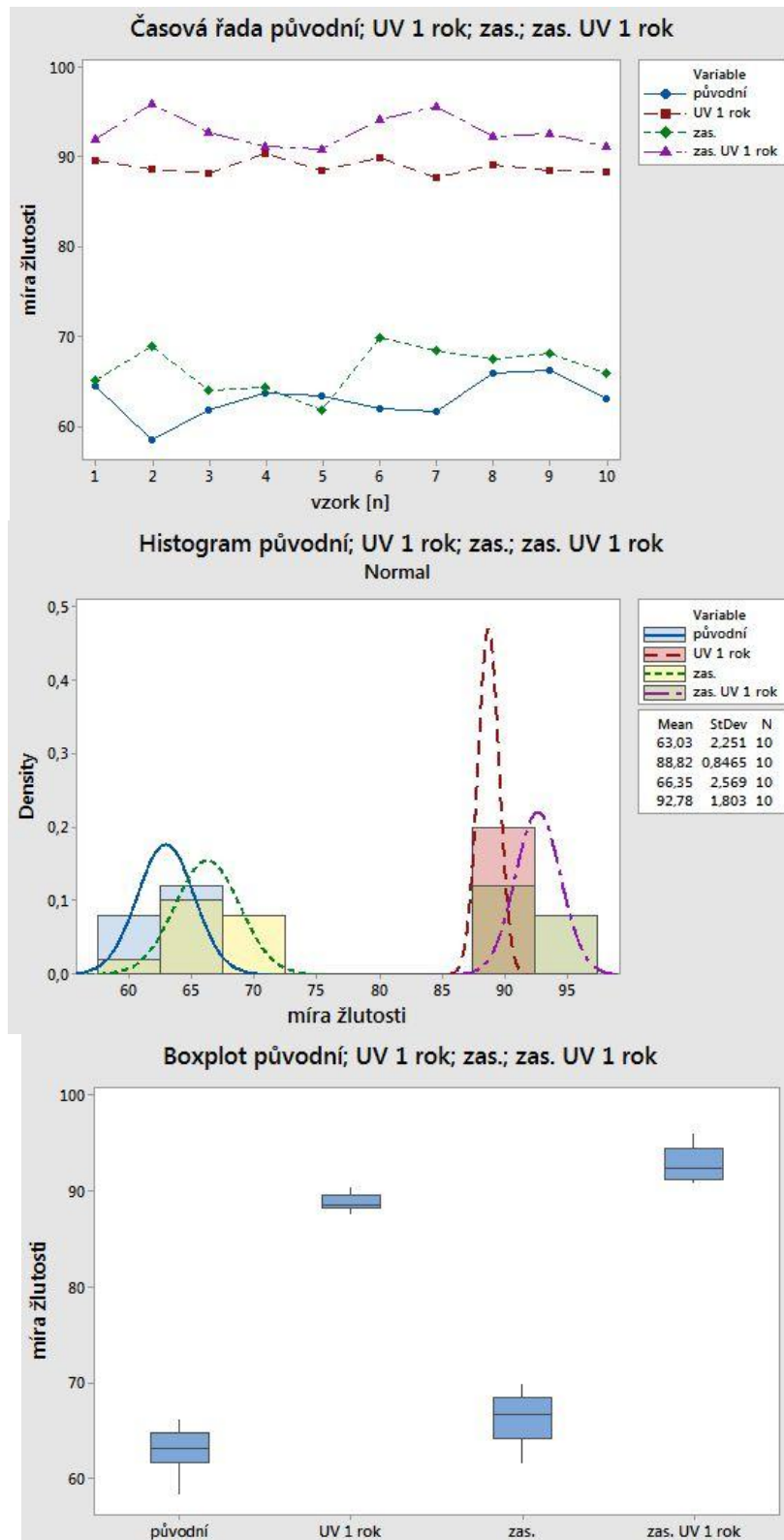


Obrázek 36 Minitab 17 časová řada, histogram, boxplot pro data indexu žlutosti ořechu

16.4 Změna žlutosti vzorků modřínu ne/stabilizovaných

Tabulka 31 Změna indexu žlutosti modřínu ne/stabilizovaného

Modřín			Modřín s Cactus juice		
	původní	UV 1 rok		stabiliz.	stab. UV 1 rok
	64,45	89,50		65,13	91,93
	58,48	88,55		68,80	95,82
	61,73	88,07		63,99	92,67
	63,66	90,33		64,26	91,07
	63,42	88,42		61,72	90,85
	61,95	89,92		69,83	94,11
	61,65	87,70		68,34	95,57
	65,84	89,00		67,39	92,19
	66,14	88,47		68,13	92,49
	62,97	88,28		65,89	91,15
průměr	63,03	88,82	průměr	66,35	92,79
smodch.	2,25	0,85	smodch.	2,57	1,80
min.	58,48	87,70	min.	61,72	90,85
max.	66,14	90,33	max.	69,83	95,82

