

Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích

Pedagogická fakulta – Katedra fyziky

Měření a grafické zpracování rozměrové závislosti vybraných druhů dřevin
v závislosti na jejich vlhkosti

Bakalářská práce

Anotace

Obsah práce se zabývá, vlivem vlhkosti dřeva na jeho tvarové a objemové změny v rozsahu od absolutně suchého dřeva až po bod nasycení vláken, kde v tomto vlhkostním intervalu jsou změny v objemu, rozměrech a fyzikálních vlastnostech dřeva nejvyšší. Popsána je charakteristika vybraných deseti druhů dřevin určených pro měření. Dále jsou popsány měřicí metody, které jsou pro určování vlhkostí dřevin nezbytné. Výsledné hodnoty jsou naměřeny v řezech: radiálních, transversálních a tangenciálních. Tyto údaje jsou dále graficky zpracovány. V závěru práce jsou získané hodnoty z měření vyhodnoceny, a je popsána jejich nesporná užitečnost při aplikaci pro dřevozpracující průmysl.

Abstract

This work deals with impingement dampness wood on his formative and volumic changes ranging from absolutely dry wood up to fibre-saturation point, where in this hygric interval are change in capacity proportions and physical properties wood highest. Described it's characterization choice ten woody species destined for measurement, and measuring method, which be for determination dampness woody plants necessary. Resultant values are measured in section: radial, transversal and tangent. A these values are further graphs processed. At the close work are adventitious values from measurement interpretation, and it's described serviceability at application for wood-processing industry.

Prohlašuji, že svoji bakalářskou práci jsem vypracoval samostatně pouze s použitím pramenů a literatury uvedených v seznamu citované literatury.

Prohlašuji, že v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb. v platném znění souhlasím se zveřejněním své bakalářské práce, a to v nezkrácené podobě pedagogickou fakultou elektronickou cestou ve veřejně přístupné části databáze STAG provozované Jihočeskou univerzitou v Českých Budějovicích na jejích internetových stránkách.

V Českých Budějovicích dne 20. 4. 2010

Václav Böhm

Tímto bych chtěl poděkovat PaedDr. Jiřímu Vintrovi za jeho úctyhodnou trpělivost a cenné rady při vedení mé bakalářské práce.

OBSAH

ÚVOD.....	7
1 DŘEVO JAKO PŘÍRODNÍ MATERIÁL	8
1.1 VZNIK, VÝVOJ DŘEVIN NA ZEMI	8
1.2 ZASTOUPENÍ DRUHŮ DŘEVIN OD POSLEDNÍ DOBY LEDOVÉ	9
2 STRUKTURA DŘEVA	10
2.1 STROM JAKO ŽIVÝ ORGANISMUS.....	10
2.2 MAKROSKOPICKÁ STRUKTURA DŘEVA	11
2.2.1 Hlavní řezy kmenem.....	11
2.2.2 Makroskopická stavba dřeva	12
2.3 MIKROSKOPICKÁ STAVBA DŘEVA.....	17
2.3.2 Anatomická stavba dřeva jehličnanů	20
2.3.3 Anatomická stavba dřeva listnáčů	23
2.4 CHEMICKÉ SLOŽENÍ DŘEVA	28
2.4.1 Hlavní organické sloučeniny ve dřevě.....	28
2.4.2 Doprovodné látky ve dřevě.....	29
3 FYZIKÁLNÍ VLASTNOSTI DŘEVA SOUVISEJÍCÍ S VLHKOSTÍ.....	30
3.1 VLHKOSTNÍ VLASTNOSTI DŘEVA	30
3.1.1 Vztah dřeva k vzdušné vlhkosti.....	30
3.1.2 Rozdělení vody ve dřevě	34
3.1.3 Dřevo jako kapilárně-porézní látka.....	36
3.2 TERMODYNAMIKA SORPCE	36
3.2.1 Termodynamika vody volné	37
3.2.2 Termodynamika vody vázané.....	39
3.3 TEORIE SORPCE.....	40
3.3.1 Fáze sorpce	41
3.3.1.1 Kapilární kondenzace	41
3.3.1.2 Monomolekulární sorpce	41
3.3.1.3 Polymolekulární sorpce	42
3.3.2 Sorpční izoterma.....	43
4 ROZMĚROVÉ ZMĚNY DŘEVA SPOJENÉ SE ZMĚNOU VLHKOSTI	43
4.1 SESÝCHÁNÍ DŘEVA	44
4.1.1 Bobtnání dřeva.....	45
4.1.2 Borcení dřeva.....	45
4.1.3 Faktory ovlivňující bobtnání a sesychání dřeva.....	47
4.1.4 Vnitřní napětí při sušení dřeva.....	48
4.2 PROPUSTNOST TEKUTIN VE DŘEVĚ	48
4.3 KAPILÁRNÍ A KOHEZNÍ SÍLY VE DŘEVĚ	49
4.3.1 Osmotický tlak a tlak bobtnání	51

4.4 METODY MĚŘENÍ VLHKOSTI DŘEVA	53
4.4.1 Měření vlhkosti dřeva gravimetrickou metodou.....	53
4.4.2 Měření vlhkosti dřeva odporovými hrotovými vlhkoměry.....	54
4.4.3 Měření vlhkosti dřeva dielektrickými vlhkoměry.....	54
4.4.4 Porovnání měření odporových a dielektrických vlhkoměrů	54
5 PRAKTICKÁ ČÁST.....	55
5.1 CHARAKTERISTIKA ZKUŠEBNÍCH VZORKŮ VYBRANÝCH DŘEVIN PRO MĚŘENÍ.	55
5.2 TABULKY A GRAFY S VYHODNOCENÝMI HODNOTAMI	57
5.2.1 Tabulky a grafy pro jehličnaté dřeviny.....	58
5.2.2 Tabulky a grafy pro listnaté dřeviny kruhovitě pórovité	63
5.2.3 Tabulky a grafy pro listnaté dřeviny roztroušeně pórovité	68
6 ZÁVĚR.....	76
7 POUŽITÁ LITERATURA.....	77
8 PŘÍLOHY	79

ÚVOD

Dřevo patří bezesporu mezi jedno z nejstarších používaných materiálů, a dodnes se řadí mezi naše důležité základní suroviny. Bylo ve velké míře využíváno především na stavbu konstrukcí pro obydlí, v nichž se postupným vývojem zdokonaloval a formoval jednoduchý nábytek, jehož účelem byla hlavně spolehlivá funkčnost a postupem času se přikládala větší váha na estetičnost. Známa dochovaná naleziště nám dávají jednoznačný důkaz že dřevo, bylo součástí běžných ručních nástrojů, jak pro denní použití, tak i pro zbraně. Tento materiál doprovázel lidstvo od jeho počátku, a nadále bude nezbytnou a těžko nahraditelnou součástí našeho všedního života, přitom stále bude zpracováván v různých průmyslových odvětvích, ve stejném, ne-li větším množství.

Budoucnost tohoto velice všestranného a užitečného materiálu spočívá v jeho unikátních fyzikálních a chemických vlastnostech, které jsou i přes značně pokročilý technologický vývoj materiálů stále nenahraditelné. Tyto vlastnosti se využívají a uplatňují v širokých průmyslových odvětvích např. k výrobě nábytku, dřevěných hudebních nástrojů, stavebních konstrukcí, sportovních potřeb, chemickém průmyslu atd.

Dřevo a materiály vyrobené ze dřeva mají jak žádoucí, tak i nežádoucí vlastnosti. Nežádoucí vlastnosti se snažíme do požadované míry zamezit nebo potlačit, patří jsem nezanedbatelná nasákavost a navlhavost, která vede ke změně především fyzikálních vlastností, tvarových a objemových rozměrů, u některých dřevin poměrně malá odolnost vůči působení chemickým látkám, dřevokazného hmyzu, hub a plísní. Důkladná a elementární znalost těchto, vlastností a složení dřevin, je předpokladem k efektivnímu zpracování, a vede k lepší využitelnosti zdroje chemických surovin, nebo energie.

Jednoznačná a výrazná výhoda plyne z toho, že dřevo jako takové je přírodní materiálem rostlinného původu, a na rozdíl od jiných materiálů patří k obnovitelným surovinám. Nezatěžuje přírodu a je snadno ekologicky odbouratelné, na chemickém rozkladu se podílejí cizopasně houby, rozmanité druhy plísní, a ultrafialové záření za přispěním tepla, kyslíku, vody vyvolávají fotochemické reakce, které napomáhají k štěpení makromolekul obsažené ve dřevě. Tento až neuvěřitelně dokonalý systém koloběhu látek v přírodě funguje bezchybně po desítky milionů let, a proto pokud budeme správně hospodařit v lesní biodiverzitě, přirozená schopnost obnovy spolu s umělou výsadbou, se vypořádá i s mírně vzrůstající těžbou stromů. Tuto potenciální výhodu by mělo lidstvo kvalitně využívat, aby nedocházelo k až k nepochopitelnému kácení lesního porostu, za účelem získání prostoru na jednorázové zemědělské pozemky, setkat se s tímto jednorázovým přístupem můžeme nejenom v Brazílii.

1 DŘEVO JAKO PŘÍRODNÍ MATERIÁL

Dřevo se řadí mezi obnovitelnou surovinu. Jeho obnovovací potenciál v lesích je úctyhodný. Stromy jsou potřebným a nenahraditelným prvkem v životním prostředí člověka. Májí inspirující a estetický vzhled a dodávají krajině přirozený ráz.

1.1 Vznik, vývoj dřevin na Zemi

Počátek života se vyvíjel značně pomalu, na Zemi se objevili první jednoduché mikroorganismy před 3,83 miliardami let. Podle nového výzkumu a pokusných simulací, které výsledky těchto velice složitých studií nebyly doposud přesně a dostatečně vyhodnoceny, se přesto odhaduje že začátek života se posune řádově o desítky milionů let dopředu. Toto zjištění je překvapivé, neboť na Zemi panovalo nepředstavitelně nehostinné období v době před 4 miliardy let. Nesčetné pády různě objemných meteoritů způsobily, roztavení téměř celé zemské kůry. Podle počítačových simulací tehdejšího podnebí, se průměrná teplota pohybovala v rozmezí jednotek milimetru až řádově několika metrů pod neroztaveným povrchem okolo 80 až 120 stupňů Celsia. Znamená to že i v extrémních podmínkách mohly přežít přizpůsobivý termofilní mikroorganismy.

Mezi první nejjednodušší rostliny se řadí bakterie, jež po dlouhou dobu měli nezastupitelnou a důležitou úlohu v podobě tvorby životodárného kyslíku, a z atmosféry odčerpávaly desítky miliard tun oxidu uhličitého, následkem toho se průměrná teplota na Zemi podstatně snížila. Doba trvání tohoto období byla bezmála 1,8 miliard let, než se množství kyslíku mohlo alespoň přiblížit k patnácti procentům z dnešního zastoupení kyslíku v atmosféře.

První suchozemské rostliny se objevily teprve před 480 miliony let. Cévnaté rostliny, které již měly už vyvinutější kořenový systém se stonkem a listy, a jejich výskyt je znám v období siluru tedy 50 miliony let po prvních suchozemských rostlinách. Některé z prvních rostlin přežily až do dnešních dob, hezkým příkladem jsou přesličky a plavuně.

Prvním nám dochovaným prastrmem byl eospermatopteris. Soudí se, že tyto stromy rostly před nějakými 350 -390 miliony let. Struktura těchto pradávňích stromů je podobná stromovému kapradí, a cykasům, jenž předcházely stromům s plochými listy, tak jak je známe z dnešní doby. Stromy a rostliny z průběhu devonu odčerpávaly z atmosféry oxid uhličitý, který se pak do atmosféry nevracel, následkem přerušení koloběhu organického uhlíku, nastala menší doba ledová. Méně významnou měrou narušení cyklu napomohly i kapradiny. Objevily se v devonu, a jsou dnes nejrozšířenější formou dávných cévnatých rostlin. Z původních kaprad'ovitých rostlin se postupem času vyvinuly rostliny nahosemenné, z kterých jsou nejvýznamnější pro Zemi jehličnany. Kryptosemenné rostliny se vyvinuly samostatně, bez návaznosti na rostliny nahosemenné, jež se objevily až o několik desítek milionů let později.

1.2 Zastoupení druhů dřevin od poslední doby ledové

Stav a rozmanitost dnešních lesů mírného pásu se formoval od poslední doby ledové. Mizející kontinentální evropský ledovec způsobil návrat vegetace z oblastí, které byly jižněji položené, a nebyli trvale zamrzlé, nebo z lokalit s poměrně příznivějšími mikroklimatickými podmínkami. Klimatické odlišné periodické výchyly objevující se v posledních 13 000 letech zapříčinily různorodou lesní vegetaci.

Mezi časovým obdobím 12.000 až 10.000 let př.n.l. dochází k postupnému oteplování, a výraznějšímu ústupu ledovců směrem na sever. Na našem území nebyl souvislý pevninský ledovec, ale vyskytovaly se zde lokální horské ledovce na Šumavě, Jeseníkách a v Krkonoších. Panovalo zde subarktické klima s nízkými srážkami. Ve vyšších polohách pokrývala území tundra, ve stěních lesotundra a v nižších chladná step. Dřeviny se vyznačovaly keřovitým vzrůstem, a nejpříhodnější podmínky k růstu měly na chráněných místech v údolích na jižních svazích. Nacházely se zde osiky, břízy, vrby, borovice i jívka a jalovec. V pozdější době kdy na řadu přišly teplejší klimatické výkyvy, se na české území postupně šířily v početnějším zastoupení borovice lesní a částečně i modřiny.

Poslední chladná fáze doby ledové, zapříčinila expanzi travin i bylin, a krajina měla otevřený charakter bez rozsáhlých lesů. Zanedlouho se situace změnila s příchodem vlhčího a teplejšího klimatu s větším úhrnem srážek. Přibližně 7500 př.n.l. krajina nabývá lesního charakteru, přestože lesy byly březo-borové s chudou lesní diverzitou. Následně do šíření modřínu zasáhla významně expanze smrku, který vytlačoval méně konkurenceschopné dřeviny do vyšších nadmořských výšek. Přesto si krajina zachovávala z větší části stále znatelný tundrový a stepní charakter.

Mezi roky 6.800 - 5.500 př.n.l. období nazývaném boreál je charakterizováno zvýšením průměrné teploty, jenž byla vyšší než je typická pro dnešní dobu v mírném pásu. Důsledkem toho došlo k nepřehlédnutelným změnám v procentuálním zastoupení druhů dřevin v tehdejší lesní porostu. Rozšiřuje se zde dub, lípa, javor, jilm a jasan. Vegetace lesotundry a tundry znatelně ustupovala do malých lokalit s vyšší nadmořskou výškou. V době staršího i mladšího atlantika, mezi roky 5.500 - 4.000 př.n.l. a 4.000 - 2.500 př.n.l., nadále průměrné teploty i roční úhrny srážek byly vyšší než dnes. Na českém území se významněji rozšířily a dosáhly vrcholu společenstva smíšených doubrav, a na horách převážně smrkové kultury. Ustupuje borovice, která nedokázala čelit listnatým dřevinám.

Přibližně v polovině atlantika se začíná objevovat buk, jenž roste rychleji než dub, a tato jeho výhoda se odrazila ve zvýšeném rozšíření až na téměř své maximum v době 2.500 př.n.l.

V oblasti našeho území okolo roku 1500 př.n.l. dohází k rozšíření jedle, jež úspěšně proniká do smíšených doubrav i bučin. Pomalu ustupuje z lesního porostu dub, jasan, jilm, lípa a

javor. Na druhou stranu roste početní zastoupení jehličnanů, způsobené mírným ochlazením klimatu. Například na Šumavě převládá smrk. Ve starším subatlantikum 800 - 500 př.n.l. je celková dřevinná skladba v osídlených oblastech, utvářena do jisté míry člověkem. V tomto období byli na vrcholu zastoupení a rozšíření habr, jedle, smrk. Mladší subatlantikum se datuje do roku 600 - 1200 n.l., zde má větší zastoupení bříza, osika a borovice. Postupně se už početní převaha některých druhů lesních dřevin neformuje přirozeným výběrem, ale je stále silněji ovlivňována člověkem. První odlesňování krajiny nastalo v 8 až 14 století, jako důsledek velkoplošného zemědělství. Pozdější fází byl ústup buku, jedle, habru a keřového patra. Naproti tomu byl zvýšen rozvoj výsadby monokultur smrku a borovice.

2 STRUKTURA DŘEVA

Struktura dřeva bude v potřebném rozsahu popsána v následujících podkapitolách.

2.1 Strom jako živý organismus

Stromy patří mezi nejvyšší živé organismy z říše rostlinné. Svou velikostí mají nespornou výhodu v konkurenčním boji o slunečnější prostor oproti nižším rostlinám. Vyznačují se třemi typickými rozdílnými parametry výškou, vegetačními orgány a dlouhověkostí.

Výška je charakteristická pro daný druh a závisí na podmínkách k růstu. Větší část našich dřevin má konečnou výšku do 35 m. Ale určité druhy sekvojů a australských eukalyptů dosahují úctyhodných výšek i nad 100 m.

Vegetační orgány hrají důležitou úlohu pro růst a rozvoj celého stromu. Patří jsem koruna, kmen a kořenový systém.

Koruna má za hlavní účel efektivního prostorového uspořádání listů. Tvoří ji větve, na nichž rostou listy nebo jehličí. Listy by se daly přirovnat k továrně, která produkuje velkého množství organických látek. Fotosyntéza probíhající v listech i v jehličí je složitá chemická reakce fungující za pomoci chlorofylu. Štěpením vody na kyslík a vodík, za přispění oxidu uhličitého získaného ze vzduchu, a za působení slunečního záření tvoří složité organické látky. Jsou to hlavně vysokomolekulární cukry a různé další látky potřebné k vytvoření pletiv, dřevní hmoty atd. Vedlejší produkt fotosyntézy je voda a kyslík.

Kmen dřevin představuje složitý systém vodivých drah a různých druhů pletiv pro distribuci vody a vyživovacích látek do potřebné části stromu.

Kořenový systém zajišťuje přísun vody do kmene v níž jsou rozpuštěny minerální a organické látky.

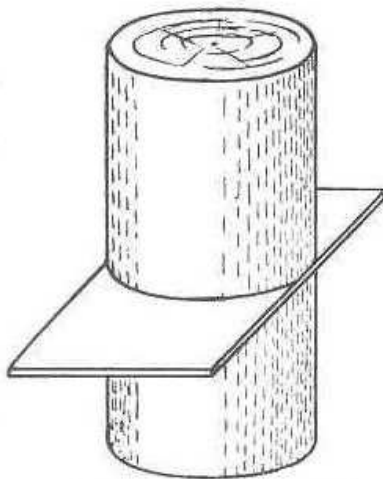
2.2 Makroskopická struktura dřeva

Mezi makroskopickou strukturu dřeva se zahrnuje soubor znaků, které lze pozorovat pouhým okem.

2.2.1 Hlavní řezy kmenem

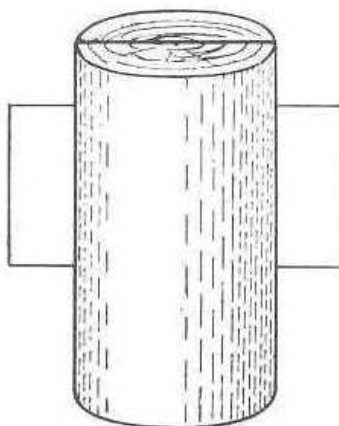
Potřebnou představu o struktuře jednotlivých částí kmene získáme ze základních řezů. Dřevo je tvořeno vrstvami podélných vláknitých elementů, nejedná se tedy o homogenní materiál. Nehomogenita vzniká už na submikroskopické a mikroskopické stavbě. Z toho vyplývá, že jednotlivé řezy vedené pod různým úhlem vzhledem k ose kmene a vzdáleností od osy, mají rozličnou texturu letokruhů. Proto rozeznáváme tři hlavní řezy kmenem. Je to řez transversální, radiální a tangenciální. V dřevařském průmyslu se setkáváme s kombinací těchto základních řezů, protože řez nemusí být rovnoběžný s hlavní osou, ale může být veden pod rozličnými úhly. Tento technologický postup se uplatňuje pro dosažení co nejrozmanitější kresbu dřeva.

Transverzální řez neboli příčný řez je veden v rovině kolmo na osu kmene. Zde jsou na kulatině dobře patrné letokruhy vytvářející soustředné kružnice s různými poloměry. Dřeňové paprsky probíhají kolmo na letokruhy. U některých dřevin můžeme pozorovat jednotlivé póry, které probíhají ve směru osy kmene. Dobrým příkladem je dub nebo jilm.



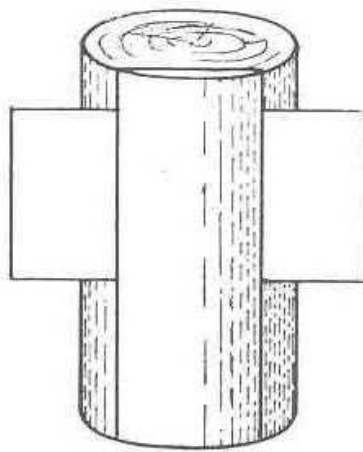
obr. 2.2.1.1 – transversální řez kmenem [4]

Radiální řez je veden středem a podélně na osu kmene, to jest že osa s rovinou řezu svírá nulový úhel. Letokruhy zde probíhají rovnoběžně s osou kmene. Dřeňové paprsky vytvářejí rozličné malé tvarované plochy, které mohou být i lesklé jako například u buku.



obr. 2.2.1.2 – radiální řez kmenem [4]

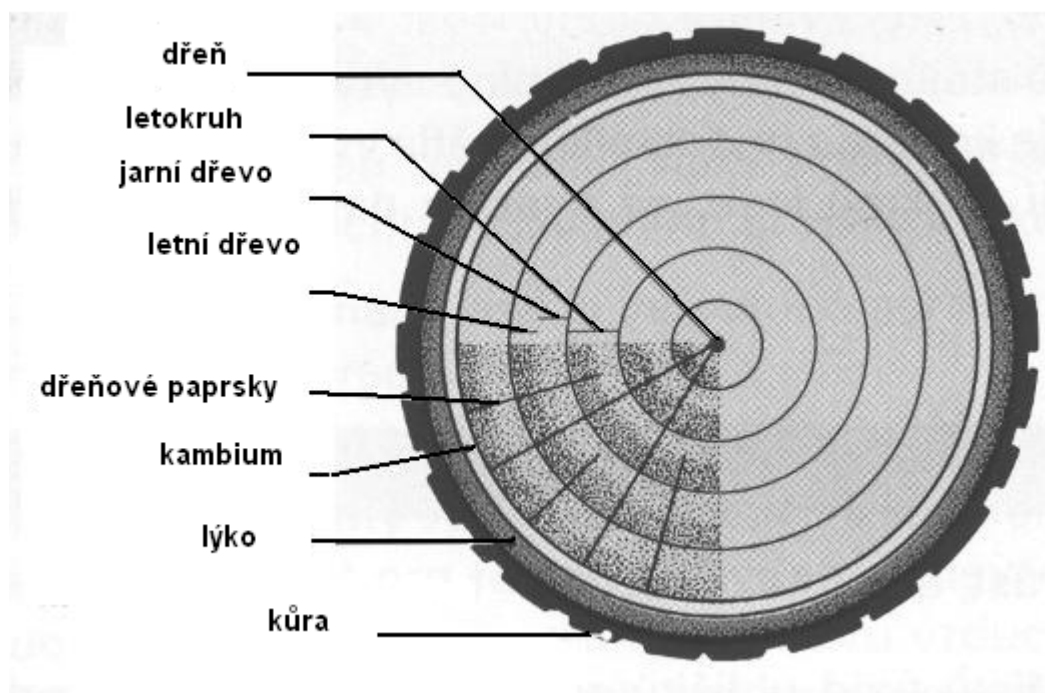
Tangenciální, taktéž tečnový řez je veden rovnoběžně s osou kmene. Tangenciální řez je podobný radiálnímu řezu s tím rozdílem, že řez neprochází středem kmene, ale je uskutečněn v určité vzdálenosti od středu. Letokruhy blízko u dřeně vytvářejí dlouhé úzké parabolické křivky, které se postupně směrem od středu rozšiřují, a na okraji jejich průběh přechází na jednotlivé rovnoběžné linky. Dřeňové paprsky mohou být viditelné u některých dřevin v podobě malých uzoučkých čárek směřujících pod pravým úhlem vzhledem k hlavní podélné ose.



obr. 2.2.1.3 – tangenciální řez kmenem [4]

2.2.2 Makroskopická stavba dřeva

Pomyslným řezem od vnější části kmene směrem do středu rozlišujeme tyto hlavní jednotlivé části: kůra, lýko, kambium, dřevo a dřeň.



obr. 2.2.2.1 – makroskopická stavba dřeva

Kůra je soubor povrchových vrstev obalující kmen a větve. Má převážně ochrannou funkci. Chrání dřevo a kambium proti mechanickému poškození, změnám teplot, slunečnímu záření, vysycháním, napadením cizopasnými houbami, plísněmi nebo hmyzem. Kůra u stromů, což se může zdát jako rozporuplné, má složitější stavbu než dřevo. Morfologický vzhled kůry je velice pestrý, a charakteristický pro jednotlivé dřeviny. To se přímo odvíjí od jejího vzniku. Vzniká produkcí dělivých pletiv felogénu a kambia. Činnost felogénu způsobuje vytvoření korkové vrstvy. Nová vrstva se postupně posouvá směrem k vnějšímu povrchu. Staré vrstvy časem degradují a ty nejstarší jež jsou na povrchu postupně upadávají, a jsou nahrazeny novými vrstvami kůry. Nestejnoměrné odlupování na celém povrchu má za následek vytvoření prohlubní a trhlin. Tento vrásčitý povrch se nazývá borka.

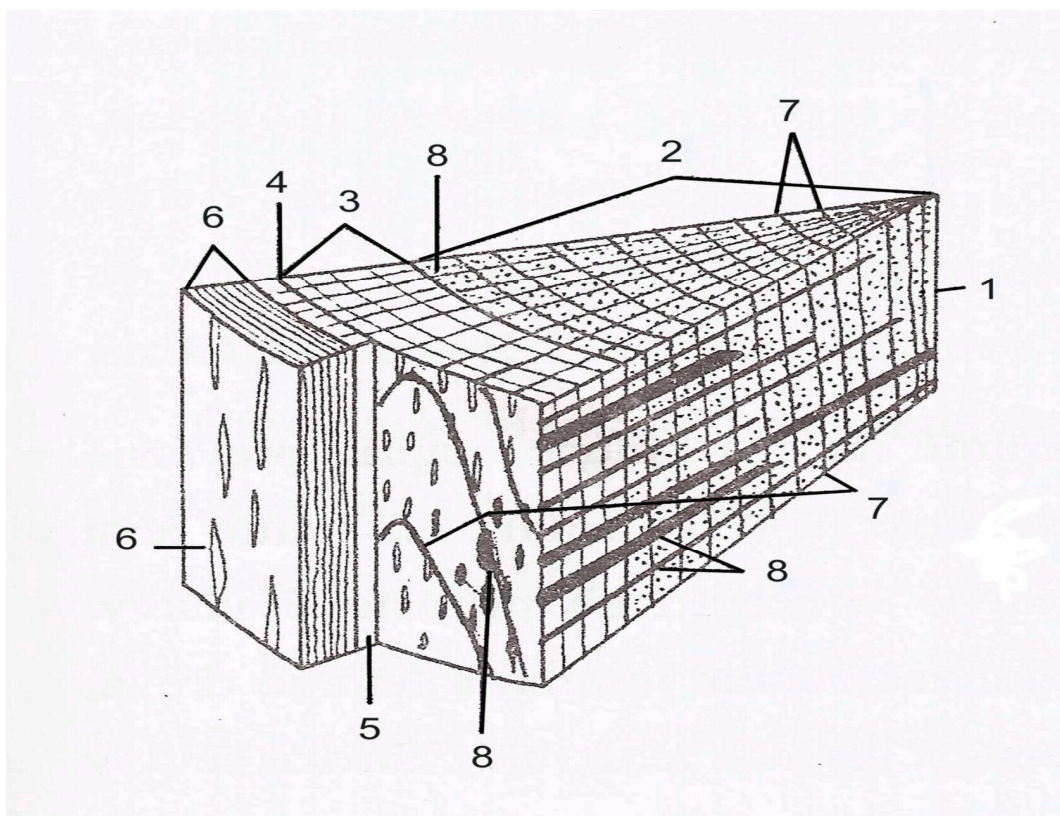
Kambium je vlastně dělivé pletivo vyskytující se mezi dřevem a lýkem, kde se nachází pevná mikroskopická hranice. Obsahuje různé jednotlivé živé buňky se schopností dělení a růstu po celé vegetační období. Buňky kambia vytvářejí dvě různorodá vodivá pletiva, nové dřevěné pletivo na vnější straně a vodivé pletivo lýka na straně vnitřní. Periodicky svou činností dělení buněk během vegetačního období zajišťuje větší přírůst dřevěného pletiva než pletiva lýka. Po šetrném odstranění kůry lze kambium dobře pozorovat zejména na jaře, kdy vrchní část dřevěného pletiva je pokryto hustou lepkavou tekutinou. Pozorovaná látka je vyteklá protoplazma z buněk kambia, které se mechanicky poškodily při odstraňování kůry.

Lýko zaujímá funkci vodivého pletiva umožňující proudění tekutin. Tato tekutina se nazývá míza. Obsahuje škroby, cukry, organické kyseliny, minerální látky. Jsou to produkty vytvořené pomocí fotosyntézy. Na podzim se zásobní látky v míze stahují do kořenů a částečně i do kmene. Před nástupem hlavního vegetačního období se míza transportuje do pupenů. Po jarním vyrašení pupenů, obsah mízy v lýku značně poklesne. Až do doby kdy naplno počne chemická reakce v zelených listech zvaná fotosyntéza. Vyprodukované látky z chemické reakce jsou pak distribuovány primárními a sekundárními dřevnými paprsky od lýka až k dřeni.

Dřeň je řídké pletivo, které se skládá převážně z tenkostěnných zásobních buněk, které jsou ve středu kmene. U starších stromů jsou tyto buňky odumřelé. Zajímavostí u dubu, buku, olše a bříze je že dřevné buňky jsou životaschopné až do stáří deseti let. Záleží na podmínkách v jakých strom vyrůstal a na druhu dřeviny. V prvním roce života stromu se podílí, na vedení vody, než tuto funkci později převezme dřevní pletivo. Pro každou dřevinu má dřeň svou typickou charakteristiku. Odlišují se převážně průměrem, tvarem, strukturou, složením látek, kdy v různých částech kmene nemusí být tvar a rozměry vždy stejné.

Dřevo je nejvyužívanější část ve dřevozpracujícím průmyslu, a nalézá se mezi kambiem a dřevem. Zaujímá v kmeni největší objem. Mezi základní makroskopické charakteristiky patří, jarní a letní dřevo, vyzrálé dřevo, letokruhy, jádro, běl, dřevné paprsky, pryskyřičné kanálky, cévy.

Letokruhy jsou radiální přírůstky dřeva během vegetačního období. Jsou výsledkem činnosti pletiv v kambiu. Tvoří přesnou a pevnou hranici mezi vegetační činností a vegetačním klidem. Dřeviny rostoucí v subtropickém a v tropickém pásu s neustávajícím celoročním růstem, tvoří dřevo kontinuálně bez možného rozlišení letokruhů. Nebývá to ale vždy podmínkou, protože stromy procházejí i sníženou vegetační činností, střídáním se vlhčího a suššího období, spjatém s opadáváním listů. To zapříčiní vznik rozdílné někdy i zřetelné anatomické stavby jednotlivých periodických přírůstků. Šířka letokruhů nezávisí jen na druhu dřeviny, ale převážně na podmínkách za kterých strom roste. Šířka letokruhu je značně proměnlivá a pohybuje se v rozmezí 0,1 až 1,5 mm, za výjimečných podmínek i více. Rozlišují se dva typy letokruhů, jarní a letní. Letní dřevo má převážně mechanickou funkci, je tvrdší, pružnější, pevnější a od jarního dřeva se viditelně liší svou tmavší barvou.



obr. 2.2.2.2 – makroskopická struktura dřeva na jednotlivých řezech, 1 – dřev, 2 – jádro, 3 – běl, 4 – kambium, 5 – lýko, 6 – borka, 7 – letokruh, 8 – dřevové paprsky [3]

Dřevo jarní je na rozdíl od letního světlejší a má především funkci vodivou. Z kořenů do koruny vede vodu s organickými a minerálními látkami. Pochopitelně do jisté míry je jeho funkce i mechanická.

Běl je část dřeva začínající od kambia a končící ve viditelné hranici s jádrem. Pro každou dřevinu je běl charakteristická. Převážně, barvou, velikostí, tvarem a složením. Obsahuje živé buňky v dřevním parenchymu a dřevových paprscích. Fyziologická funkce běle u živého stromu umožňuje, hlavně svým systémem vodivých elementů, vedení minerálních a organických látek rozpuštěných ve vodě a ukládání zásobních látek. Tyto nezbytné látky pro růst a správný vývoj stromu jsou, jak je známo, vedeny od kořenových vlásečnic až k listům. Funkce běle se s časem mění, nejdůležitější úlohu hraje u mladých dřevin.

Jádro je vnitřní převážně tmavší zbarvená část kmene. Právě jádro neobsahuje přesně rozlišitelnou pevnou hranici. Je charakteristické jen pro jádrové dřeviny. Neobsahuje živé parenchymatické buňky ani systémem vodivých elementů, to znamená že nemá vodivou funkci a je tedy neprůchozí pro výživové látky. To vysvětluje u většiny dřevin nižší vlhkost jádrového dřeva než bělového. Dřevo jádra má obvykle vyšší hustotu než dřevo bělové. Je to zapříčiněno odlišným

chemickým složení buněčných stěn. Důsledkem toho má výrazně lepší odolnost vůči houbám i plísním, a nezanedbatelný vliv na fyzikální a chemické vlastnosti.

Vyzrálé dřevo se nachází jen u některých dřevin mezi jádrem a bělí. Na čerstvě pokácené kulatině na ploše příčného řezu je viditelný prstenec tmavšího dřeva. Zbarvení způsobuje vyšší vlhkost, takže po vyrovnání vlhkostí ve dřevě se barva sjednotí. Vyzrálé dřevo má shodné vlastnosti s jádrovým dřevem.

Dřeňové paprsky jsou tvořeny příčnou řadou seskupených parenchymatických buněk vzhledem k hlavní podélné ose kmene. Uskutečňují horizontální rozvod organických látek a vody. Pouhým okem jsou viditelné jen širší dřeňové paprsky, které na příčném řezu popobíhají od kambia do středu kmene. Jsou vytvořeny činností kambia. Dobře pozorovatelné jsou u dubu a buku. Jehličnaté dřeviny mají zpravidla menší počet dřeňových paprsků než dřeviny listnaté. Rozdělují se na primární a sekundární. Primární dřeňové paprsky probíhají od lýka až po dřeň. Rozšiřují základní vodivé pletivo, které vzniklo během počátečního růstu kmene. Sekundární dřeňové paprsky vznikají později a jsou kratší a užší než primární. Nevedou nepřetržitě po celé délce od lýka po dřeň, ale jsou přerušované a roztroušené ve vodorovném směru. Funkce je obdobná jako u primárních dřeňových paprsků.

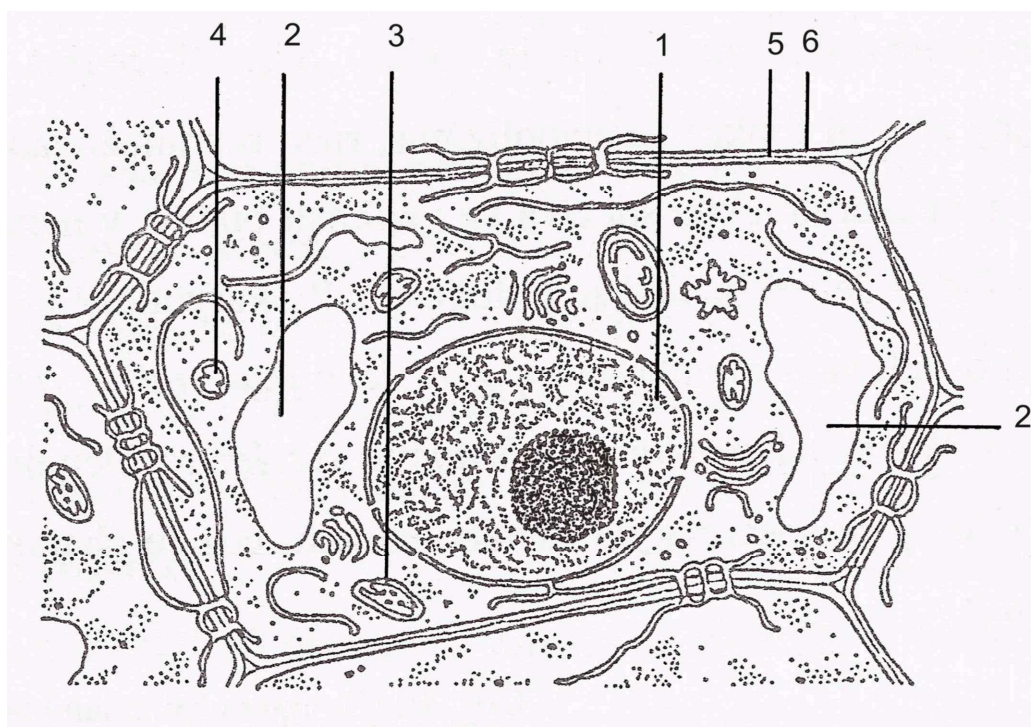
Pryskyřičné kanálky jsou tvořeny buňkami produkujícími a shromažďujícími pryskyřici. Objevují se u některých jehličnanů. Rozměry a počet pryskyřičných kanálků je rozličný. Nejvíce pryskyřice obsahuje borovice o něco méně vejmutovka. Jedle jalovec a tis pryskyřičné kanálky nemají. Pryskyřice zvyšuje odolnost dřeva, má ochrannou a impregnační funkci. Podle orientace je rozdělujeme na podélné a příčné. Podélné pryskyřičné kanálky se vyskytují horizontálně shodným natočením s buňkami dřeva. Nejvíce se objevují v letním dřevě. Na transversálním řezu jsou viditelné jako tečky, u tangenciálním řezu jako úzké pryskyřičné čárky. Příčné pryskyřičné kanálky jsou uloženy kolmo na hlavní pobíhající dřevní buňky, a jsou okem nepostřehnutelné.

