

**Mendelova univerzita v Brně**

**Lesnická a dřevařská fakulta**

**Ústav nauky o dřevě**

**Srovnání přirozené trvanlivosti a vybraných vlhkostních vlastností dřeva  
subfossilního dubu s dřevem dubu recentního**

Bakalářská práce

## **Čestné prohlášení**

Prohlašuji, že jsem práci: Srovnání přirozené trvanlivosti a vybraných vlhkostních vlastností dřeva subfossilního dubu s dřevem dubu recentního zpracoval samostatně a veškeré použité prameny a informace uvádím v seznamu použité literatury. Souhlasím, aby moje práce byla zveřejněna v souladu s § 47b Zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách ve znění pozdějších předpisů a v souladu s platnou Směrnicí o zveřejňování vysokoškolských závěrečných prací.

Jsem si vědom/a, že se na moji práci vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, a že Mendelova univerzita v Brně má právo na uzavření licenční smlouvy a užití této práce jako školního díla podle §60 odst. 1 autorského zákona.

Dále se zavazuji, že před sepsáním licenční smlouvy o využití díla jinou osobou (subjektem) si vyžádám písemné stanovisko univerzity, že předmětná licenční smlouva není v rozporu s oprávněnými zájmy univerzity a zavazuji se uhradit případný příspěvek na úhradu nákladu spojených se vznikem díla, a to až do jejich skutečné výše.

V Brně, dne:..... podpis studenta

## **Abstrakt**

**Autor:** Ondřej Nevrlý

**Název práce:** Srovnání přirozené trvanlivosti a vybraných vlhkostních vlastností dřeva subfossilního dubu s dřevem dubu recentního

Tato práce by měla sloužit k zjištění rozdílů vlastností subfossilního a recentního dřeva dubu. K dispozici jsou pro tuto práci vzorky ze čtyř období. První období je současnost a proto by se tyto data měla shodovat s literaturou a poslouží tak i k ověření správnosti postupu a metodiky při získávání dat. Pak jsou k dispozici vzorky subfossilního dubu ze tří období a to 1131–804 př. n. l, 208 př. n. l – 137 a poslední období po roce 1018. Zkoumána byla pokusně trvanlivost dřeva. Vzorky byly vystaveny zkoušce trvanlivosti vůči dřevokazným houbám dle ČSN EN 113. Použité dřevokazné houby jsou outkovka pestrá, sírovec žlutooranžový a pórnatka placentová. Dále byly vzorky zařazeny do tříd trvanlivosti podle EN 350–1. Bylo zjištěno, že dřevo subfossilního dubu sníženo odolnost vůči dřevokazným houbám. Dále jsou zkoumány vybrané vlhkostní charakteristiky a zároveň i některé další fyzikální vlastnosti dubového dřeva. Dub obsahuje vysoké množství tříslovin, což mu propůjčuje mimořádně vysokou trvanlivost a odolnost. Proto jsou dnes nacházeny kmeny dubu, které jsou až 8 500 let staré.

## **Klíčová slova:**

Subfossilní dub, dřevokazná houba, pórnatka placentová (*Poria placenta*), sírovec žlutooranžový (*Laetiporus sulphureus*), Outkovka pestrá (*Trametes versicolor*), bobtnání dřeva, hustota dřeva

## **Abstract**

**Author:** Ondřej Nevrlý

**The name of the work:** Comparison of selected natural durability and moisture properties of subfossil wood of oak and recent oak wood

This work should be used to determine differences between the properties of recent subfossil and oak wood. For this work, there are available samples of four historical periods. The first period is the present, and therefore, these data should be consistent with the literature and serve as well as verifying the accuracy of the procedure and methodology for the acquisition of data. Then there are available subfossil oak samples from three periods, 1131–804 BC., 208 BC. – 137 and after the year 1018th. It was investigated experimentally durability of wood. Samples were subjected to the test of durability against wood–destroying fungi according to EN 113. Used decaying fungi are *Trametes versicolor*, *Laetiporus sulphureus* and *Poria placenta*. Further samples were divided into durability classes according to EN 350–1. It was found that subfossil oak wood resistance to wood–destroying fungi decreased. Furthermore there was investigated selected moisture characteristics and also some other physical properties of oak. Oak wood contains a high amount of tannins, which gives it extremely high durability and resistance. So now we are finding an oak tree trunks which are up to 8,500 years old.

## **Key words:**

Subfossil oak, wood–destroying fungi, *Poria placenta*, *Laetiporus sulphureus*, *Trametes versicolor*, swelling of wood, density of wood

# OBSAH

|       |  |    |
|-------|--|----|
| 1     | Úvod .....   | 8  |
| 2     | Cíl práce .....  | 9  |
| 3     | Literární přehled .....                                      | 10 |
| 3.1   | Dub – popis dřeviny .....                                    | 10 |
| 3.2   | Struktura dřeva dubu .....                                   | 10 |
| 3.2.1 | Makroskopická struktura .....                                | 10 |
| 3.2.2 | Chemická stavba dřeva .....                                  | 11 |
| 3.3   | Subfossilní dřevo .....                                      | 12 |
| 3.4   | Fyzikální vlastnosti dřeva .....                             | 13 |
| 3.4.1 | Hustota dřeva .....  | 13 |
| 3.4.2 | Vlhkost dřeva .....  | 14 |
| 3.4.3 | Vliv vlhkosti na dřevo .....                                 | 14 |
| 3.4.4 | Bobtnání dřeva .....   | 15 |
| 3.5   | Přirozená trvanlivost dřeva a její zkoušky .....             | 17 |
| 3.5.1 | Normované zkoušky přirozené trvanlivosti dřeva .....         | 17 |
| 3.5.2 | Trvanlivost recentního dubového dřeva .....                  | 18 |
| 3.5.3 | Přirozená trvanlivost subfossilního dubového dřeva .....     | 19 |
| 3.6   | Dřevokazné houby .....                                       | 20 |
| 3.6.1 | Pórnatka placentová ( <i>Poria placenta</i> ) .....          | 21 |
| 3.6.2 | Sírovec žlutooranžový ( <i>Laetiporus sulphureus</i> ) ..... | 21 |
| 3.6.3 | Outkovka pestrá ( <i>Trametes versicolor</i> ) .....         | 21 |
| 4     | Materiál a Metodika .....                                    | 22 |
| 4.1   | Výroba vzorků .....  | 22 |
| 4.1.1 | Subfossilní dub .....  | 22 |
| 4.1.2 | Recentní dub .....   | 22 |
| 4.1.3 | Vlastní výroba .....   | 23 |

|       |  |    |
|-------|--|----|
| 4.1.4 | Zkušební tělesa .....  | 23 |
| 4.1.5 | Živná půda.....  | 23 |
| 4.1.6 | Očkování houbové kultury .....   | 23 |
| 4.1.7 | Založení zkoušky.....  | 23 |
| 4.1.8 | Vyjmutí zkušebních těles .....   | 24 |
| 4.1.9 | Hmotnostní úbytek .....  | 24 |
| 4.2   | Bobtnání dřeva.....  | 25 |
| 4.2.1 | Sušení .....   | 25 |
| 4.2.2 | Vlhkost dřeva v plně nasyceném vzduchu vodní párou .....   | 25 |
| 4.3   | Statistické vyhodnocení .....  | 25 |
| 4.4   | Dendrochronologické datování vzorků .....  | 25 |
| 4.4.1 | Měření vzorků .....  | 25 |
| 4.4.2 | Datování vzorků .....  | 26 |
| 5     | Výsledky.....  | 27 |
| 5.1   | Datování vzorků .....  | 27 |
| 5.2   | Hustota v absolutně suchém stavu.....  | 27 |
| 5.3   | Hmotnostní úbytky a rovnovážná vlhkost dřeva na konci zkoušky přirozené trvanlivosti.....                                      | 28 |
| 5.4   | Přirozená trvanlivost dřeva recentního a subfosilního dubu proti outkovce pestré ( <i>Trametes versicolor</i> ) .....          | 31 |
| 5.5   | Přirozená trvanlivost dřeva recentního a subfosilního dubu proti sírovci žlutooranžovému ( <i>Laetiporus sulphureus</i> )..... | 32 |
| 5.6   | Přirozená trvanlivost dřeva recentního a subfosilního dubu proti pórnatce placentové ( <i>Poria placenta</i> ) .....           | 33 |
| 5.7   | Vlhkost dřeva na mezi hygroskopicity .....   | 33 |
| 5.8   | Celkové objemové bobtnání dřeva .....  | 34 |
| 6     | Diskuse .....  | 36 |
| 7     | Závěr.....   | 39 |

|    |                                 |    |
|----|---------------------------------|----|
| 8  | Summary .....                   | 40 |
| 9  | Seznam použité literatury ..... | 41 |
| 10 | Přílohy .....                   | 44 |

## 1 ÚVOD

Dřevo jako materiál je velmi trvanlivé, ale podle podmínek ve kterých se nachází, podléhá různým formám degradace. Taktéž v něm v čase probíhají různé chemické změny a tak se jeho vlastnosti mění. V závislosti na podmínkách, ve kterých je dřevo uloženo, je schopné si zachovat své vlastnosti až několik tisíc let. Je velmi důležité najít správné podmínky, ve kterých by dřevo co nejdéle odolávalo degradujícím faktorům, jako jsou dřevokazné houby, dřevokazný hmyz, změny vlhkosti, povětrnost, vysoká teplota a další. Velmi důležité je subfossilní dřevo, což je nezkamenělé dřevo, které bylo uloženo po stovky až tisíce let v řekách, bažinách nebo morénových sedimentech. Přirozená trvanlivost různých druhů dřevin vůči jednotlivým formám degradace není totožná. Pro zkoumání přirozené trvanlivosti dřeva a dalších fyzikálních vlastností dřeva je velmi vhodné dubové dřevo. Dub obsahuje vysoké množství tříslovin, což mu propůjčuje mimořádně vysokou trvanlivost a odolnost. Proto jsou dnes nacházeny kmeny dubu, které jsou až 8 500 let staré.



## 2 CÍL PRÁCE

Cílem této práce je experimentálně stanovit přirozenou trvanlivost dřeva subfossilního dubu z vybraných časových období a dubu recentního dle ČSN EN 113: Ochranné prostředky na dřevo – Zkušební metody pro stanovení ochranné účinnosti proti dřevokazným houbám *Basidiomycetes* – Stanovení hranice účinnosti. Výsledky zkoušky poté zařadit podle normy ČSN EN 350–1: Trvanlivost dřev a materiálů na jeho bázi – Přirozená trvanlivost rostlého dřeva – Část 1: Návod na zkoušení a klasifikaci přirozené trvanlivosti dřeva, do tříd trvanlivosti vůči dřevokazným houbám. Na vzorcích subfossilního dubu je třeba provést dendrochronologické datování a určit tak jejich stáří. Dalším cílem této práce je experimentálně zjistit vlhkostní vlastnosti dřeva subfossilního a recentního dubu, například bobtnání dřeva.

### 3 LITERÁRNÍ PŘEHLED

#### 3.1 Dub – popis dřeviny

Dub patří v rámci rostlinné říše do oddělení krytosemenných rostlin, třídy vyšších dvouděložných rostlin, řádu bukotvarých, čeledi bukovitých a rodu dub (<http://www.biolib.cz>). Rod dub je zastoupen v lesních porostech v České republice přibližně 7,0 %, je to čtvrtá nejčetnější dřevina u nás po smrku (51,4 %), borovici (16,7 %) a buku (7,7 %). Přitom v přirozené skladbě lesů byl dub zastoupen dokonce 19,4 %. Střední plošný věk je k roku 2012 na území ČR u dubu 71 let (Zpráva o stavu lesa a lesního hospodářství České republiky v roce 2012).

**Tab. 1 Zastoupení dubu v ha a % z celkové plochy porostní půdy ČR (Zpráva o stavu lesa a lesního hospodářství České republiky v roce 2012)**

| Dřevina | Rok                         |         |         |         |         |         |
|---------|-----------------------------|---------|---------|---------|---------|---------|
|         | 2000                        | 2004    | 2008    | 2010    | 2011    | 2012    |
|         | plocha porostní půdy ha / % |         |         |         |         |         |
| Dub     | 163 761                     | 169 150 | 175 495 | 178 466 | 180 597 | 182 327 |
|         | 6,3                         | 6,5     | 6,8     | 6,9     | 7,0     | 7,0     |

#### 3.2 Struktura dřeva dubu

##### 3.2.1 Makroskopická struktura

Barva dřeva je odlišná v bělové a jádrové část, běl je nažloutlá až světle hnědá, zatímco jádro má zbarvení světle až tmavě hnědé. Běl je široká 1–3 cm. Hranice mezi letokruhy i hranice mezi jarním a letním dřevem je dobře zřetelná. Dřeňové paprsky jsou dobře vidět na všech třech základních řezech. Charakteristické uskupení letních mikrocév na příčném řezu je tzv. radiální žíhání (Vavrčík a kol. 2002).



**Obr. 1 Dub makroskopická stavba (příčný, radiální a tangenciální řez) (Vavřík a kol. 2002)**

### **3.2.2 Chemická stavba dřeva**

Dřevo je velmi složitý komplex různých látek. Základními látkami jsou biopolymery celulóza, hemicelulózy a lignin. Tvorba a přeměna těchto polymerů jsou řízeny specifickými katalyzátory (enzymy). Celulóza spolu s hemicelulózami tvoří polysacharidický podíl dřeva, zatímco lignin je polyfenol. Tyto biopolymery tvoří tzv. hlavní složky dřeva. Jejich procentuální zastoupení v dřevní komplexu je 90–97 %. Průměrné zastoupení celulózy ve dřevě je udáváno 35–55 %, hemicelulóz je 20–35 % a ligninu 15–36 %. V menší míře jsou zastoupeny další organické a také anorganické látky. Tyto doprovodné složky dřeva tvoří 3–10 % dřevního komplexu (Šlezingerová, Gandelová, 2002).

Organické látky ve dřevě jsou někdy označovány, jako extraktivní látky (extraktiva), protože je zpravidla lze ze dřeva získat (extrahovat) různými chemickými postupy. Jejich množství značně závisí na druhu dřeviny, u dubu jsou významné taniny (třísloviny). Tyto látky mohou být uloženy v lumenech buněk, ve stěnách anatomických elementů dřeva, nebo také v mezibuněčných prostorech. Doprovodné složky mají vliv na vlastnosti dřeva, třeba na barvu a vůni, ale často dřevu dodávají přirozenou trvanlivost a odolnost vůči dřevokazným houbám a hmyzu (Gryc, Vavřík, 2013).

