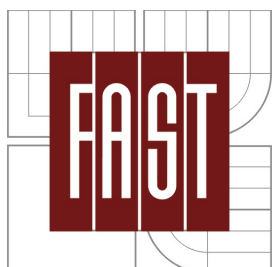


VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

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

Bc. JAKUB NOVÁK

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	Bc. Jakub Novák
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 ohybu,

a ověřit závislost těchto veličin na různé vlhkosti vzorků dřeva stanovené váhovou metodou.

Ověřit statickým výpočtem rozdíl únosnosti konstrukčního prvku namáhaného ohybem 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

Táto bakalárska práca sa zaoberá fyzikálnymi a mechanickými vlastnosťami smrekového dreva pri rôznej vlhkosti a overuje závislosti jednotlivých vlastností na vlhkosti dreva. Teoretická časť tejto práce je zameraná na popis a charakteristiku obecných vlastností a štruktúry dreva. Praktická časť sa zaoberá skúšaním a meraním vzorkov dreva pri rôznych vlhkostiach a hodnotí fyzikálne a mechanické vlastnosti. Nakoniec statickým výpočtom overuje rozdiel únosnosti konštrukčného prvku namáhaného ohybom pri rôznych vlhkostiach.

KLÍČOVÁ SLOVA

Drevo, fyzikálne vlastnosti dreva, mechanické vlastnosti dreva, hustota dreva, vlhkosť dreva, napúčanie dreva, pevnosť dreva v ohybe

ABSTRACT

This bachelor thesis deals with the physical and mechanical properties of spruce wood at different humidity and verifies the individual properties, depending on the humidity of the wood. The theoretical part of this work is focused on the description and characteristics of the general characteristics and structure of wood. The practical part deals with the testing and measuring of wood samples at different moisture and evaluate the physical and mechanical properties. Finally, static calculation verifies difference resistance of structural members stressed bend at different humidities.

KEYWORDS

Wood, physical characteristics of wood, mechanical characteristics of wood, density of wood, wood humidity, swelling of wood, bending strength

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE VŠKP

Bc. Jakub Novák *Vliv změny vlhkosti dřeva na jeho fyzikální a mechanické vlastnosti*. Brno, 2015. 59 s., 4 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 29.5.2015

.....
podpis autora

Bc. Jakub Novák

PROHLÁŠENÍ O SHODĚ LISTINNÉ A ELEKTRONICKÉ FORMY VŠKP

PROHLÁŠENÍ:

Prohlašuji, že elektronická forma odevzdané bakalářské práce je shodná s odevzdanou listinnou formou.

V Brně dne 29.5.2015

.....

podpis autora

Bc. Jakub Novák

POĎAKOVANIE

Ďakujem Ing. Věre Heřmánkovéj, Ph.D. za cenné rady a odborné vedenie mojej bakalárskej práce, ktorá bola spracovaná s využitím infraštruktúry Centra AdMaS. Taktiež ďakujem všetkým, ktorí mi štúdium umožnili, po celé štúdium ma podporovali a boli mi nápomocný.

OBSAH

1 ÚVOD	11
1.2 Ciel práce	12
2 ŠTRUKTÚRA DREVA A DRUHY DREVÍN	13
2.1 Drevo	13
2.1.1 Chemické zloženie dreva	14
2.2 Štruktúra dreva	15
2.2.1 Makroskopická stavba dreva	16
2.2.2 Mikroskopická stavba dreva	18
2.2.3 Základné rezy drevom	19
2.2.4 Základné anatomické smery v dreve	20
2.3 Druhy drevín na území ČR	21
2.3.1 Ihličnaté dreviny	21
2.3.2 Listnaté dreviny	23
3 VLASTNOSTI DREVA	24
3.1 Fyzikálne vlastnosti dreva	24
3.1.1 Vlhkosť dreva	24
3.1.2 Napúčanie dreva	27
3.1.3 Zosychanie dreva	27
3.1.4 Hustota dreva	29
3.2 Mechanické vlastnosti dreva	30
3.2.1 Pružnosť dreva	30
3.2.2 Pevnosť dreva	31
3.2.3 Tvrdosť dreva	35
3.2.4 Rázová húževnatosť dreva	35
4 EXPERIMENTÁLNA ČASŤ	36
4.1 Postup vlastného merania	36
4.1.1 Zhotovenie vzorkov	36
4.1.2 Meranie suchých vzorkov	37
4.1.3 Meranie vlhkých vzorkov	38

4.1.4 Skúšanie vzorkov v ohybe	39
4.2 Výpočet a vyhodnotenie jednotlivých veličín	40
4.2.1 Stanovenie vlhkosti dreva	40
4.2.2 Stanovenie hustoty dreva	41
4.2.3 Stanovenie napúčania dreva	43
4.2.4 Stanovenie pevnosti dreva v ohybe	47
4.3 Únosnosť konštrukčného prvku	49
4.3.1 Posúdenie nosníku na ohyb	50
5 ZÁVER	54
6 ZOZNAMY	55
6.1 Zoznam použitej literatúry a zdrojov	55
6.2 Zoznam tabuliek	57
6.3 Zoznam obrázkov	58
6.4 Zoznam grafov	59
6.5 Zoznam príloh	59

1 ÚVOD

Drevo patrí k najstarším a veľmi oblúbeným prírodným materiálom s veľkou škálou využitia. Postupné prehĺbovanie poznatkov o štruktúre dreva, chemickom zložení, fyzikálnych a mechanických vlastnostiach vyvoláva intenzívny rozvoj techniky a technológie jeho spracovania a mnohostrannosti jeho využívania. Drevo pre svoj prírodný charakter, prirodzenú kresbu, priaznivé fyzikálne vlastnosti, estetický vzhľad je žiadaným prvkom životného prostredia človeka.

Drevo predstavuje pružný, pevný a pritom ľahký materiál, ktorý má dobré tepelne - izolačné vlastnosti, ľahko sa opracováva, tlmí vibrácie, je relatívne dobre spojitelné a ľahko manipulovateľné. Tieto prirodzené vlastnosti dreva umožňujú jeho využitie v rozmanitých priemyselných odvetviach.

Výrobky získané z dreva môžu mať i rozmanité nedostatky, ako je veľká variabilita vlastností v dôsledku meniacich sa podmienok pri jeho tvorbe, ľahká zápalnosť a horľavosť, značná navlhavosť a nasiakavosť, dôsledkom čoho dochádza k zmene jeho rozmerov, tvarov a vlastností. Relatívne nízka odolnosť voči pôsobeniu drevokazných húb a hmyzu.

Aj cez všetky jeho nedostatky je drevo oblúbeným materiálom so širokým využitím, pretože jednotlivé nedostatky je možné vhodným spôsobom vylúčiť alebo obmedziť.

Statický ohyb je zaraďovaný medzi najčastejšie metódy testovania konštrukčných materiálov. To je spôsobené najmä jeho častým výskytom v praxi a rovnako aj tým, že pri tomto zaťažení sú potrebné veľmi malé sily, vzhľadom k ostatným mechanickým vlastnostiam.

Namáhanie na ohyb je v podstate kombinácia základných namáhání (tlaku, ťahu, a šmyku) čím sa táto vlastnosť zaraďuje medzi najobjektívnejšie charakteristiky testovaného materiálu.

1.2 CIEL PRÁCE

Cielom práce je zistiť fyzikálne a mechanické vlastnosti dreva pri rôznych vlhkostiach a overiť závislosti jednotlivých vlastností na vlhkosti dreva. Teoretická časť spracováva podklady pre riešenie práce so zameraním na fyzikálne a mechanické vlastnosti dreva a ich závislosti na vlhkosti dreva. Praktická časť na základe meraní a skúšok vzoriek dreva o rôznej vlhkosti stanovuje vlhkosť dreva, hustotu dreva, rozmerové a objemové napúčanie dreva a pevnosť dreva v ohybe. Nasleduje overenie závislostí týchto veličín na rôznej vlhkosti vzoriek dreva stanovenou váhovou metódou. Statickým výpočtom sa potom stanoví rozdiel únosnosti konštrukčného prvku namáhaného ohybom pri rôznych vlhkostiach.

2 ŠTRUKTÚRA DREVA A DRUHY DREVÍN

2.1 DREVO



Obr. 1 Drevo [9]

Drevo je prírodný organický nehomogenný bunecný materiál, ktorý vo svojich molekulách obsahuje lignit. Ako drevinu označujeme rastlinu, u ktorej sa táto látka vyskytuje vo veľkom množstve (korene, kmeň, vetvy). Drevo môžeme tiež nazvať ekologickým materiálom patriacim k obnoviteľným prírodným zdrojom. Veľmi často je prezentované, že ťažba dreva ničí a likviduje životné prostredie, pritom ročné vyťaženie množstvo dreva je nižšie ako jeho ročný prírastok. Celkový ročný prírastok drevnej hmoty v ČR je cca 18 mil. m³ a ročne sa vyťaží okolo 15 mil. m³. Zdrojom dreva sú lesy, ktoré pokrývajú asi 25% súše na Zemi. V ČR ich celková plocha dosahuje necelých 34% z celkovej rozlohy. Dreviny sa v prírode vyskytujú vo forme stromov, kerov a polokerov.



Stromy sú charakteristicky dlhé a majú druhotne rastúcu os - kmeň. Ten sa rozvetvuje vo vrcholoch, kde nesie asimilačné orgány, ktoré prímajú a premieňajú látky potrebné pre rast. Stromy rastúce v lesoch dosahujú vyšších výšok z dôvodu nutnosti prímáť energiu zo slunečných lúčov. Ich kmene sú priame a kvalita dreva kmeňa je vyššia v porovnaní s osamelými jedincami.

Obr. 2 Strom [7]

Obr. 3 Ker [16]

Kere sú dreviny nižšieho zrastu s osami rozvetvenými už od zeme. V stavebnom priemysle nemajú význam.



Obr. 4 Poloker [15]

Polokere sú dreviny malého zrastu, u ktorých spodné časti os obsahujú lignin, avšak horné mladšie časti sú bylinné (napr. čučoriedka, brusnica). Nemajú význam v stavebníctve. [1], [7], [13]

2.1.1 CHEMICKÉ ZLOŽENIE DREVA

Chemické zloženie dreva sa u jednotlivých druhov drevín nijak zvlášť nemení. Priemerné hodnoty zastúpenia jednotlivých prvkov sú uvedené v tab.1 a na obr. 2 je názorne zobrazené čo sa deje s kusom dreva behom prirodzeného sušenia.

Tab. 1 Zastúpenie jednotlivých chemických prvkov v dreve. [5]

	Percentuálne zastúpenie jednotlivých prvkov [%]
Uhlík	49,5
Kyslík	44,2
Vodík	6,3
Dusík	0,2 - 1,5

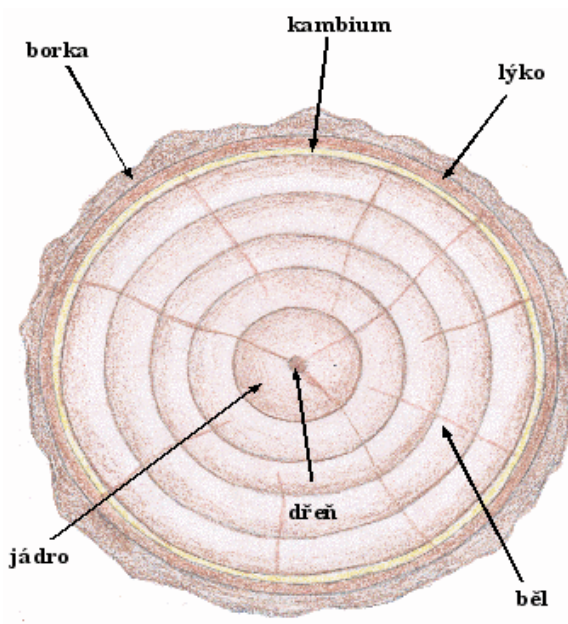
Prvky tvoria zložité organické látky, z ktorých najdôležitejšími sú: celulóza, hemicelulóza, lignin a extraktívne látky. [5], [2]



Obr. 5 Prirodzené sušenie dreva [19]

2.2 ŠTRUKTÚRA DREVA

Podstatné pre použitie dreva ako stavebného materiálu je znalosť jeho štruktúry kmeňa. Za jedny najdôležitejšie faktory ovplyvňujúce kvalitu dreva stromu považujeme zemepisnú polohu a nadmorskú výšku. Základné časti kmeňa sú:



Obr. 6 Štruktúra kmeňa (borka, lýko, kambium, běl, jádro, dřeň). [7]

1. **KÔRA** - povrchová vrstva kmeňa obklopujúca kambium je tvorená borkou a lýkom. Rozlišujeme kôru *hladkú, brázditú, šupinovitú, bradavičnatú*. Zaberá 6 až 25 percent objemu stromu.
2. **KAMBIUM** - bunčné pletivo, nachádza sa medzi vnútornou kôrou a drevom. Zaisťuje rast kmeňa - na jednu stranu vytvára lýko a na druhú drevo. Táto vrstva je okom neviditeľná, dosahuje hrúbku 30 až 60 μm .
3. **DREVO** - je to hlavná časť kmeňa medzi dreňou a kôrou. Zaberá 70 až 93 percent objemu stromu. Rozlišujeme:
 - ◆ **Běl** - vonkajšia časť dreva. Slúži k vedeniu mýzy a, vody v stromu a ukladaniu živin. Rozsah belu sa u jednotlivých druhov drevín môže líšiť.

- ◆ **Jadro** - vnútorná časť dreva. Je to najstaršia časť kmeňa. Vznik je spojený so stárnutím buniek a Vzniká stárnutím buniek a upchatím vodivých elementov. Je trvanlivejšie a má väčšiu hustotu ako beľové drevo.
- ◆ **Vyzreté drevo** - má rovnakú štruktúru ako drevo jadrové. Na čerstvo skácanom strome je beľ tmavší ako vyzreté drevo, po sušení sa farebne nelíši.

Tab. 2 Rozdelenie drevín podľa výskytu jadra, beľa a vyzralého dreva. [7]

	1. Dreviny s jadrovým drevom - zreteľné beľové a jadrové drevo.		3. Dreviny s vyzretým drevom - po vyschnutí žiadny farebný rozdiel medzi beľou a vyzretým drevom.
	2. Dreviny s beľovým drevom - majú iba beľové drevo.		4. Dreviny s jadrovým a vyzretým drevom - majú jadrové, vyzreté a beľové drevo.

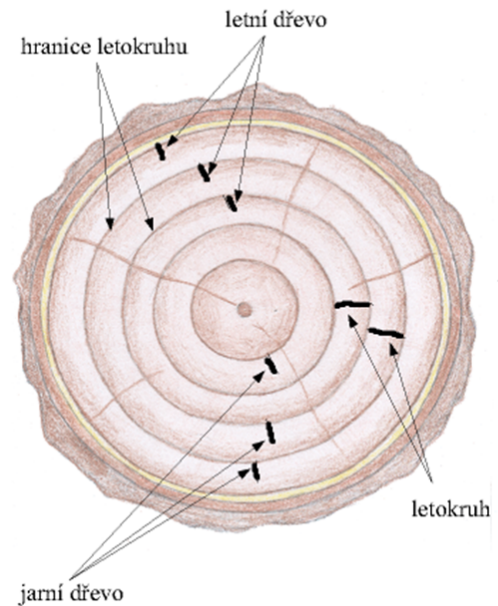
4. DREŇ - nachádza sa uprostred kmeňa o šírke cca 2 - 5 mm. V začiatkoch života stromu sa podieľa na transportu vody. Má nízke mechanické vlastnosti. Pri vysychaní je príčinou vzniku stredových tzv. dreňových trhlín. [7], [2], [13]

2.2.1 MAKROSKOPICKÁ STAVBA DREVA

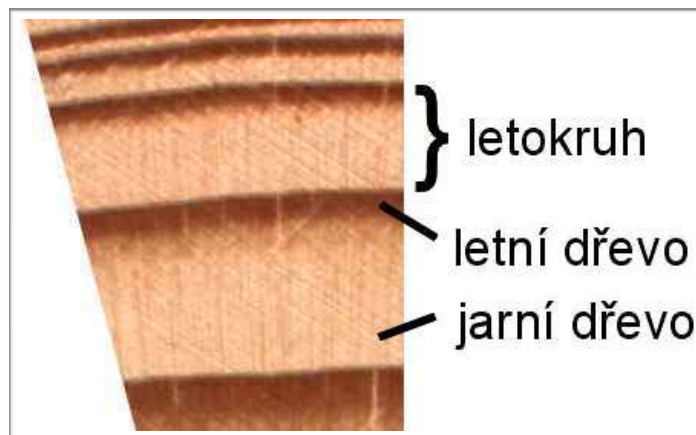
Makroskopická stavba či štruktúra dreva je tvorená súborom znakov, ktoré na povrchu dreva vytvárajú charakteristickú kresbu, viditeľnú makroskopicky (je možné rozpoznať voľným okom, prípadne zväčšovacím sklom). Makroskopická stavba dreva tvorí základ k určovaniu druhov drevín, väd a kvality dreva. Medzi hlavné makroskopické znaky patrí: **beľ, jadro, vyzreté drevo** (popísané vyššie), **letokruhy, dreňové lúče, cievy, kôra, suky, farba, lesk, textúra** a iné. [17], [10], [13]

Obr. 7 Letokruhy [7]

- ◆ **Letokruhy** - sú to vrstvy obklopujúce dreň. Sú prevažne koncentrické, na seba nasadajúce. Letokruh je ročný prírastok dreva vytvorený behom jedného vegetačného obdobia. V dôsledku zmeny vlhkosti behom vegetačného obdobia sa vytvárajú dve, farebne i štrukturálne rozdielne vrstvy - **jarné** a **letné** drevo. Drevo prirastá v dobe vegetačného obdobia. V



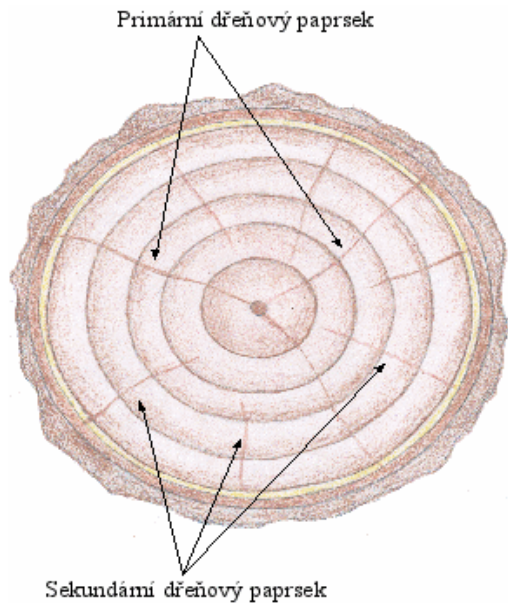
období vegetačného klúdu kambium nevytvára nové pletivo a tak dochádza k prerušeniu hrúbkového rastu a výsledkom sú letokruhy. Šírka a štruktúra letokruhov nezávisí iba na veku a druhu drevín ale tiež na postaveniu a podmienkach v mieste rastu.