Cévy jsou malé vodivé prvky nacházející se jen v listnatých dřevinách. Hlavní funkce je vodivá, a v menší míře i zlepšuje mechanické vlastnosti u letních letokruhů. Propouští kapaliny jen v axiálním směru. Vedou vodu s organickými i neorganickými látkami od kořenů ke koruně stromu. Cévy mají tvar tenkých kapilár, které vedou rovnoběžně s hlavní osou kmene. Pozorovat je možné jen velké cévy, které mají průměr větší než 0,1 mm. Na příčném řezu jsou rozeznatelné jako drobné otvory, u tangenciálního řezu se jeví jako úzké drážky. Obsah cév je závislý na druhu dřeviny a na růstových podmínkách. Rozdělují se podle průměru na makropóry a mikropóry. Makropóry nachází se především v jarním dřevě, u kruhovitě pórovitých dřevin. Mikropóry nejsou viditelné pouhým okem, ale u některých dřevin vytvoří větší kupy mikropór, které jsou již pozorovatelné, a vyskytují se v letním dřevě listnáčů s kruhovitě pórovitou stavbou dřeva. Mikropory jsou charakteristické pro

dřeviny s roztroušenou porórovitou stavbou dřeva. Dále se dělí podle uspořádání cév na kruhovitě pórovité, roztroušeně pórovité a dřeviny tvořící přechod mezi kruhovitě a roztroušeně pórovitými.

2.3 Mikroskopická stavba dřeva

Mikroskopickou stavbu dřeva nelze pozorovat pouhým lidským zrakem. Dřeviny obsahují početné seskupení různorodých buněk, které zastupují potřebnou funkci. Základní hlavní buňky zvané zygoty se postupným dělením přetvářejí na potřebné buňky. Zygoty jsou vaječné buňky oplozené jádrem pylových zrn. Dělení probíhá už v semeni. Dceřiné buňky jsou pak schopny zastávat jednotlivé funkce v pletivu. Část dceřiných buněk si ponechává svou schopnost dělení a umožňují stálý růst.



obr 2.3.1 – schéma struktury mladé parenchymatické buňky, 1 – jádro, 2 – vakuola, 3 – plastidy, 4 – mitochondrie, 5 – střední lamela, 6 – buněčná stěna [4]

Buňka se skládá z buněčné stěny (6) tvořící její obal, a z buněčného prostoru, lumenu, který obsahuje protoplast. Protoplastu se nachází tyto nejdůležitější části: jádro, vakuola, protoplasma, plastidy a mitochondrie.

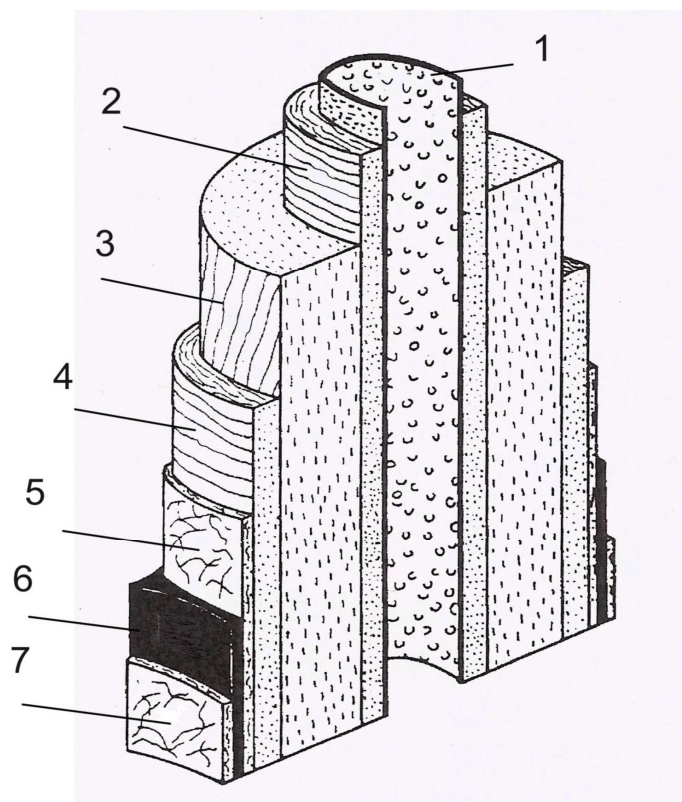
V jádru (1) se nalézá většina genetického materiálu buňky. Základní genetický materiál je uložen za pomoci bílkovin chromatinu. V době dělení buňky se chromatin organizuje do vyšších

třídí sjednocování, vytváří chromozómy, a jádro na čas zaniká. Soudržnost jádra zajišťuje více plášťová membrána s pórovitou strukturou. Póry jsou vytvořené speciálními bílkovinami, které mají za účel třídit, a propouštět jen potřebné biologické sloučeniny na různých stupních složitosti, například molekuly RNA.

Vakuoly (2) chrání polopropustná membrána zvaná tonoplast. V mladých buňkách a v buňkách tvořících dělivé pletivo se nalézá větší množství malých vakuol. Ve starších buňkách se vakuoly spojí v jednu velkou centrální vakuolu, která téměř vyplní většinu buněčného prostoru. Funguje jako zásobárna vody a zdroj anorganických a organických látek jako jsou různé cukry, bílkoviny, organické kyseliny, aminokyseliny, hydrofilní barviva, alkaloidy, třísloviny a polyterpeny. Zastupuje trávicí a detoxikační funkci v buněčném systému.

Plastidy (3) mají vlastní genetický kód. Během vývoje se v drtivé většině diferencují na další typy plastidů. Například protoplastid je nevyzrálý plastid. Vyskytuje se v buňkách dělivých pletiv a v mladých buňkách, kde se dále transformuje. Úloha v buňce se přímo odvíjí v jakém pletivu a části stromu se nachází. Leukoplasty neobsahují žádné pigmentové látky. Jsou bezbarvé a nacházejí se v buňkách v dřevěných pletivech, kde mají částečně i zásobní funkci. Chromoplasty ty už obsahují pigmenty, převážně karotenoidy. Jsou v pletivech plodů a květů, kde vytváří jejich charakteristickou barvu. Velká koncentrace chromoplastů se objevuje ke konci vegetačního období. V zelených pletivech stromu jsou v buňkách chloroplasty obsahující chlorofyl.

Mitochondrie, (4) v buňce se jich mohou vyskytovat až tisíce, zde však závisí na typu buňky a její energetické potřebě. Hlavní funkcí je buněčné dýchání, při němž vzniká energie ukrytá v sloučenině andenosintrifosfátu. energii pak dále buňka spotřebovává ke svým dalším potřebným životním pochodům.



Na obr 2.3.2 je stavba buněčné stěny. 1 – bradavičnatá vrstva, 2 – vnitřní vrstva sekundární buněčné stěny, 3 – střední vrstva sekundární buněčné stěny, 4 – vnější vrstva sekundární buněčné stěny, 5 – primární stěna, 6 – střední lamela, 7 – mezní primární stěna.[1]

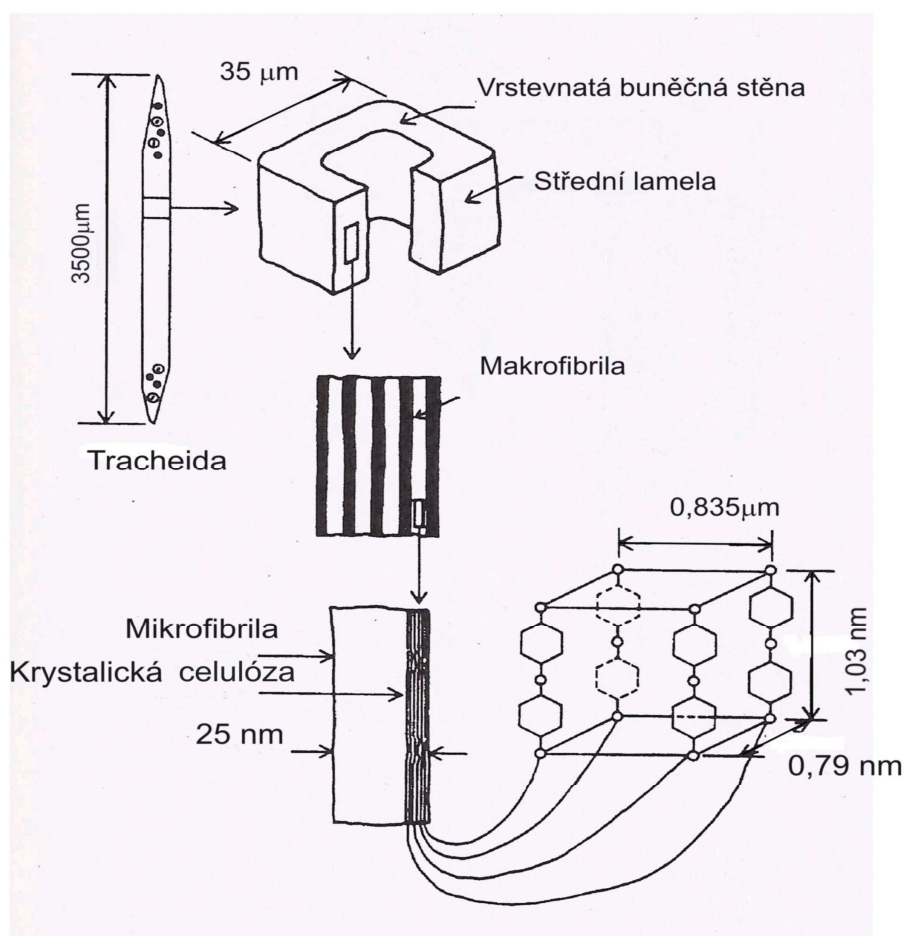
Buněčná stěna se skládá z více vrstev, které se navzájem liší svou architekturou a chemickým složením. Struktura vrstev koresponduje s typem buňky a jejím stupněm vývoje. Určitý podíl na chemickém složení mají tři základní přírodní polymery. Celulóza, hemicelulóz a lignin. Každá z těchto chemických sloučenin má svou nenahraditelnou úlohu. Specifický význam má natočení polymerů v buněčné stěně, jež udává schopnost vázat na sebe molekuly vody nebo jiné kapaliny. Voda se adsorbuje převážně na volné hydroxylové skupiny v amorfních místech celulózy pomocí vazeb vodíkovými můstky, nebo v oblastech vazeb mezi sacharidickými složkami dřeva.

Buněčná stěna je složitý komplex elementů, a jak už bylo napsáno, složených z mnoha rozdílných vrstev, které lze dobře popsat na příčném řezu buněčnou stěnou.

Střední lamela se nalézá mezi primárními stěnami sousedních buněk. Je velmi tenká, její tloušťka je dána druhem dřeviny a stupněm lignifikace v části stromu. Je tvořena ligninem s vyšším polymerizačním stupněm.

Primární stěna má téměř shodnou tloušťku jako střední lamela. U rostoucích buněk je jedinou a základní vrstvou buněčné stěny. Obsahuje celulózové fibrily, které proházejí i do střední lamely, čímž se vytvoří pevné spojení obou vrstev. Ve zralé buňce se mezi fibrilární prostory ukládá lignin.

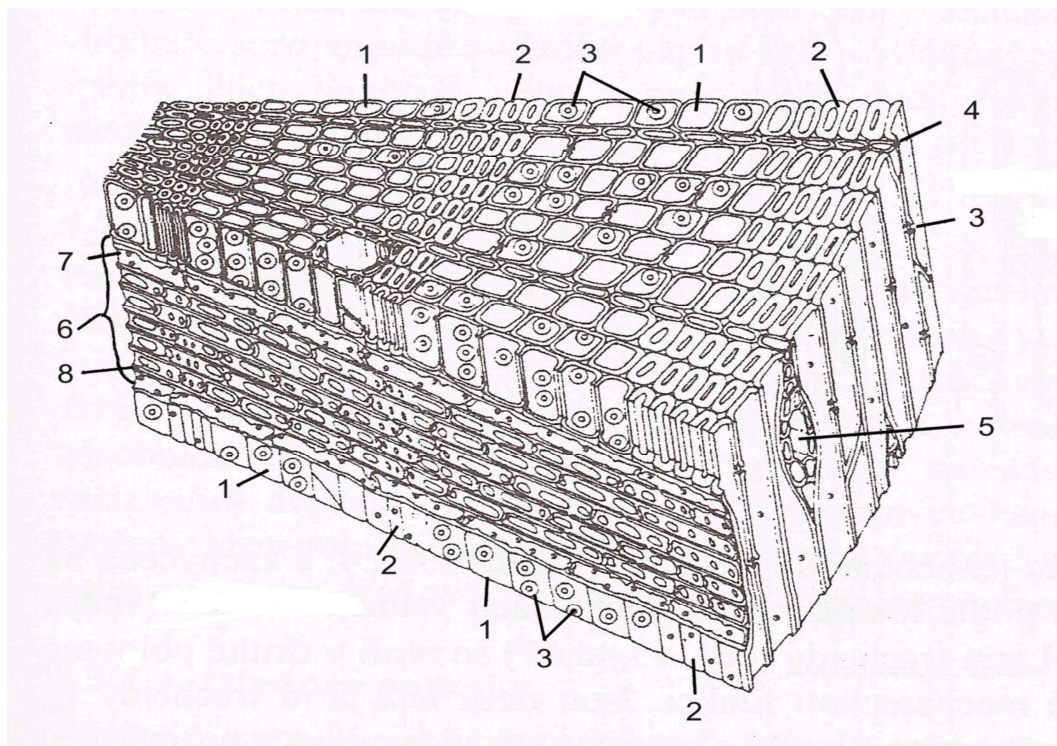
Sekundární stěna se dále rozděluje na vnější vrstvu, střední vrstvu a vnitřní vrstvu, které mají odlišné chemické složení, tloušťku a strukturu. Tvoří nejobjemnější část buněčné stěny, dodávající buňce typický tvar.



obr. 2.3.3 – schématické znázornění vztahu mezi submikroskopickou a mikroskopickou stavbou dřeva [1]

2.3.2 Anatomická stavba dřeva jehličnanů

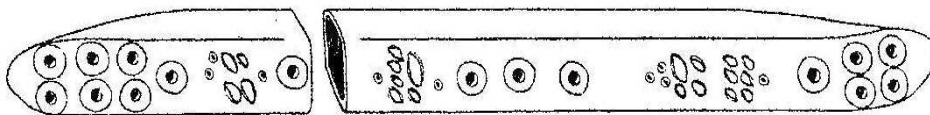
Jehličnaté dřeviny se na Zemi objevily mnohem dříve než listnaté dřeviny. Dřevo jehličnanů je charakterizováno pravidelnou a jednoduchou stavbou dřeva, na které se podílejí tracheidy a parenchymatické buňky. Mechanickou a vodivou funkci zastávají tracheidy a zásobní parenchymatické buňky.



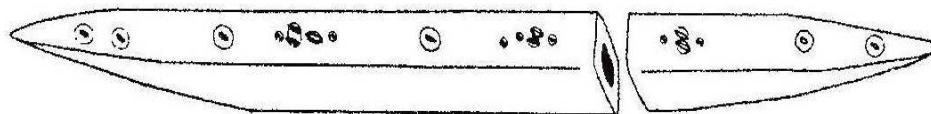
obr. 2.3.2.1 [4]

Na obr. 2.3.2.1 je znázornění prostorové mikroskopické stavby dřeva jehličnatých dřevin na jednotlivých řezech. 1 – jarní tracheidy, 2 – letní tracheidy, 3 – dvojtečky na buněčných stěnách tracheid, 4 – jednovrstevný dřeňový paprsek, 5 – vícevrstevný dřeňový paprsek s horizontálním pryskyřičným kanálkem, 6 – dřeňový paprsek s horizontálními tracheidami, 7 – příčné tracheidy, 8 – parenchymatické buňky dřeňového paprsku

Tracheidy jsou hlavním a převládajícím anatomickým elementem jehličnatého dřeva. Zaujímají až 85-95% celkového objemu dřeva. Mimo diferencujících tracheid od kambia v posledním letokruhu jsou tyto buňky mrtvé. Jsou to až 6 mm dlouhé a 0,05 mm široké buňky, se čtyř až šesti úhelníkovým transverzálním průřezem. Podle potřebné úlohy ve dřevě se odvíjí jejich délka a tloušťka buněčné stěny. Rozměry také závisí na umístění v letokruhu, kde délka a tloušťka buněčné stěny roste ve směru od dřeně až kolem čtyřicátého roku života stromu. Pak se růst pozvolna zastaví, až na stále konstantní rozměry bez výrazných výkyvů. Počátkem vegetačního období se vytváří jarní tracheidy, které mají vodivou funkci. Proto se vyznačují velkým počtem dvojteček, jež mají větší průměr. Rozměrově jsou kratší než letní tracheidy a mají tenčí buněčnou stěnu. V druhé polovině vegetačního období se tvoří letní tracheidy, které mají mechanickou funkci a jsou delší než jarní tracheidy. Na buněčné stěně mají menší množství dvojteček s malým průměrem. Tloušťka buněčné stěny se od poloviny vegetačního období rozšiřuje a ke konci je zpravidla nejširší.



obr. 2.3.2.2 - jarní tracheida [4]



obr. 2.3.2.3 - letní tracheida [4]

Parenchymatické buňky jsou po delší dobu živými buňkami, aby si nadále zachovávaly funkci vodivou a zásobní. Vedou organické i anorganické látky a ukládají zásobní látky, převážně různé sloučeniny škrobu. Mají buněčné stěny zdřevnatělé až na buňky v pryskyřičných kanálcích. Spolupodílejí se na tvorbě dřevových paprsků, pryskyřičných kanálků a na podélném dřevním parenchymu. V závislosti na orientaci v kmeni jsou vytvořeny axiální parenchymatické buňky kambialním pletivem. Horizontálně orientované parenchymatické buňky jsou tvořené pletivy dřevových paprsků.



obr. 2.3.2.4 parenchymatické buňky [4]

Dřevové paprsky u jehličnatých dřevin tvoří 5-10% celkového objemu dřeva. Skládají se z pásů seskupených parenchymatických buněk. Jsou orientovány kolmo na hlavní osu kmene, a v tomto směru vedou živiny. Nemají jen vodivou úlohu, ale také zásobní. V době vegetačního klidu ukládají poměrně energetické látky jako jsou různé dlouhé molekulové řetězce škrobů a tuků. Na příčném řezu mají tvar kruhovitého průřezu s průměrem 10-15 μm o délce 40-70 μm .

Pryskyřičné kanálky se v některých našich dřevinách nevyskytují například u jedle, tisu a jalovce. Borovice a vejmutovka mají největší podíl pryskyřičných kanálků ve dřevě okolo 0,7%, ostatní v rozmezí 0,1- 0,6%. Při mechanickém poškození kambia, vznikají nové pryskyřičné kanálky. Pryskyřice zalévá a uzavírá poškozená místa, aby nedocházelo k dalšímu poškození od hmyzu, cizopasných hub, plísní atd. Jsou to dlouhé kanálky mezi parenchymatickými buňkami,

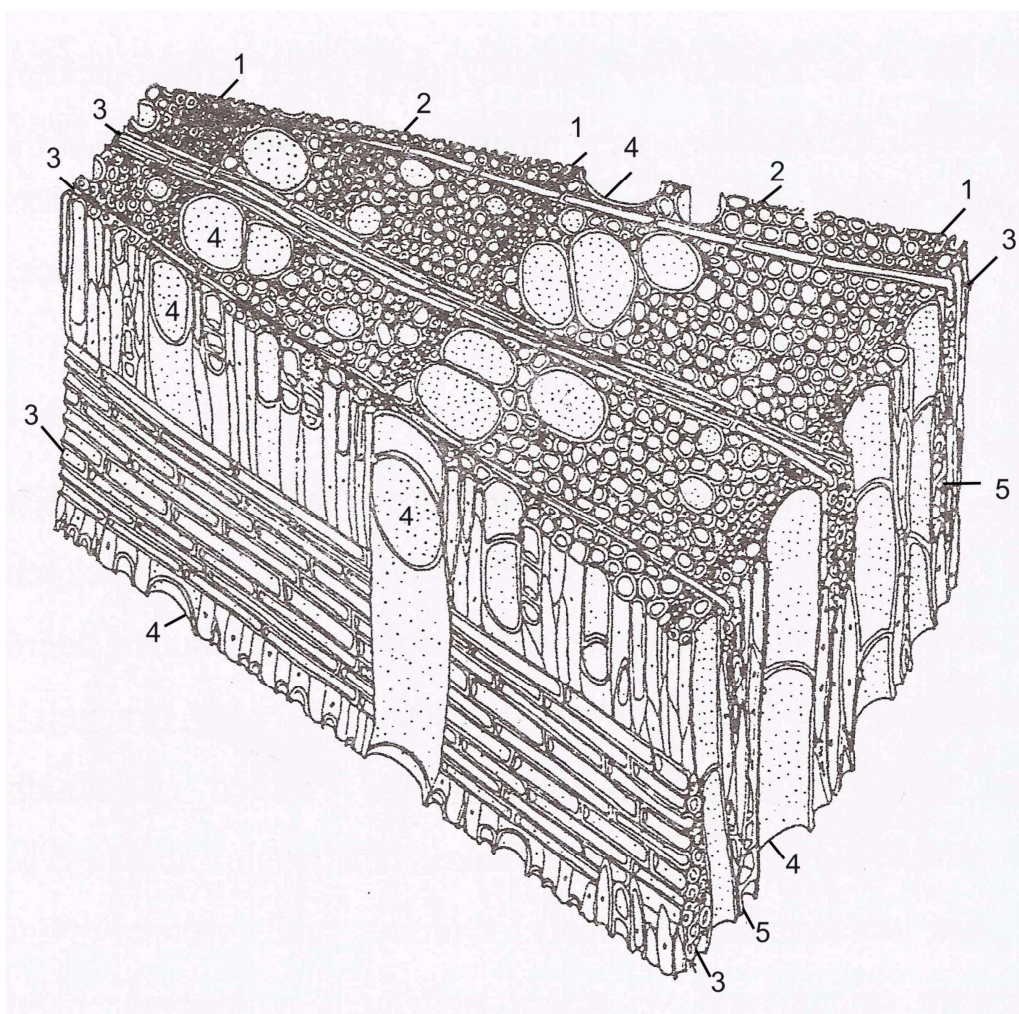
jenž se rozestoupily nebo se jejich buněčné stěny rozložily. Jsou orientované horizontálně i vertikálně vzhledem k hlavní ose.

Vertikální pryskyřičné kanálky jsou téměř rovnoběžné s hlavní osou. Jsou vytvořeny třemi vrstvami parenchymatických buněk. Vnitřní vrstva se skládá ze živých parenchymatických buněk vylučujících pryskyřici. Střední vrstva je bohatá na zásobní látky. Horizontální pryskyřičné kanálky jsou orientované ve směru kolmém na hlavní osu kmene. Nalézají se ve dřevných paprscích. Tvoří je dvě vrstvy neživých parenchymatických buněk. Horizontální i vertikální pryskyřičné kanálky jsou navzájem propojeny důmyslným systémem sítí. U starších stromů postupně přestávají kvalitně fungovat sítě pryskyřičných kanálků, v důsledku odumírání zásobních parenchymatických buněk.

Dřevní parenchym je u jehličnanů velice málo zastoupen. Jsou to úzké dlouhé pásy obsahující parenchymatické buňky, natočené ve shodném směru s podélnou hlavní osou. Obsahují zásobní látky.

2.3.3 Anatomická stavba dřeva listnáčů

Listnaté dřeviny prošly kratší vývojovou dráhou než jehličnany, a přesto jejich stavba dřeva je podstatně složitější. Vyznačují se větším počtem odlišných anatomických elementů ve dřevě, které zastupují jen svou specifickou funkci. Důsledkem toho nemají pravidelnou stavbu dřeva, která byla význačná pro dřevo jehličnanů.

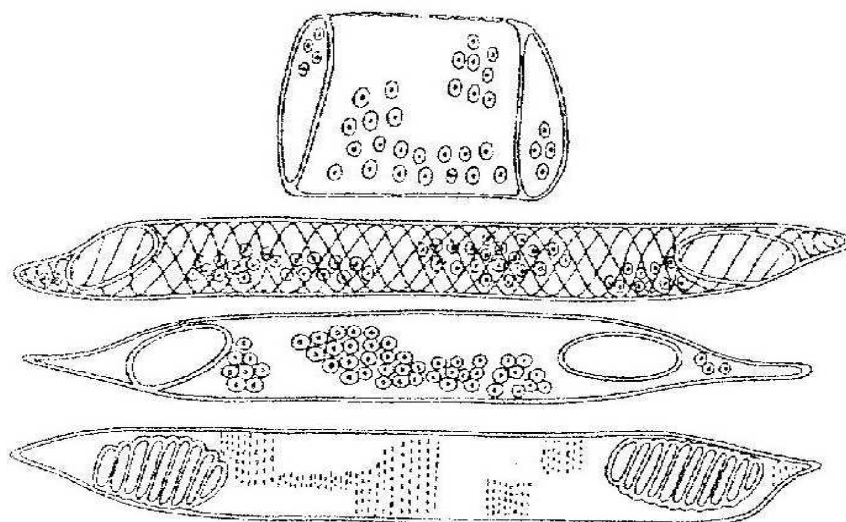


Na obr. 2.3.3.1 je schéma prostorového uspořádání anatomických elementů listnatého dřeva. 1 – hranice letokruhu, 2 – libriformní vlákna, 3 – dřevové paprsky, 4 – cévy, 5 - dřevní parenchym [4]

Dřevo listnáčů obsahuje tento druh buněk a různé vláknité elementy, cévy (4), cévovité tracheidy, vláknité tracheidy, vazicentrické tracheidy, libriformní vlákna (2), parenchymatické buňky (5).

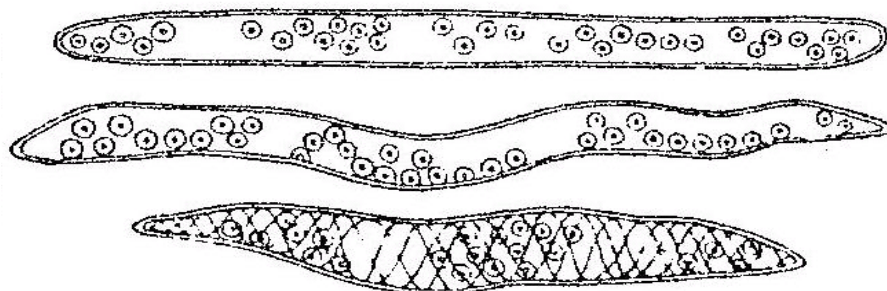
Cévy jsou to typické vodivé prvky, které se nacházejí jen u listnatých dřevin. Mají tvar kapilár a mají variabilní velikost a délku, tvořící podélné vodivé systémy. U dubu a buku mohou mít úctyhodnou délku někdy překračující i 2 m. Cévy vyplňují objem přibližně 10% i více z celkového objemu dřevní hmoty v kmeni. V jádrovém dřevě fungují jako zásobárna vody a různorodých tekutin nebo jsou vyplněné vzduchem. V bělové části kmene vedou organické i anorganické látky rozpuštěné ve vodě od kořene do korunové části stromu. Cévy jsou živé jen v posledním letokruhu. Obsahují kratší elementy zvané cévní články. Cévní články mezi sebou odděluje membrána, na které jsou malé početné perforace v nichž proudí kapalina. Příčné buněčné stěny v cévách u odumřelých buněk degradují následkem roztažením dvojteček a narušením membrán. Zde pak vznikají perforace. Podle počtu a tvarů se rozlišují na jednoduchou perforaci a

na složenou perforaci, která se dále dělí na žebříkovitou a síťovitou perforaci. Ve dřevinách se obvykle vyskytuje jen jeden druh perforace, ale u buku se nalézají jak jednoduchá tak i složená perforace. V cévách, při přirozeném procesu stárnutí dřeva nebo za jiných podmínek, se vytvářejí tyly, které je mohou částečně nebo úplně zneprůchodnit. Tyly jsou parenchymatické buňky vyrůstající z dřevových paprsků. Mají-li tenkou stěnu, pak mají funkci zásobního pletiva, nebo tlustou stěnu a nejsou vyplněné, mají mechanickou úlohu. Vyskytují se u listnatých dřevin s kruhovitě pórovitou stavbou dřeva.



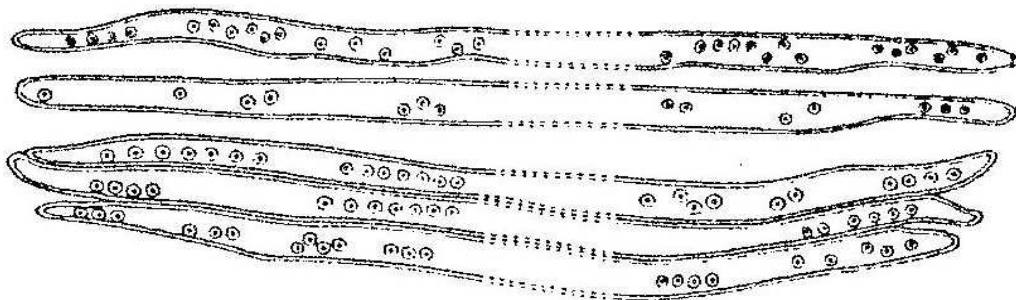
obr. 2.3.3.2 – cévní články [4]

Cévvité tracheidy mohou zastupovat různé úlohy ve dřevě. Mohou mít mechanickou i vodivou funkci a v menší míře zásobní. Jsou vývojově o stupeň dál než tracheidy u jehličnatých dřevin, ale přesto jsou si navzájem podobné. Mají protáhlý tvar a jsou kratší než tracheidy jehličnanů, ale delší než cévní články. Vyskytují se jen u některých listnáčů.



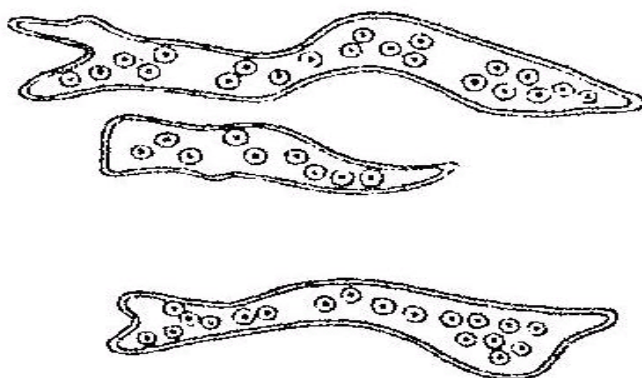
obr. 2.3.3.3 – cévvité tracheidy [4]

Vláknité tracheidy jsou protáhlé úzké buňky. Mají malé dvojtečky na buněčných stěnách. Plní funkci mechanickou, druhotně i vodivou. Jsou velmi podobné libriformním vláknům a hůře se od sebe rozeznávají.



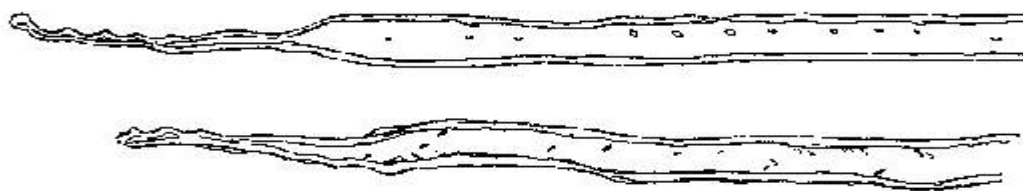
obr. 2.3.3.4 – vláknité tracheidy [4]

Vazicentrické tracheidy jsou krátké buňky s nepravidelnou tvarovou symetrií. Mají na buněčných stěnách malé dvojtečky. Nalézají se těsně u cév, kde se spolupodílejí na vodivé funkci.



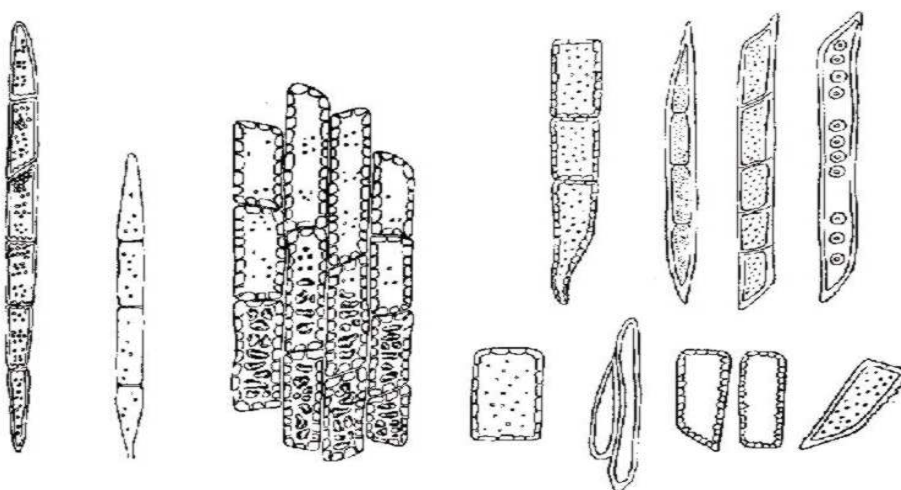
obr. 2.3.3.5 – vazicentrické tracheidy [4]

Libriformní vlákna tvoří hlavní složku základního dřevního pletiva listnáčů. Zastoupení ve dřevě je variabilní od 50-75%, především závisí na druhu dřeviny. Buňky jsou tenké, dlouhé bez významného počtu teček na stěnách, jež se vyznačují svou větší tloušťkou. Tloušťka buněčné stěny ovlivňuje fyzikální a mechanické vlastnosti dřeva, pohybuje se okolo 3-7 μm . Délka vláken je 0,1-2,5 mm a šířka 0,015-0,05 mm. Diferencované libriformní vlákna jsou odumřelé elementy, které zastávají mechanickou úlohu ve dřevě.



Obr. 2.3.3.6 – libriformní vlákna [4]

Parenchymatické buňky mají větší zastoupení u listnatých dřevin než u jehličnanů, a tvarově jsou různorodější. Zaujímají nemalý objem ve dřevě mezi 8-35%, v pevné závislosti na druhu dřeviny. Šířka parenchymatické buněk se pohybuje v rozmezí 18-22 μm a délka 80-100 μm . Ve vyzrálém a bělovém dřevě jsou buněčné stěny lignifikované, a po takřka celou dobu růstu stromu jsou tyto buňky stále živé. Na jejich buněčných stěnách se vyskytují drobné tečky, umožňující buňkám zastávat vodivou funkci i zásobní. Ukládají zásobní látky na bázi bílkovin, škrobů, cukrů a tuků, jež jsou podle potřeby rychle uvolňovány.



obr. 2.3.3.7 – parenchymatické buňky [4]

Parenchymatické buňky se rozdělují podle orientace v kmeni. Axiální dřevní parenchym je uložen ve směru hlavní osy kmene. Radiální dřevní parenchym je kolmý na hlavní podélnou osu kmene, a vytváří dřevové paprsky. Podélný dřevní parenchym je u listnatých dřevin více objemově zastoupen. Průměrné hodnoty ve dřevě se u našich dřevin pohybuje okolo 10% z celkového objemu dřeva v kmeni. Vyšší zastoupení se obecně udává u tropických dřevin. Například u dřevin rostoucích v suchých oblastech, kde radiální dřevní parenchym vytváří z větší části základní pletivo pro zásobu vody, je obsah ve dřevě více jak 20%. V bělové části kmene a ve vyzrálém dřevě se

ukládají zásobní látky. Parenchymatické buňky dřevných paprsků jsou propojeny s radiálními parenchymatickými buňkami přes početné tečky na jejich stěnách, čímž vzniká velký systém parenchymu.

2.4 Chemické složení dřeva

Znalost chemického složení dřeva je neodmyslitelnou součástí k dokonalému poznání jeho mechanických a fyzikálních vlastností. Chemické složení u dřevin se mírně nebo i značně odlišuje. Na tento fakt musíme brát zřetel, při technologickém a chemickém zpracování dřevní hmoty. Dřevo obsahuje převážně rozdílně složené přírodní polymery. Základní přírodní polymery s největším zastoupením ve dřevě vytváří hlavní složku pro dřevní pletiva. Patří jsem celulóza, hemicelulózy a lignin. Nepárném zastoupení ve dřevní hmotě zaujímají anorganické látky. Jsou to soli draslíku, hořčíku, sodíku, vápníku, manganu a železa.

