

UNIVERZITA PALACKÉHO V OLMOUCI
PŘÍRODOVĚDECKÁ FAKULTA
KATEDRA BOTANIKY



Fyzikální vlastnosti dřeva
v biologickém praktiku

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Petr Havlíček

Vedoucí práce: PaedDr. Ing. Vladimír Vinter, Ph. D.

Olomouc 2013

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem předloženou bakalářskou práci vypracoval samostatně pod vedením pana PaedDr. Ing. Vladimíra Vintera, Ph.D. a že jsem použil zdrojů, které cituji a uvádím v seznamu použitých pramenů.

V Olomouci

.....

Poděkování

Děkuji panu PaedDr. Ing. Vladimíru Vinterovi, Ph.D. za odborné vedení bakalářské práce, přínosné konzultace, cenné rady a poskytování materiálních podkladů. Dále pak děkuji rodině za pomoc při vytváření fotodokumentace.

Bibliografická identifikace

Jméno a příjmení autora	Petr Havlíček
Název práce	Fyzikální vlastnosti dřeva v biologickém praktiku
Typ práce	Bakalářská
Pracoviště	Katedra botaniky
Vedoucí práce	PaedDr. Ing. Vladimír Vinter, Ph.D.
Rok obhajoby práce	2013
Abstrakt	<p>Dřevo (sekundární xylém) je velmi důležitá hospodářská surovina. Vlastnosti dřeva jsou podmíněny jeho chemickým složením a anatomickým uspořádáním jeho jednotlivých stavebních složek. Práce stručně popisuje vznik dřeva (činnost kambia), chemické složení dřeva, stavbu dřeva listnáčů a jehličnanů a fyzikální vlastnosti dřeva. Didakticky zpracovává náměty do biologického praktika a terénních cvičení na středních školách. Úkoly jsou tematicky zaměřené na měření biologických a fyzikálních vlastností dřeva (věk, výška, hustota, vlhkost, tepelná vodivost a tvrdost). Práce je zaměřena na mezioborové propojení biologie a fyziky. Jednotlivé úkoly lze využít i v praktickém cvičení ve fyzice.</p>
Klíčová slova	dřevo, sekundární xylém, xyloemie, kambium, fyzikální vlastnosti, praktická cvičení, skupinové vyučování
Počet stran	67
Počet příloh	0
Jazyk	Český

Bibliographical identification

Firstname surname	Petr Havlíček
Title	Physical qualities of wood in biological practical
Type of thesis	Bachelor
Department	Department of Botany
Supervisor	PaedDr. Ing. Vladimír Vinter, Ph.D.
The year of presentation	2013
Abstract	Wood (secondary xylem) is very important raw material. Its qualities depend on its chemical composition and anatomical configuration of its constituent elements. The thesis briefly characterises the formation of wood (cambium activity), its chemical composition, wood structure of deciduous and coniferous trees and physical qualities of wood. It didactically processes subjects for biological and field practical at secondary schools. The assignments are thematically aimed at measurements of biological and physical qualities of wood (age, height, density, moisture, heat-carrying capacity and hardness). The thesis is focused on interdisciplinary link between biology and physics. Each assignment can be also used for physical practical.
Keywords	wood, secondary xylem, wood anatomy, cambium, physical qualities, practical, group teaching
Number of pages	67
Number of appendices	0
Language	Czech

Obsah

A.	Úvod.....	8
B.	Teoretická část s přehledem literatury	9
I.	Xylotomie	9
1.	Dřevo jako součást kmene.....	9
2.	Vznik dřeva	18
II.	Didaktika	21
1.	Skupinové vyučování	21
C.	Praktická část.....	23
I.	Téma: Zjišťujeme stáří stromů.....	23
1.	Teoretický úvod.....	24
2.	Provedení, postup práce.....	29
3.	Úkoly	30
II.	Téma: Měříme výšku stromů	32
1.	Teoretický úvod.....	32
2.	Provedení, postup práce.....	34
3.	Úkoly	37
III.	Téma: Měříme hustotu dřeva	38
1.	Teoretický úvod.....	39
2.	Provedení, postup práce.....	40
3.	Úkoly	42
IV.	Téma: Vlhkost dřeva	43
1.	Teoretický úvod.....	44
2.	Provedení, postup práce.....	46
3.	Úkoly	47
V.	Téma: Dřevo jako vodič tepla.....	48
1.	Teoretický úvod.....	49

2.	Provedení, postup práce.....	50
3.	Úkoly	52
VI.	Téma: Jak tvrdé je dřevo	53
1.	Teoretický úvod.....	54
2.	Provedení, postup práce.....	56
3.	Úkoly	57
D.	Diskuze	59
I.	Terminologie.....	59
II.	Použití navržených cvičení na středních školách.....	59
1.	Stáří stromu	60
2.	Výška stromu.....	60
3.	Hustota.....	61
4.	Vlhkost	61
5.	Tepelná vodivost	61
6.	Tvrdost.....	62
E.	Závěr	63
F.	Literatura.....	64

A. Úvod

Dřevo je organická surovina, která provází lidstvo od počátku věků. I díky němu se člověk vyvíjel a dokázal na základě dílčích objevů rozvinout civilizaci až do takové podoby, jak ji známe dnes. Právě za pomoci dřeva, které dokázal opracovávat na nespočet různých způsobů a vyrábět z něj nesčetné množství rozličných nástrojů, se člověku otevřela cesta k objevení, zpracování a využití jiných materiálů, ať už přírodních, tak i syntetických, které v dnešní moderní době dřevo z běžného života vytlačují.

Cílem této bakalářské práce je:

- 1) vybrat vhodná témata ve výuce biologie a fyziky na střední škole zabývající se problematikou dřeva (sekundární xylém),
- 2) k vybranému učivu vytvořit pool prezentačního materiálu (zásobník faktografických údajů, nákresy, fotografie, schémata, tabulky),
- 3) jednotlivá témata zpracovat didakticky a vytvořit tak návrhy laboratorních či terénních cvičení využitelných ve výuce biologie a fyziky na středních školách.

Práce je tedy zaměřena na mezioborové propojení převážně biologie a fyziky – z botanického hlediska především anatomický a morfologický popis dřeva, z hlediska fyziky fyzikální vlastnosti dřeva.

B. Teoretická část s přehledem literatury

I. Xylotomie

Dřevo je v širším slova smyslu obecný výraz pro surovinu, která tvoří stonky (kmeny) a kořeny dřevin. V užším technickém pojetí se jedná o lignifikované sekundární vodivé pletivo, sekundární xylém, jenž spolu s dalšími pletivy tvoří těla dřevin a vzniká dostředivým dělením buněk kambia. (Vinter, 2008) Z fyzikálního hlediska jde o heterogenní (nestejnorodý) materiál, který má anizotropní charakter (fyzikální a mechanické vlastnosti jsou závislé na volbě směru).

1. Dřevo jako součást kmene

Dřevo je v rostlině obsaženo v kořeni, kmeni a větvích koruny. Podstatné průmyslové využití má však pouze dřevo kmene, zbytek se převážně nezpracovává a považuje se za odpad. Ve kmeni rozeznáváme tyto základní části: kůra, kambium, dřevo a dřev. Abychom získali správnou představu o stavbě dřeva, musíme je zkoumat na třech řezech (Obr. 1):

- transverzální – řez kolmý k ose kmene;
- longitudinální radiální – podélný řez procházející osou kmene;
- longitudinální tangenciální – podélný řez procházející mimo osu kmene.



A



B



C

Obr. 1: Řezy kmenem stromu.

A) transverzální (jabloň domácí - *Malus domestica* Borkh.)

B) radiální (třešeň obecná - *Prunus avium* L.)

C) tangenciální (hrušeň obecná - *Pyrus communis* L.)

1.1. Sekundární kůra (peridermis)

Sekundární kůra je druhotné krycí pletivo, které se podle Skalického a Nováka (2007) skládá ze tří vrstev:

- felogen - jedná se o sekundární laterální meristém, jehož činností vzniká centripetálně feloderm (zelená kůra) a centrifugálně felem (korek);
- feloderm - je tvořen parenchymatickými buňkami, které ve stonku mohou obsahovat chloroplasty, jež dodávají felodermu zelenou barvu;
- felem - je krycí suberinizované pletivo s ochrannou a izolační funkcí. Suberin dodává felemu pružnost a díky němu je felem neprostupný pro vodu a plyny.

Z toho důvodu se pro provětrávání pletiv kmene vytváří útvary lenticely (čočinky) zvýšenou dělivou aktivitou felogenu. Buňky felemu časem odumírají a jsou vytlačovány k obvodu kmene buňkami mladšími.

1.2. Borka (*rhytidoma*)

Borka je systém odumřelých buněk krycích pletiv, který vzniká postupem času zakládáním nových vrstev felogenu. (Skalický et Novák, 2007) Její vzhled se různí podle druhů dřevin, a proto je vhodným determinačním znakem. Tenká borka se vyskytuje u břízy nebo třešně, duby mají borku tvořenou vysokými hřebeny, u brslenu ji tvoří čtyři korkové lišty. (Vinter, 2008)

1.3. Dřeň (*medula*)

Podle Matoviče (1977) je dřeň tvořena řídkými parenchymatickými buňkami, u starších dřevin odumřelými, dosahující šířky 2 - 5 mm. V ideálním případě by se nacházela ve středu kmene, což v praxi běžně neplatí, neboť letokruhy se činností kambia kolem dřeně netvoří rovnoměrně, a tak bývá dřeň uložena excentricky. Nabývá různých tvarů v závislosti na druhu dřeviny – kulatá či oválná (lípa), trojúhelníková (olše), čtyřúhelníková (jasan), pětiúhelníková (topol) či hvězdicovitá (dub).



Obr. 2: Excentrická dřeň třešně obecné (*Prunus avium* L.).

1.4. Běl (*splint, albumen*)

Běl je tvořena dřevem. V příčném průřezu kmene se mezi dření a kůrou nachází běl. Ta se vyznačuje především zásobní funkcí a světlou barvou živých parenchymatických buněk. Vodivé buňky běli jsou průchodné. Pokud se ve dřevě

nenachází v centrální oblasti jádro, a tedy je tvořeno jen bělí, jedná se o dřevo bezjaderné, bělové. (Cutler, Botha et Stevenson, 2008; Matovič 1977)

Podle Kaviny (1932) se šířka bělí se různí dle druhu dřeviny. Jehličnany mají oproti listnáčům běl širší. U některých dřevin může běl zahrnovat jen pár nejmladších letokruhů. Fyzikální vlastnosti jsou ovlivněny především samotným složením bělí, tedy například šířkou letokruhů či obsahem tlustostěnného letního dřeva.



Obr. 3: Bělové dřevo javoru klenu (*Acer pseudoplatanus* L.).

http://fld.czu.cz/~zeidler/lexikon_dreva/lexikon_dreva.pdf

1.5. Jádru (duramen)

U některých dřevin je centrální část dřev tmavě zbarvená. Nazývá se jádro a je na rozdíl od běle tvořeno neživými tracheidami a trachejemi, které jsou neprůchodné. Neprůchodnost je u listnáčů způsobena thylami (vakovité útvary, které vyplňují lumény cév a tím je ucpávají). U jehličnanů se uzavírají dvojtečky, ztenčeniny buněčných stěn tracheid, které se ucpávají pryskyřicí. (Bobák, 1998; Slavíková 2002)

Zabarvení jádra je způsobeno jádrovými látkami, které po okysličení tmavnou. U tropických dřevin, jako je ebon, guajak nebo mahagon je jejich ukládání velice intenzivní. Pokud není jádro barevně odlišeno, ale přesto vykazuje podobnou charakteristiku a jeho vlhkost je nižší než běl, jedná se o vyzrálé dřevo. (Matovič, 1977)



Obr. 4: Jádru dubu letního (*Quercus robur* L.).

http://fld.czu.cz/~zeidler/lexikon_dreva/lexikon_dreva.pdf

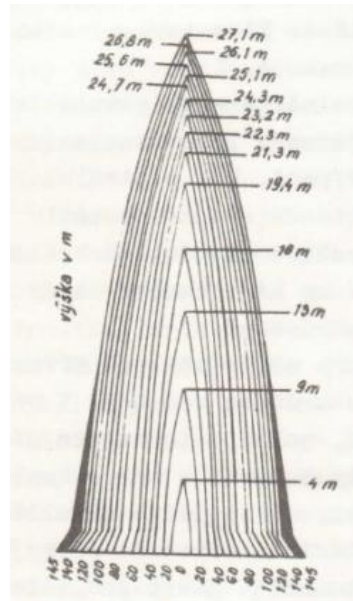
Tabulka 1: Rozdělení dřeva dle zastoupení jednotlivých částí (Matovič, 1977)

Jádru a běl	dub, kaštan, ořech, akát, jilm, topol, škumpa, borovice, limba, tis, modřín aj.
Vyzrálé dřevo a běl	lípa, buk, smrk, jedle, hloh aj.
Jádru, vyzrálé dřevo a běl	jasan, jíva, jilm, řešetlák, dřín, šefík, jalovec aj.
Běl	břiza, osika, olše, habr, javor, jírovec, líska, zimostřáz aj.

1.6. Letokruhy

Vinter (2008), Votrubová, Opatrná a Beneš (2001) popisují letokruh jako přírůstek dřeva za jedno vegetační období. V mírném podnebném pásu se jedná o dobu jednoho roku. V tropických oblastech se za sezónu považuje střídání období sucha a dešťů. Stavba a šířka letokruhů je ovlivněna druhem dřeviny, jejím stářím (se stářím se šířka zmenšuje) a vnějšími klimatickými podmínkami. Za příznivých podmínek se tvoří široké letokruhy. Může však nastat situace, kdy se letokruh nevytvoří, nebo se naopak vytvoří letokruhy dva. Takové letokruhy jsou označovány jako nepravé a vznikají na základě působení faktorů biotických nebo abiotických po zničení asimilačních orgánů a jejich následném nahrazení. (Matovič, 1977; Votrubová, 2003)

Kavina (1932) uvádí, že letokruhy víceméně koncentricky obklopují dřeň, přičemž ty u dřeně jsou nejstarší a směrem ke kambiu jejich stáří klesá. Počet letokruhů v kmeni klesá se zvyšující se výškou stromu, což je způsobeno nasunutím kuželovitých vrstev přírůstků dřeva na sebe (Obr. 5). S touto skutečností je třeba počítat při určování stáří dřeva pomocí letokruhů, a proto se měření provádí ve výčetní výšce kmene, jejíž hodnota je 1,3 m od paty kmene.



Obr. 5: Vrstvy letokruhů v kmeni. (Matovič, 1977)

Hranice mezi letokruhy je vymezena přechodem mezi jarním a letním dřevem. Jarní dřevo je světlejší a tvoří ho tenkostěnné vodivé elementy. Oproti tomu se tmavší letní dřevo skládá z tlustostěnných vodivých buněk, které svou stavbou určují povahu fyzikálních vlastností dřeva. (Foster et Gifford, 1959; Dickinson, 2000)



Obr. 6: Letokruhy na příčném řezu třešně obecné (*Prunus avium* L.).