Obr. 8 Letné a jarné drevo [7]

- **Jarné drevo** - vnútorná, svetlejšia a mäkkšia časť. Má nižšiu hustotu, vedie vodu s minerálnymi látkami z koreňov do celého stromu. Vytvára sa na začiatku vegetačného obdobia pri dostatočnom prísune vody v dreve.
- **Letné drevo** - vonkajšia, tmavšia a tvrdšia časť. Má vyššiu hustotu, dodáva pružnosť, pevnosť a tvrdosť. Vytvára sa v čase nižších vlhkostí v pôde v druhej časti vegetačného (letného) obdobia.

- ◆ **Dreňové lúče** - Pri vysychaní vznikajú od dreňe lúčovitej trhliny, ktoré ovplyvňujú vlastnosti dreva porušením celistvosti. Sú to rôzne mohutné zoskupenia parenchymatických buniek, ktoré sú orientované kolmo na osu kmeňa. [7], [11]



Obr. 9 Primárne a sekundárne dreňové lúče 7

Obr. 10 Dreňové lúče [7]

2.2.2 MIKROSKOPICKÁ STAVBA DREVA

Mikroskopická stavba je tvorená súborom anatomických znakov, ktoré možno pozorovať iba pomocou mikroskopu. Tieto znaky slúžia na zatriedenie dreviny. Submikroskopickú stavbu bunecnej steny je možné pozorovať pri niekoľkonásobnom zväčšení pomocou ekotronových mikroskopov. Predmetom popisu mikroskopickej stavby dreva sú rozmery, usporiadanie a zloženie buniek.[5]

Zastúpenie buniek sa líši v závislosti na typu dreviny. Rozlišujeme **nahosemenné** (ihličnaté) a **krytosemenné** (listnaté) dreviny.

IHLIČNATÉ DREVINY sú vývojovo staršie a vyznačujú sa takmer pravidelnou stavbou kmeňa. Charakteristickými znakmi ihličnatých drevín sú:

- **Tracheidy** - zaberajú 87 až 95 percent celkového objemu dreva. Plnia vodivú a mechanickú funkciu.

- **Parenchymatické buňky** - sú to znaky tvoriace dreňové lúče, pozdĺžny drevný parenchym a živicové kanálky. Nadobúdajú tvaru kratších hranoliek či valcov a plnia funkciu vodivú a zásobnú.

LISTNATÉ DREVINY sú evolučne mladšie a majú zložitejšiu stavbu s vyšším počtom základných druhov buniek, ktorými sú:

- **Cievy (tracheje)** - vodivá funkcia
- **Cievce (tracheidy)** - vodivá a vyztužovacia funkcia
- **Libriformné vlákna (drevné vlákna)** - vyztužovacia funkcia. Závisí ne nich hustota a tvrdosť dreva. V závislosti na druhu dreviny sa percentuálne zastúpenie odlišuje, ktoré sa pohybuje v rozmedzí od 50 do 75 percent.
- **Parenchymatické buňky** - rozmanitejšie buňkové tvary ako u ihličnatých drevín. Plnia vodivú a zásobnú funkciu. [1], [18]

2.2.3 ZÁKLADNÉ REZY DREVOM

Drevo je organický, nehomogenný, anizotropný a hygroskopický materiál. Aby sme mohli drevo lepšie chrániť pred poškodením je potrebné vychádzať zo znalostí o stavbe dreva, ktoré má valcovo-kuželovitú stavbu, viz obr. 7. [7]

Stavba je skúmaná v troch základných smeroch a rezoch, na ktorých sa popisuje štruktúra dreva. Rozlišujeme rez **priečny**, **radiálny** a **tangenciálny**.

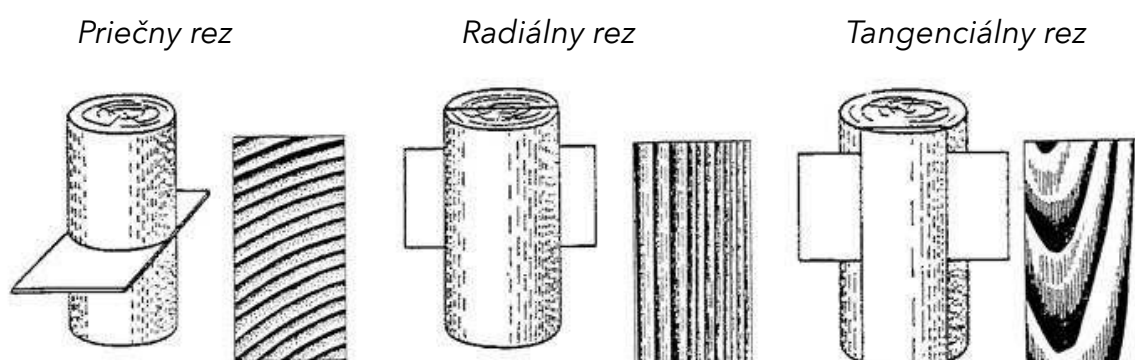


Obr. 11 Valcovo-kuželovitá stavba dreva [7]

PRIEČNY (TRANSVERZÁLNY) REZ - je rovinný rez vedený kolmo k ose kmeňa naprieč vláknitej, vertikálne orientovanej stavbe kmeňa. Usporiadanie letokruhov je sústredné.

POZDĹŽNY (RADIÁLNY) REZ - je zvislý rez vedený stredom kmeňa. Je rovnobežný s osou kmeňa (môže byť vplyvom rôznych príčin excentricky posunutý od geometrického stredu). Letokruhy v tomto rezu sa zobrazia ako rovnobežné pásy.

POZDĹŽNY TEČNOVÝ (TANGENCIÁLNY) REZ - je zvislý rez rovnobežný s osou kmeňa. Avšak na rozdiel od radiálneho rezu neprechádza stredom kmeňa. Letokruhy vytvárajú parabolické útvary (fládry). [1], [7]



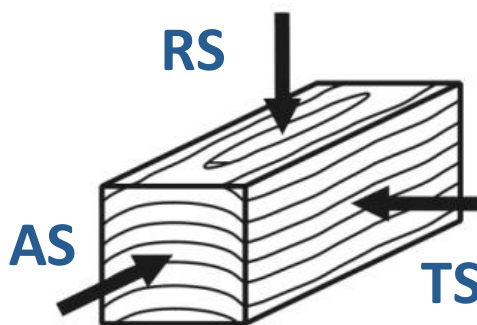
Obr. 12 základné rezy drevom (priečny, radiálny, tangenciálny) [10]

2.2.4 ZÁKLADNÉ ANATOMICKÉ SMERY V DREVE

AXIÁLNY SMER (AS) - je rovnobežný s pozdĺžnou osou kmeňa.

RADIÁLNY SME (RS) - je vedený v smere dreňových lúčov a je kolmý na plochu tangenciálneho rezu.

TANGENCIÁLNY SMER (TS) - má smer tečny k letokruhom a je kolmý na plochu radiálneho rezu. [17]



Obr. 13 Základné anatomické smery v dreve [7]

2.3 DRUHY DREVÍN NA ÚZEMÍ ČR

Dreviny rozdeľujeme podľa typu ich vegetatívnych orgánov na **ihličnaté** a **listnaté**. Zastúpenie jednotlivých druhov drevín na území ČR je uvedené v tabuľke 2. Z pohľadu makroskopickej štruktúry rozlišujeme dreviny **belové** a **jádrové**. K belovým patria dreviny s vyzrelým drevom kmeňa bez farebného odlíšenia jadra, ktoré u jadrových drevín spôsobuje väčšiu odolnosť proti vlhkosti a hnilobe kvôli obsahu pryskyřičných a jiných polyfenolických látok. [5]

Dreviny	Druh	Zastúpenie [%]	Celkové [%]
Ihličnaté	smrek	52,1	76,1
	borovica	15,1	
	jedľa	7,5	
	modrín	1,3	
	ostatné	0,1	
Listnaté	buk	13,8	23,9
	dub	4,2	
	topoľ	1,2	
	ostatné	4,7	

Tab. 3 Percentuálne zastúpenie drevín na území ČR. [5]

2.3.1 IHLIČNATÉ DREVINY

Jedná sa o nahosemenné rastliny, ktoré sa objavili prvý raz na počiatku druhohôr. Patria do skupiny vetroprašných rastlín, teda ich pil je prenášaný vetrom. Sú odolné voči extrémnym klimatickým podmienkam a kladú nízke nároky na pôdu. Vyskytujú sa i vo vyšších nadmorských výškach a polárnych oblastiach. Dosahujú výšok až 40 m a priemer kmeňa je až 2 m. V stavebnom priemysle je najviac používané drevo **smrekové**, **jedľové** a **borovicové**. Drevo modrínové sa používa pre dekoračné účely. [13]



Obr. 14 Smrekové drevo [7]

SMREKOVÉ DREVO - biele až nažltlé, mierne smolnaté s pevne zarostlými sukmi. Je najčastejšie používané. **Výhody:** dobrá štiepatelnosť, ľahká opracovateľnosť, trvanlivosť, nízka hmotnosť a vhodné vlastnosti k lepeniu. **Nevýhody:** náchylnosť k rýchlemu hnití vo vlhkom prostredí.

Použitie: konštrukčné drevo vo všetkých odvetviach

stavebníctva, kde nie je vystavené vlhkému prostrediu.



Obr. 15 Jedľové drevo [7]

JEDĽOVÉ DREVO - šedobiele, mierne smolnaté s nezarostlými sukmi, lepších rastových vlastností a akosti ako drevo smrekové

Výhody: dobre štiepatelné, pružné a ohybné.

Nevýhody: horšia spracovateľnosť a predovšetkým nízka trvanlivosť, spôsobená rýchlym vysúšaním a následne možným vypadávaním sukov.

Použitie: je obdobné ako u drevín smrekových.



Obr. 16 Borovicové drevo [7]

BOROVICOVÉ DREVO - načervenalé so značným obsahom živice a s veľkým množstvom nazarostlých sukov.

Výhody: odolné voči vlhkému prostrediu.

Nevýhody: je krehčie a menej pružné ako smrekové drevo, horšia odolnosť na ohybové namáhanie.

Použitie: vhodné v prostredí s premennou vlhkosťou.



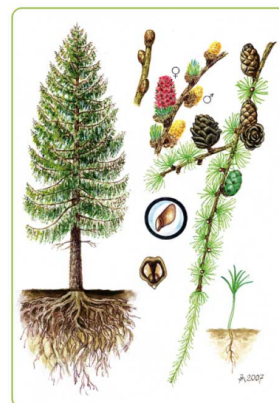
Obr. 17 Modrínové drevo [7]

MODRÍNOVÉ DREVO - svetlo žlté, časom hnedé, s vysokým obsahom živice.

Výhody: je trvanlivé, pružné s dobrou odolnosťou proti vlhku.

Nevýhody: je vzácne a pomerne drahé.

Použitie: slúži prevažne k dekoračným účelom. [3], [4], [5]



2.3.2 LISTNATÉ DREVINY

Jedná sa o krytosemenné rastliny, vývojovo mladšie ako ihličnaté. Podľa tvrdosti sa delia na mäkké belové (lipa, osika, gaštan), mäkké jadrové (topoľ, vrba), tvrdé belové (buk, habr, javor) a tvrdé jadrové (dub, jasan, akát a celá rada ovocných drevín). Dožívajú sa 120 až 150 rokov. Priemer kmeňa dosahuje až 1,5 m (dub až 3 m) a výšok od 20 po 25 m (dub až 60 m). V stavebníctve sa prevažne používa drevo **dubové** a **smrekové**. Použitie ostatných listnatých drevín ako stavený materiál je nevýznamné. [13]



Obr. 18 Dubové drevo [7]

DUBOVÉ DREVO - charakteristické žltohnedou úzkou belí a širokým hnedým jadrom.

Výhody: tvrdosť, pevnosť, vysoká hmotnosť a predovšetkým trvanlivosť. Na suchu vydrží až 700 rokov a vo vode je jeho životnosť takmer neobmedzená. Pri vhodnej impregnácii má v porovnaní s mäkkými drevinami vysokú požiaru odolnosť.

Nevýhody: vysoká cena

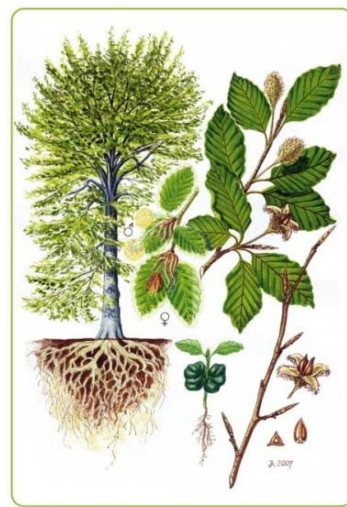
Použitie: v problematických vodných a mostných stavbách, pre obyčajné strešné či podlahové konštrukcie sa využíva len zriedka.

Obr. 19 Bukové drevo [7]

BUKOVÉ DREVO - svetlo hnedé až naružovelé, rovnorodé a husté.

Nevýhody: mäkšie, menej trvanlivé a húževnaté v porovnaní s drevom dubovým. Bez impregnácie neodoláva vlhkému prostrediu.

Použitie: k výrobe dýh a preklížok. Používa sa tiež ako lamelové (lepené) drevo. [3], [5], [6]



3 VLASTNOSTI DREVA

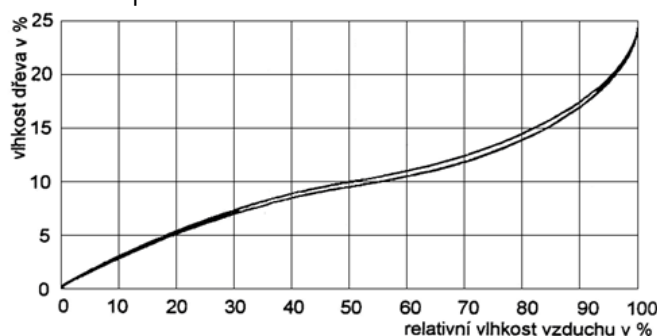
Drevo má v rôznych smeroch rôzne vlastnosti. Pri použití dreva v stavebníctve sa určujú predovšetkých fyzikálne a mechanické vlastnosti. Tieto vlastnosti sú závislé na priebehu vlákien a preto sa skúšky vykonávajú vo viacerých smeroch za určitej vlhkosti. V pozdĺžnom smere má drevo najväčšiu pevnosť i tuhosť a najmenšia deformácie. [12]

3.1 FYZIKÁLNE VLASTNOSTI DREVA

FYZIKÁLNE VLASTNOSTI je možné stanoviť bez narušenia chemického zloženia a celistvosti materiálu. Medzi fyzikálne vlastnosti dreva patrí vlhkosť, hustota, napúčavosť, zosychanie, horlavosť, tepelná vodivosť, elektrické a akustické vlastnosti a iné.

