

Mendelova univerzita v Brně

Lesnická a dřevařská fakulta

Ústav nauky o dřevě

Vliv pozice po poloměru kmene na přirozenou trvanlivost dřeva
dubu

Bakalářská práce

2015/2016

Michal Marek

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem práci: Vliv pozice po poloměru kmene na přirozenou trvanlivost dřeva dubu zpracoval/a samostatně a veškeré použité prameny a informace uvádím v seznamu použité literatury. Souhlasím, aby moje práce byla zveřejněna v souladu s § 47b Zákona c. 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 c. 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

Poděkování

Děkuji všem, kteří se jakýmkoliv způsobem zasloužili o vznik této práce, zejména panu Ing. Janu Baarovi, Ph.D. za odborné a trpělivé vedení mé bakalářské práce, ochotu a pomoc při práci v laboratoři a poskytnutí potřebných materiálů.

Abstrakt

Jméno: Michal Marek

Název: Vliv pozice po poloměru kmene na přirozenou trvanlivost dřeva dubu

Tato bakalářská práce se zaměřuje na přirozenou trvanlivost dřeva dubu a její variabilitu po poloměru kmene. Trvanlivost byla stanovena jako procentuální hmotnostní úbytek dle modifikované normy ČSN EN 113 po napadení houbou bílého tlení outkovkou pestrou (*Trametes versicolor*) oproti původnímu stavu. Kromě samotné trvanlivosti byl zkoumán její vztah k barvě dřeva.

Byla zjištěna průměrná barva dřeva dubu $L^* = 67,33$, $a^* = 7,71$, $b^* = 21,51$. Většina vzorků byla dle ČSN EN 350–1,2 zařazena do první třídy trvanlivosti (velmi trvanlivé). Korelační analýzou nebyla zjištěna vzájemná závislost barvy dřeva dubu a jeho přirozené trvanlivosti. Analýza rozptylu a Tukeyho test vícenásobného porovnání prokázaly statisticky významné rozdíly v trvanlivosti dřeva po poloměru kmene. Nejméně trvanlivá byla běl (průměrný hmotnostní úbytek činil 28,73 %), rozdíly v hmotnostních úbytcích mezi vnějším (3,97 %) a juvenilním jádrem (9,44 %) však byly také značné.

Klíčová slova: *Quercus* sp., *Trametes versicolor*, trvanlivost dřeva, barva dřeva, CIEL*a*b*

Abstract

Name: Michal Marek

Title: Influence of the position on tree trunk radius on the natural durability of oak tree wood

The Bachelor thesis is focused on the natural durability of oak tree wood and its variability on the tree trunk radius. The durability was defined as a percentual loss of mass after a fungal attack by the white-decay fungus polypore mushroom (*Trametes versicolor*) in comparison to the original condition. In addition to the durability itself, its dependence on the wood colour was examined.

The average colour of English oak wood $L^* = 67,33$, $a^* = 7,71$, $b^* = 21,51$ was found. In compliance with the standard EN 350–1,2, most of the of samples were included into the first durability class (very durable). The correlation analysis did not detect any mutual dependence between the oak wood colour and it natural durability. The analysis of variance and Tukey's multiple comparison test proved statistically significant differences in wood durability on the trunk radius. The less durable was sapwood (the average mass loss amounted to 28,73 %), nevertheless, the differences in the mass losses between the outer wood (3,97 %) and the juvenile wood (9,44 %) were also considerable.

Key words: *Quercus* sp., *Trametes versicolor*, wood durability, wood colour, CIEL*a*b*

1	Úvod.....	1
2	Cíl práce.....	2
3	Literární přehled	3
3.1	Přirozená trvanlivost dřeva	3
3.2	Stavba dřeva.....	3
3.2.1	Molekulární hladina	3
3.2.1.1	Celulóza.....	3
3.2.1.2	Hemicelulózy.....	4
3.2.1.3	Lignin	4
3.2.1.4	Doprovodné látky	5
3.2.2	Morfologická a geometrická hladina	5
3.2.2.1	Morfologická hladina	5
3.2.2.2	Geometrická hladina.....	5
3.3	Třídy přirozené trvanlivosti	6
3.3.1	Trvanlivost dubu	7
3.4	Faktory ovlivňující trvanlivost.....	8
3.4.1	Extraktivní látky	8
3.4.1.1	Polymerizované polyfenoly.....	8
3.4.2	Poloměr kmene	9
3.5	Degradace dřevokaznými houbami	9
3.5.1	Formy a mechanismy biodegradace	9
3.5.1.1	Enzymy.....	10
3.5.1.2	Biodegradace celulózy.....	10
3.5.1.3	Biodegradace ligninu.....	11
3.5.1.4	Houby hnědého tlení.....	11
3.5.1.5	Houby bílého tlení	11

