

Česká zemědělská univerzita Praze

Fakulta lesnická a dřevařská

Katedra základního zpracování dřeva



Vliv technologických faktorů na tvrdost dřeva

Diplomová práce

Autor: Bc. Lenka Šafaříková

Vedoucí práce: Ing. Miroslav Gašparík, PhD.

2016

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Fakulta lesnická a dřevařská

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Bc. Lenka Šafaříková

Dřevařské inženýrství

Název práce

Vliv technologických faktorů na tvrdost dřeva

Název anglicky

Influence of technological factors on the hardness of wood

Cíle práce

Cílem práce je experimentální zkoumání vlivu stanovených faktorů (druh dřeviny, tloušťka materiálu, zhuštění) na tvrdost dřeva.

Metodika

Metodiku práce je možné rozdělit do následujících základních bodů:

1. Zpracování literární rešerše o způsobech modifikace dřeva a o faktorech ovlivňujících jejich vlastnosti.
2. Příprava, třídění a značení zkušebních těles.
3. Stanovení základních fyzikálních vlastností bukového a osikového dřeva (hustota a vlhkost).
4. Experimentální zjišťování vlivu vybraných faktorů na tvrdost.
5. Statistické zpracování výsledků v textové, tabulkové a grafické podobě.
6. Diskuze a závěry.

Doporučený rozsah práce

55-65

Klíčová slova

tvrdost, buk, osika, tloušťka materiálu, zhuštění, hustota

Doporučené zdroje informací

- BODIG, J., JAYNE, B. A. Mechanics of Wood and Wood Composites. Van Nostrand Reinhold Company New York, Cincinnati, Toronto, London, Melbourne, 1982, 712 s.
- BODNÁROVÁ, L. Kompozitní materiály ve stavebnictví. Vysoké učení technické v Brně, 2002, 122 s.
- KAFKA, E., COUFAL, R., DRAHOŠ, V. ČERMÁK, J. 1989. Dřevářská Příručka, I. část, Praha, SNTL, 483 s.
- KRÁL, P., HRÁZSKÝ, J. Kompozitní materiály na bázi dřeva. Část 2: Dýhy a vrstvené masivní materiály. Mendelova zemědělská a lesnická univerzita, 2006, 168 s.
- KUKLÍK, P., MELZEROVÁ, L. Kompozitní materiály na bázi dřeva. ČVUT Praha, 2011, 76 s.
- MAHŮT, J., RÉH, R., VÍGLASKÝ, J. Kompozitné drevné materiály, Časť I.: Dýhy a preglejované výrobky. Technická univerzita vo Zvolene, 1997, 264 s.
- NOVOTNÝ, J., TOBOLKA, Z. Stavební materiály : určeno pro stud. fak. stavební. Praha: ČVUT, 1991.
- POŽGAJ, A., CHOVANEC, D., KURJATKO, S., BABIAK, M. (1997). Štruktúra a vlastnosti dreva, Bratislava: Príroda a. s., 485 s.
- ŠTEFKA, V. Kompozitné drevné materiály. Časť II., Technológia aglomerovaných materiálov. Zvolen: Technická univerzita, 2002, 170 s.
-

Předběžný termín obhajoby

2015/16 LS – FLD

Vedoucí práce

Ing. Miroslav Gašparík, PhD.

Garantující pracoviště

Katedra základního zpracování dřeva

Konzultant

doc. Ing. Milan Gaff, PhD.

Elektronicky schváleno dne 20. 11. 2015

doc. Ing. Milan Gaff, Ph.D.

Vedoucí katedry

Elektronicky schváleno dne 19. 12. 2015

prof. Ing. Marek Turčáni, PhD.

Děkan

V Praze dne 18. 04. 2016

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci na téma *Vliv technologických faktorů na tvrdost dřeva* vypracovala samostatně pod vedením Ing. Miroslava Gašparíka, PhD. a použila jen prameny, které uvádím.

Jsem si vědoma, že zveřejněním diplomové práce souhlasím s jejím zveřejněním dle zákona č.111/1998 Sb. O vysokých školách v platném znění, a to bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Praze dne:

.....

Bc. Lenka Šafaříková

PODĚKOVÁNÍ:

Touto cestou bych chtěla poděkovat vedoucímu práce Ing. Miroslavu Gašparíkovi, PhD. za vstřícnost, odborné vedení a poskytnutí cenných informací při zpracování této diplomové práce. Dále bych chtěla poděkovat Vojtěchu Vokatému za poskytnutí zkušebních těles a v neposlední řadě děkuji své rodině za podporu a trpělivost během celého studia.

Abstrakt

V diplomové práci byl zjišťován vliv vybraných faktorů (dřevina, tloušťka, zhuštění) na tvrdost dřeva. Měření tvrdosti proběhlo metodou podle Brinella na zkušebních tělesech ze dvou druhů dřevin a naměřené hodnoty byly zpracovány do statistických grafů. Cílem práce bylo posoudit změnu a velikost statické tvrdosti v závislosti na působení zmiňovaných faktorů. Z experimentu vyplývá, že s mírou zhuštění dřeva roste i jeho tvrdost. Tato skutečnost platí pro oba zkoumané druhy, kterými je buk lesní, představitel tvrdého dřeva a topol osika, jako zástupce měkkých dřevin.

Klíčová slova: tvrdost, buk, osika, tloušťka materiálu, zhuštění, hustota,

Abstract

Focus of the diploma thesis is to investigate the influence of the selected factors (type of wood, thickness, densification) on the wood hardness. For the experimental measurements the Brinell hardness test method was used. The hardness measurements were performed on the specimens made from two different types of wood. Obtained results were statistically analyzed into the graphs. The main goal of the thesis was to determine the change in the static hardness in dependence on the previously mentioned factors. From the experimental data it can be seen that the wood hardness increases with the higher degree of densification. This phenomenon applies to both investigated wood materials which are European beech (*Fagus sylvatica*) - hardwood specimen and European aspen (*Populus tremula*) - softwood specimen.

Keywords: hardness, beech (fagus), aspen (populus), material thickness, densification density

Obsah

1	ÚVOD	10
2	CÍL PRÁCE	11
3	LITERÁRNÍ PŘEHLED.....	12
3.1	DŘEVO JAKO PŘÍRODNÍ MATERIÁL	12
3.1.1	MAKROSKOPICKÉ ZNAKY	14
3.1.2	MIKROSKOPICKÉ ZNAKY	21
3.2	DŘEVO JAKO STAVEBNÍ MATERIÁL	28
3.3	VLASTNOSTI DŘEVA.....	30
3.3.1	FYZIKÁLNÍ VLASTNOSTI DŘEVA	32
3.3.2	MECHANICKÉ VLASTNOSTI DŘEVA	38
3.4	CHARAKTERISTIKA VYBRANÝCH ZKOUŠEK TVRDOSTI.....	44
3.4.1	ZKOUŠKA TVRDOSTI PODLE JANKA	44
3.4.2	ZKOUŠKA TVRDOSTI PODLE ROCKWELLA	45
3.4.3	ZKOUŠKA TVRDOSTI PODLE VICKERSE	47
3.4.4	ZKOUŠKA TVRDOSTI PODLE BRINELLA	49
4	METODIKA DIPLOMOVÉ PRÁCE.....	53
4.1	VLASTNOSTI MATERIÁLU	53
4.1.1	TOPOL OSIKA	54
4.1.2	BUK LESNÍ.....	54
4.2	ROZMĚRY MATERIÁLU.....	54
4.3	ZHUŠTĚNÍ MATERIÁLU.....	55
5	METODIKA EXPERIMENTÁLNÍ PRÁCE.....	57
5.1	VÝROBA ZKUŠEBNÍCH TĚLES.....	57
5.2	ZNAČENÍ TĚLES	59
5.3	MĚŘENÍ TĚLES	61
5.3.1	METODA MĚŘENÍ	61
5.3.2	TVRDOMĚR	63
5.3.3	POSTUP MĚŘENÍ.....	65
6	VÝSLEDKY	68
7	ZÁVĚR.....	76
8	LITERÁRNÍ ZDROJE	77

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1 Základní stavba dřeva na příčném řezu.....	12
Obr. 2 Schematické znázornění základních řezů dřeva.....	14
Obr. 3 Textura letokruhů na příčném řezu kmene.....	15
Obr. 4 Typy uložení cév na příčném řezu.....	16
Obr. 5 Struktura zvrásněné a hladké kůry.....	19
Obr. 6 Základní anatomické směry ve dřevě.....	22
Obr. 7 Mikroskopická stavba buněčné stěny.....	22
Obr. 8 Anatomická struktura jehličnatých dřevin.....	23
Obr. 9 Pryskyřičný kanálek.....	24
Obr. 10 Anatomická struktura listnatých dřevin.....	25
Obr. 11 Dřevo jako stavební materiál – hranoly.....	29
Obr. 12 Pevnost dřeva v závislosti na směru vláken.....	30
Obr. 13 Pracovní diagram.....	39
Obr. 14 Model zkoušky tvrdosti dřeva dle Janka.....	44
Obr. 15 Průběh Rockwellovy zkoušky.....	46
Obr. 16 Princip měření HRC tvrdosti.....	47
Obr. 17 Vickersův čtyřboký jehlan a znázornění jeho vtisku.....	47
Obr. 18 Typy vtisku Vickersovým indentorem.....	48
Obr. 19 Brinellova zkouška tvrdosti – tvar a obrys tělíska.....	49
Obr. 20 Model Brinellovy zkoušky tvrdosti.....	50
Obr. 21 Průběh Brinellovy zkoušky tvrdosti.....	50
Obr. 22 Brinellova stupnice tvrdosti v kg/cm ²	51
Obr. 23 Tloušťka a šířka těles v mm.....	55
Obr. 24 Schéma pořezu.....	57
Obr. 25 Zkušební tělesa (buk lesní).....	58
Obr. 26 Značení zkušebního tělesa.....	59
Obr. 27 Princip Brinellovy zkoušky.....	62
Obr. 28 Tvrdoměr DuraVision 30 společnosti Struers.....	63
Obr. 29 Přesnost měření tvrdoměru DuraVision.....	64
Obr. 30 Měřicí hlava tvrdoměru DuraVision.....	64
Obr. 31 Zkouška tvrdosti.....	65
Obr. 32 Průběh zkoušky tvrdosti vtiskem.....	66
Obr. 33 Grafické znázornění pracovního postupu.....	66
Obr. 34 Porušené místo zkušebního tělesa.....	74

SEZNAM TABULEK

Tab. 1 Rozdělení dřevin podle hustoty při vlhkosti dřeva 12%	36
Tab. 2 Zjednodušené dělení tvrdosti dřeva	42
Tab. 3 Dělení tvrdosti dřeva dle Janka	45
Tab. 4 Tvrdost dřevin dle Brinellovy stupnice tvrdosti	52
Tab. 5 Počet bukových zkušebních těles	60
Tab. 6 Počet osikových zkušebních těles	60
Tab. 7 Trojfaktorová analýza rozptylu tvrdosti	68
Tab. 8 Hodnoty tvrdostí naměřené vlastní zkouškou dle Brinellovy metody	75

SEZNAM GRAFŮ

Graf. 1 Závislost tvrdosti na druhu dřeviny	69
Graf. 2 Závislost tvrdosti na tloušťce	70
Graf. 3 Zobrazení závislost tvrdostí jednotlivých druhů dřevin na tloušťce	71
Graf. 4 Závislost tvrdosti na zhuštění	71
Graf. 5 Závislost tvrdostí obou druhů dřevin na míře zhuštění	72
Graf. 6 Závislost tvrdostí na tloušťce i míře zhuštění	73
Graf. 7 Závislost tvrdostí obou druhů dřevin na všech faktorech	73

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK

F – působící síla [N]

P – lisovací tlak [MPa]

S – plocha, na kterou působí síla [mm²]

α – opravný koeficient

w – absolutní vlhkost [%]

σ – napětí při namáhání v tahu [Pa]

H – tvrdost [MPa]

1 ÚVOD

V poslední době neustále stoupá popularita dřevěných materiálů, kdy se objevují buď zcela v přírodní formě, nebo ve výrobně upravené podobě. Díky prohlubování znalostí o struktuře dřeva, složení a jeho vlastnostech, se vyvíjí a roste technologie zpracování a zdokonaluje se postup výroby. Veškeré studie a výzkumy dávají vznik novým materiálům na bázi dřeva, které se snaží zachovat výjimečné vlastnosti přírodního dřeva a eliminovat nebo nahradit ty špatné. Dochází tak k většímu využití dřeva v nejrůznějších oborech.

Diplomová práce je zaměřena na jednu z důležitých mechanických vlastností dřeva, kterou je tvrdost. Ovlivňuje způsob a možnosti využití tohoto materiálu. Originalita každého kousku dřeva, způsobená vlivem mnoha faktorů, dává tvrdosti proměnlivý charakter (není konstantní hodnotou). Dřevo patří k nejstarším používaným materiálům vůbec, proto existuje řada experimentů a zkoušek. Avšak kvůli jedinečnosti každého druhu dřeviny a působení různých činitelů, vzniká velká variabilita výsledků. Z tohoto důvodu musí být u každého měření uvedeny okolní podmínky.

Mezi hlavní faktory se řadí rozhodně prostředí a stanoviště, ve kterém dřevina roste, protože na vývoj struktury a chemického složení dřeva se významně podílejí klimatické podmínky, především vlhkost. Ta v návaznosti na tento fakt ovlivňuje i zmiňovanou tvrdost. Další kolísavou hodnotou je hustota každé dřeviny, která je závislá na předešlých skutečnostech a znatelně působí na velikost tvrdosti. Na seznamu vlivných faktorů má také odrážku druh dřeviny, dále vady ve vývoji způsobené prostředím i technologická úprava dřeva.

Všechny zmíněné záležitosti jsou vzájemně propojeny a vytváří tak přírodní surovinu, která je i přes některé nežádoucí stránky velmi oblíbenou. Odlišné charakteristiky jednotlivých dřevin dávají naopak možnost volby ze široké škály estetických znaků (barevné odstíny, struktura vláken) a mechanických funkcí (tvrdost, pružnost).

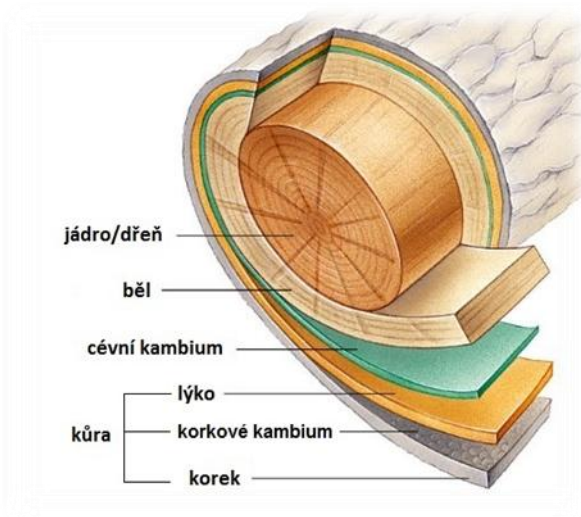
2 CÍL PRÁCE

Cílem této závěrečné práce je změření statické tvrdosti dřevěných zkušebních těles různé charakteristiky (druh dřeviny, tloušťka a zhuštění) metodou podle Brinella a vzájemné posouzení výsledných hodnot. Výstupem experimentálního měření bude statistické vyhodnocení výsledků v podobě grafů, které znázorní závislost změn tvrdosti na jednotlivých působících faktorech, a to samostatně i v jejich vzájemné kombinaci.

3 LITERÁRNÍ PŘEHLED

3.1 DŘEVO JAKO PŘÍRODNÍ MATERIÁL

Dřevo je přírodní materiál, který představuje složitý komplex makromolekulárních látek. Pojem dřevo se v podstatě používá pro sekundární xylém stonků a kořenů rostlin, produkovaný mnoho let. Odtud tyto rostliny nazýváme jako dřeviny. Vznikají činností živých buněk, uložené mezi dřevem a kůrou. Tyto živé buňky (tzv. *kambium*) jsou speciálním dělivým pletivem, které směrem dovnitř vyvíjí sekundární dřevo a vně sekundární lýko (kůru). Dochází tak k tloušťnutí stonků a to tím způsobem, že směrem dovnitř se buňky dělí mnohem rychleji než směrem ven, a proto i dřevo ve srovnání s kůrou má rychlejší vývoj. [1]



Obr. 1: Základní stavba dřeva na příčném řezu

Veškerá produkce dřevní hmoty je závislá na okolních podmínkách. V našem klimatickém podnebí má vliv na tvorbu buněk střídání ročních období. Činnost kambia se zastavuje s příchodem zimy a obnovuje se opět na jaře. Důsledkem toho je vznik letokruhů. Tento periodický jev má za následek to, že dochází k vývoji jarního (světlejší a měkčí část letokruhu) a letního (tmavší a tvrdší část letokruhu) dřeva. Mají také rozdílnou úlohu – jarní dřevo zajišťuje vedení látek, zatímco letní dřevo plní funkci mechanickou. Obvykle vzniká během jednoho roku jeden letokruh, ale rozhodně to není pravidlem, a samozřejmě s tloušťkou kmene roste i jeho výška. [2]

Buňky kambia nevytváří homogenní hmotu, ale dochází k tvorbě vláken, které mají podélný tvar zhruba o velikosti 1-8 mm a jsou uspořádány přibližně rovnoběžně. Proto se vlastnosti dřeva v závislosti na směru k vláknům liší – ve směru vláken je dřevo mnohem pevnější a odolnější, kolmo na vlákna jsou vlastnosti dřeva horší.

Pletivo charakterizujeme jako soubor buněk stejné stavby a funkce. Dřevo vedle kambia obsahuje další pletiva, a tím je pletivo pokožkové na povrchu a pletivo cévních svazků uvnitř kmene. Liší se tvarem i funkcí - mechanická, zásobní nebo vodivá. [2] [13]

Chemické složení této organické hmoty je u všech dřevin téměř stejné, ačkoli se anatomické prvky jehličnanů od listnatých stromů liší.

Hlavními složkami jsou:

- celulóza (40-50 %)
- lignin (20-30 %)
- hemicelulóza (20-30 %)
- další organické látky (1-3 %): terpeny, tuky, vosky, pektiny, třísloviny, steroly, pryskyřice
- anorganické látky: po spálení tvoří popel (0,1-0,5 %)
- voda v různém množství

Poměrná množství prvků v sušině tuzemského dřeva jsou následovná:

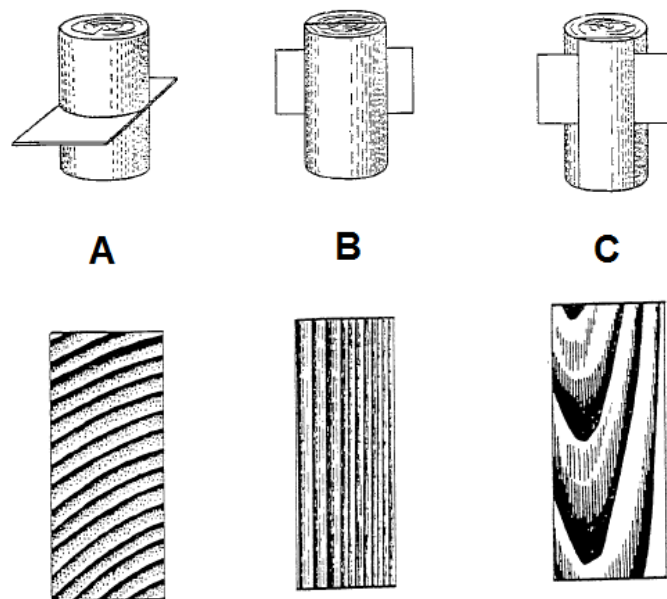
uhlík:	50%
vodík:	6%
kyslík:	43%
dusík:	0,04 až 0,2%
popeloviny:	0,2 až 0,6%

Anatomie dřeva se zkoumá na základě makroskopických a mikroskopických znaků dřeva. Makroskopické znaky jsou viditelné pouhým okem, na rozdíl od mikroskopických, kdy je k jejich rozboru potřeba lupy nebo mikroskopu.