3.1.1 VLHKOSŤ DREVA

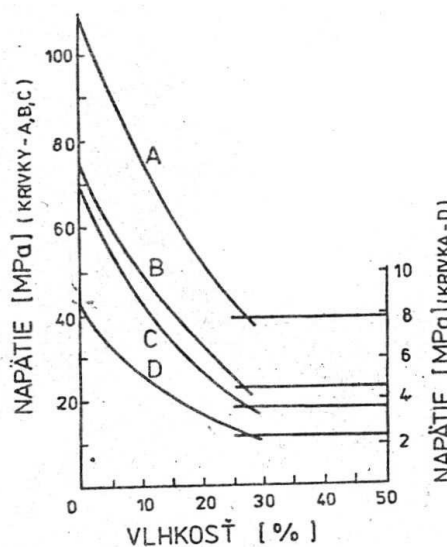
VLHKOSTNÉ VLASTNOSTI DREVA - drevo je vo vzťahu k okolnému prostrediu hygrokopický materiál schopný prijímať alebo odovzdávať vodu či už v kvapalnom alebo plynnom skupenstve. Drevo má schopnosť meniť svoju vlhkosť podľa vlhkosti okolného prostredia.



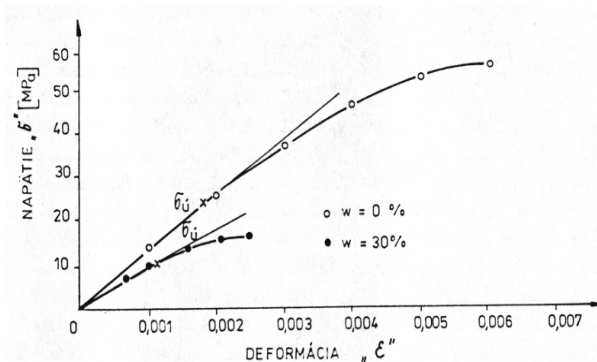
Graf 1: Vlhkosť dreva v závislosti na vlhkosti okolného prostredia[7]

Drevo môže prijímať aj iné kvapaliny a plyny, avšak voda je z praktického hľadiska najdôležitejšia. Vo väčšine prípadov voda v dreve ovplyvňuje i vlastnosti dreva a spôsobuje často ich zhoršenie. So zmenou obsahu vody v dreve sú spojené zmeny

hustoty dreva, rozmerové zmeny, odolnosť voči hubám a napadnutiu hmyzom, fyzikálne a mechanické vlastnosti, technologické spracovanie a iné. So stúpajúcou vlhkosťou sa pružnostné a pevnostné vlastnosti dreva znižujú (viz. graf 2 a 3). Tieto závislosti sa najčastejšie vyjadrujú pomocou zápornej exponenciálnej funkcie (viz. graf 2).



Graf 2: Závislosť napätových charakteristík smrekového dreva na vlhkosti [14]



Graf 3: Pevnosť dreva v závislosti na vlhkosti [7]

VLHKOSŤ DREVA je prítomnosť vody v dreve. Stanoví sa ako pomer hmotnosti vody k hmotnosti sušiny dreva. Najčastejšie sa vyjadruje v percentách suchej hmotnosti dreva čo je absolútna vlhkosť w_{abs} , alebo v percentách mokrej hmotnosti dreva čo je relatívna vlhkosť w_{rel} . [8]

Absolútna a relatívna vlhkosť sa vypočíta podľa nasledujúcich vzťahov:

$$\omega_{abs} = \frac{m_w - m_0}{m_0} \cdot 100 = \frac{m_v}{m_0} \cdot 100$$

w_{abs} - absolútna vlhkosť

w_{rel} - relatívna vlhkosť

m_w - hmotnosť vzorku pred vysušením

m_0 - hmotnosť absolútne suchého vzorku

m_v - hmotnosť vody

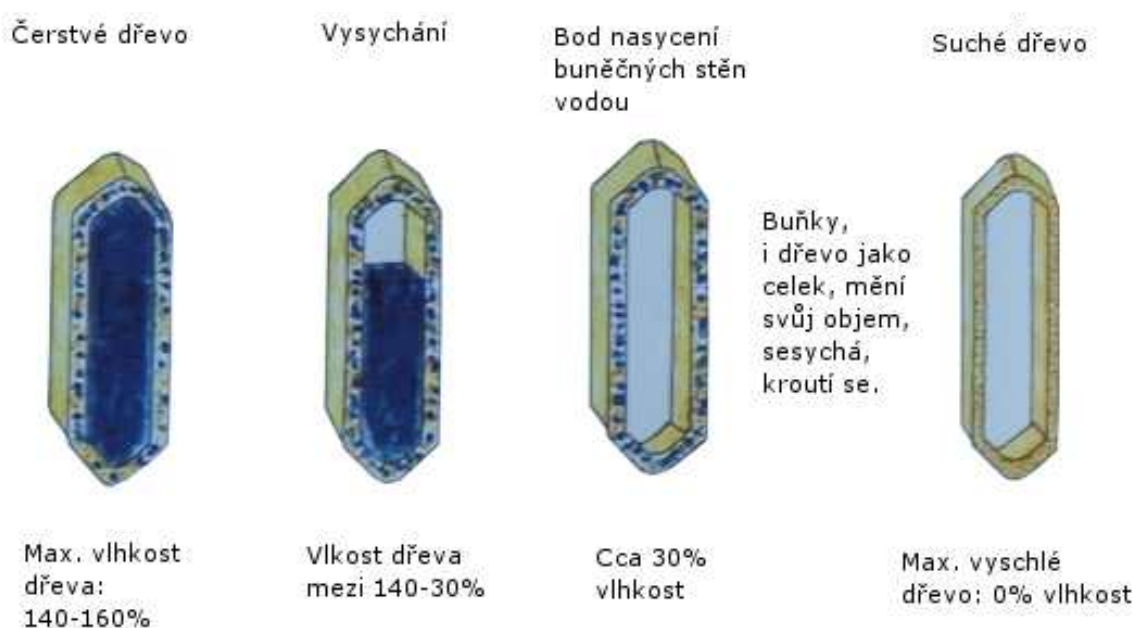
$$\omega_{rel} = \frac{m_w - m_0}{m_w} \cdot 100 = \frac{m_v}{m_w} \cdot 100$$

Absolútna vlhkosť dreva sa používa pre charakteristiku fyzikálnych a mechanických vlastností dreva. Relatívna vlhkosť sa používa v prípadoch kedy je potrebné poznať percentuálne zastúpenie vody z celkovej hmotnosti mokrého dreva (napr. pri predaji alebo nákupe dreva podľa jeho hmotnosti). [8]

ROZDELENIE VODY V DREVE

Vodu z hľadiska uloženia v dreve môžeme rozdeliť na **chemicky viazanú, viazanú - hydroskopickú** a **voľnú - kapilárnu**.

- **CHEMICKY VIAZANÁ VODA** - sušením ju nie je možné odstrániť. Zaberá 1 až 2 percentá hmotnosti sušiny, ktoré sa stanovuje na základe chemickej analýzy dreva. Na fyzikálne a mechanické vlastnosti nemá žiadny vplyv.
- **VIAZANÁ (HYDROSKOPICKÁ) VODA** - zaberá až 30 percent vlhkosti dreva. Nachádza sa v bunkových stenách. Viaže sa na celulózu a hemicelulózu. Pri charakteristike fyzikálnych a mechanických vlastností má najväčší a zásadný význam.
- **VOĽNÁ (KAPILÁRNA) VODA** - vyplňuje v dreve medzibunkové priestory. Je prítomná iba v prípade výskytu vody viazanej (pri vlhkostiach dreva od 30 %). V porovnaní s vodou viazanou má na fyzikálne a mechanické vlastnosti dreva podstatne menší vplyv. [13], [14]



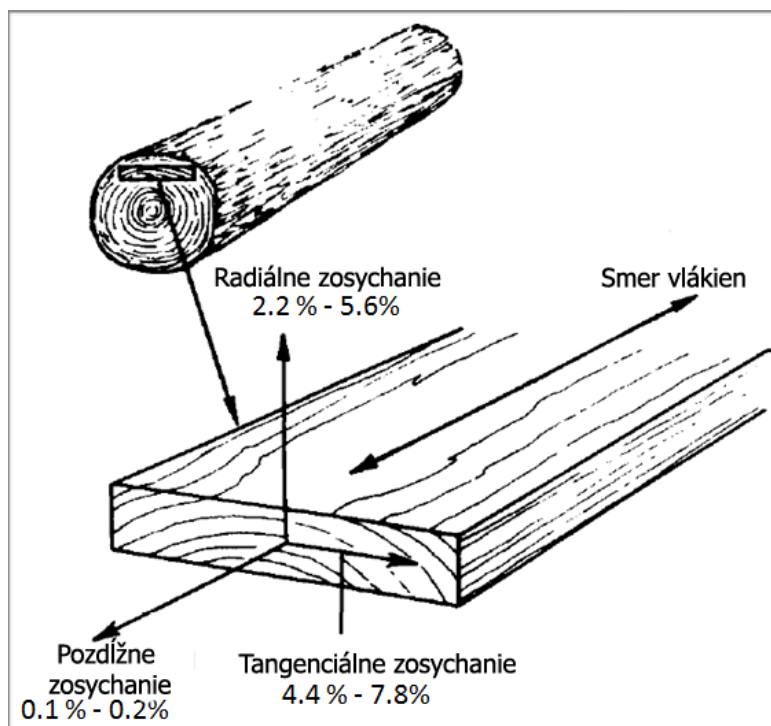
Obr. 20 Percentuálne zastúpenie vody v bunke dreva pri rôznej vlhkosti [7]

3.1.2 NAPÚČANIE DREVA

NAPÚČANIE je schopnosť dreva vplyvom zvyšujúcej sa vlhkosti meniť svoje lineárne rozmery, plochu alebo objem. Vyjadruje sa najčastejšie v percentách ako podielom zmeny rozmeru k pôvodnej hodnote, ktorá je značne závislá na rovine (smere) dreva. Napúčanie pozdĺž vlákien je maximálne 1 %, v radiálnom smere je 3 až 6 % a v smere tangenciálnom je 6 až 12 %. [7], [13]

3.1.3 ZOSYCHANIE DREVA

ZOSYCHANIE je proces, počas ktorého dochádza k zmenšovaniu rozmerov a objemu dreva pri vyparovaní viazanej vody. Pri zosychaní rozlišujeme lineárne a objemové zosychanie. Lineárne sa vyznačuje zmenšovaním rozmerov v troch základných smeroch - tangenciálnom, radiálnom a pozdĺžnom. Hodnoty pre jednotlivé smery sa líšia v závislosti od konkrétnej dreviny. Vo všeobecnosti však platí, že najvýraznejšie je zosychanie tangenciálne (cca 4 - 8 %), najmenšie je pozdĺžne (takmer zanedbateľné, iba cca 0,1-0,2%). Kvôli malým hodnotám sa ani neuvádza - viz. obrázok nižšie).



Obr. 21 Zmeny rozmerov pri zosychaní dreva [20]

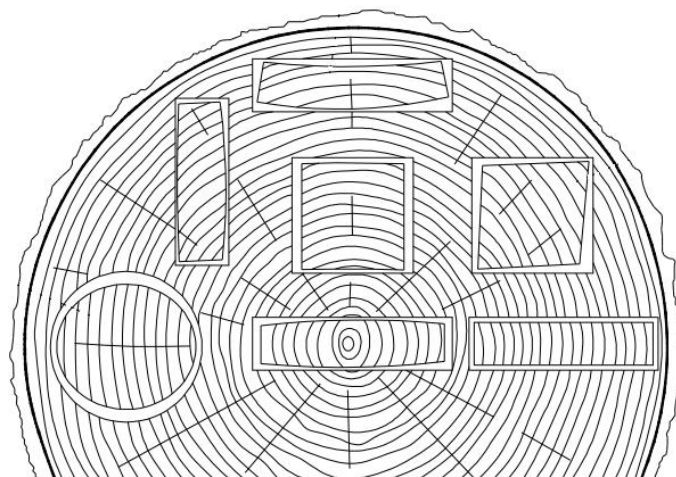
Pri objemovom zosychaní dochádza k zmene objemu, v závislosti od druhu dreviny sa pohybuje okolo 12 - 15 %.

Zosychanie je priamym opakom napúčania dreva. Rozlišujeme drevá na:

- **málo zosychavé** (jelša, tis, vrbá, topol,...)
- **stredne zosychavé** (smrek, borovica, dub, jedľa,...)
- **veľmi zosychavé** (smrekovec, lipa, breza, buk, hrab,...)

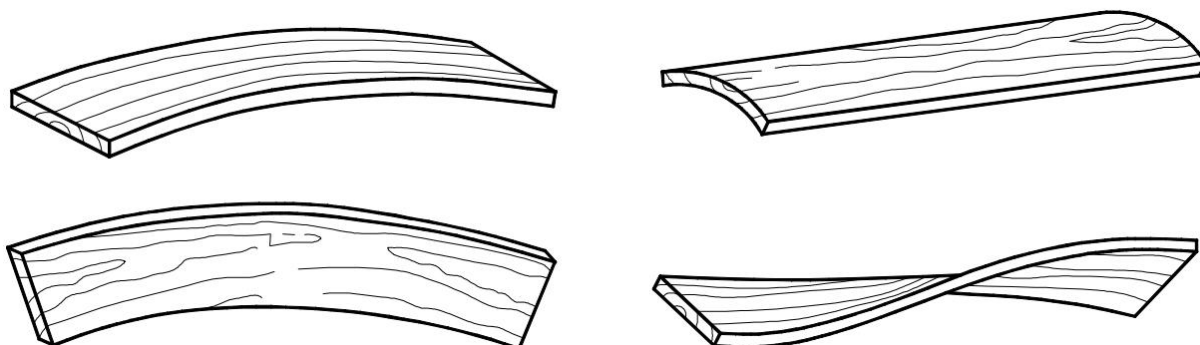
V dôsledku zosychania alebo napúčania dreva dochádza vplyvom meniacej sa vlhkosti a obsahu viazanej vody v štruktúre dreva k zmenám tvaru výrezu - borcení dreva. Rozoznávame borcení v priečnom a pozdĺžnom smere. [7], [13]

Priečne borcení je spôsobené rozdielnym radiálnym a tangenciálnym zosychaním.



Obr. 22 Priečne borcení dreva [7]

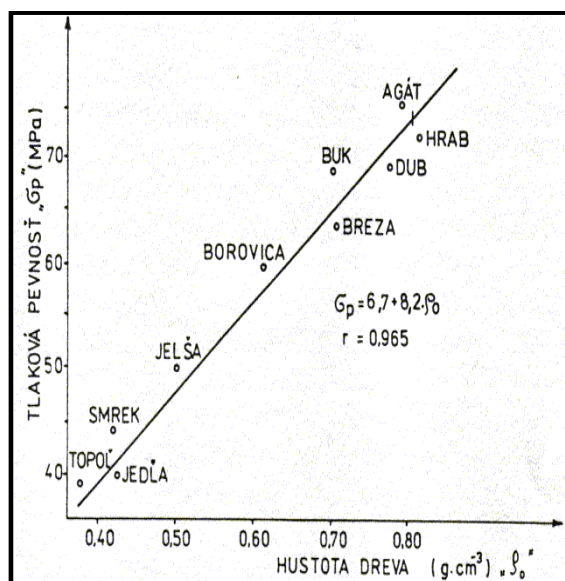
Pozdĺžne borcení vzniká nerovnomerným pozdĺžnym zosychaním dreva. Spôsobuje prehnutie či stočenie dreva.



Obr. 23 Pozdĺžne borcení dreva [7]

3.1.4 HUSTOTA DREVA

HUSTOTA DREVA je charakterizovaná podielom hmotnosti dreva k jeho objemu pri určitej vlhkosti. So zvyšujúcou sa hustotou sa pevnosť dreva zvyšuje (viz. Graf 4) ale hmotnosť a objem dreva nerastú rovnakým spôsobom (hmotnosť rastie do maximálneho nasýtenia dreva, objem iba do nasýtenia bunkových stien).