**Tab. 2 Srovnání chemického složení subfossilního a recentního dřeva**

| Složky       | Zdroj | Bednar,<br>Fengel (1974) | Horský,<br>Reinprecht (1986) | Govorčin,<br>Sinkovič (1995) | Horský,<br>Reinprecht (1986) |
|--------------|-------|--------------------------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|
|              | Stáří | 8500 ± 130 BP            | 6150 BP                      | 4000 BP                      | recentní                     |
| Holocelulóza |       | 60,0 %                   | 59,27 %                      |                              | 72,10 %                      |
| Celulóza     |       | 43,4 %                   | 45,59 %                      | 41,2 %                       | 42,25 %                      |
| Hemicelulózy |       | 18,3 %                   |                              |                              |                              |
| – Pentozany  |       | 12,9 %                   |                              | 23,4 %                       |                              |
| – Hexozany   |       | 5,4 %                    |                              | 2,3 %                        |                              |
| Lingin       |       | 29,6 %                   | 33,32 %                      | 27,4 %                       | 21,54 %                      |
| Extraktiva   |       | 3,5 %                    | 7,28 %                       | 4,5 %                        | 6,67 %                       |
| Popel        |       | 1,5 %                    | 2,51 %                       | 1,2 %                        | 0,59 %                       |

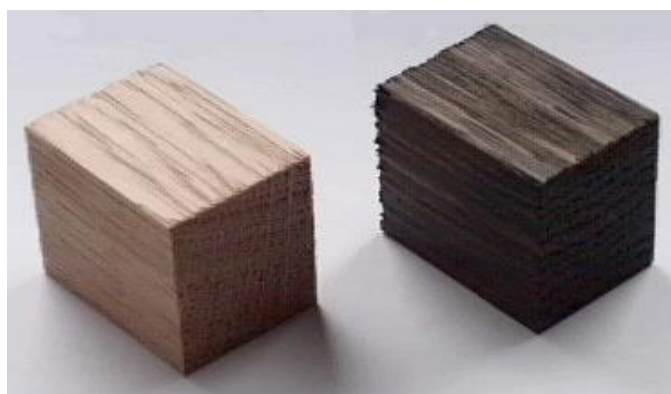
V Tab. 2 je vidět, že dřevo v průběhu fosilizace mění svojí chemickou stavbu. Ve dřevě subfossilního dubu bylo zaznamenáno snížení relativního podílu polysacharidů. Dochází tedy k depolymerizaci celulóz a hemicelulóz. Celulóza má u subfossilního dubu nižší polymerizační stupeň a je odbourávána. Jednodušší sacharidy jsou snáze odbourávány, protože jsou rozpustné ve vodě. Zvýšený relativní podíl ligninu je právě způsoben hydrolytickým odbouráváním polysacharidů, ale pravděpodobně vznikl i v důsledku vzniku huminových látek. Huminové látky vznikají při kondenzačních reakcích rozkladných produktů hemicelulóz (Horský, Reinprecht, 1986).

### 3.3 Subfossilní dřevo

Subfossilní dřevo je nezkamenělé dřevo, které bylo uloženo po stovky až tisíce let v řekách, bažinách nebo morénových sedimentech. Typické pro dub je, že subfossilní dřevo mění barvu do černa. To způsobuje stopové množství železa ve vodě v reakci s taniny obsaženými ve dřevě (Kolář 2012). Doposud nejstarší dubový kmen byl nalezen v roce 1969 ve šterkovně poblíž Grossenzersdorfu, severovýchodně od Vídně. Byl odatován radiouhlíkovou metodou a jeho stáří se udává 8500 ± 150 let, což znamená, že stromy rostly 6550 let před Kristem (Bednar, Fengel, 1974). Dřevo prochází postupem času dalšími procesy, až nakonec zkamení. V následující tabulce je vidět, že oproti normálnímu stavu vápníku u recentního dubu narůstá jeho množství enormně a tomuto procesu se říká kalcifikace, dále ve dřevě probíhá karbonizace a silifikace (Kolář 2012). Horský a Reinprecht (1986) udávají, že subfossilní dub bývá velmi silně zathylovaný. Na povrchu thyl a cév ze strany lumenu bývá silná vrstva usazenin. Obdobný typ usazenin byl zjištěn i v dřevěných paprscích.

**Tab. 3 Srovnání chemického složení fosilního a recentního dřeva (Krutul a kol. 2010)**

| materiál     | zóna dřeva | Množství jednotlivých elementárních prvků v mg/kg |       |        |       |       |       |     |     |
|--------------|------------|---|-------|--------|-------|-------|-------|-----|-----|
|              |            | Ca  | K     | Fe     | Mg    | Na    | Mn    | Zn  | Cu  |
| recentní dub | středová   | 740,0   | 980,0 | 4,3    | 120,0 | 42,0  | 28,0  | 0,8 | 2,0 |
| fosilní dub  | středová   | 4300,0  | 45,0  | 1000,0 | 243,0 | 121,0 | 110,0 | 9,2 | 2,7 |
| Rozdíl       |            | 3560,0  | 935,0 | 995,7  | 123,0 | 79,0  | 82,0  | 8,4 | 0,7 |



**Obr. 2 Vzorek recentního dubu (vlevo) a subfosilního dubu (vpravo)**

### **3.4 Fyzikální vlastnosti dřeva**

#### **3.4.1 Hustota dřeva**

Požgaj a kol. (1997) říká, že hustota dřeva udává hmotnost jednotkového objemu dřeva při určité vlhkosti. Vypočítá se z podílu hmotnosti  $m_w$  a objemu dřeva  $V_w$ , přičemž hmotnost a objem dřeva jsou měřeny při stejné vlhkosti.

$$\rho_w = \frac{m_w}{V_w} \text{ [kg} \cdot \text{m}^{-3}\text{]}$$

Pro možnost porovnání výsledků a při různých teoretických výpočtech uvažuje s hustotou dřeva v absolutně suchém stavu  $\rho_0$ , kdy je hmotnost a objem dřeva měřen při nulové vlhkosti. Vypočítá se podle vzorce:

$$\rho_0 = \frac{m_0}{V_0} \text{ [kg} \cdot \text{m}^{-3}\text{]}$$

### 3.4.2 Vlhkost dřeva

Vlhkost dřeva udává Požgaj a kol. (1997), jako množství vody, které se nachází ve dřevě. Vyjadřuje se poměrem hmotnosti vody k hmotnosti absolutně suchého dřeva, pokud mluvíme o absolutní vlhkosti. Pokud ale vlhkost dřeva vyjadřujeme poměrem hmotnosti vody a hmotnosti mokrého dřeva, tak hovoříme o relativní vlhkosti dřeva. Oba dva typy vlhkosti se nejčastěji udávají v % a vypočítáme ji z následujícího vztahu:

$$w_a = \frac{m_w - m_0}{m_0} [\%]$$

kde  $w_a$  je absolutní vlhkost,  $m_0$  je hmotnost dřeva v absolutně suchém stavu a  $m_w$  je hmotnost dřeva, při vlhkosti  $w$ .

### 3.4.3 Vliv vlhkosti na dřevo

Jak uvádí Horáček (2001), dřevo je materiál, který reaguje na vlhkost v okolí, je navlhavé, hygroskopické a schopné adsorpce. Je to materiál kapilárně-porézní s průměrnou pórovitostí 50–60%. Adsorpci dřeva potom rozumíme poutání plynné či kapalné látky na měrném vnitřním povrchu dřeva, který je značný a činí přibližně  $20\text{--}300 \text{ m}^2 \cdot \text{cm}^{-3}$ . Adsorpci dělíme na chemickou a fyzikální. Fyzikální adsorpci můžeme popsat kapilárními jevy a kohezními silami, zatímco při chemické adsorpci se uplatňují chemické vazby. Existují tři hraniční hodnoty podílu vody ve dřevě a to:

- Vlhkost suchého dřeva ( $w_0 = 0 \%$ ), tohoto stavu dosáhneme vysušením dřeva teplotou  $103 \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$  a ve dřevě se pak nenachází žádná voda volná ani voda vázaná.
- Vlhkost při nasycení buněčných stěn, tento stav se charakterizuje jako úplné zaplnění mikrokapilárního systému buněčných stěn, nebo vlhkost, při které jsou buněčné stěny nasycené vodou, ale v lumenech voda není. Tato vlhkost je dost často vyjadřována jako Bod nasycení vláken BNV, či mez hygroskopicity MH ( $w_{MH} = 22\text{--}35 \%$ ).
- Vlhkost při nasycení dřeva, při této vlhkosti je plně zaplněn mikrokapilární i makrokapilární systém a obsahuje maximální množství vody ( $w_{max} = 80\text{--}400 \%$ ).

Reinprecht (2008) v této souvislosti hovoří o tom, že přítomnost vody ve dřevě má mnoho dalších vlivů, dřevo mění při adsorpci vody svůj tvar – bobtná a naopak při vysoušení a sesychání se dřevo často kroutí a při rychlém vysoušení může nastat i kolaps a zborcení, nebo mohou vzniknout trhliny. Je známo, že s rostoucí vlhkostí ve dřevě, klesají mechanické vlastnosti, jako pevnost a pružnost a to až po BNV. Navíc s rostoucí vlhkostí obecně roste pravděpodobnost napadení dřevokaznými houbami a hmyzem.

### 3.4.4 Bobtnání dřeva

Požgaj a kol. (1997), uvádí o problematice bobtnání, že se tato problematika zkoumala z teoretického i praktického hlediska a zpřesnění poznatků o bobtnání umožňuje například uplatnit efektivněji procesy hydrotermické úpravy, impregnace dřeva a dezintegrování dřevní hmoty, lepení, dýhování, stejně tak vlastní výrobu překližek.

Bobtnání nazýváme schopnosti dřeva zvětšovat svoje lineární rozměry, plochu, nebo objem dřeva při přijímání vázané vody v rozsahu od 0% do BNV. Lze jej vyjádřit rovnicí:

$$\alpha_i = \frac{a_{iw_2} - a_{iw_1}}{a_{iw_1}} \cdot 100 [\%]$$

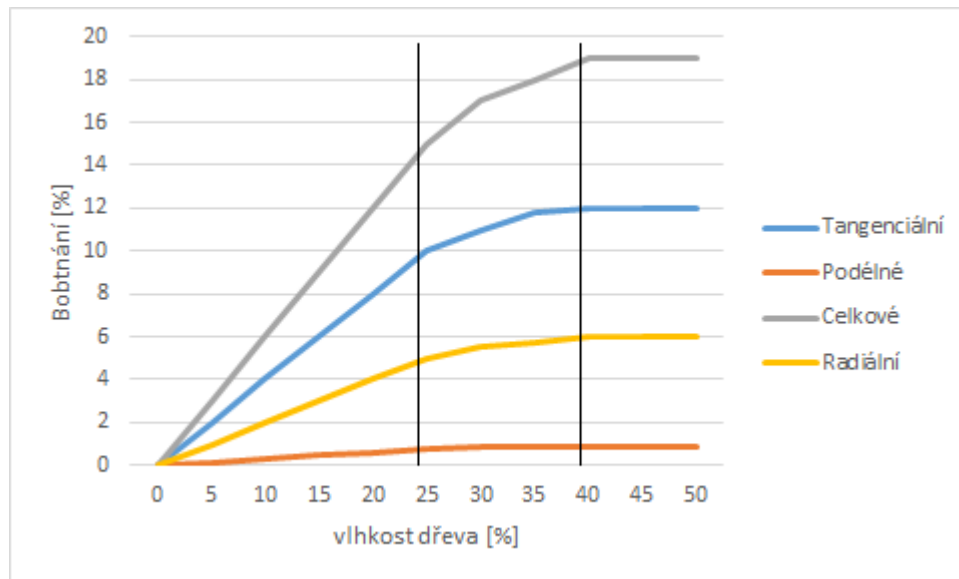
Kde  $a$  je rozměr tělesa, jeho plocha nebo objem ( $m$ ,  $m^2$ ,  $m^3$ ),  $i$  je index udávající směr, plochu nebo objem,  $w_1$  je vlhkost před bobtnáním [%],  $w_2$  je vlhkost po ukončení bobtnání [%].

Při praktických výpočtech se všeobecně předpokládá, že bobtnání dřeva vzrůstá přímo úměrně s vlhkostí a tato závislost je tedy lineární v celém rozsahu vázané vody. Na základě tohoto předpokladu se může koeficient bobtnání dřeva pro určité rozmezí vlhkosti  $w_1$  a  $w_2$  vypočítat z rovnice:

$$K_{\alpha_i} = \frac{\alpha_i}{dw}$$

Kde  $K_{\alpha_i}$  je koeficient bobtnání [%/1%],  $\alpha_i$  je částečné bobtnání [%] a  $dw$  je rozdíl vlhkostí [%].

Na Obr. 3 je zobrazeno bobtnání buku v závislosti na vlhkosti dřeva. Mezi svislými čarami je oblast nasycení buněčných stěn, neboli meze hygroskopicity, kde se bobtnání zastaví a s příjmem vody volně se už rozměry tělesa dále nemění.



**Obr. 3** Závislost bobtnání dřeva na vlhkosti (převzato z Horáček, 2001)

**Tab. 4** Základní fyzikální vlastnosti dubu subfossilního ( $A_{DB}$ ) a dubu současného ( $S_{DB}$ ).

(Upravená tabulka převzatá z HORSKÝ, D., REINPRECHT, 1986)

| Vlastnost | Hustota $\rho$                | Bobtnání $\alpha_t$ | Bobtnání $\alpha_r$ | Bobtnání $\alpha_v$ |
|-----------|-------------------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
| Jednotky  | $\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$ | %                   | %                   | %                   |
| $A_{DB}$  | 725                           | 18,19               | 10,04               | 31,08               |
| $S_{DB}$  | 694                           | 10,52               | 4,42                | 16,19               |



### 3.5 Přirozená trvanlivost dřeva a její zkoušky

Přirozenou trvanlivost lze definovat jako „*odolnost (rezistence) jednotlivých druhů dřeva proti znehodnocení biotickými škůdci*“ (Žák, Reinprecht, 1998, s. 25). Mezi tyto biotické škůdce řadíme zejména dřevokazný hmyz a dřevokazné houby. Žák a Reinprecht (1998) dále uvádějí, že trvanlivost nemá žádnou souvislost s hustotou (hmotností) dřeva. Toto můžeme sledovat například u buku a habru, jejichž hustota je vysoká a přesto se řadí dle ČSN EN 350-2 až do 5. trvanlivostní třídy (netrvanlivé). Je to způsobeno tím, že přirozená trvanlivost dřeva je závislá na obsahu extraktivních látek, jako jsou třísloviny, flavonoidy, terpenoidy a jiné, které jsou obsaženy v jádře.

#### 3.5.1 Normované zkoušky přirozené trvanlivosti dřeva

##### a) Polní zkouška

provádí se podle normy EN 252 nebo i EN 330. Norma EN 252 se zabývá vystavením materiálu 4. třídě ohrožení (exteriér v kontaktu se zemí) a norma EN 330 se zabývá vystavením materiálu 3. třídě ohrožení (exteriér bez kontaktu se zemí). Zkouška trvá minimálně 5 let, ale většinou mnohem déle, a to až do úplné destrukce zkušebních těles. Zjistí se tak skutečná odolnost testovaných těles v rámci místních podmínek, které jsou značně proměnlivé a působí zde mnoho biotických škůdců i abiotických činitelů. Jako referenční se používají tělíska z běle borovice, nebo buková tělíska. Aby byla zkouška platná, referenční tělesa musí vykázat průměrný korigovaný úbytek hmotnosti, jak je stanoveno v EN 113 pro příslušné zkušební houby.

##### b) Laboratorní zkouška na *Basidiomycetes*

je založena na normě EN 113. Je to klasická mykologická zkouška na agar-sládové živné půdě. Vyhodnocuje se pomocí zjištění hmotnostního úbytku po jejich 16 ti týdenní expozici v čisté kultuře konkrétní houby *Basidiomycetes*. Vyhodnocení zkoušky se pak provádí podle následující tabulky. Nejprve je nutné stanovit průměrný hmotnostní úbytek referenčních těles. Referenční tělesa jsou z bukového nebo z bělového borového dřeva a jsou vystaveny stejným podmínkám, jako zkušební tělesa.

