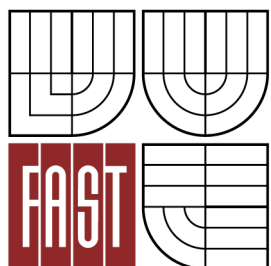




VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STAVEBNÍ
ÚSTAV STAVEBNÍHO ZKUŠEBNICTVÍ

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING
INSTITUTE OF BUILDING TESTING

VLIV ZMĚNY VLHKOSTI DŘEVA NA JEHO FYZIKÁLNÍ A MECHANICKÉ VLASTNOSTI

THE INFLUENCE OF THE CHANGE OF MOISTURE CONTENT OF TIMBER ON ITS PHYSICAL-
MECHANICAL PROPERTIES

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

DAVID SLOUPENSKÝ

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. VĚRA HEŘMÁNKOVÁ, Ph.D.

BRNO 2015



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ FAKULTA STAVEBNÍ

Studijní program B3607 Stavební inženýrství
Typ studijního programu Bakalářský studijní program s prezenční formou studia
Studijní obor 3647R013 Konstrukce a dopravní stavby
Pracoviště Ústav stavebního zkušebnictví

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Student David Sloupenský

Název Vliv změny vlhkosti dřeva na jeho fyzikální a mechanické vlastnosti

Vedoucí bakalářské práce Ing. Věra Heřmánková, Ph.D.

Datum zadání bakalářské práce 30. 11. 2014

Datum odevzdání bakalářské práce 29. 5. 2015

V Brně dne 30. 11. 2014

.....
prof. Ing. Leonard Hobst, CSc.
Vedoucí ústavu

.....
prof. Ing. Rostislav Drochytka, CSc., MBA
Děkan Fakulty stavební VUT

Podklady a literatura

- SVOBODA, L. a kol.: Stavební hmoty 3. vydání (elektronická kniha - plný text: <http://people.fsv.cvut.cz/~svobodal/>)
- Kolektiv autorů: Stavební látky – cvičebnice, CERM Brno, 2013
- ČSN EN 408 Dřevěné konstrukce - Konstrukční dřevo a lepené lamelové dřevo - Stanovení některých fyzikálních a mechanických vlastností
- Další příslušné platné normy

Zásady pro vypracování

Úvod - stručný úvod do problematiky bakalářské práce.

Cíl práce – provést zjištění fyzikálních a mechanických vlastností dřeva při různé vlhkosti a ověřit závislosti jednotlivých vlastností na vlhkosti dřeva.

Teoretická část – rešerše doporučené literatury a vypracování podkladů pro řešení bakalářské práce se zaměřením na fyzikální a mechanické vlastnosti dřeva a jejich závislosti na vlhkosti dřeva.

Experimentální část – na vzorcích dřeva stanovit:

- hustotu dřeva,
 - rozměrové a objemové bobtnání dřeva,
 - pevnost dřeva v tlaku rovnoběžně s vlákny,
- a ověřit závislost těchto veličin na různé vlhkosti vzorků dřeva stanovené váhovou metodou.

Ověřit statickým výpočtem rozdíl únosnosti konstrukčního prvku namáhaného v tlaku při různých vlhkostech.

Závěr - provést krátké shrnutí a jasně a přehledně deklarovat výsledky bakalářské práce.

Struktura bakalářské/diplomové práce

VŠKP vypracujte a rozčleňte podle dále uvedené struktury:

1. Textová část VŠKP zpracovaná podle Směrnice rektora "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchování vysokoškolských kvalifikačních prací" a Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchování vysokoškolských kvalifikačních prací na FAST VUT" (povinná součást VŠKP).
2. Přílohy textové části VŠKP zpracované podle Směrnice rektora "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchování vysokoškolských kvalifikačních prací" a Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchování vysokoškolských kvalifikačních prací na FAST VUT" (nepovinná součást VŠKP v případě, že přílohy nejsou součástí textové části VŠKP, ale textovou část doplňují).

.....
Ing. Věra Heřmánková, Ph.D.
Vedoucí bakalářské práce

VLIV ZMĚNY VLHKOSTI DŘEVA NA JEHO FYZIKÁLNÍ A MECHANICKÉ VLASTNOSTI

Abstrakt

Bakalářská práce se zabývá zjištěním fyzikálních a mechanických vlastností dřeva při různé vlhkosti a ověřením závislosti jednotlivých vlastností na vlhkosti dřeva. V experimentální části se na vzorcích dřeva stanoví hustota, rozměrové a objemové bobtnání dřeva a pevnost dřeva v tlaku rovnoběžně s vlákny. Po vyhodnocení všech zkoušek se vytvoří grafy závislostí těchto veličin na různé vlhkosti vzorků dřeva stanovené váhovou metodou.

Klíčová slova

Dřevo, fyzikální vlastnosti dřeva, mechanické vlastnosti dřeva, vlhkost dřeva, hustota dřeva, pevnost v tlaku, bobtnání

Abstract

The bachelor thesis deals with finding of physical and mechanical properties of timber at various moistures and it also verifies addictions of single properties on moisture content of timber. In experimental part of this thesis, the density, the dimensional and volumetric swelling and the compressive strength parallel to fibre will be determined on test samples. After evaluating all the tests, the graphs of these parameters depended on various samples of wood moisture determined by weight will be created.

Keywords

Timber, physical properties of timber, mechanical properties of timber, moisture of timber, density of timber, compressive strength, swelling

Bibliografická citace VŠKP

David Sloupenský *Vliv změny vlhkosti dřeva na jeho fyzikální a mechanické vlastnosti*. Brno, 2015. 55 s., 12 s. příl. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav stavebního zkušebnictví. Vedoucí práce Ing. Věra Heřmánková, Ph.D.

Prohlášení:

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci zpracoval samostatně a že jsem uvedl všechny použité informační zdroje.

V Brně dne 26.5.2015

.....
podpis autora
David Sloupenský

PODĚKOVÁNÍ

Děkuji všem, kteří se podíleli jakkoli na vzniku mé bakalářské práce. Děkuji především své vedoucí práce Ing. Věře Heřmánkové, Ph.D. za trpělivost, čas, odborné vedení mé práce, za poskytování cenných a užitečných rad, odborných připomínek, podnětů a námětů v dané tématice. V neposlední řadě bych chtěl poděkovat celé své rodině a přítelkyni Anetě za velkou podporu během celého mého studia.

OBSAH:

1 Úvod.....	10
2 Cíl práce.....	11
3 Struktura dřeva a druhy dřevin	12
3.1 Chemické složení dřeva	12
3.2 Struktura kmene	14
3.3 Druhy dřeva.....	16
4 Vlastnosti dřeva	18
4.1 Fyzikální vlastnosti dřeva	18
4.1.1 Vlhkost	18
4.1.2 Bobtnání	21
4.1.3 Sesychání.....	22
4.1.4 Hustota.....	23
4.1.5 Tepelné vlastnosti dřeva	24
4.1.6 Elektrické vlastnosti dřeva	24
4.1.7 Akustické vlastnosti dřeva.....	24
4.2 Mechanické vlastnosti dřeva	24
4.2.1 Pružnost dřeva	25
4.2.2 Pevnost dřeva.....	25
4.2.3 Rázová houževnatost dřeva	26
4.2.4 Tvrdost dřeva.....	26
4.3 Trvanlivost dřeva	26
4.4 Vady a poškození dřeva	27
4.4.1 Škůdci dřeva	27
4.5 Třídění dřeva	32
5 Měření vlhkosti	33
6 Experimentální část.....	35

6.1 Výběr vzorků.....	35
6.2 Vysoušení a měření vzorků.....	35
6.3 Vlhčení a měření vzorků.....	36
6.4 Zkoušení vzorků v tlaku rovnoběžně s vlákny.....	37
6.5 Výpočet mechanických a fyzikálních veličin.....	38
6.5.1 Výpočet vlhkostí.....	38
6.5.2 Výpočet pevností dřeva v tlaku rovnoběžně s vlákny.....	39
6.5.3 Výpočet bobtnání.....	41
6.5.4 Výpočet hustoty.....	45
6.6 Posouzení prvku na tlak.....	47
7. Závěr.....	51
8. Seznamy.....	52
8.1 Seznam použité literatury a zdrojů.....	52
8.2 Seznam tabulek.....	54
8.3 Seznam grafů.....	54
8.4 Seznam obrázků.....	55
8.5 Seznam příloh.....	55

1 Úvod

Dřevo jako stavební materiál bylo používáno již od pravěku. Bohužel se stavby z tohoto období nedochovaly. Od těchto dob až po současnost došlo v používání dřeva k mnoha značným změnám. Z počátku lidé používali dřevo v jeho rostlé podobě, nebo jen minimálně opracované. S vývojem lidstva však docházelo i k vývoji dřeva jako stavebního materiálu, a tak se dnes můžeme v konstrukcích setkat s různými tvary a spoji dřevěných prvků. V současnosti je také velmi rozšířeno používání materiálů na bázi dřeva.

Využití dřeva je výhodné z mnoha hledisek. Mezi kladné vlastnosti lze zařadit lehkost, snadnou opracovatelnost a dobré izolační vlastnosti. V mnoha případech je dřevo využíváno i kvůli jeho estetickým vlastnostem. V dnešní době se také přihlíží k tomu, že dřevo je jeden z mála stavebních materiálů, který má schopnost se přirozeně obnovovat.

Nedostatky dřeva můžeme vidět ve vadách a anizotropii dřeva. Vady vedou ke zhoršení vlastností a anizotropie způsobuje rozdílné vlastnosti v různých směrech namáhání. Se změnou vlhkosti se mění i další vlastnosti dřeva, například hustota, pevnost nebo pružnost. U dřeva se musí dbát na protipožární ochranu, protože se jedná o hořlavý materiál. V neposlední řadě je třeba dbát na ochranu proti napadení dřevokaznými škůdci.

2 Cíl práce

Cílem bakalářské práce je určit, jak se při rozdílných vlhkostech dřeva mění jeho fyzikální a mechanické vlastnosti. V případě této bakalářské práce se jedná o dřevo smrkové. Zjišťované vlastnosti, kterými se bakalářská práce zabývá, budou zjišťovány při šesti různých vlhkostních stavech v rozsahu vlhkostí dřeva. Mezi zjišťované vlastnosti této práce patří pevnost dřeva v tlaku rovnoběžně s vlákny, hustota dřeva, rozměrové a objemové bobtnání. Aby výsledky dosahovaly co nejpřesnějších hodnot a neobsahovaly příliš mnoho chybných hodnot, budou vzorky, na kterých se měření bude provádět, pečlivě vybírány a kontrolovány, zda neobsahují vady nebo nevykazují poškození špatným nařezáním. Po vyhodnocení naměřených hodnot se vytvoří grafy závislostí jednotlivých zjišťovaných vlastností v závislosti na rostoucí vlhkosti dřevěného vzorku.

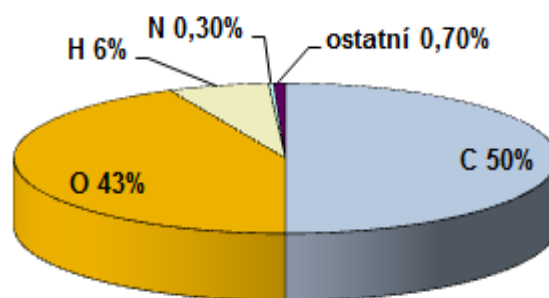
3 Struktura dřeva a druhy dřevin

Dřevo začali lidé používat jako první materiál konstrukcí. Jedná se o materiál vyskytující se ve volné přírodě, mezi jehož největší výhodu patří jeho obnovitelnost. Jelikož se jeho vlastnosti v různých směrech liší, jedná se o anizotropní materiál. Anizotropie bývá způsobena podélným tvarem buněk, orientovanou skladbou buněčných stěn, různou velikostí buněk v růstovém období a převládajícím směrem určitých typů buněk. Dále můžeme o dřevu říci, že je to nehomogenní a hydroskopický materiál.

Z historického hlediska bylo dřevo nejprve používáno na stavby pro bydlení. Lidé stavěli jednoduché konstrukce jako chýše, přístřešky z větví a proutí, teepee, nebo jednoduché lávky. Spoje těchto konstrukcí se svazovaly lany. Poté se v období neolitu začaly stavět dlouhé domy. Postupně s rozvojem vědy, řemesel a nástrojů vznikaly keltské domy, roubené a hrázděné domy, nebo sruby. V současnosti se dřevo používá pro konstrukce zastřešení, dřevěné konstrukce rodinných domů (sruby, roubenky, domy se skrytou dřevěnou konstrukcí), na lávky pro pěší a lávky pro cyklisty, nebo také pro bytové či administrativní budovy. Tyto budovy směřjí mít v dnešní době nejvýše dvanáct metrů a maximálně čtyři podlaží. [1]

3.1 Chemické složení dřeva

Chemické složení je přibližně stejné pro všechny druhy dřeva. Největší zastoupení ve dřevě mají prvky **uhlík** a **kyslík** (50 % respektive 43 %), dále se ve dřevě vyskytují **vodík** (6 %) a **dusík** (0,3 %). Zbytek složení tvoří minerální látky obsahující například draslík, vápník, sodík, fosfor nebo hořčík. [1]



Graf 1: Chemické složení dřeva

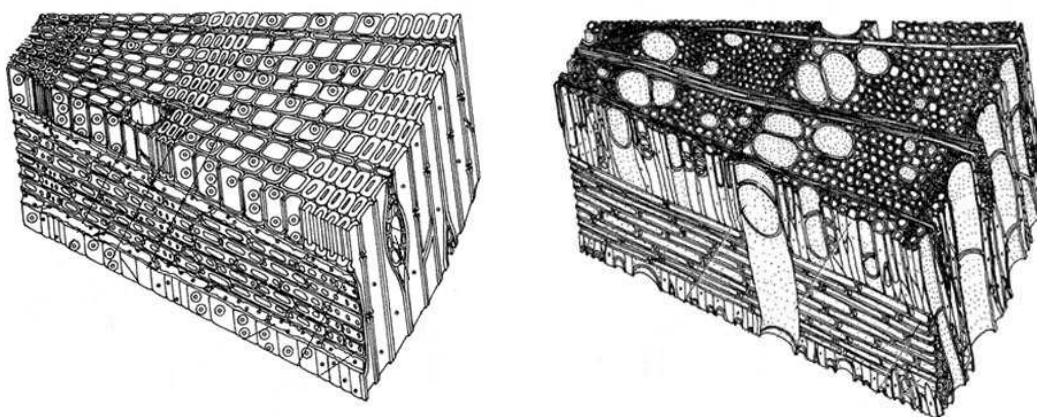
Tyto prvky tvoří složité organické látky, mezi něž patří *celulóza* (40 - 50 %), *lignin* jako základní stavební látka (30 - 35 %), *hemicelulóza* (25 %) a ostatní doplňkové látky jako například éterické oleje, těkavé kyseliny, barviva, nebo alkoholy. [1]

U dřeva rozlišujeme tři strukturní stupně dřeva:

- a) **Submikroskopická struktura** – týká se stavby buněčných stěn. Složení buněčné stěny tvořeno ze tří základních vrstev.
 - a. Krajní tenké vrstvy
 - b. Střední tlustá vrstva – orientované v podélném směru s minimálním odklonem (5 - 15 °)
 - c. Vnitřní vrstva – má různě orientovaná vlákna

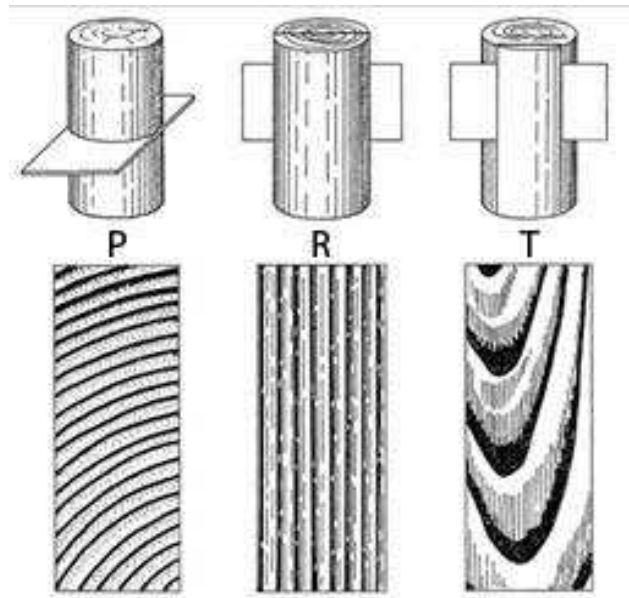
Jednotlivé buňky mezi sebou spojuje membránová lamela.

- b) **Mikroskopická struktura** – týká se uspořádání buněk v bezvadném dřevu. Je znát odlišnost mezi jehličnatým (jednodušší struktura) a listnatým dřevem (složitější struktura). U jehličnatého dřeva přibližně devadesát procent objemu dřevní hmoty zabírají cévní svazky – takzvané tracheidy. Ty tvoří navazující pětihranné (šestihranné) buňky délky 2 - 5 milimetrů, šířky 30 – 40 mikrometrů a tloušťky 2 - 3 nebo 6 – 7 mikrometrů (v závislosti na době vzniku). Tracheidy slouží k rozvodu vody ve dřevě a také k vyztužení dřeva. Listnaté dřevo má podobnou skladbu jako jehličnaté, tvoří ho ze sedmdesáti pěti procent dřevní vlákna a vláknité tracheidy. Rozdíl můžeme nalézt v navazujících buňkách, jejichž tloušťka je větší a dutiny menší. U listnatého dřeva není rozdíl mezi jarním a letním dřevem.



Obr. 1: Mikroskopická stavba jehličnatého (vlevo) a listnatého dřeva (vpravo) [11][12]

- c) **Makroskopická struktura** – je pozorovatelná pouhým okem na rozdíl od předchozích dvou struktur. Pro určení jednotlivých druhů dřev je třeba znát tři základní řezy kmenem: transversální (příčný), radiální (středový, podélný) a tangenciální (tečnový). Stavbu kmene po příčném řezu můžeme rozdělit na čtyři základní prvky - kůru, kambium, dřeň a dřevo.