3.1.1 MAKROSKOPICKÉ ZNAKY

Stavba dřeva má válcově-kuželovitý tvar. Ke zkoumání makroskopických znaků dřeva se užívají tři základní řezy:

- příčný (*transverzální*)
- podélný (*radiální*)
- tečnový (*tangenciální*)



Obr. 2: Schematické znázornění základních řezů dřeva [1]
A – příčný řez, B – podélný řez, C – tečnový řez

Pro makroskopické znaky je nejdůležitější příčný řez. Je kolmý k ose kmene a v typickém průřezu je v ideálním případě kruh – viditelné soustředné uspořádání letokruhů. Kolmý k příčnému řezu je pak řez podélný, který je veden středem (podélnou osou) kmene a letokruhy mají tvar svislých rovnoběžných pásů. Poslední tangenciální řez je veden rovnoběžně s osou kmene, ale neprochází středem (dřením). Letokruhy v tomto řezu vytvářejí parabolické formace. [20]

Nejdůležitějšími makroskopickými prvky jsou:

- letokruhy
- dřeň, dřeňové paprsky, dřeňové skvrny
- jádro, vyzrálé dřevo, běl
- pryskyřičné kanálky
- cévy
- kambium, lýko, kůra

3.1.1.1 LETOKRUHY

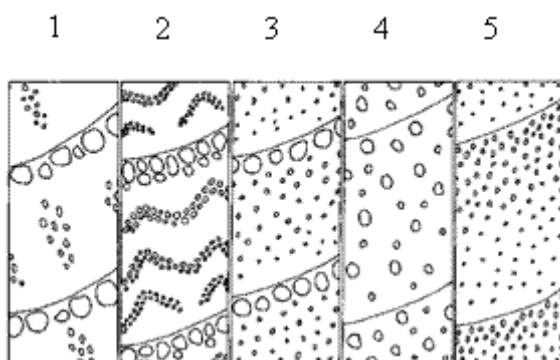
Vznikají ročním přírůstkem dřeva. Jak už bylo zmíněno, činnost kambia v závislosti na naše klimatické podmínky má za příčinu vznik dvou rozlišných vrstev – jarního a letního dřeva. Proto jsou letokruhy dobře rozlišitelné – letní dřevo je tvrdší, hustší a tmavší, jarní dřevo je složeno z velkých a tenkostěnných buněk obsahující značné množství vody, tím pádem je jarní dřevo řidší a světlejší. Stavba i šířka letokruhu je u každého druhu dřeviny jiná, je závislá na stáří dřeviny (s věkem se šířka letokruhu zmenšuje), polohou ve kmeni a hlavně podmínkami stanoviště (geografie, prostorové uspořádání, výživa). Excentrická stavba letokruhů, tedy tehdy, nejsou-li letokruhy v celém obvodu kmene stejně široké, má vliv na odlišné fyzikálně mechanické vlastnosti. Příčinou excentricity je jednostranné zatěžování stromu – vítr, sníh, svah a další. [20]



Obr. 3: Textura letokruhů na příčném řezu kmene

Na základě makroskopických znaků letokruhů rozdělujeme naše dřeviny do 4 skupin:

- **jehličnaté dřevo** (zřetelné letokruhy – výrazné letní dřevo, větší podíl jarního dřeva, př. smrk, borovice, jedle, modřín)
- **listnaté kruhovitě pórovité dřevo** (výrazné jarní dřevo, větší podíl letního dřeva, okem viditelné cévy, vytvářejí prstence, př. dub, akát, jasan, jilm)
- **listnaté polokruhovitě pórovité dřevo** (hranice mezi jarním a letním dřevem je méně výrazná než u kruhovitých, př. třešeň, ořešák)
- **listnaté roztroušeně pórovité dřevo** (špatně rozlišitelné letokruhy, jsou zvýrazněné pouze tenkou linií na hranici letokruhu, rovnoměrně uspořádané cévy, př. buk, habr, bříza, olše, lípa, topol)



Obr. 4: Typy uložení cév na příčném řezu [12]

1, 2, 3 – kruhovitě pórovité dřeviny s různým uspořádáním letních cév,
4 – polokruhovitě pórovité dřeviny, 5 – roztroušeně pórovité dřeviny

3.1.1.2 DŘEŇ

V ideálním případě se nachází ve středu kmene, ale často je méně či více vychýlena. Tvar může být taky různý – oválný, kulatý, hvězdicovitý nebo tvar mnohoúhelníka. Průměr dřeně je přibližně 2-5 mm.

3.1.1.3 DŘEŇOVÉ PAPRSKY

Dřeňové paprsky mají všechny dřeviny, ale ne u všech je můžeme pozorovat pouhým okem (nezřetelné jsou u všech jehličnanů a u některých listnáčů jako např. jasan, topol, bříza, hrušeň a jabloň). Lze je zkoumat na příčném i podélném směru.

Vzhledem připomínají plošky v podobě zrcátek na radiálním řezu, jako pásy pak na podélném řezu. Tvoří je mohutné uskupení parenchymatických buněk. Paprsky mají velký vliv na fyzikální a mechanické vlastnosti dřeva v tangenciálním a radiálním směru. Existují i tzv. nepravé dřehové paprsky – samostatně seskupené paprsky, které jsou makroskopicky od sebe neodlišitelné (olše, habr).

3.1.1.4 DŘEŇOVÉ SKVRNY

Dřehové skvrny, stejně jako paprsky, nepříznivě ovlivňují vlastnosti dřeva. Vyskytují se jen u některých druhů dřevin – olše, bříza. Jsou hnědé nebo nazelenalé barvy a viditelné pouze na příčném řezu.

3.1.1.5 JÁDRO

Vnitřní část kmene mezi dření a bělovým dřevem, které se vyskytuje u listnatých i jehličnatých dřevin. Je charakteristické jasným ohraničením a tmavší barvou. Jádrem plní funkci mechanickou, zvyšuje stabilitu kmene – tzv. mrtvá část kmene, ve které už neprobíhá transport vody a zásobních látek. Jedná se o část trvanlivější a odolnější (proti napadení škůdci). Jádromé dřevo je typické pro dub, akát, jasan, jilm, borovice nebo modřín.

3.1.1.6 VYZRÁLÉ DŘEVO

Vnitřní partie zbylých listnatých a jehličnatých dřevin bez jádra. Má obdobnou strukturu s jádrovým dřevem, avšak není barevně odlišitelné od okolní běli a jeho propustnost se také výrazně od běli neliší. Vyzrálé dřevo je typické pro dřeviny jako smrk, jedle nebo douglaska.

3.1.1.7 BĚL

Vnější část kmene mezi jádrem a kambiem. Součástí listnatých i jehličnatých dřevin. Jedná se o světlejší úsek dřevin, který je propustný pro kapaliny, málo trvanlivý a snadno podléhá napadení škůdci a hnilobě. Má vodivou a zásobní funkci – obsahuje živé buňky. Dřeviny bez jádra označujeme jako bělová - do této skupiny patří třeba smrk, olše, buk, bříza, javor. U některých listnatých bělových dřev (buk) se za určitých podmínek vyskytuje tzv. *nepravé jádro*. [1]

3.1.1.8 PRYSKYŘIČNÉ KANÁLKY

Vyskytují se pouze u jehličnatých dřevin – smrk, borovice, modřín. Jsou to úzké kanálky z epitelových buněk, které vylučují pryskyřici. Lze je pozorovat na příčném (jako lesklé nebo tmavé tečky) i podélném řezu (jako hnědé čárky). Tvoří vertikální a horizontální síť – kanálky probíhají rovnoběžně s osou kmene nebo napříč dřeňovými paprsky.

3.1.1.9 CÉVY

Cévy jsou charakteristické pro listnaté dřeviny. Podle uspořádání cév rozdělujeme tyto dřeviny na kruhovitě pórovité a roztroušeně pórovité. Cévy kruhovitých listnáčů jsou soustředěny do jarních částí v letokruzích a tvoří prstence (jilm, dub, jasan), roztroušené dřeviny mají cévy rovnoměrně rozprostřené (javor, lípa, topol, buk, habr). Cévy jsou prakticky pro pouhé oko neviditelné. Zajišťují propustnost vody v příčném směru.

3.1.1.10 KAMBIUM

Jak už bylo zmíněno, kambium je dělivé pletivo, které z jedné strany dává vzniku dřevu a z druhé strany vytváří lýko. Dřevní buňky se tvoří přibližně desetkrát rychleji než buňky lýkové. Činností kambia vznikají letokruhy.

3.1.1.11 LÝKO

Část mezi kůrou a kambiem, plnicí zásobní a vodivou funkci dřevin. Rozvádí živiny vzniklé fotosyntézou ze zásobních míst, kořenů i listů do celého kmene stromu. V podstatě ho můžeme označit jako jedinou živou vrstvu v kmeni.

3.1.1.12 KÚRA

Kůra je odumřelá povrchová část kmene - tvoří plášť dřevin. Slouží jako ochranná vrstva, která je tvořená odumřelými buňkami. Příčinou toho, že nejsou buňky živé, je nepropustná vrstva korku. Kůra může tvořit hladký povrch nebo je různě zvrásněna. Záleží na aktivitě felogenu – vzácně působí delší dobu a zevnějšek zůstává hladký. Příkladem dřeviny, u které se tvoří felogen mnoho let, je buk.



Obr. 5: Struktura zvrásněné a hladké kůry

U makroskopických znaků ještě zůstaneme. Dřevo rozeznáváme totiž podle nejnápadnějších znaků, kdy vycházíme především ze zkušeností. K identifikaci dřeva nám slouží také barva a kresba (textura) dřeva, dále lesk, vůně a tvrdost dřeva. Pouhým okem jsou patrné i vady dřeva.

Zbarvení dřeva je způsobené látkami uložené v buněčných stěnách – barviva, třísloviny, rostlinné gumy, pryskyřice a jiné. Barvu ovlivňuje i prostředí, a to působením světla, vlhkosti a vzduchu. V tropických oblastech jsou dřeviny tmavší než dřeviny u nás v mírném pásu. Zbarvení se také mění v závislosti na stáří dřeva a určitě i zpracováním (moření, paření,...). [15]

Textura neboli kresba dřevin se projeví na příčném řezu. Pozorujeme pestré zastoupení makroskopických prvků. Lze identifikovat uskupení cév, dřeňové paprsky, přechody jarního a letního dřeva, kontrast mezi jádrem a bělí, reakční dřevo, kořenice nebo vlnitost.

Lesk dřeva je výsledkem odražení světelných paprsků. Tuto schopnost mají především dřeňové paprsky. Výrazný lesk má na podélném řezu například akát, platan, buk nebo jilm. Na intenzitě lesku se podílí několik činitelů – osvětlení, druh dřeva a hladkost povrchu.

Vůně dřeva je příznačná pouze pro některé druhy dřevin, je závislá na obsahu tříslovin, pryskyřic a éterických olejů.

Tvrдость dřeva záleží na jeho struktuře, hustotě a anatomické stavbě. Podle statické tvrdosti stanovené při 12 % vlhkosti dřeva na jeho čelních plochách se dřeviny dělí:

- **dřeva měkká** (tvrдость 40 MPa a méně): smrk, jedle, borovice, topol, lípa – vryp tvoří zřetelnou rýhu,
- **dřeva středně tvrdá** (tvrдость 40-80 MPa): jasan, jilmy, duby, ořech – vryp nehtem netvoří výraznou rýhu,
- **dřeva tvrdá** (tvrдость nad 80 MPa): habr, akát, tis.

Doplňkovým charakteristickým znakem pro makroskopickou identifikaci dřeva je hustota. Nedochozí ke stanovení přesné hustoty, ale provádí se její přibližný odhad na základě hmotnosti tělesa.

Podle hustoty stanovené při 12 % vlhkosti dřeva se dělí naše dřeviny do tří skupin:

- **dřeva s nízkou hustotou** (< 540 kg/m³): borovice, smrk, jedle, topoly, lípy, olše aj.,
- **dřeva se střední hustotou** (540-750 kg/m³): modřín, buk, dub, jilmy,
- **dřeva s vysokou hustotou** (>750 kg/m³): habr, tis.

Některé dřeviny vytvářejí z oddenkové části kmene strukturu nazývanou kořenice, která se vyznačuje spletitostí dřevních vláken orientovaných v různých směrech. Dochází k prorůstání letokruhů z kořenové části do kmene. Kořenice je vhodná pro dekorativní účely. Nejzajímavější jsou u dubu, jasanu a ořešáku.

Vlnitost (svalovitost) dřeva se projevuje zvlněním nebo spletením dřevních vláken ve směru s osou kmene. Jedná se o nepravidelnou stavbu dřeva, která se vyskytuje u habru nebo tisu.

Odezvou na mechanické namáhání dřeva působením vnějších podmínek (vítr, sníh, led) je tzv. excentricita kmene. Vzniká rekční dřevo charakteristické změnou struktury, a to tak, že dochází k jednostrannému zvýšení množství a ztmavení letního dřeva.

Dalším makroskopickým znakem a zároveň i vadou dřeva jsou suky. Vyskytují se u všech dřevin. Jsou to živé nebo odumřelé pozůstatky větví. Mají výrazný vliv na mechanické vlastnosti – narušují pravidelnost vláknité struktury dřeva. Suky probíhají

nejčastěji kolmo nebo pod určitým úhlem k ose kmene. Rozměry a množství suků záleží na typu dřeviny, stanovišti a poloze ve kmene.

Očkovou kresbu dřeva způsobují zarostlé nevyvíjející se větve - očka. Jsou charakteristické jen pro některé druhy dřevin, kam patří třeba javor, dub a bříza. Vznikají ve vrstvě blízko lýka. Tak jako kořenice slouží k dekorativním účelům. [23]

3.1.2 MIKROSKOPICKÉ ZNAKY

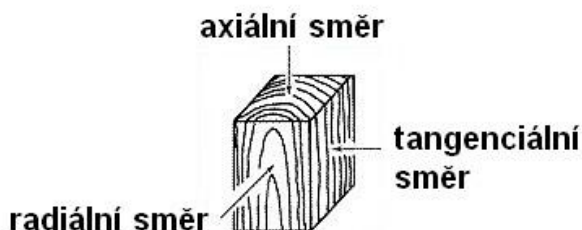
Dostáváme se k další skupině znaků, k jejichž charakteristice je zapotřebí lupy nebo mikroskopu. Z mikroskopické stavby si vysvětlíme rozdíl mezi podélným a příčným směrem ve dřevě, hlavně co se týká pevnosti a pohybu tekutin. Dřevo je složeno z buněk, které plní různé funkce.

Podle funkcí těchto buněk se dělí na:

- *parenchymatické buňky* – vyživovací vodivé a zásobní buněčné prvky,
- *sklerenchymatické buňky* – vyztužovací buněčné prvky,
- *cévy* – vodivé buněčné prvky (tracheje – pravé cévy, tracheidy – cévice).

Zastoupení těchto buněk je různé, vytváří různě složitou anatomii, proto se dělí dřeviny na listnaté a jehličnaté. Struktura jehličnatých stromů je jednodušší než stavba dřeva listnatých.

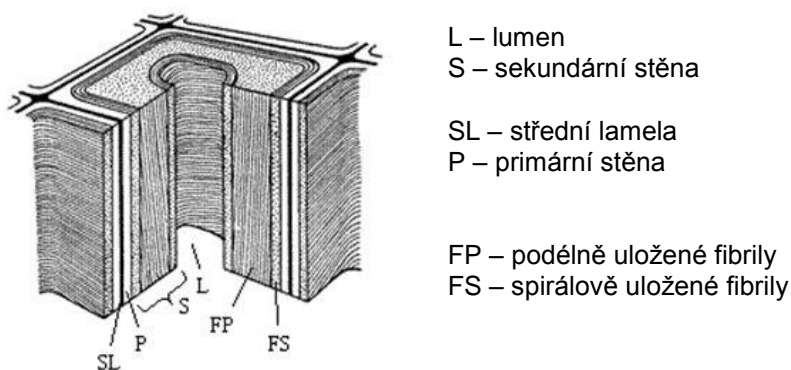
I pro mikroskopii se používají tři základní anatomické směry:



Obr. 6: Základní anatomické směry ve dřevě

- **axiální směr**, který je rovnoběžný s podélnou osou kmene,
- **radiální směr**, který je vedený ve směru dřeňových paprsků a je kolmý na plochu tangenciálního řezu,
- **tangenciální směr**, který má směr tečny k letokruhům a je kolmý na plochu radiálního řezu.

Buňky dřeva jsou tvořeny buněčnou stěnou a buněčnou dutinou (lumenem). Buněčná stěna je složena z několika vrstev, které se liší stavbou i chemickým složením – střední lamela, primární a sekundární stěna. Tyto vrstvy jsou znázorněny na obrázku pod textem (Obr. 7). Mezi buňkami se pak nacházejí ztenčeninny v podobě teček nebo dvojteček, které zajišťují mezibuněčné propojení a transport vody a živin. Jsou to místa jehličnatých i listnatých dřevin, která ovlivňují propustnost kapalin. [1]

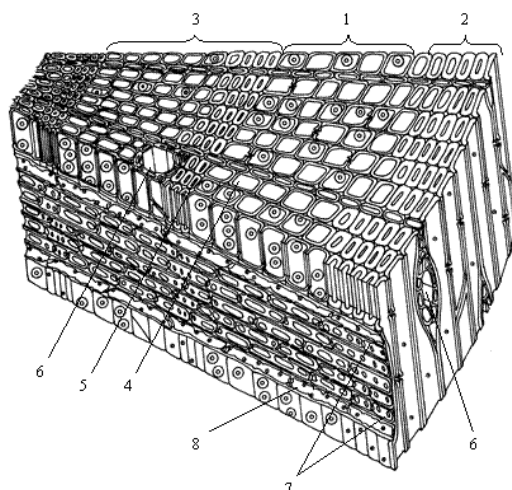


Obr. 7: Mikroskopická stavba buněčné stěny [1]

3.1.2.1 MIKROSKOPICKÁ STAVBA JEHLIČNATÝCH DŘEVIN

Anatomická stavba jehličnanů (Obr. 8) je jednodušší než stavba listnatých dřevin. Základními buněčnými prvky jsou tracheidy (90-94%), zbývající část vyplňují parenchymatické buňky. Tracheidy jsou ve dřevě většinou vertikálně uložené, plní vodivou a vyživovací funkci a jejich tvar a rozmístění ve dřevinách jsou významným diagnostickým znakem. Jejich rozměr i tloušťka buněčné stěny jsou ovlivněny stářím stromu, vnějšími podmínkami, polohou ve kmeni i umístěním v letokruhu (rozdílné v letním a jarním dřevě). [13]

Výměnu látek mezi buňkami zajišťují výše zmíněné ztenčeninny – mezi tracheidami plní tuto výměnu dvojtečky, mezi tracheidami a parenchymatickými buňkami zase poloviční dvojtečky.



Obr. 8: Anatomická struktura jehličnatých dřevin [12]

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

Rozlišujeme tracheidy jarní a letní. Jarní mají podobu tenkostěnných buněk (délka cca 2-6 mm, šířka okolo 0,04 mm) se širokým lumenem a velkým zastoupením dvojteček. Pokud dřevo vyschne, dvojtečky se většinou uzavřou a tím omezí impregnovatelnost dřeva. [12]

Letní tracheidy jsou buňky tlustostěnné s úzkým lumenem, mají vřetenovitý tvar s ostřejším ukončením. Plní spíše mechanickou funkci. Na rozdíl od jarních tracheid obsahují malé množství dvojteček a jsou delší.

Vedle vertikálních tracheid, se vyskytují v jehličnanech i tracheidy orientované příčně – tzv. ležaté tracheidy, které jsou významné pro rozlišení a určení jehličnatých dřevin. Nachází se ve dřeňových paprscích, objevují se u smrku, vejmutovky, modřínu nebo borovice.

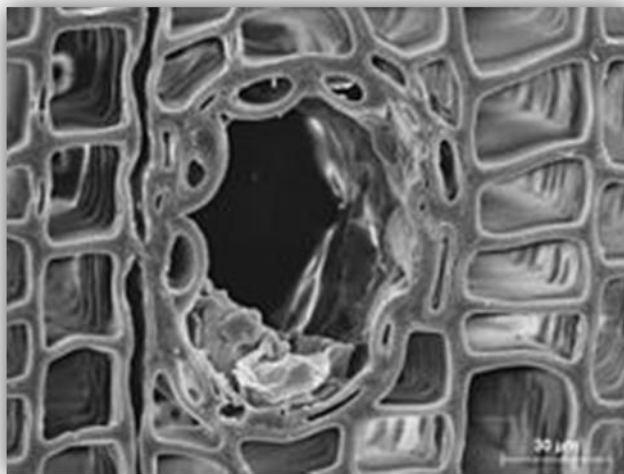
Druhá skupina buněk – parenchymatické – jsou obdélníkového tvaru, vedou a ukládají zásobní látky (škrob, tuk a bílkoviny), jsou součástí stavby dřeňových paprsků, pryskyřičných kanálků a podélného parenchymu.