1.7. Dřeňové paprsky

Dřeňové paprsky jsou struktury kolmé k letokruhům tvořené parenchymatickým pletivem, jejichž funkcí je rozvod asimilátů, vody a minerálů od středu k obvodu kmene v jeho příčném směru. Podle Bobáka (1998) a Jurčáka (1998) jsou produkovány kambiem a rozdělují se na primární a sekundární podle doby vzniku. Primární dřeňové paprsky vznikají na počátku růstu dřeviny, a proto začínají již ve dřeni a končí v kůře. Sekundární se zakládají až v pozdější fázi růstu, nenavazují na dřeň a vedou od některého letokruhu ke kambiu, odkud pokračují jako paprsky lýkové.

1.8. Pryskyřičné kanálky

Pryskyřičné kanálky jsou tvořeny buňkami, které shromažďují a produkují pryskyřici. Vyskytují se pouze u některých jehličnanů – z dřevin ČR pouze u borovice, modřínu a smrku. Jejich podíl ve dřevě je téměř zanedbatelný, a proto samy o sobě ve větší míře neovlivňují jeho fyzikální vlastnosti. Produkovaná pryskyřice však může zvyšovat odolnost a výhřevnost dřeva a snižovat jeho nasáklivost. (Pazourková, 1986; Slavíková, 2002)

1.9. Dřevní elementy

1.9.1. Cévy a cévice

Vodivé elementy vzestupného transpiračního proudu xylému popisují ve svých pracích kupříkladu Vinter a Sedlářová (2004), Judd (2002), Raven, Evert a Eichhorn (1999) a Matovič (1977), Skalický a Novák (2007). Jsou tvořeny dvěma typy odumřelých dutých buněk. Oba typy mají společné nerovnoměrně ztloustlé a lignifikované buněčné stěny. Ztlustliny mívají schodovitý nebo síťovitý charakter, ztenčiny bývají dvůrkaté. Tracheidy (cévice) jsou původnější vřetenovité buňky, které v místech styku nemají úplné perforace. Dřevo tvořené pouze tracheidami se nazývá homoxylní. Je charakteristické pro většinu cévnatých výtrusných rostlin a nahosemenné, vzácně i některé krytosemenné rostliny.

Tracheje (cévy), jsou odvozenější typem vodivých pletiv vyskytujících se převážně u listnatých dřevin. Zejména cévy letního dřeva plní mimo vodivou funkci i funkci mechanickou. Vznikají spojením tracheálních článků, které v xylému tvoří sloupce. Buněčné stěny sousedních buněk se úplně nebo částečně rozpouštějí. Dle rozměrů rozlišujeme:

- makrocévy (cévy velké) – jsou viditelné makroskopicky pouhým okem. Vyskytují se v jarním dřevě, kde tvoří prstenec nebo jsou v letokruhu rozprostřené. Jejich průměr je větší než 0,1 mm;
- mikrocévy (cévy malé) – okem pozorovatelné pouze v případě, že vytváří shluky. Dosahují velikosti 0,05 – 0,1 mm a jsou charakteristické pro letní dřevo.

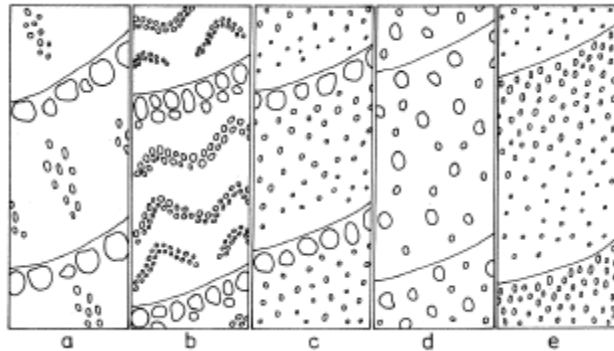
Jsou-li ve dřevě zastoupeny oba typy vodivých buněk, tedy jak tracheidy, tak tracheje, hovoříme o heteroxylním dřevě. To se vyskytuje převážně u krytosemenných rostlin.

Podle distribuce širokých cév v letokruhu dělíme dřeva:

- Kruhovitě pórovitá – cévy s velkým průměrem se nachází pouze v jarním dřevě. Jsou uspořádány do prstence a odlišeny od malých cév letního dřeva. Tento způsob uspořádání se nachází kupříkladu u dubu, jasanu či jilmu.
- Roztroušeně pórovitá – nemají jasnou hranici mezi jarním a letním dřevem. Proto jsou jednotlivé letokruhy hůře rozlišitelné. U cév není kruhovitě

uspořádání, ale jsou rovnoměrně rozptýlené po celém letokruhu. Tento typ distribuce je charakteristický pro většinu listnatých dřevin – javor, lípa, švestka, vrba aj.

- Polokruhovitě pórovitá – jedná se o pozvolný přechod od kruhovitě k roztroušeně pórovitému typu dřeva, přičemž jarní a letní dřevo jsou vzájemně odlišitelné, ale hranice mezi nimi není úplně jasná.



Obr. 7: Distribuce cév ve dřevě. (Požgaj et al., 1997)

- Kruhovitě pórovité (dub)
- Kruhovitě pórovité (jilm)
- Kruhovitě pórovité (akát, jasan)
- Dřevo polokruhovitě pórovité (ořech)
- Dřevo roztroušeně pórovité (lípa)

1.9.2. Libriformní vlákna

Kromě cév a cévic se ve dřevě listnáčů nachází sklerenchymatická (libriformní) vlákna, jejichž buňky mají úzký lumen a zašpičatělé konce. Délka vláken se od báze kmene k jeho vrcholu snižuje. Dřevu dodávají pevnost a tvrdost. Ztloustnutí buněčné stěny je větší u dřevin s tvrdým dřevem (buk, dub, habr), zatímco buňky měkkých dřevin (vrba, lípa) mají relativně tenčí stěny. (Vinter, 2008)

2. Vznik dřeva

2.1. Růst

Růst je jedním z projevů, jímž se vyznačují všechny živé organismy. U rostlin je zajišťován dělivými pletivami, meristémami, která jsou tvořena parenchymatickými buňkami s velkými jádry. Tyto buňky jsou mitoticky aktivní a vytváří růstové zóny. U dřevin se nachází ve vzrostných vrcholech (apikálních meristémech) rostlinných orgánů – v pupenech větví a listů, na špičce kořene. Obsahují nediferencované buňky, které při své diferenciaci a dozrání rozšiřují hmotu rostliny.

Vinter (2008), Matovič (1977), Bobák (1998) a Fahn (1990) rozděluje meristémy dle umístění:

- apikální - ve vzrostných vrcholech stonku a kořene;
- interkalární - nad kolénky stébel trav;
- laterální – paralelně s obvodem kmene - kambium, felogen, pericykl;
- bazální - báze listů;
- marginální – okraje listů;

a dle původu:

- protomeristémy – původní buňky zárodku, rozlišují se na tuniku a korpus;
- primární meristémy - vznik z protomeristémů; protoderm, prokambium, základní meristém;
- sekundární meristémy - vznik u dřevin z dělicích se trvalých pletiv; kambium, felogen.

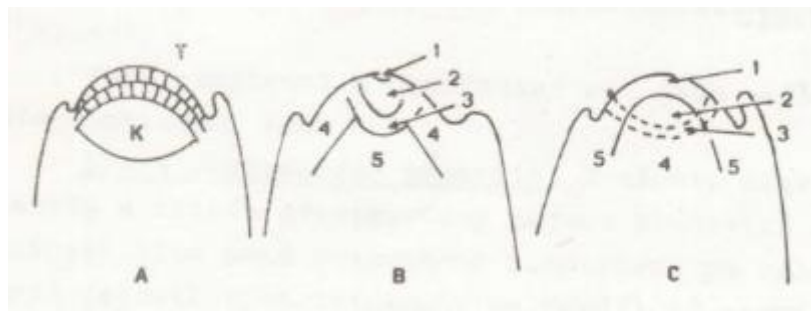
Vývin jedinců rostlin od začátku jejich ontogeneze souvisí s tvorbou nových buněčných elementů. Ty vznikají činností dělivých meristemických pletiv a diferencují se v jednotlivé specializované typy buněk. Původní dělivé pletivo – protomeristém (promeristém), jímž je zpočátku tvořen celý zárodek semenné rostliny, se později uchovává pouze ve vrcholech stonku a kořene (vzrostný vrchol a kořenová špička) a je prekurzorem meristemických pletiv označovaných někdy jako primární meristémy. (Matovič, 1977)

Jako protomeristém je označována část vrcholového meristému nesoucí iniciály, tedy buňky, které si po celou dobu ponechávají dělivý charakter, a jejich deriváty. Lze je rozdělit dle průběhu buněčného dělení na vnější tuniku a centrální korpus.

Iniciály tuniky se dělí antiklinálně, tedy kolmo k povrchu, a z jejich derivátů se po dalších děleních stávají trvale diferenciované buňky. Ty se vyskytují na povrchu stonku a tvoří pokožku.

Iniciály korpusu, které se dělí periklinálně – rovnoběžně s povrchem – produkují buňky jednak do centrální oblasti stonku, jednak do oblasti obvodové. Tyto buňky pod apikálními iniciálami jsou buňky mateřské. Na stavbě pokožky se nepodílí.

Boční deriváty spolu s mateřskými buňkami tvoří protomeristematický komplex, který je mitoticky málo aktivní. Oproti tomu vzniká z apikálních iniciál s přispěním mateřských buněk na povrchu vzrostného vrcholu mitoticky velmi aktivní periferní meristém, který dává vzniknout listovým primordiím, prokambiu a základní části kůry. V centru pod mateřskými buňkami vzniká meristém dřevový, rovněž mitoticky aktivní, ve kterém má základ dřev.



Obr. 8: Schéma vzrostného vrcholu. (Matovič, 1977)

A) uspořádání tunika-korpus (některé dvouděložné rostliny)

K – korpus

T – tunika

B) Cytohistologická zonálnost (mnohé nahosemenné dřeviny)

1 – apikální skupina iniciál

2 – centrální mateřské buňky

3 – přechodná zóna

4 – periferní zóna

5 – dřevový meristém

C) Cytohistologická zonálnost (dvouděložné dřeviny)

1 – plášťová vrstva

2 – centrální mateřské buňky

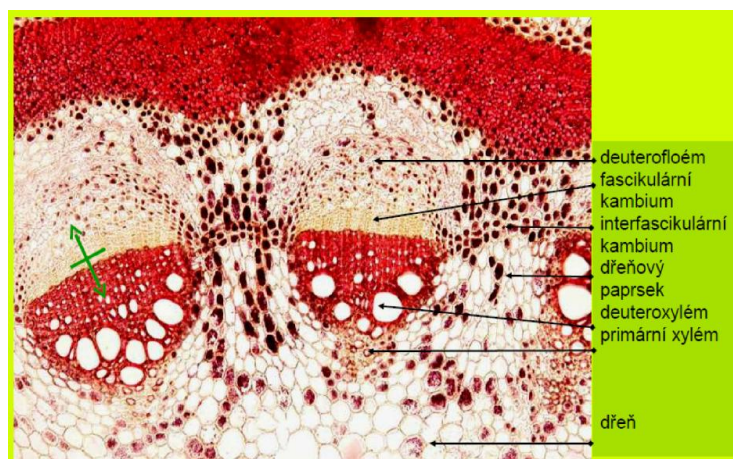
3 – kambiu podobná zóna

U krytosemenných rostlin bývají (z funkčního hlediska) rozlišovány tři vnější vrstvy iniciál (layer) - L1, L2 a L3 odpovídající perifernímu meristému. Dělením buněk vnější vrstvy tuniky (L1) vzniká epidermis a její deriváty (stomata, trichomy). Dělením iniciál vrstvy L2 vzniká primární kůra a mezofyl listů. Z L3 vzniká prokambium a následně vodivá pletiva stonku i listů. (Vinter, 2008)

2.2. Kambium

Dle Votrubové (2001), Luštince a Žárského (2003) hraje při tvorbě dřeva významnou roli prokambium. To má základ převážně v korpusu, někdy vzniká i za přispění tuniky či periferního meristému. Postupným dělením prokambia a diferenciací jeho derivátů jsou utvářeny svazky cévní. Centripetálně od prokambia (směrem ke dřeni) se vytváří dřevo (protoxylém) a centrifugálně (k obvodu stonku) lýko (protofloém).

Část prokambia si uchovává meristemickou funkci, jiná část však produkuje parenchymatické buňky – jde o tzv. zbytkový meristém. Se zvětšováním svazků cévních klesá prostor vyplněný zbytkovým meristémem, který, stejně jako prokambium v cévních svazcích, je uspořádán do několika radiálních vrstev. Tato situace nastává, když v daném úseku stonku ustal růst prodlužovací a stonek roste jen do šířky. Pak se prokambium nazývá fascikulární (svazkové) a zbytkový meristém je kambium interfascikulární (mezisvazkové) a produkované vodivé elementy jsou označovány jako metaxylém, případně metafloém. Kambium je tedy spojení fascikulárního a interfascikulárního kambia, které jsou spojeny v souvislou kruhovou vrstvu, a jedná se o sekundární (druhotný, laterální) meristém. (Foster et Gifford, 1959; Kavina, 1932, Campbell et Reece, 2006)



Obr. 9: Příčný řez jednoletým stonkem podražce velkolistého (*Aristolochia durior*)

<http://botany.upol.cz/atlas/anatomie/>

II. Didaktika

1. Skupinové vyučování

Maňák (2003) a Petty (2008) charakterizují skupinové vyučování jako metodu výuky založenou na aktivním zapojení žáků do vyučování. Oproti klasické frontální výuce jsou samotní žáci, rozdělení na menší pracovní skupiny o třech až pěti členech, hlavními hybateli průběhu vyučování a role učitele spočívá pouze v organizaci a usměrňování dění. Takový systém vede nejen k potlačení pasivity žáků, která bývá způsobena pouhým posloucháním či sledováním výkladu učitele, ale i k rozvoji spolupráce a navázáním sociálních vztahů mezi členy pracovních skupin.

V rámci přírodovědných předmětů, jako jsou fyzika, biologie nebo chemie, se nejčastěji setkáváme se skupinovým vyučováním v podobě laboratorního nebo, zejména v biologii, terénního cvičení.

Učitel, jakožto organizátor a dozorce výuky, se musí řídit některými pravidly, která s sebou skupinové vyučování přináší:

- výběr pracovních skupin – v již zaběhnutém třídním kolektivu se vyvarovat skládání takových skupin, kde by mohlo dojít ke konfliktu způsobenému negativními sociálními vztahy mezi jednotlivými členy skupiny. Proto je často

vhodnější nechat rozdělení na žácích samotných, tedy dobrovolné, spíše než direktivně rozčleňovat učitelem;

- stanovení jasných cílů – pokud dojde ke špatnému pochopení očekávaných výstupů, může být celé cvičení znehodnocené a je třeba ho opakovat;
- přesné zadání pracovních postupů – na začátku cvičení musí žáci obdržet pokyny, kterými se budou při plnění úkolů cvičení řídit. Je třeba, aby si již od začátku udělali obrázek o tom, jakými prostředky či metodami se mají k vytyčeným cílům dobrat;
- připravenost – učitel musí být připraven zodpovídat dotazy žáků týkající se cvičení;
- aktivita - obcházení jednotlivých skupin a dohlížení na to, zda se žáci při plnění úkolů příliš neodchýlili od zamýšleného cíle a aby se skupiny vzájemně neovlivňovaly nebo nerušily.