3.5.1.6	Outkovka pestrá.....	12
3.6	Barva dřeva.....	13
3.6.1	Barva dubu.....	13
3.6.2	Vztah mezi barvou a trvanlivostí dřeva.....	14
4	Materiál a metodika.....	15
4.1	Materiál.....	15
4.1.1	Zkušební vzorky.....	15
4.1.2	Houbová kultura.....	16
4.2	Metodika.....	16
4.2.1	Příprava vzorků.....	16
4.2.2	Měření barvy CIELAB.....	16
4.2.3	Zkouška trvanlivosti.....	17
4.2.4	Statistické vyhodnocení.....	19
5	Výsledky.....	20
5.1	Barva dubu v systému CIEL*a*b*.....	20
5.2	Trvanlivost jádrového dřeva dubu.....	21
5.3	Změna trvanlivosti dřeva dubu po poloměru kmene.....	22
5.4	Vztah přirozené trvanlivosti a barvy dřeva dubu.....	24
6	Diskuze.....	26
6.1	Barva dřeva dubu.....	26
6.2	Trvanlivost jádrového dřeva dubu.....	26
6.3	Změna trvanlivosti dřeva dubu po poloměru kmene.....	26
6.4	Vztah přirozené trvanlivosti a barvy dřeva dubu.....	27
7	Závěr.....	29
8	Summary.....	30
9	Použitá literatura.....	31

1 ÚVOD

Dřevo dubu se na našem území využívalo už od pradávna, například ke stavbě roubenek na Jesenicku. Léta platilo, že se jedná o trvanlivý materiál, který vydrží mnoho let i v náročných podmínkách ve styku se zemí. Dřevo je však přírodní materiál, který se vyznačuje rozdílnými parametry nejen mezi různými stromy, ale i v rámci jednoho kmene. Jeho vlastnosti můžeme předem více či méně jen odhadovat. K tomu slouží několik druhů zkoušek trvanlivosti, které jsou popsány v normách. Jedná se především o laboratorní a polní zkoušky. Polní zkoušky vykazují větší spolehlivost v odhadu předpokládaných vlastností, jsou však prostorově náročné a mohou trvat několik let. Jejich přesnost je dána především reálnějšími podmínkami, se kterými se materiál může při použití v praxi setkat, jelikož, na rozdíl od laboratorních zkoušek, zde působí několik degradačních činitelů najednou a proces rozkladu může být značně urychlen. Největší nevýhodou polních zkoušek je jejich nemožné zajištění pokaždé stejných podmínek, pro srovnávací účely je tedy praktičtější užít některé ze zkoušek laboratorních.

Přirozenou trvanlivost dřeva nejvíce ovlivňuje obsah extraktivních látek, jež jsou mj. zodpovědné i za jeho barvu. Účinek extraktivních látek spočívá v jejich toxicitě pro biotické škůdce, závisí však na jejich koncentraci ve dřevě, která se v rámci stromu mění.

Poslední dobou pozorujeme značné rozdíly v kvalitě dubového dřeva, což je dáno mnoha známými či méně známými faktory, mezi něž patří kupříkladu poloha stanoviště, jeho nadmořská výška či rychlost růstu. Vzniká tedy požadavek na co nejjednodušší a rychlé hodnocení předpokládané trvanlivosti tohoto dřeva, ke kterému by mohlo být užito i měření barvy spektrofotometry.

2 CÍL PRÁCE

Hlavním úkolem této práce bylo experimentálně stanovit přirozenou trvanlivost dřeva dubu a zjistit jak se mění po poloměru kmene.

Dalším cílem bylo změřit barvu a statisticky vyhodnotit vztah mezi barvou a trvanlivostí dřeva.

3 LITERÁRNÍ PŘEHLED

3.1 *Přirozená trvanlivost dřeva*

Trvanlivost dřeva závisí na jeho struktuře a daných expozičních podmínkách. Na proces degradace dřeva biotickými i abiotickými činiteli mají významný vliv jednotlivé strukturální hladiny dřeva – molekulární (chemická stavba), anatomická a morfologická (mikroskopická stavba) a geometrická (makroskopická stavba) (Reinprecht, 1991).

3.2 *Stavba dřeva*

3.2.1 Molekulární hladina

Buněčné stěny dřeva jsou tvořeny třemi hlavními polymerními složkami – celulózou (43-52 % hmotnosti dřeva), hemicelulózami (20-30 %) a ligninem (listnáče ≈ 20 %, jehličnany ≈ 30 %). Kromě těchto základních látek obsahuje dřevo v menším množství také doprovodné látky, které mohou ovlivňovat např. barvu, ale i odolnost vůči biotickému napadení dřeva.

3.2.1.1 *Celulóza*

Celulóza tvoří základní výztužný prvek buněčné stěny dřeva. Jedná se o lineární polymer složený ze dvou β -D-glukopyranózových jednotek spojených (1-4)- β -D-glukozidovou vazbou (Reinprecht, 1997). Čím delší je polymerový řetězec celulózy, tím větší je pevnost dřeva (Požgaj et al, 1987). Makromolekuly celulózy se ve dřevě nachází v amorfní a krystalické formě. Krystalická mřížka vzniká dostatečným přiblížením řetězců k sobě za pomoci vodíkových můstků a Van der Waalsových sil. Celulóza se nachází v celém průřezu buněčné stěny, především v S_2 vrstvě sekundární stěny (Reinprecht, 1997).

Čtyřicet paralelně orientovaných řetězců celulózy vytváří elementární fibrilu (Mühlethaler, 1967). Fibrily v jednotlivých vrstvách se liší orientací (úhlem) k ose buňky, což má rozhodující vliv na pevnost dřeva a jeho anizotropní chování. Nejmenší úhel s osou buňky svírají fibrily vrstvy S_2 a nejvíce tedy ovlivňují pevnost dřeva v tahu podél vláken.