V buněčném složení jehličnatých dřevin mají zastoupení také dřeňové paprsky (5-10%). Jsou uspořádány do pravidelných úzkých pásů, které vytvářejí parenchymatické buňky. [13]

V jehličnanech se objevují dva typy těchto paprsků:

- *stejnobuněčné* – složeny pouze z parenchymatických buněk
- *různobuněčné* – skládají se z parenchymatických buněk a příčných tracheid (př. vejmutovka)

Pokud se v jehličnaté dřevině vyskytují pryskyřičné kanálky (smrk, borovice, modřín), jsou dřevové paprsky složeny z širších pásů parenchymatických buněk a vytváří vstup pro tyto kanálky. Jehličnany, které postrádají pryskyřičné kanálky, mají dřevové kanálky většinou stejnobuněčné (jedle, tis, jalovec). [5]



Obr. 9: *Pryskyřičný kanálek* [22]

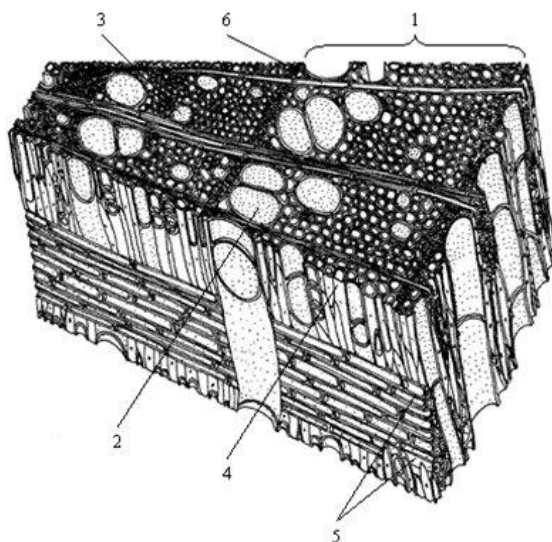
Pryskyřičné kanálky (Obr. 9) tvoří systém kanálků prostupujících dřevem. Vypadají jako dlouhé trubičky produkující pryskyřici. Vznikají v mezibuněčných prostorech rozestoupením parenchymatických buněk. Podle umístění rozlišujeme kanálky vertikální (rovnoběžné s osou kmene) a horizontální (kolmé na osu kmene). Horizontální pryskyřičné kanálky jsou pozorovatelné na tangenciálním řezu jako kruhové otvůrky obklopené buňkami. Vertikální naopak na příčném řezu, také v podobě kruhovitých otvorů. S věkem stromu se průměr kanálků zvětšuje, většinou se pohybuje kolem 0,036-0,048 mm.

3.1.2.2 MIKROSKOPICKÁ STAVBA LISTNATÝCH DŘEVIN

Buněčné složení listnatých dřevin (*Obr. 10*) je o něco složitější než složení jehličnatých dřevin. Jsou totiž tvořeny větším množstvím různě specializovaných buněk, plnící odlišné funkce.

Dřevo listnáčů obsahuje tyto buňky:

- cévy (*tracheje*) – vodivá funkce
- cévice (*tracheidy*) – vodivá a vyztužovací funkce
- *libriformní buňky (dřevní vlákna)* – vyztužovací funkce
- *parenchymatické buňky* – vodivá a zásobní funkce



Obr. 10: Anatomická struktura listnatých dřevin [12]

1 – letokruh, 2 – jarní céva, 3 – letní céva, 4 – libriformní vlákno, 5 – dřevový paprsek, 6 – podélný parenchym

Tracheje jsou charakteristické pouze pro listnaté dřeviny, probíhají ve směru podélné osy kmene a podílí se na rozvodu kapalin a živin. Nejlépe pozorovatelné na příčném řezu. Zastoupení cév u této skupiny dřevin je různé (od 4% do 37% z celkového objemu dřeva). Cévy představují různě dlouhé tenkostěnné kanálky (trubičky), některé dřeviny mohou mít cévy dosahující i několik metrů, ale u většiny případů nepřevyšuje délka přes 10 mm. Mezi cévními články se nacházejí perforace cév. [5]

Jedná se o zbytky příčných přehrádek. Podle rozrušení těchto perforací, rozlišujeme:

- *jednoduchou perforace* – zbytek buněčné stěny na obvodu cév, nejčastější pro naše dřeviny (javor, jasan, habr, aj.)
- *složenou perforace* – částečné vymizení příčné stěny, složená perforace může být výjimečně žebříčková (olše, bříza) nebo síťovitá

Stěny cév obsahují dvůrkaté ztenčeniny (dvojtečky), jejich poloha je pro každou dřevinu specifická – tvoří různé uskupení. Listnaté dřeviny mají dvojtečky mnohem početnější než jehličnaté dřeviny. Poloviční dvojtečky jsou pak mezi cévami a parenchymatickými buňkami (na straně cévy dvojtečka, tečka na straně parenchym. buňky).

V jádrovém dřevě mohou tracheje obsahovat látky jako jsou oleje, gumy, krystaly anorganických solí nebo thyly, což jsou útvary, které vyplňují lumeny a zabraňují tak rozvodu látek po dřevě. Thyly vznikají především při poranění dřeviny, stárnutím nebo napadením hub. Vyskytují se u jasanu, dubu, topolu, olše, atd.

Velikost cév je ovlivněna prostředím (klimatické podmínky a stanoviště), druhem dřeviny a umístěním v rámci letokruhu. Jak už bylo párkrát zmíněno, podle cév rozdělujeme listnaté dřeviny na kruhovitě pórovité a roztroušeně pórovité (viz *Obr.4*).

Tracheidy plní vodivou, mechanickou i zásobní funkci. Mají v dřevinách různé zastoupení a je velmi obtížné je odlišit od libriformních buněk.

V listnatých dřevinách se objevují tři typy tracheid:

- *cévvité* (protáhlé buňky s dvojtečkami, vodivá funkce)
- *vazicentrické* (krátké buňky různého tvaru, částečné vodivá funkce)
- *vláknité* (protáhlé tlustostěnné buňky s úzkým lumenem, především mechanická funkce, velké zastoupení u listnáčů – buk, olše, habr)

Libriformní vlákna jsou podobně jako tracheidy ve dřevě obsaženy v různém množství (v průměru 50-60% z celkového objemu). Tyto vlákna mají podobu protáhlých vřetenovitých buněk, na konci jsou zašpičatělé a rozměr závisí na druhu dřeviny, stáří a poloze ve kmeni. Jsou specializované na mechanickou funkci, pozorovatelné na příčném řezu, kde vytváří 4-6 úhelníků s patrným lumenem a buněčnou stěnou. V podélném řezu je vidíme jako dlouhé zašpičatělé buňky. [5] [22]

Větší zastoupení a rozmanitost u listnáčů oproti jehličnatým dřevinám mají parenchymatické buňky. Plní ve dřevě vodivou a zásobní funkci. Probíhají ve směru podélné osy kmene i ve směru kolmém. Tvarem připomínají obdélník, čtverec nebo mají vřetenovitý tvar. Buněčné stěny buněk obsahují ztenčeniny v podobě teček.

Parenchymatické buňky vytváří ve směru kolmém na osu kmenu vícevrstvé dřevové paprsky, které mají vodivou funkci a ukládají zásobní látky. Paprsky listnáčů mají různou šířku i výšku, rozměry můžeme pozorovat na tangenciálním řezu. Jako plošky – zrcátka jsou pak viditelné na radiálním řezu. Dřevové paprsky, jejich rozměr a tvar, jsou základním diagnostickým znakem listnatých dřevin.

Dřevové paprsky rozlišujeme podle složení buněk:

- *homogenní* (dřevové paprsky tvoří stejný typ buněk, většina listnáčů – jasan, buk, dub)
- *heterogenní* (kombinace různých tvarů buněk – lípa, třešeň, habr)

Buňky parenchymu mají i hojivou schopnost a podílejí se na stavbě pryskyřičných kanálků (při poranění kambia vzniká hojivý parenchym – dřevový skvrna nepravidelného tvaru, př. olše nebo bříza). [13]

Na závěr kapitoly bych chtěla shrnout, proč je důležité se ponořit do anatomie dřeva. Znalost mikroskopické stavby dřeva je nutná pro pochopení makroskopické stavby dřeva a principem porozumění rozdílům vlastností mezi jednotlivými druhy. Pokud tyto vědomosti získáme, dokáže nám to usnadnit výběr vhodné dřeviny pro daný účel využití a volbu optimální technologie zpracování.

3.2 DŘEVO JAKO STAVEBNÍ MATERIÁL

Co se nároků na materiál týče, dřevo patří ke stavebním hmotám, které se dlouhodobě osvědčily i v těch nejextrémnějších podmínkách. Příkladem a zároveň důkazem této skutečnosti jsou několik staletí staré sruby, dřevěnice, hrázděné domy, staré dřevěné kostelíky v oblasti Skandinávie nebo chrámy v orientálních zemích a také množství starých a zachovalých dřevěných staveb na našem území.

Dřevěný srubový dům dokáže při dodržení jednoduchých konstrukčních zásad a ochrany přetrvat po staletí. V extrémních podmínkách se navíc prokázalo, že při některých přírodních katastrofách (tajfuny, zemětřesení) přežily bez úhony právě dřevěné sruby, jejichž konstrukce jsou vzhledem k důmyslnému provázání velmi pevné. To je také důvod toho, proč se nedají bourat běžnými způsoby, ale musí se doslova rozebrat.

Dřevo je tedy jedním z nejstarších materiálů, které se lidstvo naučilo využívat ke stavbě obydlí. Avšak nesloužilo pouze k budování, ale i k výrobě pracovních nástrojů a jako zdroje energie či suroviny na výrobu papíru. Přispěl k tomu fakt, že je dřevo snadno dostupná a obnovitelná surovina a dokáže plnohodnotně nahradit řadu dražších surovin, vyráběné z neobnovitelných zdrojů, kdy jejich výroba je energeticky vysoce náročná - jedná se o komponenty na bázi kovů, plastů a keramiky. V současné době nejsou jeho možnosti v dostatečné míře využívány.

Určitě můžeme zmínit zdravotní výhody dřeva jako stavebního materiálu. Studie prokázaly, že dřevo srubového domu obsahuje léčivé silice, které vytvářejí příjemné aromatické prostředí. Tato vnitřní atmosféra má pozitivní vývoj na léčbu astmatu, bronchitidy a kataru horních dýchacích cest. Za důležitou lze jistě označit i skutečnost, že dřevo dokáže účinně odbourávat i takové škodliviny, jako je cigaretový kouř, prach, bakterie nebo elektrostatické vlivy.

Další prioritou dřeva jako stavebního materiálu je rychlá a bezproblémová výstavba v každém ročním období. V zimním období díky suché technologii, kterou lze provádět bez ohledu na počasí a je možný se ihned po dostavění nastěhovat. Bez dřeva se na stavbě neobejdeme a setkáme se s ním i jako s pomocným materiálem (lešení, bednění, podpurné konstrukce).

Dřevostavby mohou bez problému fungovat i stovky let, musí být ale splněno pravidlo tří – dobrý NÁVRH, PROVEDENÍ a důležité je i jejich UŽÍVÁNÍ. První dvě pravidla v současné době jsou předpokládány z předávání poznatků a zkušeností, třetí pravidlo se týká „laické“ veřejnosti. Každý konečný uživatel stavby by měl být seznámen se správným chováním. Nejedná se o žádné omezování ani o ustoupení z komfortu, ale správným používáním dřevostavby kvůli její životnosti. Příkladem je třeba správné větrání a zabránění vnikání vody do konstrukce.

Dřevo je snadno dosažitelné, ekologické, dobře opracovatelné a svým ušlechtilým zjevem pobízí i k uměleckému zpracování na stavbě (stropy, schodiště, galerie). Dveře, okna a obklady ze dřeva interiér zútulní, rovněž v exteriéru jako jsou pergoly, terasy, zábradlí, podbití přesahu střech, má své estetické přednosti.

Pro shrnutí na závěr této kapitoly. Dřevo je jediný stavební materiál, který dýchá, je trvanlivé, snadno obrobitelné a pružné. Stavby ze dřeva jsou architektonicky zajímavé a nezaostávají za současnými vymoženostmi technicky, provozně ani z hlediska komfortu a vybavení. Za dobu životnosti dřevěného domu nám vyrostou nové lesy. Je znám lepší a efektivnější způsob udržitelného stavění, včetně recyklace materiálů pro stavění? Právě proto ho považujeme za materiál 21. století. [21]

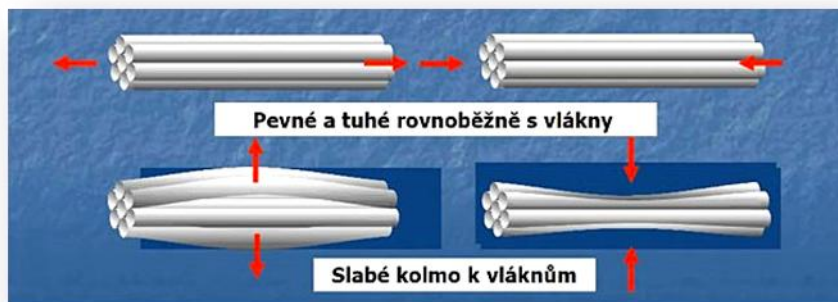


Obr. 11: Dřevo jako stavební materiál – hranoly

3.3 VLASTNOSTI DŘEVA

Dřevo má celou řadu předností, ale i nedostatků. Mezi preference můžeme zařadit určitě pevnost tohoto materiálu (především pevnost v tahu ve směru vláken) a v závislosti na výborných pevnostních vlastnostech i jeho nízkou hmotnost, samozřejmě v porovnání s ostatními stavebními materiály. Velikost pevnosti je samozřejmě ovlivněna řadou činitelů. Hustota, obsah vody, suky, vady dřeva a také teplota mají dopad na výslednou pevnost. Dřevo je pružný materiál, který má schopnost nabývat počáteční tvar a rozměry po přerušení působení vnějších sil a namáhání. Má dobré tepelně izolační a akustické (rezonanční) vlastnosti, je lehce opracovatelné a esteticky působivé. Z hlediska ekologie je dřevo dobře recyklovatelné a jak už bylo zmíněno, výroba materiálů na bázi dřeva není energeticky náročná.

Nedostatky jsou zapříčiněny změnou vlastností dřeva, k nimž dochází v průběhu času. Jednou z hlavních omezujících vlastností dřeva je anizotropie - nerovnoměrnost. Dřevo je vláknitý materiál a jeho nestejněměrná struktura vykazuje odlišné vlastnosti v různých směrech (lepší vlastnosti má v podélném směru než v příčném). Anizotropie dřeva je trojsměrná – rozlišujeme směr příčný, radiální a tangenciální.



Obr. 12: Pevnost dřeva v závislosti na směru vláken

Další překážkou je jeho nehomogenita, která se projevuje různorodostí struktury, kvality a vlastností dřeva. Je způsobena prostředím, ve kterém dřevo vyrůstalo a na které působila řada vnějších podmínek. K negativním vlastnostem dřeva patří i jeho nasáklivost. Hygroskopicitata vyvolává změnu vlhkosti a zároveň změnu rozměrů tohoto materiálu.

Dřevo je hořlavý materiál, ale jeho chování se v případě požáru dá předpovídat a relativně přesně spočítat (a tím určit i stupeň nebezpečí). Na rozdíl od ostatních materiálů má nízkou tepelnou vodivost a v důsledku vytvoření povrchové zuhelnatělé vrstvy, která působí izolačně, je postup spalování dřevěné konstrukce v případě požáru poměrně pomalý. Navíc dokáže dřevěná konstrukce hrozbu zborcení v předstihu akusticky oznámit. V současnosti se dá požární odolnost dřeva zlepšit chemicky i mechanicky.

Dřevo se musí také chemicky chránit proti dřevokazným houbám (fungicidními nátěry) a proti dřevokaznému hmyzu (insekticidní postřiky), protože jeho přirozená odolnost proti těmto škůdcům je minimální. Čím je dřevo tmavší, tím víc obsahuje pryskyřice a třísloviny. Materiál je pak trvanlivější a vůči hnilobě odolnější. [6]

Vlastnosti dřeva můžeme rozdělit:

A. FYZIKÁLNÍ

vnější

- barva
- lesk
- textura
- vůně

vnitřní

- vlhkost
- hustota
- propustnost
- tepelné vlastnosti
- zvukové vlastnosti
- elektrické vlastnosti

B. MECHANICKÉ

- pružnost
- pevnost
- tvrdost

3.3.1 FYZIKÁLNÍ VLASTNOSTI DŘEVA

Fyzikální vlastnosti dřeva jsou znaky, které můžeme pozorovat bez zásahu do chemického složení nebo celistvosti posuzovaného tělesa. Stále musíme brát v úvahu to, že je dřevo materiálem anizotropním a jeho vlastnosti se výrazně liší v různých směrech.

Vnější fyzikální vlastnosti jsou důležitým makroskopickým ukazatelem pro určování jednotlivých druhů dřevin.

3.3.1.1 BARVA

Přirozená barva dřeva je výsledkem barevných látek obsažených ve dřevě – lignin, třísloviny, pryskyřice, barviva a jiné. Změny zbarvení mohou být způsobeny několika činiteli, mezi které patří sluneční záření, kyslík, stanoviště růstu, stáří nebo hniloba (napadení dřeva houbami). Tato fyzikální vlastnost významně určuje kvalitu a použití dřeva. Až na některé výjimky jsou dřeviny zbarveny do teplých odstínů, od žlutobílé po fialově hnědou i černou. Barva dřeva není stálá ani jednotvárná, tvoří se různé barevné záběhy, proužky nebo linie. Tropické dřeviny mají výraznější vybarvení než dřeviny mírného pásma.

Příklady dřevin podle barevného odstínu:

- bílá až nažloutlá: smrk, jedle, jasan, lípa, javor
- bílá až narůžovělá: buk, bříza
- růžová až hnědofialová: modřín, hruška
- skořicově hnědá: jilm
- zelenohnědá: akát
- šedohnědá až hnědá: dub, ořešák
- oranžová až červenohnědá: borovice, olše

3.3.1.2 LESK

Schopnost dřeňových paprsků odrážet tok světla se projevuje v podobě lesku. Nejlépe je tato vlastnost pozorovatelná na radiálním řezu, kde vytvářejí malé plošku v podobě zrcátek. Přirozený lesk povrchu dřeva a jeho intenzita je ovlivněna nepravidelným směrem vláken, vlnitostí dřeva nebo právě množstvím dřeňových paprsků.

3.3.1.3 TEXTURA

Texturu dřeva vytváří anatomická stavba dřeva (letokruhy, póry, dřeňové paprsky), dále barva a lesk. Je patrná na všech řezech – na podélném řezu je textura pravidelnější, příčně je ovlivněna letokruhy. Optický výraz jehličnatých dřevin se liší od listnatých. Kresba jehličnanů je jednodušší a je tvořena především letokruhy, kdežto listnaté dřevo je anatomicky složitější, má výraznější barvu i lesk.

3.3.1.4 VŮNĚ

Téměř všechny dřeviny mají typickou vůni, která se projeví především při opracování. Je patrná u čerstvého dřeva a vyvolána lehce těkavými látkami. Intenzitu ovlivňuje obsah těchto látek ve dřevě. Vůně vzniká z éterických olejů, dále z pryskyřic a tříslovin.

Další skupinu znaků zařazujeme do vnitřních fyzikálních vlastností dřeva. Dalo by se také říct, že určují hmotnost dřeva. Tyto vlastnosti jsou velmi individuální u každého kousku dřeva.

3.3.1.5 VLHKOST

Důležitým faktorem, který ovlivňuje dřevo a jeho škálu vlastností je přítomnost kapalin. Vlhkostí rozumíme procentuální vyjádření množství vody z celkového objemu materiálu. Dřevo je hygroskopický materiál, který v důsledku své pórovité stavby nasává vodu.