Obr. 2: Schéma základních řezů kmenem (příčný, radiální, tangenciální) [13]

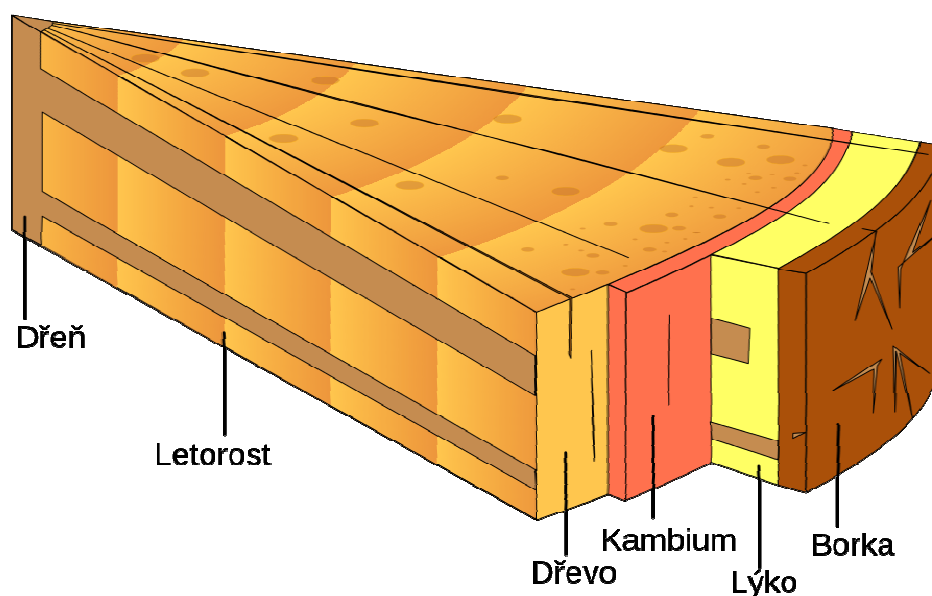
3.2 Struktura kmene

Kůra zabírá krajní povrchové vrstvy kmene, které obklopují středové části kmene. Vzhled kůry je u mladých a starých stromů rozdílný. U mladých stromů se vyskytuje hladká kůra. Se stářím však kůra stromů hrubne, při tloustnutí stromu dochází v kůře k trhlinám, které se časem stále prohlubují. Z tohoto důvodu mají kůry starších stromů dvě vrstvy. Vnější vrstva (borka) plní ochranou funkci dřeva proti atmosférickým vlivům a mechanickému poškození a dosahuje různých tlouštěk (např. u buku pouze 0,3 mm). Vnitřní vrstva (lýko) vede a ukládá organické látky vzniklé fotosyntézou v listech stromů. Tato vrstva je přilehlá přímo ke kambiu. Podle druhu a stáří stromu může kůra zabírat 6 – 25 % stromu. Se stářím kůra přirůstá.

Kambium slouží jako dělivé pletivo, které můžeme ve stromech nalézt mezi lýkem a dřevem. Kambium se podílí na růstu kmene, protože vytváří nové buňky v lýku i dřevě. Pro lidské oko není kambium viditelné (tloušťka v desítkách mikrometrů).

Dřeň vyplňuje střed kmene. Jedná se o měkké a řídké pletivo. Velikost a tvar dřeně jsou závislé na druhu stromu. Na začátku růstu stromu se podílí na rozvodu vody. Hodnoty mechanických vlastností dřeně dosahují nízkých hodnot. Při vysychání dřeva dochází ke vzniku nežádoucích dřeňových trhlin.

Dřevo společně se dření tvoří až 93 % objemu stromu. Jedná se o základní část kmene, která se nachází mezi dření a kambiem. U dřeva můžeme na příčném řezu rozlišit dva základní barevné druhy – **jádro** a **běl**. Pokud se vyskytuje ve dřevě pouze jedna barevná zóna, jedná se o **vyzrálé dřevo**.



Obr. 3: Řez kmenem stromu [14]

Jádro je tmavěji zbarvená, středová část dřeva. Tmavou barvu jádru dodávají oxidované jádrové látky (např. u jehličnatých stromů živice, u listnatých stromů třísloviny, minerální látky, ...). Vznik jádra závisí na podmínkách růstu stromu a druhu dřeviny. Jádrové dřevo oproti bělovému má vyšší hustotu, je tmavší, trvanlivější a vykazuje nižší hodnoty sesychání a bobtnání. Dále vykazuje nízkou propustnost kapalin, z čehož vyplývá ztížená impregnace jádrového dřeva.

Běl je světlejší, vnější část dřeva, která přiléhá ke kambiu. Mezi funkce běle patří rozvod vody od kořenů a ukládání zásobních látek. Rozsah běle se liší podle druhu dřevin. Největší šířky běl dosahuje v dolní části kmene a s výškou kmene se zužuje. Běl vykazuje nízkou odolnost proti napadení dřevokaznými škůdci.

Při porovnání běle a jádra můžeme zjistit i velice rozdílné fyzikální a mechanické vlastnosti.

Vyzrálé dřevo bývá nazýváno dřevo se strukturou shodnou s jádrovým dřevem, barevně však není odlišeno od běle. Toto dřevo se liší pouze vlhkostí, která dosahuje nižších hodnot než okolní běl.

Dřeviny můžeme na základě výskytu jádra, běle a vyzrálého dřeva rozdělit do těchto skupin:

- **Dřeviny bělové** – po vytěžení a vyschnutí dřeva jsou složeny v celém průřezu kmene pouze z jedné barevné části – běle (např. javor, bříza, olše, habr, ...)
- **Dřeviny s jádrem a bělí** – obsahují dvě barevné části – tmavé jádro a světlejší běl (např. modřín, dub, borovice, kaštan, ...)
- **Dřeviny s vyzrálým dřevem a bělí** – po těžbě mají tmavší zónu bělí (z důvodu vyšší vlhkosti), postupným vysycháním dochází ke ztrátě barevného rozdílu (např. smrk, lípa, jedle, buk, ...)
- **Dřeviny s jádrem, vyzrálým dřevem a bělí** – (např. vrba nebo jasan).

Letokruhy se nazývají vrstvy obklopující dřeň. Jeden letokruh se rovná ročnímu přírůstku dřevní hmoty odpovídající jednomu vegetačnímu období. Přírůstky dřeva se tvoří pomocí kambia. V období vegetačního klidu, během něhož kambium nevytváří nové pletivo, dochází k přerušení růstu dřevní hmoty a z toho poté vznikají letokruhy. V podnebí České republiky jedno vegetační období odpovídá jednomu roku. Z tohoto důvodu je možné podle letokruhů odhadnout stáří stromu. [5], [13]

3.3 Druhy dřeva

Dřeviny můžeme dělit dle různých hledisek. Nejzákladnější rozdělení dřeva je na jehličnaté a listnaté. Dále se dřevo může dělit podle tvrdosti na měkké a tvrdé. Další rozdělení může být např. podle původu na dřevo domácí (z dané země) a dovezené ze zahraničí. Fyzikální a mechanické vlastnosti dřeva se liší nejen u různých druhů dřeva ale i v rámci jediného druhu dřeva. Vlastnosti závisí např. na podnebí, ve kterém dřevo vyrostlo, na hustotě okolního porostu, nebo na druhu půdy. Lze říci, že jehličnaté dřevo roste rychleji než listnaté a proto je měkkčí, má menší trvanlivost, a z toho důvodu je i lacinější, z čehož pramení to, že bývá používáno častěji než listnaté dřevo.

Smrkové dřevo se používá nejvíce ze všech dřevin. Využít ho můžeme jako konstrukční dřevo, nebo i na truhlářské výrobky. Má měkké, lehké, dobře štípatelné, opracovatelné a mírně smolnaté dřevo. Pryskyřice slouží k ochraně, a proto patří mezi

důležité složky dřeva. Také vykazuje dobré vlastnosti z hlediska pružnosti a pevnosti. Smrkové dřevo obsahuje zarostlé suky. V suchu bývá trvanlivé, ovšem ve vlhku dochází ke hnilobě.

Jedlové dřevo má měkké, pružné, ohebné dřevo. Z hlediska růstu je pravidelnější než smrk. V jedlovém dřevě se vyskytuje menší množství pryskyřice než u smrku a z toho důvodu bývá méně trvanlivé. Oproti smrkovému dřevu obsahuje suky vypadavé. Jedle se opracovává náročněji než smrk.

Borové dřevo obsahuje vysoké množství pryskyřice, z tohoto důvodu dosahuje vyšší trvanlivosti, a proto se hodí i do vlhkého nebo střídavého prostředí. Borovice má dřevo měkké, křehké, lehké až středně těžké, málo pružné a ohebné, a proto se nesmí používat pro ohýbané konstrukce. V borovém dřevě se nachází velký obsah suků, které většinou časem vypadávají.

Modřínové dřevo je středně těžké, mezi jehličnany nejjakostnější a nejdražší, polotvrdé a pružné. Díky jeho pružnosti se používá pro staticky významné prvky. Další jeho využití můžeme nalézt pro stavebně truhlářské výrobky. Obsahuje hodně pryskyřice (trvanlivé), a proto se hodí i do vlhkého prostředí. V interiéru ale může docházet k vytékání pryskyřice ze dřeva.

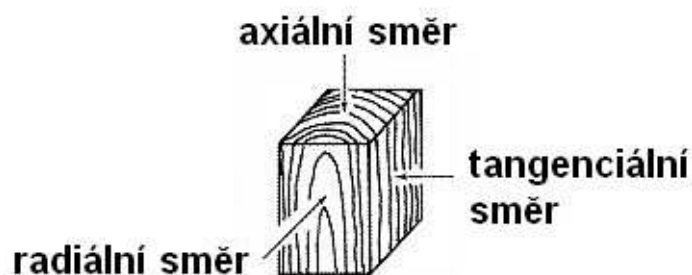
Dubové dřevo je tvrdé, těžké, houževnaté, vysoce trvanlivé a velmi pevné a pružné. Díky jeho perfektní trvanlivosti vydrží v suchu 500 – 700 let, ve vodě neomezeně dlouho. Dub vykazuje výbornou odolnost proti ohni a vysokou pevnost v tahu a tlaku (napříč vláken až 4krát více oproti smrku).

Bukové dřevo se z listnatých dřevin používá nejčastěji. Buk má měkký, méně houževnaté dřevo než dub. Jeho dřevo bývá dobře štípatelné, ale těžko se opracovává, hůře odolává vlhkosti, sesychá a praská.

Exotické dřeviny se v České republice používají pro stavebnictví velmi málo, jejich použití je spíše jako dekorační prvky, nábytek, žaluzie či sauny. Z některých se dnes vyrábí i okna a dveře. Mezi tyto dřeviny patří např. cedr, teak, eben, mahagon nebo abachi. [1], [4]

4 Vlastnosti dřeva

Vlastnosti dřeva se v různých směrech liší. U dřeva používaného pro stavební účely se zjišťují především fyzikální a mechanické vlastnosti. Jelikož tyto vlastnosti závisí na směru vláken, provádí se zkoušky dřeva ve více směrech na předepsané vlhkosti. Tyto směry lze rozdělit na tři základní – axiální (podél vláken), tangenciální a radiální směr (kolmo k vláknům). [1], [5]



Obr. 4: Základní směry zkoušení vlastností dřeva [12]

4.1 Fyzikální vlastnosti dřeva

Fyzikální vlastnosti lze zjistit bez narušení celistvosti materiálu či jeho chemického složení. Mezi tyto vlastnosti lze zařadit vlhkost (a sní související bobtnání a sesychání), hustotu, tepelné, elektrické a akustické vlastnosti dřeva, hořlavost, ale také např. barvu, kresbu nebo vůni dřeva.

4.1.1 Vlhkost

Vlhkost patří mezi nejvýznamnější vlastnosti, které u dřeva můžeme zjišťovat. Dřevo jako hyroskopický materiál může vodu přijímat nebo odevzdávat. Vlhkost ovlivňuje samotné chování dřeva, mechanické vlastnosti, odolnost proti napadení houbami a napadení hmyzem, nebo třeba objemové změny. Vlhkost udává poměr mezi hmotností vody ve dřevě k hmotnosti vysušeného dřeva. Vlhkost se vypočte podle vzorce:

$$\omega = \frac{m_1 - m_0}{m_0} \cdot 100$$

kde m_1 je hmotnost vzorku ve vlhkém stavu [g]

m_0 je hmotnost vzorku ve vysušeném stavu [g]

ω je vlhkost [%].

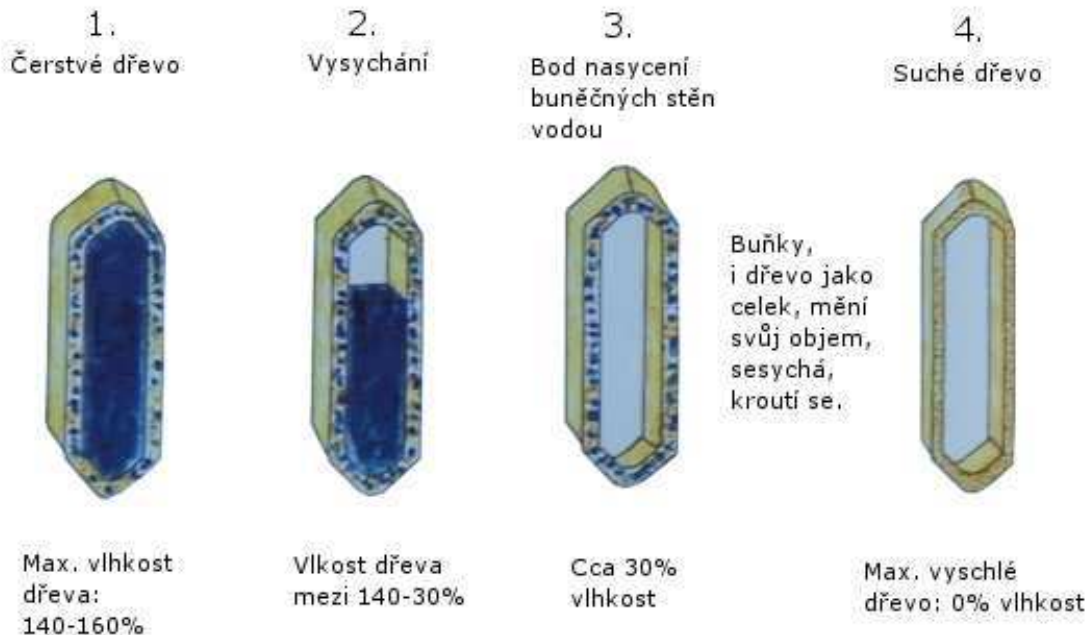
Vysušené dřevo je takové dřevo, které se suší v sušárně do stálé hmotnosti při teplotě 103 ± 2 °C. Vlhkost se zjišťuje mnoha způsoby. Nejčastěji se pro zjištění vlhkosti používají elektrické odporové vlhkoměry.

Ve dřevě se nacházejí 3 druhy vody: voda chemicky vázaná, voda hygrokopicky vázaná a voda volná.

Chemicky vázaná voda nemá na fyzikální a mechanické vlastnosti téměř žádný vliv. Ve dřevě se vyskytuje jako součást chemických sloučenin a ze dřeva nelze odstranit vysušením, pouze spálením. Ve dřevě se vyskytuje i při nulové vlhkosti dřeva. Její obsah se zjišťuje chemickým rozbořem dřeva.

Volná voda vyplňuje prostory buněk a mezibuněčné prostory a podílí se na zvyšování hustoty.

Hygrokopicky vázaná voda je vázána v buněčných stěnách a ovlivňuje mechanické vlastnosti. Čím větší je obsah této vody (vyšší vlhkost), tím jsou vlastnosti horší. Také způsobuje objemové změny, kterými jsou bobtnání a sesychání dřeva. Ve dřevě se vyskytuje při vlhkostech pohybujících se přibližně v rozmezí 0 – 30 %.

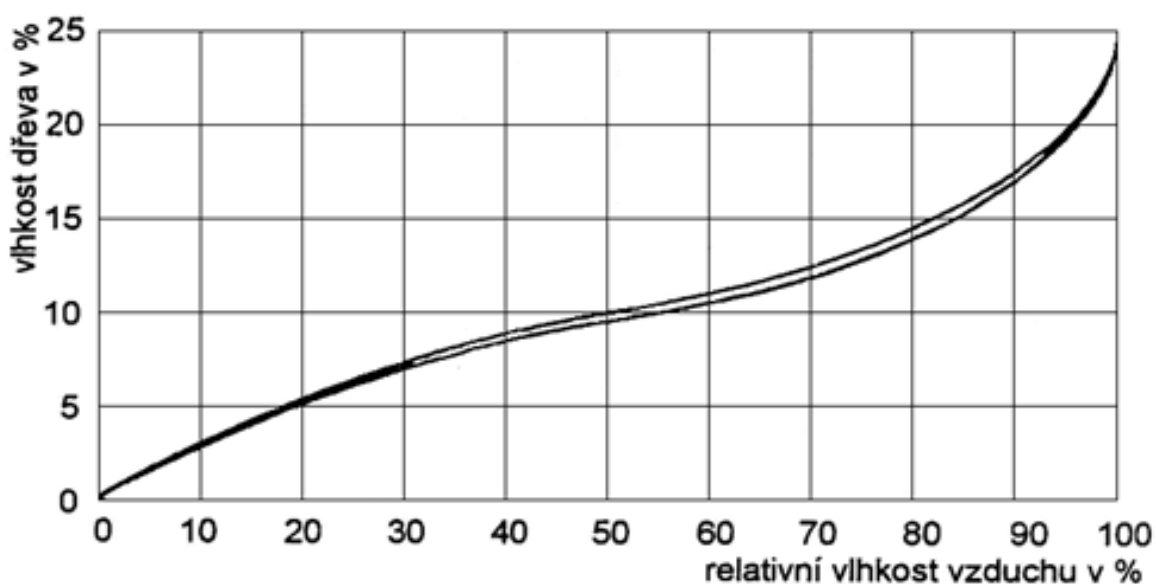


Obr. 5: Princip vysychání dřeva [15]

Když prvek zcela vysušíme a poté vystavíme působení vody, tak se voda nejprve dostává do buněčných stěn (hygrokopicky vázaná voda). K tomuto dochází až do bodu

nasyčení dřeva. Když se dosáhne meze nasyčení buněčných stěn, znamená to, že se do buněčných stěn více vody nevejde. Bod nasyčení se nachází obvykle mezi hodnotami vlhkostí 25 – 35 %, průměrně při vlhkosti 28 % a závisí na druhu dřeva. Další voda, kterou dřevo přijímá po mezi nasyčení, je voda volná. Když dřevo přijímá vodu volnou, zvyšuje tím vlhkost a hustotu.

Z výše uvedeného vyplývá, že dřevo jako hygroskopický materiál má schopnost přijímat vodu z okolního prostředí, nebo ji také odevzdávat. Mezi další schopnosti dřeva patří to, že dokáže měnit svou vlhkost podle relativní vlhkosti vzduchu. [1], [5], [7], [8]



Graf 2: Závislost dřeva na relativní vlhkosti vzduchu [16]

U dřeva můžeme sledovat změnu rozměrů průřezu při změně vlhkosti. Tuto změnu přibližně vypočteme podle vzorce:

$$\Delta b = \frac{\alpha}{100} \cdot \Delta \omega \cdot b$$

kde b značí počáteční rozměr [m]

$\Delta \omega$ změnu vlhkosti [%]

Δb změnu rozměru [m]

α součinitel, který závisí na druhu dřeva a směru ve dřevě.

Rozložení vlhkosti v kmeni rostlého stromu je nerovnoměrné po výšce a průměru kmene. Největší rozdíl vlhkostí po průměru můžeme pozorovat u jehličnanů, ve kterých dosahuje vlhkost jádra 4krát menších hodnot než vlhkost běle. U listnatých dřevin takový

rozdíl mezi vlhkostmi není. S výškou stromu samotná vlhkost roste, jedinou výjimku tvoří jádrová část jehličnanů, ve které dosahuje vlhkost téměř konstantní hodnoty. Se stářím stromu jeho vlhkost klesá. Vlhkost kolísá jak v průběhu celého roku, tak i v průběhu dne. Maximálních vlhkostí dosahují stromy v zimním období.

Podle vlhkostí můžeme dřevo rozdělit do následujících skupin:

- Mokré dřevo, uložené ve vodě po dlouhou dobu ($\omega > 100 \%$)
- Čerstvě pokácené dřevo ($\omega = 50 - 100 \%$)
- Na vzduchu vysušené dřevo ($\omega = 15 - 22 \%$)
- Na pokojovou teplotu vysušené dřevo ($\omega = 8 - 15 \%$)
- Absolutně suché dřevo ($\omega = 0 \%$).