Přínos skupinového vyučování nespočívá jen v aktivním zapojení žáků do výuky, ale díky práci ve skupině a sociálním interakcím se osobnosti žáků rozvíjí v mnoha směrech – prohlubuje se kreativita, fantazie, rozšiřuje se schopnost komunikace, potlačuje nesmělost atd. Už jen to, že žák jako jednatel se podílí na skupinové práci, při které má svou úlohu, ho motivuje a tím zvyšuje jeho nasazení a produktivitu.

V následující kapitole budou sepsány návody na laboratorní a terénní cvičení, která mohou posloužit jako předloha učitelům střeňích škol k zapojení skupinového vyučování do výuky v rámci propojení předmětů fyziky a biologie.

C. Praktická část

I. Téma: Zjišťujeme stáří stromů

Klíčová slova: dřevo, letokruh, dendrochronologie, datování, výčetní výška, poločas rozpadu

Kapitola dle RVP: Biologie rostlin (lze zařadit i do fyziky, technické výchovy). Velmi vhodné téma k integraci učiva biologie rostlin a fyziky

Doba trvání: 90 min

Obtížnost: 4

Výukové prostředí: venkovní prostředí, park, les

Organizace výuky: práce ve skupinách (3-4 studenti)

Pomůcky: přírůstkový vrták, posuvné měřítko (elektronická průměrka), provázek

Domácí příprava: zopakovat poznatky tvorbě a stavbě dřeva

Kontrolní návodné otázky:

- 1) Vysvětlíte vznik dřeva (sekundárního xylému).
- 2) Co je to letokruh?
- 3) Co ovlivňuje tvorbu letokruhů?
- 4) Co je to datování dřeva?
- 5) Jaké jsou metody datování dřeva?

Řešení otázek:

- 1) Sekundární xylém vzniká činností kambia.
- 2) Letokruh je přírůstek dřeva (jarního a letního) za sezónu.
- 3) Podnebí – střídání ročních období, období monzunů či dešťů; počasí – vítr, déšť, teplota ...

- 4) Zařazení dřeva do historického období - stanovení let, kdy dřevo rostlo.
- 5) Srovnání křivek letokruhů se standartami, radiouhlíková metoda.

1. Teoretický úvod

1.1. Dendrochronologie

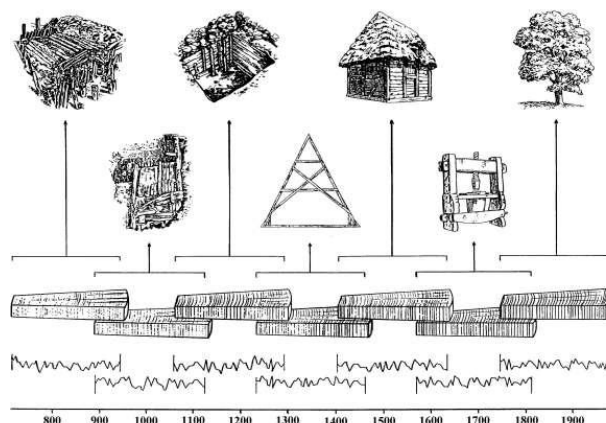
Věda zkoumající stáří dřevin se nazývá dendrochronologie. Zabývají se jí kupříkladu J. Kyncl a T. Kyncl (2002), Matovič (1977), Vinter (2008). Její metodika je založena na počítání letokruhů a měření jejich šířek. Z toho vyplývá, že lze nejen určit věk, jakého se dřevina dožila, ale i ve kterém roce ještě byla živá. Letokruhy vznikají periodickou činností kambia, které produkuje sekundární xylém a floém. To je podmíněno střídáním ročních období v temperátním pásmu, ale i pravidelnými záplavami v období dešťů nebo monzuny v tropickém pásmu. Letokruhy se tedy rozumí přírůstek dřeva za sezónu. Šířku letokruhu ovlivňují stresy (sucho, mráz, záplavy, škůdci, exhalace aj.) a semenné roky. Obecně platí, že čím je příznivější rok, tím více energie investuje rostlina (dřevina) do produkce dřeva (pokud není semenný rok), a tím jsou letokruhy širší. Někdy se mohou vytvořit dva letokruhy v jednom roce, např. po pozdních jarních mrazech nebo po masivním napadení fytofágním hmyzem. Vzájemnou souhrou všech vlivů se vytváří neopakovatelný sled různě širokých letokruhů.

Dendrochronologie při dataci využívá speciálních pomůcek, jako jsou měřicí stoly a lupy. V dnešní době jsou veškeré naměřené údaje převáděny do digitální podoby a základem úspěšného určení stáří vzorku dřeva je porovnání křivky vzorku s křivkou zaznamenanou již v minulosti, která je standardem pro danou dřevinu. Díky tomuto srovnání se v počítačovém programu dají rozpoznat úseky křivek, které jsou si podobné a to je rozhodující pro správnou dataci vzorku dřeva.

Jelikož je dendrochronologie vědou exaktní lze určit zcela přesně, ve kterém roce se dané dřevo nacházelo na živém stromě. V takovém případě je na určovaném vzorku přítomen tzv. podkorní letokruh, který je posledním přírůstkem dřeva dané dřeviny před smýcením. Pokud chybí, bývá alespoň možné určit rok, ve kterém dřevina ještě rostla. V jiném případě není datace kvůli chybějícím shodám úseků křivek možná vůbec. Je vhodné určovat vždy více vzorků, u nichž se předpokládá, že pochází ze

stejného období, jelikož dalším faktorem znesnadňujícím dataci mohou být různé vady jako poškození dřeva živými organismy, suky či trhliny ve dřevě. (J. Kyncl et T. Kyncl, 2002)

V praxi se dendrochronologie využívá k datování převážně starých dřevěných krovů budov, z nichž jsou to převážně kostely, historického nábytku, částí lodí či uměleckých výtvorů, jako jsou rámy obrazů nebo sochy.



Obr. 10: Překryv dendrochronologických řad.

<http://www.dendrochronologie.cz/standard>

Pro smrk, borovici, jedli a dub v současnosti v ČR existuje několik datovacích řad, které jsou charakteristické vždy pro danou oblast. Tyto řady se nazývají standardní chronologie a jsou velice důležité, protože tvoří asi 90 % dřeva využívaného na stavební či umělecké účely. Ostatní dřeviny se téměř nepoužívají, a proto pro ně standardní chronologie neexistují.

Tabulka 2: Chronologické standardy některých dřevin ČR¹

Standard	Oblast použití	Autor	Délka	Začátek	Konec
Dub					
czges2004	ČR	Rybniček	1537	462	1998
cechges2004	Čechy	Rybniček	835	974	1808
morges2004a	Morava	Rybniček	402	881	1282
morges2004b	Morava	Rybniček	658	1341	1998
Jedle					
je-cr05	ČR	Kyncl	1048	949	1996
je-mp05	Morava	Kyncl	1048	949	1996
je-ce05	Čechy	Kyncl	718	1131	1911
Borovice					
bo-mo05	Morava	Kyncl	528	1468	1995
bo-ce05	Čechy	Kyncl	816	1183	1996
Smrk					
sm-cr05	ČR	Kyncl	897	1101	1997
sm-mo05	Morava	Kyncl	665	1333	1997
sm-ce05	Čechy	Kyncl	795	1150	1944

1.2. Kmeti mezi stromy

Nejstaršími stromy na světě, jejichž věk byl verifikován, jsou borovice dlouhověké (*Pinus longaeva*), které rostou v Bílých horách (White Mountains) na hranicích mezi Kalifornií a Nevadou na západě USA. Nejstarším doloženým exemplářem je borovice 5062 let stará. Hned za ní je borovice stejného druhu s věkem 4844 let, které bylo dáno jméno Metuzalém (Methuselah), jež odkazuje na dlouhověkého biblického patriarchu, který se údajně dožil 969 let.² Oba tyto stromy stále žijí. Oproti tomu třetí nejstarší strom, rovněž borovice dlouhověká se jménem Prométheus, byl smýcen roku 1946 pro studijní účely. Jeho stáří bylo určeno na 4844 let. Věku přes 3000 let dosahují i dřeviny *Fitzroya cupressoides* v Chile a sekvojovce obrovské (*Sequoiadendron giganteum*) z Kalifornie.³

Díky vegetativnímu rozmnožování mohou klonální kolonie přežít podstatně déle než jednotlivé stromy. Kupříkladu kolonie poddruhu topolu osikového (*Populus tremula* subsp. *tremuloides*), nazývaného též Pando, čítající na 47000 stromů pokrývá území o rozloze 43 ha ve Fishlake National Forest v USA a je považována za jeden z největších a nejstarších organismů planety. Odhaduje se, že kolonie je asi 80000 let

¹ KYNCL, T. *Metodika dendrochronologie* [online]. [cit. 2013-6-19]. Dostupné na: <<http://www.dendrochronologie.cz/metodika#standardy>>.

² *Rocky Mountain Tree-Ring Research* [online]. January 2013, [cit. 2013-6-22]. Dostupné na: <<http://www.rmtrr.org/oldlist.htm>>.

³ LALLANILLA, M. *Great trees of the World* [online]. [cit. 2013-5-30]. Dostupné na: <<http://greenliving.about.com/od/thegreenyard/tp/Largest-Tree-Oldest-Tree-in-the-World.htm>>.

stará, přesto se vzorky nadzemních letokruhů datují individuálně a jednotlivé stromy dosahují v průměru kolem 130 let.⁴

1.3. Nejstarší stromy ČR

Údaje o maximálním věku stromů rostoucích v České republice bývají často nadhodnocovány (tisícileté lípy u nás nerostou). K nejstarším stromům patří tisy (*Taxus*) – snad i přes 1000 let, podobně vysokého stáří dosahují hlohy (*Crataegus*) a jalovce (*Juniperus*). Vysokého stáří mohou dosáhnout i duby (*Quercus*) nebo lípy (*Tilia*) – i přes 500 let. Naopak mezi krátkověké dřeviny dožívající se 100 až 150-ti let patří břízy (*Betula*), vrby (*Salix*) nebo olše šedá (*Alnus incana*). (Vinter et Macháčková, 2013)

Tis červený (*Taxus baccata*) rostoucí v obci Vilémovice na Vysočině bývá označován za nejstarší tis střední Evropy, avšak pravdivost tohoto tvrzení nebyla zatím prokázána. Odhaduje se, že jeho stáří by se mohlo pohybovat mezi 1500 a 2000 let.⁵ Lípa velkolistá (*Tilia platyphyllos* Scop.) rostoucí v obci Klokočov, která podle odhadů dosahuje až 800 let je státem chráněný památný strom a dle vyprávění se u ní zastavil roku 1334 král Karel IV. se svou družinou, když se vracel z hradu Lihnice. Proto se jí říká Karlova lípa.⁶

1.4. Radiouhlíková (radiokarbonová) metoda

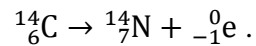
Radiouhlíková metoda je další možností datování nejen dřeva, ale i jiných organických materiálů, které obsahují radioaktivní izotop uhlíku ¹⁴C. Ten vzniká v atmosféře reakcí atmosférického ¹⁴N s kosmickým zářením. Jelikož mezi každým živým organismem a okolím probíhá neustálá výměna látek a energií, zabudovává se do něj i radioaktivní ¹⁴C. Děje se tak prostřednictvím fotosyntézy u rostlin, během níž rostlina přijímá z atmosféry uhlík v podobě CO₂, a příjmem jejích produktů primárně či sekundárně u živočichů. Protože jde o proces kontinuální, ve kterém je nutné brát v potaz jak příjem, tak výdej, zůstává poměr mezi ¹⁴C a normálním, neaktivním ¹²C po

⁴ *List of oldest trees* [online]. 1. 4. 2013, [cit. 2013-5-30]. Dostupné na: <http://en.wikipedia.org/wiki/Oldest_tree>.

⁵ NOVÁK, P. *Tis červený (Taxus baccata)* [online]. 17. 9. 2009, [cit. 2013-5-22]. Dostupné na: <<http://www.obec-vilemovice.cz/tis-cervený-taxus-baccata/d-1191>>.

⁶ *Klokočovská lípa* [online]. 23. 11. 2008, [cit. 2013-5-22]. Dostupné na: <<http://www.klokočov.eu/index.php?nid=6996&lid=CZ&oid=1155791>>.

celý život přibližně stejný. Po smrti organismu již k příjmu ^{14}C nedochází, naopak izotop ^{14}C podléhá beta rozpadu dle rovnice



Radioaktivní izotop uhlíku se tedy přemění zpět na dusík a poměr $^{12}\text{C}/^{14}\text{C}$ se čím dál víc kloní na stranu ^{12}C . Právě této změny radiouhlíková metoda využívá. (Musílek, 1992)

Jestliže je dn počet rozpadů atomů vzorku o n atomech a pravděpodobnost radioaktivní přeměny se s časem zvyšuje dle vzorce

$$dp = \lambda \cdot dt, \quad (1)$$

pak lze vyjádřit snížení počtu atomů za určitý čas jako

$$dn = n \cdot dp = n \cdot \lambda \cdot dt, \quad (2)$$

přičemž λ je rozpadová konstanta, která je charakteristická pro daný radioaktivní prvek. Po integraci (2) dostáváme

$$n = n_0 \cdot e^{-\lambda t}. \quad (3)$$

Veličinou charakterizující rychlost radioaktivní přeměny je aktivita A . Ta udává počet rozpadů za jednotku času

$$A = \frac{dn}{dt} \quad (4)$$

a její jednotkou je 1 becquerel (Bq), případně 1 curie (Ci). 1 Bq odpovídá $3,7 \cdot 10^{10}$ Ci.

Aktivita vztažená na jednotku hmotnosti se nazývá měrná aktivita a je rovna aktivitě vztažené na jednotku hmotnosti

$$a = \frac{A}{m}. \quad (5)$$

Doba, za kterou se rozpadne právě polovina původního počtu atomů, se nazývá poločas rozpadu. Při zjišťování stáří vzorku se vychází z rozpadového zákona

$$\frac{n_0}{2} = n_0 \cdot e^{-\lambda \tau}, \quad (6)$$

z nějž po zlogaritmování a následné úpravě dostáváme vztah mezi rozpadovou konstantou a poločasem rozpadu

$$\lambda = \frac{\ln 2}{\tau}. \quad (7)$$

Po dosazení (7) do (3) a následné úpravě obdržíme vzorec pro čas, po který ve vzorku probíhala radioaktivní přeměna

$$t = \frac{\ln \frac{n}{n_0}}{-\frac{\ln 2}{\tau}}. \quad (8)$$

Ke správnému určení stáří vzorku je potřeba využít údajů zjištěných radiouhlíkovou metodou, kdy se určí spálením a následným rozborem popela pomocí speciálních detektorů a urychlovačů aktuální aktivita materiálu. Původní aktivita je vždy charakteristická pro daný organický materiál, jímž může být kupříkladu dřevo, listy, kosti, kůže, skořápky atd.