Podle toho, ve kterých prostorách se voda ve dřevě nachází, rozlišujeme:

- voda volná (*kapilární*) – vyplňuje mezibuněčné prostory a dutiny buněk, nemá důležitý význam při charakteristice vlastností, objevuje se totiž pouze v případě, že se ve dřevě nachází voda vázaná, tzn. při vlhkostech od 30%)
- voda vázaná (*hygroskopická*) – vyskytuje se v buněčných stěnách při vlhkosti dřeva v rozmezí 0-30%, má významnou roli při určování charakteristiky vlastností, protože způsobuje rozměrové změny dřeva nasáváním nebo vysycháním)
- voda chemicky vázaná (součást chemických sloučenin, ze dřeva se odstraní pouze spálením nikoli sušením, nemá vliv na vlastnosti)

Rozlišujeme dva typy vlhkostí:

- **vlhkost absolutní**

- množství vody ve dřevě vyjádřené z hmotnosti absolutně suchého dřeva, slouží pro charakteristiku fyzikálních a mechanických vlastností

- **vlhkost relativní**

- množství vody ve dřevě vyjádřené z hmotnosti dřeva vlhkého, využití v praxi při nákupu nebo prodeji dřeva podle hmotnosti

Stupně vlhkosti:

1. stupeň – vlhkost čerstvého dřeva (př. dub – běl 77% a jádro 74%, borovice – běl 120% a jádro 33%)
2. stupeň – vlhkost mokrého dřeva (př. dřevo plavené nebo bazénované až 200%)
3. stupeň – vlhkost dřeva vyschlého na vzduchu (vlhkost 15-20%)
4. stupeň – vlhkost dřeva uměle vyschlého (vlhkost 6-12%)

Vlhkost dřeva se zjišťuje na základě zkoušek a měření (př. váhová metoda, extrakční metoda, elektrické měření a další). Rychlost přijímání vody dřevem je závislá na počáteční vlhkosti, teplotě a na velikostních a tvarových vlastnostech dřeva. Nasáklivost způsobuje rozměrové změny – bobtnání nebo sesychání, podle toho, zda

dřevo vodu nasává nebo ji odpařuje. Bobtnání vyvolá zvětšení rozměrů materiálu, a to buď lineárně ve všech směrech dřeva, plošně nebo objemově. Naopak sesychání definujeme jako ztrátu vody vázané a výsledkem je zmenšování objemu a velikosti prvku. Oba tyto procesy provází tvorba malých trhlin a narušení dřevní struktury. Následkem toho je borcení dřeva. [12]

Existuje další řada změn rozměrů dřeva důsledkem změnou vlhkostí – praskání, ustrnutí nebo kornatění dřeva. Praskání je způsobeno změnou vnitřního napětí způsobené nerovnoměrným vysycháním materiálu. Na povrchu dřevo vysychá rychleji než uvnitř, vznikají tak povrchové nebo vnitřní trhliny (podle typu napětí).

Ustrnutí může nastat při sušení i navlhání dřeva, kdy dochází k deformaci dřeva trháním vlivem sil, které překračují mez pružnosti a mění tak trvale jeho objem. Důsledkem nestejnomyerného ustrnutím jednotlivých vrstev dřeva při rychlém vysychání je kornatění. To se projevuje skrytou deformací, která vyplyne až při řezání dřeva – dřevo se začne prohýbat.

Vlhkost dřeva se mění v průběhu celého roku a to nerovnoměrně. V zimním období dosahuje maximálních hodnot, v létě naopak minimálních. Rozložení vlhkosti v kmeni je taky různé – mění se s výškou i šířkou. Rozdílné vlhkosti jsou i mezi bělí a jádrem (největší rozdíly u jehličnanů). V závislosti na výšce stromu se vlhkost u jehličnanů zvyšuje, u listnatých tato závislost neplatí, protože vlhkost s výškou se téměř nemění. Vlhkost mladých stromů je vyšší než vlhkost stromů starších. Vlhkost dřeva má velký význam při zpracování dřeva a používání výrobků ze dřeva.

3.3.1.6 HUSTOTA

Objemová hmotnost dřeva ve srovnání s ostatními materiály se velmi obtížně určuje. Jak hmotnost, tak i objem jsou významně ovlivněny vlhkostí důsledkem nasákavosti dřeva. Každopádně hustota je jednou z důležitých charakteristik, která ovlivňuje vlastnosti dřeva. Existuje řada tabulek s hodnotami pro jednotlivé druhy dřevin. Musí být vždy uvedeno, při jaké vlhkosti dřeva byly tyto hodnoty změřeny.

Hustotu definujeme jako hmotnost dřeva vztaženou na jednotku jeho objemu. Zatímco se hustota zvyšuje s vlhkostí, objem a hmotnost dřeva nerostou stejným stylem. Hmotnost narůstá do maximálního nasycení, ale objem pouze do meze hygroscopicity (mikrokapilární systém v buněčné stěně je plně nasycen vodou, cca 22-35%). Setkáváme se s pojmem dřevní substance, což je hmota buněčných stěn bez submikroskopických dutin.

Pro určení hustoty dřeva používáme nejčastěji tyto vlhkostní stavy:

- hustota dřeva v suchém stavu ($w = 0\%$)
- hustota dřeva při vlhkosti 12%
- hustota dřeva vlhkého ($w > 0\%$)

Dřeviny mírného pásma se pohybují se širokou škálou hustot. Základní rozdělení dřevin podle hustoty při vlhkosti dřeva 12% vypadá takto:

Tab. 1: Rozdělení dřevin podle hustoty při vlhkosti dřeva 12% [5]

Skupina	kg.m ⁻³	Příklady
Dřeva s nízkou hustotou	<540	smrk, jedle, borovice, topol, lípa
Dřeva se střední hustotou	=540-750	jasan, jilm, dub, ořech
Dřeva s vysokou hustotou	≥750	habr, akát, tis

Obecně platí, že čím je hustota vyšší, tím dosahuje lepších vlastností. Je ovlivněna anatomickou stavbou dřeva, chemickým složením, vlhkostí, polohou ve kmeni, podmínkami stanoviště a postavení stromu v porostu.

3.3.1.7 PROPUSTNOST

Objemový tok přes látku vyvolaný vnějším tlakem nazýváme propustnost. Schopnost dřeva propouštět vodu a plyny pod tlakem je dána pórovitostí, ale také i buněčným propojením. Voda se ve dřevě pohybuje systémem kapilár a mikrokapilár (dutiny buněk, ztenčiny v membránách). Propustnost vody dřevem závisí na druhu, umístění v kmeni a směru vláken. Listnaté stromy propouštějí více vody než jehličnany. Propustnost dřeva pro vzduch se zvětšuje se zvyšujícím tlakem. Největší propustnost je ve směru vláken. Z technologického hlediska má důležitý význam pórovitost - povrchové úpravy dřeva.

3.3.1.8 TEPELNÉ VLASTNOSTI

Zvyšováním teploty narůstá energie molekul dřeva a důsledkem toho je i zvětšování rozměrů (do délky minimálně). Teplo se přenáší vnitřním pohybem molekul.

Dřevo dokáže jako ostatní jiné látky teplo akumulovat a zvláště ve směru napříč vlákny je výborným tepelným izolátorem. Na jeho dobrých tepelně-izolačních vlastnostech se podílí pórovitost, výsledkem je třeba značná odolnost proti požáru - myšleno jako dlouhá doba potřebná ke změně teploty v celém objemu v porovnání s jinými materiály.

Vedení tepla ve dřevě je ovlivněno mnoha faktory, největší vliv má anatomická stavba (anizotropie – rozdílná vodivost v podélném a příčném směru), hustota a vlhkost dřeva. Tepelné vlastnosti tohoto materiálu nás zajímají také především v procesu spojené s vysoušením.

3.3.1.9 AKUSTICKÉ VLASTNOSTI

Akustika je schopnost materiálu vést, utlumit nebo zesílit zvuk. Dřevo se vyznačuje dobrými akustickými vlastnostmi, proto se instaluje do společenských místností (kino, divadla, koncertní sály) a dotýká se ho i výroba hudebních nástrojů. Dřevo dokáže zesílit zvuk bez zkreslení tónu. Má vynikající rezonanční schopnosti, které jsou ovlivněny hustotou, pružností materiálu nebo přítomností vad ve dřevě (suky, trhliny). [4]

3.3.1.10 ELEKTRICKÉ VLASTNOSTI

Dřevo patří mezi materiály, které se podle obsahu vlhkosti chovají jako izolanty, nebo jsou částečně elektrickými vodiči. Takový materiál je označován jako dielektrikum. V suchém stavu dřevo nevede elektrický proud, naopak při výskytu vlhkosti se stává polovodičem. Elektrický odpor se v závislosti na zvyšování vlhkosti snižuje (na tomto principu pracují měřiče vlhkosti). Měrný odpor dřeva má anizotropní charakter podobný rozdílům při vedení tepla. Elektrické vlastnosti dřeva nejsou ovlivněny hustotou, ale chemickým složením. Výsledkem vzájemného působení dřeva a elektrického pole je vznik elektrického proudu v materiálu, vzniká malá elektrická vodivost a výrazná polarizace dřeva.

Mezi fyzikální vlastnosti dřeva patří ještě další řada vlastností, jako je třeba propustnost pro světelné a rentgenové paprsky, odolnost proti ultrafialovému a infračervenému záření nebo odolnost proti účinkům jaderného záření.

3.3.2 MECHANICKÉ VLASTNOSTI DŘEVA

Mechanické vlastnosti dřeva jsou důležité při využívání dřeva jako konstrukčního materiálu, avšak díky svým specifickým vlastnostem má velkou řadu uplatnění i v dalších odvětvích. Jsou ukazatelem odolnosti dřeva vůči působení vnějších sil. Dřevo je lehký a pružný materiál, avšak anizotropní charakter stavebních látek ve dřevě se dotýká i této skupiny vlastností a způsobuje rozdíly chování v jednotlivých směrech. Proto se musí posuzovat a uvádět zjištěné charakteristiky, zda jsou ve směru kolmém na vlákna nebo rovnoběžném na vlákna.

Dřevo může být namáháno staticky, kdy síla působící na materiál je v klidu nebo dynamicky, přičemž působící síla mění směr i velikost.

Tyto vlastnosti dřeva lze rozdělit do tří skupin:

- základní
- odvozené
- technologické

Mezi základní lze zařadit pružnost, pevnost, plastičnost a houževnatost dřeva. Mezi odvozené vlastnosti řadíme tvrdost, odolnost proti tečení, odolnost proti trvalému zatížení a odolnost proti únavovému lomu. Technologické vlastnosti charakterizují štípatelnost, opotřebovatelnost, impregnovatelnost a ohybatelnost.

3.3.2.1 PRUŽNOST DŘEVA

Pružnost je velmi důležitou mechanickou vlastností z hlediska konstrukčního použití dřeva a to především u prvků namáhané na ohyb. Je definována jako schopnost dřeva navracet svůj tvar a rozměr po uvolnění působení vnějších sil. Pružnost dřevěného materiálu je ovlivněna hustotou, vlhkostí a tvarem vláken, které by měly být pro dobré ohebné vlastnosti delší a vytvářet pravidelné uspořádání.

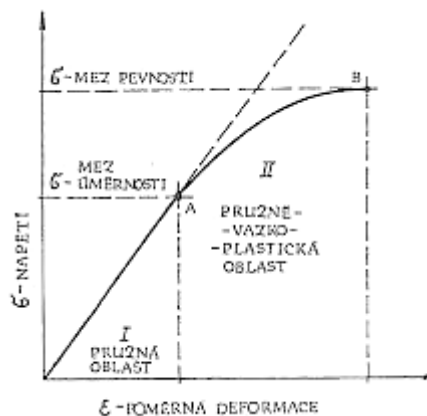
Tuto vlastnost popisuje několik materiálových charakteristik, jako je třeba modul pružnosti, mez pevnosti nebo deformace. Modulem pružnosti rozumíme odpor materiálu proti pružné deformaci – čím je hodnota vyšší, tím je k vyvolání deformaci potřebné větší napětí. Na modul pružnosti má vliv hustota a vlhkost. S rostoucí vlhkostí se hodnota modulu pružnosti snižuje, naopak s rostoucí hustotou se zvyšuje.

Průměrná hodnota v tlaku i v tahu ve směru vláken se pro dřeviny v našem pásmu uvádí 10-15 GPa (při vlhkosti 12%). Napříč vláken je tato hodnota i 25krát menší. [6]

Napětí ve dřevě značí míru vnitřních sil, vyvolaných vnějšími mechanickými silami. Je výsledkem poměru síly a plochy.

Deformace je vyvolána taktéž působením mechanických sil a projevuje se jako změna tvaru a rozměru dřeva.

Závislost mezi deformací a napětím je znázorněna níže na pracovním diagramu:



Obr. 13: Pracovní diagram [10]

Diagram rozdělujeme na dvě části:

1. **lineární** - vymezenou do meze úměrnosti, ve které vznikají pružné deformace, namáhané dřevo se v této části dokáže vrátit do původního tvaru
2. **nelineární** – vymezenou od meze úměrnosti do meze pevnosti, kde kromě deformací pružných vznikají deformace elastické, které jsou nevratné

3.3.2.2 PEVNOST

Dřevo je vláknitý materiál a je tedy ve směru podélné osy (ve směru vláken) mnohem pevnější než ve směru kolmém (příčném). Mez pevnosti dřeva je znázorněna na pracovním diagramu, kde tuto vlastnost definuje napětí, při kterém se poruší soudržnost materiálu. Pevnost dřeva je ve skutečnosti odpor (odolnost) proti jeho trvalému poškození vlivem vnějšího zatížení. Hodnoty pevnosti jednotlivých dřevin se zjišťují prostřednictvím zkoušek.

Podle druhu namáhání rozeznáváme několik pevností:

a) **pevnost v tahu**

- ve směru vláken - deformace se projevuje jistým prodloužením tělesa, v konečné fázi dojde k roztržení pletiva. U dřev s vyšší pevností je porušená část vláknitá nebo třískovitá, u dřev s menší pevností schodovitá až téměř hladká.
- napříč vláken - se stoupající vlhkostí dřeva se jeho pevnost v tahu napříč vláken zmenšuje až do meze nasycení buněčných stěn, jedná se o nejmenší pevnost vůbec, snažíme se tomuto zatížení vyhnout

b) **pevnost v tlaku**

- účinkem tlaku působící na těleso podél vláken dojde k deformaci, při které dojde ke zkrácení délky tělesa
- charakter deformace závisí na kvalitě a stavbě dřeva
- tuto pevnost ovlivňuje hustota a vlhkost dřeva

c) **pevnost ve smyku**

- odolnost dřeva proti působení sil, které chtějí vyvolat posunutí jedné části tělesa po druhé (smykové napětí vzniká např. u spojovacích prostředků)

d) **pevnost v ohybu**

- zkoumá se především napříč vláken, při zatížení tělesa vzniká v horní části tlak a v dolní části tah, po překročení meze pevnosti dojde v tahové zóně nejprve k odštěpení krajních vláken a potom k úplnému přetržení (zlomení) materiálu, ovlivněná rozměry prvku (štíhlostí)
- dřevo křehké a málo pevné má zlom téměř hladký, naopak dřevo pevné a houževnaté vytvoří zlom třískovitý a vláknitý

e) **pevnost ve vzpěru**

- zvláštní případ tlakové pevnosti a částečně i pevnosti v ohybu, důležitá pro podpěrné sloupy a stojky [10] [11]

3.3.2.3 ŠTÍPATELNOST A OHÝBATELNOST

Štípatelnost patří mezi technologické mechanické vlastnosti a je definována jako schopnost dřeva se dělit na části působením klínu. Ovlivňuje ji opět směr vláken, vlhkost dřeva, objemová hmotnost a anatomická stavba.

Ohýbatelnost je dovednost materiálu přijmout účinkem vnějších sil nový tvar a udržet ho i potom, co síly přestaly působit. Tato schopnost je ovlivněna množstvím ligninu ve dřevě. Dřevo se dá plastifikovat teplem a vlhkem, ale také chemicky (např. čpavkem). Po ohnutí se dřevo vysušuje pro zafixování ohybu.

3.3.2.4 HOUŽEVNATOST

Houževnatostí dřeva rozumíme odolnost dřeva proti dynamickému (rázovému) namáhání, stanovujeme ji přerážecí zkouškou, při které naráží na střed zkušebního tělesa kyvadlové kladivo ze stálé výšky. Výsledkem je energie, která je potřebná k porušení tělesa při působení dynamického zatížení. Podle vzhledu lomu pak můžeme určit jakost dřeva – nekvalitní a křehké dřevo charakterizuje hladký lom, kvalitní dřevo pak lom třískovitý.

Houževnatost dřeva je silně ovlivněna vadami dřeva, sušením dřeva při vyšších teplotách, násilnou impregnací, atd. Mezi houževnaté dřeviny patří buk, dub, jasan, smrk nebo tis.

3.3.2.5 TVRDOST DŘEVA

U této mechanické vlastnosti se pozastavím, protože je hlavním objektem zkoumání. Tvrdost popisuje odolnost (odpor) dřeva vůči vnikání cizího tělesa do jeho struktury. Nelze ji fyzikálně definovat, protože je výslednicí celé škály vlastností hmoty. Význam tvrdosti dřeva se uplatní především při jeho zpracování (opracování reznými nástroji) a při jeho užívání. Na základě této vlastnosti jsou dřeviny rozděleny do několika skupin a tím i předurčeny ke konkrétnímu využití.

Dřevo není materiál homogenní, ve všech směrech a místech vykazuje různé vlastnosti a tím i různou tvrdost. Veškeré mechanické vlastnosti dřeva spolu úzce souvisí, všechny jsou závislé na obsahu vlhkosti a hustotě materiálu. U hustoty stejného druhu dřeviny platí, že čím je vyšší, tím je vyšší i pevnost dřeva.

Tvrdość dřeva významně závisí na hustotě (podíl mezi hmotou a objemem), která je ovlivněna prostředím, ve kterém se dřevo nachází. Tato mechanická vlastnost dřeva a jeho odolnost proti oděru jsou tím větší, čím větší je hustota a čím menší je obsah vlhkosti.

Faktory ovlivňující tvrdość dřeva:

- Druh dřeva
- Části kmene (běl a jádro)
- Makroskopické znaky dřeva
- Mikroskopické (chemické) složení dřeva
- Vlhkost dřeva
- Anizotropie dřeva

Pro dobré mechanické vlastnosti patří dřevo k nejoblíbenějším a nejstarším přírodním materiálům. Rozvoj techniky a technologie jeho zpracování přispívá k vytváření nových struktur a složení dřevěných materiálů, které získávají nové, a dalo by se říct, že lepší mechanické vlastnosti. Tvrdość dřeva je hlavním kritériem pro výběr dřevěných podlah, nábytku a stavebních prvků. [16] Pro zjednodušené určení tvrdości můžeme použít tabulku, kde se tvrdość dřeva dělí do tří základních skupin:

Tab. 2: Zjednodušené dělení tvrdości dřeva [5]

Skupina	MPa	Příklady
měkká	<40	smrk, jedle, borovice, topol, lípa
středně tvrdá	≥40	jasan, jilmy, duby, ořech
tvrdá	≥80	habr, akát, tis

Konstrukční materiály se vyznačují tvrdością danou technologií výroby (př. lisovací tlak) a druhem použité dřeviny.

Tvrdość lze zjistit velmi snadno pomocí řady mechanických zkoušek. Měřená část tělesa je prakticky neporušena. Podle hodnoty tvrdości lze odhadnout ostatní vlastnosti materiálu.

Porovnávat hodnoty tvrdosti lze pouze při použití stejné metody a stejných hodnot zkušebního zatížení (převody hodnot tvrdosti podle různých metod jsou pouze orientační a jsou možné jen na základě provedených porovnávacích zkoušek).