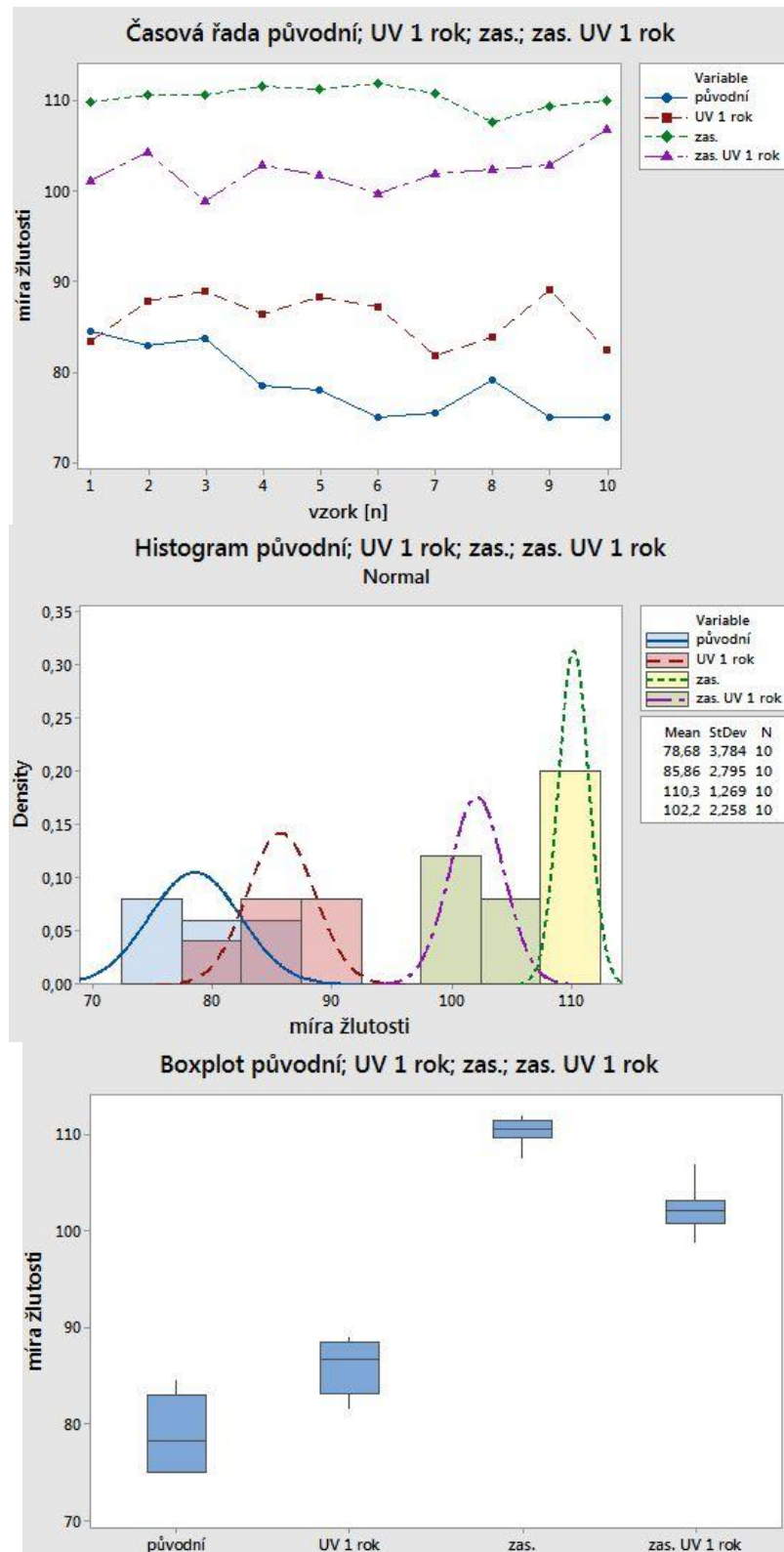


Obrázek 37 Minitab 17 časová řada, histogram, boxplot pro data indexu žlutosti modřínu

16.5 Změna indexu žlutosti vzorků smrku ne/stabilizovaných

Tabulka 32 Změna indexu žlutosti smrku ne/stabilizovaného

Smrk			Smrk s Cactus juice		
	původní	UV 1 rok		stabil.	Stab.. UV 1 rok
	84,46	83,36		109,75	101,06
	82,81	87,80		110,60	104,31
	83,71	88,85		110,52	98,80
	78,49	86,40		111,60	102,80
	77,94	88,27		111,26	101,65
	74,93	87,11		111,84	99,62
	75,39	81,70		110,79	101,91
	79,10	83,81		107,51	102,37
	74,98	88,98		109,36	102,80
	74,97	82,33		109,90	106,76
průměr	78,68	85,86	průměr	110,31	102,21
smodch.	3,78	2,80	smodch.	1,27	2,26
min.	74,93	81,70	min.	107,51	98,80
max.	84,46	88,98	max.	111,84	106,76



Obrázek 38 Minitab 17 časová řada, histogram, boxplot pro data indexu žlutosti smrku

17 VLIV STABILIZACE NA CYKLICKOU NASÁKAVOST

Nasákavost dřeva, jakožto jeden z jeho důležitých parametrů, byl analyzován cyklickou zkouškou nasákavosti, která spočívá v zaznamenávání hmotnosti zkušebních tělísek při několikanásobném nasáknutí a vysušení zkušebních vzorků. Nejprve tedy byla definovaná tělíska zvážena na analytických vahách Kern ABS 120-4M (Obr. č. 40) a poté byla na dobu 30 min vložena do nádoby s vodou. Mokrá tělíska byla poté okapána a vysušena vždy na stejně velkém suchém kusu savého papíru. Poté byla opět po jednou co možná v nejkratším čase vážena po ustálení hodnoty na předposledním digitu. V důsledku odparu vody z povrchu se jedná o jedinou možnou metodu vážení souboru tělísek samostatně a ne najednou. Při kontrolním měření prvního měřeného tělíska po posledním měřeném tělísku jednoho souboru o četnosti 10 ks, byla zjištěna hodnota rozdílu hmotnosti až 0,011 g.