S měnící se vlhkostí dřeva se mění také většina fyzikálních a mechanických vlastností. S rostoucí vlhkostí se například pevnostní a pružnostní vlastnosti dřeva zhoršují. To platí ale pouze do stavu, kdy jsou buněčné stěny plně nasyceny. Dále má vlhkost vliv na rozměrové změny dřeva. Při růstu vlhkosti se zvyšují i rozměry prvku. Toto platí také pouze do vlhkosti při plném nasycení buněčných stěn. Nad touto vlhkostí se s rostoucí vlhkostí již rozměry dřeva téměř nemění. Při růstu vlhkosti ve dřevě dochází i k růstu hustoty dřeva. Hustota dřeva ale roste lineárně s vlhkostí v celém rozsahu vlhkostí dřeva. Dále se vliv vlhkosti projevuje u napadení škůdci. S vyšší vlhkostí je také vyšší pravděpodobnost napadení dřeva dřevokaznými houbami či dřevokazným hmyzem. Proto se musí dbát na to, aby dřevo nedosahovalo vlhkostí, při kterých by mohlo dojít k jeho napadení. Při vlhkostech dřeva nižších než 20 % se zastavují životní pochody všech známých druhů dřevokazných hub a dále tedy nerostou, nerozvíjí se a neprovádějí destrukční činnost na napadeném dřevě. Vlhkost však může působit na dřevo i pozitivně. Při vysokých vlhkostech dřeva (například u dřeva ponořeného pod vodou) nedochází k jeho hnilobě a dřevo se stává velmi trvanlivé. [21]

4.1.2 Bobtnání

Bobtnání je schopnost dřeva zvětšovat své lineární rozměry, plochu, nebo objem při přijímání vody vázané v rozsahu vlhkostí od nuly až po mez nasycení buněčných stěn. Rozeznáváme bobtnání celkové (od absolutně suchého stavu až po mez nasycení), nebo částečné (v jakémkoliv menším intervalu). Bobtnání se vyjadřuje podílem změny rozměru

k původnímu rozměru a nejčastěji se uvádí v procentech. Velikost největšího bobtnání v příslušných směrech vypočteme ze vzorců:

$$\alpha_{r \max} = \frac{l_{r \max} - l_{r \min}}{l_{r \min}} \cdot 100, \quad \alpha_{t \max} = \frac{l_{t \max} - l_{t \min}}{l_{t \min}} \cdot 100, \quad \alpha_{a \max} = \frac{l_{a \max} - l_{a \min}}{l_{a \min}} \cdot 100$$

kde $l_{r \max}$, $l_{t \max}$, $l_{a \max}$ jsou rozměry zkušebního vzorku ve směru radiálním, tangenciálním a podélném po máčení [mm]

$l_{r \min}$, $l_{t \min}$, $l_{a \min}$ jsou rozměry zkušebního vzorku ve směru radiálním, tangenciálním a podélném po vysušení [mm]

Hodnoty objemového bobtnání se vypočítají ze vztahu:

$$\alpha_{V \max} = \frac{(l_{r \max} \cdot l_{t \max} \cdot l_{a \max}) - (l_{r \min} \cdot l_{t \min} \cdot l_{a \min})}{l_{r \min} \cdot l_{t \min} \cdot l_{a \min}} \cdot 100$$

Výsledky podélného bobtnání se zaokrouhlí na 0,01 %. Ostatní bobtnání se zaokrouhlí na 0,1 %.

Velikost bobtnání závisí na směru vláken. V podélném směru se pohybuje v rozmezí 0,1 – 0,4 %, v radiálním 3 – 6 % a v tangenciálním 6 – 12 %. Celkové objemové bobtnání udává součet výše uvedených bobtnání. [1], [5], [10] [17]

4.1.3 Sesychání

Sesychání je schopnost dřeva zmenšovat své lineární rozměry, plochu, nebo objem při ztrátě vody vázané. Z toho vyplývá, že se jedná o přímý opak bobtnání.

Celkové objemové sesychání získáme součtem lineárních sesychání v podélném, radiálním a tangenciálním směru. Dle sesychání rozlišujeme dřeva málo sesychavá (tis, vrba, olše, topol, kaštanovník,...), středně sesychavá (borovice, smrk, jedle, dub, jilm,...) a hodně sesychavá (modřín, bříza, buk, habr, lípa,...). [1], [5]

Při sesychání dřeva dochází ke vzniku vnitřních napětí, která jsou způsobena nerovnoměrným sesycháním dřeva. Vnitřní napětí jsou složena z vlhkostního a zbytkového napětí. Vlhkostní napětí vznikají vlivem nerovnoměrného vysychání dřeva, působí pružně a po vyrovnání vlhkosti ve dřevě zanikají. Zbytková napětí působí trvale a při rychlém vysoušení nelze zabránit jejich vzniku.

Při bobtnání nebo sesychání může docházet vlivem anizotropního charakteru dřeva a změny vlhkosti k jeho **borcení**. Borcení se vyskytuje v podélném i příčném směru.

Příčné je způsobeno rozdílným tangenciálním a radiálním sesycháním. Vznik **podélného** zborcení způsobuje nerovnoměrné podélné sesychání dřeva, které se projeví prohnutím nebo stočením materiálu. [5], [6]



Obr. 6: Druhy příčného borcení dřeva [17]

4.1.4 Hustota

Hustotu charakterizuje podíl hmotnosti a objemu při dané vlhkosti. Hustotu určíme dle vzorce:

$$\rho_{\omega} = \frac{m_{\omega}}{V_{\omega}} \quad [\text{kg/m}^3]$$

kde m_{ω} představuje hmotnost dřeva při dané vlhkosti [kg]

V_{ω} objem dřeva při dané vlhkosti [m^3].

Hustota se určuje pro dřeva v suchém stavu ($\omega = 0 \%$), hustota vlhkého dřeva ($\omega > 0 \%$) a hustota dřeva při vlhkosti 12 %.

Hustota roste s vlhkostí, ale objem a hmotnost se nezvyšují stejným způsobem. Dle hustoty dělíme dřeviny:

- **Dřeva s nízkou hustotou** $\rho_{12} < 540 \text{ kg/m}^3$ (např. smrk, jedle, borovice, lípa, ...)
- **Dřeva se střední hustotou** $\rho_{12} = 540 - 750 \text{ kg/m}^3$ (např. dub, buk, modřín, bříza, třešeň, ...)
- **Dřeva s vysokou hustotou** $\rho_{12} > 750 \text{ kg/m}^3$ (např. habr, dřín, moruše, akát, ...). [5],

4.1.5 Tepelné vlastnosti dřeva

Tepelná vodivost dřeva dosahuje velmi malých hodnot, a proto se dřevo používá ve velké míře jako tepelně izolační materiál. Tepelná vodivost roste s hustotou, vlhkostí, nebo teplotou dřeva a bývá vyjádřena součinitelem tepelné vodivosti λ [$\text{W m}^{-1} \text{K}^{-1}$]. Tento koeficient vyjadřuje, kolik tepla projde jednotkovou plochou za jednotku času při změně teploty o jeden kelvin. Teplotní roztažnost je také malá a tak se dilatační spáry provádí pouze kvůli objemovým změnám způsobeným vlhkostí. [1]

4.1.6 Elektrické vlastnosti dřeva

Ve vysušeném stavu dřevo téměř nevede elektrický proud, s rostoucí vlhkostí však prudce roste i elektrická vodivost. [1]

4.1.7 Akustické vlastnosti dřeva

Dřevo dobře tlumí hluk a má vynikající ozvučnost. Díky tomu se používá na výrobu hudebních nástrojů. Jeho použití můžeme nalézt i při akustických úpravách místností nebo na výrobu zvukotěsných bariér. [1]

4.2 Mechanické vlastnosti dřeva

Mechanické vlastnosti charakterizují schopnost dřeva odolávat účinkům vnějších sil. Mezi tyto vlastnosti řadíme pružnost, pevnost, houževnatost, tvrdost, nebo štípatelnost. Mechanické vlastnosti z hlediska pružnosti a pevnosti závisí na mnoha faktorech.

Mechanické vlastnosti ovlivňuje:

- Konstrukční rozměr – s větším konstrukčním rozměrem dochází ke snížení mechanických vlastností
- Hustota – čím větší hustota, tím vyšší pevnost
- Vady dřeva – suky – výrazné snížení pevnosti (odklon vláken), čím menší průřez, tím větší zhoršení; trhliny
- Rychlost zatěžování – čím rychleji zatěžíme, tím má dřevo vyšší pevnost (10 – 15 %)
- Doba trvání zatížení – deformace jsou proměnné v čase; dlouhodobé zatížení znamená pokles na 60 % pevnosti (při vyšší vlhkosti pokles výraznější, nejhorší vlastnosti při střídání vlhkostí)

- Vlhkost dřeva – hygrokopicky vázaná voda zhoršuje mechanické vlastnosti (volná voda nemá vliv)

Tab. 1: Změna pevnosti při změně vlhkosti o 1 %

Tlak rovnoběžně s vlákny	6 %
Tlak kolmo na vlákna	5 %
Tah rovnoběžně s vlákny	2,5 %
Tah kolmo na vlákna	2 %
Ohyb	4 %
Smyk kolmo na vlákna	2,5 %
Modul pružnosti	1,5 %

- Směr působení zatížení – axiální, radiální, tangenciální
- Charakter zatížení – statické, dynamické [4], [9]

4.2.1 Pružnost dřeva

Pružnost dřeva nám udává schopnost dřeva dosáhnout původního tvaru a rozměrů po působení vnějších sil. Pružnost nám nejčastěji udává modul pružnosti. Modul pružnost se zvyšuje s hustotou dřeva. Naproti tomu ale klesá s rostoucí vlhkostí dřeva. [4]

4.2.2 Pevnost dřeva

Dle druhu namáhání rozeznáváme pevnost dřeva v tlaku, tahu, smyku, ohybu a vzpěru. Při **pevnosti v tahu** rozeznáváme způsob namáhání rovnoběžně s vlákny a napříč vláken. Při namáhání napříč vláken se deformace projevuje prodloužením tělesa až do přetržení pletiva. **Pevnost v tlaku** rovnoběžně s vlákny se provádí na vzorcích bez vad a suků. Zkušební těleso, které má plný průřez konstrukčního prvku a délku rovnající se šestinásobku menšího průřezového rozměru, zkoušíme v lisu dostředně pomocí tlačné desky s kulovým kloubem. Zatěžování probíhá rovnoměrně až do porušení tělesa. Poté se odečte maximální síla F_{\max} a pevnost se vypočte ze vztahu:

$$f_{c,0} = \frac{F_{\max}}{A} \quad [\text{N/mm}^2]$$

kde F_{\max} je maximální zatěžovací síla při zkoušce [N]

A je zatěžovací plocha [mm²]. [2], [8]

4.2.3 Rázová houževnatost dřeva

Rázová houževnatost dřeva udává, jakou má dřevo schopnost odolávat porušení způsobeným dynamickým (rázovým) namáháním ohybem. Tato vlastnost se zjišťuje pomocí speciálního rázového kyvadlového kladiva a vypočítá se z poměru práce potřebné k přeražení zkušební vzorku a příčných rozměrů zkušební tělesa. [2]

4.2.4 Tvrdost dřeva

Tvrdostí dřeva se rozumí schopnost dřeva odporovat vnikání cizího tělíška do jeho struktury. Tvrdost dřeva dělíme podle druhu zatížení na tvrdost statickou a dynamickou.

- **Statická tvrdost** – určuje se pomocí ocelové kuličky, která se zatlačuje do ploch vzorku statickým zatížením.
- **Dynamická tvrdost** – je dána podílem potenciální energie, která vznikla při dopadu kuličky z dané výšky volným pádem a plochy otlačení způsobenou dopadem kuličky.

Dřeviny, které se objevují na našem území lze rozdělit podle tvrdosti dosažené při vlhkosti 12 % na dřeva:

- **Měkká** – např. smrk, borovice, jedle, ... (tvrdost < 40 MPa)
- **Středně tvrdá** – např. dub, jasan, jilm, ... (tvrdost 40 – 80 MPa)
- **Tvrdá** – např. akát, habr, tis, ... (tvrdost > 80 MPa). [4]

4.3 Trvanlivost dřeva

Trvanlivost dřeva závisí na mnoha faktorech. Většinou platí, že dřevo s tmavším jádrem dosahuje vyšší trvanlivosti než dřevo se světlým jádrem. Trvanlivost je dále závislá na prostředí, ve kterém se dřevo nachází a na druhu dřeva. Trvanlivost dřeva uloženého na vzduchu v suchém prostředí dosahuje vysokých hodnot (např. borovice a modřín až 120 let, dub 200 let, smrk 75 let, ...). Pokud se dřevo vyskytuje ve střídavém prostředí (kolísání vlhkosti), jeho trvanlivost tím klesá. Ještě nižších hodnot dosahuje, pokud je dřevo ve styku s půdou (trvanlivost běžně jen 5 – 25 let). [1]

4.4 Vady a poškození dřeva

Vadami dřeva se rozumí nedokonalost způsobená odchylkami od normálního stavu. Vady lze rozdělit na materiálové, výrobní a konstrukční.

Materiálové neboli růstové vady se ve dřevě projevují různými odchylkami v struktuře, textuře, nebo tvaru. Množství těchto vad ve dřevě zohledňuje míru kvality dřeva. Mezi tyto vady můžeme zařadit suky, praskliny, nebo točivost. Suky patří mezi nejvýznamnější vady dřeva. Rozlišujeme suky zarostlé a nesrostlé. Dále v řezivu rozlišujeme suky křídlové, boční, hranové, plošné, procházející a skupinové. Pevnost v místě suků je nízká z důvodu odklonu vláken. Mezi materiálovou vadu dřeva můžeme zařadit i napadení biotickými činiteli, které nastalo před vlastním zpracováním dřeva.

Mezi výrobní vady způsobené nesprávným zpracováním dřeva můžeme zařadit například trhliny způsobené nesprávným (rychlým a nerovnoměrným) vysoušením.

Konstrukční vady jsou způsobené špatným konstrukčním návrhem rozměru, špatným uložením prvku nebo vzájemným spojením prvků. Dále to mohou být vady způsobené při řezání (oblíny, rýhy, chlupatost, vady řezu). [1]

4.4.1 Škůdci dřeva

Mezi škůdce dřeva řadíme dřevokazné a dřevozabarvující houby, plísňe, brouky a mořské škůdce.

Dřevokazné houby patří mezi největší škůdce dřeva. Tyto houby způsobují buďto rozklad celulózy (celulózovorní), nebo i ligninu (ligninovorní). Dřeva napadené dřevokaznými houbami hnije, ztrácí pevnost, stává se křehkým a rozpadá se. Mezi příčiny vzniku a výskytu dřevokazných hub patří zvýšená vlhkost, zatékání vody, nedostatečná ochrana biocidy nebo použití nevhodného druhu dřeva. Mezi dřevokazné houby se řadí například:

- **Dřevomorka domácí** (latinsky *Serpula lacrymans*) – jedná se o nejobávanější dřevokaznou houbu. Nejčastěji se vyskytuje v nevětraných místnostech, nebezpečná především v obydlích budovách. Optimální teplota pro vývoj dřevomorky se pohybuje mezi 18 – 22 °C, maximálně však 25 °C. Optimální vlhkost pro vývoj jejího podhoubí se pohybuje mezi 30 – 40 %. Pokud vlhkost klesne pod 20 %, vývoj podhoubí se velmi zpomaluje a při dalším poklesu vývoj ustává. Dřevomorka domácí prorůstá nejen dřevo, ale i dřevotřísku,

textilie a dokonce zdivo. Může se nacházet i ve volné přírodě. Má nahnědlé zbarvení, na okrajích její zbarvení přechází do bílé. Dřevomorka neplodí moc často, ale dřevo dokáže rozkládat velmi intenzivně. Při napadení dřevomorkou domácí se doporučuje odstranění veškerého napadeného materiálu, protože její zničení je velmi pracné a nákladné. Napadené dřevo by se nemělo pálit, protože výtrusy dřevomorky odolávají velmi vysokým teplotám a mohlo by dojít k jejich roznosu kouřem po okolí. Mezi novější metody likvidace dřevomorky domácí patří likvidace pomocí mikrovlnného záření. [1], [18]



Obr. 7: Dřevomorka domácí (*Serpula lacrymans*) [18]

- **Koniofora sklepní** (latinsky *Coniophora puteana*) – po dřevomorce domácí druhá nejobávanější dřevokazná houba. Velmi často vytváří podmínky pro následný rozvoj dřevomorky. Koniofora bývá odolnější vůči povětrnostním vlivům, proto se vyskytuje po celém území České republiky a to jak v létě, tak i na podzim. Napadá především dřevo, které je v kontaktu s mokrymi zdmi, mokrou půdou nebo vodní parou. Pro svůj vývoj vyžaduje vyšší vlhkost, optimálně na 40 % a teploty v rozmezí 4 – 40 °C. [19]
- **Trámovka plotní** (latinsky *Gloeophyllum sepiarium*) – dřevokazná houba, která se většinou vyskytuje na mrtvém dřevě jehličnatých dřevin (borovice, jedle, smrk, ...), listnaté dřeviny většinou nenapadá. Trámovce plotní postačí k životu minimální vlhkost, a vyskytuje se i v místech s vyššími teplotami. Proto se také velmi často vyskytuje na dřevěných plotech, zábradlích či pražcích, na kterých může odolávat i přímému slunečnímu záření. Trámovka má nahnědlou až rezavou barvu a způsobuje tzv. červenou hnilobu. Roste nejdříve uvnitř dřeva,

při výskytu plodnice na povrchu dřeva je již zpravidla nutné napadenou část konstrukce zlikvidovat. [20]



Obr. 8: Koniofora sklepní (*Coniophora puteana*) [19]



Obr. 9: Trámovka plotní (*Gloeophyllum sepiarium*) [20]

- **Houževnatec šupinatý** (latinsky *Lentinus lepideus*) a další.