2.4.1 Hlavní organické sloučeniny ve dřevě

Celulóza

Celulóza tvoří převážnou část buněčných stěn. Vytváří podstatnou část kostry anatomických elementů dřeva. Obsah celulózy u jehličnanů je 45-55%, u listnáčů 40-50%. Makromolekuly celulózy vznikají řetězením molekul β -D glukopyranózy, které jsou produktem fotosyntézy, jenž se spojí glykozidovými vazbami. Spojením těchto molekul vzniká disacharid celobióza, který tvoří základní sloučeninu celulózy. Délka makromolekuly je rozdílná, je závislá na polymeračním stupni. Pak mohou řetězce celulózy dosahovat délky až 0,01 mm. Dále dochází k chemickým i fyzikálním vazbám prostřednictvím vodíkových můstků spolu interakci van der Waalsových sil, kde se tvoří delší vlákna mikrofibrily, které přechází do větších svazků zvaných fibrily. Převážná část mikrofibril je vzájemně orientována rovnoměrně a uspořádaně, takže vytváří pravidelnou síť, jež je velmi podobná krystalické mřížce. Část mikrofibril bez krystalického uspořádání tvoří amorfni oblast celulózy, v níž se tvoří krystalická část celulózy. Krystalické uspořádání má dobré mechanické vlastnosti a chemickou stálost. Amorfni část celulózy má volné hydroxylové skupiny, které na sebe vážou molekuly vody. Důsledkem toho má dřevo hygroskopickou vlastnost. Poměr krystalické a amorfni části celulózy přímo ovlivňuje bod nasycených vláken, hustotu dřevní hmoty, míru bobtnání, houževnatost, pružnost a další mechanické, chemické a fyzikální vlastnosti.

Hemicelulózy

Hemicelulózy se řadí mezi polysacharidy, jejichž chemické složení je podobné s celulózou. Ve dřevě mají zastoupení, v závislosti na druhu dřevin od 15-35%. Kde v průměru jsou procentuálně více obsaženy v listnatých dřevinách. Na rozdíl od celulózy jsou to heteropolysacharidy. Obsahují mnoho monosacharidů s nižším polymerizačním stupněm například D-glukózy, D-dalaktózu, D-xylózu, L-fruktózu, L-ramnózu, L-arabiínózu. Spolu s celulózou se nacházejí v jednotlivých vrstvách buněčných stěn. Vytváří vyrovnávací a tmelící složku mezi fibrilami celulózy a vláknitým ligninem. Její vlastnosti určuje délka základního řetězce a stupeň rozvětvení. Podle nejpočetnějších monosacharidů, vyskytujících se v základním řetězci se dělí na xylany, galaktany, manany.

Lignin

Lignin má po celulóze nejhojnější zastoupení ve dřevě. Řadí se mezi jedny z nejdůležitějších polymerů. Množství obsažené ve dřevní hmotě nabývá hodnot od 15-35%. Struktura ligninu je u listnatých dřevin rozdílná oproti jehličnatým dřevinám, kde je i jeho větší zastoupení. Mechanicky zpevňuje buněčnou stěnu, kde dochází k signifikaci po zhotovení celulózové kostry. Nejvíce ligninu je uloženo v primární stěně a ve střední lamelle buňky. Jeho struktura má schopnost dobře vyplnit prostory polysacharidů, přičemž jeho obsah hraje důležitou a rozhodující úlohu pro mechanické, fyzikální a chemické vlastnosti dřeva. Spojení s polysacharidy se vytvoří na základě chemických i fyzikálních vazeb. Převládající vazby a jejich vzájemná orientace ovlivňují vztah dřeva k vodě, snižují nebo zvyšují propustnost vodní páry a zároveň brání průniku mikroorganismů a zamezení jejich dalšímu dělní ve dřevě. Lignin nebyl po chemické stránce přesně definován, protože se struktura ligninu v buněčných stěnách liší od chemicky izolovaného.

2.4.2 Doprovodné látky ve dřevě

Akcesorické složky jsou různé látky chemického složení, s rozdílným obsahem ve dřevě, nebo se nevyskytující v některých dřevinách. Obsahují je buňky a mezibuněčné prostory, ovlivňují vůni, barvu, odolnost proti biologickým činitelům a celkové mechanické, chemické a fyzikální vlastnosti dané dřeviny. Z dřevní hmoty se mohou extrahovat rozličnými rozpouštědly. Jsou to většinou látky organické. Část zbylé hmoty ze spáleného dřeva obsahuje v drtivé většině

anorganické látky. Obsah látek organických i anorganických je ve dřevinách pochopitelně výrazně odlišné.

Mezi anorganickými látkami ve dřevě jsou nejvíce zastoupeny soli vápenaté, draselné a hořečnaté. Jsou ve krystalické formě uloženy v lumenech parenchymatických buněk. V popelu ve dřevinách mírného pásu se nachází i menší množství prvků Na, Mn, P, Cl, Zn, Cu, Al, Pb, Fe, B a další.

Organické látky obsažené ve dřevě jsou polysacharidy škrobů, pektinů, polyuronidů, heteroglykozidů, a monosacharidy glukózy, xylózy, galaktózy, monózy aj. Fenolické látky způsobující zbarvení dřevní hmoty. Patří k nim ethylfenol, vanilin, hydroxybenzaldehyd, taniny neboli třísloviny. Terpeny tvoří další složku a mají obsáhlou skupinu chemických látek, a jsou rozšířeny zejména ve dřevě jehličnanů. Jsou to silice, pryskyřice, éterické oleje. Neodmyslitelnou a nepostradatelnou součástí dřeva jsou acyklické kyseliny, bílkoviny, alkaloidy, estery vyšších mastných kyselin a alkoholů nebo jejich deriváty, tuhé estery mastných kyselin a nespočet dalších chemických sloučenin uskutečňujících chemické reakce v buňkách.

3 FYZIKÁLNÍ VLASTNOSTI DŘEVA SOUVISEJÍCÍ S VLNKOSTÍ

3.1 Vlhkostní vlastnosti dřeva

Dřevo je materiál s hygroskopickou vlastností. Je schopné odevzdávat nebo přijímat vodu do okolí ve skupenství plynném i kapalném. Mění svoji vlhkost v závislosti na vlhkosti okolního prostředí. Míra vlhkosti ve dřevě přímo ovlivňuje jeho vlastnosti, které je nutno znát pro kvalitní technologické zpracování. Přestože dřevo může přijímat i jiné kapaliny a plyny, ale z praktického pohledu je voda nejdůležitější kapalina, proto fyzikální a mechanické vlastnosti dřeva se převážně vztahují k vodě.

3.1.1 Vztah dřeva k vzdušné vlhkosti

V uzavřeném systému energie nutná k změně skupenství vody z kapalného na plynné, je vyjádřena výparným teplem E_0 . Hodnota této energie se pohybuje od 40 600 J.mol⁻¹ při 100 °C do 44 840 J.mol⁻¹ při 0 °C. Pravděpodobnostní rozložení kinetické energie molekul vody při okamžité teplotě v uzavřeném systému, nám přibližuje Maxwellovo-Boltzmannovo rozdělení. Z něho přímo vyplývá, že jen určitý menší počet molekul vody má dostatečnou energii při dané teplotě, k překonání povrchového napětí kapaliny. Množství a rychlost vypařování molekul je nepřímo úměrné teplotě. V době kdy se rychlost vypařování a rychlost kondenzace vodních par vyrovná, je

dosaženo takové hodnoty tlaku vodních par, která se nazývá tlak nasycených vodních par. Do určité přesnosti tlak nasycených vodních par vyjadřuje jednoduchá Kirchoffova rovnice,

$$p_0 = e^{\left(53,421 - \frac{6516,3}{T} - 4,125 \ln T\right)} \quad (3.1.1.1)$$

kde e je základ přirozených logaritmů, T je absolutní teplota, $\ln$ je přirozený logaritmus.

Z rovnice (3.1.1.1) je patrné, že tlak nasycených vodních par je nezávislý na celkovém součtu parciálních tlaků a atmosférického tlaku v uzavřeném systému, ale závisí nepřímo úměrně na teplotě daného systému. Jestliže není dosaženo mezi rychlosti vypařování a rychlostí kondenzace vodních par rovnováhy v uzavřeném systému, nazýváme tento stav parciálním tlakem vodních par. Bez velké újmy na přesnost se parciální tlak vodních par se pro jednoduchost počítá ze semiempirické Carrierovy rovnice, vycházející z atmosférického tlaku vzduchu a z psychometrického rozdílu teplot. Psychometrický rozdíl teplot se měří s dvěma teploměry, jež jeden je zvlhčený pomocí speciální tkaniny, která je namočená v destilované vodě, druhý zůstává suchý. Naměřené hodnoty z teploměrů se odečítají,

$$p_p = p_0 - \frac{(p_{atm} - p_{0w})(C - C_w)}{1546 - 1,44C_w} \quad (3.1.1.2)$$

kde p_0 je tlak nasycených vodních par, p_{atm} – průměrný atmosférický tlak vzduchu, C – teplota suchého teploměru, C_w – teplota vlhkého teploměru.

Znalost hodnot parciálního tlaku vodních par je bezesporu důležitá, ale pro vztah dřeva k vzdušné vlhkosti je přímočařejší a do jisté úrovně dostačující znalost hodnot absolutní a relativní vlhkosti vzduchu. Absolutní vlhkost vzduchu je vyjádřena celkovou hmotností vodní páry, kterou obsahuje jednotkový objem vzduchu. Budeme dále předpokládat že vodní pára se chová jako ideální plyn, může být vypočtena s relativně malou chybou, absolutní vlhkost vzduchu z parciálního tlaku vodních par.

$$W_a = \frac{p}{p_{atm}} \cdot \frac{m_w 273}{V_w T} = 2,167 \frac{p}{T} \quad (3.1.1.3)$$

W_a je absolutní vlhkost vzduchu, p – parciální tlak vodních par ve vzduchu, p_{atm} – průměrný atmosférický tlak vzduchu, m_w – molární hmotnost vody, V_w – molární objem vody, T – absolutní teplota.

Absolutní vlhkost nasyceného vzduchu je taková hodnota, která odpovídá za dané okamžité teplotě a objemu vzduchu tlak nasycených vodních par. Vzorec na výpočet absolutní vlhkosti nasyceného vzduchu vychází analogicky z absolutní vlhkosti vzduchu,

$$W_0 = 2,167 \frac{p_0}{T} \quad (3.1.1.4)$$

W_0 značí absolutní vlhkost nasyceného vzduchu, p_0 je tlak nasycených vodních par, T – absolutní teplota.

Relativní vlhkost vzduchu je poměr mezi okamžitým celkovým množstvím obsažených vodních par v jednotce vzduchu s vodními parami o stejné teplotě a tlaku, s kterými by bylo jednotkové množství vzduchu plně nasyceno. Výpočet relativní vlhkosti vzduchu získáme z poměru absolutní vlhkosti vzduchu s absolutní vlhkostí nasyceného vzduchu, nebo poměrem parciálního tlaku vodních par ve vzduchu s tlakem nasycených vodních par.

$$\varphi = \frac{p}{p_0} = \frac{W_a}{W_0} \quad (3.1.1.5)$$

Relativní vlhkost vzduchu s teplotou vzduchu jsou hlavní hodnoty, ovlivňující rovnovážnou vlhkost dřeva a navlhavost. Jak už bylo zmíněno na začátku této kapitoly, obsah vody ať už v plynné nebo kapalně formě se ve dřevě mění v nepřímé závislosti na vlhkosti a teplotě okolního prostředí.

Protože dřevo je velmi porézní materiál, s velkým vnitřním povrchem, kde jsou mikrokapiláry tvořeny fibrilárními řetězci v buněčných stěnách, umožňující adsorbovat nemalý objem vody vzhledem k objemu dřevní hmoty. V amorfních oblastech celulózy probíhá větší míra adsorpce vody než v krystalické celulóze, protože se voda adsorbuje jen na určitý části povrchu krystalu. V amorfních oblastech se voda váže nejprve na hydroxylové skupiny s volnou chemickou vazbou, kde se s molekulami vody spojí vodíkovými vazbami, případně i za pomoci interakcí van der Walsových sil, které ovšem hrají větší úlohu při adsorpci na krystalové části celulózy. V kapilárách s větším průměrem s porovnáním s fibrilami, převládají fyzikální adsorpce, které jsou popsány kohezními silami a kapilárními jevy, spjaté s povrchovým napětím vody.

Objem adsorbované chemické sloučeniny nebo látky v dřevní hmotě, ovlivňují jejich charakterizující fyzikální a chemické vlastnosti. Stejně tak závisí na okolních faktorech prostředí např. na relativní vzdušné vlhkosti, teplotě, rychlosti proudění vzduchu a tlaku. Závislost množství adsorpce, převážně vody, na okolních faktorech prostředí popisují adsorpční izotermy, jež jsou matematická vyjádření sorpčních teorií.

Vlhkost dřeva, která se při okolních faktorech prostředí dále nemění se nazývá rovnovážná vlhkost dřeva *RVD*. Stav, jež je za těchto podmínek dosažen se nazývá stavem vlhkostní rovnováhy *SVR*. Rovnovážná vlhkost dřeva se mění v závislosti na změně teploty a relativní vlhkosti vzduchu, druhotně na dalších faktorech. Když bude celková vlhkost dřeva nižší než je stav vlhkostní rovnováhy, dřevo adsorbuje ze vzduchu vodní páru, dokud nebude dosaženo stavu vlhkostní rovnováhy. Jestliže vlhkost dřeva je vyšší po změně relativní vlhkosti a teploty, než by byl stav vlhkostní rovnováhy, dojde k opačnému procesu a dřevo vodní páry odevzdává do okolního vzduchu, než nebude dosaženo stavu vlhkostní rovnováhy. Tento jev se nazývá desorpce.

Změny vlhkosti ve dřevě při adsorpci a desorpci v závislosti na teplotě a relativní vlhkosti vzduchu neprobíhají po stejných izotermických sorpčních křivkách. Vzniklý jev popisuje hystereze sorpce. Jestli je shodná teplota a relativní vlhkost vzduchu pro desorpci a adsorpci, je celková vlhkost dřeva nižší pro adsorpci než u desorpce. Mezi relativní vlhkostní vzduchu od 30% po 90%, může nastat celkový vlhkostní rozdíl ve dřevě až o 3,5%. Poměrem mezi rovnovážnou vlhkostí dřeva u adsorpce s rovnovážnou vlhkostí dřeva u desorpce, se udává velikost hystereze.

$$h = \frac{RVD_a}{RVD_b} \quad (3.1.1.6)$$

Vznik hystereze sorpce vysvětluje několik teorií, které se navzájem prolínají a doplňují. Hlavním důsledkem je změna obsahu sorpčních struktur, při desorpci a absorpci, způsobující menší počet volných hydroxylových skupin v amorfních oblastech celulózy v buněčných stěnách, kde už se neuskutečňují početné vazby pomocí vodíkových můstků při adsorpci. Příčinou jsou silné fyzikální a chemické reakce, které zabraňují molekulám vody se chemicky i fyzikálně vázat na řetězce celulózy. Další z jevů přispívající k hystereze sorpce je hygroelastická vlastnost dřeva, kde dochází ke změně při absorpci a desorpci mechanickému napětí ve dřevě. Nastane-li desorpce vytváří se ve dřevě napětí tahové, kdežto u adsorpce v povrchových vrstvách nastane tlakové napětí. Rozdíly mezi mechanicky namáhaným a mechanicky nenamáhaným stavem dřeva, dosahují při adsorpci -20% a desorpci 20%. Rovnovážná vlhkost dřeva v závislosti na konstantní teplotě a při relativní vlhkosti vzduchu, popisuje sorpční izoterma. Tuto závislost přibližně vyjadřuje vztah,

$$\frac{dRVD}{dT} \approx -0,1 \frac{RDV}{MH} \quad (3.1.1.7)$$

kde $dRVD/dT$ je změna rovnovážné vlhkosti dřeva odpovídající změně teploty, MH – mez hygroskopicity daného dřeva. Znamená to, že jestliže se teplota zvýší o 10°C, rovnovážná vlhkost dřeva se sníží o jedno procento. Přesněji určenou hodnotu rovnovážné vlhkosti dřeva, se většinou určuje z rovnice sestavené DeBoerem a Zwickerem,

$$\ln \frac{1}{\varphi} = A \cdot e^{-B \cdot RDV} \quad (3.1.1.8)$$

po matematické úpravě

$$RDV = \frac{1}{B} \cdot \ln \frac{A}{\ln \frac{1}{\varphi}} \quad (3.1.1.9)$$

kde φ je relativní vlhkost vzduchu, T – absolutní teplota, RDV je rovnovážná vlhkost dřeva, $A = 7,7317 - 0,014348 \cdot T$, $B = 0,0087 + 0,000567 \cdot T$.

3.1.2 Rozdělení vody ve dřevě

Jak už bylo zmíněno vlhkost dřeva je způsobena obsahem vody ve dřevní hmotě. Výpočet relativní vlhkosti dřeva w_{rel} je vyjádřen podílem hmotnosti vody m_v , kterou si vyjádříme rozdílem hmotnosti vlhkého dřeva m_w s hmotností absolutně suchého dřeva m_0 k hmotnosti vlhkého dřeva m_w .

$$w_{rel} = \frac{m_w - m_0}{m_w} \cdot 100 \quad (3.1.2.1)$$

Výpočet absolutní vlhkosti dřeva w_{abs} je vyjádřen podílem hmotnosti vody m_v , kterou si vyjádříme rozdílem hmotnosti vlhkého dřeva m_w s hmotností absolutně suchého dřeva m_0 k hmotnosti absolutně suchého dřeva w_0 .

$$w_{abs} = \frac{m_w - m_0}{m_0} \cdot 100 \quad (3.1.2.2)$$

Vlhkost v kmeni je nerovnoměrně rozložena. To ovlivňují mnohé faktory jako druh a stáří dřeviny a okolní podmínky, ve kterých strom po celou vegetační dobu vyrůstal. Zpravidla vlhkosti mezi bělí a jádrem je výrazná hlavně u jehličnanů, kde má běl třikrát až čtyřikrát vyšší vlhkost než jádro. Listnaté dřeviny nemají tak výrazný rozdíl mezi jádrem a bělí, ale s výškou stromu celková vlhkost roste, na rozdíl od jehličnanů, kde se vlhkost s výškou mění minimálně. Vlhkost dřeva je rozdílná během ročního období. Největší vlhkosti v kmeni je dosaženo v zimním období, nejnižší vlhkost je ve dřevě během vegetačního období v létě.

Podíl vody ve dřevě v závislosti k sušině dřeva rozeznáváme tři hraniční vlhkostní hodnoty:

- Vlhkost při nasycení dřeva. Dřevo obsahuje nejvýše možné množství vody, přičemž je mikrokapilární i makrokapilární systém maximálně nasycen vodou.
- Vlhkost při nasycení buněčných stěn je stav, kdy v buněčných stěnách je mikrokapilární systém plně naplněn vodou. Nazývá se mezí hygroskopicity MH nebo mezí nasycení buněčných stěn MNBS.
- Vlhkost suchého dřeva. Tato vlhkost se docílí sušením dřeva při teplotě, alespoň 105°C až po dobu, kdy už se hmotnost dřeva nemění a okolní relativní vlhkost vzduchu je zanedbatelná. Ve dřevě není přítomna žádná volná ani vázaná voda jen chemicky vázaná.

Podle výskytu vody v elementární struktuře dřeva rozdělujeme vodu na volnou, vázanou, chemicky vázanou:

- Voda volná, zvaná kapilární nebo transpirační, je obsažena v mezibuněčných prostorech a v buněčných lumenech. Ve dřevě se vyskytuje jenom za doprovodu vody vázané, kde je přítomna v kapalném skupenství a v zanedbatelné míře v plynném od absolutní vlhkosti

200% podle typu dřeviny přibližně až do 30%. Obsah této vody volné se po vytěžení kulatiny z lesa rychle snižuje, a je závislá na elementární stavbě dřeva, pórovitosti a v jaké části kmene se nachází. Tato vlhkost neovlivňuje objem dřeva, má jen vliv na hustotu dřevní hmoty, a nemá významný dopad na mechanické a fyzikální vlastnosti.

- Voda vázaná též hygroskopická nebo inhibiční nalézá se v amorfní části celulózy a hemicelulózy v buněčných stěnách, kde se váže za přispění van der Walsových interakcí a vazbám na volné hydroxylové skupiny pomocí vodíkových můstků. Voda vázaná se v buněčných stěnách vyskytuje převážně v plynném skupenství ve vlhkostním rozmezí od 22% až 35%. Ze dřevní hmoty se desorbuje výrazně pomaleji než voda volná, a její procentuální zastoupení má výrazný a zásadní vliv na tvarové a objemové změny.
- Chemicky vázaná voda je jedním ze stavebních kamenů pro odlišně stupně složitých chemických sloučenin ve dřevě. Proto se ze dřeva nedá získat sušením, ale jen pomocí chemického rozkladu dřevní hmoty. Na stavbě dřevní sušiny se podílí jedním až dvěma procenty z celkového procentního zastoupení. Neovlivňuje výrazně chemické a fyzikální vlastnosti dřeva.

Mez hygroskopicity a mez nasycení buněčných stěn představuje pevnou hranici mezi vodou vázanou a vlnou. Mez nasycení buněčných stěn MNBS je vlhkostní stav buňky, kdy lumen neobsahuje vodu v kapalném skupenství a buněčná stěna obsahuje maximální vlhkost, kdy teplota na tuto danou veličinu nemá významný vliv.

Vlhkostní mez nasycení buněčných stěn pro domácí dřeviny se odvíjí od druhu dřeviny, anatomickou stavbou a chemickém složení dřeva. Pohybuje se v rozmezí 22-35%. Z důvodu obtížného určení tohoto vlhkostního stavu, se pro rozlišení vody vázané a volné ve dřevě používá jiná definice, jež se nazývá mez hygroskopicity MH.

Mez hygroskopicity je odlišná od meze nasycení buněčných stěn, a to podle skupenství v jakém se voda vázaná v buněčných stěnách nalézá. U meze hygroskopicity je ve skupenství plynném, a u MNBS ve stavu kapalném. Tyto veličiny mají téměř stejnou hodnotu při teplotě mezi 15-20°C, ale s tím rozdílem že mez hygroskopicity ovlivňuje teplota okolí, při zvyšující se teplotě její hodnota nelineárně klesá. Mez nasycení buněčných stěn v závislosti na hustotě dřeva je vyjádřena vztahem, který je dostatečný pro běžnou praxi,

$$MNBS = \left(\frac{1}{\rho_k} - \frac{1}{\rho_0} \right) \rho_H \quad (3.1.2.3)$$

kde ρ_k - konvenční hustota dřeva, ρ_0 - hustota absolutně suchého dřeva, ρ_H - hustota vody.

Z empirického měření se pro domácí hospodářské dřeviny docílilo, že hodnotu MNBS nebo MH je možno získat jen na základě znalosti hustoty absolutně suchého dřeva.

$$MNBS = 1035 \rho_0^{-0,545} \quad (3.1.2.4)$$

3.1.3 Dřevo jako kapilárně-porézní látka

Dřevní hmota se svoji anatomickou stavbou neřadí mezi homogenní materiály, už jen proto, že se skládá z rozličných základních elementů, které plní funkce mechanické, vodivé a zásobní. Buňky jsou základní elementy seskupující se do větších celků zvané pletiva, mající rozhodující vliv na desorpci, absorpci a celkový transport vody ve dřevě. Vedení tekutin se hlavně uskutečňuje přes makrokapilární a mikrokapilární rozvětvený systém.

Podle poloměrů se kapiláry rozlišují na:

- mikrokapiláry o poloměru $r > 10^{-7}$ m
- mezokapiláry o poloměru $r = 10^{-7} - 10^{-6}$ m
- makrokapiláry o poloměru $r > 10^{-6}$ m

Fibriální řetězce celulózy i hemicelulózy v buněčných stěnách, tvoří intermicelární a interfibrilární prostory, vytvářející mikrokapiláry o průměru 1-100 nm. Tento kapilární systém obsahuje vodu vázanou, a absorbuje okolní vlhkost ze vzduchu. Pohyb vody se děje za přispění gradientu koncentrací, jež je silou chemické povahy.

Makrokapilární systém je vytvořen lumeny a mezibuněčnými prostory a obsahuje vodu volnou. Ve směru s hlavní osou kmene probíhá vedení vody v kapalně fázi za pomoci makrokapilár a menší měrou za přispění mikrokapilár.

Transport vody volné se uskutečňuje pomocí fyzikálních sil, a to gradientem tlaků. Kolmo na hlavní osu kmene se voda pohybuje v lumenech dřeňových paprsků, které představují makrokapiláry a přes anatomické elementy dřeva jako jsou tracheiny, libriformní vlákna a cévy pomocí ztenčenin v buněčných stěnách, které ztělesňují mikrokapiláry.

Závislost pórovitosti na hustotě dřeva se průměrná hodnota pohybuje mezi 50-60%. Z toho plyne že dřevo má značný měrný vnitřní povrch, jehož hodnota se u absolutně suchého dřeva pohybuje mezi $100-200 \text{ m}^2 \cdot \text{g}^{-1}$ nebo $20-300 \text{ m}^2 \cdot \text{cm}^{-3}$. Důsledkem této vnitřní nemalé plochy, má vzdušná vlhkost možnost se adsorbovat na povrch. Měrný vnitřní povrch S je vyjádřen z vlhkosti monomolekulární sorpce w_M , která bude vysvětlena v následujících kapitolách,

$$S = \left(\frac{6M}{\pi \rho N} \right)^{\frac{2}{3}} \cdot \frac{N w_M}{M} \quad (3.1.3.1)$$

kde v rovnici (3.1.3.1) M je molární hmotnost vody ($\text{kg} \cdot \text{mol}^{-1}$), N – Avogadrovo číslo ($6,025 \cdot 10^{23} \text{ mol}^{-1}$), ρ – hustota vody, w_M – maximální vlhkost při monomolekulární sorpci.

3.2 Termodynamika sorpce

Vlhkost spjatá se dřevní hmotou vytváří termodynamický systém, o němž usuzujeme, že odehrávající se děje v onom systému jsou reversibilní. Důsledkem toho jde o zjednodušení celého

systému, přesto že s ohledem na hysterezi sorpce se jedná o metastabilní rovnováhu. Každá změna skupenství látek je spojena se změnou energie. Voda ve dřevě se objevuje ve třech skupenství, a s každým přechodem do jiného skupenství se mění její entalpie. V tomto termodynamickém systému musí samozřejmě být rovnováha složek, které se ve dřevě nalézají jako D dřeva, V vody v kapalném stavu, P vodní páry.

- rovnováha teplot $T^D = T^P = T^V$
- rovnováha tlaků $p^D = p^P = p^V$
- chemická rovnováha $G^D = G^P = G^V$

Jestliže se voda v kapalném skupenství odpařuje do okolního prostředí, překonává určitou energetickou bariéru, představující povrchové napětí vody, takže zvýší svou entalpii. I ve dřevě se při odpařování vody překonává shodná energie, ale musí překonat ještě energetickou bariéru způsobenou vodíkovými můstky. Při sorpci jsou vodní páry vázány na volné hydroxylové sloučeniny, kde se uskuteční fázový přechod vody na kapalinu, přitom se mění energetické hladiny.

3.2.1 Termodynamika vody volné

Probíhající vztah mezi hodnotami volné energie, entalpie, entropie a teplotou látky můžeme zjednodušeně vyjádřit,

$$H = G + TS \quad (3.2.1.1)$$

kde H – entalpie ($\text{J} \cdot \text{mol}^{-1}$), G – volná energie (Gibbsova energie), S – entropie ($\text{J} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$), T – absolutní teplota.

Entalpie je fyzikální veličina definovaná jako celková vnitřní energie, uložená v jednotkovém množství látky. Za předpokladu, že při teplotě 0 K je entalpie látky $H = 0 \text{ J} \cdot \text{mol}^{-1}$. Entalpie vody volné vyjadřuje rovnice,

$$H_w = \Delta H_m + c_{led} \int_0^{273} dT + c_{voda} \int_{273}^T dT \quad (3.2.1.2)$$

kde H_w je entalpie vody volné, H_m – teplo fuze ledu, c_{led} – měrné teplo ledu, c_{voda} – měrné teplo vody.

Entropie S vyjadřuje míru neurčitost v systému, vypovídajícím o směru energetických změn. Dále vyjadřuje kvantitativně nevratnost tepelných pochodů. Podle druhé věty termodynamiky rozdíl mezi vratnou a nevratnou změnou, jež soustava dosáhne, je dán tím, že u nevratné změny bez vnějšího zásahu nemůže přejít soustava sama od sebe zpět do původního stavu. Jestliže teplota v soustavě roste stoupá i entropie, jelikož se zvyšuje náhodný pohyb molekul. Entropii vody volné vyjadřuje rovnice (3.2.1.3),

$$S_w = \Delta S_m + \frac{H_m}{273} + c_{\text{voda}} \int_{273}^T \frac{dT}{T} \quad (3.2.1.3)$$

kde S_m – entropie ledu při tání ($41,2 \text{ J} \cdot \text{K}^{-1}$), H_m – teplo fuze ledu ($6025 \text{ J} \cdot \text{mol}^{-1}$), c_{voda} – měrné teplo vody ($75,3 \text{ J} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$).

Volná energie vody volné je vyjádřena rozdílem nevyužitelné energie, která je dána součinem entropie a absolutní teploty, s celkovou vnitřní energií neboli entalpií.

$$G_w = H_w - TS_w \quad (3.2.1.4)$$

Budeme-li dále rovnici derivovat podle teploty,

$$\frac{dG}{dT} = \frac{dH}{dT} - \frac{dTS}{dT} \quad (3.2.1.5)$$

vyjádříme na pravé straně rovnice členy z předchozích rovnic

$$\frac{dH}{dT} = c \quad (3.2.1.6)$$

$$\frac{dTS}{dT} = c + S \quad (3.2.1.7)$$

z nichž plyne.

$$\frac{dG}{dT} = -S \quad (3.2.1.8)$$

Jak je známo entropie s teplotou roste. Tato skutečnost je i zřejmé z rovnice (3.2.1.3), takže z rovnice (3.2.1.8) lze vyvodit pokles množství volné energie v látce. Je způsobena rozpínáním vodních par.

V termodynamické rovnováze vzduch nasycený vodní parou má téměř stejné množství volné energie, jako voda v kapalném skupenství, neboli G evaporace $\approx G$ kondenzaci. Vzduch nasycený vodní parou má větší molární objem, než vzduch nenasycený, z čehož vyplývá že má i vyšší volnou energii. Mezi kapalinou a nenasyceným vzduchem vznikne gradient volné energie G_g , příčinou je evaporace vody až do dosažení rovnovážného stavu. Gradient volné energie lze jednoduše odvodit z práce, kterou je nutno dodat systému, aby došlo k roztažení nasyceného vzduchu na molární objem vzduchu nenasyceného,

$$\Delta G_g = - \int_{V_0}^V p dV \quad (3.2.1.9)$$

kde p je tlak plynu ze stavové rovnice ideálního plynu pro jeden mol látky $pV = RT$, V_0 je molární objem nasyceného vzduchu, V je molární objem nenasyceného vzduchu.

Po substituci rovnice (3.2.1.9) dostaneme.

$$\Delta G_g = - \int_{V_0}^V \frac{RT}{V} dV = RT \ln \frac{V_0}{V} \quad (3.2.1.10)$$

Přičemž z Boylehova zákona platí, $V_0 p_0 = V p = \varphi$, tudíž

$$\Delta G_g = RT \ln \varphi \quad (3.2.1.11)$$

U vody vázané nebo nenasycené vodní páry tento gradient volné energie, zapříčiní difúzi vlhkosti ve dřevě. Aby došlo k termodynamické rovnováze, vlhkost ve dřevě se pohybuje z míst o vyšší energii do míst s nižší energií.

3.2.2 Termodynamika vody vázané

Entalpie vody vázané, je analogicky vyjádřena z rovnice (3.2.1.1),

$$\Delta H_s = \Delta G_s + \Delta TS \quad (3.2.2.1)$$

volná energie na pravé straně rovnice s entropií mají zápornou hodnotu, takže i entalpie je záporná, to odpovídá uvolňování tepla při sorpci vzdušné vlhkosti na sorpční místa v buněčné stěně, a odvodu tepla do okolí. Teplo uvolněné při příjmu vody vázané ve dřevě se nazývá diferenciální teplo sorpce E_s .

$$E_s = -dH_s \quad (3.2.2.2)$$

Při sorpci vody vázané je absolutní entalpie vyjádřena

$$H_s = H_w + H_s \quad (3.2.2.3)$$

Diferenciální teplo sorpce je teplo, jež je zapotřebí do systému dodat, aby bylo vyšší než teplo výparné E_0 , k odpaření 1 mol vody vázané. Z empirické rovnice lze určit přibližnou hodnotu diferenciálního tepla sorpce,

$$E_s = (E_s)_0 e^{-14w} \quad (3.2.2.4)$$

kde $(E_s)_0$ je diferenciální teplo sorpce absolutně suchého dřeva, jenž odpovídá přibližně hodnotě $21,1 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$, w je vlhkost dřeva.

Diferenciální teplo sorpce je z praktičnosti vztahováno k hmotnosti vody vázané ve dřevě, a značí se Q_s . Vyjadřuje míru nadbytku vazební energie vody ve dřevě, a určuje hodnotu uvolněné energie na gram vody vázané při sorpci. Po vydělení diferenciálního tepla sorpce absolutně suchého dřeva molární hmotností vody, dostáváme.

$$Q_s = 1170 e^{-14w} \quad (3.2.2.5)$$

Postup určení Q_s vychází z kalorimetrické metody. Měřené teplo, vznikající přidáním jednotkového množství vodní páry dřevu s vlhkostí pod mezí hygroskopicity. Hodnotu diferenciálního tepla sorpce, je možné zjistit i pomocí parciální derivací termodynamické definice,

$$E_s = -R \left(\frac{\partial \ln \varphi}{\partial \frac{1}{T}} \right) \quad (3.2.2.6)$$

kde R je univerzální plynová konstanta, φ je relativní vlhkost vzduchu. Analogicky můžeme určit hodnotu výparného tepla vody E_0 , jestliže známe tlak nasycených par p_0 při teplotě vzduchu T .

$$E_0 = -R \frac{\partial \ln p_0}{\partial \frac{1}{T}} \quad (3.2.2.7)$$

Z důvodu přehlednosti a praktičnosti, zároveň získání přesnějších hodnot se zavedla definice nazvaná celkové teplo smáčení W_0 . Je to teplo, jenž se uvolní, po absorpci dřeva vody vázané od nulové vlhkosti až po mez hygroskopicity.

$$W_0 = \int_0^{MH} Q_s dw \quad (3.2.2.8)$$

Pro domácí technické dřeviny se hodnota W_0 pohybuje v rozmezí od 70 do 86 J·g⁻¹. Teplo, které se uvolní při sorpci od okamžité vlhkosti po mez hygroskopicity se nazývá integrální teplo smáčení.

$$W = \int_w^{MH} Q_s dw \quad (3.2.2.9)$$

Teplo smáčení na rozdíl od diferenciálního tepla sorpce udává ve dřevě počet sorpčních míst, vycházející z hodnoty energie na gram absolutně suchého dřeva. Integrální teplo sorpce je charakterizováno rozdílem celkovým teplem smáčení a integrálním teplem smáčení.

$$W_0 - W = \int_0^w Q_s dw \quad (3.2.2.10)$$

Hodnoty integrálních tepel sorpce umožňují výpočet diferenciálního tepla sorpce Q_s a lze určit jak se mění diferenciální teplo sorpce v závislosti na vlhkosti dřeva.

$$Q_s = \frac{d(W_0 - W)}{dw} = -\frac{dW}{dw} \quad (3.2.2.11)$$

3.3 Teorie sorpce

Specifická vlastnost dřeva hygroskopicita znamená, že dřevo mění svou vlhkost v závislosti na vlhkosti okolního vzduchu. Při konstantní teplotě závislost rovnovážné vlhkosti dřeva na relativní vlhkosti vzduchu se odborně nazývá sorpční izoterma. Teorie sorpce matematicky popisuje děje vycházející z modelů sorpce, a vysvětluje odehrávající se sorpce u hygroskopických materiálů.

Jsou to modely.

- empirické
- vrstvené sorpce vyskytující se na adsorpci v amorfních místech celulózy
- založené na analogii teorie dřeva jako sorpčního polymeru pro stav dřeva ve vodě

3.3.1 Fáze sorpce

Dřevo které má menší vlhkost než by mělo ve stavu rovnovážné vlhkosti dřeva, adsorbuje z okolního vlhkého vzduchu vodní páry. Při absorpci dochází k třem postupným dějům rozdělených na

- kapilární kondenzaci
- polymolekulární sorpci
- monomolekulární sorpci

3.3.1.1 Kapilární kondenzace

Jestliže je relativní vlhkost vzduchu vyšší než 70% dojde ke kapilární kondenzaci v mikrokapilárách a mezokapilárách. Kapilární kondenzace je závislá na poloměru kapilár. Již při relativní vlhkosti vzduchu nižší než je stav plného nasycení vzduchu vodními parami, dochází ke kondenzaci vzdušné vlhkosti v mezokapilárách, které se nalézají v buněčných stěnách. Kelvinova rovnice s dostatečnou přesností tuto závislost vyjadřuje,

$$\frac{2\sigma \cos \theta}{r} = \frac{\rho RT}{m_w} \ln \varphi \quad (3.3.1.1.1)$$

kde σ je povrchové napětí vody, $\cos \theta$ je úhel smáčení kapaliny, r je poloměr zakřivení menisku v kapiláře, ρ je hustota vody, R je univerzální plynová konstanta, m_w molární hmotnost vody, φ je relativní vlhkost vzduchu.