Krystalická celulóza je odolnější vůči degradačním procesům oproti amorfni. Prostup enzymů krystalickou mřížkou je obtížnější, protože mezi řetězci celulózy se zde nachází mnohem méně volných prostor.

Transport degradačních látek je ovlivněn také prostory mezi fibrilami (Reinprecht, 1997).

3.2.1.2 Hemicelulózy

Druhou sacharidickou složkou dřeva jsou větvené heteropolysacharidy hemicelulózy, složené z D-xylózy, D-manózy, L-arabinózy, D-glukózy, D-galaktózy a D-glukoronové kyseliny. Ty mohou být také acetylované nebo metylované (Reinprecht, 1997).

V porovnání s celulózou mají hemicelulózy menší relativní molekulovou hmotnost a tvoří kratší řetězce (Požgaj et al, 1987). Základní lineární kostra hemicelulóz vzniká obvykle za pomoci 1,4- β -vazeb, s výjimkou D-galaktózy s 1,3- β -vazbami.

Hemicelulózy v jehličnatých druzích dřeva jsou především typu mananů, v listnatých typu xylanů. Nacházejí se spolu s ligninem v mezifibrilárních prostorech buněčných stěn a nejvíce jsou zastoupeny v S₃ vrstvě. S ligninem jsou vázány i kovalentními vazbami. Zpravidla platí, že jsou relativně nejméně stabilním polymerem dřeva vůči rozkladným účinkům většiny degradačních činitelů (Reinprecht, 1997).

3.2.1.3 Lignin

Prostorový řetězově rozvětvený amorfni polymer lignin ve dřevě spolu s hemicelulózami spojuje fibrily a rostlinným pletivům dává tuhost (Reinprecht, 1997). Skládá se z fenylypropanových jednotek, které jsou různě substituované na jádře a bočním řetězci (Požgaj et al, 1987). Základní strukturální jednotka může být substituovaná – např. připojením jedné metoxylové skupiny na aromatické jádro se vytváří guajacylové jednotky, připojením dvou těchto skupin se tvoří syringylové jednotky. Listnatá dřeva obsahují proměnlivý podíl guajacylového a syringylového ligninu, v jehličnanech se vyskytuje především guajacylový lignin. Lignin v buněčné stěně snižuje vstup vody a zvyšuje její odolnost proti biotickému napadení, je lokalizován ve všech vrstvách, především v primární stěně a střední lamelle buněčné stěny.

Pro lignin je typická malá oxidační stabilita, typická je malá odolnost např. vůči fotooxidaci vlivem UV záření a kyslíku (Reinprecht, 1997).

3.2.1.4 *Doprovodné látky*

Doprovodné látky ve dřevě jsou většinou nízkomolekulární, rozpustné v rozpouštědlech a je možné je oddělit od hlavních složek dřeva.

Dělíme je na organické a anorganické. Mezi organické patří sacharidy, fenoly, terpeny, acyklické kyseliny, alkoholy a bílkoviny. Dále může dřevo obsahovat například cyklitoly, aldehydy a alkaloidy (Požgaj et al, 1987).

3.2.2 Morfologická a geometrická hladina

3.2.2.1 *Morfologická hladina*

Tato hladina definuje různé typy buněk a jejich rozložení v letokruzích dřeva. Spolu s anatomicou a strukturální hladinou dřeva ovlivňuje hlavně průběh transportních procesů (enzymů, vody a vodorozpustných reaktantů, agresivních činidel, kyslíku, hořlavých plynů ad.), které jsou součástí procesů degradace dřeva. Napadení dřeva je tím snazší, čím je větší jeho pórovitost a propojenost makrokapilár, především pokud má dřevo větší hustotu a zároveň jsou jeho buňky minimálně propojené perforacemi a ztenčeninami (Reinprecht, 1997).

Dřevo jehličnanů se skládá hlavně z širších jarních tracheid, jež mají vodivou funkci a užších letních tracheid, které mají funkci pevnostní. Tracheidy jsou vzájemně propojené dvojtečkami, které mohou být při sušení nevratně uzavřeny (Wagenführ, 1989). Zásobní pletiva ve dřevě jsou tvořena parenchymatickými buňkami a jsou nejsnáze přístupná ataku hub a bakterií.

Morfologická stavba dřeva listnáčů je v porovnání s jehličnany komplikovanější. Jednotlivé funkce jsou rozděleny do většího množství morfologických elementů. Vodivou funkci plní cévy, pevnostní libriformní vlákna a zásobní parenchymatické buňky. Parenchymatické buňky jsou uspořádané podélně i příčně k ose kmene a jsou obvykle nejpřístupnější bioatakům (Reinprecht, 1997).

3.2.2.2 *Geometrická hladina*

Tento parametr ovlivňuje zejména formu a intenzitu prostupu degradačního činitele do dřeva. Jedná se o velikost, tvar, kvalitu povrchu; podíl čelních, radiálních a tangenciálních ploch; podíl běli a jádra, jarního a letního dřeva; popř. přítomnost nehomogenních prvků jako jsou suky, trhliny, tahové či tlakové dřevo apod.