**Tab. 5 Přírozená odolnost dřeva proti dřevokazným houbám podle EN 113 a EN 350–1,2**

| Třída odolnosti podle EN 350–1,2 |                   | Průměrný hmotnostní úbytek zkušebních těles zjištěný zkouškou dle EN 113 [%] |
|----------------------------------|-------------------|--|
| Číselné ozn.                     | slovní vyjádření  | vyjádřený jako násobek úbytků referenčních těles $x^{x)}$                    |
| 1                                | velmi trvanlivé   | $x \leq 0,15$  |
| 2                                | trvanlivé         | $x > 0,15$ ale $\leq 0,30$   |
| 3                                | středně trvanlivé | $x > 0,30$ ale $\leq 0,60$   |
| 4                                | málo trvanlivé    | $x > 0,60$ ale $\leq 0,90$   |
| 5                                | netrvanlivé       | $x > 0,90$   |

Pozn.: <sup>x)</sup> x je průměrný hmotnostní úbytek referenčních těles při konkrétní zkoušce

### 3.5.2 Trvanlivost recetního dubového dřeva

V roce 2004 bylo publikováno, jaký vliv má outkovka pestrá na základní fyzikální vlastnosti dubu letního a určili i hmotnostní úbytky. E. Guilley a kol. (2004) ve své práci prezentuje výsledky experimentu provedeného na 614 vzorcích z 82 kmenů a řadí je do jednotlivých tříd odolnosti podle normy 350–2. Podle této normy označil 62,7 % jádrového dřeva jako velmi trvanlivé (1. třída odolnosti). Třídy trvanlivé (2. třída trvanlivosti) a středně trvanlivé (3. třída trvanlivosti) mají shodně po 16,6 % a na zbylé dvě třídy zbývá 4,1 %. Zajímavý je poznatek, že nejtrvanlivější jsou jádrové vzorky, které se nacházejí ale nejbližše běli.

V jiné práci Humar a Nejc (2013) zkoumali, jak se mění vlastnosti dřeva použitého v lidských příbytcích. Porovnávali současné dřevo s dřevem, které plnilo svou funkci ve stavbě přibližně 130 let. Rovněž tito autoři ve své práci určovali přírozenou trvanlivost dřeva, a to pomocí upravené 12 týdenní zkoušky převzaté z EN 113. Nakonec bylo zjištěno, že všechny dřevokazné houby způsobují větší hmotnostní úbytky starému dubovému dřevu, než tomu současnému. Dřevo, které bylo zabudované po dobu 130 let ve stavbě, bylo vystaveno pouze třídě ohrožení 2, tedy interiér chráněný před povětrností a vlhkost smí přesáhnout 20 % vzdušné vlhkosti jen výjimečně. Výsledky jejich experimentu lze nalézt v následující tabulce.

**Tab. 6 Hmotnostní úbytek a relativní obsah vlhkosti vzorků po 12 týdenní zkoušce trvanlivosti v podmínkách 5 různých dřevokazných hub (Humar, Nejc, 2013)**

| Dřevokazná houba     | český název          | současné dřevo |             | 130 staré dřevo |             |
|----------------------|----------------------|----------------|-------------|-----------------|-------------|
|                      |                      | hm. úbyt. [%]  | vlhkost [%] | hm. úbyt. [%]   | vlhkost [%] |
| <i>G. trabeum</i>    | trámovka trámová     | 0,7            | 83,6        | 6,2             | 70,8        |
| <i>H. fragiforme</i> | dřevomor červený     | 0,9            | 88,2        | 4,5             | 67,6        |
| <i>P. ostreatus</i>  | hlíva ústříčná       | 1,6            | 98,4        | 3,5             | 62,5        |
| <i>A. vaillantii</i> | pórnatka vaillantova | 0,4            | 88,6        | 4,1             | 59,6        |
| <i>T. versicolor</i> | outkovka pestrá      | 1,8            | 91,4        | 3,4             | 66,6        |

Meyer a kol. (2014) publikovali svou studii, ve které srovnávali trvanlivost dubu. Dubové vzorky byly podrobeny laboratorním i polním zkouškám. Vědci stanovili kombinací těchto zkoušek a vystavením vzorků různým podmínkám třídy odolnosti vůči různým houbám z oddělení stopkovýtrusných hub (*Basidiomycetes*). Dubové dřevo je v první třídě trvanlivosti (velmi trvanlivé) vůči houbám popraška sklepní (*Coniophora puteana*), dřevomorka borová (*Leucogyrophana pinastri*), síťkovec dubový (*Daedalea quercina*). Dubové dřevo spadá do druhé třídy trvanlivosti (trvanlivé), při napadení outkovkou pestrá (*Trametes versicolor*). Vůči pórnatce velkoporé (*Donkioporia expansa*) je dubové dřevo středně trvanlivé a vůči Třepenitce svazčité (*Hypholoma fasciculare*) je málo trvanlivé.

### 3.5.3 Přírozená trvanlivost subfossilního dubového dřeva

Experiment, který by zkoumal přírozenou trvanlivost a další vlastnosti subfossilního dřeva byl proveden v 80. letech minulého století na Vysoké škole lesnické a dřevařské ve Zvoleně. Tehdy byl však experiment proveden podle staré normy ČSN 49 0604 a tedy i za jiných podmínek. Pro experiment byla použita dřevomorka domácí za teploty 20 °C a při relativní vlhkosti vzduchu 90 %. Experiment trval 4 měsíce a zkušební tělesa měla velikost 20 mm × 20 mm × 30 mm. Výsledek je zhodnocen hmotnostním úbytkem v následující tabulce.

**Tab. 7 Přírozená trvanlivost subfossilního dubu ( $A_{DB}$ ) a dubu současného ( $S_{DB}$ ) v porovnání s topolem ( $S_{TP}$ ). (Upravená tabulka převzatá z HORSKÝ, D., REINPRECHT, 1986)**

| Dle ČSN 49 0604       | Počet těles | $A_{DB}$ | $S_{DB}$ | $S_{TP}$ |
|-----------------------|-------------|----------|----------|----------|
| Hmotnostní úbytek [%] | 20          | 4,9      | 1,8      | 20,8     |

Horský a Reinprecht (1986) vyvozují, že subfosilní dubové dřevo je méně odolné vůči vyšším houbám z třídy stopkovýtrusných (*Basidiomycetes*). Dále vyhodnotily, že je to ve shodě s výsledky testů chemické analýzy, tedy že má subfosilní dřevo nižší polymerační stupeň celulózy, vyšší vodný extrakt s podílem lehko odbouratelných cukrů a vyšší podíl popela.

### 3.6 Dřevokazné houby

Dřevokazné houby se dělí na vřeckovýtrusé a stopkovýtrusé (*Basidiomycetes*), které napadají dřevo agresivněji, narušují buněčné stěny a jako hlavní zdroj potravy jim slouží všechny (celulóza, hemicelulóza, lignin), nebo jen některé stavební složky dřeva. Dřevokazné houby napadají rostoucí stromy, kulatinu, ale i výrobky ze dřeva. Základní podmínky pro růst dřevokazných hub jsou vlhkost, určitá teplota a přístup vzduchu. Optimální podmínky pro rozvoj dřevokazných hub jsou vlhkost dřeva v rozmezí 35–80 %, ale jejich rozvoj je možný již při 10 % a až do vlhkosti 160 %. Optimální teplota záleží na konkrétním druhu, ale obecně se pohybuje od 20 °C do 32 °C a extrémní teploty, které jsou houby schopny snést, jsou 3–50 °C.

Hnědá hniloba dřeva je způsobena houbami, které svými enzymy degradují polysacharidy (celulózu a hemicelulózy), lignin téměř nevyužívají. Dřevo napadené hnědou hnilobou mění svou makroskopickou strukturu, je křehké, lámavé a drobivé, často kostkovitě praská s trhlinami podél i napříč vláken. Dřevo ztrácí na objemu a hustotě. Dřevo si však zachovává svůj původní tvar až do pozdních fází hniloby, je to díky vysoce lignifikované střední lamele a primární stěně buňky.

Bílá hniloba dřeva je způsobena houbami, které rozkládají mimo polysacharidy i lignin. Řetězce celulózy jsou rozkládány pomaleji, než v případě hnědé hniloby. V poškozeném dřevě dochází k odbourávání ligninu v buněčné stěně a střední lamele a až v pozdějším stádiu jsou odbourávány polysacharidy. Napadené dřevo mění barvu, nejprve tmavne a později zesvětlá, dřevo je drobivé, ztrácí na hmotnosti, ale ne na objemu. Bílá hniloba má korozivní a delignifikační formu. Korozivní forma je charakterizována souběžným odbouráváním všech stavebních elementů dřeva. Delignifikační forma je charakterizována hlavně odbouráváním ligninu. Celulóza a zbytky hemicelulóz se odbourávají až v závěrečném stádiu hniloby (Šlezingerová, Gandelová, 2002).

### **3.6.1 Pórnatka placentová (*Poria placenta*)**

Houba hnědé hniloby, která napadá převážně jehličnaté dřeviny, výjimečně listnaté. Ideální podmínky pro růst jsou vlhkost dřeva 35–50% a teplota 25 °C. Povrchové mycelium bývá bílé barvy a je tvořeno ze silných provazců „rhizomorfy“, jak uvádí Ptáček (2009). Rozklad dřeva je hnědé hniloby, dřevo se hranolovitě rozpadá.

### **3.6.2 Sírovec žlutooranžový (*Laetiporus sulphureus*)**

Houba hnědé hniloby, která napadá převážně živé poraněné stromy v bázi kmene. Nejčastěji napadá duby, vrby, topoly, olše, lípy a některé ovocné stromy. V počáteční fázi rozkladu je dřevo žlutohnědé a stále má dostatečnou pevnost. V druhé fázi rozkladu je dřevo světle červenohnědé a jeho mechanické vlastnosti jsou již značně narušené. Ve třetí fázi rozkladu je dřevo červenohnědé a hranolovitě se rozpadá (Černý, 1989).

### **3.6.3 Outkovka pestrá (*Trametes versicolor*)**

Houba bílé hniloby, která se vyskytuje převážně na mrtvém listnatém dřevě. Podhoubí této houby je značně citlivé na toxický účinek tříslovin, takže u dubu upřednostňuje běl. Je velmi odolná proti nedostatku vlhkosti i nepříznivé teplotě. Její optimální teploty jsou 26–29 °C a nejlépe roste při vlhkosti 40–50 %. Rozklad dřeva patří mezi bílou hnilobu. Dřevo je zpočátku tvrdé a křehké, v pozdějším stádiu bílé, měkké a rozpadající se podél dřevných paprsků, jak uvádí Svatoň (2000).

## 4 MATERIÁL A METODIKA

### 4.1 Výroba vzorků

#### 4.1.1 Subfossilní dub

Pro výrobu vzorků subfossilního dubu byly použity fošny z kmenů nalezených v nánosech koryta řeky Bečvy nedaleko obce Osek nad Bečvou. Tyto kmeny, byly již v minulost nařezány na fošny tloušťky přibližně 50 mm. Tyto fošny byly delší dobu skladovány ve venkovních podmínkách na prokladech a měly tak vzdušnou vlhkost. Prvních 2–5 cm od obvodu kmene nešlo použít, protože fošny byly zanesené pískem, a tak by se značně ztupily řezací nástroje. Fošny byly tedy očištěny železným kartáčem a ořezány.



Obr. 4 Výroba vzorků z fošen subfossilního dubu

#### 4.1.2 Recentní dub

Vzorky recentního dubu byly vyrobeny také z fošny, která byla přirozeně sušena a měla tak vzdušnou vlhkost. Fošna byla čistá, silná 32 mm, široká asi 25 cm a dlouhá 3 m. Z této fošny byla ořezána běl.

### 4.1.3 Vlastní výroba

Pro zkoušku bobtnání bylo zapotřebí vyrobít speciálně ortotropní tělíska o rozměrech 20 × 20 × 30 mm, dále byla vyráběna tělíska pro zkoušku přirozené trvanlivosti o rozměrech 25 × 15 × 50 mm. Fošny byly nejdříve zarovnány a srovnány na stejnou tloušťku pomocí srovnávací a tloušťkovací frézky a pak byly vyřezány na kotoučové pile. Každá skupina podle období musela být zpracována zvlášť, aby se vzorečky nepomíchaly. Fošny byly osazeny plastovými čely s označením, ale po rozřezání by již vzorky nebylo možno zpětně zařadit a tak byla zvolena tato bezpečná, ale zdlouhavější metoda. Zkouška přirozené trvanlivosti dřeva

### 4.1.4 Zkušební tělesa

Zkušební tělesa byla vyrobena podle požadavků normy ČSN EN 113. Byla vybrána tělíska bez vad, zabarvení, velkých odklonů vláken a trhlin s co nejrovnoměrnějšími přírůstky. Zkušební tělesa měla velikost  $25 \pm 0,5 \text{ mm} \times 15 \pm 0,5 \text{ mm} \times 50 \pm 0,5 \text{ mm}$ . Kromě vzorků ze subfosilního dubu a současného (recentního) dubu, byla vyrobena také kontrolní tělesa z buku a bělí borovice. Všechny vzorky byly označeny pro pozdější identifikaci a zváženy. Vzorky subfosilního dubu byly rozděleny na středové (v práci indexovány s) a krajové (v práci indexovány k). Například subfosilní období B středové je označováno B<sub>s</sub>.

### 4.1.5 Živná půda

Živnou půdou pro dřevokazné houby je Malt extrakt agar Base m 137. Na jeden litr destilované vody připadne 50 g této směsi, která se pak sterilizuje v Kolleho baňkách v autoklávu při 120 °C po dobu 20 minut.

### 4.1.6 Očkování houbové kultury

Mycelium se naočkuje ve sterilních podmínkách na agar ztuhlý v Kolleho baňkách a nechá se růst po dobu dvou týdnů, Kolleho baňka je uzavřena prodyšným uzávěrem a umístěna do inkubátoru. V inkubátoru jsou trvale udržovány stabilní podmínky, teplota 22 °C a relativní vzdušná vlhkost 65 %. Vybrány byly dvě houby hnědého tlení, pórnatka placentová (*Poria placenta*) a sírovec žlutooranžový (*Laetiporus sulphureus*) a jedna houba bílé hniloby outkovka pestrá (*Trametes versicolor*).

### 4.1.7 Založení zkoušky

Po porostení celé plochy agaru myceliem se vloží vysterilizovaná zkušební tělesa do Kolleho baňek. Tělesa nesmí ležet přímo v myceliu a tak se nejprve vkládá nerezová podložka, která neovlivňuje nikterak průběh zkoušky a nereaguje se dřevem ani s houbou. Vkládání zkušebních těles probíhá opět ve sterilních podmínkách a potom jsou vzorky opět uloženy zpět

do inkubátorů. V inkubátoru jsou stále trvale udržovány podmínky 22 °C a 65% vzdušné vlhkosti a to po dobu 16 týdnů.

#### 4.1.8 Vyjmutí zkušebních těles

Po uplynutí zkušební doby se Kolleho baňky vyndají z inkubátorů a vzorky se šetrně vyjmou z mycelia, očistí se a zváží. Dále je nutné vzorky vysušit při teplotě 103±2 °C. Všechny hmotnosti je nutné pečlivě zaznamenat a vyhodnotit úbytek hmotnosti a změnu vlhkosti.