Obrázek 39 Analytická váha Kern ABJ 120-4M

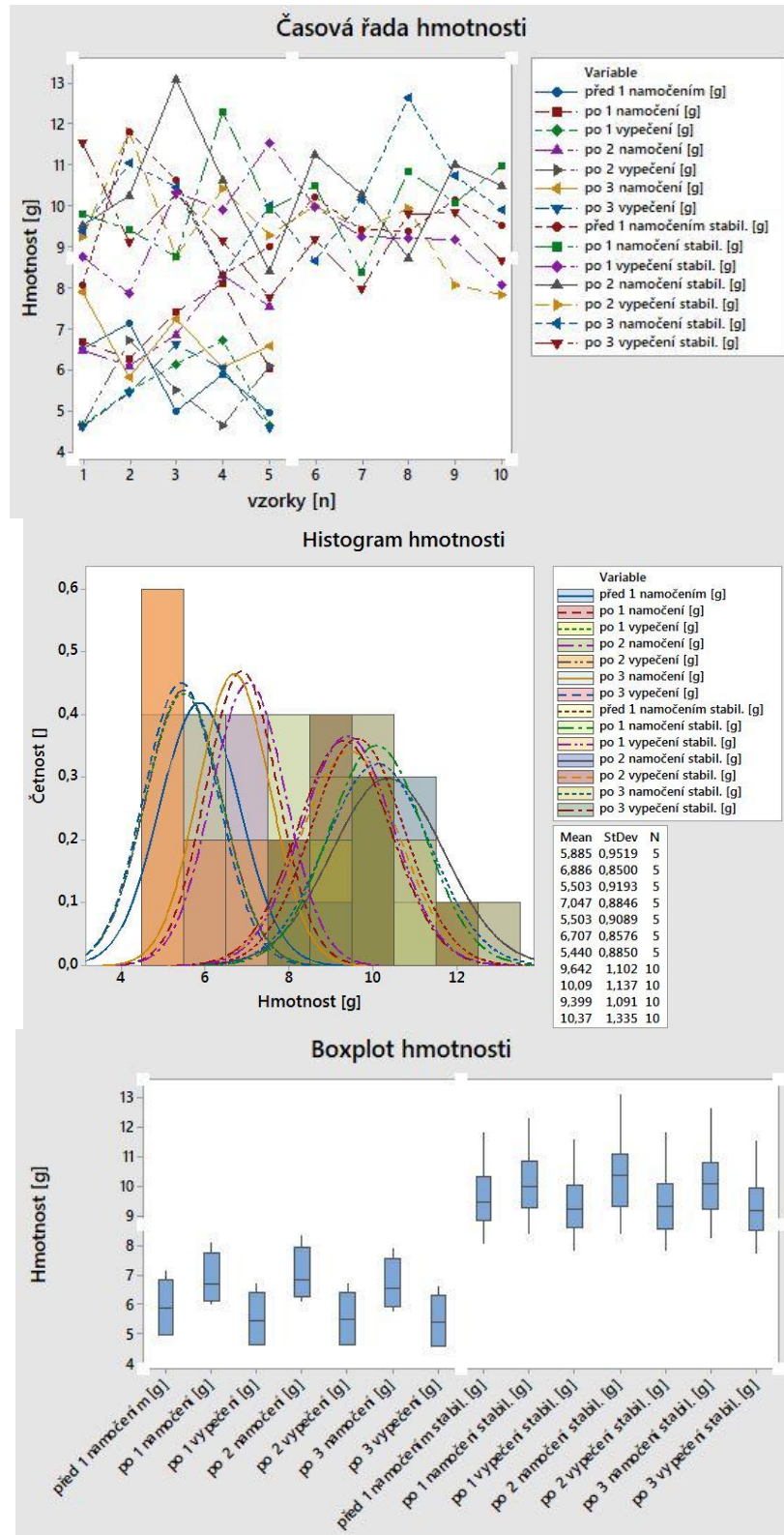
17.1 Cyklická nasákavost ne/zastabilizovaného ořechu

Tabulka 33 Cyklická nasákavost nezastabilizovaného ořechu

číslo [n]	před 1. namočením [g]	po 1. namočení [g]	po 1. vypečení [g]	po 2. namočení [g]	po 2. vypečení [g]	po 3. namočení [g]	po 3. vypečení [g]
1	6,501	6,672	4,619	6,457	4,631	7,900	4,604
2	7,131	6,260	5,474	6,097	6,703	5,799	5,424
3	4,990	7,402	6,102	6,841	5,486	7,215	6,601
4	5,861	8,080	6,707	8,316	4,621	6,065	6,004
5	4,942	6,014	4,614	7,523	6,074	6,555	4,565
průměr	5,89	6,89	5,50	7,05	5,50	6,71	5,44
smodch.	0,95	0,85	0,92	0,88	0,91	0,86	0,88
min.	4,94	6,01	4,61	6,10	4,62	5,80	4,57
max.	7,13	8,08	6,71	8,32	6,70	7,90	6,60

Tabulka 34 Cyklická nasákavost zastabilizovaného ořechu

číslo [n]	před 1. namočením [g]	po 1. namočení [g]	po 1. vypečení [g]	po 2. namočení [g]	po 2. vypečení [g]	po 3. namočení [g]	po 3. vypečení [g]
1	8,061	9,809	8,763	9,518	9,245	9,391	11,529
2	11,787	9,428	7,846	10,255	11,819	11,027	9,091
3	10,616	8,740	10,330	13,096	8,748	10,469	10,268
4	8,316	12,294	9,900	10,629	10,401	8,264	9,133
5	8,993	9,892	11,535	8,419	9,269	10,005	7,742
6	10,212	10,500	9,953	11,267	9,991	8,642	9,167
7	9,408	8,389	9,243	10,293	9,407	10,151	7,969
8	9,373	10,824	9,203	8,709	9,916	12,628	9,793
9	10,135	10,065	9,162	11,014	8,044	10,736	9,837
10	9,524	10,981	8,059	10,477	7,816	9,889	8,653
průměr	9,64	10,09	9,40	10,37	9,47	10,12	9,32
smodch.	1,10	1,14	1,09	1,33	1,17	1,24	1,11
min.	8,06	8,39	7,85	8,42	7,82	8,26	7,74
max.	11,79	12,29	11,54	13,10	11,82	12,63	11,53



Obrázek 40 Minitab 17 časová řada, histogram, boxplot, cyklické nasákovosti ořechu