Stáří dřeva lze běžně radiouhlíkovou metodou určit do 20 – 25 tisíc let, protože poté je již množství přítomného ^{14}C ve vzorku zanedbatelné, a tedy obtížně detekovatelné. Starší vzorky při použití urychlovačů a speciálních technik lze datovat i do 50 tisíc let. Stejně tak je velice obtížné určit věk vzorků mladších než 200 let, jelikož změna poměru izotopů uhlíku není příliš patrná - poločas rozpadu izotopu ^{14}C je asi 5730 let - a matoucím faktorem nepřesností datování je hlavně spalování fosilních paliv, při kterém je do blízkých organických materiálů zabudován CO_2 a testy jaderných zbraní prováděné ve 20. století. (Musílek, 1992; Machala, 2005)

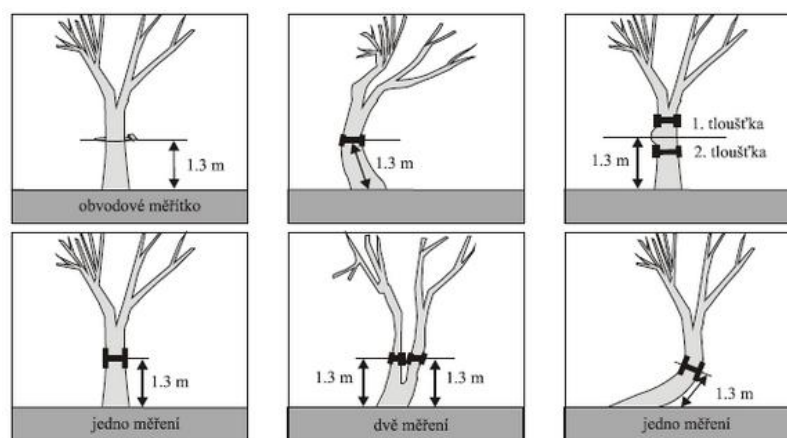
2. Provedení, postup práce

Stáří stromu se dá v terénu určit různými metodami, z nichž nejčastější jsou určení pomocí letokruhů nebo velikosti kmene. Primárně je důležité, zda je strom živý nebo skácený.

U stromu již skáceného je snazší užití metody počtu letokruhů. Jelikož je u dřevin našeho podnebného pásu hranice mezi letokruhy na příčném řezu kmenem patrná, stačí tyto letokruhy spočítat a výsledný součet by měl s dostatečnou přesností odpovídat skutečnému stáří stromu. U stromu živého je užití metody letokruhů náročnější, neboť pro získání vzorku dřeva musí být strom více či méně poškozen.

K odebrání dřeva se používá přírůstkový vrták, kterým se do kmene vyvrtá malý váleček, ze kterého se následně určí věk stromu.

Druhá metoda zahrnuje změření obvodu kmene, který pozitivně koreluje s přírůstkem dřeva. Statisticky lze tento vztah přibližně určit, avšak přesnost není tak vysoká jako u metody předešlé. To je zapříčiněno různými faktory, které na strom působí. Ať už se jedná o dlouhodobé působení větru, deště, teploty atd., jsou tyto vlivy příčinou nerovnoměrného rozvrstvení dřeva. Aby bylo měření co nejpřesnější, je vhodné měření provést v tzv. výčetní výšce, jejíž hodnota je dohodnuta na 1,3 m od paty kmene (Obr. 12). V této výšce lze změřit buď přímo obvod, nebo výčetní tloušťku kmene, která je rovna vzdálenosti dvou rovnoběžných tečen k obvodu kmene v průřezu kolmém na osu kmene.⁷ Z naměřené hodnoty lze orientačně spočítat věk stromu, protože zhruba 2,5 cm obvodu odpovídá 1 roku života.⁸



Obr 11: Měření výčetní tloušťky kmene.

http://oryx.mendelu.cz/hul2/images/stories/inventarizace/mereni_tloustka_r.png

3. Úkoly

1. Pomocí metody letokruhů určete stáří pokácených kmenů různých dřevin, poté z nich přírůstkovým vrtákem odeberte vzorky, na kterých spočítejte letokruhy. Zjištěné hodnoty porovnejte.

⁷ KYNCL, T. *Určování stáří stromu* [online]. 11. 5. 2013, [cit. 2013-5-22]. Dostupné na: <http://www.velkykluk.cz/ruzne/urcovani_stari_stromu/index.htm>.

⁸ *Sprievodca fenologickými fázami stromov* [online]. [cit. 2013-7-24]. Dostupné na: <http://www.beagleproject.org/pdf/beagle_key_slovakia.pdf>.

2. Použitím posuvného měřítka změřte výčetní tloušťky kmenů několika různých dřevin, pomocí kterých určete stáří stromu. Tam, kde nebude možné měřit posuvným měřítkem, použijte ke zjištění obvodu kmene provázek a zjištěné hodnoty obdobně dosadíte do vzorce. Tam, kde bude možné použít jak posuvné měřítko, tak i provázek, porovnejte vypočítané hodnoty.

3. Vypočítejte příklad:

Ve velmi starém ohništi byly nalezeny dřevěné uhlíky. Radiouhlíkovou metodou bylo zjištěno, že vzorek uhlíků vážící 5 g má aktivitu ^{14}C 63 rozpadů za minutu. Aktivita živého stromu je 15,3 rozpadů za minutu na 1 g vzorku. Určete stáří nalezených uhlíků, když víte, že poločas rozpadu ^{14}C má hodnotu 5730 let.⁹

⁹ MACHALA, L. *Příklady z atomové a jaderné fyziky* [online]. [cit. 2013-5-6]. Dostupné na: <<http://fyzika.upol.cz/cs/system/files/download/vujtek/texty/ajf-cv.pdf>>.

II. Téma: Měříme výšku stromů

Klíčová slova: strom, dřevo, výška, pravítko, klinoměr, tyč

Kapitola dle RVP: Biologie rostlin (lze zařadit i do fyziky, technické výchovy). Velmi vhodné téma k integraci učiva biologie rostlin a fyziky

Doba trvání: 45 min

Obtížnost: 4

Výukové prostředí: terén, park, les

Organizace výuky: práce ve skupinách (3-4 studenti)

Pomůcky: pásmo, měřidlo, klinometr, tyč, kalkulačka

Domácí příprava: zopakovat poznatky o stavbě dřeva, zopakovat základy trigonometrie

Kontrolní návodné otázky:

- 1) Vysvětlíte růst stromů do výšky a vznik letokruhů.
- 2) Co vyjadřuje nejistota měření?
- 3) Jaké faktory ovlivňují výšku, které může strom dosáhnout?

Řešení otázek:

- 1) Do výšky rostou stromy mitotickým dělením buněk primárních meristémů. Do šířky tloustnou činností sekundárního meristému, kambia, jehož produktem jsou letokruhy.
- 2) Nejistota měření je interval hodnot, kterých může měřená veličina dosahovat.
- 3) Genetické předpoklady a vnější podmínky.

1. Teoretický úvod

Výška stromů je velmi různorodá. Pohybuje se od několika centimetrů do hodnoty přes 100 metrů. Je závislá jak na druhu a stáří dřeviny, tak na okolních

podmínkách. Z fyzikálního hlediska musí být rostlina schopna vodivými elementy v podobě kapilár vyvinout dostatečný vztlak na rozvod živin od kořenů až do nejvyšší větvičky či listu. Další nutností je schopnost udržení stability při působení okolních vlivů, jako jsou déšť či vítr a především gravitace. Pro dřevinu je výhodné mít těžiště co nejnižší u země. Oproti tomu v jistých podmínkách rostliny bojují o světlo, a proto se svou stavbou po mnohé generace přizpůsobovaly právě tomu, aby vyrostly co nejvýše. Právě proto musí mít vhodně uzpůsobené kmeny.

1.1. Růst dřevin

Na růstu dřevin se podílejí dělivá pletiva, meristémy. Neustále se dělí, což rostlině zaručuje neukončený růst. Buňky v meristémech s vysokou dělivou aktivitou se nazývají iniciály. Po rozdělení iniciály vzniká jedna buňka iniciály a derivát, který je předurčen diferenciaci, tedy uzpůsobení pro výkon určité funkce, a začlenění do trvalých pletiv.¹⁰ (Skalický et Novák, 2007)

1.2. Obři a trpaslíci mezi stromy

Mezi nejvyšší stromy na světě patří bezesporu borovicotvaré sekvojovce a sekvoje rostoucí v Redwoodském národním parku v Kalifornii na západě USA. Mezi těmito velikány je nejvyšší sekvoj vždyzelená (*Sequoia sempervirens*) nesoucí jméno Hyperion podle titána z řecké mytologie a dosahující úctyhodných 115,72 metrů. Byla objevena a změřena roku 2006 spolu s dalšími podobně vysokými velikány a dle prozatímních průzkumů není příliš pravděpodobné, že bude objeven exemplář vyšší. Mezi další druhy dosahující výšek kolem sta metrů patří douglaska tisolistá (*Pseudotsuga menziesii*) – 100,3 m, smrk sitka (*Picea sitchensis*) – 96,7 m.¹¹

Za nejnižší dřevinu je oproti tomu považována vrba rostlinná (*Salix herbacea*) dosahující necelých 3 centimetrů. Vyskytuje se v arktickém a boreálním pásmu Evropy a Severní Ameriky nebo ve vyšších polohách v horských oblastech. V ČR je kriticky ohroženým druhem s výskytem v Krkonoších a v malých oblastech v Hrubém Jeseníku.

V České republice dosahují největších výšek jehličnany, a to jedle, smrky a modříny. V minulosti byla změřena jedle v pralese Mionší v Beskydech, která

¹⁰ Růst rostlin a dělení meristémů jsou podrobněji popsány v podkapitole Vznik dřeva.

¹¹ The tallest tree in the world [online]. [cit. 2013-5-22]. Dostupné na: <http://www.monumentaltrees.com/en/trees/coastredwood/tallest_tree_in_the_world/>.

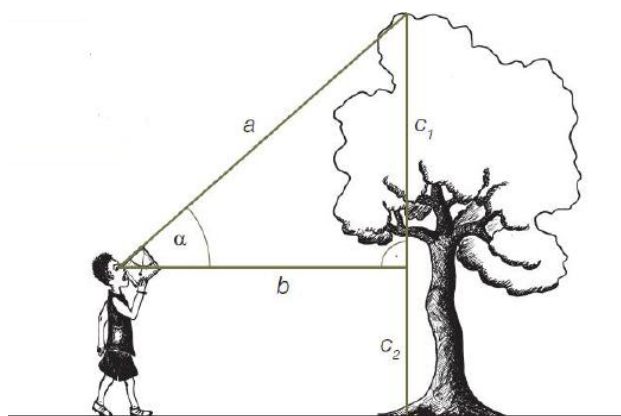
dosahovala 60,5 metrů.¹² Roku 2008 padl kvůli větru a vnitřní hnilobě jeden z těptínských smrků o výšce přes 58 metrů. V současnosti jsou nejvyššími stromy ČR asi Fremuthova jedle pod Čerchovem dosahující 51 metrů a Modřín troják, jehož výška se pohybuje rovněž kolem 50 metrů, avšak kvůli nepříznivým podmínkám se přesné změření zatím nepodařilo.

2. Provedení, postup práce

Metody určování výšky stromu vychází ze znalosti trigonometrie, tedy vědy, která je odvozena od goniometrie a využívá goniometrické funkce při řešení úloh o trojúhelnících. Nejčastějšími a zároveň nejpoužívanějšími metodami jsou měření pomocí klinometru, pomocí pravítka či podobného měřidla a metoda tyče a stínu.

2.1. Měření klinometrem¹³

Klinometr, nebo také sklonoměr, je zařízení na měření úhlů sklonu, vyvýšení či poklesu objektů nebo prostorových útvarů. V případě zjišťování výšky stromu se používá k měření úhlu mezi horizontální polopřímkou vedoucí kolmo ke kmeni stromu ve výšce očí pozorovatele a polopřímkou, pod kterou je ze stejného místa pozorován nejvyšší vrchol stromu.



Obr. 12: Měření výšky stromu klinometrem.

<http://globe.terezanet.cz/download/284.pdf>

¹² MADĚRA, P. et ÚRADNÍČEK, L. *Pomozte nám hledat největší stromy* [online]. 19. 1. 2002, [cit. 2013-5-22]. Dostupné na: <<http://www.mzp.cz/ris/ais-ris-info-copy.nsf/4d735ff9c7e64b58c12569e7001a2d9c/11b36853112ca282c1256c370073371d?OpenDocument>>.

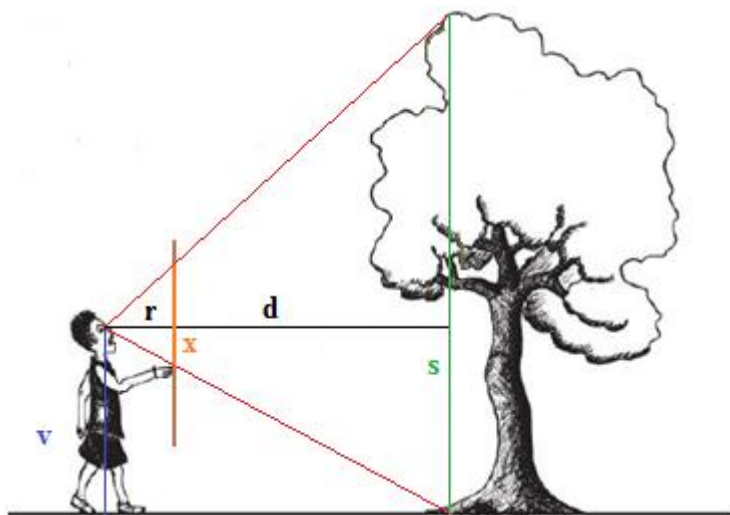
¹³ *Výška stromu* [online]. 24. 9. 2009, [cit. 2013-5-23]. Dostupné na: <<http://globe.terezanet.cz/download/284.pdf>>.

Samotné měření proběhne tak, že se nejdříve klinometrem odečte hodnota úhlu α , jež poslouží pro výpočet dílčí výšky c_1 , ke které se pro získání výšky celkové přičte vzdálenost očí pozorovatele od země. Výsledný vzorec má tedy podobu

$$c = b \cdot \tan \alpha + c_2. \quad (9)$$

2.2. Měření pravítkem

Situace je podobná jako u předcházející metody – pozorovatel stojí v určité vzdálenosti od měřeného stromu a v pěsti natažené paže drží vertikálně měřidlo. Vychází se z podobnosti trojúhelníků, které mají shodný vrcholový úhel, pod kterým je pozorován jak strom, tak úsek měřidla. Poměry stran i výšek v těchto trojúhelnících jsou stejné.



Obr. 13: Měření výšky stromu pravítkem.