Z rovnice lze odvodit že, při určité relativní vlhkosti vzduchu od určitého poloměru kondenzují vodní páry v kapiláře. Zkondenzovaná voda je dále odváděna v buněčné stěně do interfibrilárních prostor. Strop vlhkosti, kterou umožňuje dosáhnout buněčná stěna se odvíjí od možnosti roztažení fibrilárních řetězců. Omezení závisí na chemickém složení a počtům vrstev ze kterých se skládá buněčná stěna, zvláště pak na mechanických vlastnostech i okolních buněčných stěn. Teorie kapilární kondenzace se projevuje při rovnovážné vlhkosti dřeva od 15% do meze hygroskopicity.

3.3.1.2 Monomolekulární sorpce

Je první fází adsorpce ve dřevě, kde molekuly vody jsou vázány na sorpční místa v amorfní oblasti zřetězených celulóзовých makromolekul. Mezi fibrilárními prostory se molekuly vody s relativně malým průměrem 0,3 nm, snadno postupně vrství pomocí vodíkových můstků. K monomolekulární sorpci dochází nejdříve v amorfní oblasti celulózy, kde se vyskytuje velké

množství volných hydroxylových skupin. Kde na každém volném sorpčním povrchu se naváže jedna molekula vody, a plynule se vytváří rovnoměrný vodní film s tloušťkou rovnající se přibližně jedné molekule vody, obalující povrch fibrilárních vláken.

Monomolekulární sorpce popisuje děje odehrávající se při RDV 0-7%, to odpovídá $\varphi \leq 20\%$. Protože pevnost vodíkových můstků je $4-40 \text{ kJ}\cdot\text{mol}^{-1}$, mají v monomolekulární vrstvě molekuly vody hustotu $1,3 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$. Nízká rovnovážná vlhkost dřeva nezpůsobí významnému bobtnání buněčné stěny, tudíž tato fáze sorpce nezpůsobuje dislokace a změny v krystalické oblasti celulózy. Tuto sorpci matematicky vyjadřuje Langmuirůva sorpční izoterma. Langmuir přal v úvahu jen primární sorpci,

$$\frac{w}{w_0} = \frac{b_1 \varphi}{(1 - b_1 \varphi)} \quad (3.3.1.2.1)$$

kde w je rovnovážná vlhkost dřeva, w_0 je nulová vlhkost v monomolekulární vrstvě, b_1 je koeficient proporcionality mezi evaporací a kondenzací. Použití této sorpční izotermy je omezeno pro relativní vlhkost vzduchu do 70%.

3.3.1.3 Polymolekulární sorpce

Polymolekulární sorpce nastává po monomolekulární sorpci, kde na monomolekulární film se adsorbují další molekuly vody. Polymolekulární vrstva dosahuje tloušťky až pěti molekul vody, jež jsou na sobě a k monomolekulární vrstvě poutány za pomoci Van der Waalsovými silami, elektrostatickými silami a v menší míře i slabnucími silami vodíkových můstků na sorpčních místech. Tato vrstva už není rozložena rovnoměrně. Síly způsobené vodíkovými můstky se vzdáleností klesají, a neovlivňují po fyzikálních vlastnostech molekuly vody, které nabývají pak vlastností spíše kapalně vody. Hustota vrstvy je od 1 do $1,2 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$, a povrchové napětí je shodné s vodou v kapalně formě za běžných podmínek.

Při zvětšující se polymolekulární vrstvě, narůstá bobtnání buněčné stěny, což se odráží na počtu vytvoření nových mezokapilár v krystalické části celulózy. Polymolekulární sorpce popisuje děje odehrávající se při RDV 7-15%, to odpovídá φ 20-70%. Tuto sorpci matematicky vyjadřuje Dentova sorpční izoterma. Důsledkem zvyšující se vlhkostí dřeva narůstají vrstvy molekul vody vázané od $A_0 - A_n$. Jestliže dojde rovnováže mezi tlakem vodních par okolí a ve dřevě, nastane termodynamická rovnováha mezi vrstvami adsorbované vody. Příčinou je, že evaporace vody z vrstvy A_i odpovídá kondenzaci ve vrstvě A_{i-1} . Pak b_1 je koeficient proporcionality rychlostí mezi evaporací a kondenzací. Potom $A_1 = b_1 \varphi A_0$ a $A_i = b_i \varphi A_{i-1}$. Dentova sorpční izoterma je vyjádřena rovnicí,

$$\frac{w}{w_M} = \frac{b_1 \varphi}{(1 - b_2 \varphi)(1 - b_2 \varphi + b_1 \varphi)} \quad (3.3.1.3.1)$$

kde w je rovnovážná vlhkost dřeva, w_M je maximální vlhkost v monomolekulární vrstvě, a určuje hranici mezi monomolekulární a polymolekulární vrstvou. Hodnotu koeficientů dostaneme z rovnic,

$$b_1 = e^{\left(-\frac{G_M}{RT}\right)} \quad (3.3.1.3.2)$$

$$b_2 = e^{\left(-\frac{G_P}{RT}\right)} \quad (3.3.1.3.3)$$

kde G_M je průměrná volná energie vody vázané v monomolekulární vrstvě, G_P je průměrná volná energie vody vázané v polymolekulární vrstvě. Použití této sorpční izotermy je omezeno pro relativní vlhkost vzduchu do 70%, z důvodů nezahrnutí do rovnic kapilární kondenzaci.

3.3.2 Sorpční izoterma

Podmínkou pro aplikovatelnost jakékoli sorpční izotermy je její dostatečná shoda s experimentálními daty. Tato podmínka se striktně dodržuje. Na základě toho jsou konstruovány empirické modely. V této kapitole byla ukázána Dentova sorpční izoterma, a Langmuirova sorpční izoterma. Jsou to základní matematické modely, vycházející z teoretického a empirického ověření vrstveného modelu a termodynamiky sorpce. Potřebné hodnoty sorpční izotermy, kdy stav vlhkostní rovnováhy v závislosti na teplotě a relativní vlhkosti vzduchu, se určují výpočtem z některé rovnice sorpční izotermy nebo z monogramů. Nejčastěji používaným monogramem bývá Keylwerth - Loughboroughův pro stanovení rovnovážné vlhkosti dřeva v závislosti na relativní vzdušné vlhkosti a teplotě prostředí.

4 ROZMĚROVÉ ZMĚNY DŘEVA SPOJENÉ SE ZMĚNOU VLHKOSTI

Změní-li se vlhkosti ve dřevě v rozsahu vody vázané, nastanou rozměrové změny zvané hygroexpanze rozměrů. Snižování vody volné ve dřevě až po mez hygroskopicity, nemá výrazný dopad na rozměrové změny dřeva. Bobtnáním a sesýcháním dochází v buněčné stěně k oddalování a přibližování fibrilárních řetězců. Důsledkem toho se mění ve dřevě objemově základní stavební elementy. Tyto změny jsou již dobře pozorovatelné a měřitelné. Významný vliv na hodnotu bobtnání a sesýchání má natočení fibril v buněčné stěně. V tomto ohledu je rozhodující střední vrstva sekundární buněčné stěny, která se podílí až 90% na celkovém objemu buněčné stěny. Zde jsou uloženy fibrily celulózy orientované v pravotočivých spirálách a svírají s hlavní podélnou osou úhel od 15 - 30°. Proto dochází k největšímu sesýchání a bobtnání v kolmém směru od hlavní

podélné osy kmene. Menší rozměrové změny v podélném směru jsou důsledkem neumožnění molekulám vody navázat na podélné spojení fibrilárních řetězců, proto nedochází k významnému prodloužení fibril.

4.1 Sesýchání dřeva

Sesýchání je definováno jako rozdíl hodnoty původního rozměru s hodnotou konečného rozměru. Je to proces, při kterém se zmenšují rozměry, plocha a objem tělesa, z důvodu klesající vody vázané. Rozlišujeme sesýchání podle směru na radiální, tangenciální a podélné, dále na objemové a plošné. Sesýchání se vyjadřuje jednoduchým vztahem,

$$\beta_i = \frac{a_w - a_v}{a_w} 100 \quad (4.1.1)$$

kde a je rozměr tělesa, jeho plocha nebo objem, w je vlhkost před sesýcháním, v je vlhkost po ukončení sesýchání.

Větší vypovídající hodnotu má znalost procentuální změny rozměrů nebo objemu, se změnou vlhkosti ve dřevě o 1%. Z tohoto hlediska je ještě definován, koeficient sesýchání K_β a diferenciální sesýchání β_{dif} .

$$K_\beta = \frac{\beta_i}{w - v} \quad (4.1.2)$$

$$\beta_{dif} = \frac{\beta_T}{\beta_R} \quad (4.1.3)$$

U diferenciálního sesýchání β_{dif} , značí v rovnici β_T sesýchání v radiálním směru a β_R sesýchání tangenciálním směru. Nízké diferenciální sesýchání mají tyto dřeviny: lípa, topol, olše a douglaska. Vyšší diferenciální sesýchání se objevuje u buku, javoru, jedle, smrku, modřínu a vejmutovky. Sesýchání má anizotropní charakter, tudíž podél vláken se sesýchání nejméně projevuje a nepřesahuje 1%. V tangenciálním směru se sesýchání projevuje mnohem více 6-12%, a v radiálním směru 3-6%. Mezi dřeva málo sesýchavá se řadí olše, tis, hruška, akát, topol, vrba, limba. Dřeva středně sesýchavá smrk, borovice, jedle, dub, jasan, jilm, osika, javor, jeřáb, ořech. Dřeva výrazně sesýchavá bříza, modřín, buk, lípa, habr.

4.1.1 Bobtnání dřeva

Bobtnání je schopnost dřeva zvyšovat svůj objem a rozměry v závislosti na množství vody vázané obsažené ve dřevě. Obdobně jako u sesýchání rozlišujeme bobtnání podle směru na radiální, tangenciální, podélné a dále na objemové a plošné. Od absolutně suchého dřeva do meze hygroskopicity je dosaženo maximálního bobtnání. Dalším zvyšováním vlhkosti ve dřevě nemá zásadní vliv na změnu objemu, ale jen na celkovou hustotu dřevní hmoty. Označuje se jako bobtnání celkové. V menším vlhkostním intervalu se bobtnání označuje za bobtnání částečné. Je vyjádřeno rovnicí,

$$\alpha_i = \frac{a_v - a_w}{a_w} 100 \quad (4.1.1.1)$$

kde a je rozměr tělesa, jeho plocha nebo objem, v je vlhkost po ukončení bobtnání, w je vlhkost před bobtnáním. Z praktického hlediska je výhodné znát procentuální změnu objemu nebo rozměrů, změní-li se vlhkost ve dřevě o 1%. Proto je zaveden koeficient bobtnání K_α , jenž získáme ze vztahu

$$K_\alpha = \frac{\alpha_i}{v - w} \quad (4.1.1.2)$$

a diferenciální bobtnání,

$$\alpha_{dif} = \frac{\alpha_T}{\alpha_R} \quad (4.1.1.3)$$

kde α_i je částečné bobtnání. Zde se dopouštíme nepřesnosti při výpočtu koeficientu bobtnání, protože předpokládáme, že změny rozměrů dřeva pod mezí hygroskopicity jsou lineární se změnou vlhkosti ve dřevě, ale pro běžnou praxi je výpočet uspokojivý. Protože součet objemu vody absorbované s objemem dřeva před absorpcí je větší než objem nabobtnalého dřeva. Tento jev vysvětluje monomolekulární sorpce.

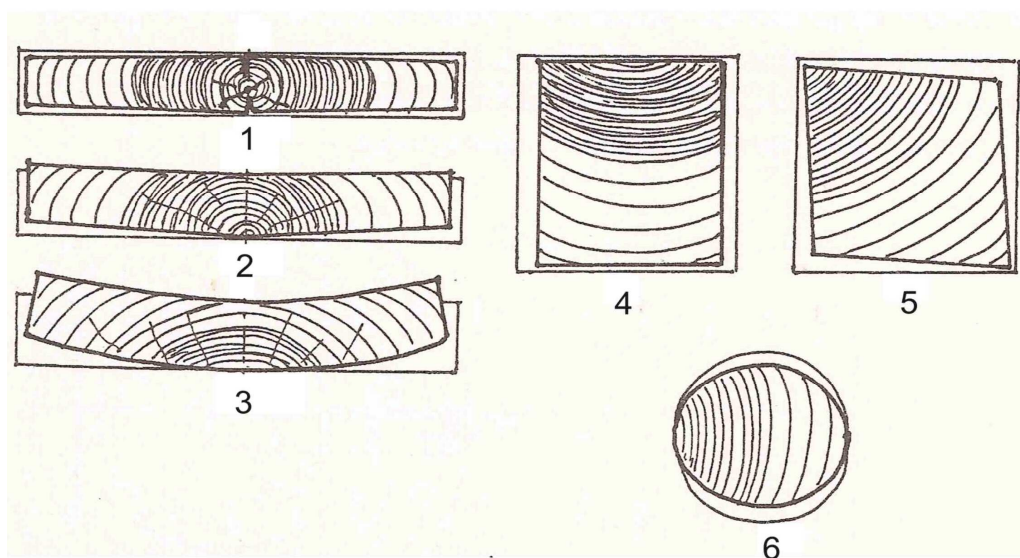
4.1.2 Borcení dřeva

Při sesýchání nebo bobtnání dřeva dochází k tvarovým změnám řeziva, vznikající z důvodu anizotropního charakteru hygroexpanze dřeva. Objevuje se v podélném i příčném směru. U příčného borcení způsobuje tvarové změny, nestejně sesýchání dřeva ve směru tangenciálním a radiálním, i rozdílná vlhkost v povrchových a vnitřních vrstvách. Podélné borcení dřeva je zapříčiněno nestejným podélným sesýcháním dřeva v bělové a jádrové části, následkem bývá

stočení nebo prohnutí řeziva. Borcení dřeva je výraznější a rostoucí směrem od dřeně k obvodu kmene.

Příčné borcení. obr. 4.1.2.1.

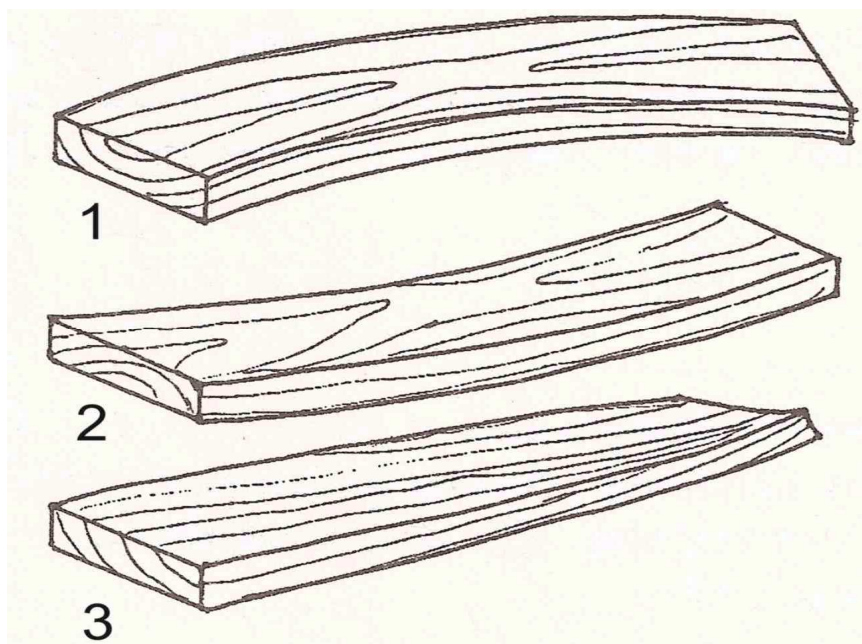
- Středové řezivo (1) se více sesýchá v tloušťce, a méně v šířce, v jádrové části méně než v bělové.
- Boční řezivo (2) a (3) se prohýbá, takže pravá strana je vypuklá a levá strana je vydutá.
- Čtvercový průřez (4) se změní na obdélníkový, jestliže jsou letokruhy rovnoběžné s některou stranou.
- Při průběhu letokruhů úhlopříčně (5) vznikne průřez kosočtvercový.
- Kruhový průřez (6) se změní na elipsovitý.



Obr.4.1.2.1 – příčné borcení [6]

Podélné borcení obr.4.1.2.2.

- S bočním rádiusem (1) je způsobeno důsledkem nestejnoměrného růstu letokruhů, nerovnoměrnou vlhkostí ve dřevě.
- Plošné prohnutí (2) vznikne nerovnoměrným sesýcháním, nesprávným uložením do hráně, nerovnoměrným růstem letokruhů, přítomnost jednotlivých vad ve dřevě.
- Šroubové natočení (3) je důsledek šroubovitého růstu letokruhů, vlivem vnějších podmínek při růstu nejčastěji větrem.



obr.4.1.2.2 – podélné borcení [6]

Borcení je nežádoucí vlastností dřeva, kterou můžeme částečně eliminovat pomalým vysoušením a správným uložením dřeva do hráně. Zpravidla listnaté řezivo je náchylnější na borcení než jehličnaté řezivo.

4.1.3 Faktory ovlivňující bobtnání a sesýchání dřeva

Hodnoty celkové změny rozměrů nebo objemu dřeva, zapříčiněné měnící se vlhkostí ve dřevě, závisí na chemickém složení, anatomické stavbě a hustotě dřeva. Nerovnoměrné rozložení vlhkosti ve dřevě, má za následek nejčastěji v povrchových vrstvách vznik tahového napětí a ve vnitřních vrstvách napětí tlakové nebo rozličné kombinace i s vlhkostním napětí ve dřevě. Tato napětí mnohdy vlivem hygroelastického efektu ovlivňují celkové rozměrové změny dřeva.

Nesmíme opomenout že závislost sesýchání a bobtnání v intervalu vlhkosti 0-5% a od 20% až po mez hygroscopicity neprobíhá lineárně, ale má přibližně podobu sorpční izotermy, jenž je vysvětlována obdobně jako teorie sorpce. Sesýchání a bobtnání dřeva je téměř přímo úměrné jeho hustotě. Souvisí to s tloušťkou buněčných stěn, kde tloušťka s hustotou dřeva roste a tudíž i obsah sorpčních míst ve dřevě. Jelikož se lumen minimálně rozměrově mění, při sesýchání a bobtnání dřeva se vyšší jeho hustota odráží do větších objemových a rozměrových změn.

Se zvětšující se hustotou dřeva se mění tvar anatomických elementů, což má za následek snížení rozdílů v tangenciálním a radiálním směru, proto se většinou koeficient diferenciálního bobtnání a sesýchání zmenšuje. Důležitou úlohu zde hraje orientace fibrilárních řetězců v jednotlivých vrstvách buněčných stěn. S vzrůstajícím odklonem fibril od podélné hlavní osy

buňky ve střední vrstvě sekundární buněčné stěny, roste podélné sesýchání a bobtnání, to zapříčiní výrazné podélné borcení dřeva. Velké ztenčeniny vyskytující se na radiálních stěnách buněk u jehličnanů, mají za následek odklon fibril buňky ve střední vrstvě sekundární buněčné stěny, to až o 30°, což výrazně ovlivňuje koeficient diferenciálního bobtnání a sesýchání.

Tloušťka buněčné stěny ve směru radiálním a tangenciálním je důležitý faktorem pro sesýchání a bobtnání v jednotlivých směrech. Například u tracheid je tangenciální buněčná stěna povětšinou tenčí než radiální. Počet dřeňových paprsků a natočení fibril ve stěnách parenchymatických buněk probíhá v radiálním směru, ovlivňuje snížení hygroexpanze v tomto směru.

4.1.4 Vnitřní napětí při sušení dřeva

Při sušení dřeva, jestliže dojde k nerovnoměrnému vysychání, vzniká vnitřní napětí ve dřevě, a to zbytkové a vlhkostní napětí. Je způsobeno přítomností gradientu vlhkosti ve dřevě. Vlhkostní gradient je větší, čím je vyšší teplota okolního vzduchu, protože se zvyšuje rychlost vypařování vody z povrchových vrstev, ale difúze vody nebo páry zevnitř k povrchu se přiměřeně nezrýchluje.

Po klesnutí vlhkosti pod mez hygroskopie v povrchových vrstvách, se začnou sesychat, ale vnitřní vrstvy k této vlhkosti nedospěly a neumožňují vnitřní seschnutí. Proto ve vnitřních vrstvách vzniká tlakové napětí a v povrchových vrstvách napětí tahové. Překročí-li velikosti tahového napětí meze pevnosti v povrchových vrstvách kolmo na směr průběhu vláken, nastane roztržení povrchových pletiv a vzniknou povrchové trhliny.

S pokračujícím vysycháním dřeva se ve vrstvách mění složky napětí. V povrchových vrstvách se objeví napětí tlakové a ve vnitřních vrstvách napětí tahové. Vzniklé trhliny na povrchu se uzavrou a ve vnitřní vrstvě po překročení meze pevnosti vzniknou trhliny. Vznikající deformace jsou podle Hookeova zákona přímo úměrné napětím. Jestliže je deformace pružná, po zániku napětí se dřevo vrací do původního stavu. Po překročení meze pevnosti vznikne deformace trvalá.

4.2 Propustnost tekutin ve dřevě

Kapaliny a plyny se ve dřevě pohybují molekulárním tokem a objemovým tokem. Objemový tok se pohybuje v mezokapilárách a makrokapilárách působením gradientu kapilárního nebo statického tlaku souhrnně zvaným hydrodynamickým pohybem. Jistým měřítkem propustnosti tekutin je pórovitost dřeva, a volný prostor spojený do kapilárního systému, který je vytvořen spojením lumenů buněk, jenž jsou propojeny ztenčeninami buněčných stěn a perforovanými příhrádkami cév nebo křížovými poli dřeňových paprsků.

Pohyb tekutin ve dřevě probíhá turbulentním, laminárním a nelineární tokem. Laminární proudění tekutin je popsáno Darcyho zákonem. Vyjadřuje úměru mezi hustotou objemového toku kapaliny a působícím gradientem vnějšího tlaku,

$$\frac{V}{St} = k \frac{\Delta p}{\Delta x} \quad (4.2.1)$$

kde V je objem kapaliny, S je plocha toku, t doba trvání toku, Δp je rozdíl tlaků na konci tělesa, x je délka tělesa, k je koeficient propustnosti.

Míra propustnosti je dána rychlostí proudění kapaliny přes jednotkový objem dřeva s jednotkovým rozdílem tlaků. Darcyho zákon pro propustnost plynů vychází z izotermických podmínek pro ideální plyn,

$$k_g \Delta p = - \frac{nRT}{tS} \Delta x \quad (4.2.2)$$

přes integraci

$$k_g \int_{p_1}^{p_2} p dp = - \frac{nRT}{tS} \int_0^x dx \quad (4.2.3)$$

potom.

$$k_g = \frac{2nRTx}{tS(p_1 - p_2)(p_1 + p_2)} \quad (4.2.4)$$

Po dosazení dostaneme Darcyho zákon pro propustnost plynů.

$$\frac{V}{St} = k_g \frac{\Delta p}{xp} \quad (4.2.5)$$

Darcyho zákon pro proudění viskózních kapalin v kruhové kapiláře.

$$\frac{V}{t} = \frac{K2\pi x \Delta p}{\ln \frac{r}{r_1}} \quad (4.2.6)$$

Pro plyny pak analogicky.

$$\frac{V}{t} = \frac{K2\pi x \Delta p}{\ln \frac{r}{r_1} p} \quad (4.2.7)$$

4.3 Kapilární a kohezní síly ve dřevě

Ve dřevě při proudění vody volné na rozhraní kapaliny s plynem, vznikají jevy zapříčiněné povrchovým napětím, kde nastává nerovnováha mezimolekulárních sil mezi objemem a povrchem kapaliny. Kapaliny se snaží zmenšit svůj povrch na co nejmenší hodnotu, aby bylo dosaženo nejméně energeticky náročného stavu. Povrchová vrstva má jiné chemické a fyzikální vlastnosti než ve vnitřní části kapalin.

Kapilární jevy a povrchové napětí jsou výsledkem vzájemného působení přitažlivých kohezních sil. Povrchové napětí působí v rovině kapaliny kolmo na jednotkovou délku. Na rozhraní mezi kapalinou a plynem působí z obou stran kolmo síly $\vec{F}_1 = -\vec{F}_2$. Povrchové napětí je výsledná síla umožňující povrchu kapaliny být v rovnováze vzhledem k jednotce délky, takže dostáváme vztah.

$$\sigma = \frac{F}{x} \quad (4.3.1)$$

Plošná hustota povrchové energie blány je rovna povrchovému napětí.

$$\sigma = \frac{Fdx}{xdx} = \frac{dW}{dS} = \frac{(p_0 - p_1)dV}{dS} \quad (4.3.2)$$

Kde p_0 je parciální tlak vodních par, p_1 je tlak v kapalině, která tvoří s plynem rozhraní, V je objem plynu. U ideálního plynu je změna tlaku odpovídající změně objemu bubliny, proto je energie vyjádřena rovnicí (4.3.2). Dosadíme-li do rovnice plochu a objem koule s poloměrem r , po první derivaci dostaneme po úpravě LaPlaceho rovnici (4.3.4), kde r je poloměr menisku na rozhraní plynu a kapaliny.

$$\sigma = \frac{(p_0 - p_1)4\pi r^2 dr}{8\pi r dr} = \frac{(p_0 - p_1)r}{2} \quad (4.3.3)$$

$$\frac{2\sigma}{r} = (p_0 - p_1) \quad (4.3.4)$$

Síla $\vec{F}_1$ vyjadřuje sílu vzniklým povrchovým napětím. Síla $\vec{F}_2$ vyjadřuje sílu vytvořenou gradientem tlaků v kapalině a plynem.

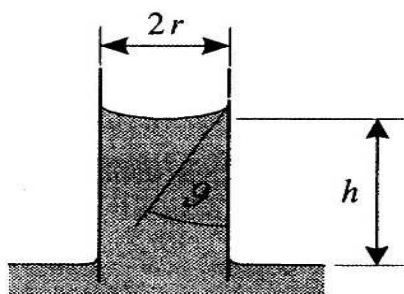
$$\vec{F}_1 = \sigma 2\pi \cos \vartheta \quad (4.3.5)$$

$$\vec{F}_2 = (p_0 - p_1)\pi r^2 \quad (4.3.6)$$

Budou-li se tyto dvě síly rovnat $\vec{F}_1 = \vec{F}_2$, dostaneme rovnici, která popisuje poměry tlaků v kapiláře na rozhraní mezi kapalinou a plynem.

$$\frac{2\sigma \cos \vartheta}{r} = (p_0 - p_1) \quad (4.3.6)$$

Pro přestup vody volné přes ztenčeniny například u tracheid je možno efektivně použít tuto (4.3.6) rovnici. Kde r je poloměr kapiláry, ϑ je úhel smáčení.



obr. 4.3.1 – kapilární elevace [5]

Jestliže je úhel smáčení roven nule, mají rovnice (4.3.4) a (4.3.6) shodný tvar při rozdílných poloměrech. Platí, že síla F_1^p se rovná síle gravitační.

$$2\pi r \sigma \cos \vartheta = \pi r^2 h \rho g \quad (4.3.7)$$

Z rovnice (4.3.7) si vyjádříme výšku h , jenž nám udává hodnotu do níž v kapiláře kapalina vystoupí. Úhel smáčení u vody v kapiláře se dostává k nulové hodnotě s rostoucím časem.

$$h = \frac{2\sigma \cos \vartheta}{r \rho g} \quad (4.3.8)$$

Vezmeme-li tlak plynu nad meniskem jako atmosférický tlak vzduchu při hladině moře, a nulový úhel smáčení vody po dosazení do rovnice (4.3.6), dostaneme hodnotu napětí vody v kapiláře $p_1 = -1,5 \cdot 10^6$ Pa. Tato hodnota představuje tahové napětí, které udrží vodní sloupec ve stometrové výšce.

4.3.1 Osmotický tlak a tlak bobtnání

Rovnice osmotického tlaku je definována jako práce potřebná k přemístění 1 mol vody při vyrovnaném gradientu koncentrace v látce. Použitím stavové rovnice ideálního plynu pro 1 mol.

$$pV = RT \quad (4.3.1.1)$$

Potom celková práce je dána změnou objemu 1 molu plynu při odlišných tlacích plynu p_0 a p_1 , jenž objem 1 molu vody je roven podle rovnice.

$$V = \frac{0,018}{\rho_v} \quad (4.3.1.2)$$

Po dosazení získáme hodnotu práce.

$$W_1 = (p_0 - p_1) \frac{0,018}{\rho_v} \quad (4.3.1.3)$$

nebo obecně pro jakoukoliv koncentraci látky.

$$W = \int_{V_0}^{V_1} p dV \quad (4.3.1.4)$$

Substitucí stavové rovnice ideálního plynu do rovnice (4.3.1.4) získáme

$$W = RT \int_{V_0}^{V_1} \frac{dV}{V} \quad (4.3.1.5)$$

po integraci.

$$W = RT \ln \frac{V_1}{V_0} \quad (4.3.1.6)$$

Vyjdeme-li z Boyleova zákona

$$\frac{V_1}{V_0} = \frac{p_0}{p_1} \quad (4.3.1.7)$$

přičemž platí.

$$\frac{1}{\varphi} = \frac{p_0}{p_1} \quad (4.3.1.8)$$

Po dosazení do rovnice (4.3.1.6), dostáváme

$$W = RT \ln \frac{1}{\varphi} \quad (4.3.1.9)$$

Odlišné vyjádření shodné práce popisují rovnice (4.3.1.2) a (4.3.1.9). Proto jsou si rovné, a můžeme napsat že $W_1 = W$, a řešením získáme rovnici pro osmotický tlak nebo vodní potenciál ψ .

$$-\psi = (p_0 - p_1) = \frac{RT\rho_v}{0,018} \ln \frac{1}{\varphi} \quad (4.3.1.10)$$

Rovnice vodního potenciálu a osmotického tlaku vyjadřuje, vyrovnání tlaků kapaliny a vodní páry nebo nasycené a nenasycené vodní páry. Aplikací rovnice (4.3.1.10) na dřevo, dostaneme hodnotu tlaku bobtnání dřeva $P_2 - P_1$ při rovnovážném vztahu s tlakem vodních par okolního vzduchu p_1 , který působí statickým tlakem P_1 zvýší-li se relativní vzdušná vlhkost na p_2 .

$$P_2 - P_1 = \frac{RT\rho_v}{0,018} \ln \frac{p_2}{p_1} \quad (4.3.1.11)$$

Jestliže je tlak nasycených vodních par p_0 konstantní, pro jednoduchost vyjádříme v rovnici (4.3.1.11) tlak bobtnání jako funkci relativních vzdušných vlhkostí. Dostáváme rovnici (4.3.1.1.2).

$$P_2 - P_1 = \frac{RT\rho_v}{0,018} \ln \frac{\varphi_2}{\varphi_1} \quad (4.3.1.12)$$

Z rovnice (4.3.1.12) vyplývá že, u tělesa s blokovanými rozměrovými změnami bude rovnovážná vlhkost při zvýšení φ mnohem nižší než u tělesa neovlivněného. Působením externího statického tlaku P_1 je tedy rovnovážná vlhkost dřeva redukována a proces se nazývá hygroelastickým efektem. Dosazením konkrétních hodnot φ odpovídajícím polymolekulární adsorpci (monomolekulární adsorpce nebývá spojena s bobtnáním dřeva), t.j. vlhkosti $w = 8-30\%$, obdržíme teoretickou hodnotu tlaku bobtnání $P_2 - P_1 = 150$ MPa. Dřevo ale takovou pevnost nemá,

proto odvozená rovnice charakterizuje tlak bobtnání buněčné stěny, zatímco tlak bobtnání dřeva se pohybuje kolem 1-5 MPa.

Tlak bobtnání u dřeva nezávisí na velikosti bobtnání, ale na mechanických vlastnostech dřeva. U listnatých dřev zejména se širokými dřeňovými paprsky je tlak bobtnání v radiálním směru vyšší než ve směru tangenciálním na rozdíl od samotného bobtnání, které je naopak největší ve směru tangenciálním. U jehličnatých dřev je větší tlak bobtnání v tangenciálním směru. Tlak bobtnání roste s teplotou.

[1]

4.4 Metody měření vlhkosti dřeva

K určení vlhkosti dřeva se používají různé metody, s odlišnou přesností zjištění vlhkosti ve dřevě.

Metody rozdělujeme na.

- Přímé, určují skutečný obsah vody ve dřevě.
- Nepřímé, obsah vody zjišťujeme měřením na základě jiné veličiny, která je závislá na obsahu vody ve dřevě.

Mezi přímé metody se řadí destilační a gravimetrická. Z nepřímých metod měření na základě absorpce různých druhů záření, využití rychlosti šíření nebo absorpci ultrazvuku a zvuku, elektrického odporu, dielektrických a termofyzikálních vlastností dřeva.

4.4.1 Měření vlhkosti dřeva gravimetrickou metodou

Měření vlhkosti dřeva váhovou zkouškou se řadí, mezi stále nepoužívanější metody v sušárnách z důvodu dosažení nejpřesnějších výsledků. Proto se tato metoda používá k posouzení přesnosti elektrických vlhkoměrů. Zkušební vzorky musí být bez vad. Postup při měření spočívá ve zjištění hmotnosti vlhkého vzorku dřeva M_w , a hmotnost po jeho vysušení na absolutně suchý stav M_0 . Sušení se probíhá v laboratorních sušárnách s časem plynule zvyšující se teplotě až na 103 ± 2 °C. Pro výpočet se aplikuje vzorec (4.4.1.1).

$$w = \frac{M_w - M_0}{M_0} 100 \quad (4.4.1.1)$$

Nevýhodou měření váhovou zkouškou je časová náročnost, příprava kvalitních vzorků pro měření a nemožnost kontinuálního měření vlhkosti.

4.4.2 Měření vlhkosti dřeva odporovými hrotovými vlhkoměry

Měření odporovými vlhkoměry se uskutečňuje na základě vlivu vnitřní vlhkosti dřeva na elektrický odpor. Pomocí elektrod, které jsou do dřeva zaraženy se uzavírá elektrický obvod. Elektrický odpor dřeva v závislosti na vlhkosti se v přístroji dále přepočítává na danou vlhkost dřeva. Jestliže je rozložení vlhkosti ve dřevě rovnoměrné, tak průřez elektrod nemá výrazný vliv na výslednou hodnotu. Při měření je nutno zabezpečit spolehlivý kontakt mezi elektrodami a dřevem, aby nedocházelo k přechodovému odporu.

4.4.3 Měření vlhkosti dřeva dielektrickými vlhkoměry

Dielektrické vlhkoměry můžeme rozdělit podle měřené elektrické veličiny na vlhkoměry kapacitní, absorpční včetně mikrovlnných a admitanční. Toto dělení dielektrických vlhkoměrů však nevystihuje přesně princip činnosti jednotlivých typů, protože některé vlhkoměry měří elektrickou veličinu ovlivněnou různou mírou dalšími elektrofyzikálními charakteristikami. Např. mikrovlnné vlhkoměry měří útlum elektromagnetického vlnění, přičemž konstanta útlumu je závislá nejen na ztrátovém čísle, ale i na permitivitě.

Z hlediska použitých frekvencí je možné dielektrické vlhkoměry rozdělit na nízkofrekvenční (nf), vysokofrekvenční (vf) a mikrovlnné (vvf). Přenosné dielektrické vlhkoměry jsou převážně vysokofrekvenční a mikrovlnné, pracují ve frekvencích v intervalu 1 -10 MHz a 0,1 - 5 GHz. Mimo jiné uvedené metody byly u vlhkoměrů použity i další, např. metoda impedančního děliče elektrického napětí a metoda dvou rezonančních obvodů.

[2]

4.4.4 Porovnání měření odporových a dielektrických vlhkoměrů

Odporové i dielektrické vlhkoměry mají své zvláštnosti, které jsou všeobecného charakteru. Rozsah vlhkosti, ve kterém se vlhkost dřeva může spolehlivě zjišťovat je u odporových vlhkoměrů přibližně 5 – 30% a u dielektrických vlhkoměrů 0 – 30 %. V zásadě se dielektrické vlhkoměry mohou konstruovat při nezmenšené přesnosti měření na celý rozsah vlhkosti u dřeva.