Graf 4: Pevnosť dreva v závislosti na hustote [7]

Najľahšie drevo je balza s hustotou absolútne suchého stavu $\rho = 130 \text{ kg/m}^3$. Najťažšie drevo je guajaku $\rho = 1360 \text{ kg/m}^3$. Hustotu drevín delíme na dreva s **nízkou**, **strednou** a **vysokou** hustotou. [7]

Drevá s nízkou hustotou ($\rho_{12} < 540 \text{ kg/m}^3$)	Borovica, smrek, jedľa, topol', lipa, vrbá, jelša, osika, pagaštan
Drevá so strednou hustotou ($\rho_{12} = 540\text{-}750 \text{ kg/m}^3$)	smrekovec, breza, buk, dub, orech, jablň, jasan, čerešňa, gaštan
Drevá s vysokou hustotou ($\rho_{12} > 750 \text{ kg/m}^3$)	hrab, moruša, agát, hruška

Tab. 4 Rozdelenie drev podľa hustoty dreva pri $w=12\%$ [7]

NAJČASTEJŠIE SA STANOVUJÚ HUSTOTY PRI TÝCHTO STAVOCH:

- **Hustota dreva v suchom stave** ($w=0\%$)

m_0 - hmotnosť suchého dreva [kg]

V_0 - objem suchého dreva [m^3]

$$\rho_0 = \frac{m_0}{V_0}$$

- **Hustota dreva vlhkého** ($w>0\%$)

m_w - hmotnosť vlhkého dreva [kg]

V_w - objem vlhkého dreva [m^3]

$$\rho_w = \frac{m_w}{V_w}$$

- **Hustota dreva pri vlhkosti 12%**

m_{12} - hmotnosť dreva pri $w=12\%$ [kg]

V_{12} - objem dreva pri $w=12\%$ [m^3]

$$\rho_{12} = \frac{m_{12}}{V_{12}}$$

3.2 MECHANICKÉ VLASTNOSTI DREVA

MECHANICKÉ VLASTNOSTI dreva charakterizujú schopnosť dreva odolávať účinkom vonkajších síl. Jedná sa predovšetkým o **pružnosť** (charakterizovaná modulom pružnosti), **pevnosť** (v tlaku, ťahu, ohybe, šmyku), **tvrdosť**, **húževnatosť**, **štípatelnosť**, **ohýbatelnosť** a ďalšie. Pri mechanickom namáhaní dochádza k dočasným alebo trvalým zmenám tvaru. Miera deformácií závisí na smere vlákien, vlhkosti, teplote či vadách dreva. Hodnoty pevnosti dreva v smere vlákien a kolmo na vlákna sa významne líšia. [5], [7]

3.2.1 PRUŽNOSŤ DREVA

PRUŽNOSŤ DREVA je schopnosť dreva dosahovať pôvodného tvaru a rozmerov po uvoľnení vonkajších síl. [8]

Pružnosť dreva je daná modulom pružnosti, ktorý vyjadruje napätie pri zmene pevnostných parametrov dreva v medziach pružnosti. Čím je modul pružnosti väčší, tým väčšia je nutná sila pre porušenie telesa.

MODUL PRUŽNOSTI V ŤAHU A TLAKU je charakterizovaný podielom napätia a pomernej deformácie. Vyjadruje sa v [MPa].

$$E_i = \frac{\partial \sigma_i}{\partial \varepsilon_i}$$

Priemerná hodnota v smere vlákien sa pohybuje u drevín na území ČR okolo 10 až 12 GPa pri vlhkosti 12%. Naprieč vlákien je táto hodnota až 25 krát menšia, pričom v radiálnom smere je o 20 až 50% väčší než v smere tangenciálnom.

MODUL PRUŽNOSTI V ŠMYKU pri šmykových napätíach je vzťah medzi pomerným posunutím a príslušným napätím zpočiatku lineárny. V radiálnej rovine dosahuje najväčších hodnôt na rozdiel od priečnej roviny kde je najnižší. U drevín na území ČR sa pohybuje v rozpätí 0,1 - 0,2 GPa.

Moduly pružnosti a šmykové moduly vybraných drevín v hlavných smeroch pružnej symetrie pri vlhkosti 11 - 12% znázorňuje nasledujúca tabuľka.

Tab. 5: Moduly pružnosti vybraných drevín pri w=11-12% [7]

Moduly pružnosti [MPa]							
Drevina	v tlaku a tahu			v ohybe	v šmyku		
	E _L	E _R	E _T	E _{oh}	G _{LR}	G _{LT}	G _{RT}
Smrek	14 300	680	470	12 800	1 230	800	55
Jasan	15 700	1 875	1 250	13 900	1 325	1 080	255
Topoľ	13 900	885	350	-	840	385	110

3.2.2 PEVNOSŤ DREVA

PEVNOSŤ DREVA charakterizuje odpor dreva voči jeho trvalému porušeniu. Je vyjadrená napätím, pri ktorej dôjde k porušeniu súdržnosti. Pevnosť dreva sa určuje skúškami, pri ktorých sa sleduje napätie v momente porušenia telesa. [8]

Výnimku tvorí zisťovanie pevnosti dreva v tlaku naprieč vláknami. V tomto prípade nie je okamžik porušenia telesa zreteľný. Preto bola prijatá dohoda o skúšobných postupoch, ktorá definuje podmienky pri ktorých sa pevnosť určuje [12]

Na pevnosť dreva má veľký vplyv jeho vlhkosť. So stúpajúcou vlhkosťou sa mechanické vlastnosti zhoršujú. Toto platí hlavne do bodu bunkového nasýtenia dreva (okolo 30% vlhkosť). Ďalšie zvyšovanie vlhkosti nemá na pevnosť podstatný vplyv. Zhoršujúci vplyv na mechanické vlastnosti dreva majú tiež suky, kôra, hniloba.

PEVNOSŤ DREVA V ŤAHU je odpor dreva voči predĺženiu. Ťahovú pevnosť ovplyvňuje predovšetkým smer vlákien, hustota, vlhkosť a anatomická stavba. Podľa smeru vlákien rozlišujeme pevnosti dreva na pevnosť v ťahu v smere vlákien a naprieč vláknami (v smere tangenciálnom a radiálnom). Vo všetkých smeroch sa medza pevnosti vypočíta podľa vzťahu:

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

F_{max} - maximálne zaťaženie [N]

A - plocha prierezu [mm²]

- **Pevnosť dreva v ťahu v smere vlákien** - dosahuje najväčších pevností v porovnaní s ostatnými pevnosťami v ďalších smeroch. Priemerná hodnota sa pohybuje okolo 120 MPa. Je to spôsobené vláknitým tvarom buniek.

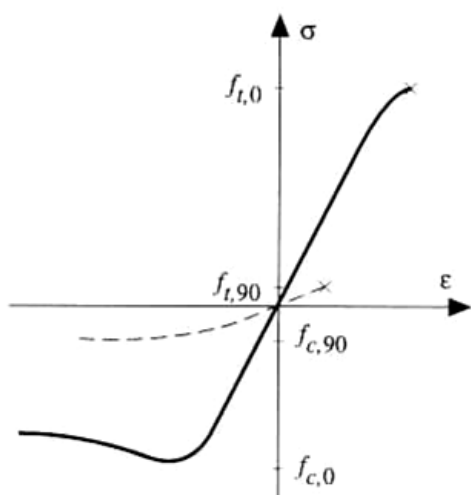
Tab. 6: Pevnosti v ťahu v smere vlákien vybraných drevín [7]

Druh dreva	Medza pevnosti v ťahu v smere vlákien [MPa]	
	w=12%	w>30%
Smrekovec	125	96
Borovica	103	79
Smrek	103	79
Jedľa	79	61
Dub	132	100
Jasan	145	109
Buk	123	92
Breza	139	106

- **Pevnosť dreva v ťahu kolmo na vlákna** - má najmenšiu pevnosť v rozpätí 1,5 - 5 MPa, preto by sa malo namáhaniu v tomto smere vyvarovať. Nízka pevnosť je spôsobená výrazne slabšími vodíkovými a Van Der Waalsovými väzbami. Pevnosti dreva sú v radiálnom (je vyššia) a tangenciálnom smere. [7], [13]

Tab. 7: Pevnosti v ťahu kolmo na vlákna vybraných drevín [7]

Druh dreva	Medza pevnosti v ťahu kolmo na vlákna	
	Radiálny smer pri w=12%	Tangenciálny smer w=12%
Smrek	2,2	1,7
Dub	5,8	-
Buk	4,4	3,4
Hrab	4,6	3,8



Graf 5: Závislosť napätia a pomerného pretvorenia namáhaného dreva [7]

- v smere vlákien (plná čiara)

- v smere kolmo na vlákna (čiarkovaná čiara)

PEVNOSŤ DREVA V TLAKU - je odpor dreva proti vonkajším silám, ktoré sa snažia drevo stlačiť. Medza pevnosti v tlaku $f_{c,0}$ sa vypočíta podľa rovnakého vzťahu ako pevnosť v ťahu. Pevnosť dreva v tlaku delíme podľa orientácie vlákien.

- **Pevnosť dreva v tlaku v smere vlákien** - vplyvom tlaku na teleso v smere vlákien dochádza k skráteniu. Závisí to hlavne na akosti, stavbe, hustote a vlhkosti dreva.

Tab. 8: Pevnosti v tlaku v smere vlákien vybraných drevín [7]

Druh dreva	Medza pevnosti v tlaku v smere vlákien [MPa]	
	w=12%	w>30%
Smrekovec	64,5	25,5
Borovica	48,5	21
Smrek	44,4	19,5
Hrab	60	26,5
Agát	75,5	41,5
Buk	55,5	26
Dub	57,5	30,4
Topoľ	39	18

- **Pevnosť dreva v tlaku naprieč vláknami** - nespôsobuje celkové porušenie telesa. Vlákna sú tlačené na seba a dochádza k zhutňovaniu drevnej štruktúry. Pevnosť v tlaku sa určuje z medze úmernosti na základe stanovených kritérií (konvenčná medza pevnosti). Rozlišujeme pevnosť v tangenciálnom a radiálnom smere.

Tab. 9: Pevnosti v tlaku naprieč vláknami vybraných drevín [7]

Druh dreva	Konvenčná medza pevnosti v tlaku v smere vlákien [MPa]			
	Radiálny smer		Tangenciálny smer	
	w=12%	w>30%	w=12%	w>30%
Smrekovec	4,5	2,7	6,1	2,5
Borovica	5,2	3,1	7,6	3,1
Smrek	3,4	2,3	4	2
Dub	11	6,5	8,5	5,1
Jilm	5,8	3,5	4,8	2,9
Buk	12,9	7,3	8,5	5,3
Hrab	14	7,9	8,5	5,2

PEVNOSŤ DREVA V ŠMYKU je častým spôsobom namáhania. Vzniká vždy spoločne s ďalším napätím (napr. ťahové, tlakové) Pevnosť sa stanovuje pôsobením dvoch rovnako veľkých síl opačného charakteru, ktoré vyvolávajú posunutie dvoch susedných prierezov. [7]

Pevnosť v šmyku rovnobežne s vláknami sa vypočíta podľa vťahu:

$$f_v = \frac{F_{\max} \cdot \cos 14^\circ}{b \cdot l}$$

F_{\max} - maximálne šmykové zaťaženie [N]
 b - šírka telesa [mm]
 l - dĺžka telesa [mm]

PEVNOSŤ DREVA V OHYBE - je jedna z najdôležitejších mechanických vlastností. Spravidla sa sleduje a používa pevnosť dreva v ohybe naprieč vláknami. Skúšobné teleso skúšame tak, aby zaťaženie pôsobilo v tangenciálnom smere. Rozdiely medzi pevnosťou dreva v ohybe v radiálnom a tangenciálnom smere sa vyskytujú iba u ihličnatých drevín (v tangenciálnom smere sú o 10 až 12% väčšie ako v radiálnom). Listnaté drevo má hodnotu medze pevnosti pri statickom ohybe v oboch smeroch prakticky rovnakú (rozdiely max. 2 až 4%).

Vzťah pre určenie pevnosti dreva v ohybe je:

$$f_m = \frac{3Fa}{b \cdot h^2}$$

F - zaťaženie [N]
 a - vzdialenosť medzi podporami [m]
 b, h - šírka a výška prierezu [m]

Tab. 10: Pevnosť dreva v ohybe v tangenciálnom smere [7]

Druh dreva	Medza pevnosti v ohybe [MPa]	
	w=12%	w>30%
Smrekovec	112	62
Borovica	86	50
Smrek	80	44
Jedľa	69	41
Dub	108	68
Jasan	123	75
Buk	109	65
Breza	110	60

3.2.3 TVRDOSŤ DREVA

TVRDOSŤ DREVA vyjadruje odpor voči vnikaniu iného telesa do jeho štruktúry. Tvrdosť dreva závisí na smere vlákien, vlhkosti dreva, objemovej hmotnosti a anatomickej stavbe. Rozlišujeme tvrdosť **statickú** a **dynamickú**.

- **Statická tvrdosť** - spočíva v zatlačovaní ocelevej guľičky daného priemeru statickým zaťažením na plochu dreva.
- **Dynamická tvrdosť** - stanoví sa ako podiel potenciálnej energie volne padajúcej guľičky zo stanovenej výšky k vytvorenej otláčenej ploche. Dynamická tvrdosť sa zmení o 2% pri zmene vlhkosti o 1%. [7], [12]

Dreviny vyskytujúce sa na území ČR delíme podľa tvrdosti pri $w=12\%$ na:

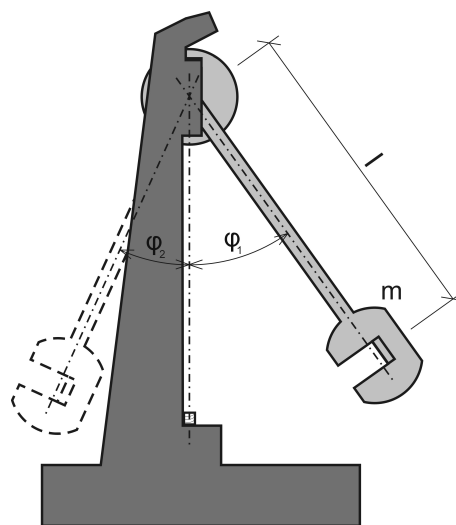
Tab. 11: Rozdelenie drevím podľa tvrdosti pri $w=12\%$ na území ČR [7]

Mäkké - tvrdosť < 40 MPa	smrek, jedľa, borovica, topol, lipa (vryp nechťom tvorí zreteľnú ryhu)
Stredne tvrdé - tvrdosť = 40-80 MPa	jaseň, dub, orech (vryp netvorí výraznú ryhu)
Tvrde - tvrdosť > 80 MPa	hrab, agát, tis

Super tvrdé dreviny sú eben a guajak, ktoré sa však na území ČR nevyskytujú.

3.2.4 RÁZOVÁ HÚŽEVNATOSŤ DREVA

RÁZOVÁ HÚŽEVNATOSŤ je schopnosť dreva odolávať dynamickému namáhaniu ohybom. Táto metóda je založená na princípe zistenia spotrebovanej energie potrebnej k porušeniu dreva normou definovaných rozmerov. Na zistenie rázovej húževnatosti používame špeciálne prerážacie kladivá napr. Charphyho kladivo. Rázovú húževnatosť vypočítame z pomeru energie a priečnych rozmerov skúšobného telesa. [6], [7]



Obr. 24: Schéma skúšky stanovovania rázovej húževnatosti dreva v ohybe [6]

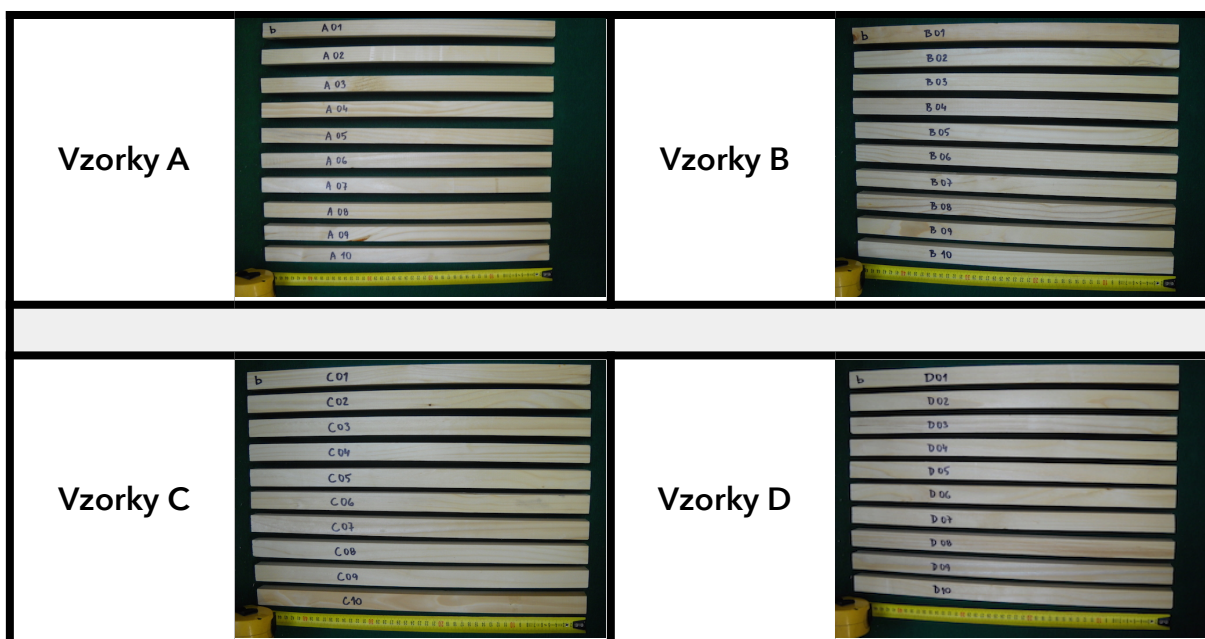
4 EXPERIMENTÁLNA ČASŤ

4.1 POSTUP VLASTNÉHO MERANIA

Pre praktickú časť boli vykonané tieto veci:

4.1.1 ZHOTOVENIE VZORKOV

Pre experimentálnu časť bolo vyhotovených celkom 40 kusov skúšobných vzoriek zo smrekového dreva. Rozmery vzoriek boli s miernou odchylkou 25x25x475 mm. Všetky vzorky sa vybrali tak aby boli bezvadné tj. bez sukov, kôry, hniloby atď. Vzorky boli rozdelené do štyroch skupín po 10 kusov. Každá vzorka obsahovala popis skupiny a číslo vzorku v danej skupine.