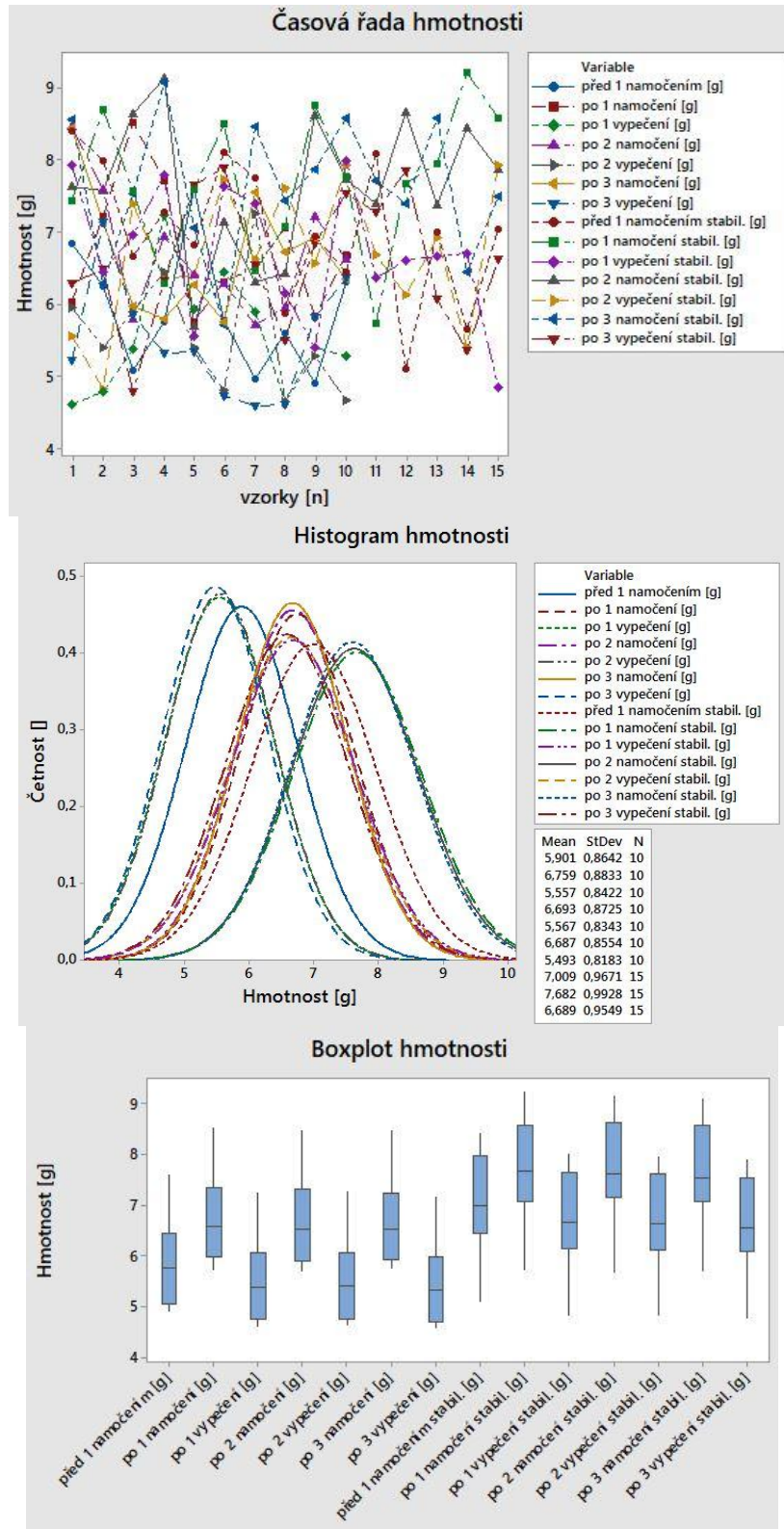
17.2 Cyklická nasákavost ne/zastabilizovaného modřínu

Tabulka 35 Cyklická nasákavost nezastabilizovaného modřínu

číslo [n]	před 1. namočením [g]	po 1. namočení [g]	po 1. vypečení [g]	po 2. namočení [g]	po 2. vypečení [g]	po 3. namočení [g]	po 3. vypečení [g]
1	6,837	6,017	4,606	8,454	5,943	8,443	5,214
2	6,239	7,224	4,774	7,597	5,401	7,134	7,139
3	5,085	8,515	5,375	5,792	5,891	5,962	5,849
4	5,749	7,718	7,239	6,933	6,433	5,790	5,320
5	7,593	5,745	5,931	6,404	5,389	6,262	5,333
6	5,768	6,313	6,447	6,283	4,790	5,747	4,723
7	4,950	6,492	5,893	5,703	7,250	7,547	4,578
8	5,585	7,050	4,634	5,943	4,645	6,709	4,609
9	4,902	5,831	5,402	7,206	5,277	6,923	5,813
10	6,299	6,684	5,267	6,619	4,650	6,350	6,356
průměr	5,90	6,76	5,56	6,69	5,57	6,69	5,49
smoch.	0,86	0,88	0,84	0,87	0,83	0,86	0,82
min.	4,90	5,74	4,61	5,70	4,64	5,75	4,58
max.	7,59	8,52	7,24	8,45	7,25	8,44	7,14

Tabulka 36 Cyklická nasákavost zastabilizovaného modřínu

číslo [n]	před 1. namočením [g]	po 1. namočení [g]	po 1. vypečení [g]	po 2. namočení [g]	po 2. vypečení [g]	po 3. namočení [g]	po vypečení [g]
1	8,408	7,423	7,921	7,621	5,551	8,560	6,276
2	7,979	8,707	6,435	7,562	4,822	6,278	6,485
3	6,667	7,563	6,947	8,649	7,386	7,532	4,772
4	7,282	6,279	7,789	9,143	6,338	9,075	6,328
5	6,820	7,585	5,542	5,685	6,405	7,054	7,651
6	8,101	8,494	7,628	7,139	7,728	5,699	7,893
7	7,750	6,464	7,400	6,303	6,629	8,455	6,545
8	5,872	7,069	6,135	6,422	7,603	7,425	5,488
9	6,939	8,751	5,401	8,617	6,552	7,877	6,843
10	6,449	7,778	7,982	7,722	7,920	8,573	7,527
průměr	7,01	7,68	6,69	7,64	6,66	7,61	6,60
smoch.	0,97	0,99	0,95	0,98	0,95	0,96	0,94
min.	5,10	5,73	4,83	5,68	4,82	5,70	4,77
max.	8,41	9,21	7,98	9,14	7,93	9,07	7,89



Obrázek 41 Minitab 17 časová řada, histogram, boxplot, cyklické nasákavosti modřínu