Dielektrické vlhkoměry jsou převážně vybaveny rovinnými elektrodami, které se umísťují na povrch materiálu, jde tedy o nedestruktivní měření. Jejich údaje ovšem mají tendenci udávat vlhkost povrchu materiálu nebo povrchových vrstev (výjimkou jsou kapacitní vlhkoměry). Pro známé vlhkostní gradienty je možné dielektrické vlhkoměry kalibrovat, ale při neznámých gradientech se nezískají spolehlivé údaje. Ze srovnání odporového a dielektrického vlhkoměru vyplývá, že přesnost měření pomocí odporového vlhkoměru při respektování teploty, druhu a

anatomického směru dřeva lepší. Chyba odporového vlhkoměru v důsledku nepřesnosti měření odporu se běžně považuje za zanedbatelnou, protože při přesnosti měření odporu $\pm 5\%$ je chyba v údaji vlhkosti jen $\pm 0,1\%$ (konkrétní hodnota závisí na vlhkosti).

Rozdíly mezi přesností odporovými dielektrickými vlhkoměry jsou dány mimo jiné i tím, že dielektrické vlhkoměry je potřeba výrazně kalibrovat na vliv teploty a hustoty dřeva. Chyby způsobené nerespektováním druhu dřeva jsou při použití odporového vlhkoměru obvykle $\pm 4\%$, u dielektrických vlhkoměrů může být chyba až $\pm 10\%$. Údaje dielektrických vlhkoměrů ukazují obecně větší variabilitu hodnot než odpovídající údaje odporových vlhkoměrů. Vzhledem k této variabilitě se doporučuje měřit odporovými vlhkoměry 10% materiálu (při velkém počtu pak 10 kusů), zatímco při použití dielektrického vlhkoměru je to 20% (resp. 20 kusů). V praxi našly největší uplatnění vlhkoměry odporové, a to až z 90%. Použitím dielektrických vlhkoměrů je rozšířeno převážně v USA, v Evropě se s nimi setkáme ojediněle. Velkou výhodou dielektrických vlhkoměrů zůstává jejich schopnost měřit vlhkost v celém rozsahu a navíc i kontinuálně.

[2]

5 PRAKTICKÁ ČÁST

5.1 Charakteristika zkušebních vzorků vybraných dřevin pro měření.

Smrk obecný - *Picea abies*.

Smrk obecný se řadí mezi jehličnany, které mají u nás největší plošné zastoupení na porostní ploše 1 407 201 ha, a tvoří okolo 55% lesních porostů. Dřevo neobsahuje jádro, ale vyvráté dřevo. Dřevo je žlutobílé až světle žlutohnědé. Letokruhy jsou zřetelně rozeznatelné s pozvolným přechodem mezi letním a jarním dřevem. Pryskyřičné kanálky jsou malé, patrné jen na podélných řezech jako tmavší čárky. Hustota absolutně suchého smrkového dřeva je $\rho = 420 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$.

Borovice lesní - *Pinus sylvestris*.

Řadí se mezi významnější rychle rostoucí domácí dřevinu. Zaujímá 457 329 ha lesní plochy, což představuje 18% zastoupení v lesním porostu. Jádro na čerstvém pokáceném stromě je světle hnědé, po čase oxiduje a tmavne až výrazně do červenohněda. Běl je nažloutlá až lehce narůžovělá, široká a často vlivem hub místy zamodralá. Letokruhy mají ostrou hranici mezi jarním a letním dřevem. Pryskyřičné kanálky jsou četné a zřetelné jako tečky na příčném řezu, a na podélném řezu jako tmavší čárky. Hustota absolutně suchého borovicového dřeva je $\rho = 505 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$.

Modřín opadavý - *Larix decidua*.

Zastoupen v lesním porostu je 3,6 %, to představuje 93 019 ha lesní plochy. Dřevo má odlišeno jádro od běle. Jádro je světlehnědé po čase oxiduje až do červenohnědé barvy. Běl je úzká a nažloutlá. Letokruhy mají ostrou hranici mezi jarním a letním dřevem, s větším podílem letního dřeva. Pryskyřičné kanálky jsou méně zastoupené než u borovicového dřeva. Jsou viditelné jako tmavší tečky na příčném řezu, na podélném řezu jako čárky. Hustota absolutně suchého modřínového dřeva je $\rho = 560 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$.

Dub - *Quercus*.

Patří mezi nejvíce zastoupené listnaté dřeviny s 6,2 %, takže zaujímá plochu 159 960 ha. Dubové dřevo obsahuje běl i jádro. Jádro je široké světlehnědé až tmavohnědé. Běl je úzká nažloutlá až světlehnědá. Stavba dřeva je kruhovitě pórovitá s ostrou hranicí mezi letním a jarním dřevem. V jarním dřevě jsou viditelné na příčném řezu velké cévy, na podélném řezu jako zřetelné rýhy. Malé letní cévy na příčném řezu tvoří radiální světlé pásy. Dřeňové paprsky jsou na všech řezech dobře pozorovatelné. Na příčném řezu tvoří pásy kolmé k letokruhům, na radiálním směru nestejněměrné lesklé plošky, na tangenciálním řezu tmavší čárky. Hustota absolutně suchého dubového dřeva je $\rho = 680 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$.

Jasan - *Fraxinus*.

Zastoupení jasanů je na našem území malé, pod 1%. Ve dřevě se nalézají jádro i běl, která je široká nažloutlá až narůžovělá, jádro světlehnědé až hnědé. Hranice letokruhů jsou zřetelné s plynulým přechodem z letního do jarního dřeva. Dřevo je kruhovitě pórovité, na příčném řezu jsou viditelné póry v jarním dřevě, na podélných řezech jako dlouhé rýhy. V letním dřevě jsou drobné cévy, které jsou roztroušené a nejsou viditelné. Jen na radiálním řezu jsou dřeňové paprsky patrné jako drobná zrcátka. Hustota absolutně suchého jasanového dřeva je $\rho = 670 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$.

Javor - *Acer*.

Je zastoupen v lesním porostu jen 0,6 %. Dřevo je bez jádra. Běl je žluto až hnědobílá. Letokruhy jsou méně zřetelné, spolu s dřeňovými paprsky, které jsou viditelné na radiálním řezu v podobě drobných hustých zrcátek. Hustota absolutně suchého javorového dřeva je $\rho = 630 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$.

Ořešák - *Juglas*.

Jeho zastoupení je malé, mezi lesní porosty se dříve vysazoval ořešák královský. Na jižní Moravě se doposud vyskytuje ořešák černý. Dřevo ořešáku je jádrové, jenž je šedohnědé až šedočerné s tmavými podélnými pruhy. Běl je úzká bělošedá až do světlého. Je to přechodná dřevina mezi kruhovitě a roztroušeně pórovitou stavbou dřeva. Póry jsou velké a roztroušené po celém letokruhu, které na podélných řezech jsou pozorovatelné jako malé rýhy s odlišnými délkami. Jen na radiálním řezu jsou zřetelné dřeňové paprsky v podobě jemných zrcátek. Hustota absolutně suchého ořechového dřeva je $\rho = 660 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$.

Hrušeň obecná - *Pyrus communis*.

Jedná se o ovocný strom, který se na lesní půdě výjimečně vyskytuje jako zplaněné dřeviny v křovinatých strání. Řadí se mezi jádrové dřeviny s jádrem a bělí nezřetelně rozlišenou. Dřevo je narůžovělé až červenohnědá, matná. Letokruhy jsou málo výrazné. Dřeňové paprsky jsou pozorovatelné jen na radiálním řezu v podobě jemných zrcátek. Hustota absolutně suchého hrušňového dřeva je $\rho = 700 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$.

Topol - *Populus*.

Topolové dřevo má rozlišeno jádro od běle. Jádro je světlehnědé nebo šedohnědé až tmavohnědé. Běl je bílá někdy lehce nahnědlá. Letokruhy jsou široké špatně rozlišitelné. Cévy jsou viditelné jako drobné téměř nepozorovatelné rýžky na podélných řezech. Dřeňové paprsky nejsou pozorovatelné. Hustota absolutně suchého topolového dřeva je $\rho = 390 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$.

Lípa – *Tilia*

V našich lesích je plošně zastoupena pod 1 %. Dřevo nemá rozlišené jádro od dřene, je žluté až hnědobílé. Letokruhy jsou málo výrazné. Stavba dřeva je roztroušeně pórovitá. Dřeňové paprsky jsou viditelné jen na podélných řezech jako drobná zrcátka. Hustota absolutně suchého topolového dřeva je $\rho = 475 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$.

5.2 Tabulky a grafy s vyhodnocenými hodnotami

Naměřené rozměry a vypočtené hodnoty vzorků dřev s relativní a absolutní odchylkou měření viz. přílohy. Absolutní a relativní chyba měření byla vypočtena z těchto vzorců.

$$\overline{\sigma} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\Delta x_i)^2}{n(n-1)}} \quad (5.2.1)$$

$$\delta = \frac{\overline{\sigma}}{x} \quad (5.2.2)$$

$$\vartheta_V = \sqrt{\left(\frac{\partial V}{\partial a} \vartheta_a\right)^2 + \left(\frac{\partial V}{\partial b} \vartheta_b\right)^2 + \left(\frac{\partial V}{\partial c} \vartheta_c\right)^2} \quad (5.2.3)$$

$$\delta_V = \frac{\vartheta_V}{V} \quad (5.2.4)$$

$$\vartheta_\rho = \sqrt{\left(\frac{\partial \rho}{\partial m} \Delta m\right)^2 + \left(-\frac{\partial \rho}{\partial V} \Delta V\right)^2} \quad (5.2.5)$$

$$\delta_\rho = \frac{\vartheta_\rho}{\rho} \quad (5.2.6)$$

5.2.1 Tabulky a grafy pro jehličnaté dřeviny

Smrk obecný							
Tabulkové hodnoty				Naměřené hodnoty			
Sesýchání [%]				Sesýchání [%]			
od MNBS do w = 0 [%]				od MNBS do w = 2,7 [%]			
objemové	radiální	tangenciální	délkové	objemové	radiální	tangenciální	délkové
11,9	3,6	7,8	0,3	11,29	5,18	6,23	0,24
Mez nasycení buněčných stěn				Mez nasycení buněčných stěn			
MNBS	w = 30 – 34 [%]			MNBS	w = 31,8 [%]		
Hustota smrkového dřeva při w = 0 [%]				Hustota smrkového dřeva při w = 2,7 [%]			
m = 0,43 [g·cm ⁻³]				m = 0,427 [g·cm ⁻³]			

tab.5.2.1.1 – zpracované hodnoty z měření a porovnané s tabulkovými

Smrk obecný					
Počáteční hodnoty vzorku kdy $w = 31,8$ [%]					
tloušťka [mm]	šířka [mm]	délka [mm]	m [g]	V [cm ³]	ρ [g·cm ⁻³]
14,49	48,46	101,2	36,11	71,06	0,50817
Konečné hodnoty vzorku kdy $w = 2,7$ [%]					
tloušťka [mm]	šířka [mm]	délka [mm]	m [g]	V [cm ³]	ρ [g·cm ⁻³]
13,74	45,44	100,96	26,94	63,037	0,42737

tab.5.2.1.2 – počáteční a konečné hodnoty měřeného vzorku dřeva

Borovice lesní							
Tabulkové hodnoty				Naměřené hodnoty			
Sesýchání [%]				Sesýchání [%]			
od MNBS do w = 0 [%]				od MNBS do w = 2,9 [%]			
objemové	radiální	tangenciální	délkové	objemové	radiální	tangenciální	délkové
12,1	4	7,7	0,4	11,69	4,22	7,65	0,21
Mez nasycení buněčných stěn				Mez nasycení buněčných stěn			
MNBS	w = 23 – 28 [%]			MNBS	w = 29,3 [%]		
Hustota borovicového dřeva při w = 0 [%]				Hustota borovicového dřeva při w = 2,9 [%]			
m = 0,49 [g·cm ⁻³]				m = 0,469 [g·cm ⁻³]			

tab.5.2.1.3 –zpracované hodnoty z měření a porovnané s tabulkovými

Borovice lesní					
Počáteční hodnoty vzorku kdy $w = 29,3$ [%]					
tloušťka [mm]	šířka [mm]	délka [mm]	m [g]	V [cm ⁻³]	ρ [g·cm ⁻³]
14,22	48,88	100,13	37,23	69,584	0,53503
Konečné hodnoty vzorku kdy $w = 2,9$ [%]					
tloušťka [mm]	šířka [mm]	délka [mm]	m [g]	V [cm ⁻³]	ρ [g·cm ⁻³]
13,62	45,14	99,92	28,81	61,446	0,46887

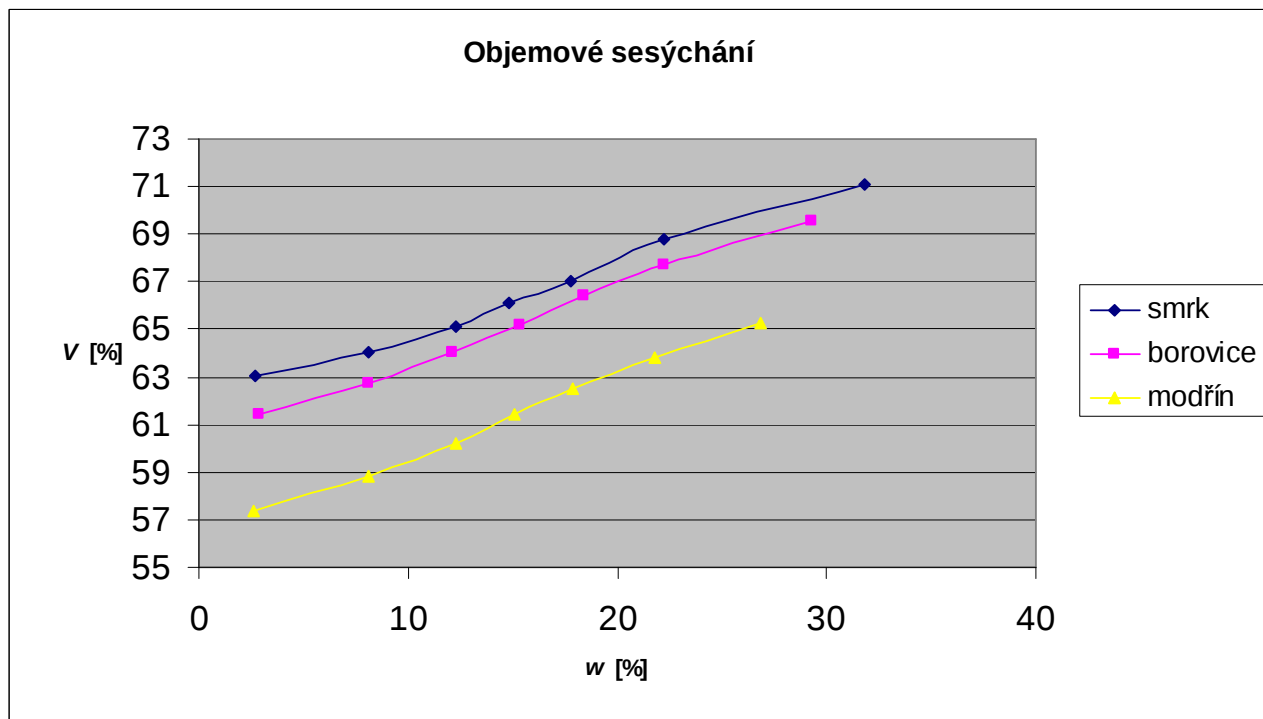
tab.5.2.1.4 – počáteční a konečné hodnoty měřeného vzorku dřeva

Modřín opadavý							
Tabulkové hodnoty				Naměřené hodnoty			
Sesýchání [%]				Sesýchání [%]			
od MNBS do w = 0 [%]				od MNBS do w = 2,6 [%]			
objemové	radiální	tangenciální	délkové	objemové	radiální	tangenciální	délkové
11,4	3,3	7,8	0,3	12,1	4,8	7,46	0,19
Mez nasycení buněčných stěn				Mez nasycení buněčných stěn			
MNBS	w = 23 – 28 [%]			MNBS	w = 26,8 [%]		
Hustota modřínového dřeva při w = 0 [%]				Hustota modřínového při w = 2,6 [%]			
m = 0,55 [g·cm ⁻³]				m = 0,566 [g·cm ⁻³]			

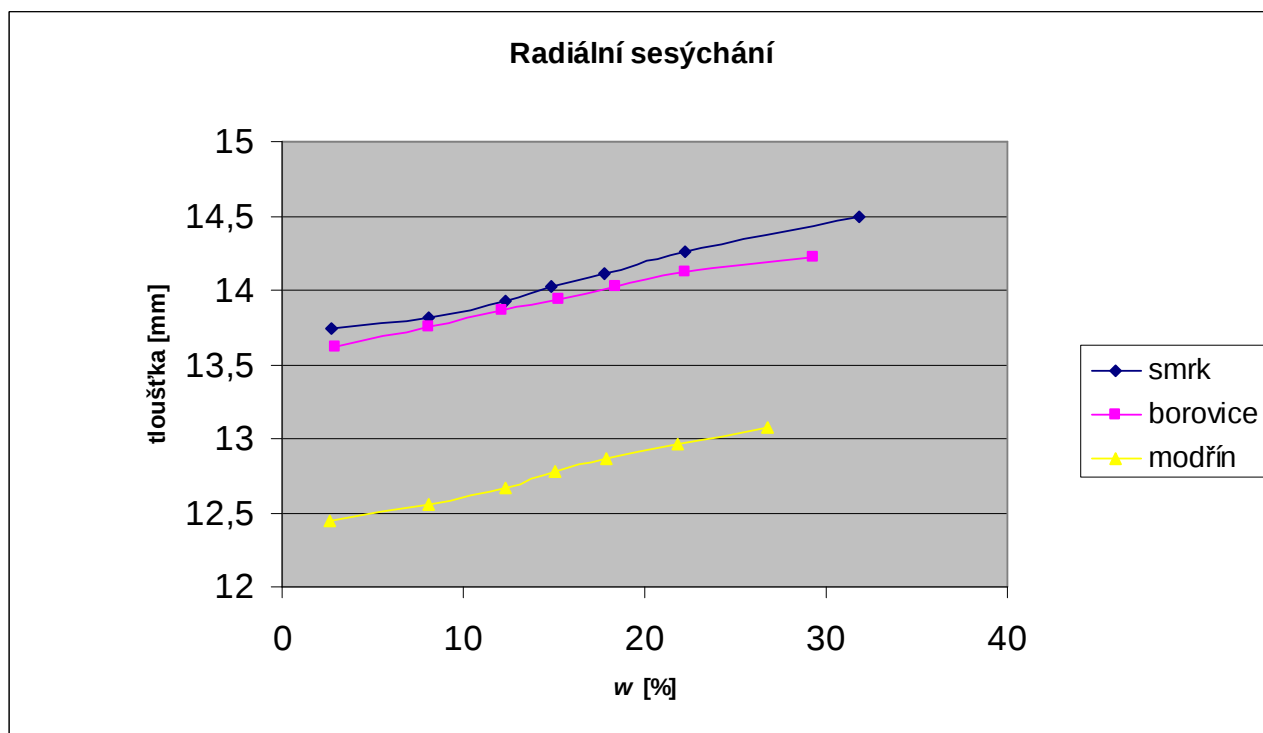
tab.5.2.1.5 – zpracované hodnoty z měření a porovnané s tabulkovými

Modřín opadavý					
Počáteční hodnoty vzorku kdy $w = 26,8$ [%]					
tloušťka [mm]	šířka [mm]	délka [mm]	m [g]	V [cm ³]	ρ [g·cm ⁻³]
13,07	49,33	101,21	41,12	65,275	0,62995
Konečné hodnoty vzorku kdy $w = 2,6$ [%]					
tloušťka [mm]	šířka [mm]	délka [mm]	m [g]	V [cm ³]	ρ [g·cm ⁻³]
12,44	45,65	101,02	32,45	57,379	0,56554

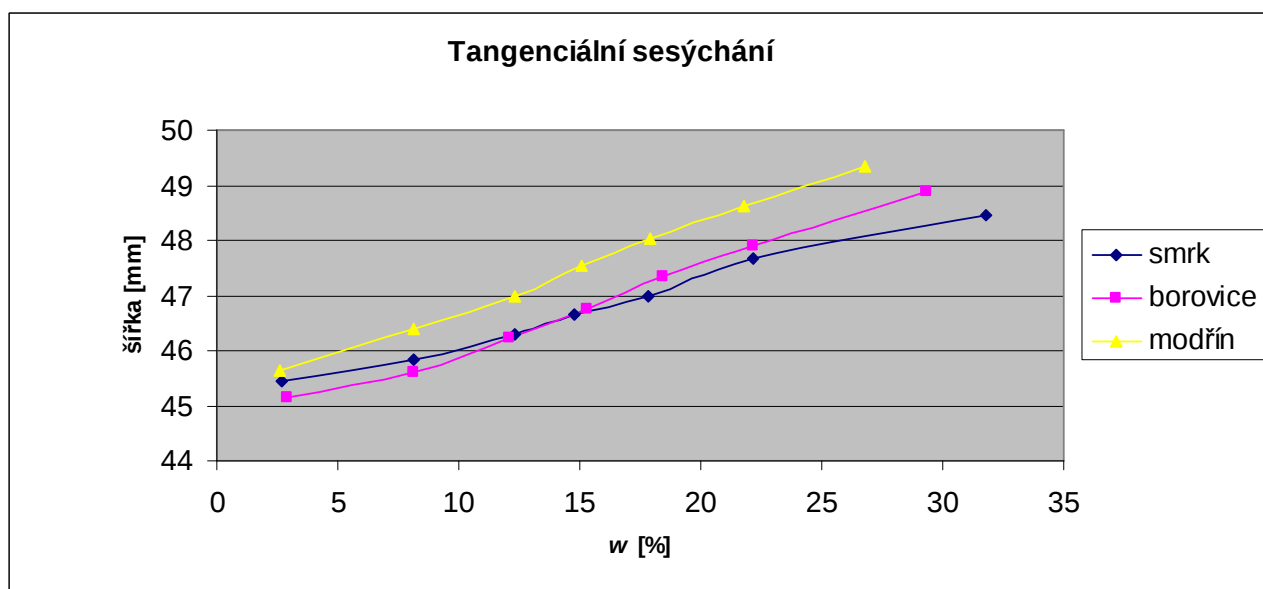
tab.5.2.1.6 – počáteční a konečné hodnoty měřeného vzorku dřeva



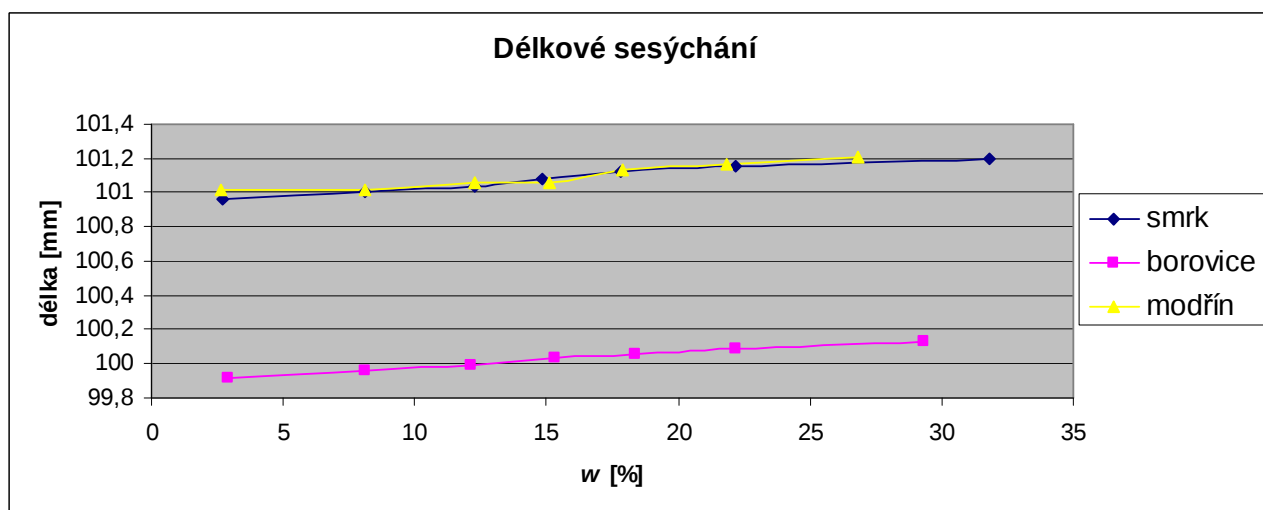
graf 5.2.1.1



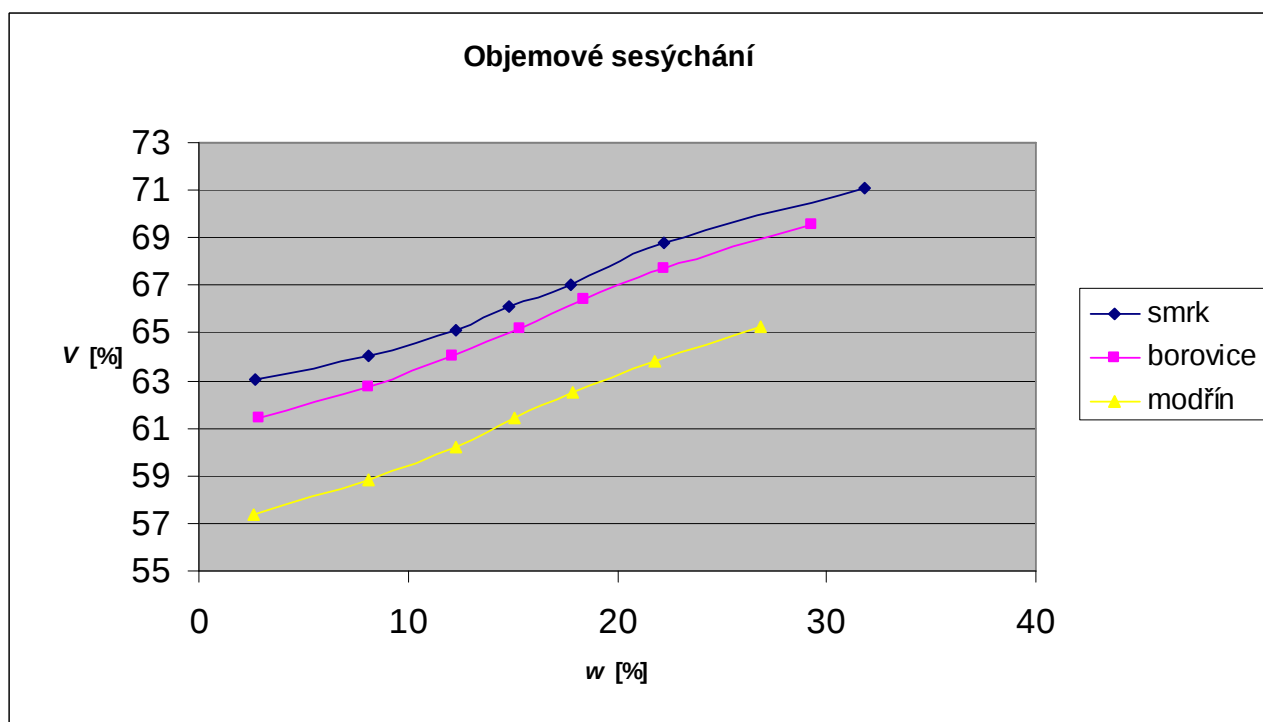
graf 5.2.1.2



graf 5.2.1.3



graf 5.2.1.4



graf 5.2.1.5

5.2.2 Tabulky a grafy pro listnaté dřeviny kruhovitě pórovité

Dub							
Tabulkové hodnoty				Naměřené hodnoty			
Sesýchání [%]				Sesýchání [%]			
od MNBS do w = 0 [%]				od MNBS do w = 3,4 [%]			
objemové	radiální	tangenciální	délkové	objemové	radiální	tangenciální	délkové
12,2	4	7,8	0,4	13,1	5,3	7,92	0,24
Mez nasycení buněčných stěn				Mez nasycení buněčných stěn			
MNBS	w = 32 – 35 [%]			MNBS	w = 33,7 [%]		
Hustota dubového dřeva při w = 0 [%]				Hustota dubového dřeva při w = 3,4 [%]			
m = 0,65 [g·cm ⁻³]				m = 0,754[g·cm ⁻³]			

tab.5.2.2.1 –zpracované hodnoty z měření a porovnané s tabulkovými

Dub					
Počáteční hodnoty vzorku kdy $w = 33,7$ [%]					
tloušťka [mm]	šířka [mm]	délka [mm]	m [g]	V [cm ³]	ρ [g·cm ⁻³]
13,21	47,70	101,13	55,75	63,733	0,87475
Konečné hodnoty vzorku kdy $w = 3,4$ [%]					
tloušťka [mm]	šířka [mm]	délka [mm]	m [g]	V [cm ³]	ρ [g·cm ⁻³]
12,51	43,92	100,89	41,76	55,41	0,75366

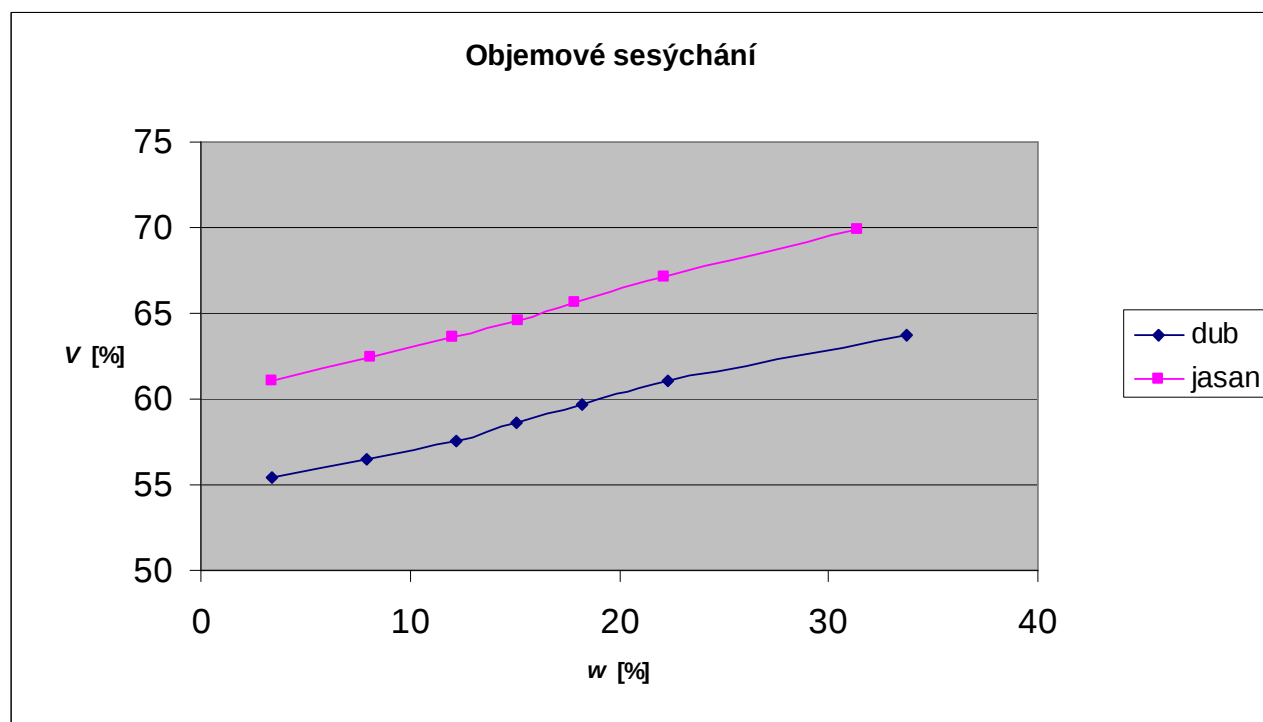
tab.5.2.2.2 – počáteční a konečné hodnoty měřeného vzorku dřeva

Jasan							
Tabulkové hodnoty				Naměřené hodnoty			
Sesýchání [%]				Sesýchání [%]			
od MNBS do w = 0 [%]				od MNBS do w = 3,4 [%]			
objemové	radiální	tangenciální	délkové	objemové	radiální	tangenciální	délkové
13,2	5	8	0,2	12,53	4,93	7,78	0,26
Mez nasycení buněčných stěn				Mez nasycení buněčných stěn			
MNBS	w = 32 – 35 [%]			MNBS	w = 31,4 [%]		
Hustota jasanového dřeva při w = 0 [%]				Hustota jasanového dřeva při w = 3,4 [%]			
m = 0,65 [g·cm ⁻³]				m = 0,659 [g·cm ⁻³]			

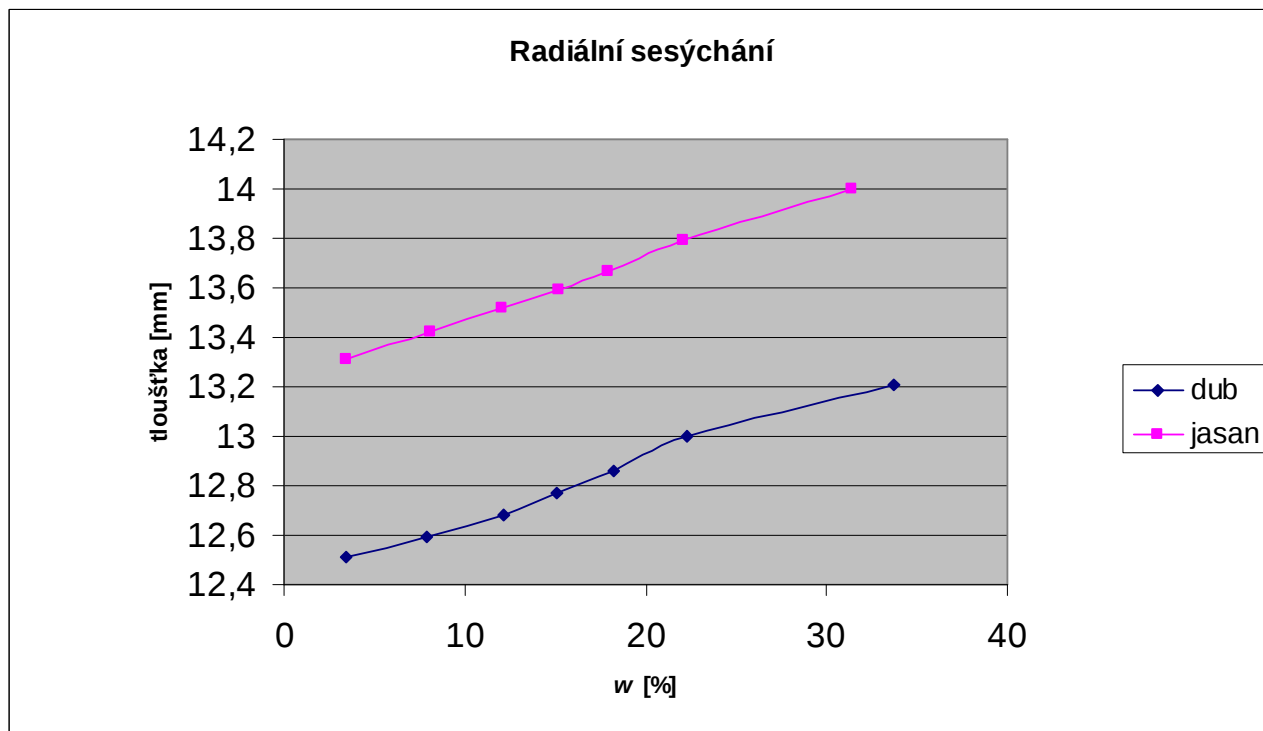
tab.5.2.2.3 – zpracované hodnoty z měření a porovnané s tabulkovými

Jasan					
Počáteční hodnoty vzorku kdy $w = 31,4$ [%]					
tloušťka [mm]	šířka [mm]	délka [mm]	m [g]	V [cm ³]	ρ [g·cm ⁻³]
14	49,33	101,13	52,62	69,842	0,75342
Konečné hodnoty vzorku kdy $w = 3,4$ [%]					
tloušťka [mm]	šířka [mm]	délka [mm]	m [g]	V [cm ³]	ρ [g·cm ⁻³]
13,31	45,49	100,87	40,23	61,092	0,65851

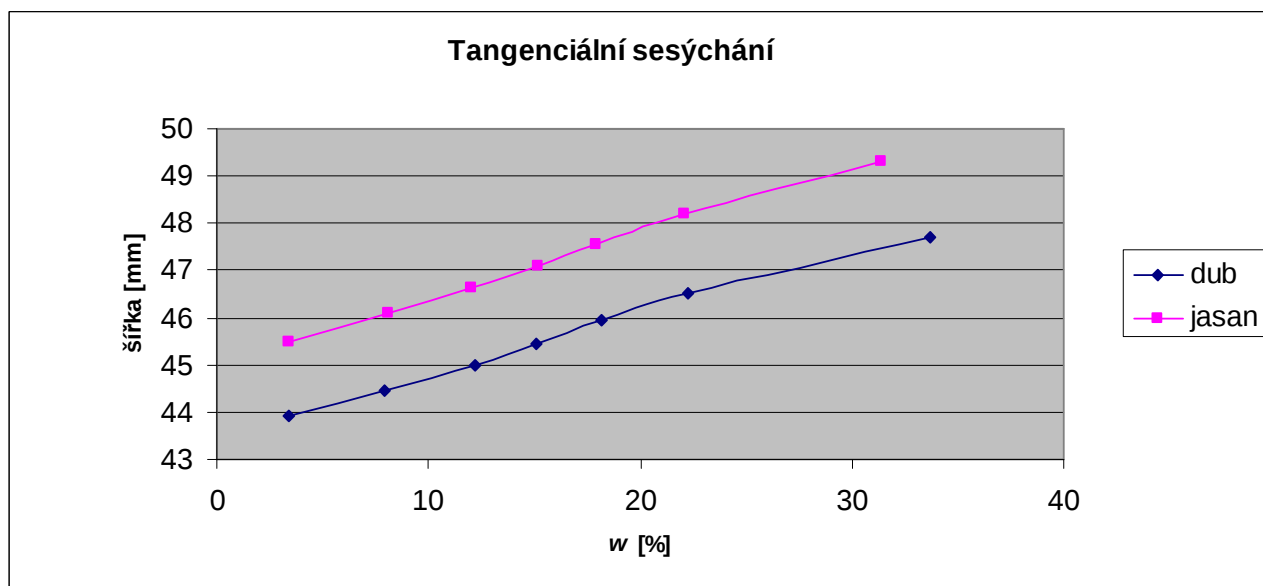
tab.5.2.2.4 – počáteční a konečné hodnoty měřeného vzorku dřeva