Obr. 25: Fotodokumentácia skúšobných vzorkov

4.1.2 MERANIE SUCHÝCH VZORKOV

Vzorky boli vysušené pri teplote 103 ± 2 °C v horkovzdušnej sušiarne HS 122 A. Ihneď po vybratí vzorkov zo sušiarne bola zmeraná hmotnosť na digitálnej laboratórnej váhe KERN EW 6200 - 2NM. Hmotnosť bola stanovená s presnosťou 0,01g. Hodnoty hmotností jednotlivých vzorkov sú zaznamenané v tabulkách v prílohách 1 až 4.



Obr. 27: Ilustračné foto sušičky



Obr. 26: Ilustračné foto váhy

Pomocou digitálneho posuvného meradla sa stanovili rozmery skúšobných vzorkov. Pričné rozmery boli zmerané vždy v strede dĺžky vzorku. Meranie bolo vykonané s presnosťou $\pm 1\%$. Hodnoty rozmerov jednotlivých vzorkov sú zaznamenané v tabulkách v prílohách 1 až 4.



Obr. 28: Ilustračné foto digitálneho posuvného meradla

4.1.3 MERANIE VLHKÝCH VZORKOV

Skúšobné vzorky boli rozdelené do skupín A, B, C, D. Každá skupina bolo vystavená pôsobeniu vody po rôzne dlhú dobu. Týmto je docielené odlišné nasýtenie bunkových stien dreva čo vo finále znamená, že budú mať rozdielnu vlhkosť. Vzorky skupiny A boli ihneď po vysušení zmerané a otestované v pevnosti dreva v ohybe. Vzorky skupiny B sa nechali vo vode po dobu 48 hodín a skupina C po dobu 7 dní. Posledná skupina vzorkov D bola vystavená pôsobeniu vody po dobu dvoch týždňov.



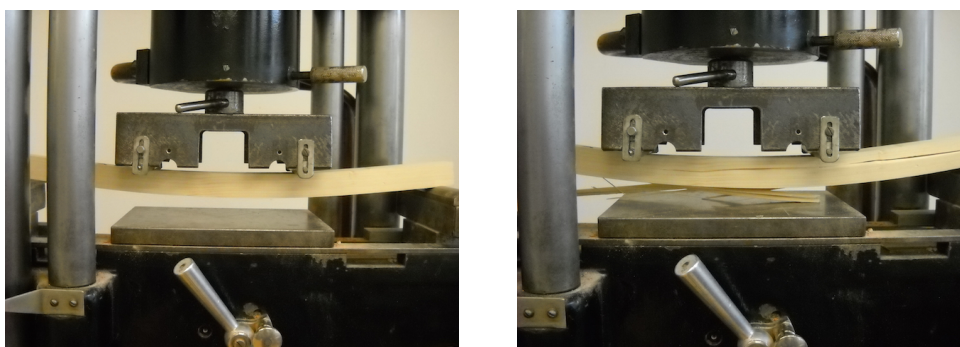
Obr. 29: Nádoba na vlhčenie vzorkov

Vzorky boli ponorené do plastového vedra s vodou, ktoré boli zaťažené závažím aby neplávali na hladine.

Po nasýtení vodou boli každej skupine vzorkov znova zmerané všetky rozmery a boli opätovne zvážené. Hodnoty hmotností a rozmerov jednotlivých nasýtených vzorkov sú zaznamenané v tabulkách v prílohách 1 až 4.

4.1.4 SKÚŠANIE VZORKOV V OHYBE

Skúška prebiehala podľa stanoveného postupu uvedeného v norme ČSN EN 408. Vzorky a ich rozmery v pozdĺžnom smere odpovedali rozmerom do max. 19 násobku jeho priečného rozmeru ako určuje norma pre skúšku pevnosti dreva v tangenciálnom ohybe. Skúšobné teleso sa zaťažuje symetricky štvorbodovým ohybom pri rozpätí rovnajúcom sa 18 násobku výšky (max. zaťažovanie sa vykonáva rovnomerne konštantnou rýchlosťou až do porušenia vzorku. V tomto momente sa zaznamenáva maximálna sila F_{\max} .



Obr. 30 Skúšky pevnosti a porušenie dreva v ohybe

Z hodnôt dosiahnutých pri skúšaní vzorkov sa potom stanovili pevnosti v tangenciálnom ohybe. V nasledujúcej tabulke sú zaznamenané maximálne zaťaženia, ktoré spôsobilo porušenie jednotlivých vzorkov.

Tab. 12: Namerané hodnoty maximálnych zaťažení

Číslo vzorku	Maximálne zaťaženie F_{\max} [kN]			
	A	B	C	D
1	2,48	1,60	1,58	1,20
2	3,25	1,60	1,45	1,48
3	2,18	1,45	1,53	1,08
4	1,90	1,75	1,33	1,15
5	3,38	1,88	1,25	1,40
6	2,80	1,85	1,45	1,38
7	2,63	1,68	1,10	0,95
8	2,35	1,58	1,25	1,03
9	2,73	1,70	1,48	1,15
10	2,40	2,20	1,25	1,10
Priemer	2,61	1,73	1,37	1,19

4.2 VÝPOČET A VYHODNOTENIE JEDNOTLIVÝCH VELIČÍN

4.2.1 STANOVENIE VLHKOSTI DREVA

VLHKOSŤ DREVA môžeme vyjadriť ako percentuálny podiel hmotnosti vody obsiahnutej vo vlhkom vzorku k hmotnosti rovnakého vzorku v absolútne suchom stave. K stanoveniu vlhkosti je potrebná váha s presnosťou 0,01 [g] a sušička umožňujúca regulovanie teploty v rozmedzí 103 +/- 2°C.

Pripravené vysušené skúšobné vzorky zvážíme s stanovíme hmotnosť m_0 s presnosťou na 0,01 [g]. Následne sa vzorky namočia a nechajú sa nasiaknuť vodou. Potom vzorky znova zvážíme a tým získame hmotnosť vlhkého vzorku m_1 . Nakoniec vlhkosť stanovíme pomocou vzorca:

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

m_1 - hmotnosť vlhkého vzorku [kg]
 m_0 - hmotnosť vysušeného vzorku [kg]
 w - vlhkosť [%]

Tab. 13: Vypočítané vlhkosti dreva u jednotlivých vzorkov [Príloha 1-4]

Číslo vzorku	Vlhkosť jednotlivých vzorkov w [%]			
	A	B	C	D
1	0	22,89	36,26	74,52
2	0	22,31	36,33	55,29
3	0	21,87	38,93	81,86
4	0	20,17	53,27	79,94
5	0	17,12	51,46	60,39
6	0	24,64	44,85	60,79
7	0	27,11	47,74	80,05
8	0	24,28	42,87	78,84
9	0	20,58	37,09	82,64
10	0	17,41	40,92	68,08
Priemer	0	21,84	42,97	72,24

Skupina vzorkou A bola ihneď po vysušení podrobená skúške pevnosti dreva v ohybe, preto všetky jej hodnoty vlhkosti sú nulové. Pre lepšiu prehľadnosť budú ďalej hodnoty vlhkosti uvádzané zaokrúhlene na celé čísla.

4.2.2 STANOVENIE HUSTOTY DREVA

HUSTOTA DREVA závisí na druhu dreva a jeho vlhkosti. Stanovenie hustoty vykonáme pomocou zváženia a zmerania rozmerov vzoriek dreva vo vysušenom a vo vlhkom stave. Hustotu dreva v jednotlivých stavoch určíme pomocou nasledovných vzťahov:

$$\rho_0 = \frac{m_0}{a_0 \cdot b_0 \cdot L_0} = \frac{m_0}{V_0}$$

m_0 - hmotnosť vysušeného vzorku [kg]

a_0, b_0, L_0 - rozmery vysušeného vzorku [m]

V_0 - objem vysušeného vzorku [m³]

ρ_0 - hustota vysušeného vzorku [kg/m³]

$$\rho_w = \frac{m_w}{a_w \cdot b_w \cdot L_w} = \frac{m_w}{V_w}$$

m_w - hmotnosť vlhkého vzorku [kg]

a_w, b_w, L_w - rozmery vlhkého vzorku [m]

V_w - objem vlhkého vzorku [m³]

ρ_w - hustota vlhkého vzorku [kg/m³]

Vypočítané hodnoty hustôt jednotlivých vzorkov sú uvedené v Prílohe 1-4.

V nasledujúcej tabulke sú uvedené priemerné hodnoty hustôt jednotlivých skupín.

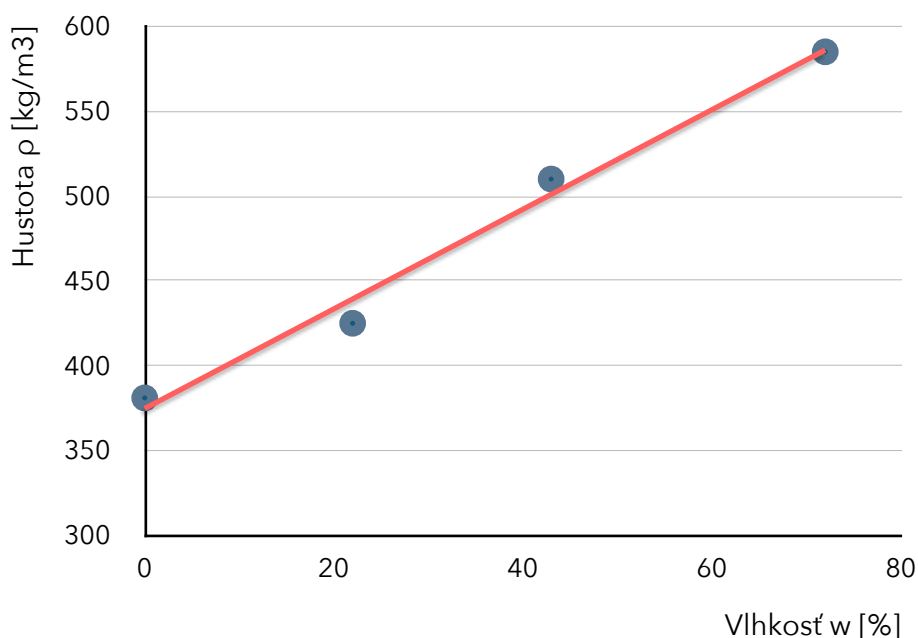
Tab. 14: Priemerené hodnoty hustôt dreva [Príloha 1-4]

Skupina vzorkov	Vlhkosť [%]	Hustota [kg/m ³]
Vzorky A	vysušené w=0	381,25
	-	-
Vzorky B	pred navlhčením	385,99
	po navlhčení w=22	424,53
Vzorky C	pred navlhčením	402,56
	po navlhčení w=43	510,46
Vzorky D	pred navlhčením	381,62
	po navlhčení w=72	584,99

Pre lepšiu prehľadnosť sú v prehľadnej tabulke nižšie vybrané priemerné hodnoty jednotlivých skupín vzorkov zaokruhlené na celé čísla, ktoré sú potom vynesené do grafu.

Tab. 15: Priemerné hodnoty hustôt dreva v závislosti na vlhkosti [Príloha 1-4]

Vzorky	A	B	C	D
Vlhkosť [%]	0	22	43	72
Hustota [kg/m^3]	381	425	510	585



Graf 6: Závislosť hustoty dreva na vlhkosti

Z grafu je možné vidieť, že hustota dreva rastie spolu so zvyšujúcou sa vlhkosťou. Táto závislosť hustoty dreva na jeho vlhkosti ako znázorňuje graf vyššie je približne lineárna.

4.2.3 STANOVENIE NAPÚČANIA DREVA

NAPÚČANIE je schopnosť dreva zväčšovať svoje lineárne rozmery, plochu alebo objem telesa pri prijímaní viazanej vody. Napúčanie sa vyjadruje podielom zmeny rozmeru k pôvodnej hodnote. Udáva sa v percentách.

Pripravené skúšobné vzorky zmeráme a stanovíme ich rozmery v priečnom smere b_s , h_s , pozdĺžnom smere L_s a vypočítame objem V_s . Potom vzorky vložíme do vody a necháme nasiaknuť vodou, ktoré po nasiaknutí znova zmeráme a tak získame nové hodnoty vzorkov b_w , h_w , L_w a vypočítame objem V_w . Vzťah pre výpočet napúčania je:

$$a = \frac{L_w - L_s}{L_s} \cdot 100$$

L_w - pozdĺžny rozmer vlhkého vzorku [mm]

L_s - pozdĺžny rozmer vysušeného vzorku [mm]

$$a = \frac{b_w - b_s}{b_s} \cdot 100$$

b_w - šírka vlhkého vzorku [mm]

b_s - šírka vysušeného vzorku [mm]

$$a = \frac{h_w - h_s}{h_s} \cdot 100$$

h_w - výška vlhkého vzorku [mm]

h_s - výška vysušeného vzorku [mm]

$$a = \frac{V_w - V_s}{V_s} \cdot 100$$

V_w - objem vlhkého vzorku [m^3]

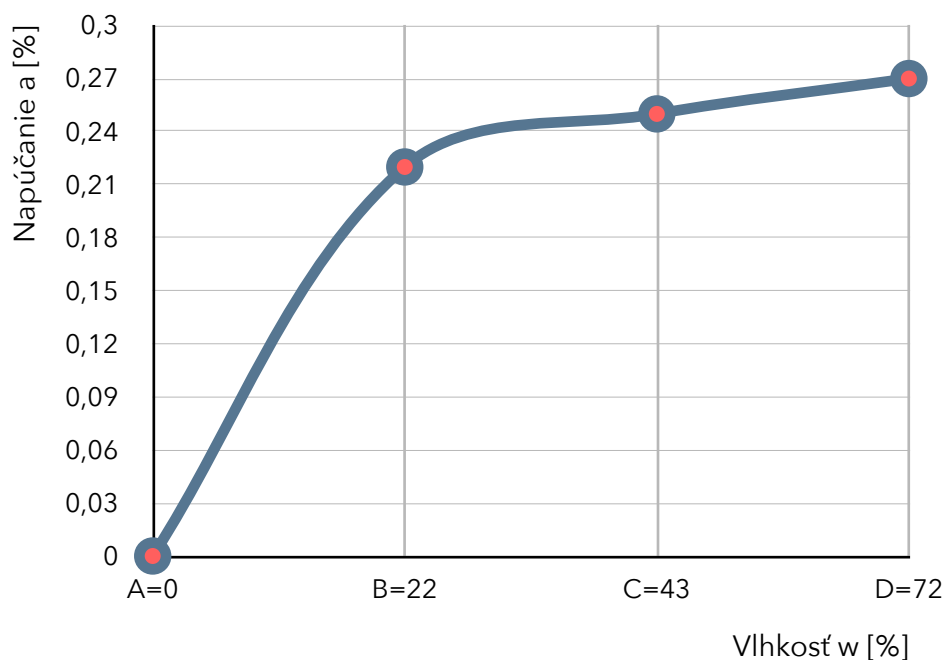
V_s - objem vysušeného vzorku [m^3]

Vypočítaná hodnoty napúčania priečne (a_p), pozdĺžne (a_L) i objemové (a_v) jednotlivých vzorkov sú uvedené v tabulkách v prílohe 1 až 4. Skupina vzorkov A bola vysušená do absolútne suchého stavu a preto dosahujú hodnoty nula. Všetky uvádzané hodnoty v tabulkách nižšie sú priemerné hodnoty jednotlivých vzorkov uvedené v prílohách 1 až 4. Z dôvodu nevykonania zápisu jednotlivých hodnôt v radiálnom a tangenciálnom smere bolo preto vyhodnotené napúčanie iba v priečnom smere (a_p). V nasledujúcich tabulkách sú hodnoty vlhkosti zaokrhované na celé čísla avšak u napúčania z dôvodu nízkych hodnôt sú s presnosťou na dve desatinné miesta.