Dřevozabarvující houby můžeme rozdělit na modrací houby a plísně. Tato skupina hub je méně nebezpečná než houby dřevokazné, protože na rozdíl od nich nezpůsobuje rozklad dřevní hmoty. Dřevozabarvující houby většinou napadají čerstvé řezivo a způsobují pouze jeho optické znehodnocení, které je ovšem u dřeva nežádoucí z důvodu estetického působení. Dalším problémem souvisejícím s dřevozabarvujícími houbami je nepříznivé působení na lidský organismus (hygienické a zdravotní hledisko), zejména problémy s bolestmi hlavy a respirační potíže. [21]

- **Plísně** – jejich potravu tvoří látky a nečistoty vyskytující se na povrchu dřeva, z tohoto důvodu nerozkládají dřevní hmotu. Nejčastěji se vyskytují při vlhkostech dřeva kolem 35 - 40 % a vyšších.
- **Modrací houby** – na rozdíl od plísní se podílejí na větších nežádoucích změnách ve dřevě. Napadené dřevo vykazuje pásy nebo celé plochy různých barev, nejčastěji modrošedé, šedé či šedočerné. Nejčastěji se vyskytují v čerstvém řezivu, jehož vlhkost dosahuje vyšších hodnot a zejména tam, kde není dostatečně proloženo a špatně prosychá. Nejčastěji se vyskytují při vlhkostech dřeva 40 – 50 % a vyšších. [21]

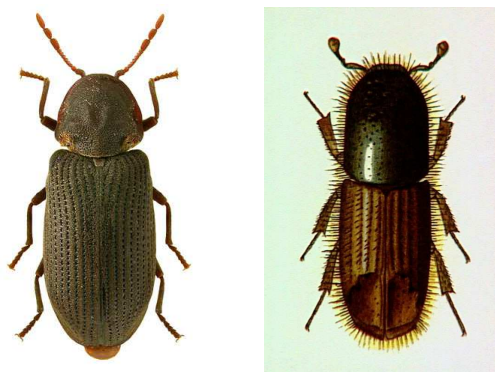
Dřevokazný hmyz může napadat jak dřevo živé (rostoucí stromy), tak dřevo uskladněné, nebo i stavebně zpracované. Larvy tohoto hmyzu užívají dřevo jako potravu, prostředí pro růst a vývoj. Z toho důvodu vytvářejí ve dřevě chodbičky, které snižují statickou odolnost dřevěných konstrukcí. Mezi dřevokazný hmyz řadíme tesaříky, pilořitky, červotoče, hrbohlavce, kůrovce a další. Tento hmyz napadá dřevo při nižších vlhkostech než dřevokazné houby, obvykle mu postačuje vlhkost dřeva kolem 10 %. [21]

- **Tesařík krovový** – patří mezi nejčastější a nejnebezpečnější škůdce dřeva napadající dřevěné konstrukce. Jeho tělo je ploché a černé, dosahuje délky až 25 mm. Většinou se tito brouci vyskytují od května do září. Samičky tesaříka kladou vajíčka do trhlin ve dřevě. Z těchto vajíček se líhnou larvy. Larvy tesaříka krovového mají bílé zbarvení s nahnědlou hlavičkou a před zakuklením dosahují délky okolo 20 mm. Doba vývoje je velmi rozdílná a pohybuje se mezi 2 – 10 lety. Během svého vývoje si larvičky vyžirají ve dřevě chodbičky a nejčastěji napadají povrchové vrstvy dřeva (bělové dřevo). Pokud je však dřevo napadeno intenzivněji, zavrtávají se hlouběji do jádrového dřeva. Kromě tesaříka krovového mohou dřevo napadat i tesařík fialový, tesařík obrovský, tesařík skladištní nebo tesařík smrkový. [21]
- **Pilořitky** – mají válcovitý tvar těla, které u dospělých samiček dosahuje délky až 45 mm (sameček bývá většinou o 10 mm menší a štíhlejší), černě zbarvenou hlavičku a hrud' a nažloutlý zadeček (sameček převážně černý). Samičky kladou vajíčka především do čerstvě poražených nebo poraněných stromů přímo pod kůru. Larvy nejprve provrtávají měkké letní dřevo, poté se zavrtávají hlouběji do kmene. Jejich vývoj trvá přibližně 2 – 3 roky. [21]



Obr. 10: Tesařík krovový – vlevo [22], pilořitka – vpravo [23]

- **Červotoči** – brouci menších nebo středních rozměrů. Jejich válcovitě protáhlé, zploštělé tělo dosahuje u dospělých brouků délky 3 – 5 mm a je nejčastěji tmavohnědé nebo načervenalé. Existuje spousta druhů červotočů, kteří škodí dřevu. Mezi nejčastější a nejškodlivější druh patří červotoč proužkovaný a červotoč umrlčí. **Červotoč proužkovaný** nejčastěji napadá především jehličnany. Dosahuje délky až 4 mm. Samička klade vajíčka do prasklin a skulin dřeva, ve kterém se vylíhly předchozí generace. Larvy se vylíhnou po 12 – 20 dnech a prokusují si chodbičky, které jsou většinou nejčastěji orientovány podél vláken. Vývoj larev trvá od šesti měsíců do dvou let a závisí hlavně na teplotě, vlhkosti a druhu dřeva. Z důvodu vývoje celé řady generací bývá dřevo úplně zničeno, dřevo se často proměňuje v prachovitou drť často nazývanou červotočina. **Červotoč umrlčí** dosahuje v dospělosti větší délky než červotoč proužkovaný (až 5 mm). Vývoj larev je podobný, larvy červotoče umrlčího se však vyvíjejí déle (2 – 3 roky). Červotoč umrlčí napadá dřevo zabudované ve stavbě delší dobu, v čerstvém dřevě se však nevyskytuje. [21]
- **Hrbohlavci** – brouci dosahují délky 3 – 5 mm. Mají podlouhlé, hnědě zbarvené tělo. Nejčastěji napadají dubové dřevo a především stromy poraněné, nebo čerstvě poražené a neodkorněné. Mohou se však vyskytovat i ve dřevě zabudovaném v konstrukcích. Larvy hrbohlavců vyžírají ve dřevě chodbičky (hlavně v běli). [21]
- **Kůrovci** – napadají živé dřevo. K vývoji larev dochází ve kmenech různých druhů dřevin. Dospělí brouci dosahují velikosti 1 – 8 mm. Mají válcovité (či oválné), tmavohnědé nebo černohnědé tělo. Larvy si při vývoji (v průměru 2 měsíce) vykusují cestičky pod kůrou. [21]



Obr. 11: Červotoč umrlčí – vlevo [24], kůrovec – vpravo [25]

4.5 Třídění dřeva

Dřevo se může třídit dvěma způsoby – strojně či vizuálně. U nás se nejčastěji používá dřevo jakostních tříd S7, S10 a S13 (dle normy ČSN 73 2824-1). Dřevo se třídí pro potřeby konstrukcí nebo pro estetické potřeby.

Vizuální třídění se používá již od třicátých let dvacátého století a patří mezi nejběžnější metody používané v České republice. Cílem vizuálního třídění je podle vizuálních znaků odhadnout mechanické vlastnosti. Na základě šířky letokruhů se může určit přibližná pevnost. Při výskytu suků, prasklin, hniloby či hmyzu se tato pevnost poté musí snižovat. Toto třídění se provádí na pilách na každém druhu dřeva. Mezi nedostatky vizuálního třídění patří různí třídiči (netřídí stejně) a také to, že při ručním třídění smí být nejvyšší třída dřeva C24.

Strojní třídění se provádí od šedesátých let dvacátého století. Cílem strojního třídění bylo udělat objektivnější řazení do tříd. Při tomto třídění se měří jedna vlastnost, ze které se odvodí ostatní vlastnosti. Tato metoda je drahá, a proto ji používají pouze největší zpracovatelé dřeva v České republice. Mezi výhody strojního třídění patří zařazování dřeva do vyšších tříd než u vizuálního třídění. Při strojní třídění smí tloušťka prvku dosahovat nejvýše 80 mm. Prvky se zkouší na plocho a stroj odzkouší přibližně 100 metrů prvku za minutu. Stroj prohýbá prvek buď určitou silou, nebo na určitý průhyb a z toho se následně určí modul pružnosti. Každý prvek projde strojem dvakrát v různé pozici, aby se zabránilo vzniku nepřesností od zakřivení prvku. Vady se zjišťují například pomocí skenování (suky mají dvakrát větší hustotu), ultrazvuku nebo rentgenu. [1], [6]

5 Měření vlhkosti

Měření vlhkosti můžeme rozdělit na metody měření přímé a nepřímé. Mezi **přímé** patří hmotnostní (gravimetrické) a destilační metody nebo jodometrická titrace. **Nepřímé** rozdělujeme na hydrometrické metody, měření optických vlastností, nebo měření pomocí elektrických vlhkoměrů. Tyto vlhkoměry lze rozdělit na odporové, kapacitní, mikrovlnné, impedanční a absorpční.

Nejpřesnější metodou pro určení vlhkosti je měření vlhkosti **hmotnostní** (gravimetrickou, váhovou) **metodou**. Tato metoda vychází z definičního vzorce pro určení absolutní vlhkosti:

$$\omega_{abs} = \frac{m_{\omega} - m_0}{m_0} \cdot 100 \quad [\%]$$

kde m_{ω} značí hmotnost vlhkého dřeva [g],

m_0 hmotnost absolutně vysušeného dřeva [g].

Tato metoda se nejčastěji uplatňuje spíše při laboratorním měření, pro měření vlhkosti „in situ“ není vhodná.

Vlhkost dřeva ovlivňuje základní elektrofyzikální vlastnosti dřeva. Toho využívá metoda měření **elektrickými vlhkoměry**. Elektrický vlhkoměr se používá pro měření některých elektrických vlastností dřeva, které výrazně ovlivňuje vlhkost dřeva. Tyto vlhkoměry můžeme podle druhu elektrického napětí rozdělit na **odporové s jednosměrným napětím** nebo **dielektrické se střídavým napětím**.

Fyzikální činitelé ovlivňující elektrické veličiny se dělí na vnitřní a vnější. Mezi vnitřní lze zařadit vlastnosti materiálu (druh, hustota, teplota, anizotropie nebo vady dřeva). Vnějšími jsou činitelé tvořící podmínky měření jako např. frekvence a intenzita elektrického pole, chemická kontaminace dřeva, nebo relativní vlhkost dřeva.

Měření odporovými vlhkoměry je možné díky vlivu vlhkosti na jednosměrný elektrický odpor. Při měření odporovými vlhkoměry umožňují kontakt se dřevem měřící elektrody (fixované na měřícím přístroji, nebo samostatné – připojené pomocí kabelu). Podle konstrukce dělíme tyto elektrody na zarážecí (jehlové), upínací (svorkové), přítlačné, hloubkové a zvláštní (např. válcové). Rozsah měření odporových vlhkoměrů se pohybuje mezi 5 – 25 %. Při nerespektování druhu dřeva vzniká chyba ± 4 %. V praxi jsou nejčastěji používány.

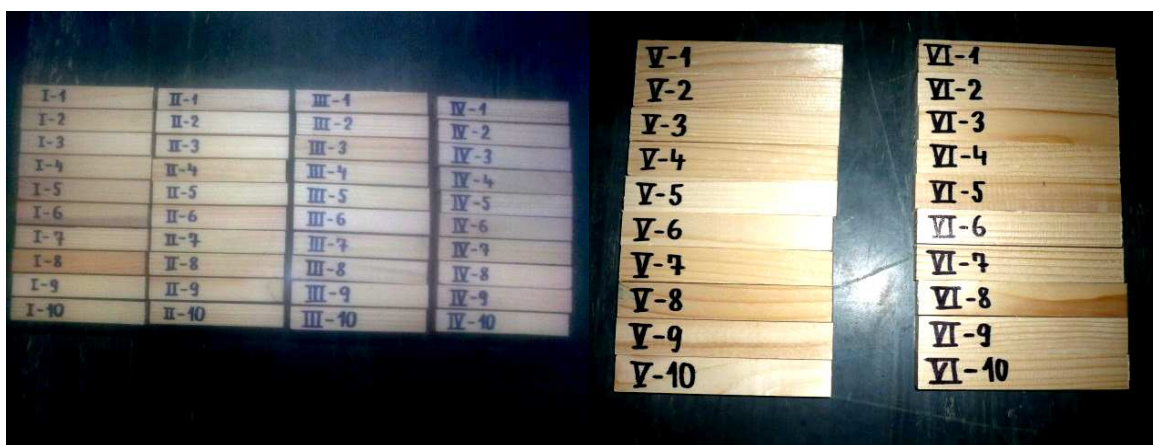
Při měření vlhkosti dřeva dielektrickými vlhkoměry lze tyto vlhkoměry rozdělit dle měřené elektrické veličiny na kapacitní, absorpční (včetně mikrovlnných) a admitanční. Další dělení může být dle frekvencí na nízkofrekvenční, vysokofrekvenční a mikrovlnné. Rozsah měření těchto vlhkoměru pokrývá celý rozsah vlhkosti dřeva (0 – 30 %). Při nerespektování druhu dřeva vzniká chyba ± 10 %. U nás se tolik nepoužívají, jsou rozšířeny převážně ve Spojených státech amerických. [3]

6 Experimentální část

6.1 Výběr vzorků

V experimentální části bakalářské práce bylo vybráno ze sady mnoha set kusů nařezaných vzorků celkem šest sad po 10 vzorcích, dohromady tedy 60 vzorků. Vzorky měli s mírnou odchylkou rozměry 25 mm x 25 mm x 150 mm. Zkušební tělesa se vybrala taková, aby při vizuálním zkoumání neobsahovala prosmolení a vady jako jsou např. suky, kůra, hniloba a smolníky. Dále nesměl být vzorek napaden škůdci. Výběr zkušebních vzorků obsahuje pouze vzorky z jednoho stromu, v případě této bakalářské práce dřevo smrkové.

Vybrané vzorky byly náležitě popsány. Římská čísllice v popisu označovala číslo sady vzorků. Arabská čísllice pak popisovala číslo vzorku v dané sadě.



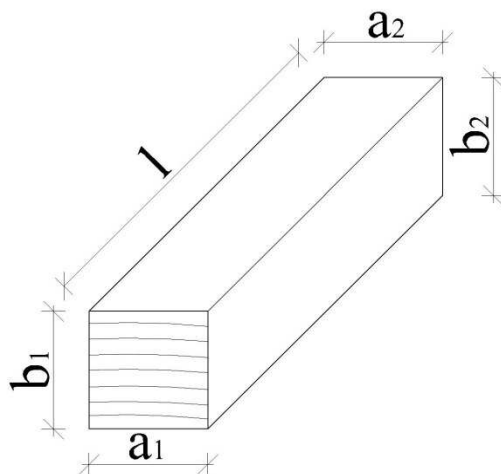
Obr. 12: Fotodokumentace zkušebních vzorků

6.2 Vysoušení a měření vzorků

V první fázi se vzorky vložily do horkovzdušné sušárny HS 122 A a vysušily se při teplotě 103 ± 2 °C do ustálené hmotnosti a rozměrů tak, dokud rozdíl dvou po sobě následujících vážení hmotnosti v rozmezí dvou hodin nebyly menší než 0,1 %.

Hmotnost vysušeného vzorku se změnila bezprostředně po vyjmutí vzorku z horkovzdušné sušárny. Měření hmotnosti bylo prováděno dle příslušné normy. Na zvážení vzorků se použila digitální laboratorní váha KERN EW 6200 - 2NM. Vážení proběhlo s přesností 0,01g. Hodnoty hmotností jednotlivých vzorků byly zapsány do tabulky v příloze č. 1.

Rozměry zkušebních vzorků se stanovily pomocí digitálního posuvného měřítka s rozsahem 0 – 200 mm. Stanovení rozměrů zkušebních vzorků se provedlo dle příslušné normy. Měření příčných rozměrů na obou koncích vzorku a délky probíhá s přesností $\pm 1\%$. Ze dvou rozměrů na koncích se stanovila průměrná hodnota. Hodnoty rozměrů jednotlivých vzorků byly zapsány do tabulky v příloze č. 1.



Obr. 13: Měřené rozměry na vzorcích.

6.3 Vlhčení a měření vzorků

Zkušební vzorky se po vysušení a prvotním změření vystavily působení vlhkosti. Například sada vzorků II se ponechala volně na vzduchu po dobu 48 hodin, sada vzorků III se nechala ponořená ve vodě po dobu 48 hodin a sada vzorků IV po dobu 7 dní. U sady vzorků V bylo cílem dosáhnout vlhkosti okolo 20 % a sada vzorků VI se vystavila působení vody po dobu 4 týdnů až do plného nasycení.



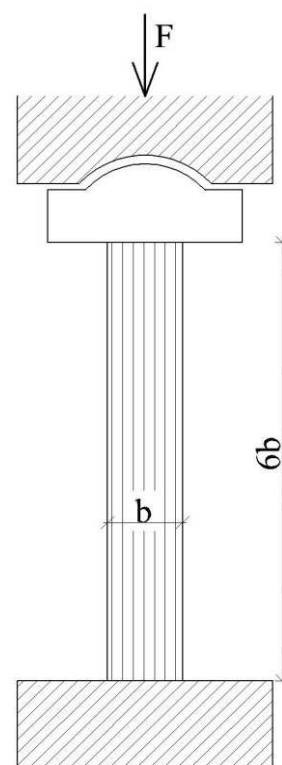
Obr. 14: Fotodokumentace vlhčení zkušebních vzorků

Vlhčení vzorků probíhalo v plastovém lavoru, do kterého se jednotlivé vzorky naskládaly a následně se zalily vodou. Aby vzorky neplavaly na hladině, zatížily se dalším, menším plastovým lavorem s vodou.

U každé sady vzorků se po nasycení vodou opětovně změřily rozměry a provedlo se vážení stejným způsobem uvedeným v kapitoly 6.2 této práce. Hodnoty hmotností a rozměrů jednotlivých nasycených vzorků byly zapsány do tabulek uvedených v příloze č. 2.

6.4 Zkoušení vzorků v tlaku rovnoběžně s vlákny

Při zkoušce se postupovalo dle příslušné normy ČSN EN 408. Zkoušené vzorky rozměrově odpovídaly rozměrům tělesa pro stanovení pevnosti v tlaku rovnoběžně s vlákny, což odpovídalo délce rovné šestinásobku menšího průřezového rozměru. Zatěžování zkušebního vzorku probíhalo dostředně, pomocí tlačné desky, na které se nacházel kulový kloub. Zatěžování probíhalo stálou rychlostí až do porušení vzorku. Nakonec se zaznamenala maximální síla F_{\max} , která na vzorek působila při porušování vzorku.



Obr. 15: Fotodokumentace a schéma zkoušky pevnosti v tlaku rovnoběžně s vlákny

Z maximálních zatížení dosažených při zkoušení vzorků se poté stanovily pevnosti v tlaku rovnoběžně s vlákny. Následující tabulka ukazuje přehled maximálních zatížení při porušení na jednotlivé vzorky.

Z jednotlivých hodnot se vypočítal aritmetický průměr sady vzorků.

Tab. 2: Přehled maximálních zatížení na jednotlivé vzorky

Maximální zatížení [kN]											
Sada vzorků: I		Sada vzorků: II		Sada vzorků: III		Sada vzorků: IV		Sada vzorků: V		Sada vzorků: VI	
číslo vz.	F _{max}	číslo vz.	F _{max}	číslo vz.	F _{max}	číslo vz.	F _{max}	číslo vz.	F _{max}	číslo vz.	F _{max}
I-1	35,5	II-1	25,8	III-1	8,4	IV-1	12,1	V-1	12,8	VI-1	11,0
I-2	30,2	II-2	36,0	III-2	10,9	IV-2	11,0	V-2	12,5	VI-2	10,2
I-3	22,0	II-3	34,1	III-3	12,8	IV-3	11,1	V-3	11,3	VI-3	10,2
I-4	27,2	II-4	20,0	III-4	7,5	IV-4	9,6	V-4	8,2	VI-4	8,1
I-5	20,7	II-5	25,5	III-5	7,4	IV-5	10,4	V-5	8,7	VI-5	10,6
I-6	25,9	II-6	26,2	III-6	12,1	IV-6	11,6	V-6	10,5	VI-6	9,8
I-7	25,7	II-7	24,1	III-7	9,6	IV-7	8,4	V-7	9,3	VI-7	9,8
I-8	35,9	II-8	25,6	III-8	6,3	IV-8	10,2	V-8	10,2	VI-8	10,2
I-9	35,3	II-9	10,6	III-9	8,0	IV-9	9,4	V-9	10,5	VI-9	10,2
I-10	29,4	II-10	30,5	III-10	8,8	IV-10	10,4	V-10	12,4	VI-10	10,8
průměr <u>28,8</u>		průměr <u>25,8</u>		průměr <u>9,2</u>		průměr <u>10,4</u>		průměr <u>10,6</u>		průměr <u>10,1</u>	

6.5 Výpočet mechanických a fyzikálních veličin

6.5.1 Výpočet vlhkostí

Vlhkost byla stanovena váhovou metodou. Při stanovení vlhkosti se postupovalo podle příslušné normy ČSN EN 13183-1. Vlhkosti jednotlivých vzorků ω se vypočítali jako procentní podíly hmotnosti dle následujícího vzorce:

$$\omega = \frac{m_1 - m_0}{m_0} \cdot 100 \quad [\%]$$

Kde m_1 je hmotnost vlhkého zkušební vzorku [g]

m_0 je hmotnost vysušeného zkušební vzorku [g]

ω je vlhkost [%].