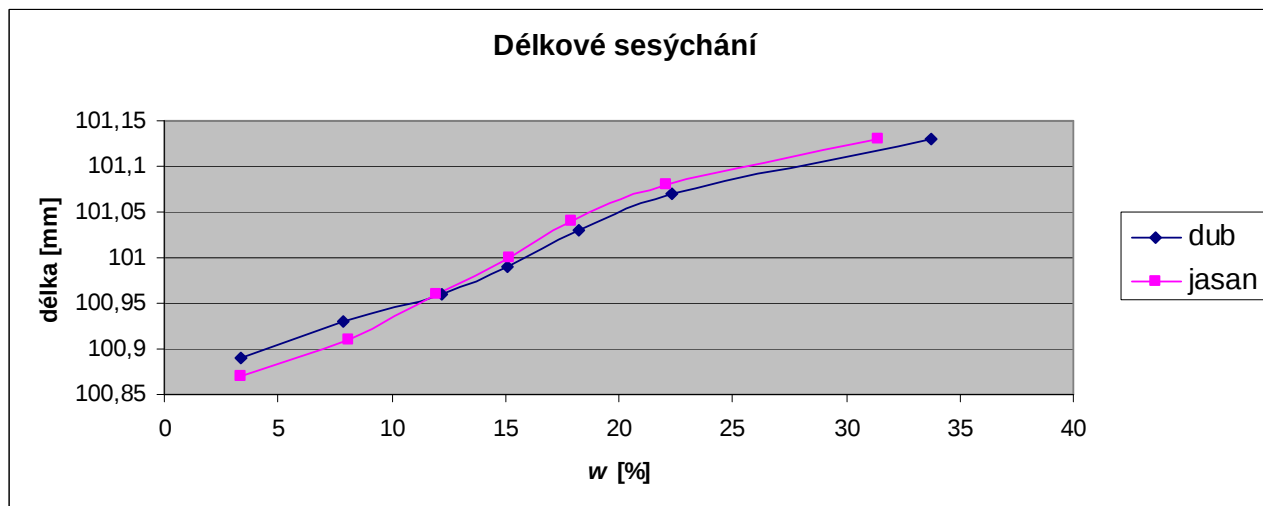
graf 5.2.2.1



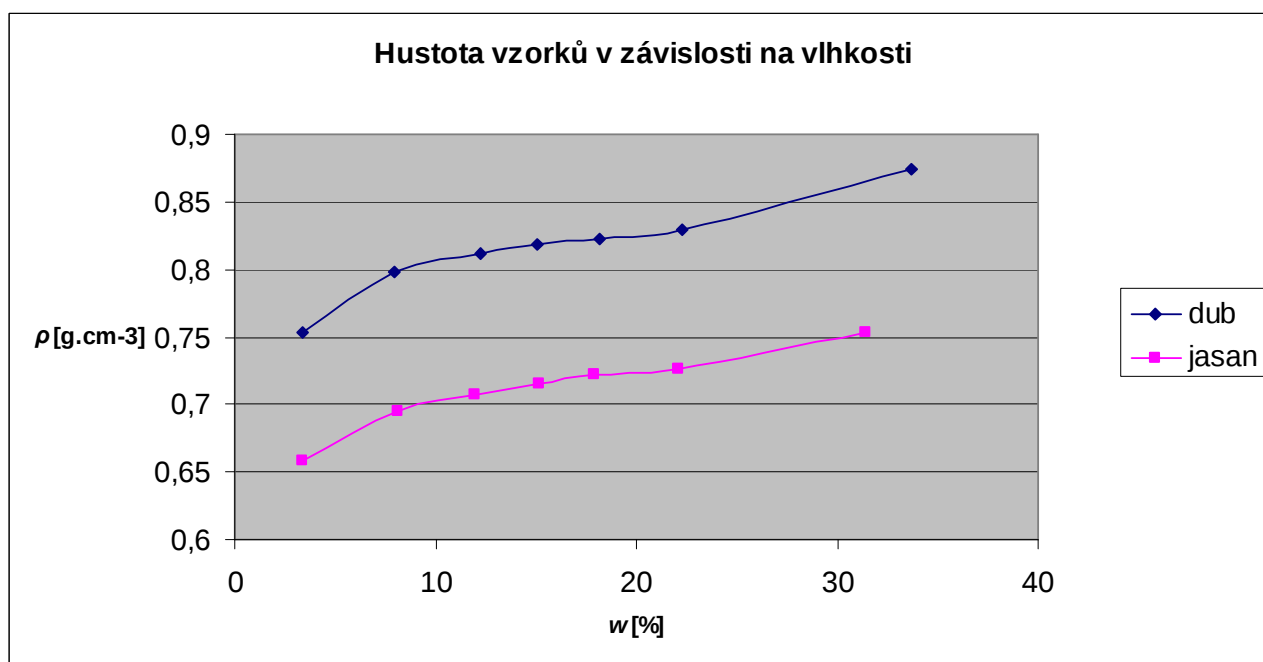
graf 5.2.2.2



graf 5.2.2.3



graf 5.2.2.4



graf 5.2.2.5

5.2.3 Tabulky a grafy pro listnaté dřeviny roztroušeně pórovité

Javor							
Tabulkové hodnoty				Naměřené hodnoty			
Sesýchání [%]				Sesýchání [%]			
od MNBS do w = 0 [%]				od MNBS do w = 3,2 [%]			
objemové	radiální	tangenciální	délkové	objemové	radiální	tangenciální	délkové
11,5	3	8	0,5	12,1	4,86	7,4	0,24
Mez nasycení buněčných stěn				Mez nasycení buněčných stěn			
MNBS	w = 32 – 35 [%]			MNBS	w = 29,8 [%]		
Hustota javorového dřeva při w = 0 [%]				Hustota javorového dřeva při w = 3,2 [%]			
m = 0,59 [g·cm ⁻³]				m = 0,67 [g·cm ⁻³]			

tab.5.2.3.1 –zpracované hodnoty z měření a porovnané s tabulkovými

Javor					
Počáteční hodnoty vzorku kdy $w = 29,8$ [%]					
tloušťka [mm]	šířka [mm]	délka [mm]	m [g]	V [cm ³]	ρ [g·cm ⁻³]
13,80	48,95	100,92	50,97	68,155	0,74785
Konečné hodnoty vzorku kdy $w = 3,2$ [%]					
tloušťka [mm]	šířka [mm]	délka [mm]	m [g]	V [cm ³]	ρ [g·cm ⁻³]
13,13	45,33	100,68	40,11	59,907	0,66954

tab.5.2.3.2 – počáteční a konečné hodnoty měřeného vzorku dřeva

Ořešák							
Tabulkové hodnoty				Naměřené hodnoty			
Sesýchání [%]				Sesýchání [%]			
od MNBS do w = 0 [%]				od MNBS do w = 3,2 [%]			
objemové	radiální	tangenciální	délkové	objemové	radiální	tangenciální	délkové
13,4	5,4	7,5	0,5	9,83	4,1	5,8	0,31
Mez nasycení buněčných stěn				Mez nasycení buněčných stěn			
MNBS	w = 23 – 28 [%]			MNBS	w = 28,1 [%]		
Hustota ořechového dřeva při w = 0 [%]				Hustota ořechového dřeva při w = 3,2 [%]			
m = 0,64 [g·cm ⁻³]				m = 0,601 [g·cm ⁻³]			

tab.5.2.3.3 – zpracované hodnoty z měření a porovnané s tabulkovými

Ořešák					
Počáteční hodnoty vzorku kdy $w = 28,1$ [%]					
tloušťka [mm]	šířka [mm]	délka [mm]	m [g]	V [cm ³]	ρ [g·cm ⁻³]
13,79	49,21	100,25	47,17	68,017	0,694
Konečné hodnoty vzorku kdy $w = 3,2$ [%]					
tloušťka [mm]	šířka [mm]	délka [mm]	m [g]	V [cm ³]	ρ [g·cm ⁻³]
13,23	46,37	99,94	36,86	61,334	0,601

tab.5.2.3.4 – počáteční a konečné hodnoty měřeného vzorku dřeva

Hrušeň obecná							
Tabulkové hodnoty				Naměřené hodnoty			
Sesýchání [%]				Sesýchání [%]			
od MNBS do w = 0 [%]				od MNBS do w = 2,8 [%]			
objemové	radiální	tangenciální	délkové	objemové	radiální	tangenciální	délkové
14,1	4,6	9,1	0,4	9,6	3,3	6,2	0,25
Mez nasycení buněčných stěn				Mez nasycení buněčných stěn			
MNBS	w = 27 – 32 [%]			MNBS	w = 30,6 [%]		
Hustota hrušňového dřeva při w = 0 [%]				Hustota hrušňového dřeva při w = 2,8 [%]			
m = 0,7 [g·cm ⁻³]				m = 0,541 [g·cm ⁻³]			

tab.5.2.3.5 – zpracované hodnoty z měření a porovnané s tabulkovými

Hrušeň obecná					
Počáteční hodnoty vzorku kdy $w = 30,6$ [%]					
tloušťka [mm]	šířka [mm]	délka [mm]	m [g]	V [cm ³]	ρ [g·cm ⁻³]
13,35	49,32	100,38	41,85	66,099	0,6331
Konečné hodnoty vzorku kdy $w = 2,8$ [%]					
tloušťka [mm]	šířka [mm]	délka [mm]	m [g]	V [cm ³]	ρ [g·cm ⁻³]
12,81	46,25	100,13	32,35	59,771	0,54123

tab.5.2.3.6 – počáteční a konečné hodnoty měřeného vzorku dřeva

Topol							
Tabulkové hodnoty				Naměřené hodnoty			
Sesýchání [%]				Sesýchání [%]			
od MNBS do w = 0 [%]				od MNBS do w = 2,2 [%]			
objemové	radiální	tangenciální	délkové	objemové	radiální	tangenciální	délkové
13,8	5,2	8,3	0,3	11,74	5,2	6,62	0,23
Mez nasycení buněčných stěn				Mez nasycení buněčných stěn			
MNBS	w = 32 – 35 [%]			MNBS	w = 28,9 [%]		
Hustota topolového dřeva při w = 0 [%]				Hustota topolového dřeva při w = 2,2 [%]			
m = 0,41 [g.cm ⁻³]				m = 0,42 [g.cm ⁻³]			

tab.5.2.3.7 –zpracované hodnoty z měření a porovnané s tabulkovými

Topol					
Počáteční hodnoty vzorku kdy $w = 28,9$ [%]					
tloušťka [mm]	šířka [mm]	délka [mm]	m [g]	V [cm ⁻³]	ρ [g·cm ⁻³]
13,21	49,40	99,73	31,02	65,104	0,47647
Konečné hodnoty vzorku kdy $w = 2,2$ [%]					
tloušťka [mm]	šířka [mm]	délka [mm]	m [g]	V [cm ⁻³]	ρ [g·cm ⁻³]
12,52	46,13	99,50	23,98	57,461	0,41733

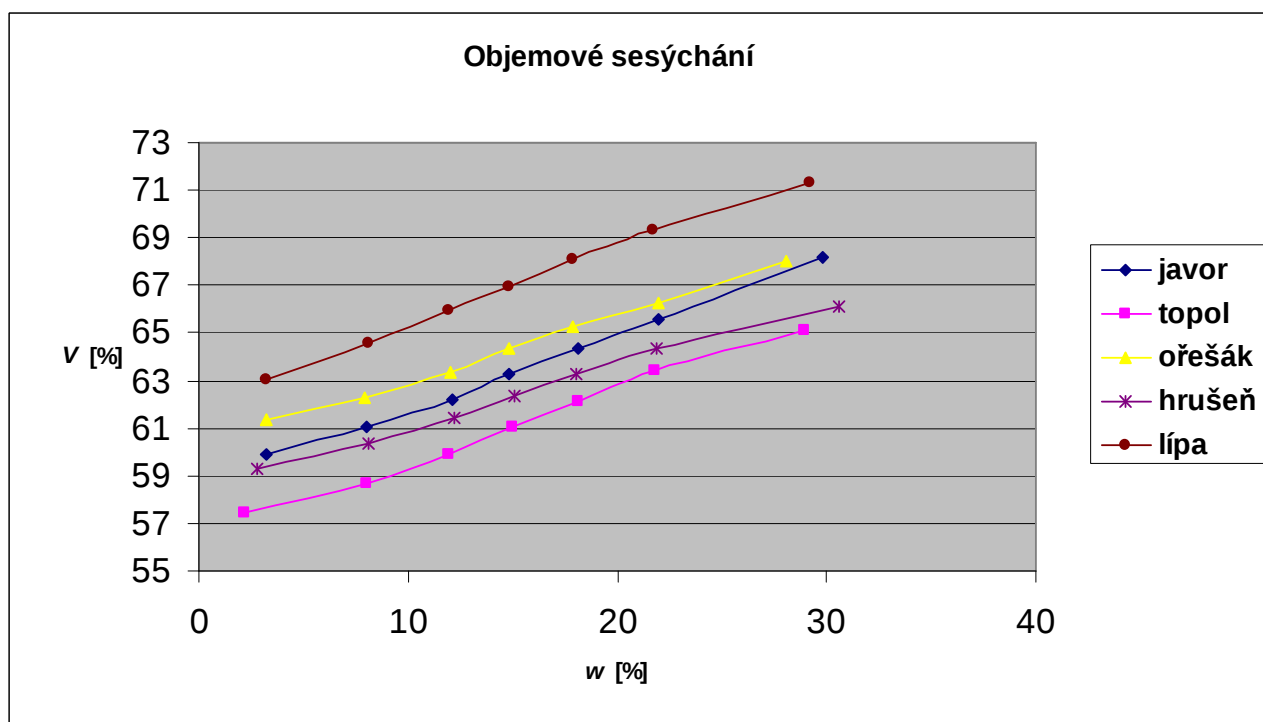
tab.5.2.3.8 – počáteční a konečné hodnoty měřeného vzorku dřeva

Lípa							
Tabulkové hodnoty				Naměřené hodnoty			
Sesýchání [%]				Sesýchání [%]			
od MNBS do w = 0 [%]				od MNBS do w = 3,2 [%]			
objemové	radiální	tangenciální	délkové	objemové	radiální	tangenciální	délkové
10,1	3,5	6,3	0,3	11,74	5,2	6,62	0,23
Mez nasycení buněčných stěn				Mez nasycení buněčných stěn			
MNBS	w = 32 – 35 [%]			MNBS	w = 29,2 [%]		
Hustota lipového dřeva při w = 0 [%]				Hustota lipového dřeva při w = 3,2 [%]			
m = 0,49 [g·cm ⁻³]				m = 0,46 [g·cm ⁻³]			

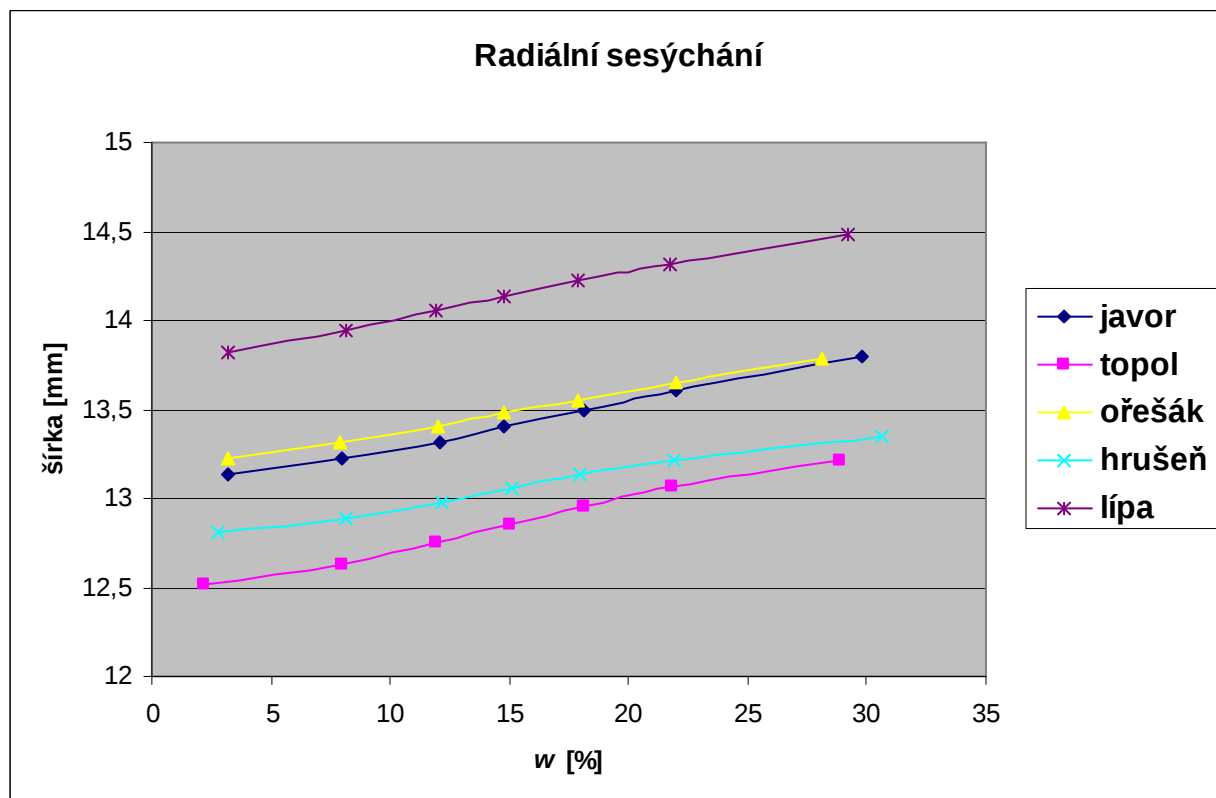
tab.5.2.3.9 –zpracované hodnoty z měření a porovnané s tabulkovými

Lípa					
Počáteční hodnoty vzorku kdy $w = 29,2$ [%]					
tloušťka [mm]	šířka [mm]	délka [mm]	m [g]	V [cm ³]	ρ [g·cm ⁻³]
14,48	48,70	101,12	36,62	71,326	0,5134
Konečné hodnoty vzorku kdy $w = 3,2$ [%]					
tloušťka [mm]	šířka [mm]	délka [mm]	m [g]	V [cm ³]	ρ [g·cm ⁻³]
13,82	45,20	100,88	28,72	63,023	0,4557

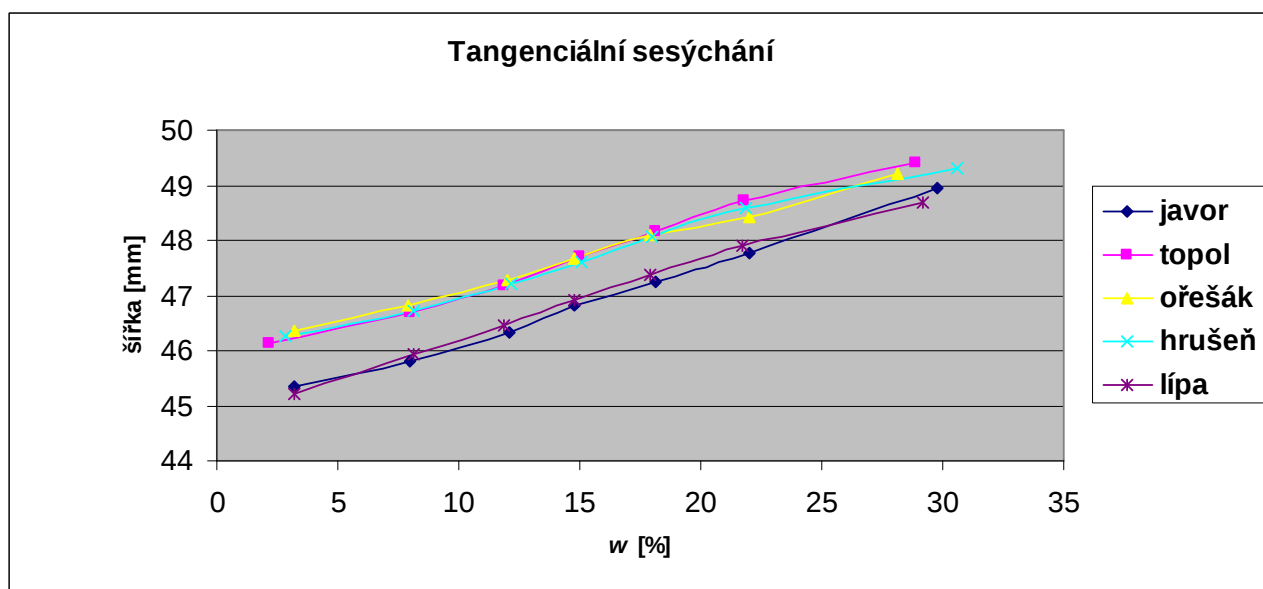
tab.5.2.3.10 – počáteční a konečné hodnoty měřeného vzorku dřeva



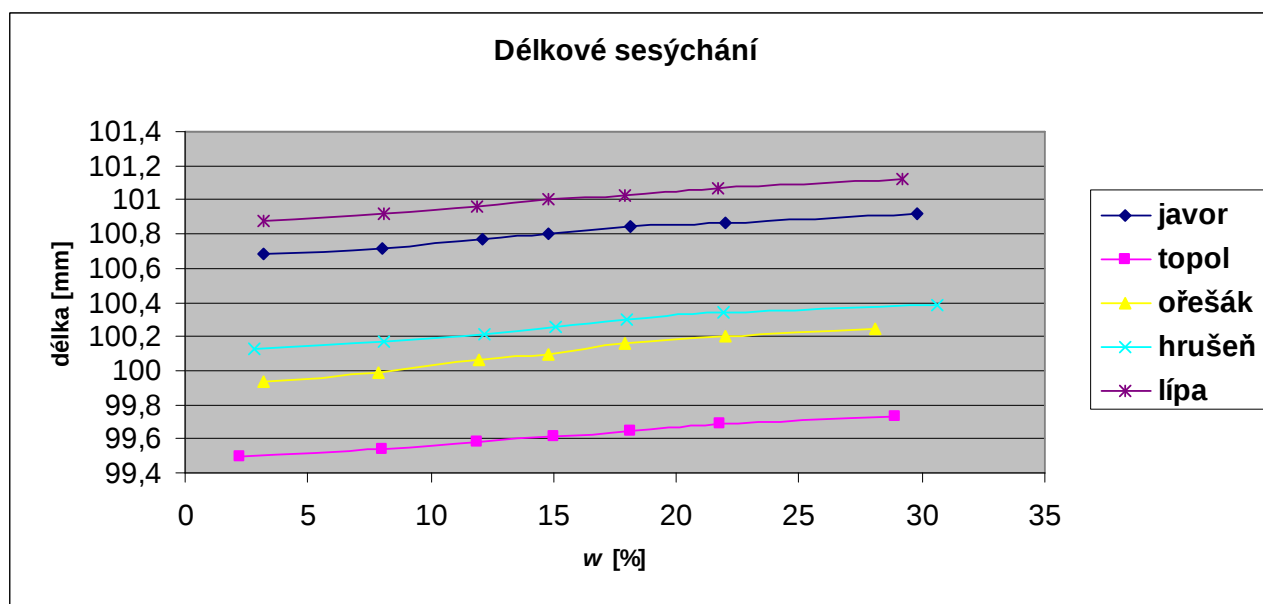
graf – 5.2.3.1



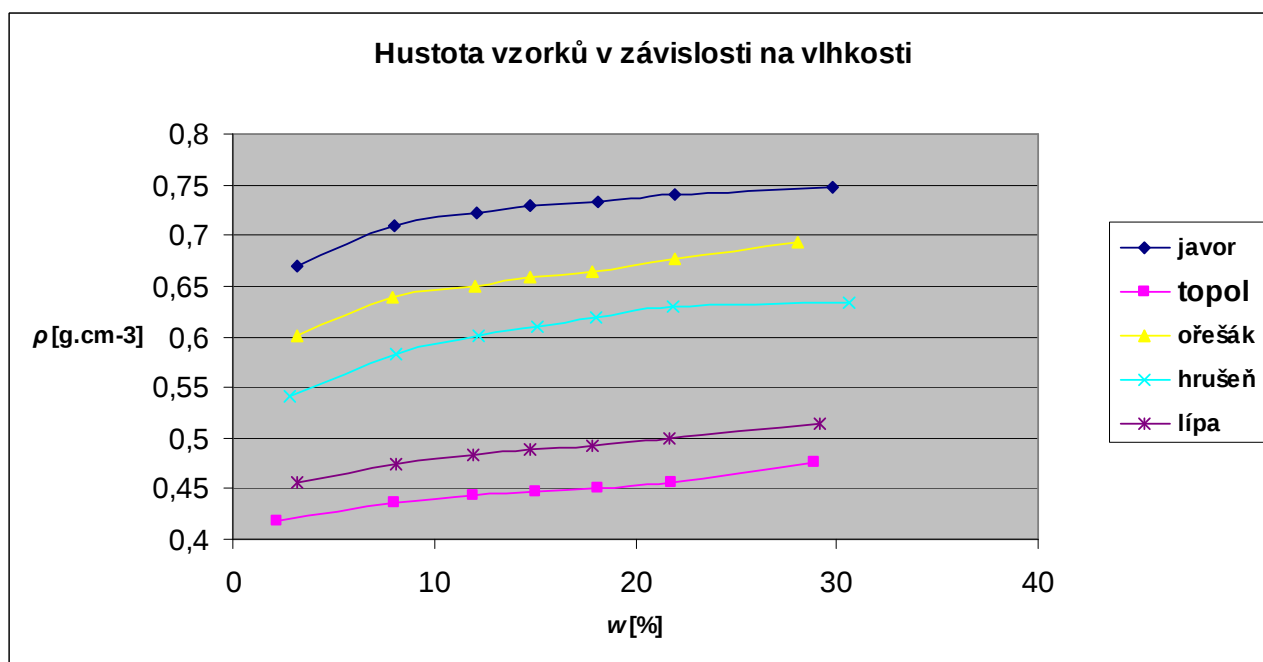
graf – 5.2.3.2



graf – 5.2.3.3



graf – 5.2.3.4



graf – 5.2.3.5

6 ZÁVĚR

První část práce pojednává především o fyzikálních vlastnostech dřeva souvisejících s vlhkostí. Druhá praktická část obsahuje naměřené a vyhodnocené údaje, které jsou porovnané s tabulkovými hodnotami.

Měření rozměrů u vybraných deseti druhů dřevin bylo značně komplikované. Především u listnatých tvrdých dřevin se během vysoušení značně projevilo borcení, jak příčné, tak i podélné. Přesto že byly vzorky vybrány rovnovlákné, aby vlákna probíhala přibližně s hlavní osou kmene a nestejněměrné sesychání radiální s tangenciálním nezpůsobilo tvarové změny, které by nepříznivě ovlivnily měření.

Velký vlhkostní gradient při vysoušení vzorků mezi vnitřní vrstvou a vnější vrstvou způsobil, že tahové a tlakové napětí překročilo mez pružnosti dřeva. Následně se objevily výsušné trhliny ve dřevné části měřených vzorků dřev. U dubu a ořešáku se vytvořila hluboká podélná trhlina, která změnila šířku měřených vzorků a znehodnotila celé měření.

Vysoušení vzorků dřev muselo probíhat značně plynule. Počáteční vysoušecí teplota nesměla překročit první dvě hodiny vysoušení 50 °C. Posléze se teplota lineárně zvyšovala. Nejdelší časový interval šestnácti hodin pro vysoušení od meze nasycení buněčných stěn do absolutně suchého dřeva potřeboval jasan, javor a dub.

Výsledné hodnoty naměřené u smrku, borovice a modřínu jsou v porovnání s tabulkovými téměř shodné. Rozdíly s tabulkovými hodnotami u listnatých dřevin vznikly důsledkem specifické mikroskopické stavby, způsobené při růstu dřeva za individuálních podmínek, do kterých zahrnujeme: zdravotní stav a stáří stromu, půdní profil, množství vláhy, nadmořská výška atd.

Potvrdilo se že sesychání ve vlhkostním intervalu od $w = 0 - 5 \%$ a $w = 20 \%$ až po mez nasycení buněčných stěn neprobíhá lineárně. Dále se potvrdilo nízké diferenciální sesychání u topolu a lípy. Nízké diferenciální sesychání z naměřených hodnot vykazoval i ořešák.

Podrobná znalost sesychání dřeva může být uplatněna u dřevěných konstrukcí jako jsou lepené vícevrstevné dřevěné vazníky, jejichž vlhkost se mění nezanedbatelně během celého ročního období. Taktéž u vchodových dveří při výrobě spárovek na výplně, kdy se musí ponechat mezi rámem a výplní dilatační prostor, z důvodu sesychání a bobtnání dřeva v tangenciálním směru. Dilatační prostor by měl mít hodnotu odpovídající použitému dřevu.

7 POUŽITÁ LITERATURA

- [1] HORÁČEK, Petr . *Fyzikální a mechanické vlastnosti dřeva I.*. druhé přepracované vydání. Mendelova zemědělská a lesnická univerzita v Brně, 2008. 124 s.
- [2] HORÁČEK, Petr ; ŠLEZINGEROVÁ, Jarmila; GANDELOVÁ, Libuše. *Nauka o dřevě*. první vydání. Mendelova zemědělská a lesnická univerzita v Brně : MZLU v Brně, 1998. 184 s.
- [3] GANDELOVÁ, Libuše; ŠLEZINGEROVÁ, Jarmila. *Stavba dřeva - cvičení*. první vydání. Mendelova zemědělská a lesnická univerzita v Brně : MZLU v Brně, 1999. 129 s.
- [4] GANDELOVÁ, Libuše; ŠLEZINGEROVÁ, Jarmila. *Stavba dřeva* . první vydání. Mendelova zemědělská a lesnická univerzita v Brně : MZLU v Brně, 2002. 187 s.
- [5] STACH, Vojtěch ; ŠPULÁK, František . *Fyzikální praktikum I.*. první vydání. Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích : Tiskárna Johanus, 2002. 59 s.
- [6] KŘUPALOVÁ, Zdeňka. *Nauka o materiálech*. druhé upravené vydání. Sobotáles, 2004. 244 s.
- [7] NOVÁK, Vladimír, et al. *Dřevařská technická příručka*. 1 vydání. Praha: SNTL, 1970. 743 s.
- [8] DRAHOŠ, Vítězslav, et al. *Dřevařská příručka I.*. 1 vydání. Praha: SNTL, 1989. 484 s.
- [9] EISNER, Karel; HAVLÍČEK, Vladimír ; OSTEN, Miloš . *Dřevo a plasty*. Praha : SNTL - Nakladatelství technické literatury, 1983. 383 s.
- [10] DOSTÁL , Vojtěch . *Příroda* [online]. 2006 [cit. 2010-04-17]. Vznik života. Dostupné z WWW: <<http://www.priroda.cz/clanky.php?detail=769>>.
- [11] PAZDERA, Josef . *OSEL* [online]. 13.08.2007 [cit. 2010-04-17]. Nejstarším organickým zbytkům po mikrobech je 3,5 miliardy let. Dostupné z WWW: <<http://www.osel.cz/index.php?obsah=6&clanek=2838>>.

- [12] PAZDERA, Josef . *OSEL* [online]. 21.04.2007 [cit. 2010-04-17]. Kompletní fosilie prvních stromů. Dostupné z WWW: <<http://www.osel.cz/index.php?clanek=2597>>.
- [13] CÍLEK, Václav ; MARKOŠ, Anton. *Vesmír* [online]. 2000 [cit. 2010-04-17]. Hluboká horká biosféra. Dostupné z WWW: <<http://www.vesmir.cz/clanek/hluboka-horka-biosfera>>.
- [14] *EKOLOGIE LESA* [online]. 2000 [cit. 2010-04-17]. Ifskripta. Dostupné z WWW: <<http://lfskripta.webpark.cz/fyto/fyto12.htm>>.
- [15] KULHAVÝ, Jiří. *Ústav ekologie lesa* [online]. 2007 [cit. 2010-04-17]. Historický vývoj lesů . Dostupné z WWW: <www.uel.cz/download...Kulhavy_Historicky_%20vyvoj_%20lesu_2007>.
- [16] Život na Zemi možná vznikl o 700 miliónů let dříve. In *OSEL.CZ*. Curtin University : [s.n.], 2008, Dostupné z WWW: <<http://www.osel.cz/index.php?obsah=6&clanek=3751>>.