Obecně platí, že čím větší je povrch ku objemu, drsnější povrch, větší podíl čelních ploch, větší podíl bělí nebo jarního dřeva, je dřevěný prvek náchylnější degradačnímu procesu (Reinprecht, 1997).

3.3 Třídy přirozené trvanlivosti

Jak již bylo zmíněno výše, odolnost zpracovaného dřeva závisí na jeho struktuře a expozičních podmínkách (zejména na vlhkosti a teplotě).

Všeobecně platí, že bělové dřevo je v porovnání s jádrovým náchylnější na biodegradaci. Mezi hlavní důvody tohoto jevu patří větší obsah lehce stravitelných látek – cukrů, škrobu, aminokyselin a bílkovin. Z těchto látek dokáže získávat potravu mnoho druhů bakterií, hub i hmyzu, včetně druhů, jež nedokážou rozkládat ligninosacharidický komplex buněčných stěn dřeva. Jádrové dřevo některých dřevin (dub, akát, teak, eukalyptus, tis, modřín, ...) navíc oproti bělovému často obsahuje pro houby, bakterie i živočichy toxické látky typu terpenů, fenolů, alkaloidů aj., které jejich degradační aktivity znemožňují.

Data o přirozené trvanlivosti dřeva jsou celosvětově cíleně shromažďována na základě praxe, či polních nebo laboratorních zkoušek.

Přehled trvanlivosti bělového a jádrového dřeva jednotlivých dřevin můžeme nalézt přehledně uspořádané v tabulkách normy ČSN EN 350-1,2. Třídy odolnosti vůči houbám jsou definovány čísly od 1 do 5 (1 – velmi trvanlivé, 2 – trvanlivé, 3 – středně trvanlivé, 4 – málo trvanlivé, 5 – netrvanlivé). Dále se norma zabývá odolností vůči hmyzu, mořským organismům a impregnovatelností dřeva (Reinprecht, 1997).

Tab. 1 Zatřídění přirozené trvanlivosti dřeva podle ČSN EN 350–1,2 dle hmotnostních úbytků zjištěných laboratorní zkouškou podle ČSN EN 113

Třída odolnosti podle ČSN EN 350-1,2		Průměrný hmotnostní úbytek zkušebních těles zjištěný zkouškou podle ČSN EN 113 [%]
Čís. označení	Slovní vyjádření	Při úbytku referenčních těles 40 %
1	velmi trvanlivé	< 6,0
2	trvanlivé	(6,0; 12,0)
3	středně trvanlivé	(12,0; 24,0)
4	málo trvanlivé	(24,0; 36,0)
5	netrvanlivé	> 36,0

Tab. 2 Třídy trvanlivosti vybraných dřevin dle ČSN EN 350-2 a jejich odhadovaná trvanlivost (tzb-info.cz)

Název dřeviny	Klasifikace přirozené trvanlivosti dle ČSN EN 350-1,2	Odhad trvanlivosti v třídě použití 4 [rok]
Borovice lesní	3-4 *)	6-15 *)
Borovice vejmutovka	4 *)	6-10 *)
Douglaska	3	10-15
Jedle	4	6-10
Modřín	3 *)	10-15 *)
Smrk ztepilý	4	6-10
Buk lesní	5	2-6
Dub	2 *)	15-25 *)
Teak	1-3	více než 10
Pozn.: *) údaje platí pro jádrové dřevo, bělové je klasifikováno třídou odolnosti 5 (trvanlivost menší než 6 let).		

3.3.1 Trvanlivost dubu

Jádrové dřevo dubu letního (*Quercus robur L.*) stejně jako dubu zimního (*Quercus petraea*) jsou zařazeny jako „trvanlivé“ druhy dřeva podle evropské normy EN 350–2 (1994). Výsledky několika laboratorních a polních zkoušek však poukazují na značné rozdíly v reálné trvanlivosti oproti normě, ale i mezi jednotlivými druhy zkoušek (Meyer et al, 2014). Bylo prokázáno, že za trvanlivostí dubového dřeva stojí především elagotaniny, jejichž množství se mezi jednotlivými stromy, ale i v rámci stromu mění (Guilley et al, 2004). Dle Mosedale et al (1996) je množství elagotaniinů ve dřevě je silně ovlivněno geneticky a v jádrovém dřevě se mění s jeho stářím.

U dubu zimního (*Quercus petraea*) byl prokázán pokles trvanlivosti po poloměru kmene od vnějšího jádra směrem k vnitřnímu (Guilley et al, 2004). Ve stejné studii bylo při použití outkovky pestré (*Trametes versicolor*) více než 60 % vzorků zařazeno dle normy EN 350–2 do třídy 1 (velmi trvanlivé), vykazovaly tedy vyšší než normovou trvanlivost a při použití v exteriéru by teoreticky nemusely být chemicky chráněny. To ovšem vyvrací Meyer et al (2014) použitím houby *Donkiopora expansa* s daleko většími hmotnostními úbytky. Použitím půdních mikroorganismů bylo dosaženo dokonce zařazení do třídy trvanlivosti 5 (netrvanlivé).