Výsledky se zapsaly do tabulky s přesností na 0,1 %.

Sada vzorků I byla odzkoušena ihned po vyjmutí z horkovzdušné sušárny, tudíž její vlhkost se rovnala nule. U ostatních sad vzorků se z vlhkostí jednotlivých vzorků vypočítal aritmetický průměr.

Tab. 3: Vypočtené vlhkosti jednotlivých vzorků

Vlhkost									
Sada vzorků: II		Sada vzorků: III		Sada vzorků: IV		Sada vzorků: V		Sada vzorků: VI	
číslo vz.	ω [%]	číslo vz.	ω [%]	číslo vz.	ω [%]	číslo vz.	ω [%]	číslo vz.	ω [%]
II-1	2,9	III-1	39,3	IV-1	66,6	V-1	20,8	VI-1	129,6
II-2	3,0	III-2	32,0	IV-2	79,9	V-2	20,5	VI-2	127,4
II-3	2,5	III-3	27,6	IV-3	84,8	V-3	24,9	VI-3	116,7
II-4	2,8	III-4	49,0	IV-4	78,6	V-4	23,1	VI-4	144,5
II-5	3,4	III-5	37,2	IV-5	75,9	V-5	24,1	VI-5	112,9
II-6	2,3	III-6	36,2	IV-6	63,8	V-6	21,8	VI-6	118,3
II-7	2,7	III-7	33,6	IV-7	96,5	V-7	19,3	VI-7	119,3
II-8	2,6	III-8	38,4	IV-8	71,1	V-8	18,4	VI-8	105,3
II-9	2,8	III-9	43,0	IV-9	88,7	V-9	19,9	VI-9	113,7
II-10	2,7	III-10	30,8	IV-10	79,1	V-10	16,1	VI-10	105,7
průměr	2,8	průměr	36,7	průměr	78,5	průměr	20,9	průměr	119,3
max.	3,4	max.	49,0	max.	96,5	max.	24,9	max.	144,5
min.	2,3	min.	27,6	min.	63,8	min.	16,1	min.	105,3
sm. odch.	0,3	sm. odch.	5,9	sm. odch.	9,4	sm. odch.	2,5	sm. odch.	11,3

6.5.2 Výpočet pevností dřeva v tlaku rovnoběžně s vlákny

Při zkoušce pevnosti v tlaku rovnoběžně s vlákny se zjistily maximální hodnoty zatěžovací síly pro jednotlivé vzorky, ze kterých se poté vypočítala pevnost v tlaku rovnoběžně s vlákny dle normového vzorce:

$$f_{c,0} = \frac{F_{\max}}{A}$$

Kde F_{\max} je maximální zatěžovací síla při zkoušce [N]

A je zatěžovací plocha (plocha čelních stran, v případě této práce součin průměrných hodnot a, b) [mm²]

$f_{c,0}$ je pevnost v tlaku rovnoběžně s vlákny [N/mm²].

Hodnoty pevností v tlaku rovnoběžně s vlákny jednotlivých vzorků jsou vypočítány v tabulce uvedené v příloze č. 3. Z jednotlivých hodnot pevností vzorků v sadě se vypočítal aritmetický průměr pevností v tlaku rovnoběžně s vlákny jednotlivé sady. Dále se určilo maximum, minimum a směrodatná odchylka sady. Následující tabulka pouze vypočtené hodnoty průměru, maxima, minima a směrodatné odchylky. Sada vzorků I s nulovou vlhkostí dosáhla nejvyšší pevnost v tlaku rovnoběžně s vlákny, která činila 47,57 MPa. Nejnižší pevnost se překvapivě zjistila u sady vzorků III a to v hodnotě 13,53 MPa. Největší směrodatné odchylky (11,62 MPa) dosahovala sada vzorků II a to z důvodu velkého rozptylu naměřených hodnot pevností.

Tab. 4: Hodnoty průměrných pevností dřeva v tlaku rovnoběžně s vlákny

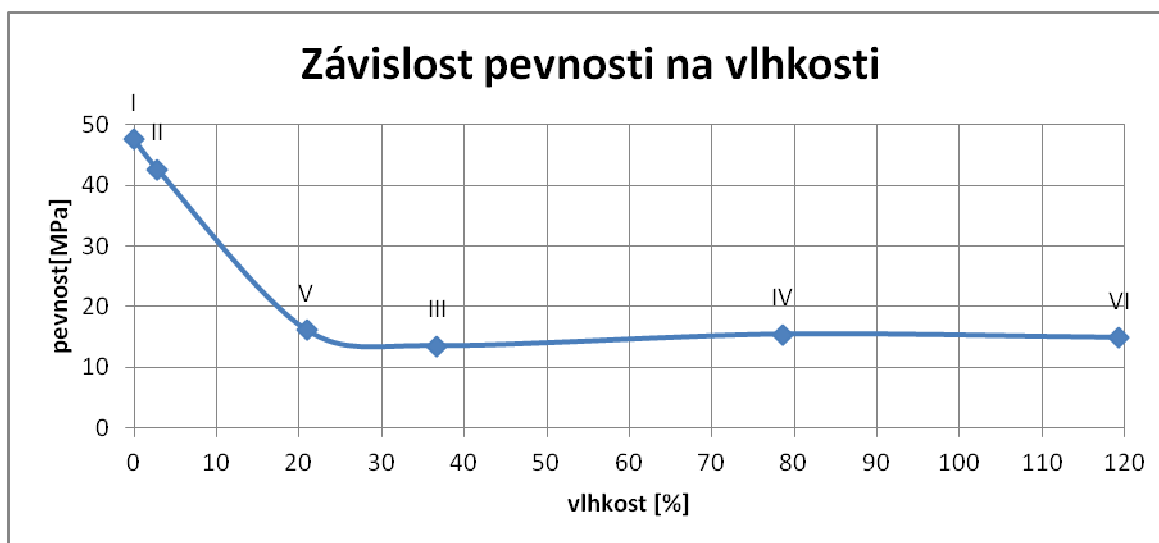
Pevnost $f_{c,0}$					
Sada vzorků: I ($\omega = 0\%$)		Sada vzorků: II ($\omega = 2,8\%$)		Sada vzorků: III ($\omega = 36,7\%$)	
průměr	47,57	průměr	42,64	průměr	13,53
max.	59,48	max.	59,46	max.	19,16
min.	33,85	min.	17,27	min.	9,29
sm. odch.	8,62	sm. odch.	11,62	sm. odch.	3,05
Sada vzorků: IV ($\omega = 78,5\%$)		Sada vzorků: V ($\omega = 20,9\%$)		Sada vzorků: VI ($\omega = 119,3\%$)	
průměr	15,42	průměr	16,11	průměr	14,89
max.	18,20	max.	19,37	max.	16,62
min.	12,31	min.	12,44	min.	11,89
sm. odch.	1,65	sm. odch.	2,27	sm. odch.	1,13

Pro větší přehlednost se průměrné hodnoty pevností v tlaku rovnoměrně s vlákny jednotlivých sad seřadily dle průměrné vlhkosti sady. Seřazené hodnoty udává následující tabulka

Tab. 5: Pevnosti v tlaku rovnoběžně s vlákny seřazené podle vlhkosti

SADA VZORKŮ	I	II	V	III	IV	VI
PEVNOST V TLAKU [MPa]	47,57	42,64	16,11	13,53	15,42	14,89
VLHKOST [%]	0,0	2,8	20,9	36,7	78,5	119,3

Následující graf ukazuje závislost pevnosti dřeva v tlaku rovnoběžně s vlákny na vlhkosti.



Graf 3: Závislost pevnosti v tlaku rovnoběžně s vlákny na vlhkosti

Z grafu je patrné, že pevnost dřeva strmě klesá s vlhkostí, ale pouze do vlhkosti odpovídající bodu nasycení buněčných stěn (v rozmezí vlhkostí 25 – 30 %). U vzorků s vyšší vlhkostí již nedochází k snižování pevnosti. Z grafu je patrné, že pevnost od vlhkosti při bodu nasycení buněčných stěn až do plného nasycení je konstantní. Hodnota pevnosti v tlaku sady vzorků III dosahovala hodnoty 13,53 MPa a tato hodnota by měla dosahovat přibližně stejných či o něco vyšších hodnot než sady vzorků IV (15,42 MPa) a VI (14,89 MPa). Nepřesnost výsledků sady vzorků III se způsobila malým počtem vzorků v sadě. Pro přesnější výsledky by bylo třeba udělat zkoušky s více vzorky v sadě.

6.5.3 Výpočet bobtnání

Bobtnání se vypočítalo z rozměrů změřených na vysušených vzorcích a z rozměrů na vlhkých vzorcích. Byly vypočteny hodnoty bobtnání ve všech třech směrech (podélné, tangenciální, radiální) a celkové objemové bobtnání. Výpočet bobtnání jednotlivých vzorků se prováděl dle vzorce:

$$\alpha_{i \max} = \frac{l_{i \max} - l_{i \min}}{l_{i \min}} \cdot 100 \quad [\%]$$

kde $l_{i \max}$ je příslušný rozměr vlhkého vzorku [mm]

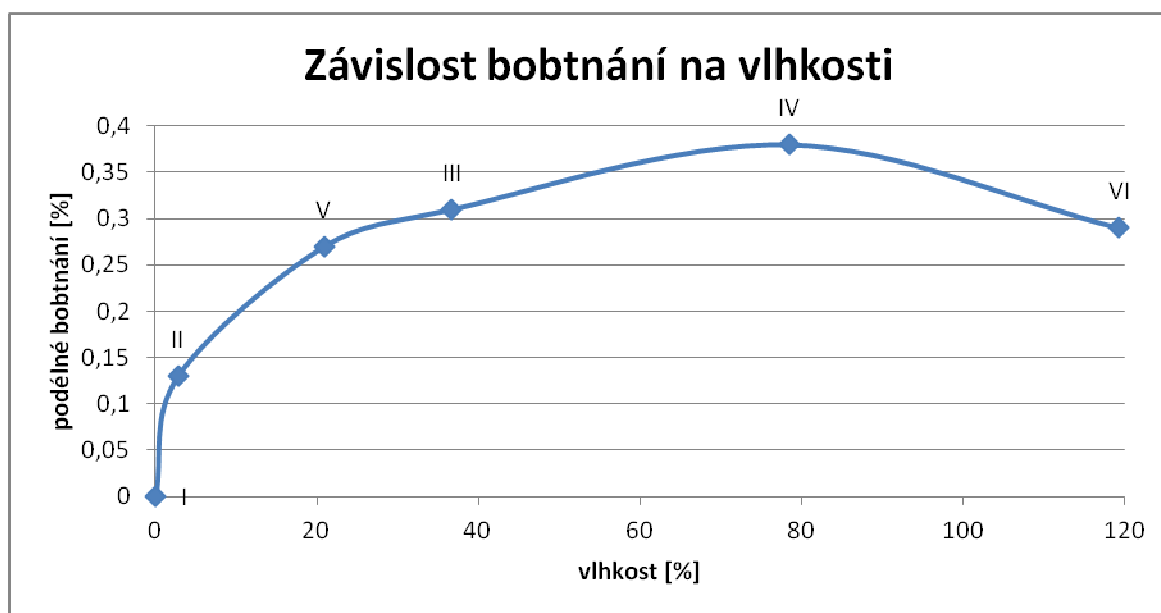
$l_{i \min}$ je příslušný rozměr vysušeného vzorku [mm].

Vypočtené hodnoty bobtnání ve všech směrech, příčné i objemového bobtnání jednotlivých vzorků jsou uvedeny v tabulkách v příloze č. 3. Sada vzorků I se odzkoušela ihned po vyjmutí z horkovzdušné sušárny, tudíž bobtnání vzorků sady I dosahovalo nulových hodnot.

Z hodnot uvedených v tabulkách přílohy č. 4 se vypočítal aritmetický průměr jednotlivých sad vzorků. Dále byly určeny minimální hodnoty, maximální hodnoty a směrodatné odchylky jednotlivých sad. V následujících tabulkách jsou pro větší přehlednost seřazeny průměrné hodnoty bobtnání jednotlivých sad podle vlhkostí.

Tab. 6: Hodnoty podélného bobtnání seřazené podle vlhkosti

SADA VZORKŮ	I	II	V	III	IV	VI
BOBTNÁNÍ PODÉLNÉ [%]	0,00	0,13	0,27	0,31	0,38	0,29
VLHKOST [%]	0,0	2,8	20,9	36,7	78,5	119,3

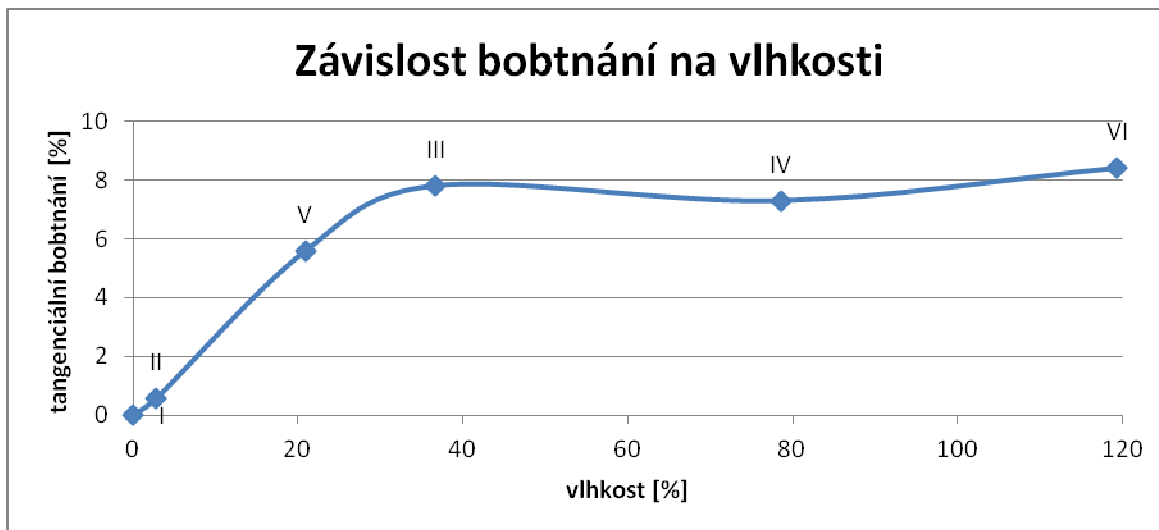


Graf 4: Závislost podélného bobtnání na vlhkosti

Podélné bobtnání roste s vlhkostí až do bodu nasycení buněčných stěn (odpovídající vlhkosti 30 %). Od této hodnoty by již hodnoty bobtnání neměly růst. Průměrné bobtnání sady IV dosahuje příliš vysoké hodnoty 0,38 %. Správně by se tato hodnota měla pohybovat v hodnotách kolem 0,30 %. Nepřesnost výsledků sady vzorků III se způsobila malým počtem vzorků v sadě. Pro přesnější výsledky by bylo třeba udělat zkoušky s více vzorky v sadě.

Tab. 7: Hodnoty tangenciálního bobtnání seřazené podle vlhkosti

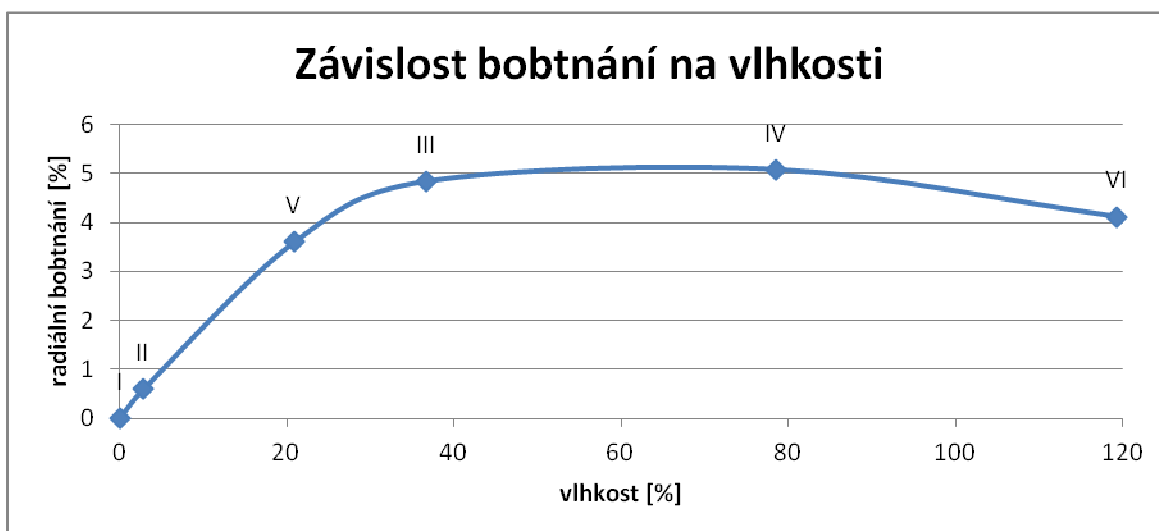
SADA VZORKŮ	I	II	V	III	IV	VI
BOBTNÁNÍ TANGENCIÁLNÍ [%]	0,0	0,6	5,6	7,8	7,3	8,4
VLHKOST [%]	0,0	2,8	20,9	36,7	78,5	119,3



Graf 5: Závislost tangenciálního bobtnání na vlhkosti

Tab. 8: Hodnoty radiálního bobtnání seřazené podle vlhkosti

SADA VZORKŮ	I	II	V	III	IV	VI
BOBTNÁNÍ RADIÁLNÍ [%]	0,0	0,6	3,6	4,8	5,1	4,1
VLHKOST [%]	0,0	2,8	20,9	36,7	78,5	119,3

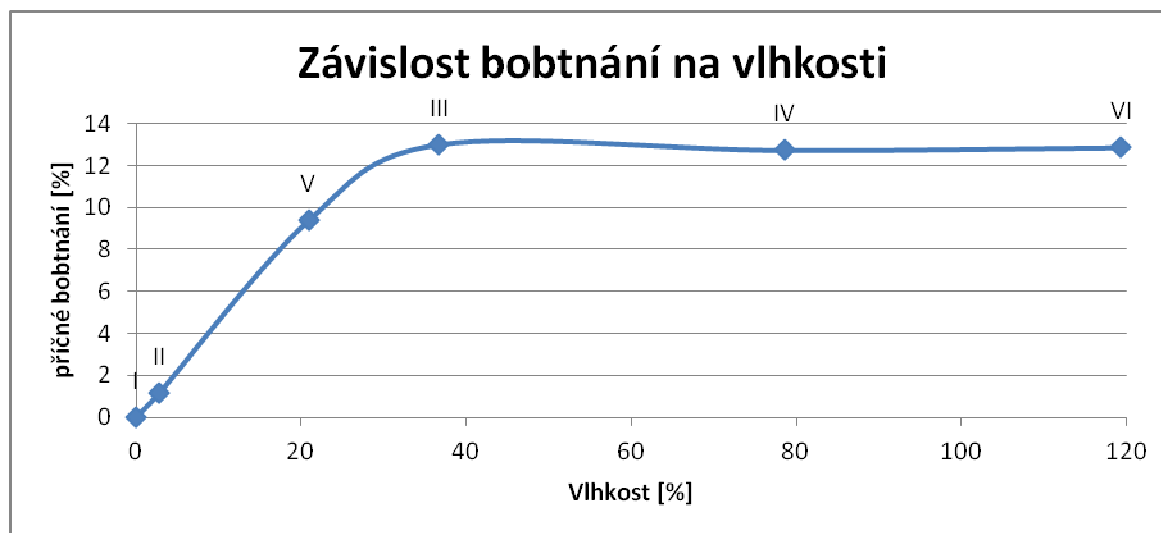


Graf 6: Závislost radiálního bobtnání na vlhkosti

Hodnoty průměrného tangenciálního a radiálního bobtnání nedosahují přesných hodnot z důvodu, že u některých vzorků se zkušební směry nedaly přesně určit. Z tohoto důvodu se tedy ještě vypočetlo celkové příčné bobtnání.