8 PŘÍLOHY

- [1] Smrk obecný - naměřené hodnoty
- [2] Borovice lesní- naměřené hodnoty
- [3] Modřín opadavý- naměřené hodnoty
- [4] Dub - naměřené hodnoty
- [5] Jasan - naměřené hodnoty
- [6] Javor - naměřené hodnoty
- [7] Ořešák - naměřené hodnoty
- [8] Hrušeň obecná- naměřené hodnoty
- [9] Topol - naměřené hodnoty
- [10] Lípa - naměřené hodnoty

[1] Smrk obecný - naměřené hodnoty

Smrk obecný			
w = 31,8 [%]			
m = 36,11 [g]			
č.m.	tloušťka [mm]	šířka [mm]	délka [mm]
1.	14,11	48,16	100,81
2.	14,31	48,36	101,03
3.	14,43	48,41	101,52
4.	14,37	48,51	101,23
5.	14,41	48,57	101,22
6.	14,56	48,53	101,36
7.	14,51	48,32	101,38
8.	14,63	48,41	101,31
9.	14,81	48,61	101,12
10.	14,75	48,73	101,04
průměrná h.	14,49	48,46	101,2
v [mm]	0,04	0,03	0,04
δ [mm]	0,003	0,0007	0,0004
V [cm ⁻³]	71,0591		
V_v [cm ⁻³]	0,22		
V_δ [cm ⁻³]	0,0032		
ρ [g·cm ⁻³]	0,50817		
ρ_v [g·cm ⁻³]	0,0013		
ρ_δ [g·cm ⁻³]	0,0026		

Smrk obecný			
w = 22,2 [%]			
m = 33,07 [g]			
č.m.	tloušťka [mm]	šířka [mm]	délka [mm]
1.	13,91	47,43	100,71
2.	14,05	47,62	101,21
3.	14,14	47,75	101,23
4.	14,13	47,86	101,34
5.	14,21	47,64	101,33
6.	14,37	47,51	101,27
7.	14,28	47,61	101,23
8.	14,42	47,72	101,08
9.	14,62	47,78	101,02
10.	14,49	47,81	101,21
průměrná h.	14,26	47,67	101,16
v [mm]	0,05	0,03	0,04
δ [mm]	0,003	0,0006	0,0004
V [cm ⁻³]	68,782		
V_v [cm ⁻³]	0,23		
V_δ [cm ⁻³]	0,0033		
ρ [g·cm ⁻³]	0,480795		
ρ_v [g·cm ⁻³]	0,0016		
ρ_δ [g·cm ⁻³]	0,0033		

Smrk obecný			
w = 17,8 [%]			
m = 31,77 [g]			
č.m.	tloušťka [mm]	šířka [mm]	délka [mm]
1.	13,82	46,77	100,68
2.	13,96	46,84	101,17
3.	13,97	47,02	101,19
4.	14,07	47,08	101,29
5.	14,14	46,98	101,25
6.	14,21	47,03	101,22
7.	14,08	47,06	101,21
8.	14,23	47,11	101,04
9.	14,38	46,95	100,97
10.	14,22	47,13	101,18
průměrná h.	14,11	47	101,12
v [mm]	0,03	0,02	0,04
δ [mm]	0,002	0,0005	0,0004
V [cm ⁻³]	67,046		
V_v [cm ⁻³]	0,17		
V_δ [cm ⁻³]	0,0025		
ρ [g·cm ⁻³]	0,473049		
ρ_v [g·cm ⁻³]	0,0012		
ρ_δ [g·cm ⁻³]	0,0026		

Smrk obecný			
w = 14,8 [%]			
m = 30,96 [g]			
č.m.	tloušťka [mm]	šířka [mm]	délka [mm]
1.	13,78	46,43	100,63
2.	13,91	46,57	101,13
3.	13,89	46,78	101,17
4.	14,01	46,86	101,26
5.	14,04	46,49	101,19
6.	14,11	46,71	101,21
7.	14,08	46,73	101,19
8.	14,06	46,81	100,98
9.	14,17	46,45	100,91
10.	14,12	46,81	101,11
průměrná h.	14,02	46,66	101,08
v [mm]	0,03	0,03	0,04
δ [mm]	0,002	0,0007	0,0004
V [cm ⁻³]	66,114		
V_v [cm ⁻³]	0,13		
V_δ [cm ⁻³]	0,002		
ρ [g·cm ⁻³]	0,467848		
ρ_v [g·cm ⁻³]	0,001		
ρ_δ [g·cm ⁻³]	0,0021		

Smrk obecný			
w = 12,3 [%]			
m = 30,03 [g]			
č.m.	tloušťka [mm]	šířka [mm]	délka [mm]
1.	13,69	46,17	100,57
2.	13,86	46,21	101,09
3.	13,88	46,34	101,19
4.	13,93	46,43	101,16
5.	13,97	46,12	101,17
6.	13,96	46,34	101,18
7.	13,89	46,27	101,13
8.	13,92	46,42	100,94
9.	14,07	46,07	100,87
10.	14,05	46,46	101,09
průměrná h.	13,92	46,28	101,04
v [mm]	0,02	0,03	0,04
δ [mm]	0,002	0,0006	0,0004
V [cm ⁻³]	65,1047		
V _v [cm ⁻³]	0,12		
V _δ [cm ⁻³]	0,0018		
ρ [g·cm ⁻³]	0,461257		
ρ _v [g·cm ⁻³]	0,0008		
ρ _δ [g·cm ⁻³]	0,0018		

Smrk obecný			
w = 8,1 [%]			
m = 29,04 [g]			
č.m.	tloušťka [mm]	šířka [mm]	délka [mm]
1.	13,57	45,78	100,51
2.	13,73	45,86	101,07
3.	13,79	45,92	101,13
4.	13,82	45,91	101,12
5.	13,85	45,74	101,11
6.	13,87	45,71	101,17
7.	13,81	45,81	101,12
8.	13,86	45,83	100,92
9.	13,97	45,76	100,91
10.	13,94	46,11	101,05
průměrná h.	13,82	45,84	101,01
v [mm]	0,02	0,02	0,04
δ [mm]	0,002	0,0005	0,0004
V [cm ⁻³]	64,0002		
V _v [cm ⁻³]	0,12		
V _δ [cm ⁻³]	0,0018		
ρ [g·cm ⁻³]	0,453749		
ρ _v [g·cm ⁻³]	0,0008		
ρ _δ [g·cm ⁻³]	0,0019		

Smrk obecný			
$w = 2,7 \text{ [\%]}$			
$m = 26,94 \text{ [g]}$			
č.m.	tloušťka [mm]	šířka [mm]	délka [mm]
1.	13,47	45,33	100,49
2.	13,65	45,48	101,11
3.	13,69	45,52	101,01
4.	13,71	45,59	101,07
5.	13,85	45,27	101,03
6.	13,79	45,42	101,19
7.	13,72	45,31	101,04
8.	13,76	45,28	100,89
9.	13,89	45,37	100,82
10.	13,86	45,87	100,99
průměrná h.	13,74	45,44	100,96
$v \text{ [mm]}$	0,03	0,04	0,04
$\delta \text{ [mm]}$	0,002	0,0009	0,0004
$V \text{ [cm}^{-3}\text{]}$	63,0374		
$V_v \text{ [cm}^{-3}\text{]}$	0,13		
$V_\delta \text{ [cm}^{-3}\text{]}$	0,0021		
$\rho \text{ [g}\cdot\text{cm}^{-3}\text{]}$	0,427365		
$\rho_v \text{ [g}\cdot\text{cm}^{-3}\text{]}$	0,0009		
$\rho_\delta \text{ [g}\cdot\text{cm}^{-3}\text{]}$	0,0021		

[2] Borovice lesní- naměřené hodnoty

Borovice lesní			
w = 29,3 [%]			
m = 37,23 [g]			
č.m.	tloušťka [mm]	šířka [mm]	délka [mm]
1.	14,21	49,89	100,17
2.	14,17	48,74	100,23
3.	14,14	48,69	100,07
4.	14,31	48,81	100,13
5.	14,26	48,77	99,95
6.	14,11	48,63	100,11
7.	14,13	48,92	100,27
8.	14,23	48,81	100,19
9.	14,36	48,71	100,08
10.	14,25	48,83	100,12
průměrná h.	14,22	48,88	100,13
v [mm]	0,02	0,08	0,02
δ [mm]	0,001	0,0016	0,0002
V [cm ⁻³]	69,5844		
V_v [cm ⁻³]	0,14		
V_δ [cm ⁻³]	0,002		
ρ [g·cm ⁻³]	0,535034		
ρ_v [g·cm ⁻³]	0,0011		
ρ_δ [g·cm ⁻³]	0,002		

Borovice lesní			
w = 22,2 [%]			
m = 35,37 [g]			
č.m.	tloušťka [mm]	šířka [mm]	délka [mm]
1.	14,09	48,87	100,12
2.	14,06	47,79	100,17
3.	14,02	47,83	100,04
4.	14,18	47,79	100,11
5.	14,21	47,84	100,04
6.	14,13	47,68	99,9
7.	14,05	47,88	100,24
8.	14,08	47,77	100,17
9.	14,19	47,74	100,05
10.	14,14	47,91	100,07
průměrná h.	14,12	47,91	100,09
v [mm]	0,01	0,07	0,02
δ [mm]	0,001	0,0015	0,0002
V [cm ⁻³]	67,6865		
V_v [cm ⁻³]	0,12		
V_δ [cm ⁻³]	0,0018		
ρ [g·cm ⁻³]	0,522556		
ρ_v [g·cm ⁻³]	0,001		
ρ_δ [g·cm ⁻³]	0,0018		

Borovice lesní			
w = 18,4 [%]			
m = 34,28 [g]			
č.m.	tloušťka [mm]	šířka [mm]	délka [mm]
1.	14,01	48,28	100,09
2.	13,95	47,21	100,14
3.	13,91	47,25	100,01
4.	14,1	47,18	100,07
5.	14,12	47,23	99,98
6.	14,04	47,09	99,87
7.	13,96	47,28	100,22
8.	14,01	47,21	100,15
9.	14,08	47,18	100,01
10.	14,04	47,38	100,02
průměrná h.	14,02	47,33	100,06
v [mm]	0,01	0,07	0,02
δ [mm]	0,001	0,0015	0,0002
V [cm ⁻³]	66,4019		
V_v [cm ⁻³]	0,12		
V_δ [cm ⁻³]	0,0018		
ρ [g·cm ⁻³]	0,51625		
ρ_v [g·cm ⁻³]	0,001		
ρ_δ [g·cm ⁻³]	0,0019		

Borovice lesní			
w = 15,3 [%]			
m = 33,07 [g]			
č.m.	tloušťka [mm]	šířka [mm]	délka [mm]
1.	13,96	47,74	100,06
2.	13,87	46,68	100,1
3.	13,84	46,71	99,98
4.	14,02	46,59	100,05
5.	14,04	46,63	99,97
6.	13,96	46,57	99,82
7.	13,87	46,7	100,19
8.	13,93	46,59	100,12
9.	13,98	46,58	99,99
10.	13,97	46,75	99,97
průměrná h.	13,94	46,75	100,03
v [mm]	0,01	0,07	0,02
δ [mm]	0,001	0,0016	0,0002
V [cm ⁻³]	65,2101		
V_v [cm ⁻³]	0,12		
V_δ [cm ⁻³]	0,0019		
ρ [g·cm ⁻³]	0,50713		
ρ_v [g·cm ⁻³]	0,001		
ρ_δ [g·cm ⁻³]	0,0019		

Borovice lesní			
w = 12,1 [%]			
m = 32,34 [g]			
č.m.	tloušťka [mm]	šířka [mm]	délka [mm]
1.	13,88	47,17	100,03
2.	13,79	46,21	100,07
3.	13,72	46,14	99,95
4.	13,94	46,08	100,04
5.	13,97	46,11	99,93
6.	13,89	46,06	99,78
7.	13,79	46,19	100,14
8.	13,85	46,07	100,09
9.	13,86	46,04	99,96
10.	13,88	46,2	99,92
průměrná h.	13,86	46,23	99,99
v [mm]	0,02	0,07	0,02
δ [mm]	0,001	0,0015	0,0002
V [cm ⁻³]	64,051		
V_v [cm ⁻³]	0,12		
V_δ [cm ⁻³]	0,0019		
ρ [g·cm ⁻³]	0,50491		
ρ_v [g·cm ⁻³]	0,001		
ρ_δ [g·cm ⁻³]	0,0019		

Borovice lesní			
w = 8,1 [%]			
m = 31,23 [g]			
č.m.	tloušťka [mm]	šířka [mm]	délka [mm]
1.	13,78	46,53	99,98
2.	13,67	45,62	100,03
3.	13,63	45,5	99,92
4.	13,83	45,47	100,03
5.	13,85	45,52	99,91
6.	13,81	45,48	99,75
7.	13,66	45,57	100,12
8.	13,77	45,44	100,02
9.	13,75	45,46	99,95
10.	13,78	45,62	99,9
průměrná h.	13,75	45,62	99,96
v [mm]	0,02	0,07	0,02
δ [mm]	0,001	0,0015	0,0002
V [cm ⁻³]	62,7181		
V_v [cm ⁻³]	0,12		
V_δ [cm ⁻³]	0,0019		
ρ [g·cm ⁻³]	0,497942		
ρ_v [g·cm ⁻³]	0,001		
ρ_δ [g·cm ⁻³]	0,0019		

Borovice lesní			
$w = 2,9 \text{ [%]}$			
$m = 28,81 \text{ [g]}$			
č.m.	tloušťka [mm]	šířka [mm]	délka [mm]
1.	13,66	46,07	99,95
2.	13,53	45,14	99,98
3.	13,49	45,03	99,89
4.	13,69	44,98	99,99
5.	13,71	45,04	99,87
6.	13,69	44,97	99,73
7.	13,55	45,09	100,09
8.	13,64	44,96	99,97
9.	13,62	44,97	99,91
10.	13,65	45,14	99,86
průměrná h.	13,62	45,14	99,92
$v \text{ [mm]}$	0,02	0,07	0,02
$\delta \text{ [mm]}$	0,001	0,0016	0,0002
$V \text{ [cm}^{-3}\text{]}$	61,4461		
$V_v \text{ [cm}^{-3}\text{]}$	0,12		
$V_\delta \text{ [cm}^{-3}\text{]}$	0,002		
$\rho \text{ [g}\cdot\text{cm}^{-3}\text{]}$	0,468866		
$\rho_v \text{ [g}\cdot\text{cm}^{-3}\text{]}$	0,0009		
$\rho_\delta \text{ [g}\cdot\text{cm}^{-3}\text{]}$	0,002		

[3] Modřín opadavý- naměřené hodnoty

Modřín opadavý			
w = 26,8 [%]			
m = 41,12 [g]			
č.m.	tloušťka [mm]	šířka [mm]	délka [mm]
1.	12,61	49,11	101,21
2.	12,92	49,12	101,23
3.	13,01	49,21	101,28
4.	13,12	49,2	101,13
5.	13,21	49,29	101,11
6.	13,11	49,42	101,17
7.	13,18	49,58	101,26
8.	13,19	49,61	101,31
9.	13,16	49,36	101,19
10.	13,22	49,43	101,24
průměrná h.	13,07	49,33	101,21
v [mm]	0,04	0,04	0,01
δ [mm]	0,003	0,0008	0,0001
V [cm ⁻³]	65,2753		
V_v [cm ⁻³]	0,2		
V_δ [cm ⁻³]	0,0031		
ρ [g·cm ⁻³]	0,629947		
ρ_v [g·cm ⁻³]	0,002		
ρ_δ [g·cm ⁻³]	0,0031		

Modřín opadavý			
w = 21,8 [%]			
m = 39,37 [g]			
č.m.	tloušťka [mm]	šířka [mm]	délka [mm]
1.	12,58	48,42	101,17
2.	12,87	48,45	101,2
3.	12,89	48,53	101,24
4.	12,95	48,52	101,09
5.	13,17	48,61	101,07
6.	12,96	48,71	101,12
7.	13,04	48,84	101,23
8.	13,06	48,92	101,27
9.	12,99	48,62	101,14
10.	13,13	48,72	101,19
průměrná h.	12,96	48,63	101,17
v [mm]	0,03	0,03	0,01
δ [mm]	0,003	0,0007	0,0001
V [cm ⁻³]	63,7881		
V_v [cm ⁻³]	0,18		
V_δ [cm ⁻³]	0,0028		
ρ [g·cm ⁻³]	0,6172		
ρ_v [g·cm ⁻³]	0,0017		
ρ_δ [g·cm ⁻³]	0,0028		

Modřín opadavý			
w = 17,9 [%]			
m = 38,26 [g]			
č.m.	tloušťka [mm]	šířka [mm]	délka [mm]
1.	12,49	47,83	101,12
2.	12,78	47,87	101,18
3.	12,79	47,91	101,19
4.	12,84	47,93	101,05
5.	13,09	47,99	101,04
6.	12,85	48,08	101,11
7.	12,96	48,17	101,18
8.	12,98	48,32	101,22
9.	12,89	48,07	101,08
10.	13,02	48,13	101,17
průměrná h.	12,87	48,03	101,13
v [mm]	0,04	0,03	0,01
δ [mm]	0,003	0,0007	0,0001
V [cm ⁻³]	62,5107		
V_v [cm ⁻³]	0,18		
V_δ [cm ⁻³]	0,0028		
ρ [g·cm ⁻³]	0,612055		
ρ_v [g·cm ⁻³]	0,0017		
ρ_δ [g·cm ⁻³]	0,0028		

Modřín opadavý			
w = 15,1 [%]			
m = 37,36 [g]			
č.m.	tloušťka [mm]	šířka [mm]	délka [mm]
1.	12,41	47,27	101,08
2.	12,69	47,33	101,12
3.	12,68	47,44	101,17
4.	12,76	47,47	101,01
5.	13	47,51	101,02
6.	12,77	47,64	101,07
7.	12,84	47,69	101,15
8.	12,89	47,76	101,19
9.	12,8	47,58	101,06
10.	12,93	47,64	101,14
průměrná h.	12,78	47,53	101,1
v [mm]	0,03	0,03	0,01
δ [mm]	0,003	0,0007	0,0001
V [cm ⁻³]	61,4016		
V_v [cm ⁻³]	0,17		
V_δ [cm ⁻³]	0,0028		
ρ [g·cm ⁻³]	0,608453		
ρ_v [g·cm ⁻³]	0,0017		
ρ_δ [g·cm ⁻³]	0,0028		

Modřín opadavý			
w = 12,3 [%]			
m = 36,31 [g]			
č.m.	tloušťka [mm]	šířka [mm]	délka [mm]
1.	12,31	46,73	101,06
2.	12,58	46,78	101,09
3.	12,59	46,88	101,13
4.	12,65	46,96	100,97
5.	12,91	46,98	100,97
6.	12,66	47,11	101,02
7.	12,73	47,13	101,11
8.	12,78	47,24	101,15
9.	12,71	47,03	101,02
10.	12,82	47,08	101,09
průměrná h.	12,67	46,99	101,06
v [mm]	0,03	0,03	0,01
δ [mm]	0,003	0,0007	0,0001
V [cm ⁻³]	60,1896		
V_v [cm ⁻³]	0,17		
V_δ [cm ⁻³]	0,0028		
ρ [g·cm ⁻³]	0,603261		
ρ_v [g·cm ⁻³]	0,0017		
ρ_δ [g·cm ⁻³]	0,0028		

Modřín opadavý			
w = 8,1 [%]			
m = 35,02 [g]			
č.m.	tloušťka [mm]	šířka [mm]	délka [mm]
1.	12,28	46,07	101,01
2.	12,47	46,11	101,06
3.	12,44	46,31	101,09
4.	12,53	46,37	100,95
5.	12,79	46,4	100,94
6.	12,51	46,52	100,99
7.	12,61	46,56	101,07
8.	12,69	46,64	101,12
9.	12,59	46,4	100,97
10.	12,7	46,43	101,04
průměrná h.	12,56	46,38	101,02
v [mm]	0,03	0,04	0,01
δ [mm]	0,002	0,0008	0,0001
V [cm ⁻³]	58,8557		
V_v [cm ⁻³]	0,15		
V_δ [cm ⁻³]	0,0026		
ρ [g·cm ⁻³]	0,595014		
ρ_v [g·cm ⁻³]	0,0016		
ρ_δ [g·cm ⁻³]	0,0026		

Modřín opadavý			
$w = 2,6 \text{ [\%]}$			
$m = 32,45 \text{ [g]}$			
č.m.	tloušťka [mm]	šířka [mm]	délka [mm]
1.	12,14	45,31	101,01
2.	12,33	45,36	101,06
3.	12,31	45,63	101,09
4.	12,49	45,67	100,95
5.	12,64	45,64	100,94
6.	12,38	45,78	100,99
7.	12,47	45,81	101,07
8.	12,54	45,88	101,12
9.	12,46	45,71	100,97
10.	12,65	45,74	101,04
průměrná h.	12,44	45,65	101,02
$v \text{ [mm]}$	0,03	0,04	0,01
$\delta \text{ [mm]}$	0,003	0,0009	0,0001
$V \text{ [cm}^{-3}\text{]}$	57,3785		
$V_v \text{ [cm}^{-3}\text{]}$	0,16		
$V_\delta \text{ [cm}^{-3}\text{]}$	0,0028		
$\rho \text{ [g}\cdot\text{cm}^{-3}\text{]}$	0,565543		
$\rho_v \text{ [g}\cdot\text{cm}^{-3}\text{]}$	0,0016		
$\rho_\delta \text{ [g}\cdot\text{cm}^{-3}\text{]}$	0,0028		

[4] Dub - naměřené hodnoty

Dub			
$w = 33,7 \text{ [%]}$			
$m = 55,75 \text{ [g]}$			
č.m.	tloušťka [mm]	šířka [mm]	délka [mm]
1.	12,91	47,56	101,1
2.	13,02	47,71	101,14
3.	13,01	47,81	101,16
4.	13,13	47,63	101,11
5.	13,28	47,83	101,06
6.	13,33	47,86	101,17
7.	13,47	47,61	101,21
8.	13,21	47,57	101,31
9.	13,41	47,68	101,07
10.	13,35	47,73	100,98
průměrná h.	13,21	47,7	101,13
$v \text{ [mm]}$	0,04	0,02	0,02
$\delta \text{ [mm]}$	0,003	0,0005	0,0002
$V \text{ [cm}^{-3}\text{]}$	63,7327		
$V_v \text{ [cm}^{-3}\text{]}$	0,19		
$V_\delta \text{ [cm}^{-3}\text{]}$	0,003		
$\rho \text{ [g}\cdot\text{cm}^{-3}\text{]}$	0,87475		
$\rho_v \text{ [g}\cdot\text{cm}^{-3}\text{]}$	0,0027		
$\rho_\delta \text{ [g}\cdot\text{cm}^{-3}\text{]}$	0,0031		

Dub			
$w = 22,3 \text{ [%]}$			
$m = 50,64 \text{ [g]}$			
č.m.	tloušťka [mm]	šířka [mm]	délka [mm]
1.	12,72	46,37	101,05
2.	12,81	46,54	101,08
3.	12,78	46,65	101,1
4.	12,96	46,47	101,06
5.	13,09	46,65	100,98
6.	13,03	46,67	101,11
7.	13,25	46,42	101,14
8.	13,02	46,39	101,27
9.	13,19	46,47	101,02
10.	13,14	46,42	100,93
průměrná h.	13	46,51	101,07
$v \text{ [mm]}$	0,04	0,02	0,02
$\delta \text{ [mm]}$	0,003	0,0005	0,0002
$V \text{ [cm}^{-3}\text{]}$	61,1011		
$V_v \text{ [cm}^{-3}\text{]}$	0,18		
$V_\delta \text{ [cm}^{-3}\text{]}$	0,003		
$\rho \text{ [g}\cdot\text{cm}^{-3}\text{]}$	0,82879		
$\rho_v \text{ [g}\cdot\text{cm}^{-3}\text{]}$	0,0025		
$\rho_\delta \text{ [g}\cdot\text{cm}^{-3}\text{]}$	0,003		

Dub			
$w = 18,2 \text{ [\%]}$			
$m = 49,12 \text{ [g]}$			
č.m.	tloušťka [mm]	šířka [mm]	délka [mm]
1.	12,6	45,71	101,03
2.	12,71	45,97	101,06
3.	12,64	46,06	101,05
4.	12,76	45,93	101,02
5.	12,98	46,06	100,93
6.	12,92	46,09	101,06
7.	13,12	45,83	101,09
8.	12,89	45,85	101,23
9.	13,04	45,95	100,97
10.	12,98	45,88	100,89
průměrná h.	12,86	45,93	101,03
$v \text{ [mm]}$	0,04	0,03	0,02
$\delta \text{ [mm]}$	0,003	0,0005	0,0002
$V \text{ [cm}^{-3}\text{]}$	59,6986		
$V_v \text{ [cm}^{-3}\text{]}$	0,18		
$V_\delta \text{ [cm}^{-3}\text{]}$	0,003		
$\rho \text{ [g}\cdot\text{cm}^{-3}\text{]}$	0,8228		
$\rho_v \text{ [g}\cdot\text{cm}^{-3}\text{]}$	0,0024		
$\rho_\delta \text{ [g}\cdot\text{cm}^{-3}\text{]}$	0,003		

Dub			
$w = 15,1 \text{ [\%]}$			
$m = 47,98 \text{ [g]}$			
č.m.	tloušťka [mm]	šířka [mm]	délka [mm]
1.	12,5	45,23	100,99
2.	12,59	45,44	101,02
3.	12,56	45,67	101,01
4.	12,67	45,48	100,98
5.	12,87	45,62	100,89
6.	12,83	45,67	101,03
7.	13,03	45,31	101,06
8.	12,79	45,34	101,18
9.	12,92	45,46	100,93
10.	12,91	45,41	100,85
průměrná h.	12,77	45,46	100,99
$v \text{ [mm]}$	0,04	0,03	0,02
$\delta \text{ [mm]}$	0,003	0,0007	0,0002
$V \text{ [cm}^{-3}\text{]}$	58,6196		
$V_v \text{ [cm}^{-3}\text{]}$	0,18		
$V_\delta \text{ [cm}^{-3}\text{]}$	0,003		
$\rho \text{ [g}\cdot\text{cm}^{-3}\text{]}$	0,8185		
$\rho_v \text{ [g}\cdot\text{cm}^{-3}\text{]}$	0,0025		
$\rho_\delta \text{ [g}\cdot\text{cm}^{-3}\text{]}$	0,003		

Dub			
$w = 12,2 \text{ [%]}$			
$m = 46,68 \text{ [g]}$			
č.m.	tloušťka [mm]	šířka [mm]	délka [mm]
1.	12,42	44,78	100,95
2.	12,51	44,95	100,98
3.	12,48	45,14	100,97
4.	12,56	45,02	100,96
5.	12,76	45,08	100,84
6.	12,74	45,16	100,99
7.	12,94	44,84	101,02
8.	12,71	44,85	101,16
9.	12,83	44,97	100,91
10.	12,8	44,92	100,83
průměrná h.	12,68	44,97	100,96
$v \text{ [mm]}$	0,04	0,03	0,02
$\delta \text{ [mm]}$	0,003	0,0006	0,0002
$V \text{ [cm}^{-3}\text{]}$	57,5485		
$V_v \text{ [cm}^{-3}\text{]}$	0,17		
$V_\delta \text{ [cm}^{-3}\text{]}$	0,003		
$\rho \text{ [g}\cdot\text{cm}^{-3}\text{]}$	0,81114		
$\rho_v \text{ [g}\cdot\text{cm}^{-3}\text{]}$	0,0024		
$\rho_\delta \text{ [g}\cdot\text{cm}^{-3}\text{]}$	0,0029		

Dub			
$w = 7,9 \text{ [%]}$			
$m = 45,03 \text{ [g]}$			
č.m.	tloušťka [mm]	šířka [mm]	délka [mm]
1.	12,33	44,16	100,91
2.	12,42	44,42	100,95
3.	12,39	44,61	100,96
4.	12,47	44,48	100,93
5.	12,67	44,52	100,81
6.	12,63	44,63	100,95
7.	12,86	44,29	100,98
8.	12,62	44,31	101,12
9.	12,75	44,53	100,87
10.	12,72	44,48	100,79
průměrná h.	12,59	44,44	100,93
$v \text{ [mm]}$	0,04	0,03	0,02
$\delta \text{ [mm]}$	0,003	0,0007	0,0002
$V \text{ [cm}^{-3}\text{]}$	56,4545		
$V_v \text{ [cm}^{-3}\text{]}$	0,17		
$V_\delta \text{ [cm}^{-3}\text{]}$	0,003		
$\rho \text{ [g}\cdot\text{cm}^{-3}\text{]}$	0,79763		
$\rho_v \text{ [g}\cdot\text{cm}^{-3}\text{]}$	0,0024		
$\rho_\delta \text{ [g}\cdot\text{cm}^{-3}\text{]}$	0,003		

Dub			
$w = 3,4 \text{ [\%]}$			
$m = 41,76 \text{ [g]}$			
č.m.	tloušťka [mm]	šířka [mm]	délka [mm]
1.	12,26	43,68	100,87
2.	12,33	43,91	100,91
3.	12,31	44,07	100,93
4.	12,39	43,96	100,88
5.	12,59	44,01	100,77
6.	12,55	44,08	100,9
7.	12,79	43,76	100,95
8.	12,53	43,79	101,09
9.	12,66	43,98	100,83
10.	12,64	43,96	100,75
průměrná h.	12,51	43,92	100,89
$v \text{ [mm]}$	0,04	0,03	0,02
$\delta \text{ [mm]}$	0,003	0,0006	0,0002
$V \text{ [cm}^{-3}\text{]}$	55,4097		
$V_v \text{ [cm}^{-3}\text{]}$	0,17		
$V_\delta \text{ [cm}^{-3}\text{]}$	0,003		
$\rho \text{ [g}\cdot\text{cm}^{-3}\text{]}$	0,75366		
$\rho_v \text{ [g}\cdot\text{cm}^{-3}\text{]}$	0,0023		
$\rho_\delta \text{ [g}\cdot\text{cm}^{-3}\text{]}$	0,003		

[5] Jasan - naměřené hodnoty

Jasan			
$w = 31,4 \text{ [\%]}$			
$m = 52,62 \text{ [g]}$			
č.m.	tloušťka [mm]	šířka [mm]	délka [mm]
1.	13,52	49,18	100,84
2.	13,89	49,54	101,23
3.	13,96	49,46	101,18
4.	13,81	49,61	101,29
5.	14,21	49,33	101,16
6.	14,26	49,26	100,86
7.	14,11	49,51	101,17
8.	14,12	48,43	101,13
9.	14,06	49,55	101,21
10.	14,07	49,38	101,25
průměrná h.	14	49,33	101,13
$v \text{ [mm]}$	0,05	0,07	0,03
$\delta \text{ [mm]}$	0,003	0,0015	0,0003
$V \text{ [cm}^{-3}\text{]}$	69,8417		
$V_v \text{ [cm}^{-3}\text{]}$	0,25		
$V_\delta \text{ [cm}^{-3}\text{]}$	0,0036		
$\rho \text{ [g}\cdot\text{cm}^{-3}\text{]}$	0,75342		
$\rho_v \text{ [g}\cdot\text{cm}^{-3}\text{]}$	0,0027		
$\rho_\delta \text{ [g}\cdot\text{cm}^{-3}\text{]}$	0,0036		

Jasan			
$w = 22,1 \text{ [\%]}$			
$m = 48,81 \text{ [g]}$			
č.m.	tloušťka [mm]	šířka [mm]	délka [mm]
1.	13,32	48,06	100,78
2.	13,71	48,41	101,17
3.	13,75	48,38	101,14
4.	13,58	48,44	101,24
5.	13,98	48,16	101,1
6.	14,07	48,11	100,82
7.	13,92	48,38	101,13
8.	13,88	47,29	101,09
9.	13,84	48,43	101,17
10.	13,86	48,22	101,2
průměrná h.	13,79	48,19	101,08
$v \text{ [mm]}$	0,05	0,07	0,03
$\delta \text{ [mm]}$	0,003	0,0015	0,0003
$V \text{ [cm}^{-3}\text{]}$	67,1765		
$V_v \text{ [cm}^{-3}\text{]}$	0,24		
$V_\delta \text{ [cm}^{-3}\text{]}$	0,0036		
$\rho \text{ [g}\cdot\text{cm}^{-3}\text{]}$	0,726594		
$\rho_v \text{ [g}\cdot\text{cm}^{-3}\text{]}$	0,0027		
$\rho_\delta \text{ [g}\cdot\text{cm}^{-3}\text{]}$	0,0037		

Jasan			
w = 17,9 [%]			
m = 47,43 [g]			
č.m.	tloušťka [mm]	šířka [mm]	délka [mm]
1.	13,21	47,44	100,72
2.	13,62	47,39	101,14
3.	13,59	47,81	101,09
4.	13,47	47,87	101,2
5.	13,87	47,52	101,06
6.	13,94	47,48	100,78
7.	13,79	47,81	101,07
8.	13,77	46,67	101,05
9.	13,71	47,81	101,12
10.	13,74	47,64	101,17
průměrná h.	13,67	47,54	101,04
v [mm]	0,04	0,07	0,03
δ [mm]	0,003	0,0016	0,0003
$V [\text{cm}^{-3}]$	65,6734		
$V_v [\text{cm}^{-3}]$	0,24		
$V_\delta [\text{cm}^{-3}]$	0,0036		
$\rho [\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}]$	0,72221		
$\rho_v [\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}]$	0,0026		
$\rho_\delta [\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}]$	0,0036		

Jasan			
w = 15,2 [%]			
m = 46,21 [g]			
č.m.	tloušťka [mm]	šířka [mm]	délka [mm]
1.	13,14	46,98	100,69
2.	13,54	46,91	101,09
3.	13,51	47,37	101,05
4.	13,39	47,44	101,17
5.	13,78	47,05	101,01
6.	13,86	46,99	100,75
7.	13,69	47,36	101,05
8.	13,68	46,21	101
9.	13,64	47,33	101,08
10.	13,63	47,18	101,12
průměrná h.	13,59	47,08	101
v [mm]	0,04	0,08	0,03
δ [mm]	0,003	0,0016	0,0003
$V [\text{cm}^{-3}]$	64,6059		
$V_v [\text{cm}^{-3}]$	0,23		
$V_\delta [\text{cm}^{-3}]$	0,0036		
$\rho [\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}]$	0,71526		
$\rho_v [\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}]$	0,0026		
$\rho_\delta [\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}]$	0,0036		

Jasan			
w = 12 [%]			
m = 45,02 [g]			
č.m.	tloušťka [mm]	šířka [mm]	délka [mm]
1.	13,06	46,51	100,65
2.	13,56	46,42	101,04
3.	13,41	46,94	101
4.	13,32	46,95	101,12
5.	13,69	46,62	100,98
6.	13,78	46,52	100,71
7.	13,6	46,94	100,99
8.	13,62	45,72	100,95
9.	13,56	46,9	101,04
10.	13,55	46,72	101,08
průměrná h.	13,52	46,62	100,96
v [mm]	0,04	0,08	0,03
δ [mm]	0,003	0,0017	0,0003
V [cm ⁻³]	63,6147		
V _v [cm ⁻³]	0,23		
V _δ [cm ⁻³]	0,0036		
ρ [g·cm ⁻³]	0,707698		
ρ _v [g·cm ⁻³]	0,0026		
ρ _δ [g·cm ⁻³]	0,0037		

Jasan			
w = 8,1 [%]			
m = 43,38 [g]			
č.m.	tloušťka [mm]	šířka [mm]	délka [mm]
1.	12,98	45,98	100,61
2.	13,45	45,91	101
3.	13,3	46,4	100,95
4.	13,21	46,44	101,07
5.	13,59	46,09	100,94
6.	13,69	46,04	100,68
7.	13,51	46,39	100,94
8.	13,53	45,17	100,91
9.	13,45	46,35	100,99
10.	13,46	46,18	101,03
průměrná h.	13,42	46,1	100,91
v [mm]	0,04	0,08	0,03
δ [mm]	0,003	0,0017	0,0003
V [cm ⁻³]	62,4097		
V _v [cm ⁻³]	0,23		
V _δ [cm ⁻³]	0,0037		
ρ [g·cm ⁻³]	0,695084		
ρ _v [g·cm ⁻³]	0,0026		
ρ _δ [g·cm ⁻³]	0,0037		

Jasan			
$w = 3,4 \text{ [\%]}$			
$m = 40,23 \text{ [g]}$			
č.m.	tloušťka [mm]	šířka [mm]	délka [mm]
1.	12,88	45,39	100,57
2.	13,36	45,35	100,97
3.	13,19	45,87	100,9
4.	13,11	45,89	101,03
5.	13,49	45,47	100,9
6.	13,56	45,43	100,63
7.	13,42	45,43	100,9
8.	13,45	44,65	100,86
9.	13,33	45,78	100,95
10.	13,35	45,64	100,99
průměrná h.	13,31	45,49	100,87
$v \text{ [mm]}$	0,04	0,08	0,03
$\delta \text{ [mm]}$	0,003	0,0017	0,0003
$V \text{ [cm}^3\text{]}$	61,0923		
$V_v \text{ [cm}^3\text{]}$	0,22		
$V_\delta \text{ [cm}^3\text{]}$	0,0036		
$\rho \text{ [g}\cdot\text{cm}^3\text{]}$	0,658512		
$\rho_v \text{ [g}\cdot\text{cm}^3\text{]}$	0,0024		
$\rho_\delta \text{ [g}\cdot\text{cm}^3\text{]}$	0,0036		

[6] Javor - naměřené hodnoty

Javor			
$w = 29,8 \text{ [\%]}$			
$m = 50,97 \text{ [g]}$			
č.m.	tloušťka [mm]	šířka [mm]	délka [mm]
1.	13,36	48,69	100,89
2.	13,53	48,81	100,93
3.	13,62	49,13	100,96
4.	13,72	48,76	100,86
5.	13,96	48,89	100,9
6.	14,02	48,91	101,01
7.	14,05	48,95	100,93
8.	13,96	49,01	100,88
9.	13,85	49,13	100,97
10.	13,91	49,18	100,84
průměrná h.	13,8	48,95	100,92
$v \text{ [mm]}$	0,05	0,04	0,01
$\delta \text{ [mm]}$	0,004	0,0007	0,0001
$V \text{ [cm}^{-3}\text{]}$	68,155		
$V_v \text{ [cm}^{-3}\text{]}$	0,25		
$V_\delta \text{ [cm}^{-3}\text{]}$	0,0036		
$\rho \text{ [g}\cdot\text{cm}^{-3}\text{]}$	0,747854		
$\rho_v \text{ [g}\cdot\text{cm}^{-3}\text{]}$	0,0027		
$\rho_\delta \text{ [g}\cdot\text{cm}^{-3}\text{]}$	0,0036		

Javor			
$w = 22 \text{ [\%]}$			
$m = 48,59 \text{ [g]}$			
č.m.	tloušťka [mm]	šířka [mm]	délka [mm]
1.	13,17	47,63	100,84
2.	13,36	47,74	100,89
3.	13,42	48,05	100,91
4.	13,55	47,64	100,82
5.	13,79	47,82	100,85
6.	13,82	47,79	100,97
7.	13,84	47,87	100,88
8.	13,77	47,03	100,84
9.	13,68	48,06	100,93
10.	13,71	48,12	100,8
průměrná h.	13,61	47,78	100,87
$v \text{ [mm]}$	0,05	0,07	0,01
$\delta \text{ [mm]}$	0,004	0,001	0,0001
$V \text{ [cm}^{-3}\text{]}$	65,5942		
$V_v \text{ [cm}^{-3}\text{]}$	0,25		
$V_\delta \text{ [cm}^{-3}\text{]}$	0,0038		
$\rho \text{ [g}\cdot\text{cm}^{-3}\text{]}$	0,740766		
$\rho_v \text{ [g}\cdot\text{cm}^{-3}\text{]}$	0,0028		
$\rho_\delta \text{ [g}\cdot\text{cm}^{-3}\text{]}$	0,0038		

Javor			
$w = 18,1 \text{ [%]}$			
$m = 47,13 \text{ [g]}$			
č.m.	tloušťka [mm]	šířka [mm]	délka [mm]
1.	13,07	47,11	100,81
2.	13,23	47,22	100,85
3.	13,29	47,49	100,87
4.	13,46	47,14	100,78
5.	13,69	47,26	100,82
6.	13,69	47,28	100,95
7.	13,71	47,34	100,83
8.	13,68	46,52	100,8
9.	13,58	47,57	100,89
10.	13,59	47,65	100,79
průměrná h.	13,5	47,26	100,84
$v \text{ [mm]}$	0,05	0,07	0,01
$\delta \text{ [mm]}$	0,004	0,001	0,0001
$V \text{ [cm}^{-3}\text{]}$	64,3288		
$V_v \text{ [cm}^{-3}\text{]}$	0,25		
$V_\delta \text{ [cm}^{-3}\text{]}$	0,0038		
$\rho \text{ [g}\cdot\text{cm}^{-3}\text{]}$	0,732642		
$\rho_v \text{ [g}\cdot\text{cm}^{-3}\text{]}$	0,0028		
$\rho_\delta \text{ [g}\cdot\text{cm}^{-3}\text{]}$	0,0038		