Extraktiva obsažená v dubu mohou být navíc ze dřeva během provozu vylouhována (Aloui, 2004) a trvanlivost se tak ještě dále snižuje. Tento jev může být omezen, pokud byly v cévách dřeva vytvořeny thyly, jež omezují distribuci vody dřevem (Požgaj et al, 1997). Rovněž bylo zjištěno, že obsah extraktiv ve dřevě postupně klesá s jeho stářím,

pravděpodobně vlivem sekundárních metabolismů ve dřevě, ačkoliv mechanické vlastnosti se nemění (Thaler a Humar, 2013).

Trvanlivost dřeva dubu můžeme odhadovat také z šířky letokruhů a hustoty. Dřevo dubu s velmi úzkými letokruhy a nízkou hustotou je svou trvanlivostí srovnatelné s netrvanlivým dřevem buku (Humar et al, 2008).

3.4 Faktory ovlivňující trvanlivost

3.4.1 Extraktivní látky

Za extraktivní látky jsou považovány doprovodné složky dřeva bez konstrukční funkce ve struktuře buněčných stěn nebo uvnitř lumenů buněk.

V bělí rostoucích stromů jsou kromě mrtvých buněk přítomné i buňky živé. Nejdelsí životaschopnost si dokáží zachovat především vertikální parenchymatické buňky a horizontální dřevové paprsky s vysokým obsahem lehce degradovatelných zásobních látek a minerálů (Holan, 2008).

Značný počet dřevin v určitém stádiu růstu tvoří symetricky ke dřeni ve vnitřních zónách jádro. To obsahuje výrazně menší podíl zásobních látek a minerálů, které byly během růstu spotřebovány nebo přeměněny na jádrové látky různé struktury, často s biocidním účinkem vůči houbám a hmyzu. Jádro je obvykle tmavší než běl a jeho tvorba je ovlivněna geneticky i prostředím růstu stromu (Reinprecht, 1997).

Jádro může být zaměněno za jádro nepravé (u buku, javoru), které však není tvarově pravidelné, nemá jeho vlastnosti a vzniká vniknutím vzduchu s mikroorganizmy do živého dřeva důsledkem poranění, mrazem apod. (Požgaj et al, 1997)

Některé z extraktivních látek (chinony, polymerizované polyfenoly, terpenoidy) mohou mít biocidní účinky, tzn. jsou toxické pro některé bakterie, houby, brouky nebo mořské měkkýše (Rypáček, 1957).

3.4.1.1 Polymerizované polyfenoly

Tyto látky se nacházejí v kůře a jádrovém dřevě mnoha dřevin se zvýšenou odolností vůči bioataku (*Quercus*, *Prunus*, *Pinus*, *Eucalyptus*, *Castanea*...). Vyskytují se jako kondenzované složené ze substituovaných a kondenzovaných flavonoidů (cyanidiny) nebo taniny hydrolyzovatelné (galotaniny, elagotaniny) (Reinprecht et al, 1997). Obsah

hydrolyzovatelných taninů u dubu (*Quercus robur*, *Q. petraea*) může dosahovat až 10 % hmotnosti suchého jádrového dřeva (Scalbert et al, 1988).

Guilley et al (2004) ve své studii zjistili, že trvanlivost dřeva dubu s obsahem elagotininů (roburin A, B, C, D, and E, grandinin, vescalagin, castalagin) roste, který z nich má však větší vliv na trvanlivost nebylo určeno.

Množství extraktiv od určitého věku stromu nezáleží na jeho stáří ani šířce letokruhů (Guilley et al, 2004), ale na podmínkách růstu a genetických predispozicích. Rychle narostlé stromy vykazují nižší obsah elagotininů (Mosedale et al, 1995).

3.4.2 Poloměr kmene

Vlastnosti dřeva po poloměru kmene se výrazně mění. Jak již bylo zmíněno, bělové dřevo je zpravidla méně odolné oproti jádrovému. Rozdíly však nacházíme i uvnitř jádra. Tuto skutečnost můžeme vysvětlit přítomností juvenilního dřeva uprostřed kmene, které se formuje jako první v mladém rostoucím stromě. Liší se odklonem fibril v S₂ vrstvě, tvarem a velikostí jednotlivých buněk i chemickým složením (Ross et al, 2010). S rostoucí vzdáleností od dřeně se mění barva, ale i obsah extraktivních látek, jejichž podíl uvnitř jádra klesá směrem od hranice s bělí k vnitřnímu jádru, kde měříme značně vyšší hmotnostní úbytky při napadení (Guilley et al, 2004). Dřevo vytvořené v prvních cca 10 – 15 letech života stromu je značně chudší na obsah extraktiv, přirozená trvanlivost juvenilního dřeva se, oproti vyzrálému, může lišit až o tři třídy (Latorraca et al, 2011).

3.5 *Degradace dřevokaznými houbami*

3.5.1 Formy a mechanismy biodegradace

Dřevokazné houby disponují enzymatickým aparátem, díky kterému jsou schopny získávat z polysacharidů a ligninu různé látky a energii ke svému růstu. Tento aparát jednotlivých hub je variabilní a záleží na klimatu a substrátu, dokonce i u stejných druhů hub. Extracelulární enzymy vylučují hyfy hub do okolí a pomocí nich depolymerizují stavební látky dřeva. Za pomoci intracelulárních enzymů uvnitř hyf jsou následně rozkládány vodorozpustné meziproducty s nižším polymerizačním stupněm (Rypáček, 1957).