Pozorovatel, jehož oči jsou ve výšce v , pozoruje strom o výšce s ze vzdálenosti d . Měřidlo drží v kolmé vzdálenosti r od očí. Platí, že strany i k nim náležící výšky stran podobných trojúhelníků jsou ve stejném poměru, proto

$$\frac{x}{r} = \frac{s}{d}, \quad (10)$$

z čehož pro výšku stromu platí

$$s = \frac{x \cdot d}{r}. \quad (11)$$

Je třeba si uvědomit, že měření nebude nikdy úplně přesné, protože překrytí stromu s měřidlem se určuje od oka a s narůstající vzdáleností d se výška stromu opticky zmenšuje, což měření znesnadňuje. Proto je důležité volit vzdálenost pozorovatele od stromu vhodně s ohledem na výšku stromu i použitého měřidla.

2.3. *Metoda tyče a stínu*

Vedle stromu, jehož výšku chceme měřit, zapíchneme kolmo do země tyč o známé výšce. Díky slunečnímu světlu budou strom i tyč vrhat stíny ve stejném směru a poměr délek stínů je roven poměru délek objektů, tedy stromu a tyče, podle vzorce

$$\frac{t_2}{s_2} = \frac{t_1}{s_1}, \quad (12)$$

kde s_1 je výška stromu, t_1 výška tyče, s_2 délka stínu stromu a t_2 délka stínu tyče.

Z něj vyjádříme výšku stromu

$$s_1 = \frac{t_1 \cdot s_2}{t_2}. \quad (13)$$

2.4. *Chyba měření*

Podle Mlčocha (2001) je každé měření vždy zatíženo chybou, která udává odchýlení naměřené hodnoty od hodnoty skutečné. Rozlišuje se několik druhů chyb dle způsobu jejich vzniku:

- Hrubá (nadměrná) chyba – vzniká špatnou volbou metody měření nebo vinou lidského faktoru v podobě nepozornosti či nešikovnosti. Jedná se o zcela znehodnocené měření, které je třeba opakovat;
- soustavná (systematická) chyba – je dána nepřesností měřicího přístroje, který není nikdy schopný určit skutečnou hodnotu měřené veličiny. Chyba zůstává stejná i při změně okolních podmínek. Její velikost je určena buď výrobcem, nebo je rovna polovině nejmenšího dílu měřidla;
- náhodná (statistická) chyba – vzniká proměnlivými vnějšími podmínkami a rušivými vlivy v průběhu měření. Těžko ji lze předem předpovědět, a proto je určována opakovaným měřením. Velice úzce s ní souvisí nejistota měření.

2.5. Nejistota měření

Nejistota měření je parametr, který udává rozsah hodnot, které lze měřené veličině přiřadit. Rozlišují se dva typy:

- Nejistota typu A – vyplývá ze statistiky a zjišťuje se při opakovaném měření za stejných podmínek. Jedná se o odhad směrodatné odchylky výběrového průměru. Lze ji spočítat ze vzorce

$$u_A = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n(n-1)}}, \quad (14)$$

kde n je počet měření a $(x_i - \bar{x})$ je rozdíl mezi naměřenou hodnotou a střední hodnotou všech měření;

- Nejistota typu B – nezjišťuje se statisticky, ale lze ji buď empiricky či racionálně předpovědět, nebo bývá u měřících přístrojů uváděna výrobcem v certifikátech, technických normách nebo manuálech. Vypočítá se ze vztahu

$$u_B = \sqrt{\sum_{j=1}^m u_{zj}^2}, \quad (15)$$

přičemž m je hodnota rozdělení odchylek zdrojů nejistot, kterými mohou být nedokonalosti přístroje, použité metody měření nebo nepřesné použité konstanty. Složky nejistoty u_{zj} se přepočítají ze standardních nejistot těchto zdrojů. (Mlčoch, 2001)

- kombinovaná nejistota – je spojením obou předchozích a lze ji spočítat dle vzorce

$$u_C = \sqrt{(u_A^2 + u_B^2)}. \quad (16)$$

3. Úkoly

1. Změřte výšky různých stromů

- a) klinometrem;
- b) měřidlem;
- c) pomocí tyče.

2. Z naměřených hodnot určete pro každý strom střední hodnotu výšky a určete nejistotu typu A všech měření.

III. Téma: Měříme hustotu dřeva

Klíčová slova: dřevo, xylém, hmotnost, hustota, objem

Kapitola dle RVP: Biologie rostlin (lze zařadit i do fyziky, technické výchovy). Velmi vhodné téma k integraci učiva biologie rostlin a fyziky

Doba trvání: 45 min

Obtížnost: 2

Výukové prostředí: laboratoř, školní dílny

Organizace výuky: práce ve skupinách (3-4 studenti)

Pomůcky: vzorky dřeva, odměrný válec

Domácí příprava: zopakovat poznatky o stavbě dřeva, zopakovat základy fyziky (hmotnost, hustota, Archimédův zákon)

Kontrolní návodné otázky:

- 1) Jaké je znění Archimédova zákona?
- 2) Jak je definována hustota?
- 3) Co je bobtnání?
- 4) Které naše dřeviny mají dřevo s nízkou, střední a vysokou hustotou dřeva?
- 5) Která dřeva budou při 12 % vlhkosti plavat na vodě?

Řešení otázek:

- 1) Na těleso ponořené do kapaliny působí hydrostatická vztlaková síla, jejíž velikost se rovná tíze kapaliny stejného objemu, jakou má ponořená část tělesa.
- 2) Hustota je definována jako poměr hmotnosti tělesa k jeho objemu.
- 3) Proces, při kterém dřevo zvyšuje svůj objem nasáváním vody do své struktury.
- 4) Nízká hustota – smrk, jedle, borovice, topol, lípa, olše, vrba;

Střední hustota – modřín, tis, bříza, buk, dub, jabloň, třešeň;

Vysoká hustota – akát, habr, zimostřez, dřín.

- 5) Všechna, jejichž hustota je nižší než hustota vody.

1. Teoretický úvod

Hustota je odvozená fyzikální veličina charakterizující všechny materiály. Jelikož bývá označována jako objemová hmotnost, je vzorec pro její výpočet jednoduchý. Již na základní škole se učí, že je označována řeckým písmenem ρ a platí

$$\rho = \frac{m}{V}, \quad (17)$$

kde m je hmotnost předmětu a V jeho objem. Jednotkou hustoty je tudíž $\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$, případně $\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$. (Bednařík, Široká et Bujok, 1993)

Podle Matoviče (1977) je hustota dřeva ovlivněna především druhem dřeviny a vlhkostí dřeva. Jako mnoho dalších fyzikálních veličin je i hustota dřeva tabelována při vlhkosti 12 %. Pro tuto hodnotu rozdělujeme na dřevo s nízkou ($\rho_{12} > 540 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$), střední ($750 > \rho_{12} > 540 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$) a vysokou ($\rho_{12} < 750 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$) hustotou.

Tabulka 3: Seznam některých našich dřevin dle hustoty. (Matovič, 1993)

hustota	druh	hustota dřeva [$\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$]		konvenční hustota dřeva [$\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$]
		ρ_{12}	ρ_0	ρ_k
nízká	topol	435	430	360
	smrk	445	420	360
	lípa	495	470	400
	osika	495	470	400
	borovice	500	470	400
	olše	520	490	420
střední	bříza	630	600	500
	jilm vaz	650	615	520
	modřín	660	630	520
	buk	670	640	530
	jasan ztepilý	680	645	550
	dub	690	650	550
	javor klen	690	650	550
	hrušeň	710	670	570
vysoká	akát	800	760	630
	habr	800	760	630

U exotických dřevin se však můžeme setkat i s hustotou podstatně nižší – kupříkladu balsa vykazuje hodnotu kolem $150 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$. Důvodem je vysoká pórovitost dřeva, což znamená velký objem vnitřních dutin vyplněných vzduchem v absolutně suchém dřevě, které celkovou hustotu dřeva rapidně snižují. Oproti tomu jsou známa i tzv. ‚železná dřeva‘, jejichž hustota je vyšší než $1000 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$. Příkladem je třeba guajak s hustotou dřeva asi $1000 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$.

Platí, že když dřeva s hustotou nižší než voda ($\rho_{H_2O} \approx 1000 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$) vodu přijímají, svou hustotu zvyšují. Ta však nikdy nepřekročí hodnotu hustoty vody. ‚Železná dřeva‘ naopak při namočení hustotu snižují.

Veličina ρ_0 se nazývá konvenční hustota dřeva, někdy také nazývána jako tzv. redukováná hustota v čerstvém stavu (označení ρ_{rc}). Je definována vztahem

$$\rho_k = \frac{m_0}{V_{max}}, \quad (18)$$

kde m_0 je hmotnost absolutně suchého dřeva a V_{max} jeho maximální objem, kterého dřevo nabude po dosažení meze hygroskopicity. Jedná se o stav nasycení buněčných stěn, při němž však není voda obsažena v buněčných dutinách. Jelikož v čitateli není započítána hmotnost obsažené vody při maximálním objemu, bude proto výsledná konvenční hustota menší než hustota při určitém procentu vlhkosti.

Konvenční hustota je využívána především při technologických výpočtech, lesním hospodářství nebo papírenském průmyslu. Jelikož není závislá na vlhkosti dřeva, lze ji využít při přepočtech hmoty dřeva v jednotkách hmotnosti na jednotky objemu a obráceně. (Matovič, 1993)

2. Provedení, postup práce

Pro výpočet hustoty tělesa ze vzorce (17) je třeba znát jeho objem a hmotnost, kterou lze snadno určit pomocí laboratorních vah.

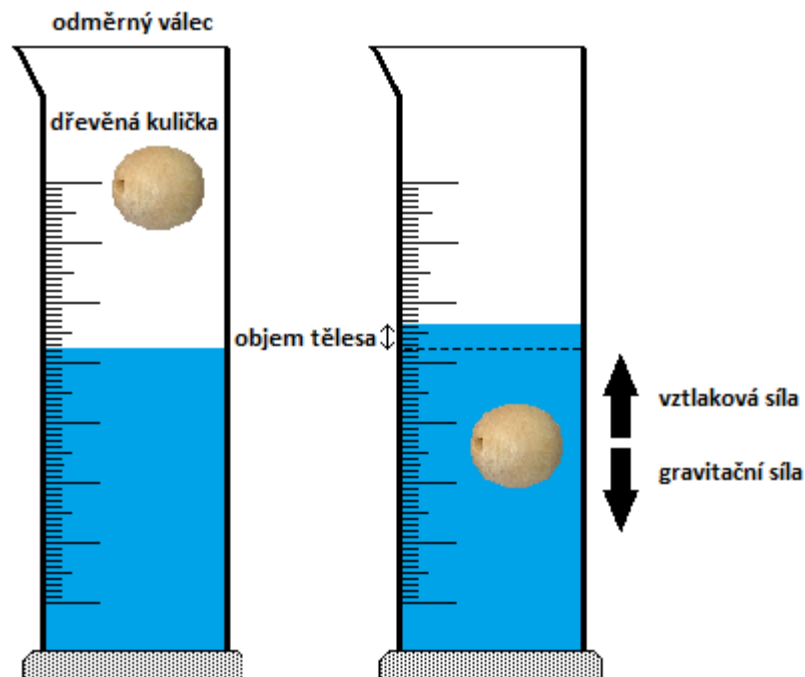
Při určení objemu pravidelných těles vycházíme ze vzorců pro dané prostorové útvary, které nalezneme v M-F tabulkách. Pro takové případy postačí změřit rozměry předmětu a dosadit je do příslušného vzorce. Tabulka 4 udává ty nejužívanější, přičemž veličiny v ní obsažené jsou a , b , c pro délky stran, r pro poloměr tělesa či podstavy a v pro jeho výšku.

Tabulka 4: Výpočet objemů pravidelných těles. (Mikulčák, 2003)

krychle	$V = a^3$
kvádr	$V = a \cdot b \cdot c$
válec	$V = \pi \cdot r^2 \cdot v$
jehlan	$V = \frac{1}{3} \cdot \pi \cdot r^2 \cdot v$
kužel	$V = \frac{1}{3} \cdot \pi \cdot r^2 \cdot v$
koule	$V = \frac{4}{3} \cdot \pi \cdot r^3$

U nepravidelných těles je však situace složitější a objem je nutné určit experimentálně. Nejjednodušší postup je ponořit dřevo do vody. Využitím Archimédova zákona se pak objem ponořeného dřeva určí jako objem vody, která byla dřevem vytlačena. Dle rozměru dřeva jej vložíme buď do vody v odměrném válci, kde snadno odečteme zvýšení hladiny vody, nebo do větší nádoby známého objemu naplněné vodou až po okraj. V takovém případě dřevo vytlačí vodu z nádoby a my po vytažení dřeva vodu opět doléváme. Objem dřeva odpovídá vytlačenému, a tedy i dolitému, objemu vody. (Bednařík, Šíroková et Bujok, 1993)

Je důležité mít na paměti, že dřevo může bobtnáním ve vodě zvětšit svůj objem, proto ho necháváme ponořené co nejkratší dobu, aby měření nebylo příliš zkreslené. Ještě lepším postupem by mohlo být oblepení vzorku dřeva izolepou tak, aby nedošlo k žádnému styku dřeva s vodou.



Obr. 14: Měření objemu tělesa pomocí odměrného válce.

3. Úkoly

1. Jelikož dřevo s nízkou hustotou ve vodě plave, je třeba jej pro změření jeho objemu udržet pod hladinou vody. Navrhněte postup, kterým toho lze docílit bez zkreslení měření.
2. Určete hustoty připravených vzorků dřev dle vzorce (17). Pro každý vzorek proveďte pět až deset měření a vypočítejte nejistotu typu A (14). V případě tělesa pravidelného proveďte jak experimentální zjištění objemu, tak i výpočet pomocí vzorce.
3. Dle zjištěných hodnot se pokuste určit, která dřeva byla při experimentu použita.
4. Navrhněte postup, jakým by se určila konvenční hustota měřených vzorků dřeva.

IV. Téma: Vlhkost dřeva

Klíčová slova: dřevo, xylém, voda, hmotnost, hustota

Kapitola dle RVP: Biologie rostlin (lze zařadit i do fyziky, technické výchovy). Velmi vhodné téma k integraci učiva biologie rostlin a fyziky

Doba trvání: 90 min

Obtížnost: 3

Výukové prostředí: laboratoř, školní dílny

Organizace výuky: práce ve skupinách (3-4 studenti)

Pomůcky: vzorky dřeva, digitální váhy, sušička, vlhkoměr

Domácí příprava: zopakovat poznatky o stavbě dřeva, zopakovat základy fyziky (hmotnost, hustota)

Kontrolní návodné otázky:

- 1) Co je to transpirační proud?
- 2) Jaká je stavba vodivých elementů xylému?
- 3) Vysvětlete rozdíl mezi volnou a vázanou vodou.
- 4) Co je absolutní a relativní vlhkost dřeva?
- 5) Jak ovlivňuje volná voda ve dřevě jeho hustotu?
- 6) Kdy může být vlhkost dřeva vyšší než 100 %?