Javor			
$w = 14,8 \text{ [%]}$			
$m = 46,08 \text{ [g]}$			
č.m.	tloušťka [mm]	šířka [mm]	délka [mm]
1.	12,96	46,64	100,78
2.	13,14	46,77	100,81
3.	13,21	47,03	100,83
4.	13,36	46,71	100,74
5.	13,59	46,83	100,79
6.	13,6	46,79	100,91
7.	13,61	46,87	100,79
8.	13,57	46,09	100,75
9.	13,51	47,14	100,84
10.	13,5	47,23	100,76
průměrná h.	13,41	46,81	100,8
$v \text{ [mm]}$	0,05	0,07	0,01
$\delta \text{ [mm]}$	0,004	0,001	0,0001
$V \text{ [cm}^{-3}\text{]}$	63,2508		
$V_v \text{ [cm}^{-3}\text{]}$	0,24		
$V_\delta \text{ [cm}^{-3}\text{]}$	0,0039		
$\rho \text{ [g}\cdot\text{cm}^{-3}\text{]}$	0,728528		
$\rho_v \text{ [g}\cdot\text{cm}^{-3}\text{]}$	0,0028		
$\rho_\delta \text{ [g}\cdot\text{cm}^{-3}\text{]}$	0,0039		

Javor			
$w = 12,1 \text{ [%]}$			
$m = 44,86 \text{ [g]}$			
č.m.	tloušťka [mm]	šířka [mm]	délka [mm]
1.	12,84	46,17	100,73
2.	13,06	46,34	100,76
3.	13,12	46,49	100,78
4.	13,29	46,23	100,79
5.	13,52	46,36	100,76
6.	13,48	46,29	100,88
7.	13,51	46,45	100,75
8.	13,49	45,66	100,7
9.	13,43	46,63	100,81
10.	13,41	46,71	100,71
průměrná h.	13,32	46,33	100,77
$v \text{ [mm]}$	0,05	0,06	0,01
$\delta \text{ [mm]}$	0,004	0,001	0,0001
$V \text{ [cm}^{-3}\text{]}$	62,1656		
$V_v \text{ [cm}^{-3}\text{]}$	0,24		
$V_\delta \text{ [cm}^{-3}\text{]}$	0,0039		
$\rho \text{ [g}\cdot\text{cm}^{-3}\text{]}$	0,721621		
$\rho_v \text{ [g}\cdot\text{cm}^{-3}\text{]}$	0,0028		
$\rho_\delta \text{ [g}\cdot\text{cm}^{-3}\text{]}$	0,0039		

Javor			
$w = 8 \text{ [%]}$			
$m = 43,27 \text{ [g]}$			
č.m.	tloušťka [mm]	šířka [mm]	délka [mm]
1.	12,73	45,62	100,68
2.	12,98	45,86	100,7
3.	13,2	45,98	100,75
4.	13,19	45,74	100,74
5.	13,44	45,82	100,72
6.	13,37	45,73	100,84
7.	13,41	45,89	100,71
8.	13,37	45,09	100,66
9.	13,33	46,06	100,77
10.	13,31	46,15	100,67
průměrná h.	13,23	45,79	100,72
$v \text{ [mm]}$	0,05	0,06	0,01
$\delta \text{ [mm]}$	0,004	0,001	0,0001
$V \text{ [cm}^{-3}\text{]}$	61,0379		
$V_v \text{ [cm}^{-3}\text{]}$	0,23		
$V_\delta \text{ [cm}^{-3}\text{]}$	0,0038		
$\rho \text{ [g}\cdot\text{cm}^{-3}\text{]}$	0,708903		
$\rho_v \text{ [g}\cdot\text{cm}^{-3}\text{]}$	0,0027		
$\rho_\delta \text{ [g}\cdot\text{cm}^{-3}\text{]}$	0,0038		

Javor			
$w = 3,2 \text{ [%]}$			
$m = 40,11 \text{ [g]}$			
č.m.	tloušťka [mm]	šířka [mm]	délka [mm]
1.	12,65	45,13	100,63
2.	12,89	45,38	100,65
3.	13,12	45,55	100,71
4.	13,08	45,22	100,7
5.	13,34	45,29	100,68
6.	13,26	45,28	100,79
7.	13,34	45,46	100,67
8.	13,26	44,64	100,62
9.	13,26	45,63	100,73
10.	13,08	45,67	100,62
průměrná h.	13,13	45,33	100,68
$v \text{ [mm]}$	0,05	0,06	0,01
$\delta \text{ [mm]}$	0,004	0,001	0,0001
$V \text{ [cm}^3\text{]}$	59,9073		
$V_v \text{ [cm}^3\text{]}$	0,23		
$V_\delta \text{ [cm}^3\text{]}$	0,0038		
$\rho \text{ [g}\cdot\text{cm}^{-3}\text{]}$	0,669535		
$\rho_v \text{ [g}\cdot\text{cm}^{-3}\text{]}$	0,0025		
$\rho_\delta \text{ [g}\cdot\text{cm}^{-3}\text{]}$	0,0038		

[7] Ořešák - naměřené hodnoty

Ořešák			
$w = 28,1 \text{ [%]}$			
$m = 47,17 \text{ [g]}$			
č.m.	tloušťka [mm]	šířka [mm]	délka [mm]
1.	13,82	49,02	100,15
2.	13,76	49,21	100,38
3.	13,69	49,23	100,27
4.	13,94	49,31	100,47
5.	13,73	49,37	100,13
6.	13,79	49,09	100,11
7.	13,67	49,14	100,29
8.	13,75	49,42	100,22
9.	13,83	49,26	100,12
10.	13,89	49,08	100,32
průměrná h.	13,79	49,21	100,25
$v \text{ [mm]}$	0,02	0,03	0,03
$\delta \text{ [mm]}$	0,001	0,001	0,0003
$V \text{ [cm}^3\text{]}$	68,0169		
$V_v \text{ [cm}^3\text{]}$	0,1		
$V_\delta \text{ [cm}^3\text{]}$	0,0014		
$\rho \text{ [g}\cdot\text{cm}^{-3}\text{]}$	0,693504		
$\rho_v \text{ [g}\cdot\text{cm}^{-3}\text{]}$	0,001		
$\rho_\delta \text{ [g}\cdot\text{cm}^{-3}\text{]}$	0,0015		

Ořešák			
$w = 22 \text{ [%]}$			
$m = 44,89 \text{ [g]}$			
č.m.	tloušťka [mm]	šířka [mm]	délka [mm]
1.	13,69	48,24	100,1
2.	13,61	48,39	100,32
3.	13,58	48,38	100,23
4.	13,8	48,54	100,42
5.	13,59	48,59	100,1
6.	13,63	48,34	100,07
7.	13,57	48,37	100,24
8.	13,65	48,62	100,19
9.	13,69	48,45	100,09
10.	13,72	48,32	100,27
průměrná h.	13,65	48,42	100,2
$v \text{ [mm]}$	0,02	0,03	0,02
$\delta \text{ [mm]}$	0,001	0,001	0,0002
$V \text{ [cm}^3\text{]}$	66,2475		
$V_v \text{ [cm}^3\text{]}$	0,08		
$V_\delta \text{ [cm}^3\text{]}$	0,0013		
$\rho \text{ [g}\cdot\text{cm}^{-3}\text{]}$	0,677611		
$\rho_v \text{ [g}\cdot\text{cm}^{-3}\text{]}$	0,0009		
$\rho_\delta \text{ [g}\cdot\text{cm}^{-3}\text{]}$	0,0013		

Ořešák			
$w = 17,9 \text{ [%]}$			
$m = 43,41 \text{ [g]}$			
č.m.	tloušťka [mm]	šířka [mm]	délka [mm]
1.	13,58	47,74	100,06
2.	13,49	48,85	100,3
3.	13,51	48,79	100,19
4.	13,7	48,08	100,38
5.	13,47	48,09	100,07
6.	13,55	47,83	100,02
7.	13,49	47,87	100,19
8.	13,54	48,12	100,13
9.	13,59	47,88	100,04
10.	13,61	47,8	100,22
průměrná h.	13,55	48,11	100,16
$v \text{ [mm]}$	0,01	0,08	0,02
$\delta \text{ [mm]}$	0,001	0,002	0,0002
$V \text{ [cm}^3\text{]}$	65,301		
$V_v \text{ [cm}^3\text{]}$	0,14		
$V_\delta \text{ [cm}^3\text{]}$	0,0021		
$\rho \text{ [g}\cdot\text{cm}^{-3}\text{]}$	0,664768		
$\rho_v \text{ [g}\cdot\text{cm}^{-3}\text{]}$	0,0014		
$\rho_\delta \text{ [g}\cdot\text{cm}^{-3}\text{]}$	0,0021		

Ořešák			
$w = 14,8 \text{ [%]}$			
$m = 42,34 \text{ [g]}$			
č.m.	tloušťka [mm]	šířka [mm]	délka [mm]
1.	13,52	47,31	100,03
2.	13,42	48,45	100,1
3.	13,45	48,38	100,13
4.	13,6	47,62	100,35
5.	13,38	47,69	100,05
6.	13,48	47,39	99,97
7.	13,41	47,41	100,13
8.	13,45	47,67	100,09
9.	13,51	47,51	100
10.	13,54	47,37	100,19
průměrná h.	13,48	47,68	100,1
$v \text{ [mm]}$	0,01	0,09	0,02
$\delta \text{ [mm]}$	0,001	0,002	0,0002
$V \text{ [cm}^3\text{]}$	64,3204		
$V_v \text{ [cm}^3\text{]}$	0,14		
$V_\delta \text{ [cm}^3\text{]}$	0,0021		
$\rho \text{ [g}\cdot\text{cm}^{-3}\text{]}$	0,658267		
$\rho_v \text{ [g}\cdot\text{cm}^{-3}\text{]}$	0,0014		
$\rho_\delta \text{ [g}\cdot\text{cm}^{-3}\text{]}$	0,0021		

Ořešák			
$w = 12 \text{ [%]}$			
$m = 41,23 \text{ [g]}$			
č.m.	tloušťka [mm]	šířka [mm]	délka [mm]
1.	13,46	46,94	99,99
2.	13,37	48,01	100,04
3.	13,38	47,97	100,09
4.	13,51	47,25	100,3
5.	13,29	47,26	100,01
6.	13,42	47,06	99,93
7.	13,3	47,02	100,1
8.	13,39	47,2	100,05
9.	13,42	47,1	99,95
10.	13,43	46,93	100,12
průměrná h.	13,4	47,27	100,06
$v \text{ [mm]}$	0,01	0,08	0,02
$\delta \text{ [mm]}$	0,001	0,002	0,0002
$V \text{ [cm}^{-3}\text{]}$	63,3697		
$V_v \text{ [cm}^{-3}\text{]}$	0,13		
$V_\delta \text{ [cm}^{-3}\text{]}$	0,0021		
$\rho \text{ [g}\cdot\text{cm}^{-3}\text{]}$	0,650626		
$\rho_v \text{ [g}\cdot\text{cm}^{-3}\text{]}$	0,0014		
$\rho_\delta \text{ [g}\cdot\text{cm}^{-3}\text{]}$	0,0021		

Ořešák			
$w = 7,9 \text{ [%]}$			
$m = 39,76 \text{ [g]}$			
č.m.	tloušťka [mm]	šířka [mm]	délka [mm]
1.	13,37	46,48	99,95
2.	13,3	47,58	100
3.	13,27	47,53	100,06
4.	13,44	46,81	99,99
5.	13,19	46,79	99,96
6.	13,36	46,61	99,89
7.	13,19	46,54	100,06
8.	13,28	46,71	100
9.	13,35	46,67	99,9
10.	13,37	46,44	100,07
průměrná h.	13,31	46,82	99,99
$v \text{ [mm]}$	0,02	0,09	0,01
$\delta \text{ [mm]}$	0,001	0,002	0,0001
$V \text{ [cm}^{-3}\text{]}$	62,314		
$V_v \text{ [cm}^{-3}\text{]}$	0,14		
$V_\delta \text{ [cm}^{-3}\text{]}$	0,0022		
$\rho \text{ [g}\cdot\text{cm}^{-3}\text{]}$	0,638059		
$\rho_v \text{ [g}\cdot\text{cm}^{-3}\text{]}$	0,0014		
$\rho_\delta \text{ [g}\cdot\text{cm}^{-3}\text{]}$	0,0023		

Ořešák			
$w = 3,2 \text{ [%]}$			
$m = 36,86 \text{ [g]}$			
č.m.	tloušťka [mm]	šířka [mm]	délka [mm]
1.	13,27	46,08	99,9
2.	13,22	47,11	99,96
3.	13,19	47,08	100
4.	13,38	46,33	99,95
5.	13,12	46,31	99,92
6.	13,29	46,19	99,85
7.	13,1	46,12	100,02
8.	13,2	46,27	99,95
9.	13,26	46,2	99,86
10.	13,31	46,03	100,02
průměrná h.	13,23	46,37	99,94
$v \text{ [mm]}$	0,02	0,08	0,01
$\delta \text{ [mm]}$	0,001	0,002	0,0001
$V \text{ [cm}^{-3}\text{]}$	61,3337		
$V_v \text{ [cm}^{-3}\text{]}$	0,14		
$V_\delta \text{ [cm}^{-3}\text{]}$	0,0023		
$\rho \text{ [g}\cdot\text{cm}^{-3}\text{]}$	0,600974		
$\rho_v \text{ [g}\cdot\text{cm}^{-3}\text{]}$	0,0014		
$\rho_\delta \text{ [g}\cdot\text{cm}^{-3}\text{]}$	0,0023		

[8] Hrušeň obecná- naměřené hodnoty

Hrušeň obecná			
$w = 30,6 \text{ [%]}$			
$m = 41,85 \text{ [g]}$			
č.m.	tloušťka [mm]	šířka [mm]	délka [mm]
1.	13,37	49,06	100,38
2.	13,33	49,32	100,45
3.	13,54	49,36	100,65
4.	13,61	49,42	100,43
5.	13,24	49,45	100,36
6.	13,48	49,62	100,52
7.	13,36	49,54	100,32
8.	13,16	49,21	100,14
9.	13,27	49,15	100,23
10.	13,14	49,11	100,34
průměrná h.	13,35	49,32	100,38
$v \text{ [mm]}$	0,03	0,04	0,03
$\delta \text{ [mm]}$	0,002	0,001	0,0003
$V \text{ [cm}^{-3}\text{]}$	66,0991		
$V_v \text{ [cm}^{-3}\text{]}$	0,17		
$V_\delta \text{ [cm}^{-3}\text{]}$	0,0026		
$\rho \text{ [g}\cdot\text{cm}^{-3}\text{]}$	0,63314		
$\rho_v \text{ [g}\cdot\text{cm}^{-3}\text{]}$	0,0017		
$\rho_\delta \text{ [g}\cdot\text{cm}^{-3}\text{]}$	0,0026		

Hrušeň obecná			
$w = 21,9 \text{ [%]}$			
$m = 40,57 \text{ [g]}$			
č.m.	tloušťka [mm]	šířka [mm]	délka [mm]
1.	13,21	48,32	100,33
2.	13,19	48,51	100,4
3.	13,41	48,59	100,58
4.	13,46	48,69	100,39
5.	13,08	48,73	100,32
6.	13,33	48,9	100,47
7.	13,24	48,79	100,27
8.	13,01	48,48	100,1
9.	13,15	48,44	100,19
10.	12,99	48,34	100,3
průměrná h.	13,21	48,58	100,34
$v \text{ [mm]}$	0,03	0,04	0,03
$\delta \text{ [mm]}$	0,003	0,001	0,0003
$V \text{ [cm}^{-3}\text{]}$	64,3732		
$V_v \text{ [cm}^{-3}\text{]}$	0,17		
$V_\delta \text{ [cm}^{-3}\text{]}$	0,0027		
$\rho \text{ [g}\cdot\text{cm}^{-3}\text{]}$	0,630231		
$\rho_v \text{ [g}\cdot\text{cm}^{-3}\text{]}$	0,0017		
$\rho_\delta \text{ [g}\cdot\text{cm}^{-3}\text{]}$	0,0027		

Hrušeň obecná			
$w = 18 \text{ [\%]}$			
$m = 39,18 \text{ [g]}$			
č.m.	tloušťka [mm]	šířka [mm]	délka [mm]
1.	13,14	47,82	100,29
2.	13,12	47,97	100,36
3.	13,3	48,11	100,54
4.	13,36	48,19	100,35
5.	13,01	48,24	100,29
6.	13,27	48,37	100,43
7.	13,13	48,26	100,22
8.	12,91	47,93	100,07
9.	13,09	47,89	100,14
10.	12,92	47,82	100,26
průměrná h.	13,13	48,06	100,3
$v \text{ [mm]}$	0,03	0,04	0,03
$\delta \text{ [mm]}$	0,002	0,001	0,0003
$V \text{ [cm}^{-3}\text{]}$	63,2648		
$V_v \text{ [cm}^{-3}\text{]}$	0,17		
$V_\delta \text{ [cm}^{-3}\text{]}$	0,0026		
$\rho \text{ [g}\cdot\text{cm}^{-3}\text{]}$	0,619301		
$\rho_v \text{ [g}\cdot\text{cm}^{-3}\text{]}$	0,0016		
$\rho_\delta \text{ [g}\cdot\text{cm}^{-3}\text{]}$	0,0026		

Hrušeň obecná			
$w = 15,1 \text{ [\%]}$			
$m = 38,03 \text{ [g]}$			
č.m.	tloušťka [mm]	šířka [mm]	délka [mm]
1.	13,07	47,36	100,23
2.	13,03	47,53	100,32
3.	13,23	47,67	100,51
4.	13,3	47,74	100,3
5.	12,95	47,77	100,26
6.	13,2	47,95	100,4
7.	13,08	47,82	100,18
8.	12,84	47,48	100,03
9.	13,03	47,43	100,1
10.	12,85	47,34	100,22
průměrná h.	13,06	47,61	100,26
$v \text{ [mm]}$	0,03	0,04	0,03
$\delta \text{ [mm]}$	0,002	0,001	0,0003
$V \text{ [cm}^{-3}\text{]}$	62,3264		
$V_v \text{ [cm}^{-3}\text{]}$	0,17		
$V_\delta \text{ [cm}^{-3}\text{]}$	0,0027		
$\rho \text{ [g}\cdot\text{cm}^{-3}\text{]}$	0,610175		
$\rho_v \text{ [g}\cdot\text{cm}^{-3}\text{]}$	0,0016		
$\rho_\delta \text{ [g}\cdot\text{cm}^{-3}\text{]}$	0,0027		

Hrušeň obecná			
w = 12,2 [%]			
m = 36,85 [g]			
č.m.	tloušťka [mm]	šířka [mm]	délka [mm]
1.	12,97	46,95	100,19
2.	12,94	47,13	100,28
3.	13,15	47,22	100,47
4.	13,22	47,36	100,25
5.	12,88	47,34	100,23
6.	13,13	47,57	100,37
7.	13,01	47,43	100,14
8.	12,79	47,09	100
9.	12,96	47,04	99,98
10.	12,76	46,89	100,18
průměrná h.	12,98	47,2	100,21
v [mm]	0,03	0,05	0,03
δ [mm]	0,002	0,001	0,0003
$V [\text{cm}^{-3}]$	61,401		
$V_v [\text{cm}^{-3}]$	0,16		
$V_\delta [\text{cm}^{-3}]$	0,0027		
$\rho [\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}]$	0,600153		
$\rho_v [\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}]$	0,0016		
$\rho_\delta [\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}]$	0,0027		

Hrušeň obecná			
w = 8,1 [%]			
m = 35,21 [g]			
č.m.	tloušťka [mm]	šířka [mm]	délka [mm]
1.	12,88	46,51	100,15
2.	12,86	46,65	100,23
3.	13,06	46,79	100,44
4.	13,13	46,87	100,21
5.	12,8	46,85	100,2
6.	13,04	47,11	100,33
7.	12,92	46,96	100,11
8.	12,7	46,63	99,97
9.	12,87	46,54	99,94
10.	12,66	46,43	100,14
průměrná h.	12,89	46,73	100,17
v [mm]	0,03	0,05	0,03
δ [mm]	0,002	0,001	0,0003
$V [\text{cm}^{-3}]$	60,3531		
$V_v [\text{cm}^{-3}]$	0,16		
$V_\delta [\text{cm}^{-3}]$	0,0027		
$\rho [\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}]$	0,5834		
$\rho_v [\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}]$	0,0016		
$\rho_\delta [\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}]$	0,0027		

Hrušeň obecná			
$w = 2,8 \text{ [\%]}$			
$m = 32,35 \text{ [g]}$			
č.m.	tloušťka [mm]	šířka [mm]	délka [mm]
1.	12,79	46,01	100,1
2.	12,78	46,19	100,18
3.	12,97	46,29	100,4
4.	13,07	46,39	100,16
5.	12,69	46,35	100,17
6.	12,96	46,66	100,29
7.	12,82	46,52	100,07
8.	12,63	46,12	99,92
9.	12,77	46,08	99,9
10.	12,58	45,92	100,1
průměrná h.	12,81	46,25	100,13
$v \text{ [mm]}$	0,03	0,05	0,03
$\delta \text{ [mm]}$	0,003	0,0011	0,0003
$V \text{ [cm}^{-3}\text{]}$	59,308		
$V_v \text{ [cm}^{-3}\text{]}$	0,17		
$V_\delta \text{ [cm}^{-3}\text{]}$	0,0028		
$\rho \text{ [g}\cdot\text{cm}^{-3}\text{]}$	0,545458		
$\rho_v \text{ [g}\cdot\text{cm}^{-3}\text{]}$	0,0015		
$\rho_\delta \text{ [g}\cdot\text{cm}^{-3}\text{]}$	0,0028		

[9] Topol - naměřené hodnoty

Topol			
$w = 28,9 \text{ [\%]}$			
$m = 31,02 \text{ [g]}$			
č.m.	tloušťka [mm]	šířka [mm]	délka [mm]
1.	13,28	49,44	99,61
2.	13,11	49,47	99,87
3.	13,22	49,45	99,65
4.	13,25	49,31	99,76
5.	13,31	49,26	99,73
6.	13,15	49,33	99,87
7.	13,28	49,52	99,81
8.	13,14	49,55	99,72
9.	13,17	49,21	99,68
10.	13,23	49,47	99,62
průměrná h.	13,21	49,4	99,73
$v \text{ [mm]}$	0,01	0,02	0,02
$\delta \text{ [mm]}$	0,001	0,0005	0,0002
$V \text{ [cm}^{-3}\text{]}$	65,1035		
$V_v \text{ [cm}^{-3}\text{]}$	0,08		
$V_\delta \text{ [cm}^{-3}\text{]}$	0,0012		
$\rho \text{ [g}\cdot\text{cm}^{-3}\text{]}$	0,476472		
$\rho_v \text{ [g}\cdot\text{cm}^{-3}\text{]}$	0,0006		
$\rho_\delta \text{ [g}\cdot\text{cm}^{-3}\text{]}$	0,0013		

Topol			
$w = 21,8 \text{ [\%]}$			
$m = 28,92 \text{ [g]}$			
č.m.	tloušťka [mm]	šířka [mm]	délka [mm]
1.	13,06	48,76	99,56
2.	12,97	48,79	99,81
3.	13,08	48,78	99,59
4.	13,11	48,62	99,71
5.	13,17	48,53	99,68
6.	13,02	48,61	99,81
7.	13,13	48,83	99,86
8.	12,99	48,89	99,67
9.	13,03	48,49	99,64
10.	13,09	48,87	99,57
průměrná h.	13,07	48,72	99,69
$v \text{ [mm]}$	0,01	0,03	0,02
$\delta \text{ [mm]}$	0,001	0,001	0,0002
$V \text{ [cm}^{-3}\text{]}$	63,4514		
$V_v \text{ [cm}^{-3}\text{]}$	0,08		
$V_\delta \text{ [cm}^{-3}\text{]}$	0,0012		
$\rho \text{ [g}\cdot\text{cm}^{-3}\text{]}$	0,455782		
$\rho_v \text{ [g}\cdot\text{cm}^{-3}\text{]}$	0,0006		
$\rho_\delta \text{ [g}\cdot\text{cm}^{-3}\text{]}$	0,0013		

Topol			
w = 18,1 [%]			
m = 28,03 [g]			
č.m.	tloušťka [mm]	šířka [mm]	délka [mm]
1.	12,95	48,21	99,51
2.	12,85	48,23	99,78
3.	12,97	48,25	99,67
4.	13,01	48,08	99,55
5.	13,05	47,97	99,63
6.	12,91	48,07	99,78
7.	13,01	48,18	99,82
8.	12,86	48,26	99,61
9.	12,92	47,93	99,6
10.	12,97	48,31	99,55
průměrná h.	12,95	48,15	99,65
v [mm]	0,01	0,03	0,02
δ [mm]	0,001	0,001	0,0002
V [cm ⁻³]	62,1347		
V _v [cm ⁻³]	0,08		
V _δ [cm ⁻³]	0,0012		
ρ [g·cm ⁻³]	0,451117		
ρ _v [g·cm ⁻³]	0,0006		
ρ _δ [g·cm ⁻³]	0,0013		

Topol			
w = 15 [%]			
m = 27,29 [g]			
č.m.	tloušťka [mm]	šířka [mm]	délka [mm]
1.	12,87	47,78	99,48
2.	12,74	47,81	99,73
3.	12,88	47,82	99,62
4.	12,89	47,63	99,53
5.	12,87	47,47	99,59
6.	12,82	47,65	99,75
7.	12,92	47,74	99,78
8.	12,78	47,79	99,56
9.	12,83	47,48	99,54
10.	12,88	47,84	99,53
průměrná h.	12,85	47,7	99,61
v [mm]	0,01	0,03	0,02
δ [mm]	0,001	0,001	0,0002
V [cm ⁻³]	61,0478		
V _v [cm ⁻³]	0,07		
V _δ [cm ⁻³]	0,0011		
ρ [g·cm ⁻³]	0,447026		
ρ _v [g·cm ⁻³]	0,0005		
ρ _δ [g·cm ⁻³]	0,0012		

Topol			
w = 11,9 [%]			
m = 26,56 [g]			
č.m.	tloušťka [mm]	šířka [mm]	délka [mm]
1.	12,76	47,27	99,46
2.	12,65	47,29	99,68
3.	12,76	47,31	99,59
4.	12,8	47,08	99,49
5.	12,78	46,97	99,57
6.	12,71	47,11	99,72
7.	12,83	47,16	99,75
8.	12,69	47,18	99,52
9.	12,74	46,98	99,51
10.	12,77	47,33	99,49
průměrná h.	12,75	47,17	99,58
v [mm]	0,01	0,03	0,02
δ [mm]	0,001	0,001	0,0002
V [cm ⁻³]	59,8807		
V _v [cm ⁻³]	0,07		
V _δ [cm ⁻³]	0,0011		
ρ [g·cm ⁻³]	0,443548		
ρ _v [g·cm ⁻³]	0,0005		
ρ _δ [g·cm ⁻³]	0,0011		

Topol			
w = 8 [%]			
m = 25,62 [g]			
č.m.	tloušťka [mm]	šířka [mm]	délka [mm]
1.	12,65	46,76	99,43
2.	12,53	46,81	99,65
3.	12,54	46,73	99,56
4.	12,69	46,64	99,45
5.	12,67	46,49	99,53
6.	12,61	46,63	99,68
7.	12,72	46,69	99,71
8.	12,57	46,71	99,48
9.	12,62	46,53	99,47
10.	12,65	46,84	99,45
průměrná h.	12,63	46,68	99,54
v [mm]	0,01	0,02	0,02
δ [mm]	0,001	0,001	0,0002
V [cm ⁻³]	58,6668		
V _v [cm ⁻³]	0,07		
V _δ [cm ⁻³]	0,0012		
ρ [g·cm ⁻³]	0,436704		
ρ _v [g·cm ⁻³]	0,0005		
ρ _δ [g·cm ⁻³]	0,0013		

Topol			
$w = 2,2 \text{ [\%]}$			
$m = 23,98 \text{ [g]}$			
č.m.	tloušťka [mm]	šířka [mm]	délka [mm]
1.	12,54	46,19	99,38
2.	12,42	46,25	99,61
3.	12,44	46,16	99,52
4.	12,59	46,05	99,41
5.	12,55	45,93	99,48
6.	12,52	46,07	99,66
7.	12,63	46,11	99,68
8.	12,45	46,16	99,46
9.	12,51	45,97	99,42
10.	12,53	46,43	99,41
průměrná h.	12,52	46,13	99,5
$v \text{ [mm]}$	0,01	0,03	0,02
$\delta \text{ [mm]}$	0,001	0,001	0,0002
$V \text{ [cm}^{-3}\text{]}$	57,461		
$V_v \text{ [cm}^{-3}\text{]}$	0,08		
$V_\delta \text{ [cm}^{-3}\text{]}$	0,0013		
$\rho \text{ [g}\cdot\text{cm}^{-3}\text{]}$	0,417326		
$\rho_v \text{ [g}\cdot\text{cm}^{-3}\text{]}$	0,0006		
$\rho_\delta \text{ [g}\cdot\text{cm}^{-3}\text{]}$	0,0014		

[10] Lípa - naměřené hodnoty

Lípa			
$w = 29,2 \text{ [%]}$			
$m = 36,62 \text{ [g]}$			
č.m.	tloušťka [mm]	šířka [mm]	délka [mm]
1.	14,14	48,86	100,89
2.	14,28	48,98	100,94
3.	14,51	49,11	101,12
4.	14,72	48,43	101,18
5.	14,66	48,72	101,22
6.	14,73	48,88	101,16
7.	14,49	48,62	101,14
8.	14,58	48,55	101,11
9.	14,32	48,39	101,23
10.	14,41	48,47	101,17
průměrná h.	14,48	48,7	101,12
$v \text{ [mm]}$	0,04	0,05	0,02
$\delta \text{ [mm]}$	0,003	0,001	0,0002
$V \text{ [cm}^3\text{]}$	71,3257		
$V_v \text{ [cm}^3\text{]}$	0,22		
$V_\delta \text{ [cm}^3\text{]}$	0,0031		
$\rho \text{ [g}\cdot\text{cm}^{-3}\text{]}$	0,513419		
$\rho_v \text{ [g}\cdot\text{cm}^{-3}\text{]}$	0,0016		
$\rho_\delta \text{ [g}\cdot\text{cm}^{-3}\text{]}$	0,0031		

Lípa			
$w = 21,7 \text{ [%]}$			
$m = 34,59 \text{ [g]}$			
č.m.	tloušťka [mm]	šířka [mm]	délka [mm]
1.	13,96	48,08	100,84
2.	14,11	48,17	100,89
3.	14,36	48,32	101,08
4.	14,54	47,65	101,14
5.	14,58	47,91	101,17
6.	14,56	48,11	101,11
7.	14,32	47,84	101,09
8.	14,41	47,76	101,07
9.	14,14	47,61	101,19
10.	14,25	47,67	101,14
průměrná h.	14,32	47,91	101,07
$v \text{ [mm]}$	0,04	0,05	0,02
$\delta \text{ [mm]}$	0,003	0,001	0,0002
$V \text{ [cm}^3\text{]}$	69,36		
$V_v \text{ [cm}^3\text{]}$	0,23		
$V_\delta \text{ [cm}^3\text{]}$	0,0033		
$\rho \text{ [g}\cdot\text{cm}^{-3}\text{]}$	0,498702		
$\rho_v \text{ [g}\cdot\text{cm}^{-3}\text{]}$	0,0016		
$\rho_\delta \text{ [g}\cdot\text{cm}^{-3}\text{]}$	0,0033		

Lípa			
$w = 17,9 \text{ [\%]}$			
$m = 33,51 \text{ [g]}$			
č.m.	tloušťka [mm]	šířka [mm]	délka [mm]
1.	13,87	47,55	100,79
2.	14,03	47,68	100,85
3.	14,25	47,79	101,05
4.	14,42	47,14	101,11
5.	14,45	47,37	101,12
6.	14,47	47,64	101,07
7.	14,21	47,29	101,06
8.	14,32	47,22	101,03
9.	14,03	47,08	101,15
10.	14,16	47,12	101,11
průměrná h.	14,22	47,39	101,03
$v \text{ [mm]}$	0,04	0,05	0,03
$\delta \text{ [mm]}$	0,003	0,001	0,0002
$V \text{ [cm}^3\text{]}$	68,0873		
$V_v \text{ [cm}^3\text{]}$	0,22		
$V_\delta \text{ [cm}^3\text{]}$	0,0032		
$\rho \text{ [g}\cdot\text{cm}^{-3}\text{]}$	0,492162		
$\rho_v \text{ [g}\cdot\text{cm}^{-3}\text{]}$	0,0016		
$\rho_\delta \text{ [g}\cdot\text{cm}^{-3}\text{]}$	0,0032		

Lípa			
$w = 14,8 \text{ [\%]}$			
$m = 32,69 \text{ [g]}$			
č.m.	tloušťka [mm]	šířka [mm]	délka [mm]
1.	13,79	47,08	100,77
2.	13,94	47,22	100,81
3.	14,16	47,32	101,01
4.	14,34	46,65	101,07
5.	14,36	46,91	101,08
6.	14,38	47,18	101,04
7.	14,13	46,82	101,02
8.	14,21	46,74	100,99
9.	13,94	46,64	101,11
10.	14,08	46,67	101,07
průměrná h.	14,13	46,92	101
$v \text{ [mm]}$	0,04	0,05	0,02
$\delta \text{ [mm]}$	0,003	0,001	0,0002
$V \text{ [cm}^3\text{]}$	66,9774		
$V_v \text{ [cm}^3\text{]}$	0,21		
$V_\delta \text{ [cm}^3\text{]}$	0,0032		
$\rho \text{ [g}\cdot\text{cm}^{-3}\text{]}$	0,488075		
$\rho_v \text{ [g}\cdot\text{cm}^{-3}\text{]}$	0,0016		
$\rho_\delta \text{ [g}\cdot\text{cm}^{-3}\text{]}$	0,0032		

Lípa			
$w = 11,9 \text{ [%]}$			
$m = 31,84 \text{ [g]}$			
č.m.	tloušťka [mm]	šířka [mm]	délka [mm]
1.	13,72	46,64	100,73
2.	13,86	46,76	100,78
3.	14,08	46,85	100,97
4.	14,25	46,17	101,03
5.	14,28	46,43	101,05
6.	14,29	46,73	101,01
7.	14,06	46,35	100,99
8.	14,14	46,26	100,96
9.	13,86	46,16	101,07
10.	14,01	46,18	101,03
průměrná h.	14,06	46,45	100,96
$v \text{ [mm]}$	0,04	0,06	0,02
$\delta \text{ [mm]}$	0,003	0,001	0,0002
$V \text{ [cm}^{-3}\text{]}$	65,9178		
$V_v \text{ [cm}^{-3}\text{]}$	0,21		
$V_\delta \text{ [cm}^{-3}\text{]}$	0,0032		
$\rho \text{ [g}\cdot\text{cm}^{-3}\text{]}$	0,483026		
$\rho_v \text{ [g}\cdot\text{cm}^{-3}\text{]}$	0,0015		
$\rho_\delta \text{ [g}\cdot\text{cm}^{-3}\text{]}$	0,0032		

Lípa			
$w = 8,1 \text{ [%]}$			
$m = 30,65 \text{ [g]}$			
č.m.	tloušťka [mm]	šířka [mm]	délka [mm]
1.	13,61	46,13	100,68
2.	13,74	46,24	100,73
3.	13,97	46,33	100,93
4.	14,13	45,65	100,99
5.	14,14	45,92	101,01
6.	14,17	46,2	100,97
7.	13,95	45,83	100,95
8.	14,03	45,73	100,93
9.	13,75	45,62	101,04
10.	13,89	45,65	100,99
průměrná h.	13,94	45,93	100,92
$v \text{ [mm]}$	0,04	0,06	0,03
$\delta \text{ [mm]}$	0,003	0,001	0,0003
$V \text{ [cm}^{-3}\text{]}$	64,6075		
$V_v \text{ [cm}^{-3}\text{]}$	0,2		
$V_\delta \text{ [cm}^{-3}\text{]}$	0,0031		
$\rho \text{ [g}\cdot\text{cm}^{-3}\text{]}$	0,474403		
$\rho_v \text{ [g}\cdot\text{cm}^{-3}\text{]}$	0,0015		
$\rho_\delta \text{ [g}\cdot\text{cm}^{-3}\text{]}$	0,0032		

Lípa			
$w = 3,2 \text{ [%]}$			
$m = 28,72 \text{ [g]}$			
č.m.	tloušťka [mm]	šířka [mm]	délka [mm]
1.	13,49	45,42	100,63
2.	13,61	45,56	100,68
3.	13,86	45,65	100,89
4.	14,02	44,93	100,94
5.	14,04	45,21	100,97
6.	14,06	45,19	100,92
7.	13,83	45,11	100,91
8.	13,91	45,01	100,89
9.	13,63	44,94	101,01
10.	13,77	44,97	100,95
průměrná h.	13,82	45,2	100,88
$v \text{ [mm]}$	0,04	0,06	0,03
$\delta \text{ [mm]}$	0,003	0,001	0,0003
$V \text{ [cm}^{-3}\text{]}$	63,0232		
$V_v \text{ [cm}^{-3}\text{]}$	0,2		
$V_\delta \text{ [cm}^{-3}\text{]}$	0,0032		
$\rho \text{ [g}\cdot\text{cm}^{-3}\text{]}$	0,455705		
$\rho_v \text{ [g}\cdot\text{cm}^{-3}\text{]}$	0,0015		
$\rho_\delta \text{ [g}\cdot\text{cm}^{-3}\text{]}$	0,0033		