Kromě extracelulárních enzymů hyfy do dřeva vylučují další látky, které slouží k úpravě pH prostředí pro optimální aktivitu enzymů (organické kyseliny) nebo pomáhají

při rozkladu ligninu (O_2 , H_2O_2 , manganaté soli Mn^{2+}) či celulózy (H_2O_2 , železnaté soli Fe^{2+} , kyselina šťavelová) a další metabolity s doposud neprozkoumaným významem.

Rozklad dřeva houbami může nastat pouze za vhodných podmínek – vlhkost dřeva zpravidla nad 20 %, maximální vlhkost je dána potřebou 5-20 % objemu vzduchu ve dřevě, tedy i pórovitostí dřeva; teplotní optimum leží v oblasti od + 3 do + 40 °C (Reinprecht, 1997).

3.5.1.1 Enzymy

Enzymy působí jako biokatalyzátory chemických reakcí a ve většině případů mají bílkovinnou povahu. Jejich katalytický účinek spočívá na snížení aktivační energie chemické reakce v obou směrech. Směr průběhu reakce udávají energetické a koncentrační poměry reakčního systému.

Pro enzymy je obvykle charakteristická vysoká specifická – reakční i substrátová. Důležitá je i jejich účinnost – jedna molekula enzymu dokáže za 1 s katalyzovat až $5 \cdot 10^4$ molekul substrátu.

Enzymy obvykle působí v reakčních sledech. Různé enzymy působí komplexně ve vhodném systémovém pořadí. Produkt jedné enzymatické reakce se stává substrátem pro další přeměny katalyzované jinými enzymy.

Transport enzymatickým látek je závislý na vnitřní difúzi ve struktuře buněčných stěn a je popsitelný Fickovými zákony. Důležitou roli hraje ale i transport látek přes biomembrány buněk degradačních činitelů (Reinprecht, 1997).

3.5.1.2 Biodegradace celulózy

Působením extracelulárních hydrolytických enzymů jsou makromolekuly celulózy depolymerizovány na glukózu. Při totální biodegradaci je v aerobních podmínkách rozkládána až na oxid uhličitý a vodu, v anaerobních podmínkách na metan a oxid uhličitý.

Základním požadavkem pro rozklad krystalické celulózy houbami bílého a měkkého tlení je schopnost vytvořit komplex:

- a) endo-1,4- β -glukanáza,
- b) exo-1,4- β -glukanáza,
- c) 1,4- β -glukozidáza,
- d) oxidační a oxidačně-redukční enzymy pro rozklad celobiózy.

V případě absence jedné součásti komplexu se rozklad zpomaluje nebo vůbec neuskuteční (Rypáček, 1957)

3.5.1.3 Biodegradace ligninu

V porovnání s mechanismem degradace polysacharidů je biodegradace ligninu poněkud komplikovanější. Na jeho rozkladu se podílí taktéž enzymatický komplex, ligninolytický systém se však vyznačuje nízkou specifícností a značnou variabilitou v posloupnosti jednotlivých reakcí. Depolymerační reakce tedy mohou následovat např. až za reakcemi demetoxylačními.

Proces biodegradace ligninu je především oxidačního charakteru, štěpí se kovalentní vazby C – C a C – O uvnitř fenylypropanových jednotek ligninu, ale i mezi jednotkami. Současně probíhá odbourávání metoxylových skupin. Podle nových poznatků se na odbourávání fenolových i nefenolových částí ligninu podílejí kromě ligninolytických enzymů i různé nízkomolekulární látky, plazma-membránové mediátory, volné radikály a kovy. Mezi hlavní rozkladné složky ligninu řadíme skupinu fenoloxidáz – lignin peroxidázy, Mn²⁺ peroxidázy a lakázy.

Ve většině případů má na rozsah a intenzitu rozkladu ligninu kladný vliv přítomnost kyslíku (Reinprecht, 1997).

3.5.1.4 Houby hnědého tlení

Typickým znakem hnědého tlení dřeva je rozsáhlý stupeň degradace celulózy a hemicelulóz při minimální degradaci ligninu. Ve většině případů tyto houby postrádají enzym exo-1,4-β-glukanáza, ale jsou obohaceny o nízkomolekulární neenzymový agresivní systém (železné ionty, peroxid vodíku, kyselina šťavelová...), který napomáhá prvotnímu napadení krystalické celulózy.

Patří mezi ně například dřevomorka domácí (*Serpula lacrymans*), koniofora sklepní (*Coniophora puteana*) nebo trámovka plotní (*Gloeophyllum sepiarium*) (Holan, 2008).

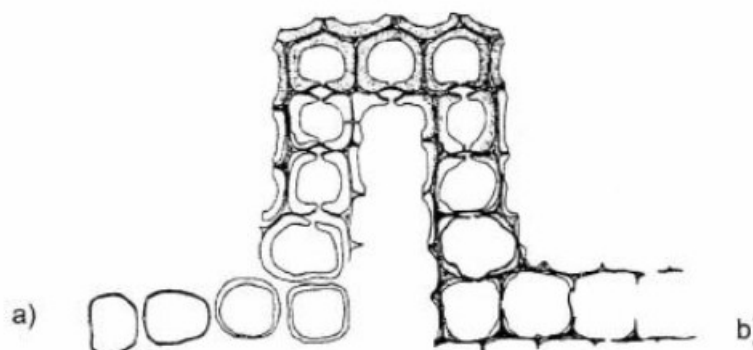
3.5.1.5 Houby bílého tlení

Houby bílého tlení produkují soubor ligninolytických a hydrolytických enzymů, díky nimž dokáží rozkládat lignin, celulózu i hemicelulózy. Intenzita, pořadí a celkový rozsah degradace těchto jednotlivých komponentů záleží na jednotlivém druhu houby, vnějších a substrátových podmínkách.