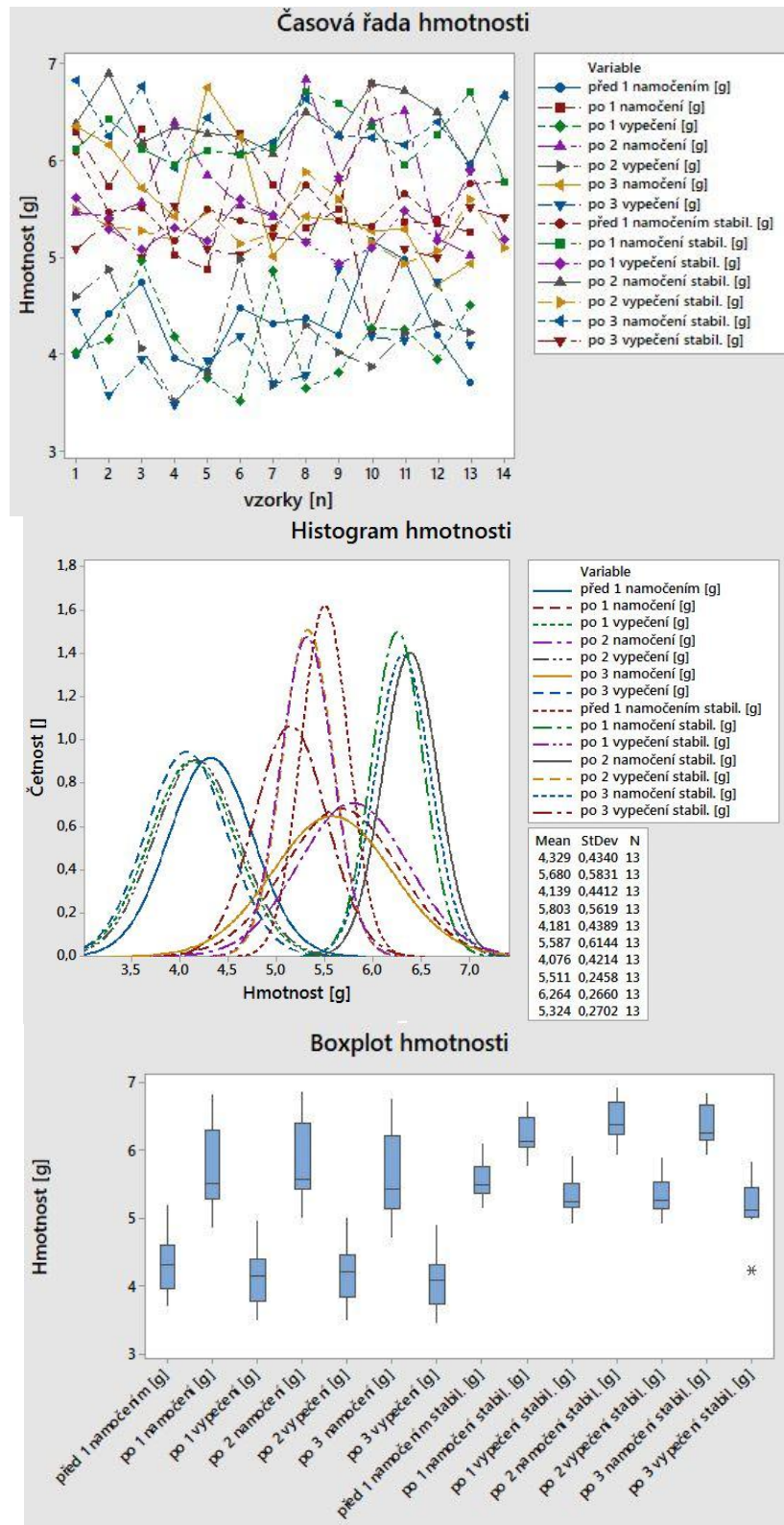
17.3 Cyklická nasákavost ne/zastabilizovaného smrku

Tabulka 37 Cyklická nasákavost nezastabilizovaného smrku

číslo [n]	před 1. namočením [g]	po 1. namočení [g]	po 1. vypečení [g]	po 2. namočení [g]	po 2. vypečení [g]	po 3. namočení [g]	po 3. vypečení [g]
1	3,980	6,301	4,009	5,467	4,589	6,354	4,434
2	4,414	5,728	4,144	5,416	4,866	6,161	3,575
3	4,741	6,322	4,956	5,574	4,057	5,711	3,942
4	3,949	5,021	4,177	6,391	3,515	5,423	3,468
5	3,826	4,876	3,742	5,850	3,790	6,747	3,917
6	4,466	6,282	3,504	5,546	4,980	6,237	4,182
7	4,316	5,747	4,864	5,422	3,665	4,999	3,694
8	4,371	5,295	3,639	6,838	4,292	5,423	3,768
9	4,188	5,500	3,805	5,822	4,009	5,381	4,879
10	5,168	6,802	4,270	6,391	3,864	5,267	4,170
průměr	4,33	5,68	4,14	5,80	4,18	5,59	4,08
smodch.	0,43	0,58	0,44	0,56	0,44	0,61	0,42
min.	3,71	4,88	3,50	5,02	3,51	4,72	3,47
max.	5,17	6,80	4,96	6,84	4,98	6,75	4,88

Tabulka 38 Cyklická nasákavost zastabilizovaného smrku

číslo [n]	před 1. namočením [g]	po 1. namočení [g]	po 1. vypečení [g]	po 2. namočení [g]	po 2. vypečení [g]	po 3. namočení [g]	po 3. vypečení [g]
1	6,090	6,110	5,618	6,381	5,498	6,826	5,082
2	5,465	6,420	5,286	6,903	5,313	6,249	5,370
3	5,507	6,115	5,081	6,172	5,277	6,773	4,992
4	5,161	5,950	5,305	6,348	5,165	5,928	5,519
5	5,493	6,096	5,163	6,280	5,480	6,446	5,074
6	5,383	6,053	5,602	6,243	5,140	6,068	5,025
7	5,302	6,128	5,440	6,073	5,244	6,187	5,209
8	5,747	6,702	5,160	6,495	5,878	6,642	5,154
9	5,376	6,587	4,928	6,265	5,597	6,254	5,806
10	5,318	6,346	5,096	6,797	5,152	6,232	4,224
průměr	5,53	6,23	5,31	6,41	5,32	6,34	5,17
smodch.	0,25	0,29	0,26	0,28	0,26	0,29	0,37
min.	5,16	5,78	4,93	5,94	4,93	5,93	4,22
max.	6,09	6,70	5,90	6,90	5,88	6,83	5,81



Obrázek 42 Minitab 17 časová řada, histogram, boxplot, cyklické nasákavosti smrku

18 ZÁVĚR

18.1 Teoretická část

První krok spočívá ve vhodném výběru dřeva ke stabilizaci, musí být esteticky hodnotné, nejžádanější jsou části s bohatou kresbou, kořenovice, nádory, zarostlé očka, svalovice. Objem těchto částí, v porovnání s celkovým objemem stromu je nesmírně nízký, a závisí na mnoha faktorech.