NAPÚČANIE DREVA V POZDĹŽNOM SMERE V ZÁVISLOSTI NA VLHKOSTI

Tab. 16: Priemerné hodnoty napúčania dreva v pozdĺžnom smere [Príloha 1-4]

Vzorky	A	B	C	D
Priemerná vlhkosť [%]	0	22	43	72
Priemerné pozdĺžne napúčanie [%]	0	0,22	0,25	0,27



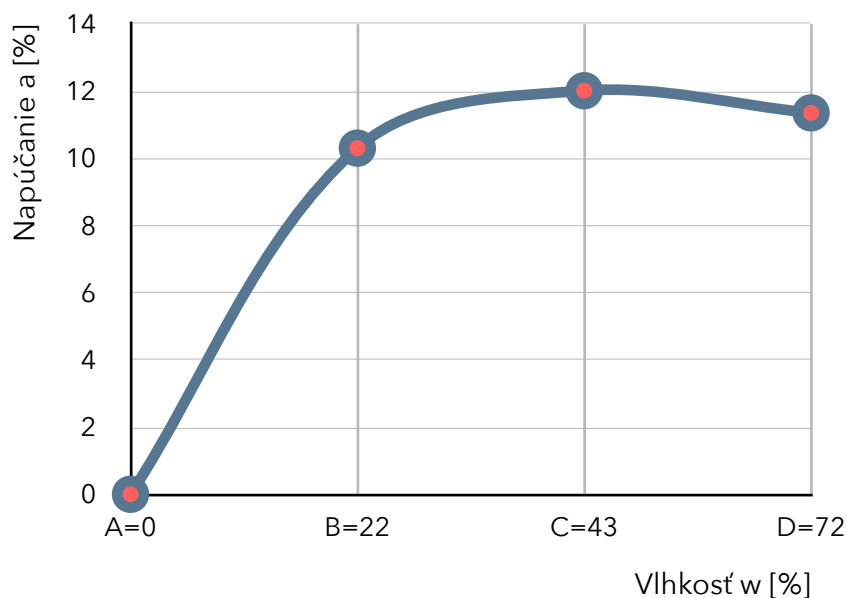
Graf 7: Napúčanie dreva v pozdĺžnom smere v závislosti na vlhkosti

Z grafu je viditeľné, že pozdĺžne napúčanie prudko rastie s vlhkosťou až do bodu kedy sú bunkové steny dreva nasýtené (okolo hodnôt vlhkosti 30%). Po dosiahnutí tohto bodu by nemali hodnoty už stúpať. Avšak skupina vzoriek D dosahuje priemernej hodnoty 0,27% čo v tomto prípade vykazuje na grafe mierne stúpanie aj keď podľa správnosti by mala byť táto hodnota nižšia. Tento jav môže byť spôsobený nedostačujúcim počtom vzoriek a vykonaných meraní.

NAPÚČANIE DREVA V PRIEČNOM SMERE V ZÁVISLOSTI NA VLHKOSTI

Tab. 17: Priemerné hodnoty napúčania dreva v priečnom smere [Príloha 1-4]

Vzorky	A	B	C	D
Priemerná vlhkosť [%]	0	22	43	72
Priemerné priečne napúčanie [%]	0	10,31	12,02	11,36

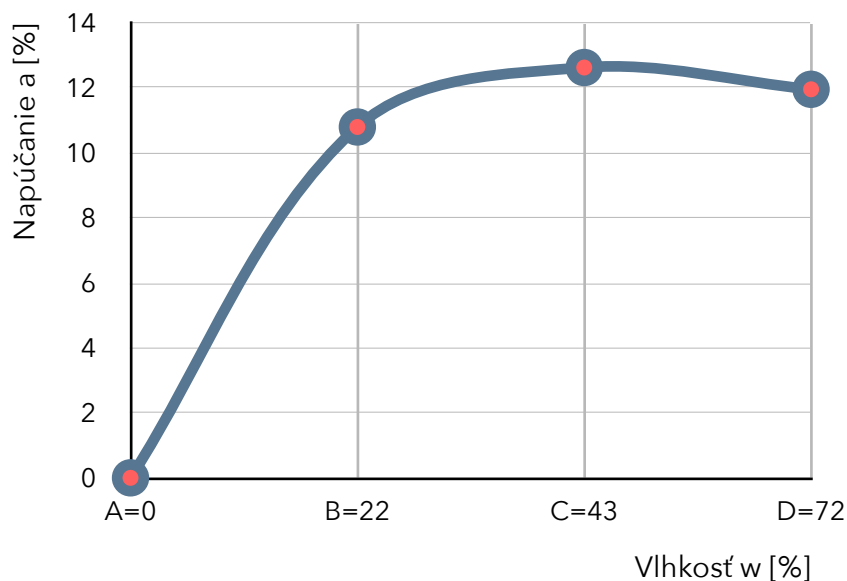


Graf 8: Napúčanie dreva v priečnom smere v závislosti na vlhkosti

OBJEMOVÁ NAPÚČANIE DREVA V ZÁVISLOSTI NA VLHKOSTI

Tab. 18: Priemerné hodnoty objemového napúčania dreva [Príloha 1-4]

Vzorky	A	B	C	D
Priemerná vlhkosť [%]	0	22	43	72
Priemerné objemové napúčanie [%]	0	10,8	12,63	11,96



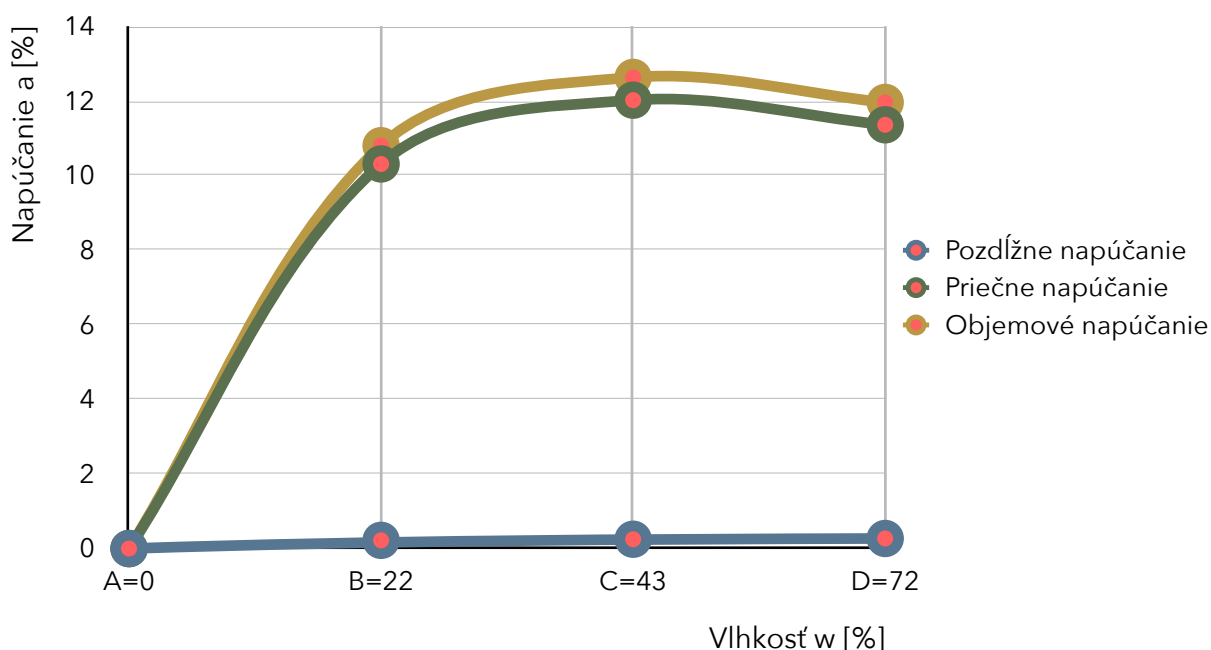
Graf 9: Objemové napúčanie dreva v závislosti na vlhkosti

Z grafov uvedených na predchádzajúcej stránke je viditeľné ako pri dosiahnutí vlhkosti cca 40% začnú hodnoty napúčavosti mierne klesať. Je to z dôvodu dosiahnutia bodu nasýtenia bunkových stien dreva avšak tá by mala nastať už okolo 30% vlhkosti. Túto nepresnosť by bolo možné minimalizovať pri dostatočnom počte skupín vzorkov a vykonaných meraní. Tak by sme sa čo najviac priblížili k tejto hranici bodu nasýtenia bunkových stien dreva.

SÚHRN JEDNOTLIVÝCH NAPÚČANÍ

Tab. 19: Súhrnné hodnoty jednotlivých napúčaní

Vzorky	A	B	C	D
Vlhkosť [%]	0	22	43	72
Pozdĺžne napúčanie [%]	0	0,22	0,25	0,27
Priečne napúčanie [%]	0	10,31	12,02	11,36
Objemové napúčanie [%]	0	10,8	12,63	11,96

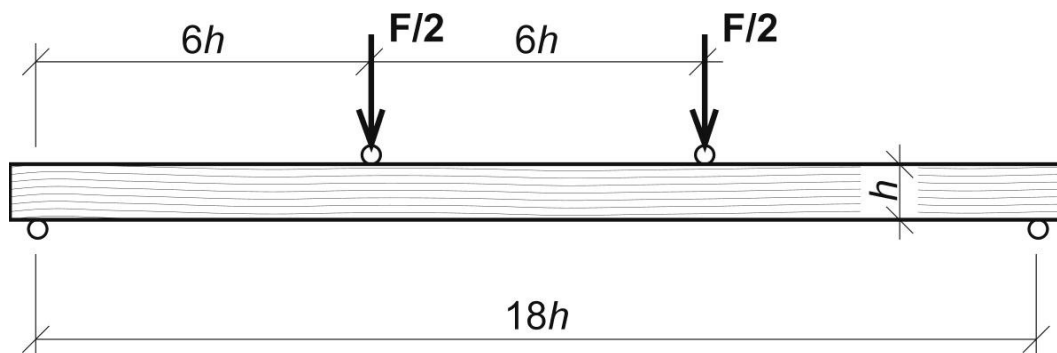


Graf 10: Súhrn jednotlivých napúčaní dreva v závislosti na vlhkosti

Zo súhrnného grafu je vidieť, že napúčanie dreva dosahuje v pozdĺžnom smere najnižšej hodnoty. Napúčanie objemové a priečne sú takmer totožné. Je to spôsobené z hlavne toho dôvodu, že pozdĺžne napúčanie je veľmi malé oproti priečnému a tak hlavná zložka objemového napúčania je tvorená najmä priečnym napúčaním.

4.2.4 STANOVENIE PEVNOSTI DREVA V OHYBE

PEVNOSŤ DREVA V OHYBE je schopnosť dreva odolávať zaťaženiu ak je materiál podopretý na dvoch miestach proti dvom pôsobiacim zaťaženiám, ktoré pôsobia symetricky a mimo tieto podpory vo vzdialenostiach $6h$ (je možné zmeniť o max. $1,5h$). Pri tomto zaťažení dochádza v hornej časti k tlaku a v spodnej časti k ťahu.



Obr. 31 Schéma skúšky pevnosti dreva v ohybe [6]

Pevnosť v ohybe je skúšaná podľa normy ČSN 49 0115. Skúšobné teleso najprv zmeriame v polovici dĺžky s presnosťou na 1%. Najmenšia dĺžka skúšobného telesa je spravidla 19 násobok výšky prierezu. Skúšobné teleso zaťažujeme symetricky štvorbodovým ohybom pri rozpätí rovnajúcom sa 18 násobku výšky. Pri skúšaní dreva sa orientujú skúšobné telesá obvykle tak, aby zaťaženie pôsobilo naprieč vláknam v tangenciálnom smere (tangenciálny ohyb). Zaťažovanie vykonávame rovnomerne konštantnou rýchlosťou až do porušenia vzorku. V tomto momente zapíšeme maximálnu silu F_{\max} . [6]

Pevnosť v ohybe vypočítame podľa vzťahu:

$$f_m = \frac{F_{\max} \cdot a}{2w} = \frac{6 \cdot h \cdot F_{\max}}{2 \cdot \frac{1}{6} \cdot b h^2} = \frac{18 \cdot F_{\max}}{b \cdot h}$$

F_{\max} - najväčšie zaťaženie [N]

$a=6h$ - vzdialenosť medzi pôsobiskom zaťaženia a najbližšou podporou [mm]

b, h - šírka a výška prierezu skúšobného telesa [mm]

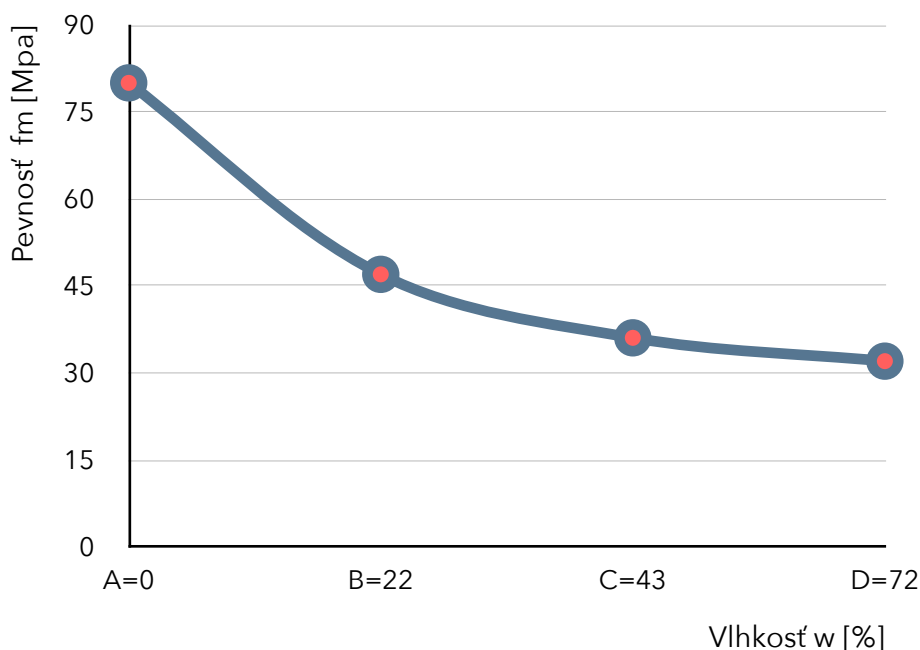
w - prierezový modul pre obdĺžnikový prierez [mm^3]

f_m - pevnosť v ohybe [$\text{N}/\text{mm}^2 = \text{MPa}$]

Hodnoty pevností dreva v ohybe v tangenciálnom smere (tangenciálny ohyb) jednotlivých vzorkov sú vypočítané v tabulkách v prílohách 1 až 4. U každej skupiny vzorkov sa z hodnôt pevností jednotlivých vzoriek vypočítal priemer, ktorý potom reprezentoval danú skupinu. Tieto priemerné hodnoty zobrazuje prehľadná tabuľka nižšie. Pre ešte lepšiu prehľadnosť sa tieto hodnoty udávajú v závislosti na vlhkosti, ktoré sú zaokruhlené na celé čísla.

Tab. 20: Hodnoty priemerných pevností dreva v tangenciálnom ohybe

Vzorky	A	B	C	D
Vlhkosť w [%]	0	22	43	72
Pevnosť dreva v ohybe f_m [MPa]	80	47	36	32



Graf 11: Pevnosti dreva v tangenciálnom ohybe v závislosti na vlhkosti

Z grafu vyššie vypláva, že pevnosť dreva pomerne prudko klesá so zvyšujúcou sa vlhkosťou, ale iba do bodu odpovedajúceho bodu nasýtenia bunkových stien (okolo $w=30\%$). Od tohto bodu už nedochádza k tak prudkému klesaniu pevnosti. Pevnosť dreva v závislosti na vlhkosti od bodu nasýtenia bunkových stien až po úplné nasýtenie dreva prebieha takmer konštantne.