Obr. 5 Kolleho baňky se zkušebními vzorky (zleva outkovka pestrá, sírovec žlutooranžový, pórnatka placentová)

#### 4.1.9 Hmotnostní úbytek

Přirozená trvanlivost je vyhodnocena na základě hmotnostních úbytků vzorků. Je nutné znát hmotnost při nulové vlhkosti před provedením zkoušky (dopočítána dle vlhkosti vlhkostních vzorků – viz ČSN EN 113) a stejně tak po jejím provedení. Hmotnostní úbytek je vypočítán podle vzorce:

$$\Delta m = \frac{m_w - m_2}{m_1} \cdot 100$$

kde:  $\Delta m$  je hmotnostní úbytek [%],  $m_1$  je původní hmotnost při 0% vlhkosti [g] a  $m_2$  je konečná hmotnost při 0% vlhkosti [g].



## **4.2 Bobtnání dřeva**

### **4.2.1 Sušení**

Pro účely experimentu bylo nutné vysušit vzorky na nulovou vlhkost a změřit u každého všechny tři základní rozměry. Vzorečky byly tedy vysušeny v laboratorní sušárně při teplotě  $103\pm 2^{\circ}\text{C}$  a byly sušeny, dokud se neodstranila veškerá vázaná i volná voda ze dřeva. Za absolutně suché můžeme vzorky považovat až tehdy, když se v intervalu dvou hodin neliší hmotnost vzorků o více než 0,02 g. Potom byly vzorky přeměřeny pomocí elektronického posuvného měřítka a zváženy na laboratorní váze.

### **4.2.2 Vlhkost dřeva v plně nasyceném vzduchu vodní párou**

Ke zjištění maximálního bobtnání bylo použito uložení vzorků nad hladinou destilované vody, kde dřevo přijímalo vlhkost z plně nasyceného vzduchu vodní párou, vzorky byly umístěny do exikátorů, do kterých se nalila voda a vzorky byly umístěny tak, aby byly nad vodní hladinou. Na konci tohoto procesu byly vzorky opět přeměřeny a zváženy.

## **4.3 Statistické vyhodnocení**

Data nesplňují základní parametry pro použití parametrické analýzy rozptylu (ANOVA), což jsou normální rozdělení, shodné rozptyly a nezávislost dat. Vzhledem k tomu, bylo potřeba použít nestandardního testu, v tomto případě je vhodnou náhradou neparametrický Kruskal–Wallisův test a Mediánový test. Ten je totiž vhodný i pro malé výběry. Nulová hypotéza byla definována tak, že mezi středními hodnotami hodnocených výběrů není statisticky významný rozdíl a nelze tedy vyloučit, že data pocházejí ze stejného souboru. Alternativní hypotéza říká, že mezi středními hodnotami hodnocených výběrů je statisticky prokazatelný rozdíl a lze vyloučit, že by data pocházela ze stejného souboru. Výstupy z testů, které byly provedeny v programu STATISTICA jsou v Příloze č. 1, Příloze č. 2 a v Příloze č. 3.

## **4.4 Dendrochronologické datování vzorků**

### **4.4.1 Měření vzorků**

Pro měření stáří byly použity odřezky z nalezených kmenů, které procházeli dřením a obsahovali co největší možný počet letokruhů. U vzorků většinou zcela chyběla bělová část, která v našich podmínkách mívá 10–23 letokruhů. K měření šířek letokruhů byl použit mikroskop a posuvný měřicí stůl připojený k PC. Na PC byl nainstalován datovací software

PAST32. Vzorek se umístí na měřicí stůl. Pomocí mikroskopu, který je vybaven nitkovým křížem, se nalezne hranice nejstaršího měřitelného letokruhu. Tato pozice se zaznamená jako nulová a pak je nutné vždy měřit vzdálenost mezi letokruhy kolmo, tak aby byla co nejkratší. Když se nitkový kříž ocitne na hranici dalšího letokruhu, je nutné kliknout na myš, aby byla šířka letokruhu zaznamenána do programu PAST32.

#### **4.4.2 Datování vzorků**

Vzorky byly zpracovány podle standardní dendrochronologické metodiky (Cook, Kairiukštis 1990). Po naměření jednotlivých letokruhových křivek následuje jejich statistické vyhodnocování a porovnání se standardní chronologií. Vzhledem k tomu, že vzorků z jednoho kmene bylo více, tak byla vytvořena nejprve jejich průměrná křivka a ta pak byla porovnána se standardní chronologií pro dub. Stáří se určí tak, že se tyto křivky vzájemně překryjí a statisticky se hodnoty tohoto překryvu vyhodnotí. Pokud jsou statistické hodnoty dostatečné, pak je možné určit i stáří kmene. Jednotlivé křivky byly křížově datovány. Z dobře korelovatelných křivek byla vytvořena průměrná letokruhová křivka, která byla následně porovnána s dostupnými dubovými standardními chronologiemi. V případě, že dendrochronologické datování nebylo úspěšné, byla vzorky odeslány k radiouhlíkovému datování.

## 5 VÝSLEDKY

### 5.1 Datování vzorků

V této práci je pracováno se čtyřmi obdobími (stářími) dřeva dubu a ta jsou uvedena v následující tabulce. V práci jsou jednotlivá stáří označována názvy z Tab. 8.

**Tab. 8 Datování jednotlivých období**

| Název v práci | Období          | Chronologické pořadí od nejstaršího |
|---------------|-----------------|-------------------------------------|
| Recentní      | Současný (2013) | 4.                                  |
| Subfos M      | po roce 1018 AD | 3.                                  |
| Subfos B      | 208 BC – 137 AD | 2.                                  |
| Subfos W      | 1131– 804 BC    | 1.                                  |

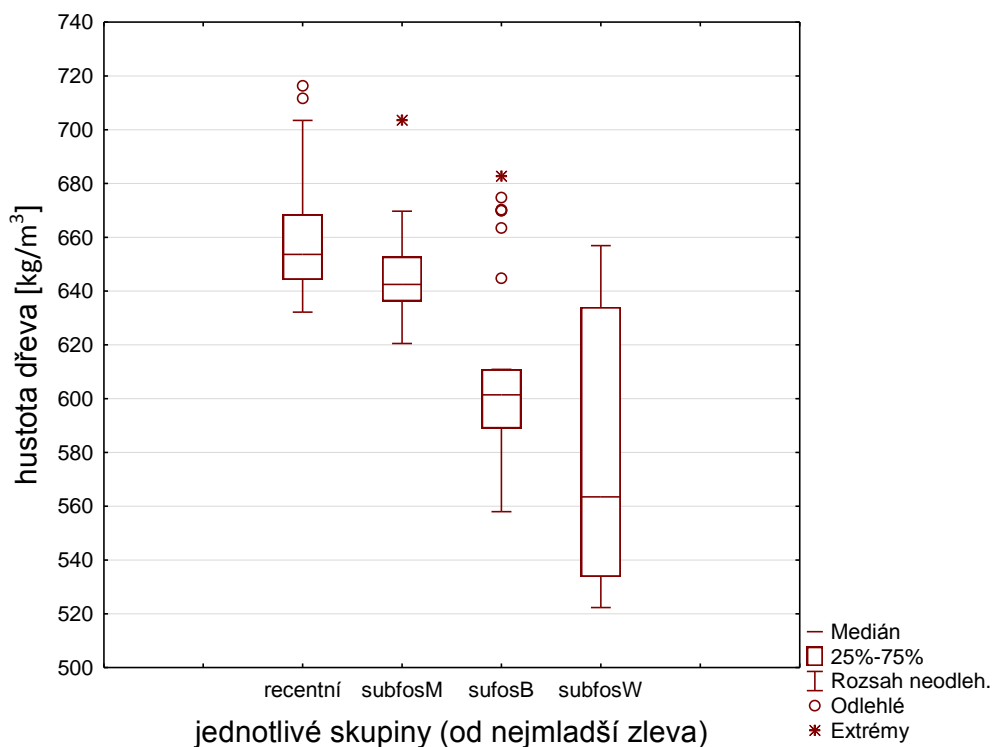
Kmeny subfosilního dubu byly odatovány radiouhlíkovou a dendrochronologickou metodou a jejich stáří bylo stanoveno do tří období a to 1131–804 př. n. l, 208 př. n. l – 137 a poslední období po roce 1018.

### 5.2 Hustota v absolutně suchém stavu

Hustota v absolutně suchém stavu je základním ukazatelem a veličinou, hodnoty jednotlivých výběrů (období) se zřetelně liší, což je vidět v tabulce popisné statistiky Tab. 9, ale i graficky na krabicových grafech níže Obr 6. Nejnižší průměrnou hodnotu hustoty má období subfos W a to 583,16 kg/m<sup>3</sup>. Toto období je zároveň nejstarší. Nejvyšší střední hodnotu má recentní dub, a to 660,44 kg/m<sup>3</sup>. Největší směrodatnou odchylku má nejstarší období subfos W.

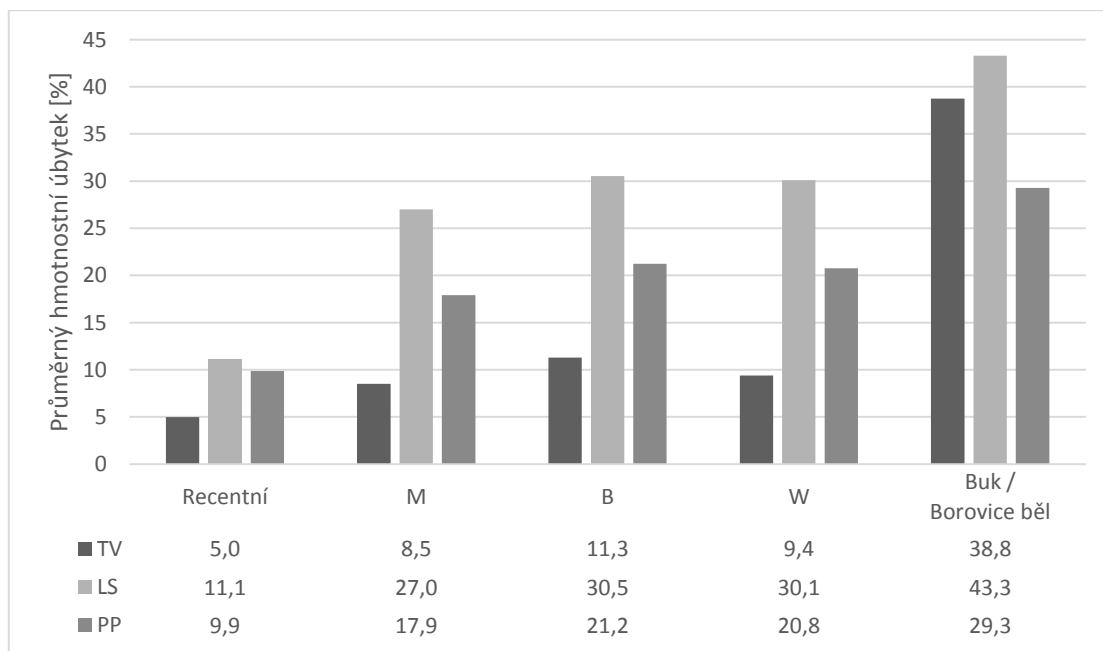
**Tab. 9 Popisná statistika hustoty pro vzorky v absolutně suchém stavu**

|  | recentní | subfos M | subfos B | subfos W |
|--|----------|----------|----------|----------|
| Střední hodnota [kg/m <sup>3</sup> ]     | 660,44   | 646,13   | 609,57   | 583,16   |
| Medián [kg/m <sup>3</sup> ]              | 653,66   | 642,51   | 601,43   | 563,47   |
| Směrodatná odchylka [kg/m <sup>3</sup> ] | 22,65    | 15,91    | 36,29    | 51,29    |
| Variační koeficient [%]                  | 3,43     | 2,46     | 5,95     | 8,80     |
| Minimum [kg/m <sup>3</sup> ]             | 632,20   | 620,51   | 557,98   | 522,33   |
| Maximum [kg/m <sup>3</sup> ]             | 716,36   | 703,59   | 682,76   | 656,93   |
| Počet [ks]                               | 30       | 30       | 30       | 30       |



Obr. 6 Krabicový graf hustoty pro vzorky v absolutně suchém stavu

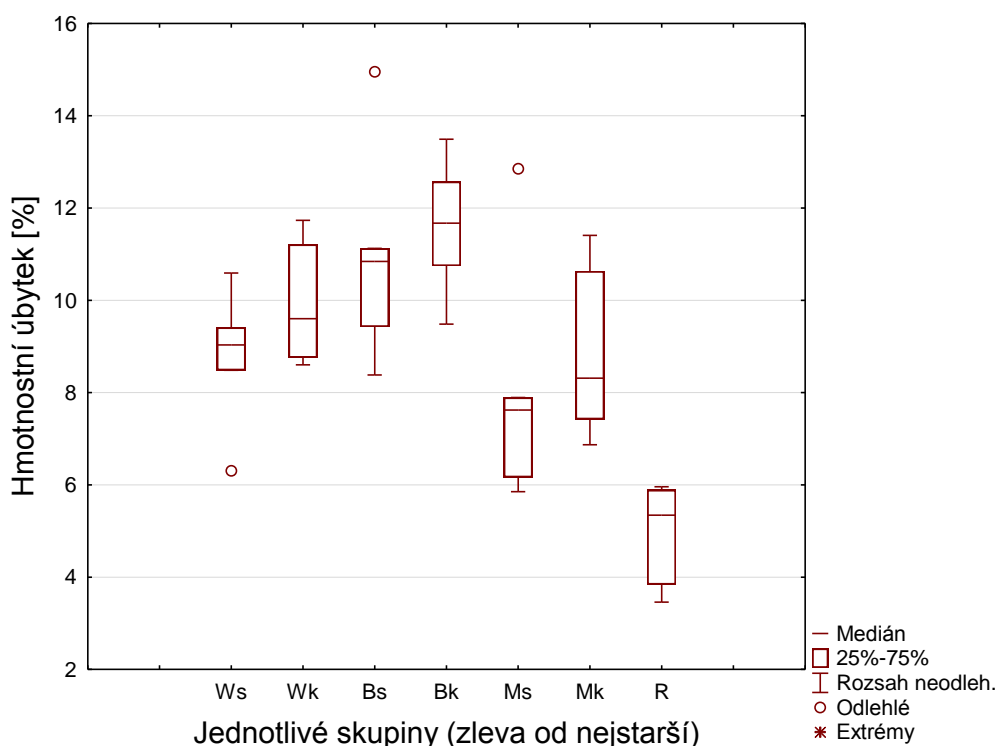
### 5.3 Hmotnostní úbytky a rovnovážná vlhkost dřeva na konci zkoušky přirozené trvanlivosti



Obr. 7 Sloupcový graf srovnání průměrných hmotnostních úbytků pro jednotlivé houby (TV – *Trametes versicolor*, LS – *Laetiporus sulphureus*, PP – *Poria placenta*)

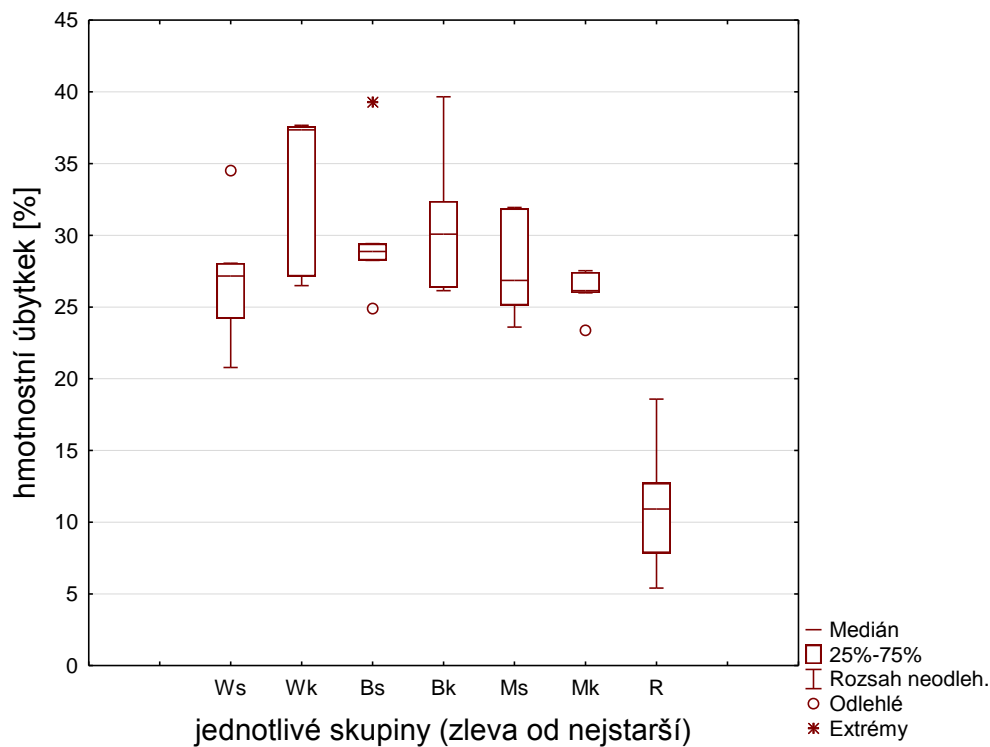
Hmotnostní úbytky způsobené outkovkou pestrou (*Trametes versicolor*), pórnatkou placentovou (*Poria placenta*) a sírovcem žlutooranžovým (*Laetiporus sulphureus*) byly podrobeny statistické analýze.