K estetickým hodnotám značně přispívá i napadení zejména dřevokaznými houbami rozkládajícími celulózu za vzniku zbarvujících produktů. Napadení zároveň zrychluje a zlepšuje nasákavost dřeva stabilizačními systémy a výrazně zvyšuje i maximální množství, které dřevo může pojmout, což má významně kladný vliv na stabilizaci dřeva. Nasákavost je nejrozdílnější mezi listnatými a jehličnatými druhy dřeva, jehličnany jsou 3 – 10x méně nasákavé, kdy toto je způsobeno různým zastoupením buněčných ztenčenin, které jsou odpovědné za výměnu vody a živin mezi buňkami. Jedná se o tečky, dvojtečky a poloviční dvojtečky.

Další podstatný vliv na míru nasákavosti stabilizačního roztoku do struktury dřeva má molekulová hmotnost stabilizačního systému a od ní se odvíjí viskozita roztoku a to také v závislosti na teplotě. Další podstatný vliv má rozdíl tlaků za vytvoření tlakového gradientu ve struktuře dřeva a délka působení gradientu tlaku.

Podstatný předpoklad pro výrobu kvalitního stabilizovaného dřeva je dosažení co nejnižší vlhkosti dřeva optimálně 0 %, kdy, při nevytvoření významného vlhkostního gradientu ve struktuře dřeva, by při odsávání vzduchu z pórů mohlo zanechat obvykle v jádru zbytkovou vlhkost a tím znemožnit plné nasycení při napouštění stabilizačním systémem.

18.2 Praktická část

Vlhkost tělísek dřeva byla příliš vysoká pro řádnou stabilizaci, i tak se povedly zastabilizovat vzorky ořechu a částečně vzorky smrku, vzorky modřínu i při stejném postupu zastabilizovány nebyly z důvodu vysoké počáteční vlhkosti. Tato skutečnost je dobře čitelná z rozdílů hmotnosti v průběhu zpracování. Vzorky ořechu nasály 57 hm. % a udrželi 46 hm. % po vypečení. Vzorky smrku nasály 28 hm. % a udrželi 17 hm. % po vypečení. Dle fotografie je patrná nedostatečná doba napouštění při přetlaku, nestihl se zde vyrovnat gradient tlaku z důvodů nízké propustnosti jehličnatého dřeva, proto pro jehličnany je nutné

volit delší čas nasávání oproti listnáčům. Modřín nenasál ani 1 hm. %. Hmotnostní úbytek po vypečení u všech vzorků byl způsoben překročením požadované teploty 95 °C, tím došlo k vyvření části stabilizačního systému.

Pro zlepšení technologie vypékání a omezení teploty na požadované maximální úrovni by byla lepší horkovzdušná trouba než jen odporová, ta by lépe rozváděla teplo a zároveň účinněji odváděla teplo přebytečné.

Z naměřených hodnot reologie je zjevné, že teplota potřebná k zahájení polymerace je 90 °C a doba potřebná k dokončení polymerace je závislá od objemu výrobku a způsobu prohřevu celého systému. Bod želatinace byl dosažen po 170 s od začátku polymerace ve vrstvě 0,2 mm.

Rázová houževnatost, tedy potřebná energie k přeražení vzorků, se zvýšila u vzorků ořechu o 70 %. U vzorků smrku se potřebná energie zvýšila o 21 % a u vzorků modřínu se snížila o 5,6 %. Zhoršení výsledků modřínu bylo způsobeno nezastabilizováním vzorků.

Modul pružnosti u vzorků ořechu byl zvýšen o 39,6 %, u smrku o 8,9 % a u modřínu o 46,2 %. Pevnost vzorků ořechu byla zvýšena o 34,4 %, u smrku o 36 % a u modřínu o 21 %.

Tvrдость vzorků ořechu se stabilizací zvýšila o 20 %, u vzorků smrku o 8 % a u vzorků modřínu o 9 %. Zvýšení tvrdosti vzorků modřínu vysvětluje spečení povrchové vrstvy.

Změna barevnosti vzorků vyjádřená jako index žlutosti, po simulovaném UV ozařování o srovnatelném účinku 1 roku v podnebí České republiky, u nezastabilizovaného dřeva byla zvýšena u ořechu o 17 %, u smrku o 9 % a u modřínu o 41 %. U dřeva zastabilizovaného se index žlutosti snížil u ořechu o 23 %, u smrku se snížil o 7 % a u modřínu vzrostl o 40 %.

Navlhavost dřeva nezastabilizovaného, která byla zkoušena cyklicky, byla u ořechu 17 hm.%, u smrku 31,3 hm.% a u modřínu 13,6 hm.%. U dřeva zastabilizovaného byla navlhavost 6 hm.%, u smrku 13,1 hm.% a u modřínu 9,3 hm.%

Nejpodstatnější vliv na míru úspěšnosti stabilizace mají tyto okolnosti:

- Druh dřeviny a poloha v kmeni -> listnaté, jehličnaté, různá hustota a struktura,
- Míra napadení houbami či poškození buněk -> významný vliv na nasákavost,
- Volba a parametry stabilizačního systému -> viskozita, způsob polymerace,
- Fyzikální a výrobní podmínky při výrobě -> teplota, tlak, čas, technologie.

19 SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] Šimůnková, Eva. Dřevo. Praha: Společnost pro technologie ochrany památek - Stop, 2000. ISBN 80-902-6684-3..
- [2] Požgaj, Alexander, Dušan Chovanec, Stanislav Kurjatko a Marián Babiak. Štruktúra a vlastnosti dreva. Bratislava: Príroda, 1993. ISBN 80-07-00600-1..
- [3] Dřevařská technická příručka. Praha: SNTL. t. Mír 1, 1970..
- [4] ČSN 49 0103. Drevo. Zisťovanie vlhkosti pri fyzikálnych a mechanických skúškach. 12/1979. 4254.
- [5] DIN 68126-3:1986-10. Profilbretter mit Schattennut; Sortierung für Fichte, Tanne, Kiefer..
- [6] DIN 68128:1977-04. Balkonbretter..
- [7] DIN EN 844-4:1997-08. Rund- und Schnittholz - Terminologie - Teil 4: Begriffe zum Feuchtegehalt..
- [8] DIN 68364:2003-05. Kennwerte von Holzarten - Rohdichte, Elastizitätsmodul und Festigkeiten..
- [9] ČSN 49 0104. Skúšky vlastností rasteného dreva. Metóda zisťovania nasiakavosti a navlhavosti. 08/1988. 29218.
- [10] Čabart, Jan, ed. Naučný slovník lesnický. Praha: Státní zemědělské nakladatelství, 1934. Knihovna Československé Matice lesnické..
- [11] Barva, lesk a textura dřeva - Funkční vlastnosti dřeva - Dřevo centrum. Dřevo centrum [online]. Dostupné z: <http://drevo.celyden.cz/funkn-vlastnosti-deva/barva-lesk-a-textura-dreva/index.html>.
- [12] Ptáček, Petr. Ochrana dřeva. Praha: Grada, 2009. ISBN 978-80-247-2326-6..
- [13] ČSN EN 335-1. Trvanlivost dřeva a materiálů na bázi dřeva - Definice tříd použití - Část 1: Všeobecné zásady. 1. 5. 2007. 78021.
- [14] ČSN EN 350-2. Trvanlivost dřeva a materiálů na jeho bázi. Přirozená trvanlivost