Řešení otázek:

- 1) Proud vody a živin rozváděný vodivými elementy xylému od kořene ke koruně.
- 2) Tracheje jsou protáhlé kapiláry tvořené tracheálními články. V místech jejich styku mají buněčné stěny zcela perforovány. Tracheidy jsou vřetenovité buňky, které nemají v místech styku úplné perforace.

- 3) Voda vázaná je obsažena v buněčných stěnách vodivých pletiv, zatímco voda volná je přítomna až po jejich nasycení v dutinách buněk a mezibuněčných prostorech.
- 4) Absolutní vlhkost dřeva značí poměr rozdílu hmotností vlhkého a suchého dřeva ke hmotnosti suchého dřeva. Relativní vlhkost se oproti tomu vztahuje k hmotnosti dřeva vlhkého.
- 5) Pro všechny dřeviny platí, že se zvyšující se hladinou volné vody roste hustota dřeva.
- 6) Když je hmotnost vlhkého dřeva více než dvojnásobkem hmotnosti dřeva absolutně suchého.

1. Teoretický úvod

Pro každou dřevinu, jakožto pro živý organismus, je nezbytné zastoupení vody vázané v buňkách a mezibuněčných prostorech. Voda ve dřevě ovlivňuje ve velké míře jeho fyzikální vlastnosti, kupříkladu tepelnou a elektrickou vodivost, pevnost, tvrdost nebo schopnost rezonance či výhřevnost. Ač je tedy voda pro živý strom naprosto nezbytná, pro dřevo jako surovinu je spíše nežádoucí.

Po uhynutí stromu ztrácí vodivé pletivo svou funkci a voda se ze dřeva začíná odpařovat. Tento proces se nazývá vysychání. Vlhkostí dřeva se rozumí procentuální zastoupení hmotnosti vody ve hmotě dřeva.

Tabulka 5: Vlhkosti různých typů dřev. (Matovič, 1977)

Typ dřeva	Vlhkost
dřevo mokré	více než 100 %
dřevo čerstvě skácené	50 % - 100 %
dřevo sušené na vzduchu	15 % – 22 %
dřevo sušené v pokojové teplotě	8 % – 15 %
dřevo absolutně suché	0 %

Voda se může vyskytovat v různých částech dřeva. Kincl a Krpeš (1994) a Pavlová (2005) rozlišují:

1. voda chemicky vázaná – jde o vodu vázanou ve sloučeninách, jejíž zastoupení se pohybuje mezi 1 % - 2 %. Pro determinaci fyzikálních veličin není uvažována;
2. voda vázaná (hygroskopická) – jedná se o vodu uloženou v buněčných stěnách silami chemickými nebo fyzikálně-chemickými, její zastoupení se pohybuje od 0 % do 30 % absolutní vlhkosti. Uvádí se, že 30% vlhkosti dřeva při pokojové teplotě značí mez hygroskopicity nebo mez nasycení buněčných stěn.

Mez hygroskopicity je teplotně závislá a se zvyšující se teplotou klesá její hodnota. Je definována jako maximální vlhkost dřeva při navlhčení parami vlhkostně nasyceného vzduchu. Mez nasycení buněčných stěn oproti tomu teplotně závislá není a uvádí se jako maximální vlhkost dřeva ve vodním prostředí.

3. voda volná – vyplňuje mezibuněčné prostory, kapiláry a dutiny buněk vodivých pletiv. Ve dřevě se vyskytuje pouze v případě, že to obsahuje vodu vázanou, a tedy má nasycené buněčné stěny.

1.1. Absolutní a relativní vlhkost

Dle toho, zda se uvažuje poměr vody k sušině, tedy dřevu s 0 % vlhkostí, či k vlhkému dřevu, rozděluje se vlhkost na absolutní a relativní (Matovič, 1977).

Absolutní vlhkost w_{abs} lze vypočítat ze vztahu

$$w_{abs} = \frac{m - m_0}{m_0} \cdot 100, \quad (19)$$

kde m je hmotnost vlhkého dřeva a m_0 hmotnost absolutně suchého dřeva. Určení absolutní vlhkosti dřeva je stěžejní pro determinaci jiných fyzikálních veličin, jelikož mnohé z nich se udávají pro absolutní vlhkost o hodnotě 12 %.

Relativní vlhkost w_{rel} se oproti absolutní vztahuje k hmotnosti vlhkého dřeva. Platí tedy

$$w_{rel} = \frac{m - m_0}{m} \cdot 100. \quad (20)$$

Ze vztahů je patrné, že absolutní vlhkost může dosáhnout i hodnoty nad 100 %. Oproti tomu by relativní vlhkost dosáhla 100 % pouze v případě, že by hmotnost sušiny byla nulová. Z toho plyne, že její hodnota se bude pohybovat v rozmezí (0; 100) %.

Vlhkost dřeva závisí na mnoha faktorech (Kavina, 1932):

- věk - v mládí je vlhkost vyšší a se stářím časem klesá;
- roční období - vlhkost je největší v zimě a nejnižší v létě;
- denní doba - přes den vlhkost klesá, v noci narůstá;
- počasí - se vzdušnou vlhkostí roste vlhkost dřeva.

Jehličnany mají:

- jádro má několikanásobně menší vlhkost než běl;
- vlhkost běli se s výškou zvyšuje, zatímco vlhkost jádra zůstává prakticky neměnná.

Listnáče se vyznačují:

- jádro i běl mají zhruba stejnou vlhkost;
- vlhkost běli se s výškou nemění, zatímco vlhkost jádra s výškou klesá.

2. Provedení, postup práce

Matovič (1977) uvádí, že vlhkost se určuje pomocí metod přímých i nepřímých. Mezi přímé se řadí metoda váhová či destilační. Obě jsou charakteristické odstraňováním vody ze dřeva pomocí různých postupů. U váhové metody jde o vysýchání dřeva vysokou teplotou. Destilační využívá různých látek, třeba toluenu, a používá se tam, kde na dřevo nelze použít vyšších teplot, jelikož by došlo k jeho znehodnocení. Metody nepřímé jsou založené na určení vlhkosti pomocí jiných veličin. Nejčastěji se využívá elektrického odporu, který je měřen vlhkoměrem.

Nejdříve je třeba připravit a označit vzorky dřeva několika různých dřevin, od každé z nich budou tři, a na digitální váze se určí jejich hmotnosti. Dále se vždy jeden ze vzorků ponoří do vodní lázně (poslouží igelitový sáček napuštěný vodou), druhý necháme na suchém místě v místnosti a třetí umístíme na venkovní parapet. Po několika dnech provedeme druhé měření hmotnosti, po několika týdnech třetí.

Následně vyučující umístí vzorky do sušičky a za teploty asi 100 °C je nechá několik hodin sušit. Po vysušení se vzorky zvaží naposledy.

Máte-li k dispozici vlhkoměr, při každém vážení změřte zároveň i vlhkosti vzorků, které si poznamenejte. Mějte na paměti, že vlhkoměr měří pouze relativní vlhkost, a to ne zcela přesně. Bodce vlhkoměru lze totiž vpíchnout jen do určité hloubky a obecně platí, že se vlhkost se vzrůstající hloubkou zvyšuje.

3. Úkoly

1. Určete absolutní vlhkosti všech zkoumaných vzorků pro všechny měřené hmotnosti pomocí vzorce.
2. Určete relativní vlhkosti všech zkoumaných vzorků pro všechny měřené hmotnosti pomocí vzorce.
3. Naměřené hodnoty relativních četností porovnejte s hodnotami naměřenými vlhkoměrem. Případné rozdíly zkuste vysvětlit.

V. Téma: Dřevo jako vodič tepla

Klíčová slova: dřevo, tepelná vodivost, kalorimetr, teplo, teplota

Kapitola dle RVP: Biologie rostlin (lze zařadit i do fyziky, technické výchovy). Velmi vhodné téma k integraci učiva biologie rostlin a fyziky

Doba trvání: 90 min

Obtížnost: 4

Výukové prostředí: laboratoř, školní dílny

Organizace výuky: práce ve skupinách (5-6 studentů)

Pomůcky: kalorimetry, dřevěná tyč, teploměry, topná spirála, stopky

Domácí příprava: zopakovat poznatky o stavbě dřeva, zopakovat základy fyziky (kalorimetrická rovnice, tepelná výměna)

Kontrolní návodné otázky:

- 1) Vyjmenujte vodivé elementy xylému.
- 2) Jaké jsou způsoby vedení tepla?
- 3) Je dřevo spíše tepelný izolant nebo vodič?
- 4) Jak se šíří teplo v xylému?
- 5) Jak závisí tepelná vodivost na hustotě dřeva a proč?

Řešení otázek:

- 1) Tracheje a tracheidy u listnáčů, tracheidy u jehličnanů.
- 2) Kondukce, konvekce, radiace.
- 3) V porovnání s kovy spíše izolant, v porovnání s některými plasty spíše vodič.
- 4) Buněčnými stěnami cévic, případně cév, a vzduchem v mezibuněčných dutinách.

- 5) Tepelná vodivost s hustotou roste, jelikož ubývá dutin vyplněných izolantem - vzduchem.

1. Teoretický úvod

Přenos tepla vedením, neboli kondukce, je v přírodě zcela běžný proces probíhající všude téměř neustále. Částice s vyšší střední kinetickou energií kmitají kolem svých rovnovážných poloh a část této energie předávají sousedním částicím s energií nižší. Schopnost vedení tepla je dána součinitelem tepelné vodivosti λ daného materiálu. (Holubová, 2012)

Struktura xylému je tvořena vodivými elementy – tracheidami (cévicemi), které se vyskytují jak u jehličnanů, tak u listnáčů, případně i trachejemi (cévami) které jsou charakteristické jen pro listnáče. V obou případech se jedná o mrtvé buňky, které tvoří kapilární struktury, jejichž funkcí je rozvod vody a živin v ní obsažených od kořene ke koruně. Pro tento účel buňky sestávají pouze z buněčných stěn, které obklopují vzduchové dutiny, jimiž je rozváděna voda transpiračním proudem. (Pazourek et Votrubová, 1997; Vinter et Sedlářová, 2004)

Pokud ve dřevě transport vody neprobíhá, bereme tedy v potaz suché dřevo, je teplo předáváno pouze prostřednictvím buněčných stěn cévních buněk a ve velmi malém množství je vedeno i vzduchovými dutinami. (Pavlová, 2005) Pokud by tyto dutiny byly zaplněné vodou, pak by celkové předané teplo bylo o poznání vyšší. V tom případě by však takové zvýšení bylo způsobené konvekcí, tedy prouděním, které je charakteristické pro látky v kapalném stavu. (Holubová, 2012)

Uvažujeme-li předmět, kupříkladu tyč, o určité délce l , jehož jeden konec je zahříván, projeví se po chvíli tepelná kondukce a teplota od zahřívajícího konce rovnoměrně klesá, přičemž teplotní rozdíl $T_1 - T_2$ mezi oběma konci je konstantní. Teplotní gradient tedy lze vyjádřit podílem

$$\text{grad } T = \frac{dT}{dl}. \quad (21)$$

Pro předané teplo platí, že

$$dQ = -\lambda \cdot \frac{dT}{dl} \cdot dS \cdot d\tau, \quad (22)$$

kde λ je součinitel tepelné vodivosti, jehož jednotkou je $W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$, dS příčný průřez tyče a $d\tau$ čas, po který kondukce probíhá. Znaménko minus značí, že přenos tepla se děje v opačném směru než nárůst teploty.

Dále zavádíme veličinu tepelný tok Φ s jednotkou $W \cdot m^{-2}$, který udává, jaké teplo bylo předáno za určitý časový úsek. Lze ho vyjádřit vztahem

$$\Phi = \frac{dQ}{d\tau} = -\lambda \cdot \frac{dT}{dl} \cdot dS. \quad (23)$$

Tepelný tok se dá rovněž vyjádřit jako

$$\frac{dQ}{d\tau} = \frac{(c \cdot m + C) \cdot \Delta t}{d\tau}, \quad (24)$$

kde c je měrná tepelná kapacita vody, C kapacita kalorimetru, Δt rozdíl teplot na začátku a konci měření a $d\tau$ doba, po kterou měření probíhalo.¹⁴

Vztah pro výpočet součinitele tepelné vodivosti získáváme ze vzorce (23) vyjádřením λ , takže platí

$$\lambda = \frac{\frac{\Delta Q}{\Delta \tau}}{s \cdot \text{grad } T}. \quad (25)$$

2. Provedení, postup práce

Kalorimetr je zařízení, které slouží k experimentálnímu měření tepelné výměny mezi soustavami, přičemž jsou nejčastěji zkoumanými veličinami teplota a teplo. Jedná se zejména o nádoby, které jsou vyrobeny z materiálů

Soustava dvou kalorimetrů je spojena dřevěnou tyčí o délce d . Kalorimetry jsou umístěny nad sebou a pro zpřesnění následujícího měření je vhodné určit tepelnou kapacitu C spodního kalorimetru. Toho docílíme tak, že kalorimetr naplníme studenou vodou o známé hmotnosti m_l a po ustálení teplotní rovnováhy změříme teplotu t_s . Poté do kalorimetru přilijeme teplou vodu o hmotnosti m_t a známé teplotě t_t . Po čase se teplota ustálí na hodnotě t_x . Dle vztahu

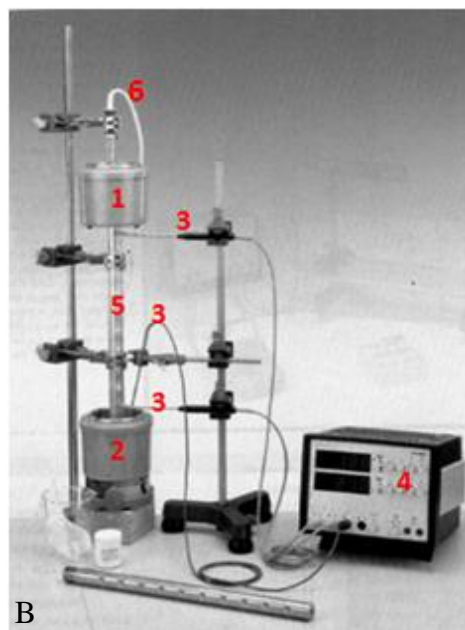
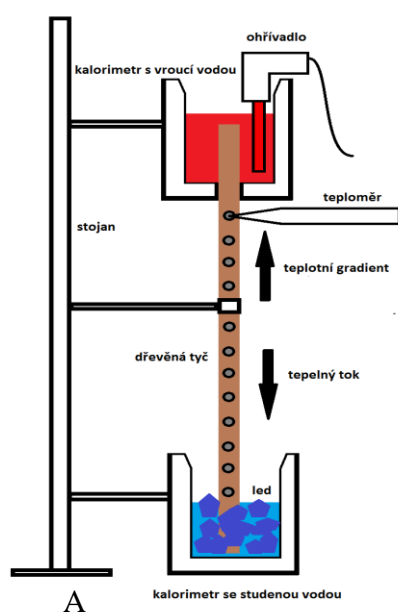
$$C = \frac{m_t \cdot c \cdot (t_t - t_x)}{t_x - t_s} - m_s \cdot c, \quad (26)$$

¹⁴ HOLUBOVÁ, R. *Termodynamika a molekulová fyzika - přednášky* [online]. 2003, [cit. 2013-6-1]. Dostupné na: <<http://apfyz.upol.cz/ucebnice/download/termo.pdf>>.

kde c je měrná tepelná kapacita vody, jejíž hodnotu lze nalézt ve fyzikálních tabulkách, vypočítáme tepelnou kapacitu kalorimetru C .