Při napadení outkovkou pestrou (*Trametes versicolor*) se hmotnostní úbytky jednotlivých výběrů subfossilního dubu od sebe významně neliší. Statisticky významný rozdíl byl vyhodnocen mezi recentním dubem a dubem subfossilním z období B a zároveň mezi recentním dubem a krajovými vzorky z nejstaršího subfossilního dřeva období W. Hmotnostní úbytky jednotlivých skupin lze pozorovat i na grafu, viz Obr. 8.

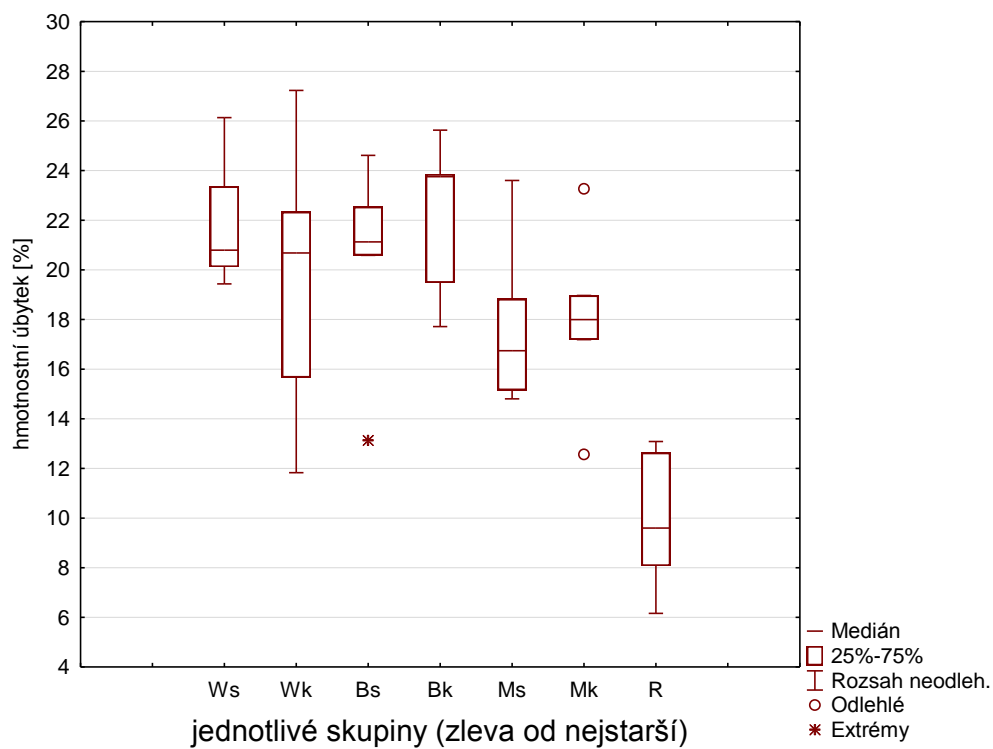


**Obr. 8** Porovnání hmotnostních úbytků recentního a subfossilního dubu při napadení outkovkou pestrou (*Trametes versicolor*)

Při napadení sírovcem žlutooranžovým (*Laetiporus sulphureus*) se taktéž hmotnostní úbytky jednotlivých výběrů subfossilního dubu mezi sebou statisticky neliší. Statisticky významný rozdíl byl zaznamenán mezi recentním dubem a dubem subfossilním z období B a zároveň mezi recentním dubem a krajovými vzorky z nejstaršího subfossilního dřeva období W. Lze to pozorovat i na grafickém znázornění v podobě krabicového grafu, viz Obr. 9.



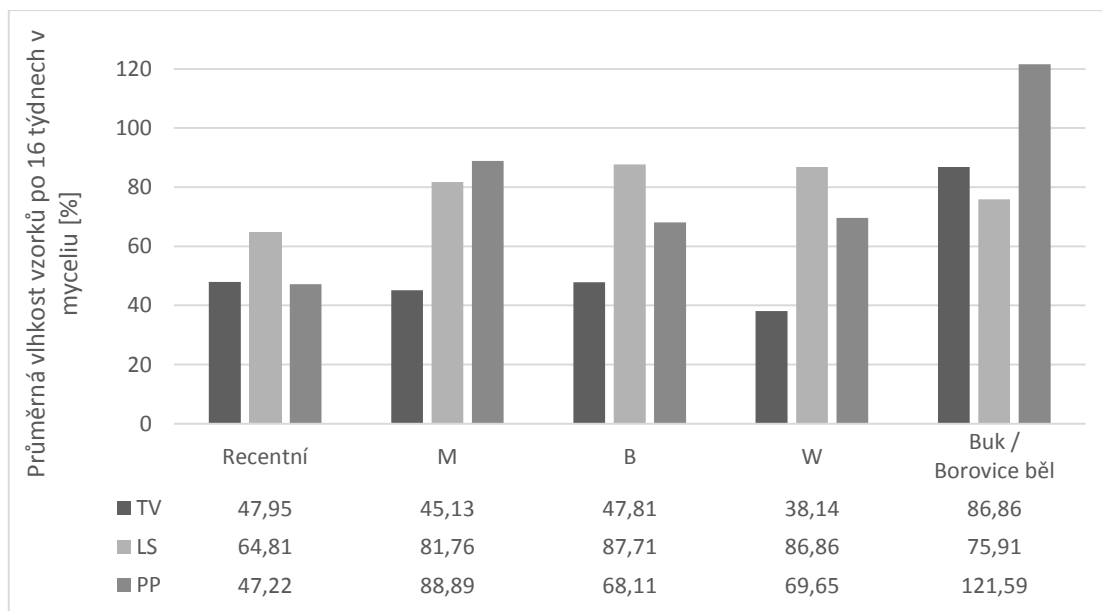
**Obr. 9** Porovnání hmotnostních úbytků recentního a subfosilního dubu při napadení sírovcem žlutooranžovým (*Laetiporus sulphureus*)



**Obr. 10 Porovnání hmotnostních úbytků recentního a subfosilního dubu při napadení pórnatkou placentovou (*Poria placenta*)**

Při napadení sírovcem žlutooranžovým (*Laetiporus sulphureus*) se taktéž hmotnostní úbytky jednotlivých výběrů subfosilního dubu mezi sebou statisticky neliší. Od recentního dubu byl zjištěn statisticky významný rozdíl u  $W_s$  (nejstarší období středové vzorky) a  $B_k$  (subfosilní dub starý přibližně 2000 let), viz grafické zobrazení hmotnostních úbytků Obr. 10.

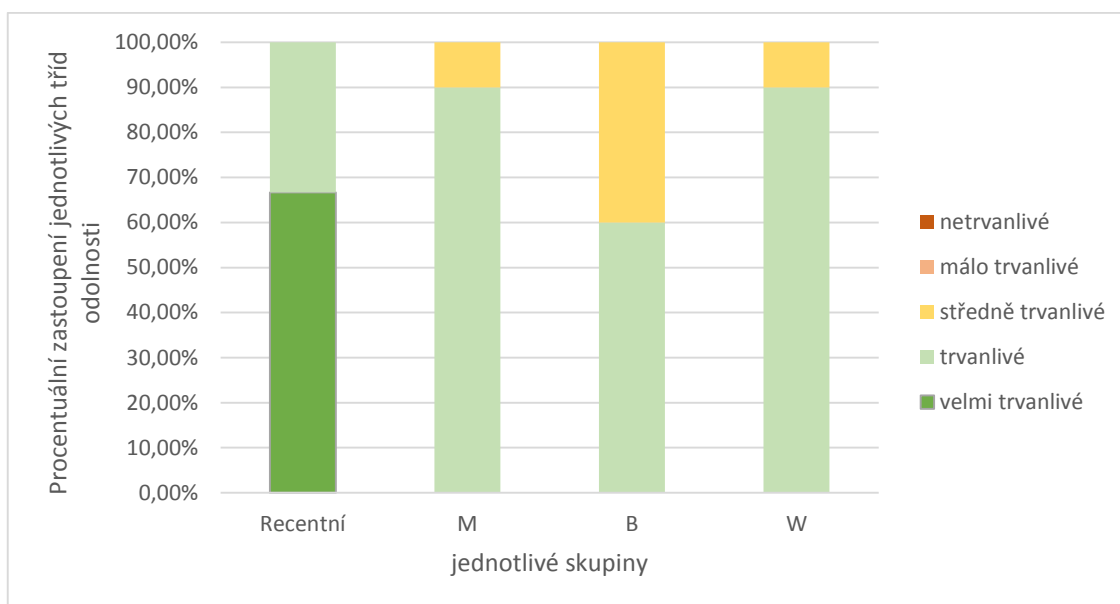
Průměrná vlhkost vzorků na konci experimentu zkoušky přirozené trvanlivosti dřeva byla nejvyšší u zkušebních vzorků borovice bělí. Podstatnější ale je, že kromě experimentu s outkovkou pestrá, byla vlhkost dřeva subfosilního dubu vždy značně vyšší než u recentního dubu. Největší množství vody přijímal dub z období M a další podrobnosti viz Obr. 11.



**Obr. 11 Sloupcový graf srovnání průměrné vlhkosti při terminaci experimentu**

#### **5.4 Přirozená trvanlivost dřeva recentního a subfosilního dubu proti outkovce pestré (*Trametes versicolor*)**

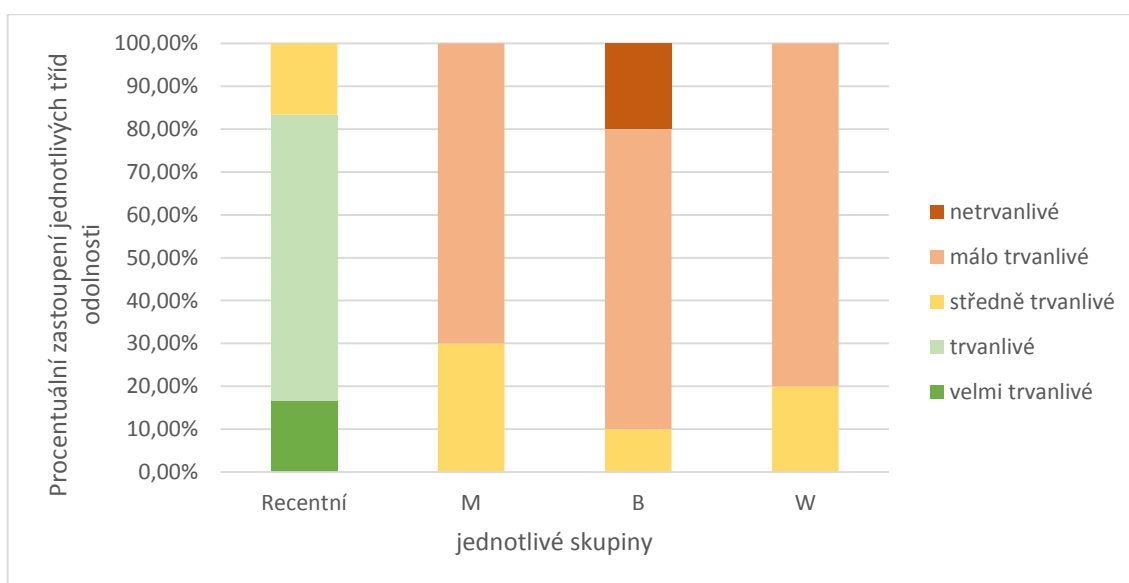
V případě outkovky pestré (*Trametes versicolor*) bylo 66,7 % vzorků recentního dubu zařazeno do 1. třídy odolnosti vůči dřevokazným houbám (velmi trvanlivé). Dřevo subfosilního dubu ze skupin M a W, tedy přibližně 1000 a 3000 let staré, bylo zařazeno do 2. třídy odolnosti (trvanlivé) z 90 %. Poslední skupina subfosilního dubu B, tedy asi 2000 let staré, byla zařazena do 2. třídy odolnosti z 60 % a ze 40 % do 3. třídy odolnosti (středně trvanlivé) viz Obr. 12.



Obr. 12 Sloupcový graf zařazení zkušebních těles do tříd odolnost dle ČSN EN 350–1

## 5.5 Přirozená trvanlivost dřeva recentního a subfossilního dubu proti sírovci žlutooranžovému (*Laetiporus sulphureus*)

Výsledkem zkoušky přirozené trvanlivost proti sírovci žlutooranžovému (*Laetiporus sulphureus*) bylo, že recentní dubové dřevo je přibližně o dvě třídy trvanlivější, než dřevo subfossilního dubu. Nejmenší přirozenou trvanlivost měl subfossilní dub z období B, jehož vzorky byly zařazeny z 60 % do 4. třídy odolnosti a z 20 % dokonce do 5. třídy odolnosti vůči dřevokazným houbám, viz Obr. 13.