- rostlého dřeva. Část 2: Přirozená trvanlivost a impregnovatelnost vybraných dřevin důležitých v Evropě. 1. 8. 1996. 19678.
- [15] Voroncov, Alexej Ivanovič a Hana ČERVINKOVÁ. Škůdci dřeva. Praha: Státní zemědělské nakladatelství, 1986. Lesnictví, myslivost a vodní hospodářství..
- [16] Skuhravý, Václav. Lýkožrout smrkový *Ips typographus* (L.) a jeho kalamity. Praha: Agrospoj, 2002. ISBN 80-708-4238-5..
- [17] Reinprecht, L. 1997. Ochrana dřeva a kompozitov. Zvolen: Technická univerzita vo Zvolene. 240 s. ISBN 80-228-0690-0..
- [18] ČSN 91 0412 (910412). Úložný nábytek – Technické požadavky . 1. 5. 2011..
- [19] Cactus Juice Stabilizing Resin Technical Data. TurnTex Woodworks [online]. Copyright © TurnTex Woodworks [cit. 23.04.2019]. Dostupné z: <https://www.turntex.com/help-center/cactus-juice-stabilizing-resources/59-cactus-juice-technical-data>.
- [20] Mleziva, Josef. Polymery - výroba, struktura, vlastnosti a použití. 2. přepr. vyd. Praha: Sobotáles, 2000. ISBN 80-859-2072-7..
- [21] Voda, Zbyšek. Průvodce světem Arduina. Vydání druhé. Bučovice: Martin Stříž, 2017. ISBN 978-80-87106-93-8..
- [22] ČSN EN ISO 179-1 (640612). Plasty – Stanovení rázové houževnatosti metodou Charpy. 1. 1. 2011. 87396.
- [23] ČSN 49 0600-1. Ochrana dřeva. Základné ustanovenia. Chemická ochrana. 08/1988 - 01/1998. 29244.

20 SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

Ca – vápník

K – draslík

Mg – hořčík

Mn – mangan

w – vlhkost dřeva

m_w – vlhkost vzorku dřeva

m_o – vlhkost vysušeného vzorku dřeva

w_{max} – maximální nasycení dřeva

BNV – bod nasycení vláken (značí maximální množství vody volné a fyzikálně vázané)

R_o – objemová hustota dřeva absolutně suchého

V – objem proteklé kapaliny

t – doba toku

k – koeficient specifické propustnosti dřeva

S – plocha kolmá na tok

Δp – rozdíl tlaků

η – dynamická viskozita kapaliny

L – délka dráhy toku

EA – ethylakrylát

EMA – etylmethakrylát

MMA – methylmethakrylát

BuMA – polybutylmethakrylát

EP – epoxidová pryskyřice

PES – polyesterová pryskyřice

RR – reaktivní rozpouštědlo

tzv. – tak zvané

\check{S} – šířka

H – hloubka

V – výška

smodch. – směrodatná odchylka

nejv. – nejvyšší

min. – minimální

max. – maximální

hm. – hmotnost

nezast. – nezastabilizovaný

zast. – zastabilizovaný

HShD – tvrdost Shore D

21 SEZNAM OBRÁZKŮ

<i>Obrázek 1 Kuželovitě válcovitá stavba kmene a jeho hlavní řezy [1]</i>	14
<i>Obrázek 2 Struktura buněčné stěny [1]</i>	19
<i>Obrázek 3 Ztenčeniny typu a - tečka; b - dvojtečka; c - poloviční dvojtečka</i>	21
<i>Obrázek 4 Anatomická stavba jehličnatého dřeva [2]</i>	24
<i>Obrázek 5 Anatomická stavba listnatého dřeva [2]</i>	26
<i>Obrázek 6 Hystereze sorpce dřeva.</i>	29
<i>Obrázek 7 Červotoč proužkovaný:</i>	40
<i>Obrázek 8 Tesařík krovový:</i>	40
<i>Obrázek 9 Lýkožrout smrkový, severský, lesklý [16]</i>	41
<i>Obrázek 10 Tunelová sušárna [3]</i>	44
<i>Obrázek 11 Diagram závislosti relativní vlhkosti vzduchu, tlaku vodní páry, rovnovážné vlhkosti dřeva a teploty vzduchu [3]</i>	45
<i>Obrázek 12 Minitab 17 časová řada, histogram, boxplot pro hmotnosti ořechu</i>	57
<i>Obrázek 13 Minitab 17 časová řada, histogram, boxplot pro hmotnosti modřínu</i>	59
<i>Obrázek 14 Minitab 17 časová řada, histogram, boxplot pro hmotnosti smrku</i>	61
<i>Obrázek 15 Měřicí a regulační systém Arduino UNO R3</i>	62
<i>Obrázek 16 Odporová pec s regulací teploty V1.3 P±1200W s balíkem dřeva</i>	63
<i>Obrázek 17 Graf stabilizace modřínu systémem Cactus juice</i>	63
<i>Obrázek 18 Stabilizované vzorky modřínu</i>	64
<i>Obrázek 19 Graf stabilizace ořechu Cactus juice</i>	64
<i>Obrázek 20 Stabilizované vzorky ořechu</i>	65
<i>Obrázek 21 Graf stabilizace smrku Cactus juice</i>	65
<i>Obrázek 22 Pouze napuštěné vzorky smrku před vypečením</i>	66
<i>Obrázek 23 Vytvrzování systému Cactus Juice. Modré body – elastický modul, oranžové body – viskózní modul, šedé body – komplexní viskozitu</i>	67
<i>Obrázek 24 Charpyho kladivo s 15J závažím</i>	68
<i>Obrázek 25 Minitab 17 vyhodnocení rázové houževnatosti ořechu</i>	70
<i>Obrázek 26 Minitab 17 vyhodnocení rázové houževnatosti modřínu</i>	72
<i>Obrázek 27 Minitab 17 vyhodnocení rázové houževnatosti smrku</i>	74
<i>Obrázek 28 Trhací/ohýbací stroj M350-5CT</i>	75
<i>Obrázek 29 Minitab 17 vyhodnocení nejvyšší dosažené pevnosti</i>	79
<i>Obrázek 30 Minitab 17 vyhodnocení stlačení při maximální síle</i>	80