Zkoušky tvrdosti rozdělujeme na:

- vrypové zkoušky

- zkouška se provádí pohybem ostrého nástroje ve směru rovnoběžném s povrchem tělesa tak, aby se vytvořil vryp

- slouží pro zkoušky křehkých materiálů (především minerálů)

- dynamické zkoušky (tzv. rázové zkoušky)

- zkoumaný povrch tělesa je vystaven zkoušce rázem (kolmo)

- zkoušky prováděné kladívkem a skleroskopem

- statické zkoušky (tzv. zkoušky vnikací)

- do zkoumaného povrchu tělesa je vtlačováno těleso (kolmo)

- nejčastější, nejjednodušší, přesné

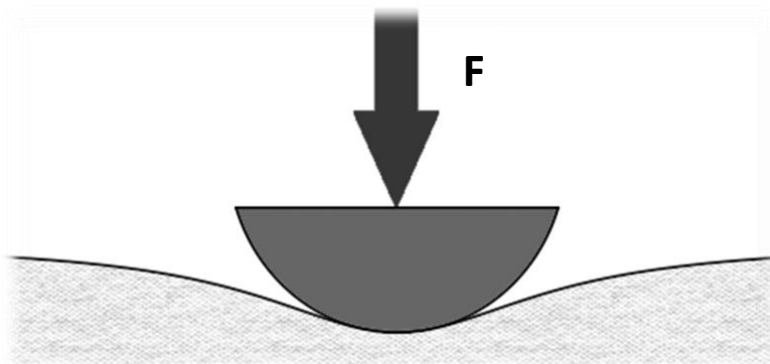
- Brinellova, Rockwellova, Vickersova a Jankova zkouška tvrdosti)

3.4 CHARAKTERISTIKA VYBRANÝCH ZKOUŠEK TVRDOSTI

3.4.1 ZKOUŠKA TVRDOSTI PODLE JANKA

Základem testu tvrdosti je ocelová kulička (půlkulička) o průměru 11,28 mm, která je vtlačována do tělesa působením síly tak, aby kulička vnikla do dřeva do poloviny své výšky (5,64 mm). Tím ve dřevě vznikne otláčená plocha (100 mm²). Výsledkem je síla, která byla potřebná pro zatlačení kuličky. Podle průměrů výsledků byla vytvořena Jankova stupnice tvrdosti.

Model testu tvrdosti dle Janka je znázorněn na následujícím obrázku:



Obr. 14: Model zkoušky tvrdosti dřeva dle Janka

Jankova tvrdost je dána vztahem:

$$H_J = \frac{F}{S} \quad (1)$$

H_J – tvrdost dle Janka (v MPa)

F – síla potřebná na zatlačení kuličky (v N)

S – otláčená plocha ve dřevě (100 mm²)

Jednoduchá klasifikace rozděluje dřevo na měkké a tvrdé. Tvrdost dřeva se v dnešní době udává v MPa (dříve kg/cm²). Vzhledem k tomu, že se jedná o živý materiál s proměnlivou strukturou, která vznikla v průběhu mnoha let růstu, provádí se zkouška pro každý druh dřeva vícekrát na různých místech a tvrdost uvedená v tabulce

je průměrem z naměřených hodnot. [17] Metoda Janka rozděluje šest skupin tvrdosti (viz *tab. 3*).

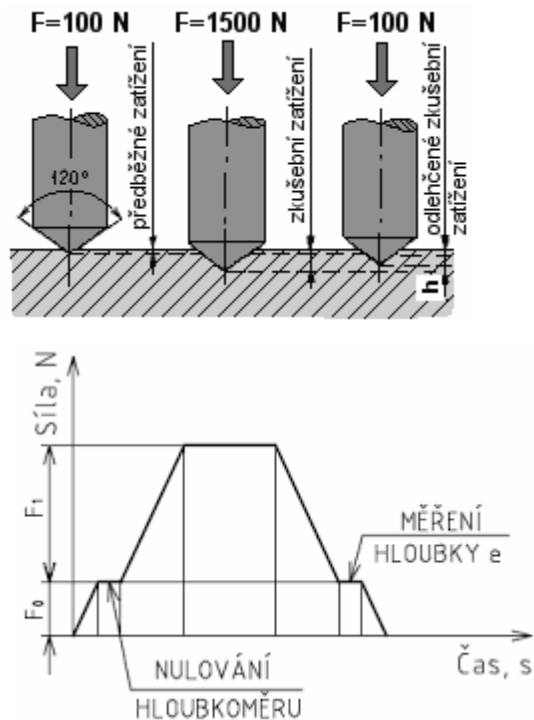
Tab. 3: Tabulka tvrdosti dřeva dle Janka [17]

Tvrдост	kg.cm⁻²	Druh dřeva
1. tvrdost	0-350 (velmi měkká)	smrk, borovice, limba, jedle, topoly, vrby, lípy
2. tvrdost	351-500 (měkká)	modřín, douglaska, kleč, jalovec, bříza, olše, jíva, střemcha, teak
3. tvrdost	501-650 (středně tvrdá)	kaštan jedlý, platan, jilmy, líska
4. tvrdost	651-1000 (tvrdá)	dub, ořešák, javor, třešeň, jabloň, jasan, buk, hrušeň, švestka, akát, habr
5. tvrdost	1001-1500 (velmi tvrdá)	dřín, svída, ptačí zob, dub pýřitý, zimostřez
6. tvrdost	nad 1501 (neobyčejně tvrdá)	eben cejlonský, africký grenadil, duajak a jiné exotické dřeviny

Dnes žijeme v době, kde lze spočítat nebo numericky nasimulovat vlastnosti podstatně více materiálů, než tomu bylo v minulosti. Dřevo je však velmi složitý kompozitní materiál (který se navíc liší prakticky kus od kusu). Proto jsou mechanické vlastnosti dřeva stanoveny zkouškami, které mají svá pravidla a výsledné hodnoty jsou vždy jakýmsi zprůměrováním hodnot dané skupiny těles.

3.4.2 ZKOUŠKA TVRDOSTI PODLE ROCKWELLA

Základem testu tvrdosti je vtiskování ocelové kuličky nebo diamantového kužele do zkoumaného materiálu pod účinkem dvou zatěžovacích sil. Nejprve se těleso zatíží předběžnou silou na 100 N (výchozí pozice měření). Záměrem předběžného zatížení je vyřadit nepřesnosti povrchových ploch z měření, hloubkoměr se ustaví na nulu a plochu tělesa není zapotřebí upravovat. Zatěžovací síla se dále pozvolna zvětšuje až na hodnotu předepsanou normou (př. 600, 1000 a 1500 N). Dosáhnutí dané velikosti trvá 3 až 6 sekund, následuje snížení zatížení na původní hodnotu síly 100 N. V tomto stavu se odečte přírůstek hloubky vtisku (h), který nastal proti výchozí poloze (kdyby se odečítalo při plném zatížení, tvrdost by se jevila daleko menší). [3] Průběh znázorněn na *obr. 15*.



Obr. 15: Průběh Rockwellovy zkoušky

Rockwell pro zkoušku používal diamantový kužel s vrcholovým úhlem 120° s poloměrem kulové části 0,2 mm. Zvolený úhel hrotu má eliminovat tření vznikající při vnikání indentoru. Druhým vnikacím tělsem může být kulička o průměr 1,5875 mm.

Zkouška tvrdosti podle Rockwella je snadná, rychlá a povrchové vpichy (důlky) jsou velmi malé - max. hloubka 0,2 mm. Je vhodná pro běžnou kontrolu velkých sérií výrobků. Pro měkčí materiály je potřeba místo diamantového kužele použít ocelovou kuličku i menší zatížení.

U nás jsou normalizovány tři zkoušky tvrdosti podle Rockwella. Tvrdost zjištěnou při těchto zkouškách označujeme podle druhu vnikacího tělíska - HRA, HRB, HRC. Výběr Rockwellovy stupnice záleží hlavně na předpokládané tvrdosti zkoušeného materiálu.

- HRB

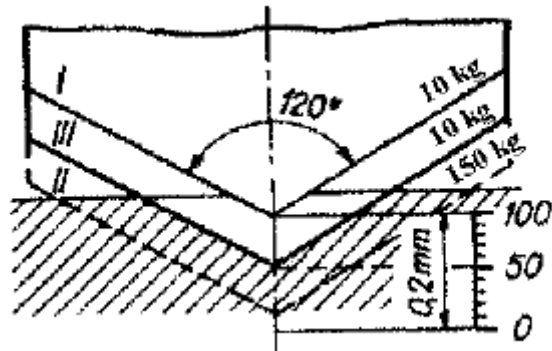
Tvrdost určená ocelovou kuličkou (B = ball) při celkovém zatížení 1000 N. Pro měkčí kovy (25 - 100 HRB).

- HRA

Tvrdost určená diamantovým kuželem při celkovém zatížení 600 N. Pro slinuté karbidy a tenké povrchové vrstvy.

- HRC

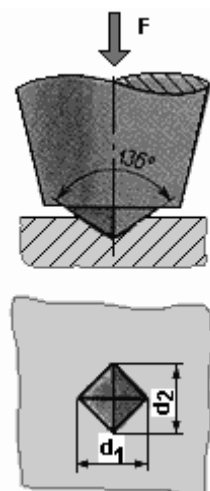
Tvrdomost určená diamantovým kuželem (C = cone) při celkovém zatížení 1500 N. Doporučuje se používat pro rozsah HRC = 20 - 67. Tento princip měření zobrazen na obr. 16.



Obr. 16: Princip měření HRC tvrdosti [17]

3.4.3 ZKOUŠKA TVRDOSTI PODLE VICKERSE

Zároveň s americkou Rockwellovou metodou vznikla v Anglii jiná vnikací zkouška. Charakteristickým indentorem pro postup měření tvrdosti podle Vickerse je čtyřboký diamantový jehlan s vrcholovým úhlem stěn 136° (obr. 17). Zvolený úhel má stejnou úlohu jako u Rockwella – snižuje účinky tření.



Obr. 17: Vickersův čtyřboký jehlan a znázornění jeho vtisku [17]

Výsledný vtisk má tvar čtyřhranné plošky, u které se měří úhlopříčka a následně se dosadí do vztahu:

$$HV = 0,189 \frac{F}{u^2} \quad (2)$$

Kde:

HV – tvrdost podle Vickerse (MPa)

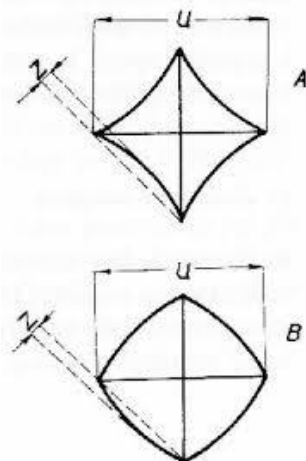
F – zatěžovací síla [N]

u – průměrná hodnota úhlopříčky [mm]

Obvyklé hodnoty zatížení dané normou jsou 9,8; 29,4; 49; 98; 294 a 490 N. Vickersova zkouška splňuje teoretické požadavky oproti ostatním zkouškám. Ačkoli se musí uvádět, jakou silou byla zkouška podrobena, hodnoty tvrdosti jsou prakticky na velikosti zatížení nezávislá. Zkušební zatěžující síla bývá od 10 do 1000 N. Doba zatížení je volena od 10 do 180 s. Použité zatížení zapisujeme do označení, např. HV 100 (HV 100 = 215).

V závislosti na rozdílné pevnosti materiálu se nemusí obrys vtisku jevit čistě čtvercový. U měkkých materiálů mohou být strany vyduté, naopak u tvrdších materiálů vypouklé (Obr. 18). [13]

Výhodou této metody je tedy přesnost, povrch tělesa není téměř narušen (vtisky jsou malé).



Obr. 18: Typy vtisku Vickersovým indentorem [13]

A – tvar vtisku měkkých materiálů, B – tvar vtisku tvrdších materiálů

3.4.4 ZKOUŠKA TVRDOSTI PODLE BRINELLA

Tuto zkoušky řadíme mezi nejrozšířenější a slouží pro mezinárodní určení tvrdosti dřeva. Podstatou Brinellovy zkoušky je vlačování ocelové kalené kuličky daného průměru do plochy zkoušeného tělesa konstantním zatížením (obr. 19).

Tvrdot je vyjádřena vztahem:

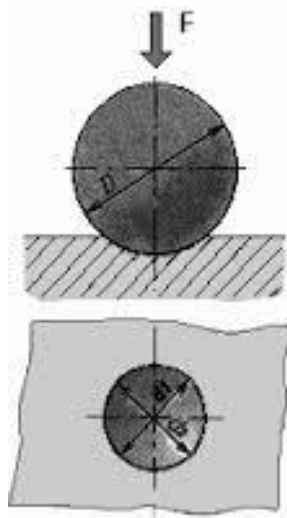
$$H_B = \frac{F}{S} \quad (3)$$

Kde:

H_B – Brinellova tvrdost [MPa]

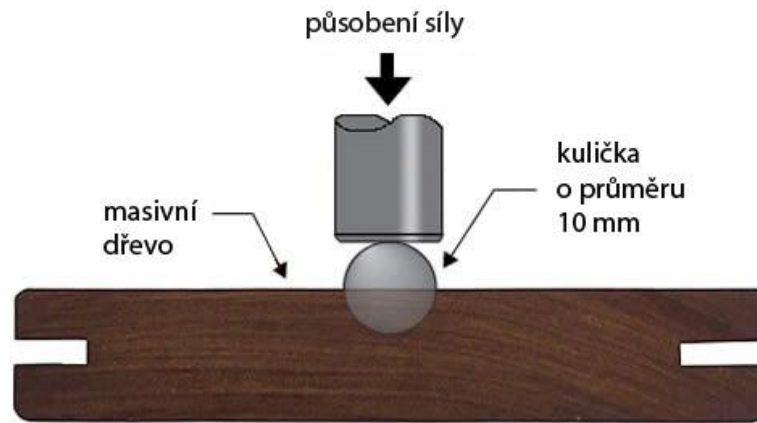
F – zatěžovací síla [N]

S – plocha vtisku (považována za kulovou) [mm²]



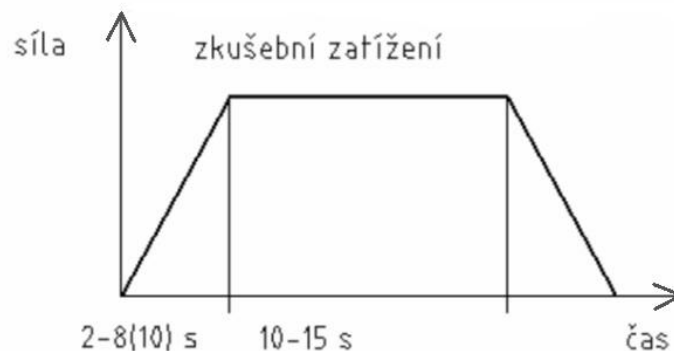
Obr. 19: Brinellova zkouška tvrdosti – tvar a obrys tělíska [117]

Průměr (D) kuličky závisí na tloušťce měřeného materiálu - bývá 1 mm; 2,5 mm; 5 mm a 10 mm. Minimální tloušťka materiálu by měla splňovat desetinásobek hloubky vtisku, v opačném případě by se mohla projevit tvrdost podložky.



Obr. 20: Model Brinellovy zkoušky tvrdosti [19]

Těleso musí být při zkoušce pevně uchycen a položen na tuhé podložce, aby se během zkoušky nepohnul. Důležitý je stav tělesa, jehož povrch nesmí obsahovat nečistoty a cizí tělíska (povrch musí být hladký a rovný). Vnikací indentor se zatlačuje do povrchu zatížením směřujícím kolmo k povrchu tělesa (Obr. 20), bez rázů a chvění. Doba zatěžování do dosažení zkušební síly nesmí být menší než 2 s a zároveň delší než 8 s, doba působení zkušební síly se pohybuje v rozmezí 10 až 15 s podle druhu materiálu (Obr. 21). Pro některé mohou být použity delší časy, ty však musí být dodržovány s tolerancí ± 2 s.



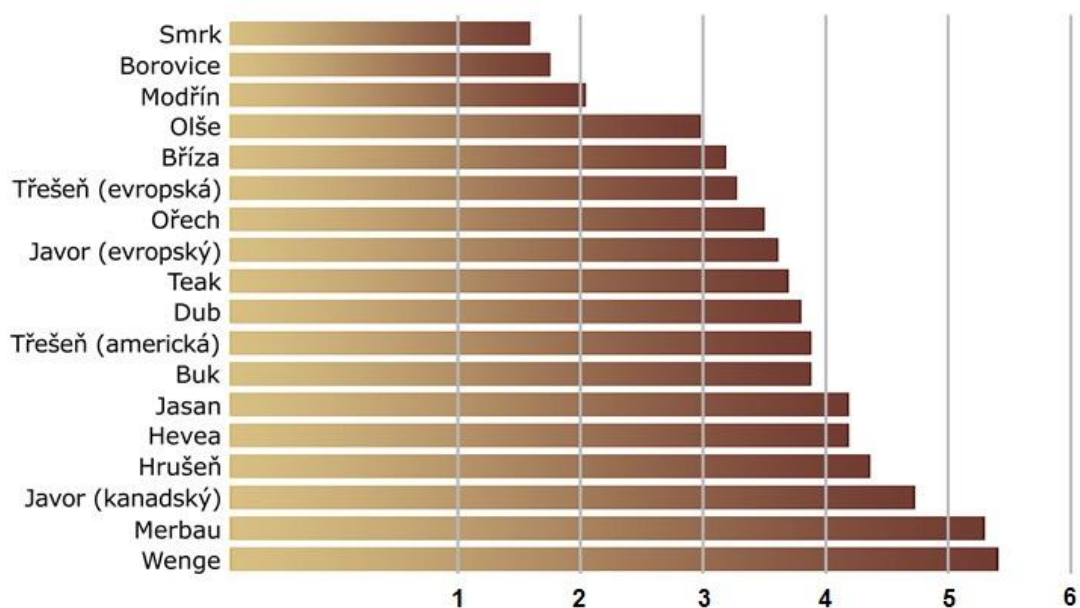
Obr. 21: Průběh Brinellovy zkoušky tvrdosti (Drastik, 2002-2009)

Podmínky zkoušek je nutno dodržovat z důvodu porovnatelnosti naměřených výsledků. Na výsledek má vliv zejména velikost působící síly, která se volí s ohledem na průměr použité kuličky a měřený materiál. [4]

Pro praktickou potřebu jsou sestaveny tabulky, kde se označení tvrdosti skládá ze značky tvrdosti H_B a k ní připojených údajů podmínek zkoušky, tj. průměru kuličky

D , síly F a doby zatížení t . Tyto údaje jsou od sebe odděleny lomítkem (např. H_B 5/7500/30 = 320). Pro nejběžnější podmínky, tj. H_B 10/30000/10, používáme jen označení H_B (např. $H_B=210$). Tvrdosti podle Brinella nelze převádět na jiné stupnice.

Pro srovnání a ukázkou si předvedeme stupnici tvrdosti dřeva podle Brinella (obr. 22). Tabulka tvrdosti je pouze orientační, jelikož tvrdost dřeva jednotlivých stromů se může lišit v závislosti na prostředí, v kterém vyrůstají až o 10%. Jak už bylo zmíněno, ke zkoušce je použita ocelová kulička, jde při tom o to, aby výsledný vtisk byl co nejmenší, podle toho pak odpovídá velikost tvrdosti příslušného dřeva.



Obr. 22: Brinellova stupnice tvrdosti v kg/cm^2
 1-2 Měkké dřevo; 2-3 Polotvrdé dřevo; 3-4,5 Tvrdé dřevo; 4,5-8 Velmi tvrdé dřevo

Podrobnější a přehlednější hodnoty tvrdosti dle Brinella jsou z tohoto grafu uvedeny v tab. 4. Sloupec s tvrdostí se řídí podle stupnice:

- 1-2 Měkké dřevo
- 2-3 Polotvrdé dřevo
- 3-4,5 Tvrdé dřevo
- 4,5-8 Velmi tvrdé dřevo

Tab. 4: Tvrdost dřevin dle Brinellovy stupnice tvrdosti [5]

Dřevina	Tvrdost dle Brinnela	Relativní tvrdost v %
smrk	1,6	42
borovice	1,8	48
český modřín	2,1	56
sibiřský modřín	3,0	77
třešeň evropa	3,3	85
bříza	3,3	85
ořech vlašský eur.	3,5	90
javor evropský	3,6	92
teak plantážový	3,7	95
buk	3,8	97
dub	3,9	100
třešeň USA	3,9	100
jasan	4,1	105
hevea	4,2	109
hrušeň	4,3	113
teak pralesní	4,6	118
javor kanadský	4,8	123
merbau	5,3	136
bambus	6,2	162
ipe-brazil.ořech	6,7	174
jatoba-brazil.třešeň	7,4	186
ironwood	7,7	196

**Relativní tvrdost se odvíjí od tvrdosti dubu*

Doposud jsme se bavili pouze o statické tvrdosti dřeva, kam právě řadíme zmíněné zkoušky tvrdosti. Existuje však druhá skupina zkoušek, která určuje dynamickou tvrdost dřevin. Stejně tak jako statická tvrdost dřeva, je dynamická tvrdost při posuzování závislá na vlhkosti materiálu. Se změnou vlhkosti o 1% se dynamická tvrdost změní o 2-3%. [5]

Důsledkem toho, že je dřevo přírodní nehomogenní útvar a vykazuje anizotropii, je třeba mít na paměti, že je každý kousek jedinečný, což znamená, že i veškeré zkoušky se musí brát pouze orientačně.