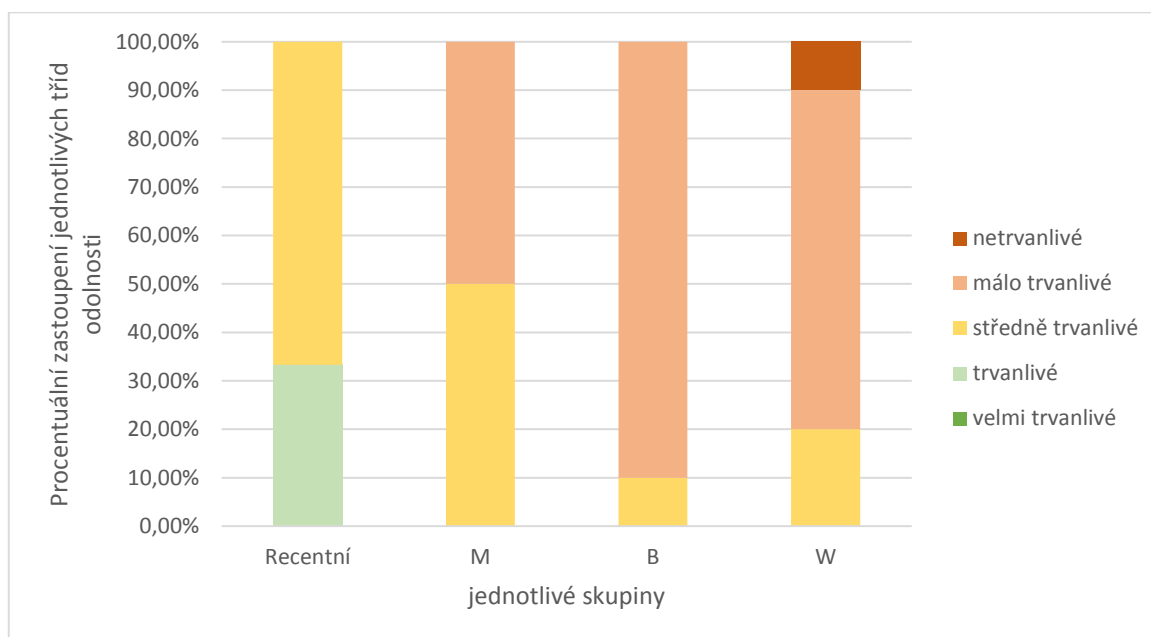


Obr. 13 Sloupcový graf zařazení zkušebních těles do tříd odolnost dle ČSN EN 350–1



## 5.6 Přirozená trvanlivost dřeva recentního a subfosilního dubu proti pórnatce placentové (*Poria placenta*)

Vůči této houbě bílé hniloby bylo dubové dřevo nejméně odolné. Recentní dub byl zařazen do 3. třídy odolnosti (středně trvanlivé). Nejmladší období subfosilního dubu M bylo z 50 % středně trvanlivé a z 50 % málo trvanlivé. Skupiny B a W byly málo trvanlivé.



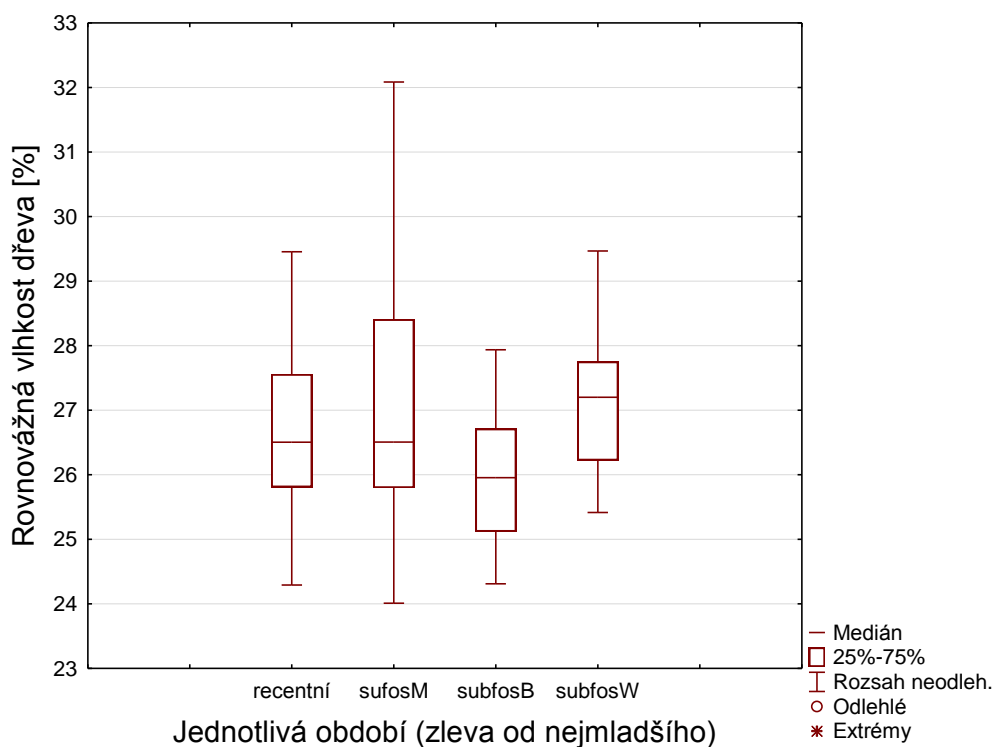
Obr. 14 Sloupcový graf zařazení zkušebních těles do tříd odolnost dle ČSN EN 350–1

## 5.7 Vlhkost dřeva na mezi hygroskopicity

Při srovnání dat vlhkostí jednotlivých období je vidět, že vzorky nasakují různě. Největší průměrné vlhkosti v plně nasyceném vzduchu vodní párou dosáhly vzorky nejmladšího subfosilního dubu M a to 27,32 %. Druhé nejvlhčí byly vzorky nejstaršího období subfos W s 27,17 % vlhkosti.

Tab. 10 Popisná statistika mez hygroskopicity vzorků

|                         | recentní | subfos M | subfos B | subfos W |
|-------------------------|----------|----------|----------|----------|
| Střední hodnota [%]     | 26,66    | 27,32    | 25,96    | 27,17    |
| Medián [%]              | 26,50    | 26,51    | 25,96    | 27,20    |
| Směrodatná odchylka [%] | 1,27     | 2,02     | 1,00     | 1,15     |
| Variační koeficient [%] | 4,78     | 7,39     | 3,87     | 4,25     |
| Minimum [%]             | 24,29    | 24,01    | 24,31    | 25,42    |
| Maximum [%]             | 29,46    | 32,09    | 27,94    | 29,47    |
| Počet [ks]              | 30       | 30       | 30       | 30       |



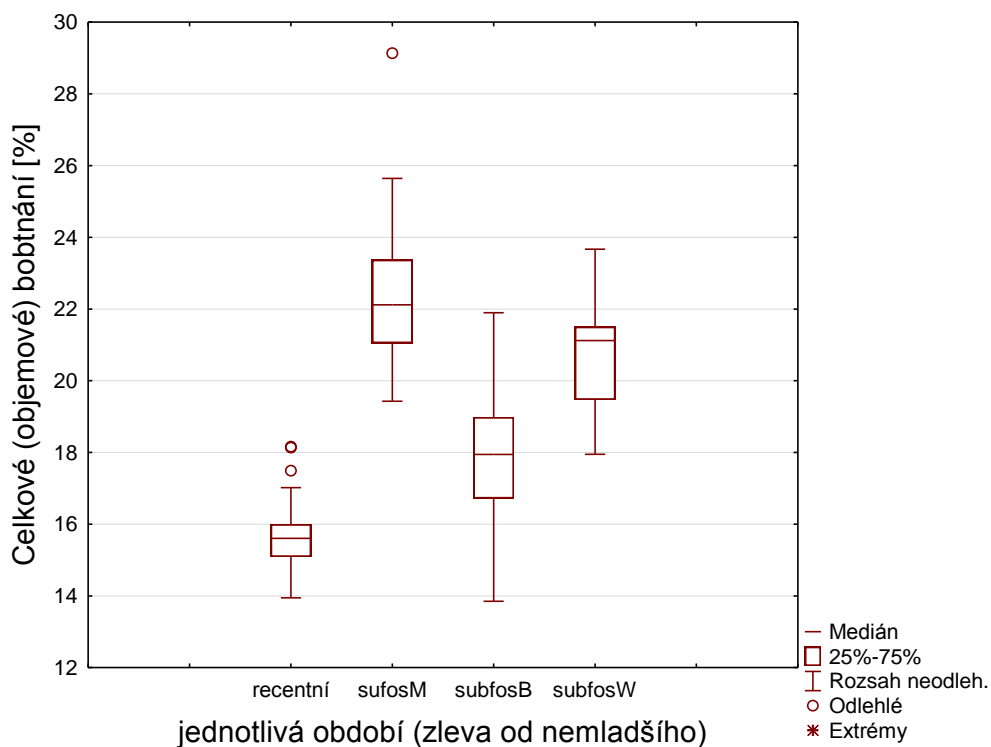
Obr. 15 Graf vlhkosti pro vzorky nad vodní hladinou

## 5.8 Celkové objemové bobtnání dřeva

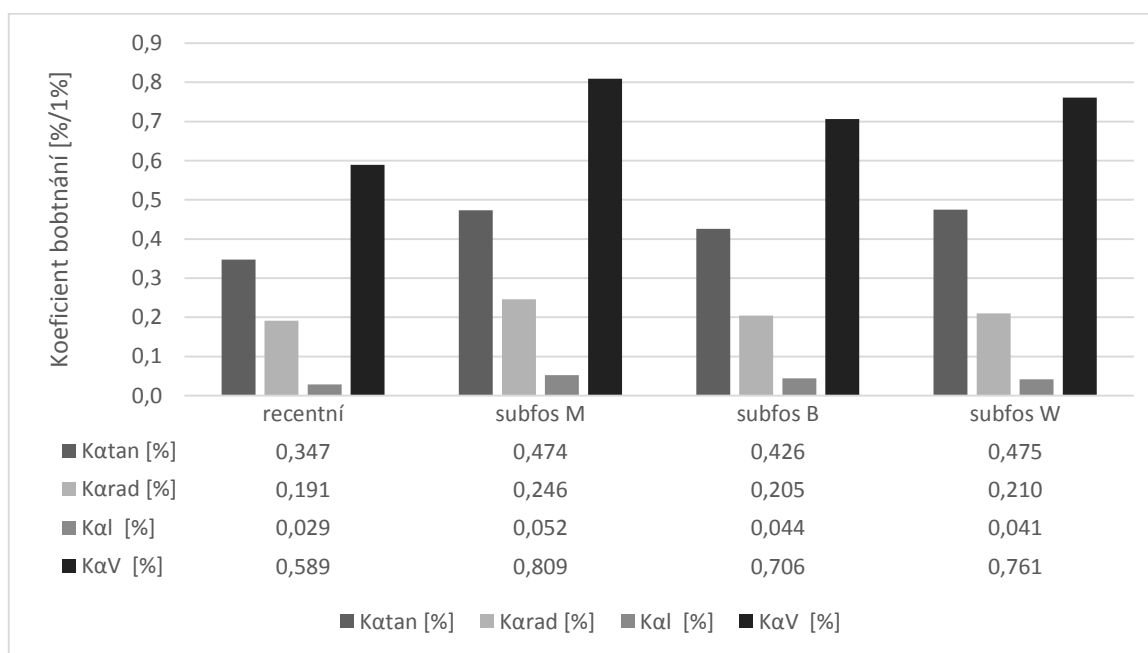
U vzorků recentního dubu bylo zaznamenáno nejnižší bobtnání a to průměrně téměř 16 %. Nejvyšší bobtnání bylo zaznamenáno u nejmladšího subfosilního dubového dřeva subfos M a to v průměru lehce přes 22 %.

Tab. 11 Popisná statistika celkového (objemového) bobtnání vzorků

|                         | recentní | subfos M | subfos B | subfos W |
|-------------------------|----------|----------|----------|----------|
| Střední hodnota [%]     | 15,69    | 22,37    | 17,71    | 20,68    |
| Medián [%]              | 15,61    | 22,12    | 17,94    | 21,12    |
| Směrodatná odchylka [%] | 1,07     | 1,97     | 1,86     | 1,49     |
| Variační koeficient [%] | 6,81     | 8,80     | 10,52    | 7,20     |
| Minimum [%]             | 13,95    | 19,43    | 13,85    | 17,95    |
| Maximum [%]             | 18,17    | 29,14    | 21,90    | 23,67    |
| Počet [ks]              | 30       | 30       | 30       | 30       |



**Obr. 16 Graf porovnání celkového (objemového) bobtnání mezi jednotlivými skupinami**



**Obr. 17 Graf průměrných koeficientů bobtnání**

## 6 DISKUSE

Vzorek M bylo možné spolehlivě datovat podle české dubové standardní chronologie. Vzhledem k tomu, že na subfosilním kmenu nebyl zachován podkorní letokruh ani hranice jádra a běli, bylo možné kmen datovat do období po roce 1018. Vzorky W a B nebylo možné datovat podle českých ani zahraničních dubových standardních chronologií. Vzorky byly datovány radiouhlíkovou metodou do období 1131-804 př.n.l. resp. 208 př.n.l. - 137 n.l. Neúspěšné datování podle české standardní chronologie lze vysvětlit tím, že standardní chronologie dané období buď nepokrývá (vzorek W) nebo není v daném období proložena dostatečným počtem letokruhových křivek (vzorek B) (Kolář et al. 2012).

Hmotnostní úbytky a přirozená trvanlivost dřeva, které byly hlavním tématem této práce, se povedlo stanovit u všech použitých dřevokazných hub. V případě outkovky pestré (*Trametes versicolor*) bylo 66,7 % vzorků recentního dubu zařazeno do 1. třídy odolnosti vůči dřevokazným houbám (velmi trvanlivé), což odpovídá i literatuře. Dřevo subfosilního dubu ze skupin M a W, tedy přibližně 1000 a 3000 let staré, bylo zařazeno do 2. třídy odolnosti (trvanlivé) z 90 %. Poslední skupina subfosilního dubu B, tedy asi 2000 let staré, byla zařazena do 2. třídy odolnosti z 60 % a ze 40 % do 3. třídy odolnosti (středně trvanlivé). Je zajímavé, že statistickým porovnáním jednotlivých skupin byl zjištěn významný rozdíl v hmotnostních úbytcích jen mezi recentním dubem a subfosilním dubem B a krajovými vzorky skupiny W. Přesto je zřejmé, že se u všech skupin subfosilního dubu přirozená trvanlivost snížila ve srovnání s recentním dubem. Vůči outkovce pestré byly vzorky dubu celkově nejvíce odolné a důvodem je vyšší citlivost podhoubí této houby na toxický účinek tříslovin, jak uvádí Svatoň (2000). V případě sírovce žlutooranžového (*Laetiporus sulphureus*) je situace velmi obdobná, tato dřevokazná houba je však vůči dubovému dřevu agresivnější. Recentní dub byl zařazen z 66,7 % do 2. třídy trvanlivosti (trvanlivé) a subfosilní dub všech skupin byl z většiny zařazen do 4. třídy trvanlivosti (málo trvanlivé). Statisticky významný rozdíl v hmotnostních úbytcích byl přesto zaznamenán opět jen mezi recentním dubem a subfosilním dubem B a krajovými vzorky skupiny W. Poslední dřevokaznou houbou, do jejímuž vlivu byly vzorky vystaveny, byla pórnatka placentová (*Poria placenta*). Vůči této houbě bílé hniloby bylo dubové dřevo nejméně odolné. Recentní dub byl zařazen do 3. třídy odolnosti (středně trvanlivé). Nejmladší období subfosilního dubu M bylo z 50 % středně trvanlivé a z 50 % málo trvanlivé. Skupiny B a W byly málo trvanlivé. Statisticky významný rozdíl byl pouze mezi recentním dubem a subfosilním dubem ve skupinách W<sub>S</sub> a B<sub>K</sub>. Výsledky recentního dubu odpovídají literatuře a z toho lze usuzovat i na správnost výsledků u subfosilního dubu. Snížená přirozená trvanlivost

subfossilního dubu může být způsobena podle Horského a Reinprechta (1986) , kteří provedly chemické analýzy tím, že má subfossilní dřevo nižší polymerační stupeň celulózy, vyšší vodný extrakt s podílem lehko odbouratelných cukrů a vyšší podíl popela. Já se domnívám, že to může být způsobeno ztrátou extraktivních látek, které se mohly v průběhu staletí vyluhovat. Stálo by za to provést ověření této hypotézy pomocí vlastního chemického rozboru.