Tab. 9: Hodnoty příčného bobtnání seřazené podle vlhkosti

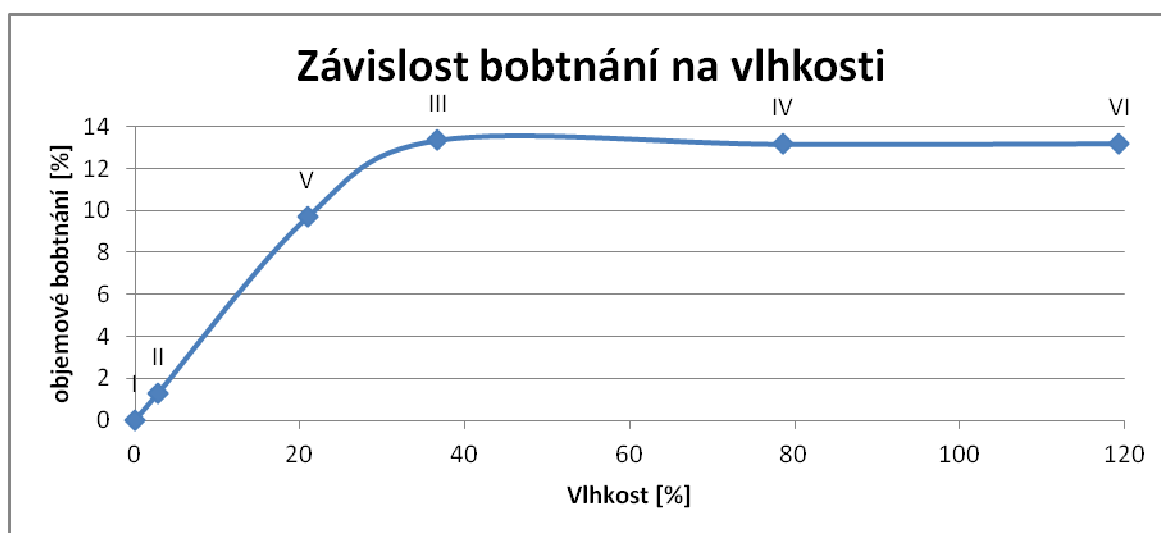
SADA VZORKŮ	I	II	V	III	IV	VI
BOBTNÁNÍ PŘÍČNÉ [%]	0,0	1,2	9,4	13,0	12,7	12,9
VLHKOST [%]	0,0	2,8	20,9	36,7	78,5	119,3



Graf 7: Závislost příčného bobtnání na vlhkosti

Tab. 10: Hodnoty objemového bobtnání seřazené podle vlhkosti

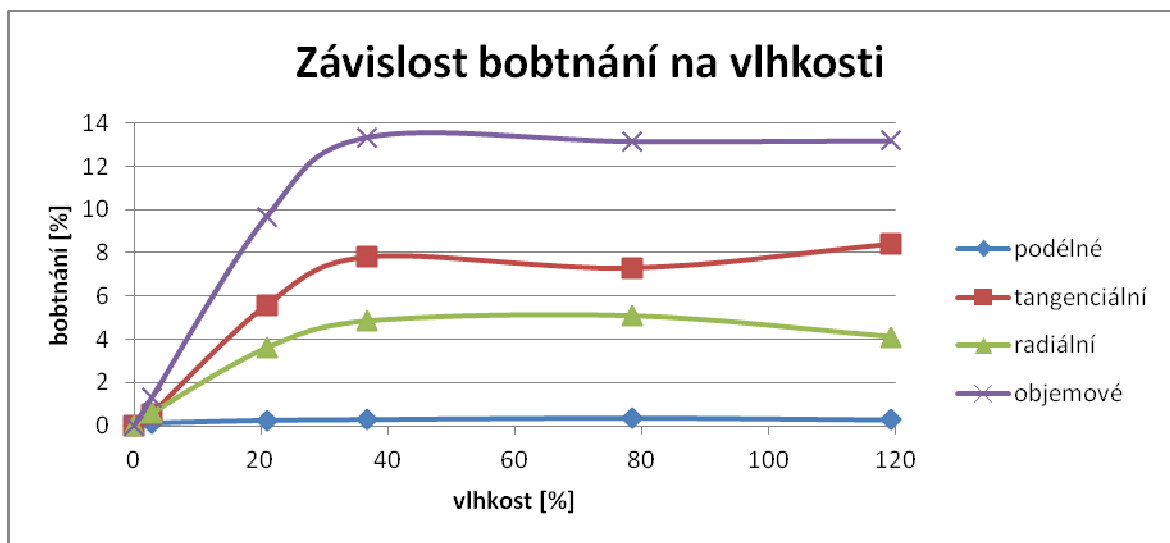
SADA VZORKŮ	I	II	V	III	IV	VI
BOBTNÁNÍ OBJEMOVÉ [%]	0,0	1,3	9,7	13,4	13,2	13,2
VLHKOST [%]	0,0	2,8	20,9	36,7	78,5	119,3



Graf 8: Závislost objemového bobtnání na vlhkosti

Z grafů příčného a objemového bobtnání vyplývá, že rozměry vzorků rostly s vlhkostí až do vlhkosti kolem 30 %, což odpovídá přibližně vlhkosti na bodu nasycení buněčných stěn. Od této hodnoty vlhkosti se již rozměry měnily pouze minimálně. Grafy příčného a objemového bobtnání vypadají téměř shodně a to z důvodu, že podélné bobtnání dřeva je oproti příčnému bobtnání řádově menší a proto většinu objemového bobtnání tvoří pouze bobtnání příčné.

Na dalším grafu jsou zobrazeny bobtnání ve všech třech směrech a objemové bobtnání.



Graf 9: Rozdíl mezi jednotlivými bobtnáními

Z grafu je patrný rozdíl mezi jednotlivými bobtnáními v různých směrech a objemovým bobtnáním. Jednoznačně nejnižší hodnoty a řádově nižší než ostatní bobtnání má podélné bobtnání. Průměrné hodnoty se po vlhkosti nad bodem nasycení buněčných stěn pohybují od 0,31 % až po 0,38 %. Hodnoty radiálního bobtnání se pohybují mezi hodnotami 4 % až 5 % a tangenciálního bobtnání mezi 7 % až 8 %. Celkové objemové bobtnání se pohybuje kolem hodnot 13 %.

6.5.4 Výpočet hustoty

Hustota jednotlivých zkušebních vzorků se při dané vlhkosti ω stanovila jako podíl hmotnosti a objemu vzorku dle vztahu:

$$\rho_{\omega} = \frac{m_{\omega}}{V_{\omega}}$$

kde m_{ω} je hmotnost vzorku při dané vlhkosti [kg]

V_{ω} je objem vzorku při dané vlhkosti [m³]

ρ_{ω} je hustota vzorku při dané vlhkosti [kg/m³].

Vypočtené hodnoty hustot jednotlivých vzorků jsou uvedeny v tabulkách v příloze č. 5. Hodnoty průměrných hustot, minima, maxima a směrodatné odchylky udává následující tabulka.

Tab. 11: Hodnoty průměrných hustot dřeva

Hustota				
Sada vzorků: I ($\omega = 0\%$)		Sada vzorků: II ($\omega = 2,8\%$)		
průměr	392,35	průměr	400,74	406,65
max.	443,49	max.	454,71	460,82
min.	363,86	min.	350,32	354,97
sm. odch.	26,64	sm. odch.	32,21	33,06

Hustota					
Sada vzorků: III ($\omega = 36,7\%$)			Sada vzorků: IV ($\omega = 78,5\%$)		
průměr	403,33	486,34	průměr	388,80	611,51
max.	442,90	545,50	max.	433,72	647,72
min.	347,85	418,41	min.	333,03	571,94
sm. odch.	27,88	38,51	sm. odch.	26,64	22,99

Hustota					
Sada vzorků: V ($\omega = 20,9\%$)			Sada vzorků: VI ($\omega = 119,3\%$)		
průměr	372,76	410,70	průměr	366,61	707,69
max.	437,43	478,63	max.	416,35	776,78
min.	339,04	366,88	min.	315,87	659,02
sm. odch.	35,89	37,41	sm. odch.	31,16	33,73

V tabulce na další stránce jsou hodnoty hustot jednotlivých sad vzorků pro větší přehlednost seřazeny podle vlhkosti a zaokrouhleny na nejbližších 5 kg/m³. Hustota při vlhkosti 0 % se vypočítala jako aritmetický průměr hustot všech vysušených vzorků, což činilo 387,73 kg/m³.

Tab. 12: Hodnoty hustot seřazené podle vlhkosti

SADA VZORKŮ	I	II	V	III	IV	VI
HUSTOTA [kg/m ³]	390	405	410	485	610	710
VLHKOST [%]	0,0	2,8	20,9	36,7	78,5	119,3



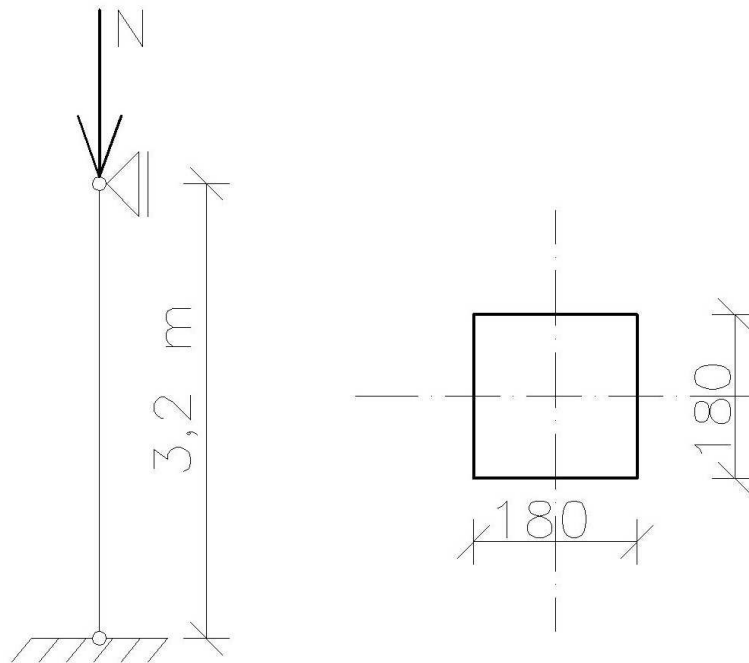
Graf 10: Závislost hustoty na vlhkosti

Z grafu vyplývá, že hustota dřevěných prvků roste s vlhkostí v celém rozsahu vlhkostí dřeva. Hustota dřeva se zvyšuje v závislosti na vlhkosti lineárně, což je patrné z grafu. Průměrná hodnota hustoty sady vzorků V sice vyšla menší, než by měla podle závislosti být, což nejspíše způsobuje nedostatečný počet zkušebních vzorků v sadě.

6.6 Posouzení prvku na tlak

Pro posouzení dřevěného prvku na tlak se uvažuje celistvý prvek čtvercového průřezu o šířce strany 180 mm. Jedná se o oboustranně kloubově uložený prut o délce 3,2 m. Kritické délky $L_{cr,y}$ a $L_{cr,z}$ se rovnají délce prvku, protože součinitel β zohledňující druh uložení je roven jedné. Prvek se podle vypočítané pevnosti v tlaku rovnoběžně s vlákny zařídil do třídy C35. Zatížení na prvek se uvažuje střednědobou normálovou silou $N_{Ed} = 160$ kN. Jelikož se prvek nachází v exteriéru (třída provozu 3), jedná se o rostlé dřevo a trvání zatížení odpovídá střednědobému zatížení, tak modifikační součinitel k_{mod} zohledňující se při výpočtu návrhové pevnosti dřeva je roven 0,65. Z důvodu, že se jedná o

rostlé dřevo, se součinitel β_c rovná 0,2. Statické schéma a průřez prvku jsou zobrazeny na následujícím obrázku.



Obr. 16: Statické schéma a průřez dřevěného prvku

Vstupní údaje:

Zatřídění dřeva: C35

Normálová síla N_{Ed} : 160 kN

Modifikační součinitel k_{mod} : 0,65

Dílčí součinitel vlastností materiálu γ_m : 1,3 (pro rostlé dřevo)

Modul pružnosti $E_{0,05}$: 8,7 GPa

Pevnost materiálu v tlaku $f_{c,0,k}$: 25 MPa

Součinitel β_c : 0,2 (pro rostlé dřevo)

Průřez prvku: 180 x 180 mm

Délka prvku 3,2 m

Výpočet plochy průřezu:

$$A = a \cdot b = 0,18 \cdot 0,18 = 0,0324 \text{ m}^2$$

Výpočet momentu setrvačnosti:

$$I_y = I_z = \frac{1}{12} \cdot a \cdot b^3 = \frac{1}{12} \cdot 0,18 \cdot 0,18^3 = 8,75 \cdot 10^{-5} \text{ m}^4$$

Výpočet poloměru setrvačnosti:

$$i_y = i_z = \sqrt{\frac{I_y}{A}} = \sqrt{\frac{8,75 \cdot 10^{-5}}{0,0324}} = 0,0520 \text{ m}$$

Výpočet normálového napětí v průřezu:

$$\sigma_{c,0,d} = \frac{N_{Ed}}{A} = \frac{160}{0,0324} = 4938 \text{ kPa} = 4,94 \text{ MPa}$$

Výpočet štíhlosti:

$$\lambda_y = \lambda_z = \frac{L_{cr,y}}{i_y} = \frac{3,2}{0,0520} = 61,584$$

Výpočet kritického napětí:

$$\sigma_{c,crit,y} = \sigma_{c,crit,z} = \frac{\pi^2 \cdot E_{0,05}}{\lambda_y^2} = \frac{\pi^2 \cdot 8,7 \cdot 10^3}{61,584^2} = 22,64 \text{ MPa}$$

Výpočet relativního štíhlostního poměru:

$$\lambda_{rel,y} = \lambda_{rel,z} = \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{\sigma_{c,crit,y}}} = \sqrt{\frac{25}{22,64}} = 1,051$$

Výpočet součinitele k:

$$k_y = k_z = 0,5 \cdot [1 + \beta_c \cdot (\lambda_{rel} - 0,3) + \lambda_{rel}^2] = 0,5 \cdot [1 + 0,2 \cdot (1,051 - 0,3) + 1,051^2]$$

$$k_y = 1,127$$

Výpočet součinitele vzpěrnosti:

$$k_{c,y} = k_{c,z} = \frac{1}{k + \sqrt{k^2 - \lambda_{rel}^2}} = \frac{1}{1,127 + \sqrt{1,127^2 - 1,051^2}} = 0,651$$

Posouzení prvku při vlhkosti $\omega = 2,8 \%$:

Při vlhkosti 2,8 % se zjistila průměrná pevnost v tlaku rovnoběžně s vlákny 42,64 MPa

Výpočet pevnosti dřeva:

$$f_{c,0,d} = k_c \cdot k_{mod} \cdot \frac{f_{c,0,k}}{\gamma_m} = 0,651 \cdot 0,65 \cdot \frac{42,64}{1,3} = 13,88 \text{ MPa}$$

Podmínka spolehlivosti:

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{f_{c,0,d}} = \frac{4,94}{13,88} = 0,356 \leq 1,0$$

VYHOVUJE

Posouzení prvku při vlhkosti $\omega = 78,5 \%$:

Vlhkost 78,5 % odpovídá vlhkosti prvku ponořeného ve vodě po dobu 7 dní. Můžeme si to představit jako prvek, který je při povodních 7 dní trvale pod vodou. Při vlhkosti 78,5 % se zjistila průměrná pevnost v tlaku rovnoběžně s vlákny 15,42 MPa.

Výpočet pevnosti dřeva:

$$f_{c,0,d} = k_c \cdot k_{\text{mod}} \cdot \frac{f_{c,0,k}}{\gamma_m} = 0,651 \cdot 0,65 \cdot \frac{15,42}{1,3} = 5,02 \text{ MPa}$$

Podmínka spolehlivosti:

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{f_{c,0,d}} = \frac{4,94}{5,02} = 0,983 \leq 1,0$$

VYHOVUJE

Prvek se řešil jako kloubově uložený prut v jeho hlavě i patě. Prvek vyhověl při běžné vlhkosti (uvažováno $\omega = 2,8 \%$) na vzpěrný tlak s 64,4% rezervou. Při vlhkosti odpovídající vlhkosti týden ponořeného prvku při povodních (uvažováno $\omega = 78,5 \%$) prvek taktéž vyhověl na vzpěrný tlak, ovšem pouze s minimální 1,7% rezervou. [26]

7. Závěr

Bakalářská práce se zaměřovala na vliv vlhkosti na fyzikální a mechanické vlastnosti dřeva. V případě této práce se jednalo o dřevo smrkové. Touto prací se potvrdilo, že s rostoucí vlhkostí dřeva se jeho pevnost v tlaku rovnoběžně s vlákny snižuje, avšak pouze do meze nasycení buněčných stěn, což odpovídá vlhkosti přibližně 30 %. S vlhkostí nad touto mezí se hodnoty pevností měnily pouze minimálně. Pevnost se snížila z hodnoty 47,57 MPa při vysušených vzorcích až na hodnotu kolem 15 MPa, což je oproti pevnosti při vysušených vzorcích přibližně třetinová pevnost. Dále se potvrdilo, že se stoupající vlhkostí v rozmezí 0 – 30 % do meze nasycení buněčných stěn dochází i k rozměrovým změnám, v případě stoupající vlhkosti k bobtnání. Bobtnání se však také nad mezí nasycení buněčných stěn s vlhkostí již nemění. Práce nám potvrdila, že bobtnání v podélném směru dosahuje hodnot v rozmezí 0,1 – 0,4 %, což potvrzuje hodnota maximálního bobtnání pohybující se přibližně kolem 0,3 %. Dále se zjistilo, že radiální bobtnání, jehož hodnoty se běžně pohybují mezi 3 – 6 %, dosahuje hodnot mezi 4 – 5 % a tangenciální bobtnání, jehož hodnoty jsou obvykle mezi 6 – 12 %, dosahuje hodnot přibližně kolem 8 %. Práce dále potvrdila, že hustota dřeva roste s vlhkostí v celém rozsahu vlhkostí. Graficky bylo dokázáno, že závislost mezi hustotou a vlhkostí je přibližně lineární.