4.3 ÚNOSNOSŤ KONŠTRUKČNÉHO PRVKU

	JEHLČNATÉ DŘEVINY														LISTNATÉ DŘEVINY								
		C14	C16	C18	C20	C22	C24	C27	C30	C35	C40	C45	C50		D18	D24	D30	D35	D40	D50	D60	D70	
PEVNOSTNÍ VLASTNOSTI (v N/mm ²)																							
Ohyb	$f_{m,k}$	14	16	18	20	22	24	27	30	35	40	45	50		$f_{m,k}$	18	24	30	35	40	50	60	70
Tah rovnoběžně s vlákny	$f_{t,0,k} = 0,6 f_{m,k}$	8	10	11	12	13	14	16	18	21	24	27	30		$f_{t,0,k} = 0,6 f_{m,k}$	11	14	18	21	24	30	36	42
Tah kolmo k vláknům	$f_{t,90,k} = 0,4$	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4		$f_{t,90,k} = 0,6$	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6
Tlak rovnoběžně s vlákny	$f_{c,0,k} = 5 (f_{m,k})^{0,45}$	16	17	18	19	20	21	22	23	25	26	28	29		$f_{c,0,k} = 5 (f_{m,k})^{0,45}$	18	21	23	25	26	29	32	34
Tlak kolmo k vláknům	$f_{c,90,k} = 0,007 k$	2,0	2,2	2,2	2,3	2,4	2,5	2,6	2,7	2,8	2,9	3,1	3,2		$f_{c,90,k} = 0,015 k$	7,5	7,8	8,0	8,1	8,3	9,3	10,5	13,5
Smyk	$f_{v,k}$	3,0	3,2	3,4	3,6	3,8	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0		$f_{v,k}$	3,4	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,5	5,0
TUHOSTNÍ VLASTNOSTI (v kN/mm ²)																							
Průměrná hodnota modulu pružnosti rovnoběžně s vlákny	$E_{0,mean}$	7	8	9	9,5	10	11	11,5	12	13	14	15	16		$E_{0,mean}$	9,5	10	11	12	13	14	17	20
5% kvantil modulu pružnosti rovnoběžně s vlákny	$E_{0,05} = 0,67 E_{0,mean}$	4,7	5,4	6,0	6,4	6,7	7,4	7,7	8,0	8,7	9,4	10,1	10,7		$E_{0,05} = 0,84 E_{0,mean}$	8,0	8,4	9,2	10,1	10,9	11,8	14,3	16,8
Průměrná hodnota modulu pružnosti kolmo k vláknům	$E_{90,mean} = E_{0,mean} / 30$	0,23	0,27	0,30	0,32	0,33	0,37	0,38	0,40	0,43	0,47	0,50	0,53		$E_{90,mean} = E_{0,mean} / 15$	0,63	0,67	0,73	0,80	0,87	0,93	1,13	1,33
Průměrná hodnota modulu pružnosti ve smyku	$G_{mean} = E_{0,mean} / 16$	0,44	0,50	0,56	0,59	0,63	0,69	0,72	0,75	0,81	0,88	0,94	1,00		$G_{mean} = E_{0,mean} / 16$	0,59	0,63	0,69	0,75	0,81	0,88	1,06	1,25
HUŠTOTA (v kg/m ³)																							
Hustota	k	290	310	320	330	340	350	370	380	400	420	440	460		k	500	520	530	540	550	620	700	900
Průměrná hodnota hustoty	$mean = 1,2 k$	350	370	380	400	410	420	440	460	480	500	530	550		$mean = 1,2 k$	600	620	640	650	660	740	840	1080

POZNÁMKA: Tabulkované hodnoty odpovídají dřevu s vlhkostí při teplotě 20°C a relativní vlhkosti 65%.

Tab. 21: Triedy pevnosti - charakteristické hodnoty dřevín [6]

Zatriedenie dreva: Podľa priemernej hustoty sa drevo zatriedi do triedy pevnosti dreva v ohybe podľa tabuľky vyššie.

Vzťah pre výpočet pevnosti dreva v ohybe $f_{m,d}$:

$$f_{m,d} = \frac{f_{m,k}}{\gamma_m} \cdot k_{mod} =$$

$f_{m,k}$ - pevnosť materiálu v ohybe [MPa]

γ_m - súčiniteľ materiálu

k_{mod} - modifikačný súčiniteľ

Vzťah pre výpočet modulu pružnosti skutočného prierezu W:

$$w = \frac{1}{6} \cdot b \cdot h^2 =$$

b, h - šírka a výška prierezu skúšobného telesa [mm]

Vzťah pre výpočet normálového napätia σ :

$$\sigma_{m,d} = \frac{M_d}{w} =$$

M_d - maximálny ohybový moment [kNm]

w - modul pružnosti prierezu [mm³]

4.3.1 POSÚDENIE NOSNÍKU NA OHYB

Posúdenie drevenného nosníku na ohyb vychádza zo vzoriek skupiny A, B, C, a D, ktoré majú štvorcový prierez. Rozmery vzoriek sú dané u každej skupiny vstupnými údajmi. Hodnoty výšky, šírky a dĺžky telesa sa získali priemerom z meraní rozmerov na celom prvku. Vzorky boli podľa zistenej hustoty zatriedené do tried. Modifikačný súčiniteľ k_{mod} bol stanovený pri strednedobom zaťažení a pri odpovedajúcej vlhkosti. Zaťaženie na teleso sa uvažuje strednedobým momentom $M_d = 0,05 \text{ kNm}$.

VZORKY A

Tab. 22: Vstupné údaje skupiny vzoriek A

VSTUPNÉ ÚDAJE SKUPINY VZORIEK A	
Zatriedenie dreva	C30
Zaťažovací moment M_d [kNm]	0,05
Modifikačný súčiniteľ k_{mod}	0,8
Súčiniteľ vlastností materiálu γ_m	1,3
Pevnosť materiálu v ohybe $f_{m,k}$ [MPa]	80
Hustota ρ_k [kg/m ³]	381
Šírka x výška x dĺžka [mm]	24 x 24 x 474

VÝPOČET PEVNOSTI DREVA $f_{m,d}$:

$$f_{m,d} = \frac{f_{m,k}}{\gamma_m} \cdot k_{\text{mod}} = \frac{80}{1,3} \cdot 0,8 = 49,24 \text{ MPa}$$

VÝPOČET MODULU PRUŽNOSTI SKUTOČNÉHO PRIREZU W :

$$w = \frac{1}{6} \cdot b \cdot h^2 = \frac{1}{6} \cdot 24 \cdot 24^2 = 2\,304 \text{ mm}^3 = 2,304 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3$$

VÝPOČET NORMÁLOVÉHO NAPÄTIA σ :

$$\sigma_{m,d} = \frac{M_d}{w} = \frac{0,05}{2,304 \cdot 10^{-6}} = 21\,701 \text{ kPa} = 21,7 \text{ MPa}$$

PODMIENKA SPOLAHLIVOSTI:

$$\sigma_{m,d} \leq f_{m,d}$$

$$21,7 \text{ MPa} \leq 49,24 \text{ MPa}$$

YHOVUJE NA OHYB

VZORKY B

Tab. 23: Vstupné údaje skupiny vzoriek B

VSTUPNÉ ÚDAJE SKUPINY VZORIEK B	
Zatriedenie dreva	C30
Zaťažovací moment M_d [kNm]	0,05
Modifikačný súčiniteľ k_{mod}	0,65
Súčiniteľ vlastností materiálu γ_m	1,3
Pevnosť materiálu v ohybe $f_{m,k}$ [MPa]	47
Hustota ρ_k [kg/m ³]	386
Šírka x výška x dĺžka [mm]	26 x 26 x 473

VÝPOČET PEVNOSTI DREVA $f_{m,d}$:

$$f_{m,d} = \frac{f_{m,k}}{\gamma_m} \cdot k_{mod} = \frac{47}{1,3} \cdot 0,65 = 23,5 \text{ MPa}$$

VÝPOČET MODULU PRUŽNOSTI SKUTOČNÉHO PRIREZU W :

$$w = \frac{1}{6} \cdot b \cdot h^2 = \frac{1}{6} \cdot 26 \cdot 26^2 = 2929 \text{ mm}^3 = 2,929 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3$$

VÝPOČET NORMÁLOVÉHO NAPÄTIA σ :

$$\sigma_{m,d} = \frac{M_d}{w} = \frac{0,05}{2,929 \cdot 10^{-6}} = 17071 \text{ kPa} = 17,071 \text{ MPa}$$

PODMIENKA SPOLAHLIVOSTI:

$$\sigma_{m,d} \leq f_{m,d}$$

$$17,07 \text{ MPa} \leq 23,5 \text{ MPa}$$

VYHOVUJE NA OHYB

VZORKY C

Tab. 24: Vstupné údaje skupiny vzoriek C

VSTUPNÉ ÚDAJE SKUPINY VZORIEK C	
Zatriedenie dreva	C30
Zaťažovací moment M_d [kNm]	0,05
Modifikačný súčiniteľ k_{mod}	0,65
Súčiniteľ vlastností materiálu γ_m	1,3
Pevnosť materiálu v ohybe $f_{m,k}$ [MPa]	36
Hustota ρ_k [kg/m ³]	403
Šírka x výška x dĺžka [mm]	26 x 26 x 475

VÝPOČET PEVNOSTI DREVA $f_{m,d}$:

$$f_{m,d} = \frac{f_{m,k}}{\gamma_m} \cdot k_{mod} = \frac{36}{1,3} \cdot 0,65 = 18 \text{ MPa}$$

VÝPOČET MODULU PRUŽNOSTI SKUTOČNÉHO PRIREZU W :

$$w = \frac{1}{6} \cdot b \cdot h^2 = \frac{1}{6} \cdot 26 \cdot 26^2 = 2929 \text{ mm}^3 = 2,929 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3$$

VÝPOČET NORMÁLOVÉHO NAPÄTIA σ :

$$\sigma_{m,d} = \frac{M_d}{w} = \frac{0,05}{2,929 \cdot 10^{-6}} = 17071 \text{ kPa} = 17,071 \text{ MPa}$$

PODMIENKA SPOLAHLIVOSTI:

$$\sigma_{m,d} \leq f_{m,d}$$

$$17,07 \text{ MPa} \leq 18 \text{ MPa}$$

VYHOVUJE NA OHYB

VZORKY D

Tab. 25: Vstupné údaje skupiny vzoriek D

VSTUPNÉ ÚDAJE SKUPINY VZORIEK D	
Zatriedenie dreva	C30
Zaťažovací moment M_d [kNm]	0,05
Modifikačný súčiniteľ k_{mod}	0,65
Súčiniteľ vlastností materiálu γ_m	1,3
Pevnosť materiálu v ohybe $f_{m,k}$ [MPa]	32
Hustota ρ_k [kg/m ³]	382
Šírka x výška x dĺžka [mm]	26 x 26 x 475

VÝPOČET PEVNOSTI DREVA $f_{m,d}$:

$$f_{m,d} = \frac{f_{m,k}}{\gamma_m} \cdot k_{mod} = \frac{32}{1,3} \cdot 0,65 = 16,22 \text{ MPa}$$

VÝPOČET MODULU PRUŽNOSTI SKUTOČNÉHO PRIREZU W :

$$w = \frac{1}{6} \cdot b \cdot h^2 = \frac{1}{6} \cdot 26 \cdot 26^2 = 2929 \text{ mm}^3 = 2,929 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3$$

VÝPOČET NORMÁLOVÉHO NAPÄTIA σ :

$$\sigma_{m,d} = \frac{M_d}{w} = \frac{0,05}{2,929 \cdot 10^{-6}} = 17071 \text{ kPa} = 17,071 \text{ MPa}$$

PODMIENKA SPOLAHLIVOSTI:

$$\sigma_{m,d} \leq f_{m,d}$$

$$17,07 \text{ MPa} \leq 16,22 \text{ MPa}$$

NEVYHOVUJE NA OHYB

Tab. 26: Výsledné vyhodnotenie pevností a únosností v závislosti na vlhkosti

Vyhodnotenie výsledkov		
Vlhkosť w [%]	Pevnosť $f_{m,d}$ [MPa]	Únosnosť [%]
0	49	100
22	24	49
43	18	37
72	16	33

5 ZÁVER

Cieľom bakalárskej práce bolo zistenie aký vplyv má vlhkosť na fyzikálne a mechanické vlastnosti dreva, vykonanie pevnostnej skúšky a posúdenie daných vzoriek na ohyb. Pred meraním a pevnostnou skúškou sa vzorky najprv popísali a rozdelili do skupín A, B, C, D. Po zatriedení do skupín sa vzorky zväžili a posuvným meradlom sa zistili rozmery (výška, šírka, dĺžka) hranola. V každej skupine bolo 10 vzoriek, z ktorých sa pri určovaní závislostí jednotlivých veličín na vlhkosti a výpočtoch statického posudku vychádzalo z priemerných hodnôt. Po zmeraní a vypočítaní potrebných rozmerov a veličín vysušených vzoriek sa vzorky skupiny B, C a D ponorili do kadičky z vodou a nechali sa po rôznych intervaloch ponorené vo vode. Stanovenie vlhkosti sa vykonalo pomocou váhovej metódy. Nasledovalo určenie zmien hustôt a napúčania v jednotlivých smeroch v závislosti na vlhkosti.

Z výsledkou práce bolo potvrdené, že hustota dreva rastie spolu so zvyšujúcou sa vlhkosťou. Táto závislosť hustoty dreva na jeho vlhkosti ako znázorňuje graf v experimentálnej časti je približne lineárna.

Dalej sa potvrdilo, že so stúpajúcou vlhkosťou až do bodu kedy sú bunkové steny nasýtené (okolo hodnôt vlhkosti 30%) dochádza k rozmerovým zmenám. S vlhkosťou 30% a viac sa rozmery ustálili a dochádzalo tak k minimálnym zmenám. Maximálna hodnota napúčania v pozdĺžnom smere bola 0,27% čo odpovedá rozmedziu 0,1-0,4%. V priečnom smere dosahuje napúčanie hodnoty max 12%.

Taktiež sa overilo, že s rastúcou vlhkosťou stráca smrekové drevo pevnosť v ohybe (tangenciálny ohyb). S vlhkosťou nad hodnotu 30% (bod nasýtenia bunkových stien) sa medze pevnosti výrazne už nemenili. U vzoriek skupiny A sa zistilo, že priemerné hodnoty pevnosti dreva v ohybe vo vysušenom stave ($w=0\%$) sa rovnali 80MPa. U skupiny B s priemernou vlhkosťou 22% pevnosti klesli na 47MPa. Vzorky skupiny C s priemernou vlhkosťou 43% mali priemernú pevnosť 36MPa. U vzoriek skupiny D s vlhkosťou 72% už ďalší pokles pevnosti voči pevnosti vzoriek skupiny C nebol tak výrazný a priemerné hodnoty sa pohybovali v rozmedzí 32 MPa. Avšak pevnosti vlhkých vzoriek oproti vysušeným sa znížili o viac ako 60%.

6 ZOZNAMY

6.1 ZOZNAM POUŽITEJ LITERATÚRY A ZDROJOV

KNIŽNÁ LITERATÚRA

- [1] POŽGAJ A., a kolektiv, *Štruktúra a vlastnosti dreva*. Bratislava, 1997. Príroda, a.s.,
- [2] KUKLÍK, Petr. *Dřevěné konstrukce*. Praha : ČKAIT, 2005.
- [3] KOHOUT, Jaroslav; TOBEK, Antonín; MÜLLER, Pavel. *Tesařství*. Praha : Grada Publishing, s.r.o., 1996.
- [4] HABERER, Martin. *Atlas okrasných rostlin*. Praha: Nakladatelství Brázda, s.r.o., 2008.

SKRIPTÁ

- [5] ADÁMEK J. a kolektiv. Studijní opora pro komb. st. Modul BI-M04 Keramika, dřevo, kovy a sklo. Brno, 2004. CERM
- [6] VYMAZAL, T. a kol. *Stavební látky - cvičebnice*. Brno: Akademické nakladatelství CERM, s.r.o. 2011

ČLÁNKY V ČASOPISOCH A ZBORNÍKOC

PREDNÁŠKY

- [7] HEŘMÁNKOVÁ, V. *BI01 Stavební látky*. Brno: VUT Brno, FAST, Ústav stavebního zkušebnictví. Přednáška
- [8] GANDELOVÁ, Libuše, Petr HORÁČEK a Jarmla ŠLEZINGEROVÁ. *Nauka o dřevě*. V Brne: Mendelova zemědělská a lesnická univerzita, 2002. ISBN 978-80-7375-312-2.
- [9] CBLESNI. Prodej palivového dřeva [online]. 2013 [cit. 2015-05-24]. Dostupné z www: <<http://cblesni.cz/prodej-palivoveho-dreva/>>

BAKALÁRSKE A DIPLOMOVÉ PRÁCE

- [10] KŘIVÁNKOVÁ, Soňa. *Diagnostické metody pro ověření míry poškození a materiálových charakteristik dřevěných prvků*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, 2011. Vedúca bakalárskej práce: Ing. Věra Heřmánková Ph.D.

[11] KŘIVÁNKOVÁ, Soňa. *Metodika průzkumu a diagnostické metody pro hodnocení stavu dřevěné konstrukce*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, 2014. Vedúca diplomovej práce: Ing. Věra Heřmánková Ph.D.

[12] SUCHÁNKOVÁ, Zuzana. *Metodika průzkumu a diagnostické metody pro hodnocení stavu dřevěné konstrukce*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, 2014. Vedúca bakalárskej práce: Ing. Věra Heřmánková Ph.D.

[13] BALAS, Ondrej. *Diagnostické metody pro hodnocení stavu dřevěné konstrukce*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, 2013. Vedúca bakalárskej práce: Ing. Věra Heřmánková Ph.D.

[14] DĚDIC, Jiří. *Vliv teploty a vlhkosti na mechanické vlastnosti dřeva modřínu*. Brno: Mendelova zemědělská a lesnická univerzita v Brně, Fakulta lesnická a dřevařská, 2009. Vedúca diplomovej práce: Ing. Eva Přemyslovská Ph.D.