Bílé tlení celosvětově způsobuje mnoho tisíc druhů hub rodu *Basidiomycota* a některé z rodu *Ascomycota* (Eriksson et al, 1990).

Houby bílého tlení dokážou rychle kolonizovat dřevo hyfálním průnikem do všech typů buněk dřevního pletiva. Často je tento průnik směřován nejprve do parenchymatických buněk dřevných paprsků a potom teprve do dalších typů buněk.

Rozlišujeme dva základní typy bílého tlení, a to erozi buněčných stěn a delignifikaci buněčných stěn (Reinprecht, 1997).



Obr. 1 Delignifikační (a) a erozní (b) formy tlení (Reinprecht, 2008)

3.5.1.6 *Outkovka pestrá*

Typická houba erozní formy bílého tlení. Nejdříve v buněčných stěnách vytváří prohloubeniny ve vrstvě S₃. Ty se tvoří v místech přímých kontaktů s hyfami a postupně se prohlubují a rozšiřují. V dalších stádiích se jednotlivé oblasti buněčných stěn postupně úplně rozkládají a v buněčných stěnách se objevují díry. Některé oblasti buněčných stěn i celé buňky zůstávají nepoškozené, důvody tohoto jevu však nejsou známy (Eriksson et al, 1990).

Outkovka pestrá napadá dřevo téměř všech listnáčů (buk, běl dubu, břízu, jabloň, třešeň ad.), ojediněle i dřevo jehličnanů. Zpravidla nenapadá jádrové dřevo dubu, akátu, kaštanovníku a jiné s obsahem tříslovin. Napadá mokré dřevo s větším obsahem vody volné – ideálně $w = 80\%$, u pórovitějších dřev až $w = 120\%$. Roste v nížinách i vyšších polohách při teplotách 5 až 38 °C, nejintenzivněji však při 26–29 °C. Vyskytuje se jak na mrtvém dřevě v lese, tak na skladech kulatiny, plotech, venkovním nábytku a ostatních výrobcích v exteriéru. Vytváří ploché, půlkruhové až kruhové plodnice ve tvaru klobouku velikosti 2–12 cm, tloušťky do 0,3 cm. Tyto ke dřevu přirůstají nejčastěji bokem, střechovitě nad sebou i vedle sebe. Jejich barva je shora typicky pestrá (hnědá, tmavě

zelená, šedá, okrově červená až šedočerná – závisí na druhu dřeva a vnějších podmínkách), matná s hedvábně lesklými chloupky; okraj je bledší a zvlňený. Na spodní straně nalezneme rourkovitý hymenofor s rourkami délky 1–2 mm, průměru 0,2–0,3 mm, které jsou zpočátku bílé, později zbarvené světle béžově. Výtrusy jsou cylindrické, nepatrně přehnuté, hladké bezbarevné, o velikosti 5–7 · 1,5–2,5 μm. Povrchové mycelium houba tvoří ojediněle a ve stínu (Reinprecht, 2008).



Obr. 2 Plodnice outkovky pestré (mykoweb.com)

3.6 Barva dřeva

Barvu obecně popisujeme jako zrakový vjem závislý na spektrálním složení odražených světelných paprsků od materiálu. Světlo definujeme jako záření, které dokáže zaznamenat lidské oko, čili záření vlnových délek v rozmezí zhruba 400-700 nm. Jednotlivé vlnové délky oko interpretuje jako různé barvy (Gandelová, 2002).

Barva dřeva se může pohybovat od téměř bílé (bělové dřevo mnoha dřevin) až do černé (jádrové dřevo ebony). Charakteristika barvy závisí na chemickém složení dřeva a interakci těchto chemikálií se světlem. Celulóza a hemicelulózy neabsorbují viditelné světlo a jeví se jako bílé. Přírodní lignin má barvu světle žlutou. Tyto světlé odstíny ovšem zpravidla překrývají barvy výraznějších extraktiv. UV záření, teplo a chemikálie barvu dřeva mění (Hon a Minemura, 2001).

3.6.1 Barva dubu

Barva bělí dubu je nažloutle bílá, jádrové dřevo světle hnědé až nažloutle hnědé, v závislosti na stanovišti tmavne a lehce červená (Wagenführ, 2002). Dle Babiak et al, 2004 by se souřadnice CIELAB pro dřevo dubu měly pohybovat okolo $L^* = 69,92$, $a^* = 6,51$, $b^* = 20,65$; Mosedale et al (1996) uvádí pro jádro *Quercus petraea* $L^* = 67,8$, $a^* =$

10,5, $b^* = 23,4$; pro *Quercus robur* $L^* = 68,7$, $a^* = 10,3$, $b^* = 23,6$; kromě toho zde byla popsána slabá korelace mezi koncentrací vescalaginu a světlostí dřeva ($r = 0,32$) a parametrem barvy b^* ($r = 0,24$).