4 METODIKA DIPLOMOVÉ PRÁCE

Přecházíme z obsáhlých teoretických poznatků o dřevě k praktické části diplomové práce. Podstatou bude vyhodnotit vliv určitých technologických faktorů na statickou tvrdost dřeva.

Zkoumané faktory praktické části jsou:

1. Vlastnosti materiálu
2. Rozměry materiálu
3. Zhuštění materiálu

Než se dostaneme k samotným bodům metodiky práce, musí být zmíněn původ zkušebních těles, na kterých zkoušky tvrdosti probíhaly. V rámci projektu katedry základního zpracování dřeva byl pro výzkum poskytnut materiál od studenta Vojtěcha Vokatého, který zajistil ve spojení s jeho závěrečnou prací přípravu těles od zpracování dřeva až po rozřezání dlouhých lamel.

4.1 VLASTNOSTI MATERIÁLU

V první řadě se seznámíme se samotným materiálem těles. Pro zkoušku tvrdosti byly vybrány 2 druhy dřevin, a to zástupce měkkého dřeva – topol osika (lat. *Populus tremula*) a dále zástupce tvrdého dřeva – buk lesní (lat. *Fagus sylvatica*).

Vlhkost dřeva těles byla 8%, protože byly ponechány v místnosti o teplotě 21°C a při relativní vlhkosti vzduchu 65 %. Na této vlhkosti proběhlo i měření tvrdosti. Pro vyhodnocení a srovnání se hodnoty přepočítaly na vlhkost 12% a to následujícím způsobem:

$$H_{B_{12}} = H_{B_w} * [1 + \alpha * (w - 12)] \quad (4)$$

kde:

$H_{B_{12}}$ – tvrdost dřeva při 12% (v MPa)

H_{B_w} – tvrdost při zkoušené vlhkosti (v MPa)

- w – vlhkost zkušebních těles při zkoušce (v %)
(v tomto případě byla vlhkost 8 %)
- α – opravný vlhkostní koeficient pro tvrdost kolmo na vlákna pro všechny dřeviny (v tomto případě 0,025)

4.1.1 TOPOL OSIKA

Topol osika (*Populus tremula L.*) je rychle rostoucí dřevina (výška 20-30 m), která poskytuje měkké a lehké dřevo. Velmi dobře se opracovává. Dřevo se využívá k výrobě dých, zápalek a celulózy a používalo se i jako palivové dříví (i když ne zcela kvalitní). V současné době se topol osika řadí mezi tzv. energetické dřeviny.

Barva dřeva topolu je šedožlutá. Hustota topolu se pohybuje kolem 490 Kg/m³. Jeho uváděná tvrdost podle Brinella je 23 MPa rovnoběžně s vlákny a 11 MPa kolmo na vlákna. Tvrdosti podle Janka se liší. Pro srovnání je to 32 MPa rovnoběžně na vlákna a 64 MPa kolmo na vlákna. Oba dva uvádějí hodnoty tvrdosti pro vlhkost materiálu 12%. [18]

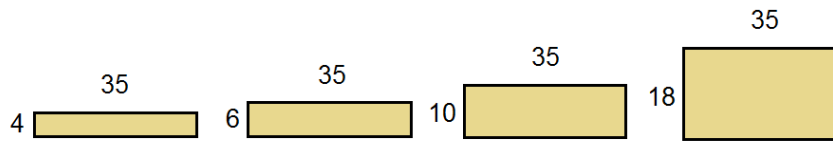
4.1.2 BUK LESNÍ

Druhou skupinu zastupuje buk lesní (lat. *Fagus sylvatica L.*), velmi tvrdé, pevné, těžké, ale ne příliš pružné dřevo (výška i 40 m). Používá se k výrobě nábytku, dých, parket, pražců, hraček, dřevěného uhlí apod. Je také výborným topivem.

Barva dřeva u buku je bílá až mírně narůžovělá. Hustota je asi dvojnásobně větší než u topolu, pohybuje se kolem 720 Kg/m³. Tvrdost buku dle Brinella je ve směru kolmém na vlákna 34 MPa a rovnoběžně s vlákny 72 MPa, podle Janka 64 MPa v prvním případě a 78 MPa pro tvrdost rovnoběžně s vlákny. Opět při vlhkosti 12%. [19]

4.2 ROZMĚRY MATERIÁLU

Dalším sledovaným faktorem je tloušťka materiálu. Měření tvrdosti bude probíhat na zkušebních tělesech v tloušťkách 4, 6, 10 a 18 mm. Tloušťky těles jsou zobrazeny na Obr. 23. Šířka 35 mm a délka 150 mm je pak u všech variant stejná.



Obr. 23: Tloušťka a šířka těles v mm

4.3 ZHUŠTĚNÍ MATERIÁLU

Zkouška tvrdosti se bude týkat třech variant zhuštění:

- rostlé dřevo
- zhuštěné dřevo na 10%
- zhuštěné dřevo na 20%

Přírodním dřevem se zabývala v podstatě celá teoretická část, ovšem charakteristika zhušťovaného dřeva nebyla doposud zmíněna, proto mu věnujeme pozornost nyní.

Jedná se o umělou modifikaci dřeva, která má zvýšit objemovou hmotnost dřevní hmoty za účelem vytvoření pevnějšího a tvrdšího materiálu. Podstatou technologie zhušťování dřeva je změna jeho mikrostruktury.

Funkcí modifikace dřeva je zachovat a zlepšit stávající dobré vlastnosti (pevnost, pružnost, nízkou hmotnost) a současně eliminovat negativní vlastnosti dřeva, mezi které řadíme rozměrovou nestabilitu nebo opotřebovatelnost.

Zhušťování dřeva se provádí:

- Chemicky
- Teplotou
- Impregnačí
- Tlakem – lisováním
- Mikrovlnným zářením

Pro výzkum této práce je důležité zhuštění dřeva lisováním. Proces lisování vytváří působením mechanických sil deformace, obvykle trvalého rázu. Dojde ke zhutnění struktury dřeva alepší se některé mechanické vlastnosti. Při lisování nesmí být překročena mez pevnosti dřeva, jinak dojde k porušení buněčné struktury a snížení mechanických vlastností.

Slisované dřevo má vyšší hustotu, což zlepšuje jeho odolnost vůči mechanickému poškození. Pro lepší slisovatelnost je vhodné dřevo plastifikovat (přechodně měkčit). V plastickém stavu zůstává jen po dobu, po kterou je udržována vlhkost a teplota. Po dosažení požadovaného tvaru je zafixováno, vysušeno a ochlazeno, tím se vrátí do přirozené podoby, ale nový tvar si uchová. [8]

Existuje řada lisovacích procesů – lisování jednoosé, dvouosé, obvodové, prostorové a lisování válcováním dřeva. Podstatou lisování je zatížení (síla) působící na určitou plochu:

$$P = \frac{F}{S} \quad (5)$$

Kde:

P – lisovací tlak [MPa]

F – lisovací síla [N]

S – plocha tělesa, která je zatěžována silou [mm²]

5 METODIKA EXPERIMENTÁLNÍ PRÁCE

Tato část práce je zaměřená na postup zkoušky tvrdosti. Nejprve se seznámíme s metodikou měření a zkušebním materiálem, který byl použitý pro zkoušku tvrdosti. Následovat bude samotná zkouška tvrdosti a její analýza výsledků.

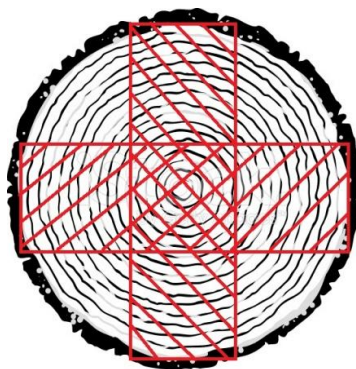
Postup experimentálního měření se skládá z těchto kroků:

1. Výroba
2. Označení a třídění
3. Měření
4. Vyhodnocení

5.1 VÝROBA ZKUŠEBNÍCH TĚLES

Tělesa byly převzaty od kolegy, studenta Vojtěcha Vokatého, který prováděl na dlouhých zkušebních lamelách ohybové zkoušky. Po skončení jeho zkoušky, byly tělesa rozřezány na 4 části a jedna z krajních částí zkušebních těles byla poskytnuta pro měření tvrdosti. Z darovaných těles se protřídily vhodné kousky pro výzkum této práce, kdy byly vyčleněny prvky cyklicky upravované, protože toto namáhání nemá vliv na koncové části lamel. Výroba těles tedy není součástí této práce, avšak pro představu a porozumění bude krátce popsán postup výroby.

Stromy, ze kterých byly tělesa vyrobeny, pocházely z oblasti Polana na Slovensku. Zkušební tělesa byly vyráběny z bukové a osikové kulatiny. Dřevo bylo rozřezáno dvoustupňovým zpracováním tak, aby byla omezena proměnlivost hustoty. Schéma pořezu znázorňuje následující obrázek:



Obr. 24: Schéma pořezu

Nejprve prošly dřeviny kotoučovou pilou (Homag, Španělsko), která je rozřezala na přířezy, následovala egalizace přes tloušťkovací frézku (Jaroma, Polsko) a finální úprava proběhla na kalibrační brusce.

Výsledkem celého procesu byly kalibrované zkušební tělesa o délce 600 mm, šířce 35 mm a požadovaných tloušťkách 4 mm, 6 mm, 10 mm a 18 mm (obr. 25). Jak už bylo zmíněno, po ohybové zkoušce byla délka upravena, a to tak, že se lamely rozřezaly na čtyři části, takže finální rozměry tělesa pro měření tvrdosti byly 35x150 mm.



Obr. 25: Zkušební tělesa (buk lesní): zleva 4 mm, 6 mm, 10 mm a 18 mm

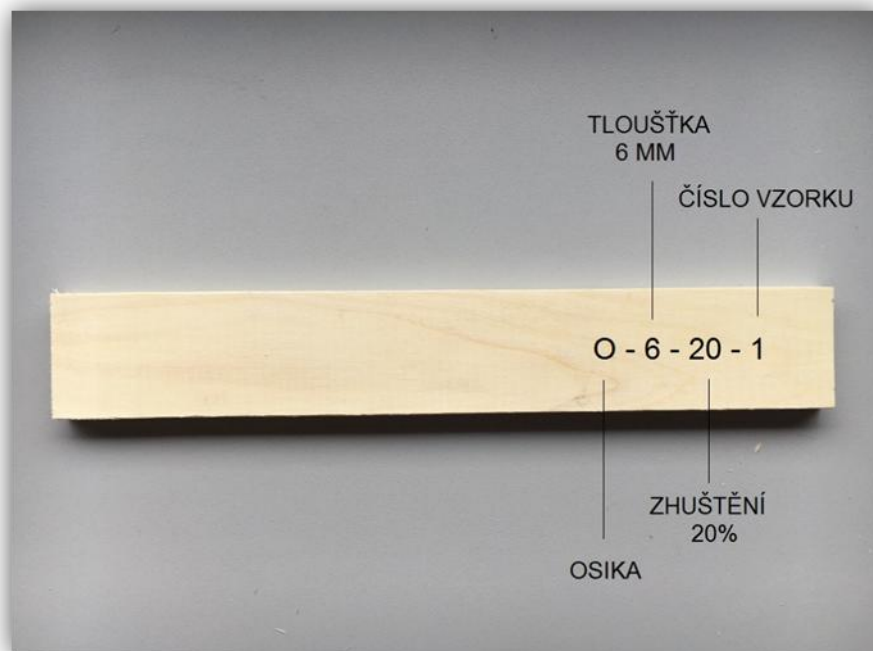
Některé tělesa lamel prošly lisovacím procesem a byly zhuštěny na 10% nebo 20%. Ostatní zůstaly bez zhuštění. Tělesa se do lisu (*Prüfsysteme, Německo*) vkládaly po jednotlivých souborech, kdy doba lisu jednoho souboru trvala přibližně 7 minut (v čase je zahrnuto samotné stlačování na danou tloušťku těles a také dvouminutové ponechání těles ve stlačení). Před zatěžováním byly zaznačeny rozměry lamel (tloušťka, šířka a délka) a tělesa byly zároveň zváženy.

5.2 ZNAČENÍ TĚLES

Pro jednotnou identifikaci zkušebních těles bylo vytvořeno klíčové značení (obr. 26).

Jednotlivé symboly mají svůj význam a vytváří kategorizaci:

- Druh dřeviny: **B/O** (*buk/osika*)
- Tloušťka materiálu: **4/6/10/18** (*mm*)
- Stupeň zhuštění: **0/10/20** (*%*)
- Číslo tělesa v souboru: **1 - 5**



Obr. 26: Značení zkušebního tělesa

Celkem bylo zkoumáno 24 souborů dřevěných těles – 12 souborů vyrobených z osiky a 12 souborů z buku. Každý soubor se skládal z pěti těles a každý těleso prošel trojím měřením tvrdosti.

Pro přehlednost je rozdělení těles podle zhuštění a tloušťky v *Tab. 5* pro tělesa z buku a v *Tab. 6* pro tělesa z osiky.

Tab. 5: Počet bukových zkušebních těles

BUK LESNÍ	Rostlé dřevo	Zhuštěné dřevo 10 %	Zhuštěné dřevo 20 %
4 mm	5 ks	5 ks	5 ks
6 mm	5 ks	5 ks	5 ks
10 mm	5 ks	5 ks	5 ks
18 mm	5 ks	5 ks	5 ks
Celkem těles			60 ks

Tab. 6: Počet osikových zkušebních těles

TOPOL OSIKA	Rostlé dřevo	Zhuštěné dřevo 10 %	Zhuštěné dřevo 20 %
4 mm	5 ks	5 ks	5 ks
6 mm	5 ks	5 ks	5 ks
10 mm	5 ks	5 ks	5 ks
18 mm	5 ks	5 ks	5 ks
Celkem těles			60 ks

5.3 MĚŘENÍ TĚLES

Tato část je věnovaná experimentální zkoušce, prováděná v nové laboratoři dřevařské a lesnické fakulty. Postupně popisuje kroky měření, kterými se získaly hodnoty tvrdostí jednotlivých těles.

V praxi se často setkáváme s pokusy, kdy sledujeme více působících faktorů najednou. Jak už bylo párkrát zmíněno, v tomto případě budou sledovány následující faktory:

- **druh dřeviny**
- **tloušťka dřevěných lamel**
- **úprava dřeva**

Dřevina byla volena tak, aby se jednalo o jednoho zástupce z měkkých dřevin a jednoho zástupce z tvrdých dřevin – **topol osika** a **buk lesní**. K dispozici byly čtyři tloušťky těles – **4 mm, 6 mm, 10 mm a 18 mm**.

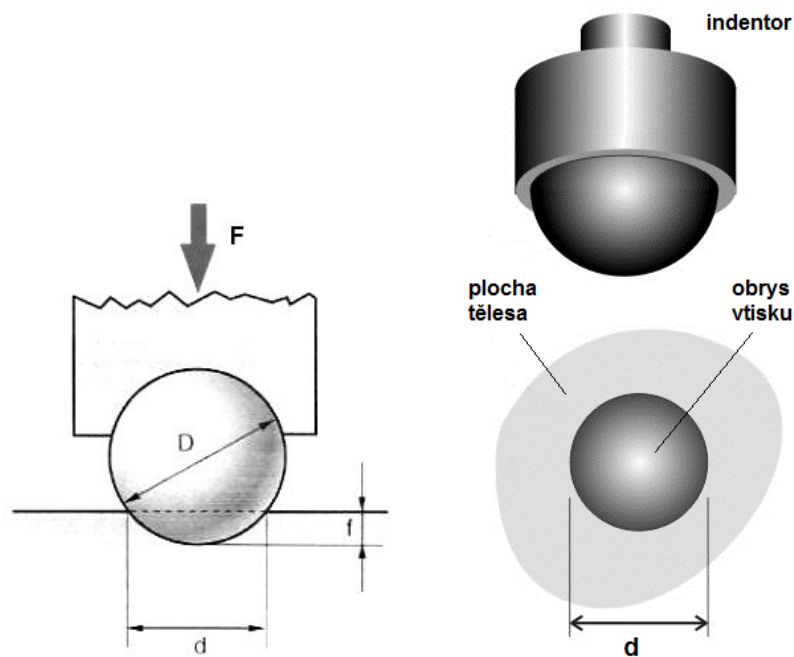
Úpravou dřeva rozumíme, zda byly tělesa nějakým způsobem technologicky modifikovány. Úkolem měření je porovnat dřevo přírodní **rostlé (0% zhuštění)** a dřevo lisem **zhušťované na 10% a 20%**.

5.3.1 METODA MĚŘENÍ

Jelikož existuje řada metod na měření tvrdosti dřeva, byla vybrána v rámci možností zkouška tvrdosti podle Brinella.

Zkouška tvrdosti dle Brinella je výsledkem práce švédského inženýra Johana Augusta Brinella, kterou zařazujeme mezi statické zkoušky tvrdosti materiálu. Způsob jejího provedení sjednocuje norma ČSN EN ISO 6506-1 (2005) [25]. Princip celé zkoušky spočívá na vtlačení zkušebního tělesa – indentoru – kulového tvaru do zkoumaného prvku. Následně se zjišťuje průměr vtisku (*obr. 27*).

Tvrdost podle Brinella označujeme znakem **H_B** (Brinell hardness). Jestliže je použita k měření ocelová kulička z kalené oceli, označujeme metodu ve zkratce H_{BS} – je vhodná pro měkčí materiály. Existuje možnost změřit materiály i mnohem tvrdší, zkouškou H_{BW}, která používá kuličku ze slinutých karbidů. [17]



Obr. 27: Princip Brinellovy zkoušky

Obecně se Brinellova metoda používá na materiály měkké a středně tvrdé. Experimentální měření tvrdosti podle Brinella proběhlo na tvrdoměru DuraVision 30. Ikdyž jsou podmínky měření dle Brinella stanoveny normou, výsledky se mohou lišit, proto je povinností uvádět ke každému pokusu, za jakých okolností se měřilo.

Tvrdoměr DuraVision 30 byl nastaven tak, aby zatěžovací síla pro měkké dřevěné lamely z osiky měla 250 N a pro tělesa z tvrdšího buku byla větší, a to 500 N. **Měřilo se pomocí kuličky o průměru 10 mm a délka měření jednoho vtisku byla 10 vteřin.**

Pro přehlednost jsou podmínky měření zapsány následovně:

OSIKA	H_B 10/250/10
BUK	H_B 10/500/10

Význam zápisu:

H_B- Tvrdost dle Brinella: průměr ocelové kuličky na stroji/zatěžující síla/čas měření

5.3.2 TVRDOMĚR

Statická tvrdost se měří pomocí různých tvrdoměrů. Nová univerzitní laboratoř, kde byly dřevěné tělesa podrobeny zkoušce tvrdosti, je vybavena tvrdoměrem *DuraVision* od firmy Struers.