V horním kalorimetru ohříváme vodu topnou spirálou až na bod varu, v dolním kalorimetru vodu ochlazujeme ledem a průběžně mícháme. V průběhu měření je nutné dbát na to, aby se voda v horním kalorimetru neodpařovala, jelikož by mohl být vysokým teplem spirály poškozen, a proto ji vroucí doléváme.

Po dosažení bodu varu vody v horním kalorimetru počkáme několik minut a v co nejkratším čase změříme teploty t_1 až t_{10} na deseti místech tyče. Je třeba mít na paměti, že dřevo je relativně dobrý izolant, a tedy teplo nevede příliš dobře, proto je nutné volit body měření nepříliš daleko od sebe. Dále vyjmeleme ze spodního kalorimetru led a v pravidelných několikaminutových intervalech v něm měříme teplotu vody t za stálého udržování varu vody v horním kalorimetru. Nakonec vypneme topnou spirálu a posuvným měřítkem změříme průměr d dřevěné tyče.



Obr. 15: Zapojení kalorimetrů a tyče.

- A) schéma zapojení soustavy
 B) vlastní provedení
 1 – kalorimetr s vroucí vodou
 2 – kalorimetr se studenou vodou
 3 – čidla teploměru
 4 – teploměr
 5 – dřevěná tyč
 6 – topná spirála

3. Úkoly

1. Z naměřených teplot na různých místech tyče vypočítejte dle vzorce gradient teploty a sestrojte graf závislosti teploty na vzdálenosti od horního kalorimetru, která je znázorněním teplotního gradientu.
2. Ze zjištěných hodnot průběžných teplot vody spodního kalorimetru spočítejte velikost tepelného toku a hodnotu součinitele tepelné vodivosti λ pro dřevěnou tyč pomocí vzorce (25).
3. Zjištěnou hodnotu λ porovnejte s tabulkovou hodnotou. Zdůvodněte, proč se tyto hodnoty liší.

VI. Téma: Jak tvrdé je dřevo

Klíčová slova: dřevo, xylém, letokruh, tvrdost, hmotnost, hustota

Kapitola dle RVP: Biologie rostlin (lze zařadit i do fyziky, technické výchovy). Velmi vhodné téma k integraci učiva biologie rostlin a fyziky

Doba trvání: 90 min

Obtížnost: 5

Výukové prostředí: laboratoř, školní dílny

Organizace výuky: práce ve skupinách (5-6 studentů)

Pomůcky: svěrák, tlakový siloměr, ocelové kuličky, vzorky dřeva, hrotový vlhkoměr

Domácí příprava: zopakovat poznatky o stavbě dřeva, zopakovat základy fyziky (hmotnost, hustota)

Kontrolní návodné otázky:

- 1) Vysvětlíte vznik dřeva (sekundárního xylému).
- 2) Co je to letokruh.
- 3) Co ovlivňuje tvrdost dřeva.
- 4) Uveďte tři příklady měkkých a tři příklady tvrdých dřev

Řešení otázek:

- 1) Sekundární xylém vzniká činností kambia.
- 2) Letokruh je přírůstek dřeva (jarního a letního) za sezónu.
- 3) Množství lignifikovaných struktur, vlhkost dřeva, směr působení tlakové síly při měření.
- 4) Měkká dřeva – balza, lípa, topol, vrba, smrk, borovice, jedle. Tvrdá dřeva – guajak, dřín, svída, ptačí zob, dub pýřitý, zimostřez.

1. Teoretický úvod

Tvrlost dřeva je definována jako odpor, který klade dřevo proti pronikání cizího předmětu. Měkká dřeva se snáze opracovávají, oproti tomu jsou dřeva tvrdá vyhledávána pro svou trvanlivost a odolnost. Tvrlost závisí především na:

1. Anatomické stavbě dřeva - především na množství lignifikovaných elementů dřeva. Lignin se usazuje v buněčných stěnách vodivých elementů dřeva – u jehličnanů v buněčných stěnách cévic, u listnáčů v buněčných stěnách cévic, cév a také ve stěnách sklerenchymatických libriformních vláken (tato vlákna mají pouze mechanickou zpevňující funkci);
2. vlhkosti dřeva - čím je vyšší, tím nižší je tvrlost. Tvrlost dřeva se nejčastěji udává při 12 % vlhkosti. Chceme-li porovnávat tvrlost měřeného vzorku s tvrlostí jiných dřev udávanou v tabulkách je nutno naměřenou hodnotu převést na 12 % vlhkost podle vztahu

$$H_{12} = H_w \cdot [1 + \alpha \cdot (w - 12)], \quad (27)$$

kde w je vlhkost vzorku (změřená např. hrotovým vlhkoměrem), H_w je tvrlost dřeva při vlhkosti w a α přepočtový koeficient, jehož hodnota je pro naše dřeviny $\alpha = 0,03$;

3. směru působení tlakové síly při měření – tvrlost klesá při odklonu působení tlakové síly ze směru vodorovném k vláknům až do úhlu 90° . Rozdíl ve tvrlosti může být až 30 % u listnáčů a až 40 % u jehličnanů;
4. měrné hmotnosti (hustotě) - do jisté míry je v korelaci (čím je dřevo těžší, tím je tvrdší).

Vzhledem k tomu, že dřevo je živým materiálem s proměnlivou strukturou vzniklou v průběhu mnoha let růstu, provádí se zkouška pro každý druh dřeva vícekrát na různých místech a tvrlost uvedená v tabulce je průměrem z naměřených hodnot. Dřevo se nejčastěji podle tvrlosti dělí do šesti tříd. Tvrlost některých známějších druhů dřev udávají následující tabulky ($\text{kg} \cdot \text{cm}^{-2}$, někdy se tvrlost udává v MPa, přičemž platí, že $1 \text{ MPa} = 10 \text{ kg} \cdot \text{cm}^{-2}$).

Tabulka 6: Třídy tvrdosti dřeva. (Čabart, 1960)

Tvrlost	kg · cm ⁻²	Druh dřeva
1	do 350 (velmi měkká)	smrk, borovice, limba, jedle, topol, vrba, lípa
2	351-500 (měkká)	modřín, douglaska, kleč, jalovec, bříza, olše, jiva, střemcha, teak
3	501-650 (středně tvrdá)	kaštan jedlý, platan, jilm, líska
4	651-1000 (tvrdá)	dub, ořešák, javor, třešeň, jabloň, jasan, buk, hrušeň, švestka, akát, habr
5	1001-1500 (velmi tvrdá)	dřín, svída, ptačí zob, dub pýřitý, zimostráz
6	nad 1501 (neobyčejně tvrdá)	eben cejlonský, africký grenadil, guajak a jiné exotické dřeviny

Tabulka 7: Tvrdosti dřeva některých dřevin v závislosti na vlhkosti. (Matovič, 1993)

druh dřeva	tvrdost dřeva [MPa]					
	čelní (transverzální)		radiální (podélná vedená středem kmene)		tangenciální (podélná vedená mimo střed kmene)	
	vlhkost dřeva [%]		vlhkost dřeva [%]		vlhkost dřeva [%]	
	12	30 a víc	12	30 a víc	12	30 a víc
modřín	43,5	20,5	29	13,5	29	14
borovice	28,5	13,5	24	11	25	11,5
jedle	28	13	17	8	-	-
smrk	26	12	18	8,5	18	8,5
limba	22	10,5	-	-	-	-
akát	97	57,5	68	40,5	78	46,5
habr	90,5	54	77	45,5	78,5	47

jasan	80	48	59	35	67	39,5
hruška	79	47	59,5	35	60,5	36
javor klen	76	45	55,5	33	59	35
dub	67,5	40	56	33,5	49	29
buk	61	36,5	43,5	25,5	44,5	26,5
jilm vaz	56	33,5	42,5	25,5	42,5	25
bříza	46	27,5	37	22	33	19,5
olše	40	24	27,5	16	28	17
osika	26,5	15,5	19	11	20,5	12
topol	26,5	15,5	18,5	11,5	-	-
lípa	26	15,5	17,5	10	18	10,5

2. Provedení, postup práce

Matovič (1977) udává, že se tvrdost dřeva měří pomocí ocelové kuličky, která je tlačena proti dřevěnému vzorku. Nejčastěji se užívají dvě metody – Brinellova a Jankova. Princip těchto metod ilustruje Obr. 16.

Při Brinellově metodě se ocelová kulička o průměru 10 mm vtlačuje do dřeva určitou silou F v závislosti na očekávané tvrdosti dřeviny – tlaková síla se volí dle hmotnosti a očekávané tvrdosti dřeva v rozmezí 100 - 1000 N. V laboratorních podmínkách je vhodné použít svěrák, pokud není k dispozici lis. Poté se změří průměr vtisku d a hodnota tvrdosti H_B se vypočítá dle vztahu

$$H_B = \frac{2 \cdot F}{\pi \cdot D \cdot (D - \sqrt{D^2 - d^2})} \quad (28)$$

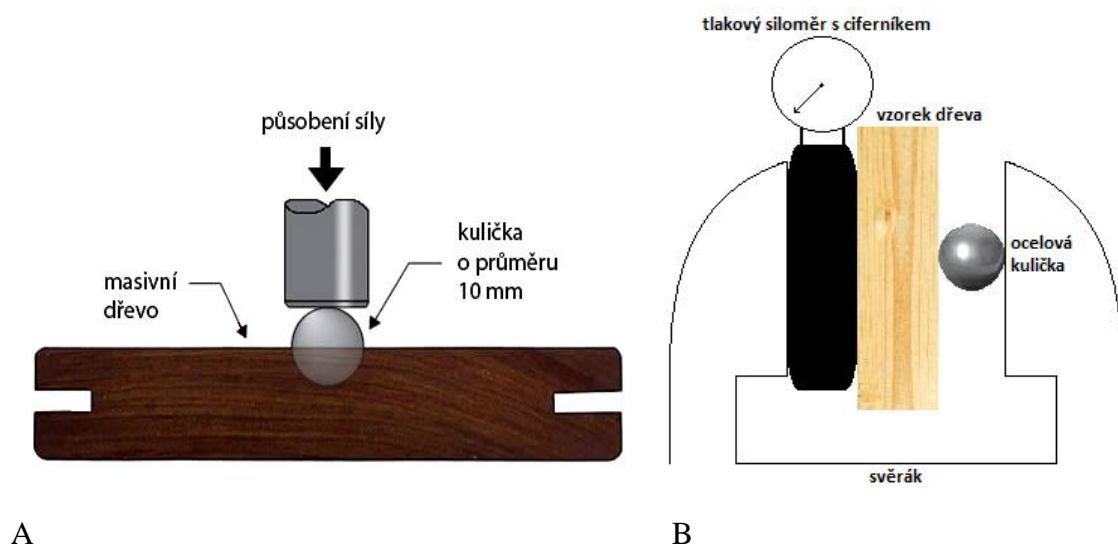
Čím je průměr vtisku menší, tím je dřevo tvrdší. Je třeba si uvědomit, že určení okraje vtisku není vždy zcela přesné, jelikož dochází i k deformaci okolních vodivých vláken svázaných s vlákny pod kuličkou. Dále pak je nutné vzít v potaz, že dřevo není

homogenní a může obsahovat různé kazy. Proto je měření do jisté míry nepřesné a zatížené chybou.

Jankova metoda využívá podobný princip – rovněž jde o vtlačování ocelové kuličky do dřeva. Avšak v tomto případě má kulička daný průměr $d = 11,28 \text{ mm}$, a je zatlačena přesně do poloviny svého průměru. Odečítá se síla, kterou je při tom třeba vyvinout. Výsledná tvrdost H_J je pak dána vztahem

$$H_J = \frac{F}{S}, \quad (29)$$

kde F je síla působící na kuličku, S je plocha průřezu kuličkou.



Obr. 16: Princip měření tvrdosti dřeva pomocí ocelové kuličky.

- A) Obecný princip
- B) Vlastní provedení

3. Úkoly

1. Změřte a vypočítejte tvrdost dřeva třech vybraných dřevin pomocí Brinellovy metody. Pro každou dřevinu proveďte tři až pět měření a vypočítejte střední hodnoty tvrdosti.
2. Změřte a vypočítejte tvrdost dřeva třech různých dřevin pomocí Jankovy metody. Pro každou dřevinu proveďte tři až pět měření a vypočítejte střední hodnoty tvrdosti.
3. Porovnejte dosažené hodnoty získané oběma metodami.

4. Pomocí hrotového vlhkoměru změřte vlhkost měřených vzorků a proveďte přepočet na 12% vlhkost. Na základě zjištěných hodnot zařaďte zkoumané vzorky do příslušných tříd dle tabulky. Pokuste se odhadnout praktické použití zkoumaných dřev.

D. Diskuze

I. Terminologie

Na dřevo se dá nahlížet z různých úhlů. Lze zkoumat jeho chemické složení, fyzikální vlastnosti dané právě obsahem chemických látek v různých strukturách a pak lze popisovat struktury samotné. V posledním zněměném nastává mnohdy rozpor, protože velice záleží na tom, z pohledu jakého oboru jsou jednotlivé složky dřeva zkoumány. Nejčastěji se jedná o konflikt v terminologii dvou oblastí, kterými jsou botanika a lesnictví.

Kupříkladu, jak bylo řečeno výše, botanici definují sekundární kůru jako felogen a produkty vzniklé jeho druhotnou činností (feloderm a felem). Borku pak popisují jako systém odumřelých pletiv (felem, felogen), které byly mladšími vrstvami vytlačeny k obvodu kmene. (Skalický et Novák, 2007; Vinter, 2008) Oproti tomu lesníci zavádí pojem kůra, která tvoří na obvodu kmene tmavý kruh odlišený od dřeva samotného. Skládá se z několika vrstev, přičemž tou vnitřní je sekundární floém produkovaný kambiem. Vnější vrstvy sestávají z produktů činnosti felogenu. Jako borka je pak označována pouze hlubokobrázditá kůra. (Kavina, 1932; Matovič, 1977)

Při výkladu problematiky dřeva je tedy třeba vždy specifikovat, jaká terminologie je používána, aby žáci nezískali zkreslené představy nebo nebyli zmateni dvěma různými náhledy.

II. Použití navržených cvičení na středních školách

Dřevo se vyznačuje množstvím vlastností, které se řadí do různých oblastí fyziky, převážně mechaniky. Jedná se o veličiny jako hustota, pevnost, tvrdost, pružnost, štípatelnost, tepelná, elektrická a zvuková vodivost, schopnost rezonance atd. Primárním záměrem bakalářské práce bylo vybrat některé z těch, které jsou prakticky využitelné, a navrhnout postupy jejich měření proveditelné žáky středních škol.