<i>Obrázek 31 Minitab 17 vyhodnocení maximální stlačení do porušení.....</i>	81
<i>Obrázek 32 Minitab 17 vyhodnocení dosažené moduly pružnosti.....</i>	82
<i>Obrázek 33 Měřicí přístroj Shore a závaží HShD</i>	83
<i>Obrázek 34 Minitab 17 vyhodnocení Shore D pro jednotlivé vzorky</i>	86
<i>Obrázek 35 Měřicí přístroj Lovibond RT 850i</i>	87
<i>Obrázek 36 Minitab 17 časová řada, histogram, boxplot pro data indexu žlutosti ořechu</i>	89
<i>Obrázek 37 Minitab 17 časová řada, histogram, boxplot pro data indexu žlutosti modřínu</i>	91
<i>Obrázek 38 Minitab 17 časová řada, histogram, boxplot pro data indexu žlutosti smrku</i>	93
<i>Obrázek 39 Analytická váha Kem ABJ 120-4M</i>	94
<i>Obrázek 40 Minitab 17 časová řada, histogram, boxplot, cyklické nasákavosti ořechu</i>	96
<i>Obrázek 41 Minitab 17 časová řada, histogram, boxplot, cyklické nasákavosti modřínu</i>	98
<i>Obrázek 42 Minitab 17 časová řada, histogram, boxplot, cyklické nasákavosti smrku</i>	100

22 SEZNAM TABULEK

<i>Tabulka 1 Vybrané hodnoty vlhkostí dřeva [5], [6], [7], [8].....</i>	28
<i>Tabulka 2 Dřívější rozdělení tvrdosti dřeva z roku 1934 [10].....</i>	30
<i>Tabulka 3 Průměrné hodnoty mechanických vlastnosti vybraných dřev [3].....</i>	33
<i>Tabulka 4 Definice tříd ohrožení dřeva biotickými škůdci dle ČSN EN 335-1, 2, 3 [12], [13].....</i>	34
<i>Tabulka 5 Přírozená odolnost nejběžněji užívaných dřevin ČSN EN 350-2 [12].....</i>	35
<i>Tabulka 6 vysvětlivka ČSN EN 350-2 [12], [14].....</i>	35
<i>Tabulka 7 Výběr užívaným polymerních stabilizačních systémů [1], [20]</i>	47
<i>Tabulka 8 Výběr používaných epoxidových pryskyřic [1], [20].....</i>	47
<i>Tabulka 9 Průběh tlaků a časové výdrže při výrobě tělísek ořechu</i>	55
<i>Tabulka 10 Průběh tlaků a časové výdrže při výrobě tělísek modřínu</i>	55
<i>Tabulka 11 Průběh tlaků a časové výdrže při výrobě tělísek smrku.....</i>	55
<i>Tabulka 12 Rozdílné hmotnosti vzorků ořechu</i>	56
<i>Tabulka 13 Rozdílné hmotnosti vzorků modřín</i>	58
<i>Tabulka 14 Rozdílné hmotnosti vzorků smrku</i>	60
<i>Tabulka 15 Rázová houževnatost nezastabilizovaného ořechu</i>	68
<i>Tabulka 16 Rázová houževnatost zastabilizovaného ořechu</i>	69
<i>Tabulka 17 Rázová houževnatost nezastabilizovaného modřínu.....</i>	71
<i>Tabulka 18 Rázová houževnatost zastabilizovaného modřínu</i>	71
<i>Tabulka 19 Rázová houževnatost nezastabilizovaného smrku</i>	73
<i>Tabulka 20 Rázová houževnatost zastabilizovaného smrku</i>	73
<i>Tabulka 21 Průběh ohybové zkoušky nezastabilizovaný ořech</i>	75
<i>Tabulka 22 Průběh ohybové zkoušky zastabilizovaný ořech</i>	76
<i>Tabulka 23 Průběh ohybové zkoušky nezastabilizovaný modřín.....</i>	76
<i>Tabulka 24 Průběh ohybové zkoušky zastabilizovaný modřín.....</i>	77
<i>Tabulka 25 Průběh ohybové zkoušky nezastabilizovaný smrk.....</i>	77
<i>Tabulka 26 Průběh ohybové zkoušky nastabilizovaný smrk</i>	78
<i>Tabulka 27 Tvrdost Shore D ne/zastabilizovaného ořechu</i>	83
<i>Tabulka 28 Tvrdost Shore D ne/zastabilizovaného modřínu</i>	84
<i>Tabulka 29 Tvrdost Shore D ne/zastabilizovaného smrku.....</i>	85
<i>Tabulka 30 Změna indexu žlutosti ořechu ne/stabilizovaného</i>	88
<i>Tabulka 31 Změna indexu žlutosti modřínu ne/stabilizovaného.....</i>	90

<i>Tabulka 32 Změna indexu žlutosti smrku ne/stabilizovaného</i>	<i>92</i>
<i>Tabulka 33 Cyklická nasákavost nezastabilizovaného ořechu</i>	<i>94</i>
<i>Tabulka 34 Cyklická nasákavost zastabilizovaného ořechu</i>	<i>95</i>
<i>Tabulka 35 Cyklická nasákavost nezastabilizovaného modřínu.....</i>	<i>97</i>
<i>Tabulka 36 Cyklická nasákavost zastabilizovaného modřínu</i>	<i>97</i>
<i>Tabulka 37 Cyklická nasákavost nezastabilizovaného smrku</i>	<i>99</i>
<i>Tabulka 38 Cyklická nasákavost zastabilizovaného smrku</i>	<i>99</i>