8. Seznamy

8.1 Seznam použité literatury a zdrojů

- [1] SVOBODA, Luboš. a kolektiv, *Stavební hmoty*. 3. vyd. Praha: 2013, 950 s. ISBN 978-80-260-4972-2
- [2] VYMAZAL, Tomáš. a kolektiv, *Stavební látky - cvičebnice*. 2., aktualiz. vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2011, 118 s. ISBN 978-80-7204-720-8.
- [3] KLOIBER, Michal. *Nedestruktivní zjišťování vlastností dřeva*. Brno, 2007, 208 s. Dizertační práce. Mendelova Univerzita v Brně.
- [4] BALAS, Ondřej. *Diagnostické metody pro hodnocení stavu dřevěné konstrukce*. Brno, 2013. 66 s., 8 s. příl. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav stavebního zkušebnictví. Vedoucí práce Ing. Věra Heřmánková, Ph.D.
- [5] HEŘMÁNKOVÁ, Věra. *BI01 Stavební látky: Dřevo, dřevěné výrobky a konstrukce*. Brno: VUT Brno, FAST, Ústav stavebního zkušebnictví. Přednáška
- [6] ČSN 73 2824-1. *Třídění dřeva podle pevnosti – Část 1: Jehličnaté řezivo*. Praha: ÚNMZ, 2011.
- [7] ČSN EN 13183-1. *Vlhkost vzorku řeziva – Část 1: Stanovení váhovou metodou*. Praha: ÚNMZ, 2002.
- [8] ČSN EN 408 *Dřevěné konstrukce – Konstrukční dřevo a lepené lamelové dřevo – Stanovení některých fyzikálních a mechanických vlastností*. Praha: ÚNMZ, 2012.
- [9] ČSN EN 384 *Konstrukční dřevo – Stanovení charakteristických hodnot mechanických vlastností a hustoty*. Praha: ÚNMZ, 2010.
- [10] ČSN 49 0126. *Skúšky vlastností rastlého dreva. Metóda zisťovania napúčavosti*. Praha: ČESKÝ NORMALIZAČNÍ INSTITUT, 1989.
- [11] Mikroskopická stavba listnatých dřevin. *Nábytkářský informační systém* [online]. 2013 [cit. 2015-05-20]. Dostupné z: <http://www.n-i-s.cz/cz/mikroskopicka-stavba-listnatych-drevin/page/322/>
- [12] Mikroskopická stavba jehličnatých dřevin. *Nábytkářský informační systém* [online]. 2013 [cit. 2015-05-20]. Dostupné z: <http://www.n-i-s.cz/cz/mikroskopicka-stavba-jehlicnatych-drevin/page/321/>
- [13] Makroskopická stavba dřeva. *Nauka o materiálech* [online]. 2011 [cit. 2015-05-20]. Dostupné z: <http://evawolna.sweb.cz/prvak-mat3.php>

- [14] Kmen (botanika). *Wikipedia.org* [online]. 10.2.2015 [cit. 2015-05-20]. Dostupné z: [http://cs.wikipedia.org/wiki/Kmen_\(botanika\)#/media/File:Kmen.svg](http://cs.wikipedia.org/wiki/Kmen_(botanika)#/media/File:Kmen.svg)
- [15] Vysychání a objemové změny. *Roubenky a sruby* [online]. 4.5.2015 [cit. 2015-05-20]. Dostupné z: <http://www.roubenkyasruby.cz/o-drevu/sesychani>
- [16] MIKŠÁTKO, Josef. *Poruchy dřevěných podlah. Parket atelier* [online]. nevedeno [cit. 2015-05-20]. Dostupné z: <http://www.parketatelier.cz/poruchy-drevenych-podlah-47>
- [17] Vliv vlhkosti na dřevo a materiály na bázi dřeva. *Nábytkářský informační systém* [online]. 2013 [cit. 2015-05-20]. Dostupné z: <http://www.n-i-s.cz/cz/vliv-vlhkosti-na-drevo-a-materialy-na-bazi-dreva/page/475/>
- [18] Dřevomorka domácí. *Škůdci.com* [online]. nevedeno [cit. 2015-02-08]. Dostupné z: <http://www.skudci.com/drevomorka-domaci>
- [19] Koniofora sklepní (*Coniophora puteana*). *Ekowood* [online]. nevedeno [cit. 2015/02/05]. Dostupné z: <http://www.ekowood.cz/nabizene-sluzby/pruzkum/drevokazne-houby/koniofora-sklepni-coniophora-puteana/>
- [20] Trámovka plotní. *Škůdci.com* [online]. nevedeno [cit. 2015-02-08]. Dostupné z: <http://www.skudci.com/tramovka-plotni>
- [21] Biotičtí škůdci dřeva. *drevari.humlak.cz* [online]. nevedeno [cit. 2015-02-08]. Dostupné z: http://drevari.humlak.cz/data_web/Data_skola/HUdrevu/3.pdf
- [22] Tesařík krovový. *Asana spol. s r.o.* [online]. 2015 [cit. 2015-05-20]. Dostupné z: <http://www.asanahk.cz/polozka-tesarik-krovovy-detail-26>
- [23] Pilořitky. *Leccos* [online]. nevedeno [cit. 2015-05-20]. Dostupné z: <http://leccos.com/index.php/clanky/piloritky>
- [24] Dřevokazný hmyz. *Červoděs* [online]. 2015 [cit. 2015-05-20]. Dostupné z: <http://www.cervodes.eu/inpage/drevokazny-hmyz/>
- [25] Kapitoly o havěti: Kůrovec. *Česká televize* [online]. 2009 [cit. 2015-05-20]. Dostupné z: <http://www.ceskatelevize.cz/porady/10214729714-kapitolky-o-haveti/209572230550007-kurovec/>
- [26] KUKLÍK, Petr. *Dimenzování prvků dřevěných konstrukcí. proLignum* [online]. nevedeno [cit. 2015-05-24]. Dostupné z: http://www.prolignum.cz/fileadmin/prolignum/media.cz/7_Dimenzovani_prvku_dr-evenych_konstrukci_Petr_Kuklik.pdf

8.2 Seznam tabulek

<i>Tab. 1: Změna pevnosti při změně vlhkosti o 1 %</i>	25
<i>Tab. 2: Přehled maximálních zatížení na jednotlivé vzorky</i>	38
<i>Tab. 3: Vypočtené vlhkosti jednotlivých vzorků</i>	39
<i>Tab. 4: Hodnoty průměrných pevností dřeva v tlaku rovnoběžně s vlákny</i>	40
<i>Tab. 5: Pevnosti v tlaku rovnoběžně s vlákny seřazené podle vlhkosti</i>	40
<i>Tab. 6: Hodnoty podélného bobtnání seřazené podle vlhkosti</i>	42
<i>Tab. 7: Hodnoty tangenciálního bobtnání seřazené podle vlhkosti</i>	43
<i>Tab. 8: Hodnoty radiálního bobtnání seřazené podle vlhkosti</i>	43
<i>Tab. 9: Hodnoty příčného bobtnání seřazené podle vlhkosti</i>	44
<i>Tab. 10: Hodnoty objemového bobtnání seřazené podle vlhkosti</i>	44
<i>Tab. 11: Hodnoty průměrných hustot dřeva</i>	46
<i>Tab. 12: Hodnoty hustot seřazené podle vlhkosti</i>	47

8.3 Seznam grafů

<i>Graf 1: Chemické složení dřeva</i>	12
<i>Graf 2: Závislost dřeva na relativní vlhkosti vzduchu [16]</i>	20
<i>Graf 3: Závislost pevnosti v tlaku rovnoběžně s vlákny na vlhkosti</i>	41
<i>Graf 4: Závislost podélného bobtnání na vlhkosti</i>	42
<i>Graf 5: Závislost tangenciálního bobtnání na vlhkosti</i>	43
<i>Graf 6: Závislost radiálního bobtnání na vlhkosti</i>	43
<i>Graf 7: Závislost příčného bobtnání na vlhkosti</i>	44
<i>Graf 8: Závislost objemového bobtnání na vlhkosti</i>	44
<i>Graf 9: Rozdíl mezi jednotlivými bobtnáními</i>	45
<i>Graf 10: Závislost hustoty na vlhkosti</i>	47

8.4 Seznam obrázků

<i>Obr. 1: Mikroskopická stavba jehličnatého (vlevo) a listnatého dřeva (vpravo) [11][12].</i>	13
<i>Obr. 2: Schéma základních řezů kmenem (příčný, radiální, tangenciální) [13]</i>	14
<i>Obr. 3: Řez kmenem stromu [14].....</i>	15
<i>Obr. 4: Základní směry zkoušení vlastností dřeva [12].....</i>	18
<i>Obr. 5: Princip vysychání dřeva [15].....</i>	19
<i>Obr. 6: Druhy příčného borcení dřeva [17]</i>	23
<i>Obr. 7: Dřevomorka domácí (Serpula lacrymans) [18].....</i>	28
<i>Obr. 8: Koniofora sklepní (Coniophora puteana) [19]</i>	29
<i>Obr. 9: Trámovka plotní (Gloeophyllum sepiarium) [20].....</i>	29
<i>Obr. 10: Tesařík krovový – vlevo [22], piložítka – vpravo [23]</i>	31
<i>Obr. 11: Červotoč umrlčí – vlevo [24], kůrovec – vpravo [25]</i>	32
<i>Obr. 12: Fotodokumentace zkušebních vzorků.....</i>	35
<i>Obr. 13: Měřené rozměry na vzorcích.....</i>	36
<i>Obr. 14: Fotodokumentace vlhčení zkušebních vzorků</i>	36
<i>Obr. 15: Fotodokumentace a schéma zkoušky pevnosti v tlaku rovnoběžně s vlákny</i>	37
<i>Obr. 16: Statické schéma a průřez dřevěného prvku.....</i>	48

8.5 Seznam příloh

Příloha 1: Tabulka naměřených hodnot na vysušených vzorcích.....	I
Příloha 2: Tabulka naměřených hodnot na vlhkých vzorcích.....	IV
Příloha 3: Tabulka vypočítaných pevností jednotlivých vzorků.....	VII
Příloha 4: Tabulka vypočítaných bobtnání jednotlivých vzorků.....	VIII
Příloha 5: Tabulka vypočítaných hustot jednotlivých vzorků.....	XI

Příloha 1: Tabulka naměřených hodnot na vysušených vzorcích

Sada vzorků: I									
Vysušený stav ($w = 0 \%$)									
číslo vz.	m [g]	l [mm]	a ₁ [mm]	a ₂ [mm]	a [mm]	b ₁ [mm]	b ₂ [mm]	b [mm]	V [cm ³]
I-1	38,22	150,24	24,66	24,82	24,74	24,88	24,99	24,94	92,68
I-2	39,64	151,19	24,75	24,85	24,80	24,86	24,75	24,81	93,01
I-3	34,36	149,78	24,53	24,61	24,57	24,94	24,89	24,92	91,69
I-4	38,23	151,56	24,69	24,86	24,78	24,91	24,89	24,90	93,50
I-5	34,80	150,01	24,57	24,69	24,63	24,79	24,86	24,83	91,72
I-6	33,91	149,40	24,36	24,55	24,46	24,72	24,69	24,71	90,26
I-7	32,63	150,99	24,15	24,11	24,13	24,10	23,81	23,96	87,28
I-8	40,63	150,20	24,62	24,52	24,57	24,77	24,88	24,83	91,61
I-9	32,52	150,16	24,33	23,82	24,08	24,67	24,63	24,65	89,11
I-10	32,51	150,51	24,11	23,87	23,99	24,80	24,69	24,75	89,35
průměr	35,75	150,40	24,48	24,47	24,47	24,74	24,71	24,73	91,02

Sada vzorků: II									
Vysušený stav ($w = 0 \%$)									
číslo vz.	m [g]	l [mm]	a ₁ [mm]	a ₂ [mm]	a [mm]	b ₁ [mm]	b ₂ [mm]	b [mm]	V [cm ³]
II-1	33,09	149,55	24,22	24,30	24,26	24,70	24,49	24,60	89,23
II-2	39,39	151,44	24,85	24,80	24,83	24,84	24,91	24,88	93,52
II-3	35,95	150,48	23,61	23,63	23,62	24,00	23,90	23,95	85,13
II-4	35,05	150,10	24,63	24,51	24,57	24,86	24,83	24,85	91,63
II-5	38,74	151,50	24,69	24,72	24,71	24,35	24,00	24,18	90,48
II-6	41,69	150,35	24,42	24,62	24,52	24,84	24,90	24,87	91,69
II-7	38,95	149,87	24,89	24,80	24,85	24,78	24,78	24,78	92,27
II-8	31,88	150,45	24,34	24,43	24,39	24,78	24,83	24,81	91,00
II-9	32,68	149,38	24,38	24,43	24,41	24,80	24,82	24,81	90,45
II-10	34,19	148,25	24,13	24,04	24,09	24,32	24,30	24,31	86,80
průměr	36,16	150,14	24,42	24,43	24,42	24,63	24,58	24,60	90,22

Příloha 1: Tabulka naměřených hodnot na vysušených vzorcích

Sada vzorků: III									
Vysušený stav ($\omega = 0 \%$)									
číslo vz.	m [g]	l [mm]	a ₁ [mm]	a ₂ [mm]	a [mm]	b ₁ [mm]	b ₂ [mm]	b [mm]	V [cm ³]
III-1	30,79	149,64	24,02	23,77	23,90	24,76	24,75	24,76	88,52
III-2	33,67	149,32	23,66	23,58	23,62	24,54	24,48	24,51	86,45
III-3	40,69	149,92	24,73	24,69	24,71	24,81	24,79	24,80	91,87
III-4	38,48	149,50	24,78	24,81	24,80	24,68	24,85	24,77	91,80
III-5	33,10	151,30	23,87	23,83	23,85	24,13	24,13	24,13	87,07
III-6	40,52	151,34	24,75	24,84	24,80	24,84	24,90	24,87	93,32
III-7	34,65	150,51	24,13	24,12	24,13	24,67	24,64	24,66	89,52
III-8	34,94	150,03	24,20	24,39	24,30	24,64	24,73	24,69	89,98
III-9	38,98	151,24	24,55	24,73	24,64	24,74	25,00	24,87	92,68
III-10	38,88	149,74	24,73	24,71	24,72	24,78	24,81	24,80	91,78
průměr	36,47	150,25	24,34	24,35	24,34	24,66	24,71	24,68	90,30

Sada vzorků: IV									
Vysušený stav ($\omega = 0 \%$)									
číslo vz.	m [g]	l [mm]	a ₁ [mm]	a ₂ [mm]	a [mm]	b ₁ [mm]	b ₂ [mm]	b [mm]	V [cm ³]
IV-1	35,69	149,75	24,44	24,55	24,50	24,92	24,94	24,93	91,45
IV-2	34,19	149,45	24,66	24,60	24,63	24,66	24,62	24,64	90,70
IV-3	35,50	150,65	24,16	24,26	24,21	24,13	24,29	24,21	88,30
IV-4	35,05	150,22	24,63	24,68	24,66	24,93	25,02	24,98	92,50
IV-5	33,96	148,66	24,18	24,14	24,16	24,19	24,21	24,20	86,92
IV-6	40,18	150,02	24,75	24,77	24,76	24,95	24,93	24,94	92,64
IV-7	29,90	149,97	24,38	24,45	24,42	24,53	24,51	24,52	89,78
IV-8	38,91	149,81	24,77	24,79	24,78	24,77	24,70	24,74	91,82
IV-9	33,38	150,24	24,43	24,35	24,39	24,55	24,60	24,58	90,05
IV-10	32,79	148,29	24,00	23,83	23,92	23,90	23,77	23,84	84,53
průměr	34,96	149,71	24,44	24,44	24,44	24,55	24,56	24,56	89,87

Příloha 1: Tabulka naměřených hodnot na vysušených vzorcích

Sada vzorků: V									
Vysušený stav ($\omega = 0 \%$)									
číslo vz.	m [g]	l [mm]	a ₁ [mm]	a ₂ [mm]	a [mm]	b ₁ [mm]	b ₂ [mm]	b [mm]	V [cm ³]
V-1	41,08	151,38	24,80	24,87	24,84	24,93	25,03	24,98	93,91
V-2	37,88	150,63	24,22	24,09	24,16	24,55	24,53	24,54	89,29
V-3	37,97	150,90	24,66	24,75	24,71	24,37	24,87	24,62	91,78
V-4	31,21	150,26	24,71	24,54	24,63	24,60	24,72	24,66	91,25
V-5	31,48	151,52	24,53	24,68	24,61	24,92	24,89	24,91	92,85
V-6	31,54	149,69	23,67	23,70	23,69	24,41	24,44	24,43	86,60
V-7	30,37	149,94	24,30	24,07	24,19	24,57	24,57	24,57	89,10
V-8	31,29	150,35	24,12	24,35	24,24	24,70	24,46	24,58	89,56
V-9	32,67	151,40	24,77	24,89	24,83	24,99	25,04	25,02	94,04
V-10	33,72	150,41	24,46	24,57	24,52	24,78	24,74	24,76	91,30
průměr	33,92	150,65	24,42	24,45	24,44	24,68	24,73	24,71	90,97

Sada vzorků: VI									
Vysušený stav ($\omega = 0 \%$)									
číslo vz.	m [g]	l [mm]	a ₁ [mm]	a ₂ [mm]	a [mm]	b ₁ [mm]	b ₂ [mm]	b [mm]	V [cm ³]
VI-1	28,47	149,28	24,42	24,42	24,42	24,72	24,73	24,73	90,13
VI-2	31,81	150,63	24,78	24,56	24,67	24,82	24,77	24,80	92,14
VI-3	33,31	149,58	24,30	24,35	24,33	24,83	24,66	24,75	90,04
VI-4	29,07	150,10	24,37	24,35	24,36	24,79	24,83	24,81	90,72
VI-5	38,48	151,55	24,75	24,55	24,65	24,79	24,69	24,74	92,42
VI-6	31,61	149,38	23,96	23,96	23,96	24,34	24,24	24,29	86,94
VI-7	31,70	150,95	23,83	23,62	23,73	24,50	24,46	24,48	87,67
VI-8	33,87	151,45	23,80	23,83	23,82	24,56	24,54	24,55	88,55
VI-9	37,14	151,06	24,35	24,60	24,48	24,88	24,92	24,90	92,06
VI-10	36,03	151,14	24,73	24,74	24,74	24,92	24,88	24,90	93,09
průměr	33,15	150,51	24,33	24,30	24,31	24,72	24,67	24,69	90,37