DuraVision je inovativní řada universálního tvrdoměru, určená pro měření metodami Brinell, Vickers, Knoop nebo Rockwell. Pokrývá celý rozsah zátěží běžného měření tvrdosti nejen dřevěných materiálů a je vybavena mimořádně snadným ovládáním. [24]

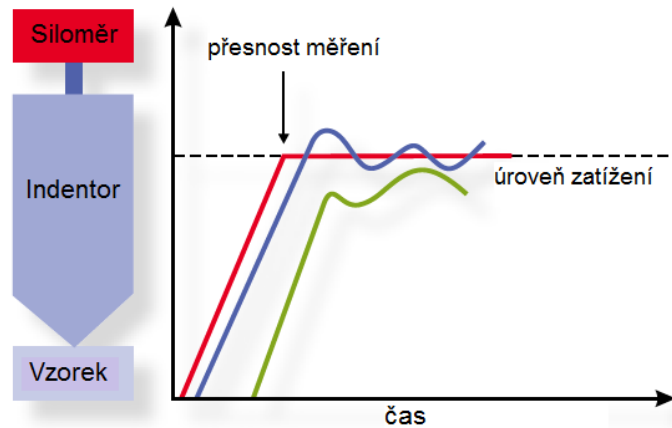
V případě měření tvrdosti této práce byl použit model *DuraVision 30* (Obr. 28), který je tvořen pevnou testovací hlavou a automatickým vyhodnocením výsledků. Testovací metoda je založena na vlačování kuličky do materiálu.



Obr. 28: Tvrdoměr *DuraVision 30* společnosti Struers

Shrnutí některých technických parametrů tohoto tvrdoměru:

- Automatické měření tvrdosti dle metod Brinell, Rockwell, Vickers a Knoop
- Modernější technologie zatěžování pro přesné a opakovatelné zatěžování (Obr. 29), nastavená zatěžovací síla odpovídá přesné hodnotě



Obr. 29: Přesnost měření tvrdoměru DuraVision

- Plně automatické testovací cykly a automatické vyhodnocení tvrdosti
- Snadné a flexibilní upínání těles
- Testovací zatížení v rozsahu 250 N, 500 N a 1000 N, volí se podle předpokládané tvrdosti materiálu
- Ovládání přes dotykový panel pro snadné a přehledné nastavení všech parametrů (veškeré nastavení je naprogramováno angličtině) [24]



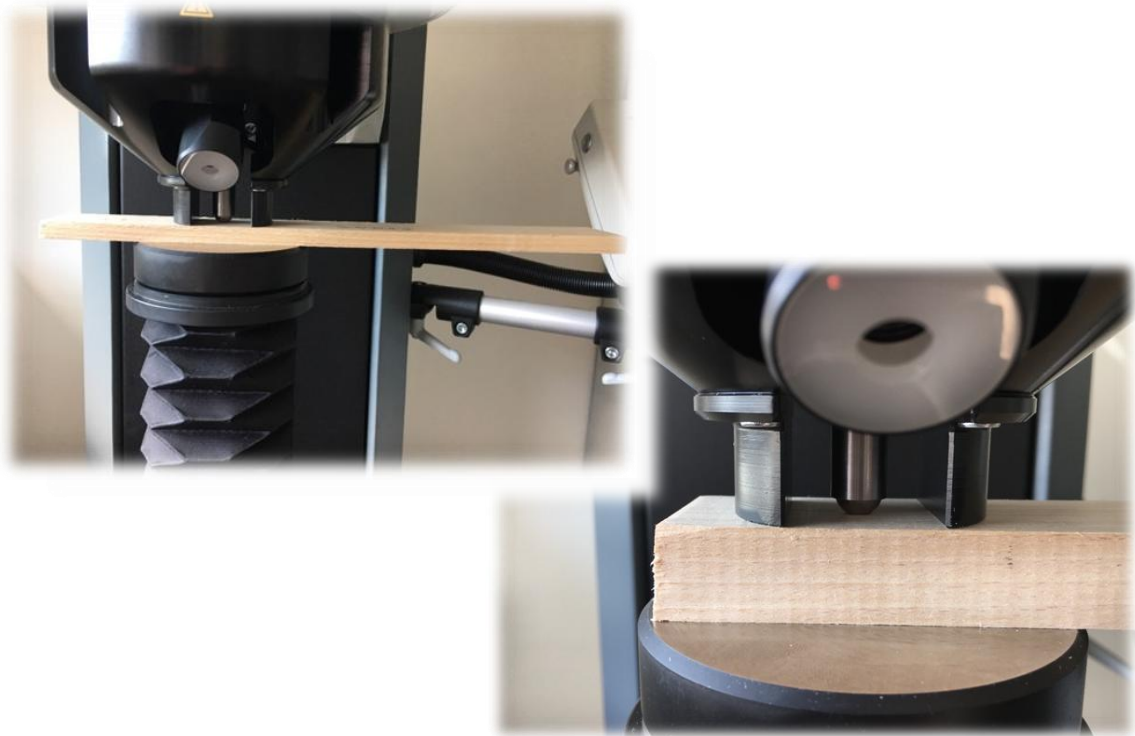
Obr. 30: Měřicí hlava tvrdoměru DuraVision [24]

5.3.3 POSTUP MĚŘENÍ

Specifikace tvrdoměru a charakteristika zkoumaných těles je známa, takže následuje samotné měření.

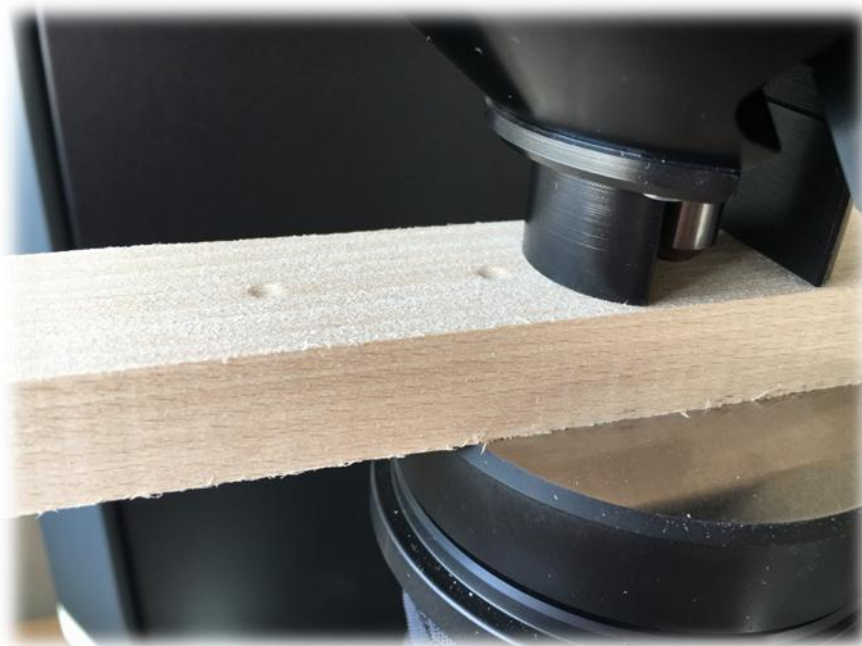
Postup se skládal z několika činností:

1. nastavení podmínek měření
 2. vkládání a upínání zkušebního tělesa na pracovní desku tvrdoměru
 3. měření
 4. zápis hodnot
 5. vyhodnocení výsledků
1. Pomocí přehledného dotykového displeje tvrdoměru byly nastaveny kritéria zkoušky. Software tvrdoměru měl podmínky pro měření Brinellovy metody přednastaveny – volila se pouze zatěžovací síla 250 N pro osiku, protože jde o měkké dřevo a 500 N pro středně tvrdý buk.
 2. Na pracovní desku tvrdoměru byly jednotlivě vkládány a upínány dřevěné tělesa (Obr. 31)



Obr. 31: Zkouška tvrdosti

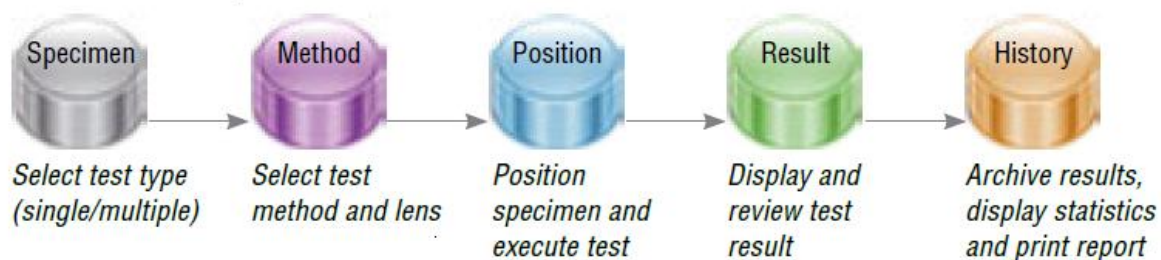
3. Kalibrace a vtisk indentoru trval přibližně 1 minutu, z toho samotný proces vtisku měřícího tělesa do tělesa 10 s. Každé těleso bylo měřeno na třech místech, aby byla zjištěna variabilita tvrdosti. Po vtisku se musel těleso tedy uvolnit a posunout o 3 centimetry.



Obr. 32: Průběh zkoušky tvrdosti vtiskem

4. Tvrdoměr je až na manuální připevňování dřívěk plně automatický, výsledky tvrdosti materiálu podle každého vtisku byly vyhodnoceny přímo na dotykovém displeji. Změřená hodnota byla po každém vtisku zapsána do tabulky v MPa.

The workflow concept



Obr. 33: Grafické znázornění pracovního postupu

5. Na zpracování a vyhodnocení výsledků byla použita softwarová technologie:

- **Microsoft Excel 2010** – program sloužil v tomto případě především pro zapsání a uspořádání výsledků naměřených dat z tvrdoměru a jako vstupní část pro vyhodnocení a analýzu výsledků v dalším použitém softwaru.

- **Statistica 13** - pro analýzu naměřených dat byla použita 3-faktorová ANOVA analýza (založena na Fisherovém F-testu). Tato analýza umožnila provést vícenásobné porovnání faktorů (několika různých podmínek), kterými jsou zkoumané předměty vystaveny. Metoda je založena na hodnocení vztahů mezi rozptyly porovnávaných (testovaných) těles, výstupem tohoto programu byly statistické grafy

6 VÝSLEDKY

V tomto oddíle jsou zpracovány veškeré výsledky měření, především v podobě přehledných grafů, které zobrazují účinky faktorů na tvrdost dřeva.

Výsledky Brinellovy zkoušky byly postupně zapsány do tabulky v excelu a následně převedeny do statistického softwaru Statistica 13, který na základě třífaktorové analýzy vyhodnotil všechny působící faktory.

Následující tabulka (Tab. 7) znázorňuje významnost měření v souvislosti s naměřenými výsledky. Všechny faktory, působící jednotlivě i společně v kombinaci, jsou statisticky významné na základě 95% intervalu spolehlivosti $p < 0.05$. Jednoduše řečeno, všechny sledované faktory (dřevina, tloušťka a zhuštění), jako i jejich interakce, mají určitý vliv na statickou tvrdost dřeva. Nejmenší význam na tvrdost z těchto faktorů má tloušťka materiálu, velmi důležité je naopak zhuštění a druh dřeviny.

Tab. 7: Trojfaktorová analýza rozptylu tvrdosti

Faktor	Součet čtverců	Stupeň volnosti	Rozptyl	Fisherův F-test	Hladina význ.
Intercept	507195,4	1	507195,4	20967,37	0,000000
Dřevina	138580,0	1	138580,0	5728,87	0,000000
Zhuštění	2056,4	2	1028,2	42,50	0,000000
Tloušťka	201,4	3	67,1	2,78	0,041346
Dřevina*Zhuštění	428,3	2	214,2	8,85	0,000179
Dřevina*Tloušťka	2342,5	3	780,8	32,28	0,000000
Zhuštění*Tloušťka	756,7	6	126,1	5,21	0,000038
Dřevina*Zhuštění*Tloušťka	419,3	6	69,9	2,89	0,009273
Chyba	8127,8	336	24,2		

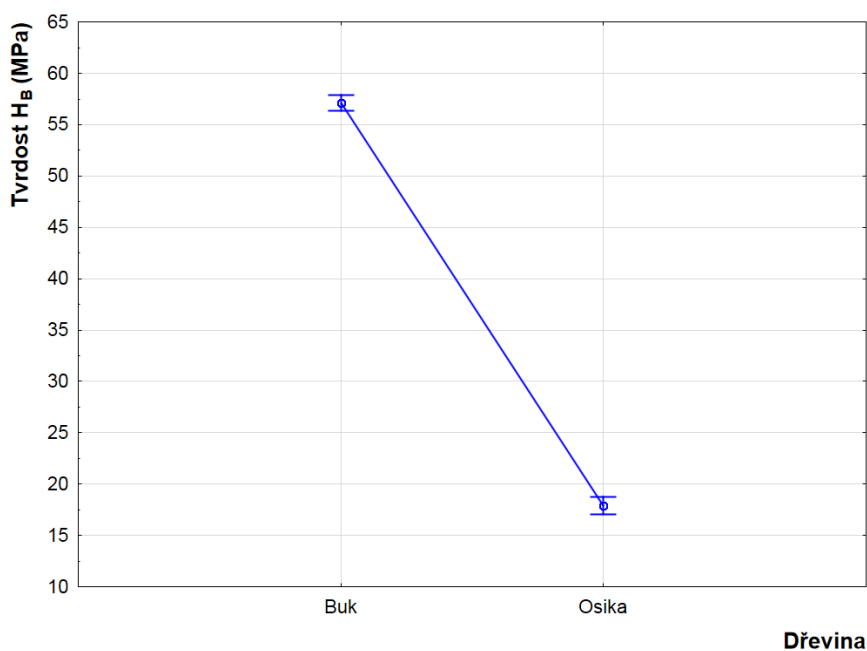
Jak velký mají sledované faktory účinek působení na statickou tvrdost, znázorňuje řada následujících grafů. Výstupem měření jsou hodnoty tvrdosti dřeva v závislosti na faktorech zkoušky.

Než se dostaneme k samotné analýze výsledků, musíme zmínit vlhkost dřeva při měření, která byla 8%. Ačkoli nebyla součástí sledovaných faktorů této práce, představuje hlavní podmínku zkoušky a pro srovnání s jinými zdroji byly výsledky přepočítány na vlhkost 12%, protože většina zkoušek tvrdosti probíhá právě při této vlhkosti.

Jednotlivé grafy znázorňují hodnoty při působení faktorů samostatně i ve vzájemné kombinaci (více činitelů najednou).

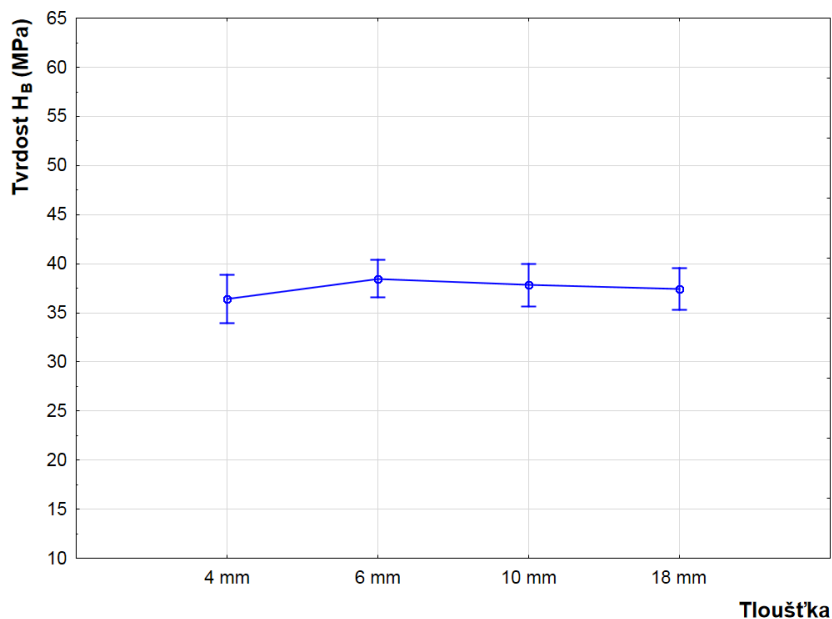
V první řadě je na *grafu č. 1* zobrazen rozdíl mezi tvrdostí buku a osiky. Podle předpokladu je tato mechanická vlastnost buku zřetelně vyšší než u osiky. Tvrdost buku kolmo na vlákna se podle vlastního měření pohybuje v rozmezí 55 – 60 MPa, tyto hodnoty skutečně odpovídají skupině tvrdých dřevin. U osikového dřeva je naměřená tvrdost v rozmezí 15 – 20 MPa, čímž se potvrzuje, že se jedná o dřevinu měkkou.

Dostupné literární zdroje uvádějí tvrdost buku od 40 do 80 MPa, což je velké rozmezí. Podle Brinellovy stupnice je tvrdost buku kolmo na vlákna 34 MPa. U topolu se hodnoty tvrdosti vyskytují do 40 MPa, kolmo na vlákna dosahují přibližně 30 MPa.



Graf č. 1: Závislost tvrdosti na druhu dřeviny

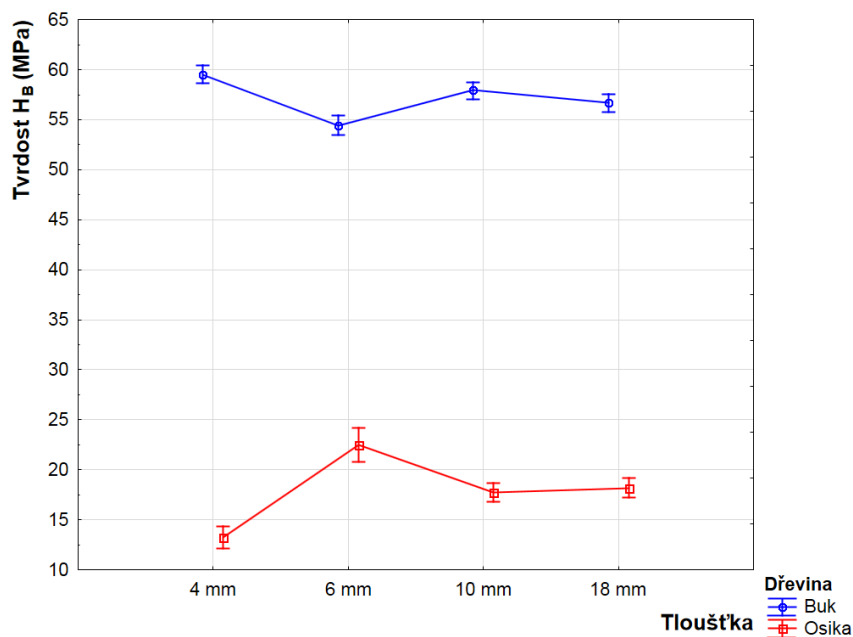
Dalším sledovaným faktorem byla tloušťka těles. Změna tvrdosti s tloušťkou materiálu nemá v tomto případě významný vliv na tvrdost. Tato skutečnost platí pro obě dřeviny. Průběh závislosti tvrdosti na rozměrové charakteristice je zobrazen na grafu č. 2. Z grafu je zřejmé, že hodnoty jsou velmi podobné a měnily se jen nepatrně – nejnižší hodnoty tvrdosti jsou u tělesa tl. 4 mm, dosahovaly 36 MPa. Ostatní tloušťky měly hodnoty velmi podobné, a to přibližně 38 MPa. Průběh závislosti tvrdosti na rozměrové charakteristice je



Graf č. 2: Závislost tvrdosti na tloušťce

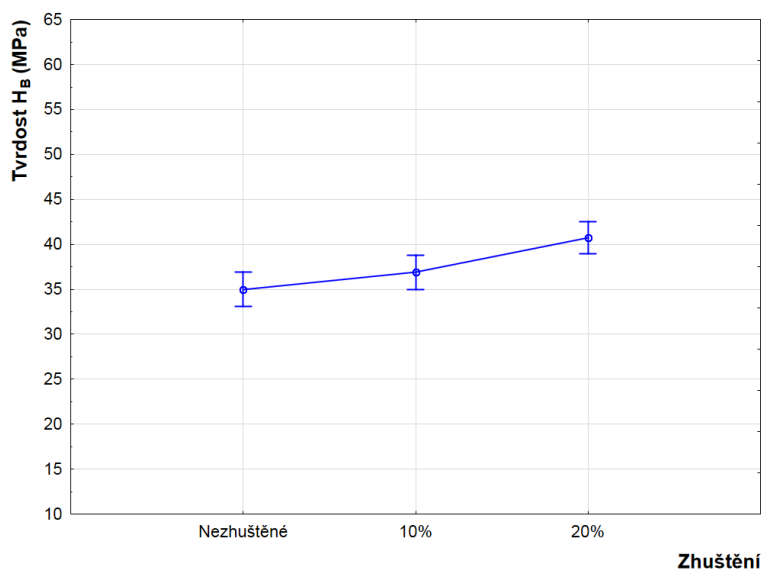
Pokud rozebereme každou dřevinu zvlášť, hodnoty tvrdostí jsou více proměnlivé. Průběh této souvislosti je pro jednotlivou dřevinu zobrazen na *grafu č. 3*. Větší odchylka nastává u těles tl. 6 mm. Osika v tomto bodě vykazuje pozitivní vliv tloušťky na tvrdost, která dosahuje hodnot 22 MPa, naopak u buku má zkoumaná vlastnost v této tloušťce nejmenší hodnoty, přibližně 54-55 MPa.