Hustota recentního dubu zjištěná v této práci je při 0% vlhkosti  $660,44 \text{ kg/m}^3$  s variačním koeficientem 3,43 %, což je velice nízká hodnota. V literatuře se setkáváme s různými údaji o hustotě. Vavrčík, Gryc a Rybníček (2008) shrnují výsledky bádání různých autorů po zjištění hustoty u dubu Požgaj a kol. (1993) podle nich udává hustotu  $696 \text{ kg/m}^3$  s variačním koeficientem 12,3 %, Kollmann (1951)  $650 \text{ kg/m}^3$  a Benc (2007)  $633,9 \text{ kg/m}^3$  a variační koeficient 5,5%. Jejich vlastní porovnání dvou stanovišť lužního lesa přineslo zjištění průměrné hustoty dubu  $618,2 \text{ kg/m}^3$  s variačním koeficientem 9,9 %. Nejblíže výsledku zjištěnému v této práci je hodnota udávaná Bencem (2007) –  $633,9 \text{ kg/m}^3$ , i když Benc udává velmi nízkou hodnotu variačního koeficientu. Hodnota zjištěná v této práci se nachází v rozmezí hodnot udávaných odbornou literaturou. Recentní dub má hustotu  $660,44 \text{ kg/m}^3$ , dub období subfos M, který je datován po roce 1018, má hustotu ale  $645,13 \text{ kg/m}^3$ . Další je dub období subfos B z let 208 BC až 137 n. l. s hustotou  $609,57 \text{ kg/m}^3$ . A konečně nejstarší vzorky staré až 3145 let s hustotou  $583,16 \text{ kg/m}^3$ . Dalo by se tak snadno dospět k všeobecnému závěru, že se stářím se dubové dřevo postupně rozkládá a ztrácí na hmotnosti, potažmo na hustotě. Tato hypotéza je však snadno vyvratitelná měřeními dalších. Například Bednar a Fengel (1974) udávají měření dalších, Noack (1969) zjistil hustotu 600 starého dubového dřeva  $870 \text{ kg/m}^3$ , dále pan Dzbeňsky (1970) zjistil hustotu 900 let starého dřeva dubu  $723 \text{ kg/m}^3$ . Samotní autoři pak měli možnost zkoumat nejstarší nalezený dubový kmen vůbec, jehož stáří je určeno na 8500 let a zjistili, že má hustotu  $650 \text{ kg/m}^3$ . Proto je příliš jednoduché a zkratkovité myslet si, že se hustota s věkem stromu snižuje. Tato problematika je mnohem složitější a Kolář (2012) to celé shrnuje: „*Hustota subfossilního dubového dřeva se významně neliší od hustoty recentního dubu. Důležitou roli zde hraje např. stupeň degradace nebo množství minerálů usazených ve struktuře dřeva.*“

Bobtnání bylo prověřováno v intervalu od 0% vlhkosti po mez hygroscopicity. Nejstálejší byl recentní dub, který nabobtnal o necelých 16 % a nejvíce bobtnal subfossilní dub nejmladšího období (1000 let starý) a to průměrně o 22 %. Koeficient bobtnání tomu taktéž odpovídá. Kolář (2012) ve své disertační práci uvádí, že: „*Hodnoty radiálního, tangenciálního a objemového sesychání subfossilního dubu jsou přibližně dvojnásobné v porovnání s recentním*

*dubem. Na druhou stranu mechanické vlastnosti subfossilního dubu mají nižší hodnoty, než dub recentní. Ke stejným závěrům dospěli např. Bednar, Fengel (1974); Horský, Reinprecht (1986); Reinprecht et al. (2009). Tyto výsledky mohou být vysvětleny strukturou krystalické celulosy a ovlivněním kovalentních vazeb v podélném směru na rozdíl od slabších vodíkových vazeb v příčném směru. U žádné ze zkoumaných charakteristik není možné stanovit obecný trend závislosti na čase. Zde je důležité zmínit, že velikost degradace dřeva hraje podstatně důležitější roli, než čas uložení, jak uvádí např. Florian (1990) nebo Hedges (1990).“ Je tedy možné, že jiné vzorky z jiných kmenů subfossilního dubu by vykazovaly větší různorodost.*

## 7 ZÁVĚR

Bylo zjištěno, dřevo subfosilního dubu může být méně trvanlivé, než dřevo recentního dubu, ale ne vždy tomu tak musí být. Vůči outkovce pestré (*Trametes versicolor*) byl recentní dub zařazen do 1. třídy odolnosti (velmi trvanlivé) dle ČSN EN 350–1 a subfosilní dub v průměru do 2. třídy odolnosti (trvanlivé). V případě sírovce žlutooranžového (*Laetiporus sulphureus*) byl recentní dub zařazen do 2. třídy trvanlivosti (trvanlivé) a subfosilní dub všech skupin byl z většiny zařazen do 4. třídy trvanlivosti (málo trvanlivé). Poslední houba byla pórnatka placentová (*Poria placenta*). Vůči této houbě bílé hniloby bylo dubové dřevo nejméně odolné. Recentní dub byl zařazen do 3. třídy odolnosti (středně trvanlivé). Nejmladší období subfosilního dubu M bylo z 50 % středně trvanlivé a z 50 % málo trvanlivé. Skupiny B a W byly málo trvanlivé. Bylo zjištěno, že hustota se u vzorků, které byly měřeny v této práci, se stářím snižuje. Recentní dub má hustotu 660,44 kg/m<sup>3</sup>, dub období subfos M, který je datován po roce 1018, má hustotu ale 645,13 kg/m<sup>3</sup>. Další je dub období subfos B z let 208 BC až 137 n. l. s hustotou 609,57 kg/m<sup>3</sup>. A nejstarší vzorky z období subfos W staré až 3145 let s hustotou 583,16 kg/m<sup>3</sup>. Ale nelze to považovat za všeobecný trend, protože údaje s dalších měření nalezených v odborné literatuře to vyvracejí.

## 8 SUMMARY

It was investigated, that subfossil oak wood may be less durable than wood of recent oak, but not always it must be so. Recent oak wood was included in the 1st class resistance (highly durable) against wood destroying fungus *Trametes versicolor* according to EN 350–1. Subfossil oak wood was included in average to 2<sup>nd</sup> class resistance (durable). Recent oak wood was included in the 2<sup>nd</sup> class resistance (durable) against wood destroying fungus *Laetiporus sulphureus*. Subfossil oak wood was included in average to 4th class resistance. Last fungus was *Poria placenta*. Against his white rot fungus was oak wood the least resistant. Recent oak was relegated to third–class resistance. The youngest period of subfossil oak M was 50% in 3<sup>rd</sup> and 50% in 4<sup>th</sup> durable class. Groups B and W were in the 4<sup>th</sup> durable class. It was found that the density of samples which were measured in this study, decreases with age. Recent oak has a density of 660.44 kg/m<sup>3</sup>, oak period subfos M, which is dated after the year 1018, has a density of 645.13 kg/m<sup>3</sup>. Another oak period subfos B from 208 years BC to 137 AD, with a density of 609.57 kg/m<sup>3</sup> and the oldest samples from period subfos W to 3,145 years old with a density of 583.16 kg/m<sup>3</sup>. But it cannot be considered as a general trend, since were the data compared with other measurements found in the literature.



## 9 SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

BEDNAR, H., Fengel, D., 1974: Physikalische, chemische und strukturelle Eigenschaften von recentem und subfossilem Eichenholz. Holz als Roh- und Werkstoff, 32: 99–107.

*Biolib* [online]. 2010, poslední revize 13.6.2010 [cit. 2014–2–10]. Dostupný z WWW: <<http://www.biolib.cz/cz/taxonposition/id3458/>>

COOK, E.R., Kairiukštis, L.A. (Eds.), 1990. Methods of Dendrochronology: Applications in the Environmental Sciences. Kluwer Academic Publ., Dordrecht, p. 393.

ČERNÝ, Alois. Parazitické dřevokazné houby. 1.vyd. Praha: SZN, 1989, 99 s. ISBN 80–209–0090–x.

GOVORČIN, S., Sinkovic, T., 1995: Some physical and mechanical properties of the Bednja abonos. Drvna–Industrija, 46 (1): 9–14. ISSN 0012–6772

GRYC, V., VAVRČÍK, H., Stavba dřeva. In VOJÁČKOVÁ, B., a kol. *Základy arboristiky*. Brno: Mendelova univerzita v Brně, Lesnická a dřevařská fakulta, 2013, s. 5–21.

GUILLEY, E., J.P. CHARPENTIER, N. AYADI, G. SNAKKERS, G. NEPVEU, B. CHARRIER. Decay resistance against *Coriolus versicolor* in Sessile oak (*Quercus petraea* Liebl.): analysis of the between–tree variability and correlations with extraktives, tree growth and other basix wood properties.38. Publikováno online, Springer–Verlag, 2004, s. 539–554

HORÁČEK, Petr. Fyzikální a mechanické vlastnosti dřeva I. 1. vyd. Brno: Mendelova zemědělská a lesnická univerzita v Brně, 1998, 124 s. ISBN 80–7157–347–7.

HORSKÝ, D., REINPRECHT, L., Štúdia subfossilneho duboveho dreva. Vysoká škola lesnícka a drevárska Zvolen, 1986. 70 s.

HUMAR, M. a Thaler, N. Performance of oak, beech and spruce beams after more than 100 years in service. International Biodeterioration & Biodegradation. 2013, s. 305–310.

KOLÁŘ, Tomáš. Oak wood properties change in time on an Example of Subfossil Trunks: disertační práce. Brno: Mendelova univerzita v Brně, Lesnická a dřevařská fakulta, 2012  
Vedoucí disertační práce Michal Rybníček

KOLÁŘ, Tomáš. *Subfossilní a radiouhlíkové datování* [online]. Brno: Mendelova univerzita v Brně, Lesnická a dřevařská fakulta, 2012 [cit. 2014–2–11]. Dostupný z WWW:

<[https://akela.mendelu.cz/~xcepl/inobio/inovace/Dendrochronologie/subfossilni\\_drevo\\_a\\_radiouhlikove\\_datovani.pdf](https://akela.mendelu.cz/~xcepl/inobio/inovace/Dendrochronologie/subfossilni_drevo_a_radiouhlikove_datovani.pdf)>

KOLÁŘ, T., Kyncl, T., Rybníček, M., 2012: Oak chronology development in the Czech Republic and its teleconnection on a European scale. *Dendrochronologia* 30 (3): 243–248.

KRUTUL, D., a kol. Comparison of chemical composition of the fossil and recent oak wood. *Wood research*, Vol. 55 (3): 113–119

POŽGAJ, Alexander – CHOVANEC, Dušan – KURJATKO, Stanislav – BABIAK, Marian: *Štruktúra a vlastnosti dreva*. 2. vyd. Bratislava : Príroda, 1997. 485 s. ISBN 80–07–00960–4

PTÁČEK, Petr. *Ochrana dřeva*. 1. vyd. Praha: Grada, 2009, 95 s. ISBN 978–80–247–2326–6.

SVATONĚ, Josef. *Ochrana dřeva*. 1. vyd. Brno: Mendelova zemědělská a lesnická univerzita, 2000, 203 s. ISBN 80–7157–435–x.

ŠLEZINGEROVÁ, Jarmila a Libuše GANDELOVÁ. *Stavba dřeva*. 1. vyd. Brno: Mendelova zemědělská a lesnická univerzita v Brně, 2002, 187 s. ISBN 80–7157–636–0.

VAVRČÍK a kol. *Anatomická stavba dřeva* [online]. Brno: Mendelova univerzita v Brně, Lesnická a dřevařská fakulta, 2002 [cit. 2014–02–12]. Dostupný z WWW:

<[http://thuja.mendelu.cz/und/sites/default/files/multimedia/stavba\\_dreva/lexikon/makro/index.html?drevina=db](http://thuja.mendelu.cz/und/sites/default/files/multimedia/stavba_dreva/lexikon/makro/index.html?drevina=db)>

VAVRČÍK, H., Gryc, V., Rybníček, M., 2008: Variabilita vybraných fyzikálních a mechanických vlastností dřeva dubu letního. Vliv věku, poloměru kmene a výšky. 1st ed. Kostelec nad Černými lesy: Lesnická práce, s.r.o. 55 pp. ISBN 978–80–87154–18–2.

Zpráva o stavu lesa a lesního hospodářství ČR 2012 [online]. Praha: Ministerstvo zemědělství, 2013 [cit. 2014–2–11]. Dostupný z WWW:

<[http://eagri.cz/public/web/file/263114/Zprava\\_o\\_stavu\\_lesa\\_2012.pdf](http://eagri.cz/public/web/file/263114/Zprava_o_stavu_lesa_2012.pdf)>

ŽÁK, Jaroslav a Ladislav REINPRECHT. *Ochrana dřeva ve stavbě: odborná příručka pro stavebníky, investory, projektanty a architekty*. Vyd. 1. Praha: Arch, 1998, 95, [12] s. ISBN 80–86165–00–0.