Příloha 2: Tabulka naměřených hodnot na vlhkých vzorcích

Sada vzorků: II									
Vlhký stav ($\omega > 0\%$)									
číslo vz.	m [g]	l [mm]	a ₁ [mm]	a ₂ [mm]	a [mm]	b ₁ [mm]	b ₂ [mm]	b [mm]	V [cm ³]
II-1	34,04	149,64	24,51	24,49	24,50	24,83	24,61	24,72	90,63
II-2	40,59	151,65	24,97	24,94	24,96	24,99	25,01	25,00	94,61
II-3	36,86	150,68	23,76	23,76	23,76	24,18	24,09	24,14	86,41
II-4	36,04	150,35	24,75	24,62	24,69	24,98	24,95	24,97	92,65
II-5	40,05	151,67	24,80	24,77	24,79	24,53	24,26	24,40	91,70
II-6	42,63	150,48	24,54	24,70	24,62	24,94	25,00	24,97	92,51
II-7	40,00	150,02	24,97	24,90	24,94	24,87	24,92	24,90	93,13
II-8	32,72	150,64	24,49	24,59	24,54	24,92	24,95	24,94	92,18
II-9	33,60	149,61	24,50	24,64	24,57	24,93	25,02	24,98	91,81
II-10	35,10	148,58	24,26	24,20	24,23	24,53	24,43	24,48	88,13
průměr	37,16	150,33	24,56	24,56	24,56	24,77	24,72	24,75	91,38

Sada vzorků: III									
Vlhký stav ($\omega > 0\%$)									
číslo vz.	m [g]	l [mm]	a ₁ [mm]	a ₂ [mm]	a [mm]	b ₁ [mm]	b ₂ [mm]	b [mm]	V [cm ³]
III-1	42,88	150,05	26,71	26,39	26,55	25,72	25,73	25,73	102,48
III-2	44,44	149,84	25,57	25,57	25,57	25,41	25,57	25,49	97,66
III-3	51,91	150,47	26,01	25,89	25,95	25,80	25,70	25,75	100,55
III-4	57,34	149,88	26,54	26,41	26,48	26,26	26,72	26,49	105,11
III-5	45,41	151,84	25,66	25,67	25,67	25,48	25,55	25,52	99,43
III-6	55,18	151,80	26,85	27,11	26,98	26,02	26,11	26,07	106,75
III-7	46,29	150,98	26,26	26,36	26,31	25,54	25,60	25,57	101,57
III-8	48,37	150,57	26,24	26,41	26,33	25,64	25,90	25,77	102,15
III-9	55,73	151,53	26,52	26,69	26,61	26,05	26,20	26,13	105,32
III-10	50,84	150,22	25,92	26,01	25,97	26,28	26,26	26,27	102,47
průměr	49,84	150,72	26,23	26,25	26,24	25,82	25,93	25,88	102,35

Příloha 2: Tabulka naměřených hodnot na vlhkých vzorcích

Sada vzorků: IV									
Vlhký stav ($\omega > 0\%$)									
číslo vz.	m [g]	l [mm]	a ₁ [mm]	a ₂ [mm]	a [mm]	b ₁ [mm]	b ₂ [mm]	b [mm]	V [cm ³]
IV-1	59,46	150,51	26,09	26,13	26,11	25,53	25,40	25,47	100,07
IV-2	61,51	150,05	25,96	25,95	25,96	26,22	26,26	26,24	102,19
IV-3	65,61	151,15	26,44	26,54	26,49	25,57	25,58	25,58	102,40
IV-4	62,60	150,70	26,90	26,80	26,85	25,80	25,96	25,88	104,72
IV-5	59,74	149,17	25,54	25,73	25,64	25,87	25,85	25,86	98,89
IV-6	65,81	150,72	26,50	26,54	26,52	25,67	25,71	25,69	102,69
IV-7	58,75	150,59	26,09	26,13	26,11	26,13	26,12	26,13	102,72
IV-8	66,56	150,16	26,16	26,30	26,23	26,33	25,85	26,09	102,76
IV-9	63,00	150,93	26,41	26,37	26,39	25,73	25,96	25,85	102,94
IV-10	58,72	148,78	25,85	25,98	25,92	25,19	25,25	25,22	97,24
průměr	62,18	150,28	26,19	26,25	26,22	25,80	25,79	25,80	101,66

Sada vzorků: V									
Vlhký stav ($\omega > 0\%$)									
číslo vz.	m [g]	l [mm]	a ₁ [mm]	a ₂ [mm]	a [mm]	b ₁ [mm]	b ₂ [mm]	b [mm]	V [cm ³]
V-1	49,63	151,68	26,61	26,19	26,40	26,01	25,78	25,90	103,69
V-2	45,66	150,98	25,71	25,68	25,70	25,98	25,81	25,90	100,46
V-3	47,42	151,12	26,21	26,38	26,30	25,60	26,08	25,84	102,68
V-4	38,43	150,86	25,72	25,59	25,66	25,86	25,52	25,69	99,43
V-5	39,06	151,85	25,72	25,79	25,76	25,70	25,67	25,69	100,45
V-6	38,42	150,12	25,41	25,37	25,39	25,18	25,19	25,19	95,99
V-7	36,23	150,39	26,05	25,41	25,73	25,59	25,45	25,52	98,75
V-8	37,05	150,81	25,90	25,68	25,79	25,51	25,28	25,40	98,77
V-9	39,18	151,77	25,87	25,95	25,91	25,66	25,53	25,60	100,65
V-10	39,14	150,92	25,38	25,36	25,37	25,21	25,25	25,23	96,60
průměr	41,02	151,05	25,86	25,74	25,80	25,63	25,56	25,59	99,75

Příloha 2: Tabulka naměřených hodnot na vlhkých vzorcích

Sada vzorků: VI									
Vlhký stav ($\omega > 0\%$)									
číslo vz.	m [g]	l [mm]	a ₁ [mm]	a ₂ [mm]	a [mm]	b ₁ [mm]	b ₂ [mm]	b [mm]	V [cm ³]
VI-1	65,37	149,84	26,10	26,19	26,15	25,30	25,34	25,32	99,19
VI-2	72,35	150,97	26,41	26,18	26,30	26,26	26,07	26,17	103,87
VI-3	72,18	150,11	26,36	26,62	26,49	25,95	25,79	25,87	102,87
VI-4	71,08	150,85	26,34	26,81	26,58	25,61	25,68	25,65	102,81
VI-5	81,92	151,76	26,66	26,57	26,62	26,08	26,14	26,11	105,46
VI-6	69,00	149,87	25,92	26,07	26,00	25,16	25,17	25,17	98,04
VI-7	69,53	151,46	25,90	26,04	25,97	25,47	25,56	25,52	100,36
VI-8	69,53	151,97	26,26	25,94	26,10	25,48	25,30	25,39	100,71
VI-9	79,36	151,34	26,16	26,58	26,37	25,96	26,07	26,02	103,82
VI-10	74,11	151,37	26,96	26,99	26,98	25,96	25,89	25,93	105,86
průměr	72,44	150,95	26,31	26,40	26,35	25,72	25,70	25,71	102,30

Příloha 3: Tabulka vypočítaných pevností jednotlivých vzorků

Pevnost $f_{c,0}$											
Sada vzorků: I ($\omega = 0\%$)				Sada vzorků: II ($\omega = 2,8\%$)				Sada vzorků: III ($\omega = 36,7\%$)			
č. vz.	F_{max} [kN]	A [mm ²]	$f_{c,0}$ [MPa]	č. vz.	F_{max} [kN]	A [mm ²]	$f_{c,0}$ [MPa]	č. vz.	F_{max} [kN]	A [mm ²]	$f_{c,0}$ [MPa]
I-1	35,5	616,89	57,55	II-1	25,8	605,64	42,60	III-1	8,4	683,00	12,30
I-2	30,2	615,16	49,09	II-2	36,0	623,88	57,70	III-2	10,9	651,78	16,72
I-3	22,0	612,16	35,94	II-3	34,1	573,45	59,46	III-3	12,8	668,21	19,16
I-4	27,2	616,90	44,09	II-4	20,0	616,26	32,45	III-4	7,5	701,32	10,69
I-5	20,7	611,44	33,85	II-5	25,5	604,63	42,17	III-5	7,4	654,84	11,30
I-6	25,9	604,16	42,87	II-6	26,2	614,76	42,62	III-6	12,1	703,23	17,21
I-7	25,7	578,03	44,46	II-7	24,1	620,76	38,82	III-7	9,6	672,75	14,27
I-8	35,9	609,95	58,86	II-8	25,6	611,90	41,84	III-8	6,3	678,40	9,29
I-9	35,3	593,45	59,48	II-9	10,6	613,64	17,27	III-9	8,0	695,06	11,51
I-10	29,4	593,63	49,53	II-10	30,5	593,15	51,42	III-10	8,8	682,10	12,90
průměr			47,57	průměr			42,64	průměr			13,53
max.			59,48	max.			59,46	max.			19,16
min.			33,85	min.			17,27	min.			9,29
sm. odch.			8,62	sm. odch.			11,62	sm. odch.			3,05
Sada vzorků: IV ($\omega = 78,5\%$)				Sada vzorků: V ($\omega = 20,9\%$)				Sada vzorků: VI ($\omega = 119,3\%$)			
číslo vz.	F_{max} [kN]	A [mm ²]	$f_{c,0}$ [MPa]	číslo vz.	F_{max} [kN]	A [mm ²]	$f_{c,0}$ [MPa]	číslo vz.	F_{max} [kN]	A [mm ²]	$f_{c,0}$ [MPa]
IV-1	12,1	664,89	18,20	V-1	12,8	683,63	18,72	VI-1	11,0	661,99	16,62
IV-2	11,0	681,06	16,15	V-2	12,5	665,37	18,79	VI-2	10,2	688,01	14,83
IV-3	11,1	677,48	16,38	V-3	11,3	679,46	16,63	VI-3	10,2	685,30	14,88
IV-4	9,6	694,88	13,82	V-4	8,2	659,08	12,44	VI-4	8,1	681,52	11,89
IV-5	10,4	662,92	15,69	V-5	8,7	661,52	13,15	VI-5	10,6	694,92	15,25
IV-6	11,6	681,30	17,03	V-6	10,5	639,45	16,42	VI-6	9,8	654,16	14,98
IV-7	8,4	682,12	12,31	V-7	9,3	656,63	14,16	VI-7	9,8	662,62	14,79
IV-8	10,2	684,34	14,90	V-8	10,2	654,94	15,57	VI-8	10,2	662,68	15,39
IV-9	9,4	682,05	13,78	V-9	10,5	663,17	15,83	VI-9	10,2	686,02	14,87
IV-10	10,4	653,58	15,91	V-10	12,4	640,09	19,37	VI-10	10,8	699,33	15,44
průměr			15,42	průměr			16,11	průměr			14,89
max.			18,20	max.			19,37	max.			16,62
min.			12,31	min.			12,44	min.			11,89
sm. odch.			1,65	sm. odch.			2,27	sm. odch.			1,13

Příloha 4: Tabulka vypočítaných bobtnání jednotlivých vzorků

Bobtnání [%]					
Sada vzorků: II ($\omega = 2,8 \%$)					
číslo vz.	PODÉLNÉ	TANGENCIÁLNÍ	RADIÁLNÍ	OBJEMOVÉ	PŘÍČNÉ
II-1	0,06	1,0	0,5	1,6	1,5
II-2	0,14	0,5	0,5	1,2	1,0
II-3	0,13	0,6	0,8	1,5	1,4
II-4	0,17	0,5	0,5	1,1	1,0
II-5	0,11	0,3	0,9	1,4	1,2
II-6	0,09	0,4	0,4	0,9	0,8
II-7	0,10	0,4	0,5	0,9	0,8
II-8	0,13	0,6	0,5	1,3	1,2
II-9	0,15	0,7	0,7	1,5	1,3
II-10	0,22	0,6	0,7	1,5	1,3
průměr	0,13	0,6	0,6	1,3	1,2
max.	0,22	1,0	0,9	1,6	1,5
min.	0,06	0,3	0,4	0,9	0,8
sm. odch.	0,04	0,2	0,2	0,2	0,2

Bobtnání [%]					
Sada vzorků: III ($\omega = 36,7 \%$)					
číslo vz.	PODÉLNÉ	TANGENCIÁLNÍ	RADIÁLNÍ	OBJEMOVÉ	PŘÍČNÉ
III-1	0,27	11,1	3,9	15,8	15,5
III-2	0,35	8,3	4,0	13,0	12,6
III-3	0,37	5,0	3,8	9,4	9,0
III-4	0,25	6,8	7,0	14,5	14,2
III-5	0,36	7,6	5,7	14,2	13,8
III-6	0,30	8,8	4,8	14,4	14,0
III-7	0,31	9,1	3,7	13,5	13,1
III-8	0,36	8,4	4,4	13,5	13,1
III-9	0,19	8,0	5,0	13,6	13,4
III-10	0,32	5,0	5,9	11,6	11,3
průměr	0,31	7,8	4,8	13,4	13,0
max.	0,37	11,1	7,0	15,8	15,5
min.	0,19	5,0	3,7	9,4	9,0
sm. odch.	0,05	1,7	1,0	1,7	1,7

Příloha 4: Tabulka vypočítaných bobtnání jednotlivých vzorků

Bobtnání [%]					
Sada vzorků: IV ($\omega = 78,5\%$)					
číslo vz.	PODÉLNÉ	TANGENCIÁLNÍ	RADIÁLNÍ	OBJEMOVÉ	PŘÍČNÉ
IV-1	0,51	6,6	2,1	9,4	8,9
IV-2	0,40	5,4	6,5	12,7	12,2
IV-3	0,33	9,4	5,6	16,0	15,6
IV-4	0,32	8,9	3,6	13,2	12,8
IV-5	0,34	6,1	6,9	13,8	13,4
IV-6	0,47	7,1	3,0	10,8	10,3
IV-7	0,41	6,9	6,5	14,4	13,9
IV-8	0,23	5,9	5,5	11,9	11,7
IV-9	0,46	8,2	5,2	14,3	13,8
IV-10	0,33	8,4	5,8	15,0	14,7
průměr	0,38	7,3	5,1	13,2	12,7
max.	0,51	9,4	6,9	16,0	15,6
min.	0,23	5,4	2,1	9,4	8,9
sm. odch.	0,08	1,3	1,5	1,9	1,9

Bobtnání [%]					
Sada vzorků: V ($\omega = 20,9\%$)					
číslo vz.	PODÉLNÉ	TANGENCIÁLNÍ	RADIÁLNÍ	OBJEMOVÉ	PŘÍČNÉ
V-1	0,20	6,3	3,7	10,4	10,2
V-2	0,23	6,4	5,5	12,5	12,2
V-3	0,15	6,4	5,0	11,9	11,7
V-4	0,40	4,2	4,2	9,0	8,5
V-5	0,22	4,7	3,1	8,2	8,0
V-6	0,29	7,2	3,1	10,9	10,5
V-7	0,30	6,4	3,9	10,8	10,5
V-8	0,31	6,4	3,3	10,3	9,9
V-9	0,24	4,3	2,3	7,0	6,8
V-10	0,34	3,5	1,9	5,8	5,5
průměr	0,27	5,6	3,6	9,7	9,4
max.	0,40	7,2	5,5	12,5	12,2
min.	0,15	3,5	1,9	5,8	5,5
sm. odch.	0,07	1,2	1,0	2,0	2,1

Příloha 4: Tabulka vypočítaných bobtnání jednotlivých vzorků

Bobtnání [%]					
Sada vzorků: VI ($\omega = 119,3\%$)					
číslo vz.	PODÉLNÉ	TANGENCIÁLNÍ	RADIÁLNÍ	OBJEMOVÉ	PŘÍČNÉ
VI-1	0,38	7,1	2,4	10,1	9,6
VI-2	0,23	6,6	5,5	12,7	12,5
VI-3	0,35	8,9	4,5	14,3	13,9
VI-4	0,50	9,1	3,4	13,3	12,8
VI-5	0,14	8,0	5,5	14,1	14,0
VI-6	0,33	8,5	3,6	12,8	12,4
VI-7	0,34	9,5	4,2	14,5	14,1
VI-8	0,34	9,6	3,4	13,7	13,3
VI-9	0,19	7,7	4,5	12,8	12,6
VI-10	0,15	9,1	4,1	13,7	13,5
průměr	0,29	8,4	4,1	13,2	12,9
max.	0,50	9,6	5,5	14,5	14,1
min.	0,14	6,6	2,4	10,1	9,6
sm. odch.	0,11	1,0	0,9	1,2	1,2

Příloha 5: Tabulka vypočítaných hustot jednotlivých vzorků

Hustota				
Sada vzorků: I ($\omega = 0\%$)		Sada vzorků: II ($\omega = 2,8\%$)		
číslo vz.	vysušené	číslo vz.	vysušené	vlhké
I-1	412,38	II-1	370,83	375,60
I-2	426,21	II-2	421,20	429,02
I-3	374,74	II-3	422,31	426,59
I-4	408,89	II-4	382,53	388,97
I-5	379,41	II-5	428,15	436,73
I-6	375,69	II-6	454,71	460,82
I-7	373,87	II-7	422,14	429,53
I-8	443,49	II-8	350,32	354,97
I-9	364,93	II-9	361,31	365,99
I-10	363,86	II-10	393,89	398,27
průměr	392,35	průměr	400,74	406,65
max.	443,49	max.	454,71	460,82
min.	363,86	min.	350,32	354,97
sm. odch.	26,64	sm. odch.	32,21	33,06

Hustota					
Sada vzorků: III ($\omega = 36,7\%$)			Sada vzorků: IV ($\omega = 78,5\%$)		
číslo vz.	vysušené	vlhké	číslo vz.	vysušené	vlhké
III-1	347,85	418,41	IV-1	390,28	594,17
III-2	389,50	455,04	IV-2	376,96	601,90
III-3	442,90	516,28	IV-3	402,04	640,71
III-4	419,17	545,50	IV-4	378,92	597,80
III-5	380,14	456,70	IV-5	390,72	604,12
III-6	434,19	516,90	IV-6	433,72	640,89
III-7	387,05	455,74	IV-7	333,03	571,94
III-8	388,32	473,54	IV-8	423,75	647,72
III-9	420,59	529,14	IV-9	370,68	612,00
III-10	423,62	496,17	IV-10	387,92	603,87
průměr	403,33	486,34	průměr	388,80	611,51
max.	442,90	545,50	max.	433,72	647,72
min.	347,85	418,41	min.	333,03	571,94
sm. odch.	27,88	38,51	sm. odch.	26,64	22,99

Příloha 5: Tabulka vypočítaných hustot jednotlivých vzorků

Hustota					
Sada vzorků: V ($\omega = 20,9\%$)			Sada vzorků: VI ($\omega = 119,3\%$)		
číslo vz.	vysušené	vlhké	číslo vz.	vysušené	vlhké
V-1	437,43	478,63	VI-1	315,87	659,02
V-2	424,25	454,52	VI-2	345,24	696,55
V-3	413,69	461,82	VI-3	369,97	701,66
V-4	342,04	386,51	VI-4	320,45	691,39
V-5	339,04	388,84	VI-5	416,35	776,78
V-6	364,22	400,23	VI-6	363,59	703,80
V-7	340,86	366,88	VI-7	361,58	692,80
V-8	349,36	375,11	VI-8	382,51	690,42
V-9	347,41	389,27	VI-9	403,43	764,39
V-10	369,34	405,17	VI-10	387,06	700,09
průměr	372,76	410,70	průměr	366,61	707,69
max.	437,43	478,63	max.	416,35	776,78
min.	339,04	366,88	min.	315,87	659,02
sm. odch.	35,89	37,41	sm. odch.	31,16	33,73