Tento rozměrový faktor můžeme v tuto chvíli klidně zanedbat, jeho význam pro tvrdost dřeva je velmi malý. Odchylení může být dáno třeba i skrytou vadou dřeva (odklon vláken, suky, trhlinky). Dřevo ji mohlo vykazovat už od počátku, lisováním nebo mohla být způsobená při ohybové zkoušce, kterou prováděl student Vokatý.



Graf č. 3: Zobrazení závislost tvrdostí jednotlivých druhů dřevin na tloušťce

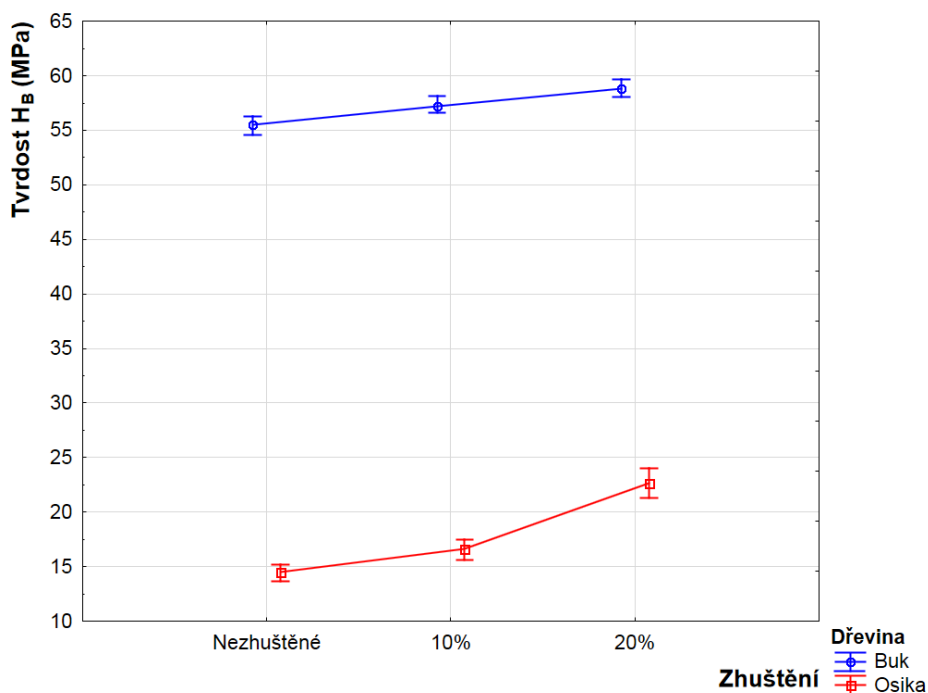
Porovnání nezhuštěného dřeva s modifikovaným zobrazuje graf č. 4. Vliv technologické úpravy dřeva na hodnotě tvrdosti je velmi příznivý. Tvrdost dřeva, a tím i odolnost proti mechanickému poškození, roste s mírou zhuštění dřeva. Průběh je téměř lineární. U rostlého dřeva začíná tvrdost na 35 MPa, s mírou zhuštění 10% se vyhoupne na 37 MPa a zhuštěné dřevo na 20% vykazovalo nejvyšší hodnoty, a to 41 MPa.



Graf č. 4: Závislost tvrdosti na zhuštění

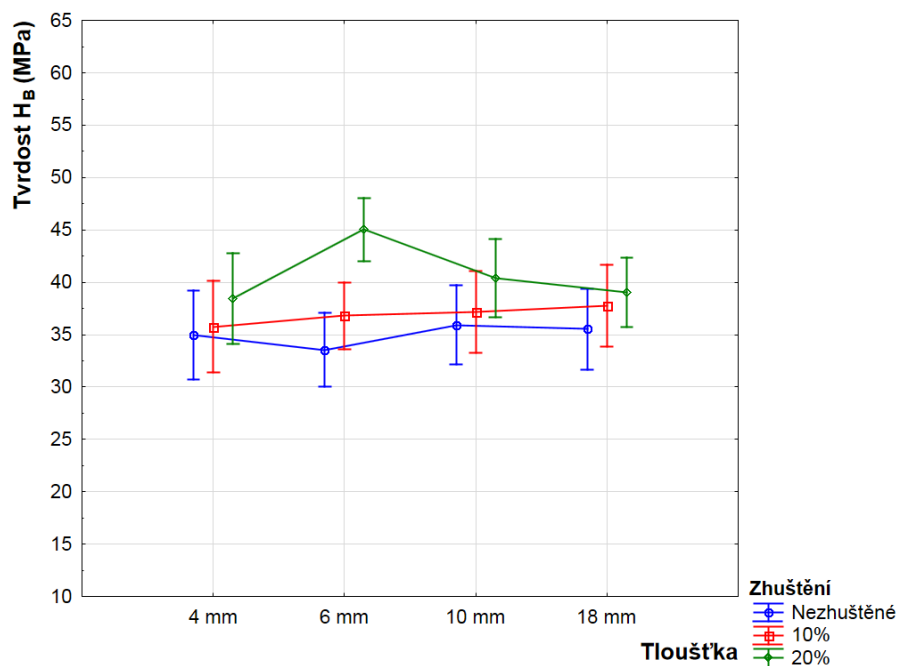
Rozdílný účinek zhuštění na typ dřeviny a tím i na její průběh tvrdosti lze vypočítat z grafu č. 5. Zhušťování měkkých dřevin se jeví určitě efektivnější, protože s mírou jejich modifikace se razantně zlepšují i vlastnosti. Tvrdost osiky se vyhoupla ze 14 MPa až na 23 MPa, což představuje nárůst tvrdosti o 65 %, zatímco u buku je to pouhých 6 % (změna 3 MPa).

Díky technologické úpravě dřeva dokážeme vytvořit i z měkkých dřevin hmotu, která se bude podobat vlastnostmi hmotě tvrdého dřeva.



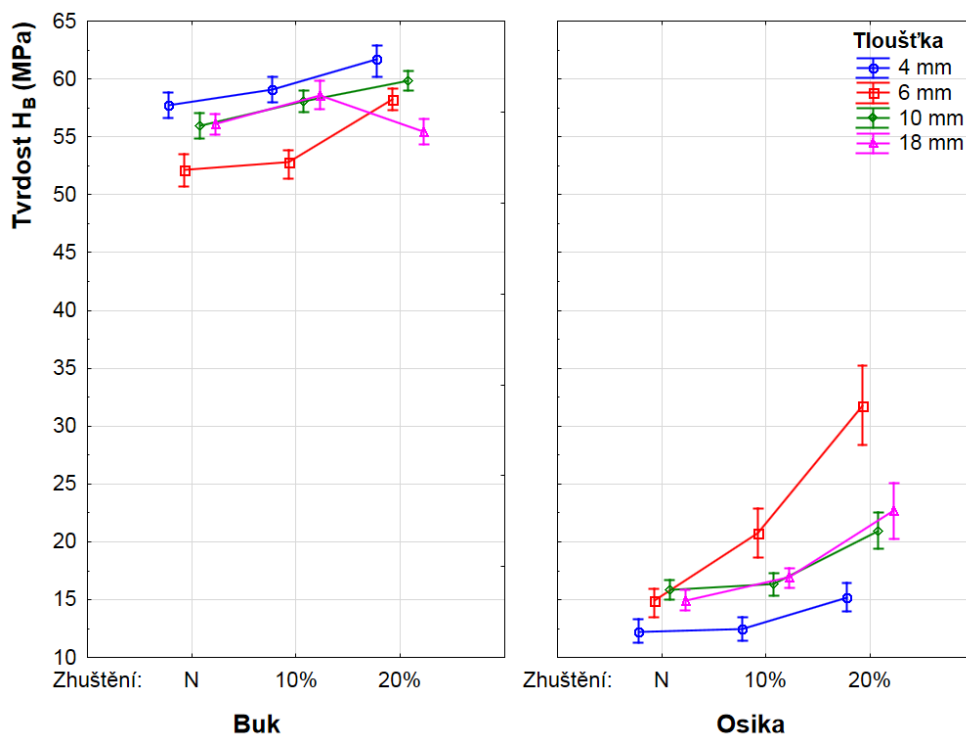
Graf č. 5: Závislost tvrdostí obou druhů dřevin na míře zhuštění

Na grafu č. 6 je pak nasimulovaná kombinace faktorů a zobrazena závislost tvrdosti na zhuštění i tloušťce. Tvrdost se pohybuje téměř na podobných hodnotách v rozmezí 35-38 MPa. Výjimkou je odchylka tvrdosti u zhuštěného dřeva tl. 6 mm, kdy se její hodnota výrazně zvětšila ve srovnání s ostatními, a to až na 45 MPa. Interakce těchto faktorů významně nepřispívá na zvětšení tvrdosti, tak jako samotná míra zhuštění.



Graf č. 6: Závislost tvrdostí na tloušťce i míře zhuštění

Posledním výsledným grafem je *graf č. 7*, který znázorňuje kombinaci všech faktorů najednou. U obou dřevin je interakcí všechnárůst tvrdosti znatelný, největší zlepšení této vlastností je však u osiky, a to u tělesa tl. 6 mm při zhuštění 20 %. Tvrdost v tomto místě dosahuje 30 MPa a představuje stoprocentní nárůst.



Graf č. 7: Závislost tvrdostí obou druhů dřevin na všech faktorech

Mírný pokles tvrdosti můžeme zpozorovat u buku při míře zhuštění 20% a tloušťce 18 mm. Následkem mohla být právě určitá vada zkušebních těles (suk, trhlina), která mohla vzniknout v průběhu předchozího měření (ohýbáním) nebo zpracování těles (při lisování). Při měření byla tělesa vizuálně kontrolována a pro efektivní a kvalitní měření bylo snahou se poškozeným místům vyhnout (*obr. 34*).



Obr. 34: Porušené místo zkušebního tělesa

Všechny hodnoty naměřené vlastní zkouškou dle Brinellovy metody jsou shrnuty do *tabulky 8*. Ke každé charakteristice tělesa je zaznačena průměrná tvrdost v MPa.

Největší hodnota tvrdosti u buku je 62 MPa, a to v případě tělesa tl. 4 mm při zhuštění 20%, u osiky zase u tělesa tl. 6 mm také při zhuštění 20%. Tato skutečnost nám potvrzuje smysl technologických úprav dřeva, především při výrobě nášlapných vrstev a dřevěných podlah, kde dochází k velkému mechanickému zatěžování a opotřebení materiálu.

Tab. 8: Hodnoty tvrdostí naměřené vlastní zkouškou dle Brinellovy metody

Soubor	Dřevina	Zhuštění (%)	Tloušťka (mm)	Brinellova tvrdost				Počet měření
				průměr (MPa)	Standard Error - SE	- SE	+ SE	
1	BK	0	4	57,72	1,124	56,60	58,84	15
2	BK	0	6	52,14	1,407	50,73	53,54	15
3	BK	0	10	55,98	1,091	54,89	57,07	15
4	BK	0	18	56,10	0,868	55,23	56,97	15
5	BK	10	4	59,10	1,082	58,02	60,18	15
6	BK	10	6	52,86	0,660	52,20	53,52	15
7	BK	10	10	58,08	0,937	57,14	59,02	15
8	BK	10	18	58,62	1,201	57,42	59,82	15
9	BK	20	4	61,74	0,561	61,18	62,30	15
10	BK	20	6	58,26	0,927	57,33	59,19	15
11	BK	20	10	59,82	0,851	58,97	60,67	15
12	BK	20	18	55,44	1,121	54,32	56,56	15
13	OS	0	4	12,24	0,446	11,79	12,69	15
14	OS	0	6	14,94	0,314	14,63	15,25	15
15	OS	0	10	15,84	0,718	15,12	16,56	15
16	OS	0	18	14,94	0,192	14,75	15,13	15
17	OS	10	4	12,42	0,466	11,95	12,89	15
18	OS	10	6	20,76	2,145	18,62	22,91	15
19	OS	10	10	16,32	0,361	15,96	16,68	15
20	OS	10	18	16,92	0,610	16,31	17,53	15
21	OS	20	4	15,18	0,472	14,71	15,65	15
22	OS	20	6	31,80	3,417	28,38	35,22	15
23	OS	20	10	20,94	1,570	19,37	22,51	15
24	OS	20	18	22,68	2,430	20,25	25,11	15

7 ZÁVĚR

Úkolem diplomové práce bylo zjistit, jaký vliv mají vybrané faktory (tloušťka, druh dřeviny a zhuštění) na statickou tvrdost dřeva metodou podle Brinella a posoudit závislost změn na těchto okolnostech. Provedeným měřením a analýzou byly zjištěny následující skutečnosti.

Zkouškou bylo zjištěno, že tvrdost buku je znatelně vyšší než tvrdost osikového dřeva. Tloušťka materiálu nebyla tolik významná, hodnoty tvrdosti byly při všech tloušťkách (4, 6, 10 a 18 mm) téměř stejné, měnily se jen nepatrně. Stejný význam měla i při interakci s ostatními faktory – neproběhla podstatná změna tvrdostí.

Z experimentu vyplývá, že faktor zhuštění dřeva má obrovský význam na tvrdost dřeva, především pak s kombinací s druhem dřeviny a to následujícím způsobem – s mírou zhuštění se tvrdost zvyšuje. Tato skutečnost platí pro oba zkoumané druhy, avšak razantní změna nastala v případě osiky, která charakteristicky zastupovala měkkých dřevin. Technologická modifikace je efektivní pro dřeviny s nízkou hmotností, u kterých dokáže vytvořit zcela nové, příznivé vlastnosti, podobající se tvrdým a odolným dřevinám.

Výše uvedené výsledky mají význam a smysl v dřevařských oborech, kde je potřeba získat poměrně tenkou, tvrdou a trvanlivou hmotu. Požadavky na odolnost dřevěného materiálu jsou kladeny především u konstrukcí podlah a nášlapných prvků schodišť (stupnice a mezipodesta), kde dochází k velkému mechanickému zatížení a opotřebení materiálu. Zhuštěné dřevo slouží dále pro výrobu obkladů, oken a také přílozek do exponovaných spojů.

8 LITERÁRNÍ ZDROJE

- [1] BALABÁN, K.: *Nauka o dřevě*. 1. vyd. Praha: Státní zemědělské nakladatelství, 1955. Lesnická knihovna (Státní zemědělské nakladatelství).
- [2] DESCH, H a J DINWOODIE. *Timber: structure, properties, conversion, and use*. 7th ed. / . New York: Food Products Press, 1996. ISBN 15-602-2861-X.
- [3] DUBOVSKÝ, J.: *Latest Achievements in Research of Wood Structure and Physics: Proceedings Zvolen Czechoslovakia September 4-7, 1990*. ISBN 80-228-0139-9
- [4] DRASTÍK a kolektiv. *Strojnická příručka: vývoj, výpočty, konstrukce, technologie, výroba*. [Svazek 1], Praha: Dashöfer, c2002-2009. ISBN 80-86229-65-3.
- [5] GANDELOVÁ, L.; HORÁČEK, P.; ŠLEZINGEROVÁ, J. *Nauka o dřevě*. Brno: MZLU, 2009. 176 s. ISBN 978-80-7375-312-2
- [6] HORÁČEK, P.: *Fyzikální a mechanické vlastnosti dřeva I*. 1. vyd. Brno: MZLU, 1998. 124 s. ISBN 80-7157-347-7
- [7] KAFKA, E. *Dřevařská příručka*. 1. vyd. Praha: Nakladatelství technické literatury, 1989. 986 p. ISBN 80-03-00009-2
- [8] KOLLMANN, F.: *Technologie des Holzes und Holzwerkstoffe 1*. Berlín: Springer Verlag, 1951. 1050 s.
- [9] LEXA, J., et al.: *Mechanické a fyzikálne vlastnosti dreva*. Bratislava: Práca, 1952. 436 s.
- [10] MATOVIČ, A., 1993: *Fyzikální a mechanické vlastnosti dřeva a materiálů na bázi dřeva*. Brno, MZLU Brno, 212 s. ISBN 80-7157-086-9
- [11] NUTSCH, W.: *Příručka pro truhláře*. 2., přeprac. vyd. Praha: Europa-Sobotáles, 2006. ISBN 80-867-0614-1.
- [12] POŽGAJ, A., KURJATKO, S., BABIAK, M., CHOVANEC, D.: *Štruktúra a vlastnosti dreva*, Príroda a. s., Bratislava, 1997, s. 24–148, 248–261, ISBN 80-07-00960-4
- [13] PTÁČEK, L.: *Nauka o materiálu I*. 2., opr. a rozš. vyd. Brno: CERM, c2003. ISBN 80-7204-283-1.
- [14] TRENDELENBURG, R.: *Das Holz als Rohstoff*, 2. Aufgabe, München, Carl Hanser Verlag, 1955, 541 s.
- [15] WAGENFÜHR, R., SCHEIBER, Ch.: *Holzatlas*. 1. vyd. Leipzig: Fachbuchverlag, 1974. 690 s.

Internetové odkazy

- [16] Určujeme tvrdost dřeva. *Značkové palubky Seca* [online]. Borohrádek: Serafin Campestrini s.r.o., 2016 [cit. 2016-04-19]. Dostupné z: <http://www.palubky-eshop.cz/urcujeme-tvrdost-dreva>
- [17] Tvrdost dřeva. In: *Ohýbací dřevo* [online]. : J. Bureš, 2002 [cit. 2016-04-19]. Dostupné z: <http://www.converter.cz/tabulky/tvrdost-dreva.htm>
- [18] Mechanické vlastnosti dřeva domácích dřevin. In: *Dřevostavitel* [online]. Brno: Mendelova univerzita v Brně, Ústav nauky o dřevě, 2003 [cit. 2016-04-19]. Dostupné z: <http://www.drevostavitel.cz/clanek/mechanicke-vlastnosti-dreva-domacich-drevin>
- [19] Mechanické vlastnosti dřeva domácích dřevin. In: *Centrum dřevěných podlah* [online]. Praha: CDP s.r.o., 2011 [cit. 2016-04-19]. Dostupné z: https://www.cdp-praha.cz/cms.php?id_cms=3
- [20] Víš, že dřevo je? In: *Dřevo - stavební portál* [online]. Praha: Moravskoslezský, 2013 [cit. 2016-04-19]. Dostupné z: <http://drevostavebniportal-popularizace.msdk.cz/zajimavosti-ze-sveta-dreva/drevo/>
- [21] VÝHODY A NEVÝHODY DŘEVA JAKO STAVEBNÍHO MATERIÁLU. In: *Dům a zahrada* [online]. Praha: Z. Zimová, 2000 [cit. 2016-04-19]. Dostupné z: <http://www.dumazahrada.cz/stavba-rekonstrukce/stavba/2000/7/6/vyhody-a-nevyhody-dreva-jako-stavebniho-materialu/#.VvapxbddFMs>
- [22] Vlastnosti a chemické složení dřeva. In: *Ohýbací dřevo* [online]. Kožlany: J. Urban, 2016 [cit. 2016-04-19]. Dostupné z: <http://www.ohybacidrevo.cz/vlastnosti/vybrane-vlastnosti-dreva>
- [23] Makroskopická stavba dřeva [online]. Brno: Mendelova univerzita v Brně, Ústav nauky o dřevě, 2003 [cit. 2016-04-19]. Dostupné z: http://ldf.mendelu.cz/und/sites/default/files/multimedia/stavba_dreva/vyuka/makro/zakladni_rezy.htm
- [24] *Struers Ensuring Certainty: DuraVision* [online]. Denmark: Struers Aps, 2016 [cit. 2016-04-19]. Dostupné z: http://www.struers.com/default.asp?top_id=10&doc_id=1321

Technické normy

- [25] ČSN EN ISO 6506-1. *Kovové materiály - Zkouška tvrdosti podle Brinella: Část 1: Zkušební metoda*. 2015. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2015.