Normy:

ČSN EN 350–1: Trvanlivost dřeva a materiálů na jeho bázi – Přírozená trvanlivost rostlého dřeva – Část 1: Návod na zkoušení a klasifikaci přírozené trvanlivosti dřeva 1996

ČSN EN 350–2: Trvanlivost dřeva a materiálů na jeho bázi – Přírozená trvanlivost rostlého dřeva – Část 2: Přírozená trvanlivost a impregnovatelnost vybraných dřevin důležitých v Evropě 1996

ČSN EN 113: Ochranné prostředky na dřevo – Zkušební metody pro stanovení ochranné účinnosti proti dřevokazným houbám Basidiomycetes – Stanovení hranice účinnosti 1998

ČSN 49 0126: Skúšky vlastností rastlého dreva – Metóda zisťovania napúčavosti 1988

## 10 PŘÍLOHY

Příloha č. 1 Kruskal–Wallisův test, mediánový test a vícenásobné porovnání hmotnostních úbytků outkovky pestré (*Trametes versicolor*)

Příloha č. 2 Kruskal–Wallisův test, mediánový test a vícenásobné porovnání hmotnostních úbytků sírovce žlutooranžového (*Laetiporus sulphureus*)

Příloha č. 3 Kruskal–Wallisův test, mediánový test a vícenásobné porovnání hmotnostních úbytků pórnatky placentové (*Poria placenta*)

Příloha č. 1 Kruskal–Wallisův test, mediánový test a vícenásobné porovnání hmotnostních úbytků outkovky pestré (*Trametes versicolor*)

| Kruskal-Wallisova ANOVA založ. na poř.; B (transformované)<br>Nezávislá (grupovací) proměnná : A<br>Kruskal-Wallisův test: H ( 6, N= 36) =21,19429 p =,0017 |     |                   |                  |                 |
|---|-----|-------------------|------------------|-----------------|
| Závislá:<br>B   | Kód | Počet<br>platných | Součet<br>pořadí | Prům.<br>Pořadí |
| Ws  | 1   | 5                 | 88,0000          | 17,6000         |
| Wk  | 2   | 5                 | 119,0000         | 23,8000         |
| Bs  | 3   | 5                 | 127,0000         | 25,4000         |
| Bk  | 4   | 5                 | 147,0000         | 29,4000         |
| Ms  | 5   | 5                 | 72,0000          | 14,4000         |
| Mk  | 6   | 5                 | 90,0000          | 18,0000         |
| R   | 7   | 6                 | 23,0000          | 3,8333          |

| Mediánový test, celk. medián = 8,89635; B (transformované)<br>Nezávislá (grupovací) proměnná : A<br>Chi-Kvadr. = 15,20000 sv = 6 p = ,0188 |                                   |                                   |                                  |                                  |                                   |                                   |                                   |           |
|--|-----------------------------------|-----------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|-----------|
| Závislá:<br>B  | Ws                                | Wk                                | Bs                               | Bk                               | Ms                                | Mk                                | R                                 | Celkem    |
| <= Medián:<br>očekáv<br>poz.-oč  | 2,000000<br>2,500000<br>-0,500000 | 2,000000<br>2,500000<br>-0,500000 | 1,000000<br>2,500000<br>1,500000 | 0,000000<br>2,500000<br>2,500000 | 4,000000<br>2,500000<br>1,500000  | 3,000000<br>2,500000<br>0,500000  | 6,000000<br>3,000000<br>3,000000  | 18,000000 |
| > Medián:<br>očekáv<br>poz.-oč   | 3,000000<br>2,500000<br>0,500000  | 3,000000<br>2,500000<br>0,500000  | 4,000000<br>2,500000<br>1,500000 | 5,000000<br>2,500000<br>2,500000 | 1,000000<br>2,500000<br>-1,500000 | 2,000000<br>2,500000<br>-0,500000 | 0,000000<br>3,000000<br>-3,000000 | 18,000000 |
| Ikem: oček   | 5,000000                          | 5,000000                          | 5,000000                         | 5,000000                         | 5,000000                          | 5,000000                          | 6,000000                          | 36,000000 |

| Vícenásobné porovnání z' hodnot; B (transformované)<br>Nezávislá (grupovací) proměnná : A<br>Kruskal-Wallisův test: H ( 6, N= 36) =21,19429 p =,0017 |                |                |                |                |                |                |               |
|--|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|---------------|
| Závislá:<br>B  | Ws<br>R:17,600 | Wk<br>R:23,800 | Bs<br>R:25,400 | Bk<br>R:29,400 | Ms<br>R:14,400 | Mk<br>R:18,000 | R<br>R:3,8333 |
| Ws   |                | 0,930465       | 1,170585       | 1,770886       | 0,480240       | 0,060030       | 2,157901      |
| Wk   | 0,930465       |                | 0,240120       | 0,840420       | 1,410700       | 0,870435       | 3,129741      |
| Bs   | 1,170585       | 0,240120       |                | 0,600300       | 1,650820       | 1,110555       | 3,380538      |
| Bk   | 1,770886       | 0,840420       | 0,600300       |                | 2,251120       | 1,710850       | 4,007531      |
| Ms   | 0,480240       | 1,410700       | 1,650820       | 2,251120       |                | 0,540270       | 1,656307      |
| Mk   | 0,060030       | 0,870435       | 1,110555       | 1,710850       | 0,540270       |                | 2,220601      |
| R  | 2,157901       | 3,129741       | 3,380538       | 4,007531       | 1,656307       | 2,220601       |               |

| Vícenásobné porovnání p hodnot (oboustr.); B (transformované)<br>Nezávislá (grupovací) proměnná : A<br>Kruskal-Wallisův test: H ( 6, N= 36) =21,19429 p =,0017 |                |                |                |                |                |                |               |
|--|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|---------------|
| Závislá:<br>B  | Ws<br>R:17,600 | Wk<br>R:23,800 | Bs<br>R:25,400 | Bk<br>R:29,400 | Ms<br>R:14,400 | Mk<br>R:18,000 | R<br>R:3,8333 |
| Ws   |                | 1,000000       | 1,000000       | 1,000000       | 1,000000       | 1,000000       | 0,649646      |
| Wk   | 1,000000       |                | 1,000000       | 1,000000       | 1,000000       | 1,000000       | 0,036742      |
| Bs   | 1,000000       | 1,000000       |                | 1,000000       | 1,000000       | 1,000000       | 0,015192      |
| Bk   | 1,000000       | 1,000000       | 1,000000       |                | 0,511929       | 1,000000       | 0,001288      |
| Ms   | 1,000000       | 1,000000       | 1,000000       | 0,511929       |                | 1,000000       | 1,000000      |
| Mk   | 1,000000       | 1,000000       | 1,000000       | 1,000000       | 1,000000       |                | 0,553938      |
| R  | 0,649646       | 0,036742       | 0,015192       | 0,001288       | 1,000000       | 0,553938       |               |

Příloha č. 2 Kruskal–Wallisův test, mediánový test a vícenásobné porovnání hmotnostních úbytků sírovce žlutooranžového (*Laetiporus sulphureus*)

| Kruskal-Wallisova ANOVA založ. na poř.; B (transformované)<br>Nezávislá (grupovací) proměnná : A<br>Kruskal-Wallisův test: H ( 6, N= 36) =19,07297 p =,0040 |     |                   |                  |                 |
|---|-----|-------------------|------------------|-----------------|
| Závislá:<br>B   | Kód | Počet<br>platných | Součet<br>pořadí | Prům.<br>Pořadí |
| Ws  | 1   | 5                 | 91,0000          | 18,20000        |
| Wk  | 2   | 5                 | 135,0000         | 27,00000        |
| Bs  | 3   | 5                 | 121,0000         | 24,20000        |
| Bk  | 4   | 5                 | 124,0000         | 24,80000        |
| Ms  | 5   | 5                 | 96,0000          | 19,20000        |
| Mk  | 6   | 5                 | 78,0000          | 15,60000        |
| R   | 7   | 6                 | 21,0000          | 3,50000         |

| Mediánový test, celk. medián = 26,9914; B (transformované)<br>Nezávislá (grupovací) proměnná : A<br>Chi-Kvadr. = 10,40000 sv = 6 p = ,1088 |           |           |           |          |          |           |           |          |
|--|-----------|-----------|-----------|----------|----------|-----------|-----------|----------|
| Závislá:<br>B  | Ws        | Wk        | Bs        | Bk       | Ms       | Mk        | R         | Celkem   |
| <= Medián: po<br>očekáv  | 2,000000  | 1,000000  | 1,000000  | 2,000000 | 3,000000 | 3,000000  | 6,000000  | 18,00000 |
| poz.-oč  | -0,500000 | -1,500000 | -1,500000 | 0,500000 | 0,500000 | 0,500000  | 3,000000  |          |
| > Medián: poz.<br>očekáv   | 3,000000  | 4,000000  | 4,000000  | 3,000000 | 2,000000 | 2,000000  | 0,000000  | 18,00000 |
| poz.-oč  | 0,500000  | 1,500000  | 1,500000  | 0,500000 | 0,500000 | -0,500000 | -3,000000 |          |
| Celkem: oček   | 5,000000  | 5,000000  | 5,000000  | 5,000000 | 5,000000 | 5,000000  | 6,000000  | 36,00000 |

| Vícenásobné porovnání z' hodnot; B (transformované)<br>Nezávislá (grupovací) proměnná : A<br>Kruskal-Wallisův test: H ( 6, N= 36) =19,07297 p =,0040 |                |                |                |                |                |                |               |
|--|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|---------------|
| Závislá:<br>B  | Ws<br>R:18,200 | Wk<br>R:27,000 | Bs<br>R:24,200 | Bk<br>R:24,800 | Ms<br>R:19,200 | Mk<br>R:15,600 | R<br>R:3,5000 |
| Ws   |                | 1,320660       | 0,900450       | 0,990495       | 0,150075       | 0,390195       | 2,304200      |
| Wk   | 1,320660       |                | 0,420210       | 0,330165       | 1,170585       | 1,710855       | 3,683585      |
| Bs   | 0,900450       | 0,420210       |                | 0,090045       | 0,750375       | 1,290645       | 3,244685      |
| Bk   | 0,990495       | 0,330165       | 0,090045       |                | 0,840420       | 1,380690       | 3,338735      |
| Ms   | 0,150075       | 1,170585       | 0,750375       | 0,840420       |                | 0,540270       | 2,460945      |
| Mk   | 0,390195       | 1,710855       | 1,290645       | 1,380690       | 0,540270       |                | 1,896650      |
| R  | 2,304200       | 3,683585       | 3,244685       | 3,338735       | 2,460945       | 1,896650       |               |

| Vícenásobné porovnání p hodnot (oboustr.); B (transformované)<br>Nezávislá (grupovací) proměnná : A<br>Kruskal-Wallisův test: H ( 6, N= 36) =19,07297 p =,0040 |                |                |                |                |                |                |               |
|--|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|---------------|
| Závislá:<br>B  | Ws<br>R:18,200 | Wk<br>R:27,000 | Bs<br>R:24,200 | Bk<br>R:24,800 | Ms<br>R:19,200 | Mk<br>R:15,600 | R<br>R:3,5000 |
| Ws   |                | 1,000000       | 1,000000       | 1,000000       | 1,000000       | 1,000000       | 0,445440      |
| Wk   | 1,000000       |                | 1,000000       | 1,000000       | 1,000000       | 1,000000       | 0,004830      |
| Bs   | 1,000000       | 1,000000       |                | 1,000000       | 1,000000       | 1,000000       | 0,024692      |
| Bk   | 1,000000       | 1,000000       | 1,000000       |                | 1,000000       | 1,000000       | 0,017674      |
| Ms   | 1,000000       | 1,000000       | 1,000000       | 1,000000       |                | 1,000000       | 0,290995      |
| Mk   | 1,000000       | 1,000000       | 1,000000       | 1,000000       | 1,000000       |                | 1,000000      |
| R  | 0,445440       | 0,004830       | 0,024692       | 0,017674       | 0,290995       | 1,000000       |               |

Příloha č. 3 Kruskal–Wallisův test, mediánový test a vícenásobné porovnání hmotnostních úbytků pórnatky placentové (Poria placenta)

| Kruskal-Wallisova ANOVA založ. na poř.; B (transformované)<br>Nezávislá (grupovací) proměnná : A<br>Kruskal-Wallisův test: $H(6, N=36) = 17,78168$ $p = ,0068$ |     |                   |                  |                 |
|--|-----|-------------------|------------------|-----------------|
| Závislá:<br>B  | Kód | Počet<br>platných | Součet<br>pořadí | Prům.<br>Pořadí |
| Ws   | 1   | 5                 | 128,0000         | 25,6000         |
| Wk   | 2   | 5                 | 102,0000         | 20,4000         |
| Bs   | 3   | 5                 | 116,0000         | 23,2000         |
| Bk   | 4   | 5                 | 132,0000         | 26,4000         |
| Ms   | 5   | 5                 | 81,0000          | 16,2000         |
| Mk   | 6   | 5                 | 82,0000          | 16,4000         |
| R  | 7   | 6                 | 25,0000          | 4,1666          |

| Mediánový test, celk. medián = 19,2033; B (transformované)<br>Nezávislá (grupovací) proměnná : A<br>Chi-Kvadr. = 18,40000 $sv = 6$ $p = ,0053$ |         |         |         |         |         |         |         |         |
|--|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| Závislá:<br>B  | Ws      | Wk      | Bs      | Bk      | Ms      | Mk      | R       | Celkem  |
| <= Medián: po  | 0,0000  | 2,0000  | 1,0000  | 1,0000  | 4,0000  | 4,0000  | 6,0000  | 18,0000 |
| očekáv.  | 2,5000  | 2,5000  | 2,5000  | 2,5000  | 2,5000  | 2,5000  | 3,0000  |         |
| poz.-oč  | -2,5000 | -0,5000 | -1,5000 | -1,5000 | 1,5000  | 1,5000  | 3,0000  |         |
| > Medián: po   | 5,0000  | 3,0000  | 4,0000  | 4,0000  | 1,0000  | 1,0000  | 0,0000  | 18,0000 |
| očekáv.  | 2,5000  | 2,5000  | 2,5000  | 2,5000  | 2,5000  | 2,5000  | 3,0000  |         |
| poz.-oč  | 2,5000  | 0,5000  | 1,5000  | 1,5000  | -1,5000 | -1,5000 | -3,0000 |         |
| Celkem: oček   | 5,0000  | 5,0000  | 5,0000  | 5,0000  | 5,0000  | 5,0000  | 6,0000  | 36,0000 |

| Vícenásobné porovnání z' hodnot; B (transformované)<br>Nezávislá (grupovací) proměnná : A<br>Kruskal-Wallisův test: $H(6, N=36) = 17,78168$ $p = ,0068$ |                |                |                |                |                |                |                |
|---|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| Závislá:<br>B   | Ws<br>R:25,600 | Wk<br>R:20,400 | Bs<br>R:23,200 | Bk<br>R:26,400 | Ms<br>R:16,200 | Mk<br>R:16,400 | R<br>R:4,1667  |
| Ws  |                | 0,78039        | 0,36018        | 0,12006        | 1,41070        | 1,38069        | <b>3,35963</b> |
| Wk  | 0,78039        |                | 0,42021        | 0,90045        | 0,63031        | 0,60030        | 2,54454        |
| Bs  | 0,36018        | 0,42021        |                | 0,48024        | 1,05052        | 1,02051        | 2,98344        |
| Bk  | 0,12006        | 0,90045        | 0,48024        |                | 1,53076        | 1,50075        | <b>3,48503</b> |
| Ms  | 1,41070        | 0,63031        | 1,05052        | 1,53076        |                | 0,03001        | 1,88620        |
| Mk  | 1,38069        | 0,60030        | 1,02051        | 1,50075        | 0,03001        |                | 1,91755        |
| R   | <b>3,35963</b> | 2,54454        | 2,98344        | <b>3,48503</b> | 1,88620        | 1,91755        |                |

| Vícenásobné porovnání p hodnot (oboustr.); B (transformované)<br>Nezávislá (grupovací) proměnná : A<br>Kruskal-Wallisův test: $H(6, N=36) = 17,78168$ $p = ,0068$ |                |                |                |                |                |                |                |
|---|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| Závislá:<br>B   | Ws<br>R:25,600 | Wk<br>R:20,400 | Bs<br>R:23,200 | Bk<br>R:26,400 | Ms<br>R:16,200 | Mk<br>R:16,400 | R<br>R:4,1667  |
| Ws  |                | 1,00000        | 1,00000        | 1,00000        | 1,00000        | 1,00000        | <b>0,01638</b> |
| Wk  | 1,00000        |                | 1,00000        | 1,00000        | 1,00000        | 1,00000        | 0,22978        |
| Bs  | 1,00000        | 1,00000        |                | 1,00000        | 1,00000        | 1,00000        | 0,05985        |
| Bk  | 1,00000        | 1,00000        | 1,00000        |                | 1,00000        | 1,00000        | <b>0,01033</b> |
| Ms  | 1,00000        | 1,00000        | 1,00000        | 1,00000        |                | 1,00000        | 1,00000        |
| Mk  | 1,00000        | 1,00000        | 1,00000        | 1,00000        | 1,00000        |                | 1,00000        |
| R   | <b>0,01638</b> | 0,22978        | 0,05985        | <b>0,01033</b> | 1,00000        | 1,00000        |                |