INTERNETOVÉ ZDROJE

[15] JUSTNAHRIM. Brusnice borůvka [online]. 2015 [cit. 2015-05-19]. Dostupné z www: <http://www.justnahrin.cz/bylina/brusnice-boruvka>

[16] 123RF. Lilac květiny Bush [online]. 2015 [cit. 2015-05-19]. Dostupné z www: <http://cz.123rf.com/photo_12683451_lilac-kvetiny-bush-izolovanych-na-b%C3%ADl%C3%A9m-pozad%C3%AD.html>

[17] VŠCHT. Makroskopická stavba dřeva [online]. 2013 [cit. 2015-05-19]. Dostupné z www: <http://old.vscht.cz/met/stranky/vyuka/labcv/labor/res_makroskopicka_stavba_dreva/>

[18] VŠCHT. Mikroskopická stavba dřeva [online]. 2013 [cit. 2015-05-19]. Dostupné z www: <http://old.vscht.cz/met/stranky/vyuka/labcv/labor/res_mikroskopicka_stavba_dreva/>

[19] VYTAPĚNI.TZB-INFO. Jak si doma stanovit vlhkost a výhřevnost dřeva? [online]. 2015 [cit. 2015-05-22]. Dostupné z www: <<http://vytapeni.tzb-info.cz/9300-jak-si-doma-stanovit-vlhkost-a-vyhrevnost-dreva>>

[20] WOODPOINT. Vlhkosť dreva a jej vplyv na rozmerovú stálosť hotových výrobkov [online]. 2014 [cit. 2015-05-22]. Dostupné z www: <http://woodpoint.sk/vlhkost-dreva-a-jej-vplyv-na-rozmerovu-stalost-hotovych-vyrobkov/>

6.2 ZOZNAM TABULIEK

Tab. 1 Zastúpenie jednotlivých chemických prvkov v dreve. [5].....	14
Tab. 2 Rozdelenie drevín podľa výskytu jadra, belá a vyzralého dreva. [7].....	16
Tab. 3 Percentuálne zastúpenie drevín na území ČR. [5].....	21
Tab. 4 Rozdelenie drevín podľa hustoty dreva pri $w=12\%$ [7]	29
Tab. 5: Moduly pružnosti vybraných drevín pri $w=11-12\%$ [7].....	31
Tab. 6: Pevnosti v ťahu v smere vlákien vybraných drevín [7]	32
Tab. 7: Pevnosti v ťahu kolmo na vlákna vybraných drevín [7].....	32
Tab. 8: Pevnosti v tlaku v smere vlákien vybraných drevín [7].....	33
Tab. 9: Pevnosti v tlaku naprieč vláknami vybraných drevín [7].....	33
Tab. 10: Pevnosť dreva v ohybe v tangenciálnom smere [7].....	34
Tab. 11: Rozdelenie drevín podľa tvrdosti pri $w=12\%$ na území ČR [7].....	35
Tab. 12: Namerané hodnoty maximálnych zaťažení	39
Tab. 13: Vypočítané vlhkosti dreva u jednotlivých vzorkov [Príloha 1-4].....	40
Tab. 14: Priemerné hodnoty hustôt dreva [Príloha 1-4].....	41
Tab. 15: Priemerné hodnoty hustôt dreva v závislosti na vlhkosti [Príloha 1-4].....	42
Tab. 16: Priemerné hodnoty napúčania dreva v pozdĺžnom smere [Príloha 1-4]....	44
Tab. 17: Priemerné hodnoty napúčania dreva v priečnom smere [Príloha 1-4].....	45
Tab. 18: Priemerné hodnoty objemového napúčania dreva [Príloha 1-4].....	45
Tab. 19: Súhrnné hodnoty jednotlivých napúčaní.....	46
Tab. 20: Hodnoty priemerných pevností dreva v tangenciálnom ohybe	48
Tab. 21: Triedy pevnosti - charakteristické hodnoty drevín [6].....	49
Tab. 22: Vstupné údaje skupiny vzoriek A.....	50
Tab. 23: Vstupné údaje skupiny vzoriek B.....	51
Tab. 24: Vstupné údaje skupiny vzoriek C.....	52
Tab. 25: Vstupné údaje skupiny vzoriek D	53
Tab. 26: Výsledné vyhodnotenie pevností a únosností v závislosti na vlhkosti	53

6.3 ZOZNAM OBRÁZKOV

Obr. 1 Drevo [9].....	13
Obr. 2 Strom [7].....	13
Obr. 3 Ker [16].....	14
Obr. 4 Poloker [15].....	14
Obr. 5 Prirodzené sušenie dreva [19].....	14
Obr. 6 Štruktúra kmeňa (borka, lýko, kambium, bel', jadro, dreň). [7].....	15
Obr. 7 Letokruhy [7].....	17
Obr. 8 Letné a jarné drevo [7].....	17
Obr. 9 Primárne a sekundárne dreňové lúče 7.....	18
Obr. 10 Dreňové lúče [7].....	18
Obr. 11 Valcovo-kuželovitá stavba dreva [7].....	19
Obr. 12 základné rezy drevom (pričný, radiálny, tangenciálny) [10].....	20
Obr. 13 Základné anatomické smery v dreve [7].....	20
Obr. 14 Smrekové drevo [7].....	22
Obr. 15 Jedľové drevo [7].....	22
Obr. 16 Borovicové drevo [7].....	22
Obr. 17 Modrínové drevo [7].....	22
Obr. 18 Dubové drevo [7].....	23
Obr. 19 Bukové drevo [7].....	23
Obr. 20 Percentuálne zastúpenie vody v bunke dreva pri rôznej vlhkosti [7].....	26
Obr. 21 Zmeny rozmerov pri zosychaní dreva [20].....	27
Obr. 22 Priečne borcení dreva [7].....	28
Obr. 23 Pozdĺžne borcení dreva [7].....	28
Obr. 24: Schéma skúšky stanovenia rázovej húževnatosti dreva v ohybe [6].....	35
Obr. 25: Fotodokumentácia skúšobných vzorkov.....	36
Obr. 26: Ilustračné foto váhy.....	37
Obr. 27: Ilustračné foto sušičky.....	37
Obr. 28: Ilustračné foto digitálneho posuvného meradla.....	37
Obr. 29: Nádobu na vlhčenie vzorkov.....	38
Obr. 30 Skúšky pevnosti a porušenie dreva v ohybe.....	39
Obr. 31 Schéma skúšky pevnosti dreva v ohybe [6].....	47

6.4 ZOZNAM GRAFOV

<i>Graf 1: Vlhkosť dreva v závislosti na vlhkosti okolného prostredia [7]</i>	<i>24</i>
<i>Graf 2: Závislosť napäťových charakteristík smrekového dreva na vlhkosti [14].....</i>	<i>25</i>
<i>Graf 3: Pevnosť dreva v závislosti na vlhkosti [7]</i>	<i>25</i>
<i>Graf 4: Pevnosť dreva v závislosti na hustote [7]</i>	<i>29</i>
<i>Graf 5: Závislosť napätia a pomerného pretvorenia namáhaného dreva [7].....</i>	<i>32</i>
<i>Graf 6: Závislosť hustoty dreva na vlhkosti.....</i>	<i>42</i>
<i>Graf 7: Napúčanie dreva v pozdĺžnom smere v závislosti na vlhkosti.....</i>	<i>44</i>
<i>Graf 8: Napúčanie dreva v priečnom smere v závislosti na vlhkosti</i>	<i>45</i>
<i>Graf 9: Objemové napúčanie dreva v závislosti na vlhkosti.....</i>	<i>45</i>
<i>Graf 10: Súhrn jednotlivých napúčaní dreva v závislosti na vlhkosti.....</i>	<i>46</i>
<i>Graf 11: Pevnosti dreva v tangenciálnom ohybe v závislosti na vlhkosti.....</i>	<i>48</i>

6.5 ZOZNAM PRÍLOH

<i>Príloha 1 - Tabulka nameraných a vypočítaných hodnôt vzoriek skupiny A</i>
<i>Príloha 2 - Tabulka nameraných a vypočítaných hodnôt vzoriek skupiny B</i>
<i>Príloha 3 - Tabulka nameraných a vypočítaných hodnôt vzoriek skupiny C</i>
<i>Príloha 4 - Tabulka nameraných a vypočítaných hodnôt vzoriek skupiny D</i>

Príloha 1 - Tabuľka nameraných a vypočítaných hodnôt vzoriek skupiny A

VZORKY A - VYSUŠENÝ STAV $w=0\%$

Číslo vzorku	Namerané hodnoty					Vypočítané hodnoty		
	m [g]	b [mm]	h [mm]	L [mm]	F_{max} [kN]	V [m ³]	ρ [kg/m ³]	σ [Mpa]
1	105,60	24,30	24,12	473,85	2,48	0,00028	380,22	76,01
2	110,20	24,16	24,14	474,42	3,25	0,00028	398,28	100,30
3	105,87	23,83	24,30	474,23	2,18	0,00027	385,53	67,61
4	111,23	24,40	24,37	474,11	1,90	0,00028	394,55	57,51
5	123,64	24,02	24,40	474,87	3,38	0,00028	444,24	103,65
6	115,80	24,11	24,35	474,37	2,80	0,00028	415,81	85,85
7	93,81	24,07	24,56	473,66	2,63	0,00028	335,03	79,93
8	95,72	24,04	24,60	474,80	2,35	0,00028	340,90	71,53
9	109,84	23,67	24,62	474,14	2,73	0,00028	397,53	84,17
10	89,14	23,89	24,60	473,33	2,40	0,00028	320,45	73,51
Priemer	106,09	24,05	24,41	474,18	2,61	0,00028	381,25	80,01

Príloha 2 - Tabuľka nameraných a vypočítaných hodnôt vzoriek skupiny B

VZORKY B - VYSUŠENÝ STAV

Číslo vzorku	Namerané hodnoty				Vypočítané hodnoty	
	m [g]	b [mm]	h [mm]	L [mm]	V [m ³]	ρ [kg/m ³]
1	118,28	24,02	24,54	474,38	0,00028	423,00
2	105,12	24,24	24,84	473,70	0,00029	368,55
3	95,48	23,95	24,65	473,97	0,00028	341,22
4	110,31	24,31	24,60	473,78	0,00028	389,33
5	97,64	24,23	24,84	473,22	0,00028	342,81
6	118,40	24,65	24,53	473,85	0,00029	413,23
7	113,92	24,11	24,64	472,99	0,00028	405,42
8	105,51	24,14	24,65	473,40	0,00028	374,55
9	109,55	24,25	24,73	473,42	0,00028	385,86
10	120,51	24,76	24,66	474,51	0,00029	415,94
Priemer	109,47	24,27	24,67	473,72	0,00028	385,99

VZORKY B - w=22%

Číslo vzorku	Namerané hodnoty					Vypočítané hodnoty						
	m [g]	b [mm]	h [mm]	L [mm]	F _{max} [kN]	w [%]	V [m ³]	a _L [%]	a _P [%]	a _V [%]	ρ [kg/m ³]	σ [MPa]
1	145,36	25,87	25,18	475,00	1,60	22,89	0,00031	0,13	10,31	10,66	469,79	44,21
2	128,57	25,91	25,48	474,92	1,60	22,31	0,00031	0,26	9,47	9,93	410,06	43,62
3	116,36	26,01	25,51	474,96	1,45	21,87	0,00032	0,21	12,09	12,62	369,23	39,34
4	132,56	25,84	25,75	474,73	1,75	20,17	0,00032	0,20	10,97	11,49	419,66	47,34
5	114,36	25,41	25,28	474,39	1,88	17,12	0,00030	0,25	6,64	6,99	375,28	52,54
6	147,57	26,48	25,51	474,94	1,85	24,64	0,00032	0,23	11,42	11,97	459,97	49,30
7	144,80	26,35	25,84	474,02	1,68	27,11	0,00032	0,22	14,16	14,86	448,64	44,28
8	131,13	25,92	25,47	474,43	1,58	24,28	0,00031	0,22	10,70	11,19	418,66	42,94
9	132,09	25,86	25,39	474,73	1,70	20,58	0,00031	0,28	9,31	9,79	423,77	46,60
10	141,49	25,77	25,64	475,58	2,20	17,41	0,00031	0,23	8,05	8,46	450,27	59,93
Priemer	133,43	25,94	25,51	474,77	1,73	21,84	0,00031	0,22	10,31	10,80	424,53	47,01

Príloha 3 - Tabuľka nameraných a vypočítaných hodnôt vzoriek skupiny C

VZORKY C - VYSUŠENÝ STAV

Číslo vzorku	Namerané hodnoty				Vypočítané hodnoty	
	m [g]	b [mm]	h [mm]	L [mm]	V [m ³]	ρ [kg/m ³]
1	127,00	24,72	24,88	474,07	0,00029	435,57
2	125,00	24,74	24,80	474,45	0,00029	429,41
3	121,42	24,72	24,76	473,61	0,00029	418,86
4	109,59	23,78	24,29	474,05	0,00027	400,23
5	107,55	24,59	24,92	474,35	0,00029	370,00
6	117,57	24,20	24,58	473,91	0,00028	417,06
7	101,06	24,44	24,76	473,82	0,00029	352,46
8	108,90	24,64	24,72	473,75	0,00029	377,39
9	108,04	24,60	24,85	473,74	0,00029	373,06
10	130,46	24,54	24,89	473,04	0,00029	451,52
Priemer	115,66	24,50	24,75	473,88	0,00029	402,56

VZORKY C - w=43%

Číslo vzorku	Namerané hodnoty					Vypočítané hodnoty							
	m [g]	b [mm]	h [mm]	L [mm]	F _{max} [kN]	w [%]	V [m ³]	a _L [%]	a _P [%]	a _V [%]	ρ [kg/m ³]	σ [Mpa]	
1	173,05	26,44	26,14	475,17	1,58	36,26	0,00033	0,23	12,02	12,64	526,93	41,02	
2	170,41	26,42	25,76	475,82	1,45	36,33	0,00032	0,29	10,66	11,24	526,23	38,35	
3	168,69	26,38	25,62	475,12	1,53	38,93	0,00032	0,32	10,19	10,77	525,33	40,62	
4	167,97	26,15	25,56	474,96	1,33	53,27	0,00032	0,19	15,19	15,94	529,11	35,68	
5	162,89	26,54	25,77	475,14	1,25	51,46	0,00032	0,17	11,34	11,80	501,25	32,90	
6	170,30	26,50	26,04	474,92	1,45	44,85	0,00033	0,21	15,44	16,26	519,65	37,82	
7	149,31	26,40	25,57	475,21	1,10	47,74	0,00032	0,29	11,29	11,88	465,45	29,33	
8	155,59	26,86	25,78	474,83	1,25	42,87	0,00033	0,23	13,30	13,94	473,21	32,49	
9	148,11	26,79	25,74	474,72	1,48	37,09	0,00033	0,21	12,48	13,04	452,44	38,50	
10	183,84	25,96	25,50	474,75	1,25	40,92	0,00031	0,36	8,24	8,77	584,97	33,99	
Priemer	165,02	26,44	25,75	475,06	1,37	42,97	0,00032	0,25	12,02	12,63	510,46	36,07	

Príloha 4 - Tabuľka nameraných a vypočítaných hodnôt vzoriek skupiny D

VZORKY D - VYSUŠENÝ STAV

Číslo vzorku	Namerané hodnoty				Vypočítané hodnoty	
	m [g]	b [mm]	h [mm]	L [mm]	V [m ³]	ρ [kg/m ³]
1	109,44	24,26	24,60	473,85	0,00028	387,00
2	121,35	24,76	24,93	473,75	0,00029	414,97
3	96,12	24,01	24,45	472,52	0,00028	346,52
4	104,28	24,10	24,38	473,28	0,00028	375,00
5	122,01	24,44	24,85	473,60	0,00029	424,19
6	123,12	24,73	25,01	473,77	0,00029	420,17
7	93,31	24,45	24,26	472,79	0,00028	332,73
8	105,08	24,18	24,20	474,08	0,00028	378,79
9	103,12	24,25	24,35	473,20	0,00028	369,05
10	103,16	24,24	24,43	473,68	0,00028	367,76
Priemer	108,10	24,34	24,55	473,45	0,00028	381,62

VZORKY D - w=73%

Číslo vzorku	Namerané hodnoty					Vypočítané hodnoty						
	m [g]	b [mm]	h [mm]	L [mm]	F _{max} [kN]	w [%]	V [m ³]	a _L [%]	a _P [%]	a _V [%]	ρ [kg/m ³]	σ [Mpa]
1	191	26	26	475	1,20	74,52	0,00033	0,22	14,92	15,71	584	31
2	188	26	26	475	1,48	55,29	0,00032	0,29	9,43	9,95	586	39
3	175	26	25	474	1,08	81,86	0,00031	0,26	12,26	12,87	558	29
4	188	26	25	475	1,15	79,94	0,00031	0,30	11,12	11,73	604	32
5	196	27	26	475	1,40	60,39	0,00033	0,26	12,45	13,08	602	37
6	198	26	26	475	1,38	60,79	0,00032	0,30	9,79	10,33	612	36
7	168	26	25	474	0,95	80,05	0,00031	0,30	9,73	10,29	543	26
8	188	26	25	475	1,03	78,84	0,00031	0,26	12,11	12,76	601	28
9	188	26	25	474	1,15	82,64	0,00031	0,22	10,50	10,99	607	32
10	173	26	26	475	1,10	68,08	0,00031	0,25	11,27	11,85	553	30
Priemer	185	26	26	475	1,19	72,24	0,00032	0,27	11,36	11,96	585	32