Využití skupinového vyučování v podobě laboratorních či terénních cvičení při výuce přírodovědných předmětů na středních školách s sebou přináší jak výhody, tak určitá omezení, která se projevují v mnoha směrech nejen ve výuce samotné. Učitel

vždy musí dobře zvážit, zda je téma, které chce zpracovat, vhodné a jeho pojetí v rámci cvičení přínosné pro žáky. Hlavními překážkami však vždy budou nedostatek času, který může na nestandardní způsob vyučování vyčlenit, a vybavenost školy pomůckami, které bývají nedílnou součástí každého cvičení. Proto je třeba často improvizovat a případně volit alternativní metody měření.

1. Stáří stromu

Největší obtíží, které bude učitel při určování stáří stromů čelit, je nekázeň žáků, a to převážně proto, že se jedná o terénní cvičení. Žáci mohou být rozptýleni různými vlivy, proto je nutné být ve střehu a mít žáky neustále pod dohledem a dát pozor, aby se nevěnovali jiným aktivitám. S ohledem na práci s přírůstkovým vrtákem, což je nestandardní učební pomůcka, kterou učitel nemusí mít k dispozici. V současnosti je jeho cena asi 5000 Kč. Také je třeba zvážit, zda jsou žáci natolik zruční, aby zvládli odebrat vzorky dřeva sami.

Nespornou výhodou cvičení je možnost vyzkoušet si získané znalosti o struktuře dřeva v praxi, neboť se pracuje i s příčnými řezy kmene. Přínosem může být i aplikace radiokarbonové metody, jakožto části atomové fyziky, do výuky biologie. Na druhou stranu by však mohl nastat problém při neznalosti matematických postupů při řešení rovnic a vyjadřování vzorců.

2. Výška stromu

Opět se jedná o terénní cvičení, při kterém hrozí rozptýlení pozornosti žáků. Oproti cvičení předchozímu však v tomto případě nejsou potřebné žádné speciální pomůcky s výjimkou klinoměru. Pokud klinoměr není k dispozici, lze si ho improvizovaně vyrobit pomocí papíru, úhloměru, slámky a závěsného tělíška. Měření sice nebude přesné, ale žáci si alespoň vyzkouší tuto měřicí metodu. Problémem, který by mohl znehodnotit měření tyčí, je nedostatečný osvětlení sluncem, při němž by nešla přesně rozlišit hranice stínu.

Žáci se při plnění úkolů setkají se statistickým zpracováním výsledků, využitelným i při pozdějších měřeních, dále se pak díky perspektivě rozvíjí jejich prostorové vnímání a orientace.

3. Hustota

Měření hustoty dřevěných těles by pro svou nízkou obtížnost mohlo být využitelné i na základní škole. Právě kvůli tomu, že není příliš náročné, je třeba žáky motivovat a co nejvíce je aktivně zapojit. Pokud je dostatek pracovních pomůcek, je tedy vhodné pracovní skupiny sestavovat po méně členech. Díky úkolům k zamyšlení se rozvíjí i kreativita a samostatné myšlení žáků.

4. Vlhkost

Měření vlhkosti dřeva se od ostatních odlišuje svým průběhem. Zatímco všechna ostatní cvičení se měří jednorázově v rámci jednoho praktika, zde trvá delší dobu, než se vytvoří vzorky o různé vlhkosti a žáci ji zjišťují průběžně až po několik týdnů. To mimo jiné znamená, že se na cvičení musí připravovat několikrát, aby si zopakovali teoretické znalosti, a proto je třeba vhodné motivace ze strany učitele. Výhodou však je nenáročnost cvičení, a tedy může být několikaminutové měření provedeno v běžné vyučovací hodině.

Pomůckou využívanou při cvičení je vlhkoměr, který nebývá zcela běžně ve výbavě školy. V současné době se cena vlhkoměru pohybuje kolem dvou tisíc českých korun.

5. Tepelná vodivost

S ohledem na potřebu pomůcek, jako je topné těleso či speciální kalorimetr, které nebývají ve větším počtu k dispozici, a časovou náročnost měření, je vhodné použít toto cvičení při nízkém počtu žáků nebo jen pro malý počet pracovních skupin. Jelikož během měření žáci pracují s topným tělesem a vroucí vodou, je třeba zvýšené opatrnosti a pečlivého dohledu učitele.

Vyšší obtížnost cvičení je dána i předpokladem základních znalostí a možnosti pochopení principů a vzorců molekulové fyziky, konkrétně vedení tepla. Z tohoto důvodu je vhodné měření využít spíše ve vyšších ročnících.

Přínosem cvičení je získání poznatků o využitelnosti dřeva jako tepelného izolantu, rozvoj manuální zručnosti a naučení se či zopakování vytváření grafu závislosti dvou veličin.

6. Tvrdost

Jelikož se tvrdost dřeva určuje dvěma metodami, je cvičení časově náročné a protože je k němu potřeba speciálního lisovacího zařízení, je třeba najít alternativní způsob měření. Nabízí se využití svěráku v kombinaci s tlakovým siloměrem. Měření nebude zcela přesné, ale pro demonstraci principu obou metod postačí.

Samotná práce se svěrákem je náročná, takže by ji měl učitel provádět sám, případně ji svěřit fyzicky zdatnému žákovi. Právě z důvodu potřeba dohledu se tohle cvičení hodí spíše pro žáky vyšších ročníků a pro menší počet pracovních skupin.

Žáci by si ze cvičení měli odnést poznatky o využitelnosti dřeva různých tvrdostí.

E. Závěr

Hlavním cílem bakalářské práce bylo vytvoření návrhů biologických měření a fyzikálních cvičení zabývajících se a zkoumajících vlastnosti dřeva, především fyzikální a mechanické, které by sloužily jako předloha či inspirace učitelům středních škol ve výuce biologie a fyziky. V první části práce byl pro tento účel vytvořen přehled literatury, který shrnuje fakta a terminologii potřebné k pochopení a orientaci ve cvičeních samotných. Rovněž je doplněn o fotodokumentaci a schémata vztahující se k popisování mikro- a makrostruktury dřeva.

Praktickou část práce tvoří sestava šesti cvičení, které se skládají ze stručného teoretického úvodu do dané problematiky, postupu pracovní činnosti a představení metod vlastních měření a z úkolů, které by měli žáci splnit. První dvě cvičení jsou terénní a spočívají v měření stáří a výšky dřevin různými metodami. Čtyři zbývající praktika jsou zaměřena na vlastní měření fyzikálních veličin a vlastností dřeva – hustoty, vlhkosti, tepelné vodivosti a tvrdosti.

Přínos této bakalářské práce spočívá převážně v tom, že žáci budou schopni porozumět vlastnostem dřeva na základě získaných poznatků o jeho struktuře a tyto souvislosti si budou moci vyzkoušet v praxi. Spolu s tím se mimo jinélepší i jejich praktické a manuální dovednosti, vyzkouší si práci s jednoduchými měřidly, ale i s nástroji, se kterými se zatím nesečkali. Díky práci ve skupinách se navíc prohloubí jejich schopnost komunikace a spolupráce s ostatními žáky.

Cvičení navržená v této bakalářské práci bych chtěl aplikovat na žáky středních škol v rámci praxe a jejich výstupy dále použít pro vytvoření práce diplomové.

F. Literatura

- BOBÁK M. (1998): *Botanika (anatómia a morfológia rastlín)*. – SPN, Bratislava.
- CAMPBELL N. A. et REECE J. B. (2006): *Biologie*. – Computer Press, Brno.
- CUTLER D. F., BOTHA T. et STEVENSON D. W. (2008): *Plant Anatomy (An applied approach)*. – Blackwell Publishing, Malden, Oxford, Carlton.
- ČABART J. (1960): *Naučný slovník lesnický*. - Státní zemědělské nakladatelství, Praha.
- DICKISON W. C. (2000): *Integrative Plant Anatomy*. - Harcourt, Academic Press, San Diego, London, Tokyo.
- FAHN A. (1990): *Plant Anatomy*. - Pergamon Press, Oxford.
- FOSTER A. S. et GIFFORD E. M. (1959): *Comparative Morphology of Vascular Plants*. - W. H. Freeman and Company, San Francisco.
- HOLUBOVÁ R. (2012): *Molekulová fyzika a termodynamika*. - Univerzita Palackého, Olomouc.
- JURČÁK J. (1998): *Základní praktikum z botanické mikrotechniky a rostlinné anatomie*. - Univerzita Palackého, Olomouc.
- JUDD W. S. et al. (2002): *Plant Systematics: a phylogenetic approach*. – Sinauer Associates, Inc. Publishers Sunderland, Massachusetts.
- KAVINA K. (1932): *Anatomie dřeva*. - Ministerstvo zemědělství Československé republiky, Praha.
- KINCL M. et KRPEŠ V. (1994): *Fyziologie rostlin*. - Ostravská univerzita, Ostrava.
- KUBÁT K. et al. [eds.] (2002): *Klíč ke květeně České republiky*. - Academia, Praha.
- KYNCL J. et KYNCL T. (2002): *Principy dendrochronologie*. - Živa, Academia, Praha, (6), 249 – 252.
- LUŠTINEC J. et ŽÁRSKÝ V. (2003): *Úvod do fyziologie vyšších rostlin*. - Univerzita Karlova, Praha.
- MACHALA L. (2005): *Cvičení z atomové a jaderné fyziky*. - Univerzita Palackého, Olomouc.
- MAŇÁK J. et ŠVEC V. (2003): *Výukové metody*. - Paido, Brno.

- MATOVIČ A. (1977): *Nauka o dřevě*. - Vysoká škola zemědělská, Brno.
- MATOVIČ A. (1993): *Fyzikální a mechanické vlastnosti dřeva a materiálů na bázi dřeva*. - Vysoká škola zemědělská, Brno.
- MIKULČÁK J. (2003): *Matematické, fyzikální a chemické tabulky a vzorce pro střední školy*. - Prometheus, Praha.
- MLČOCH J. (2001): *Úvod do fyzikálního měření*. - Univerzita Palackého, Olomouc.
- MUSÍLEK L. (1992): *Využití ionizujícího záření ve výzkumu*. - ČVUT, Praha.
- NOVÁČEK F. (1982): *Praktikum z rostlinné organologie s přehledem zástupců rostlinné říše*. - Univerzita Palackého, Olomouc.
- PAVLOVÁ L. (2005): *Fyziologie rostlin*. - Nakladatelství Karolinum, Praha.
- PAZOUREK J. (1975): *Pracujeme s mikroskopem*. – SNTL, Praha.
- PAZOUREK J. et VOTRUBOVÁ O. (1997): *Atlas of Plant Anatomy*. – Peres Publishers, Praha.
- PETTY G. (2008): *Moderní vyučování*. - Portál, Praha.
- POŽGAJ, A. et al. (1997): *Štruktúra a vlastnosti dreva*. - Príroda, Bratislava.
- RAVEN P. H., EVERT R. F. et EICHHORN S. E. (1999): *Biology of Plants*. – W. H. Freeman and Company, New York.
- SKALICKÝ M. et NOVÁK J. (2007): *Botanika I. (Anatomie a morfologie rostlin)*. - Česká zemědělská univerzita, Praha.
- SLAVÍKOVÁ Z. (2002): *Morfologie rostlin*. – Univerzita Karlova, Praha.
- VINTER V. (2008): *Rostliny pod mikroskopem (Základy anatomie cévnatých rostlin)*. – Univerzita Palackého, Olomouc.
- VINTER V. et SEDLÁŘOVÁ M. (2004): *Systémy vodivých pletiv cévnatých rostlin*. – Živa, Academia, Praha, (1), 14 – 17.
- VOTRUBOVÁ O., OPATRná J. et BENEŠ K. (2001): *Základní slovník rostlinné anatomie I – VI*. – Živa, Academia, (1 – 6), Praha.
- VOTRUBOVÁ O. (2001): *Anatomie rostlin*. – Univerzita Karlova, Karolinum, Praha.

VOTRUBOVÁ O. (2003): *Není dřevo jako dřevo*. – Biologie – chemie – zeměpis, SPN – pedagogické nakladatelství, a. s., nakladatelství učebnic Fortuna, JUDr. F. Talián, Praha, (5), 230 – 235.

HOLUBOVÁ, R. Termodynamika a molekulová fyzika - přednášky [online]. 2003, [cit. 2013-6-1]. Dostupné na: <<http://apfyz.upol.cz/ucebnice/down/termo.pdf>>.

Klokočovská lípa [online]. 23. 11. 2008, [cit. 2013-5-22]. Dostupné na: <<http://www.klokocov.eu/index.php?nid=6996&lid=CZ&oid=1155791>>.

KYNCL, T. *Metodika dendrochronologie* [online]. [cit. 2013-6-19]. Dostupné na: <<http://www.dendrochronologie.cz/metodika#standardy>>.

KYNCL, T. *Určování stáří stromu* [online]. 11. 5. 2013, [cit. 2013-5-22]. Dostupné na: <http://www.velkykluk.cz/ruzne/urcovani_stari_stromu/index.htm>.

LALLANILLA, M. *Great trees of the Word* [online]. [cit. 2013-5-30]. Dostupné na: <<http://greenliving.about.com/od/thegreenyard/tp/Largest-Tree-Oldest-Tree-in-the-World.htm>>.

List of oldest trees [online]. 1. 4. 2013, [cit. 2013-5-30]. Dostupné na: <http://en.wikipedia.org/wiki/Oldest_tree>.

MADĚRA, P. et ÚRADNÍČEK, L. *Pomozte nám hledat největší stromy* [online]. 19. 1. 2002, [cit. 2013-5-22]. Dostupné na: <<http://www.mzp.cz/ris/ais-ris-info-copy.nsf/4d735ff9c7e64b58c12569e7001a2d9c/11b36853112ca282c1256c370073371d?OpenDocument>>.

MACHALA, L. *Příklady z atomové a jaderné fyziky* [online]. [cit. 2013-5-6]. Dostupné na: <<http://fyzika.upol.cz/cs/system/files/download/vujtek/texty/ajf-cv.pdf>>.

NOVÁK, P. *Tis červený (Taxus baccata)* [online]. 17. 9. 2009, [cit. 2013-5-22]. Dostupné na: <<http://www.obec-vilemovice.cz/tis-cervený-taxus-baccata/d-1191>>.

Rocky Mountain Tree-Ring Research [online]. January 2013, [cit. 2013-6-22]. Dostupné na: <<http://www.rmtrr.org/oldlist.htm>>.

Sprievodca fenologickými fázami stromov [online]. [cit. 2013-7-24]. Dostupné na: <http://www.beagleproject.org/pdf/beagle_key_slovakia.pdf>.

The tallest tree in the world [online]. [cit. 2013-5-22]. Dostupné na:
<http://www.monumentaltrees.com/en/trees/coastredwood/tallest_tree_in_the_world/>.

Výška stromu [online]. 24. 9. 2009, [cit. 2013-5-23]. Dostupné na:
<<http://globe.terezanet.cz/download/284.pdf>>.