3.6.2 Vztah mezi barvou a trvanlivostí dřeva

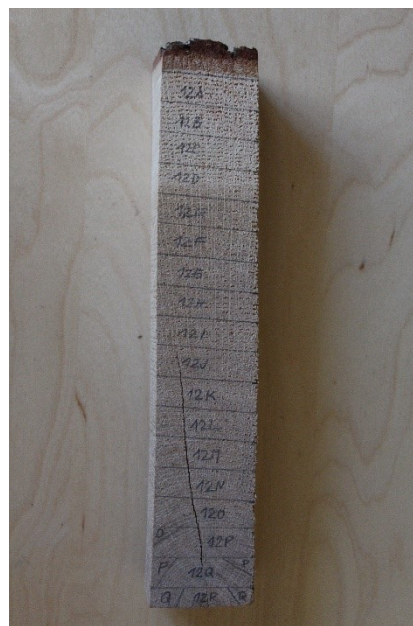
Dle Amusant et al (2004) roste odolnost jádrového dřeva, čím je toto dřevo tmavší a červenější (u *Dicorynia guianensis*). Zároveň bylo zjištěno, že barva jádrového dřeva směrem od hranice s bělí ke dřeni světlá a dřevo je méně červené. Trvanlivost jádrového dřeva tedy směrem ke dřeni klesá. U *Eperua grandiflora* nebyl zjištěn rozdíl v barvě vnějšího a vnitřního jádra, byla však popsána stejná závislost trvanlivosti na červené barvě (Amusant et al, 2008). U akátu (Dobrovolný, 2014) nebyla nalezena žádná závislost mezi přirozenou trvanlivostí a světlostí barvy (parametrem L^*), byla však popsána nepřímá úměra mezi červenou barvou a trvanlivostí (čím červenější dřevo je, tím méně je trvanlivé) a přímá úměra mezi žlutými odstíny barvy dřeva (parametr b^*). Dřevo modřínu vykazuje silnou korelaci mezi červenou barvou a trvanlivostí a zároveň mezi červenou a obsahem fenolů (Gierlinger et al, 2003).

4 MATERIÁL A METODIKA

4.1 Materiál

4.1.1 Zkušební vzorky

K našemu experimentu bylo užito dřeva dubu (*Quercus* sp.) dodaného z Německa. Jednalo se o 9 výřezů z kmenů stromů z různých stanovišť, vždy vymanipulované ve výšce 1 m nad patou kmene. Po poloměru kmenů byly vyznačeny od kůry směrem ke dřeni sekce A až R (Obr. 4). Z každé sekce byly vymanipulovány vzorky o velikosti $5 \times 10 \times 30$ mm. Použito bylo vzorků jak z jádrového, tak i bělového dřeva.



Obr. 3 Výřez z kmene s vyznačenými sekcemi

Pro kontrolu virulence houbové kultury byly vyhotoveny referenční vzorky z buku lesního (*Fagus sylvatica*) ve stejných rozměrech jako u zkušebních vzorků dle požadavků normy ČSN EN 113.

Vzorky zkušební i referenční byly bezvadé a bez viditelného biotického napadení. Dohromady bylo vyhotoveno 94 zkušebních vzorků, 40 vzorků referenčních.

Ke stanovení vlhkosti zkušebních vzorků byly vyhotoveny vlhkostní vzorky z každé sekce o velikosti $10 \times 10 \times 30$ mm.

4.1.2 Houbová kultura

K testům byla zvolena houba bílého tlení outkovka pestrá (*Trametes versicolor*), jež je normou ČSN EN 350-1 doporučována jako jedna z dřevokazných hub pro testy přirozené trvanlivosti dřeva listnáčů.

4.2 Metodika

4.2.1 Příprava vzorků

Dle vyznačeného byly výřezy rozřezány na jednotlivé sekce a zabroušeny na pásové brusce papírem zrnitosti 120.

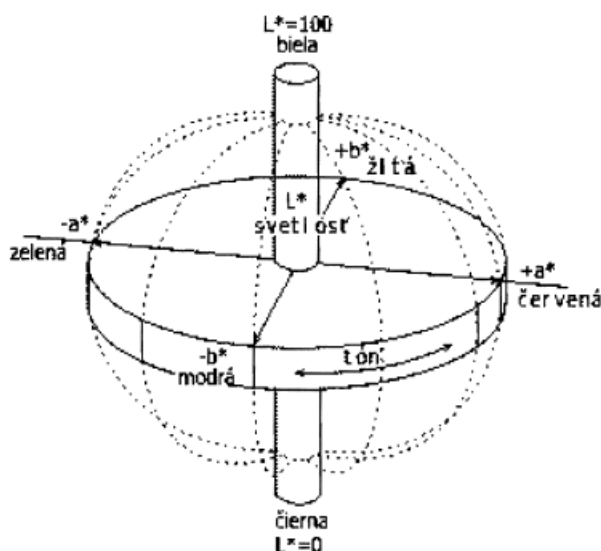
Následovalo klimatizování všech vzorků ($t = 20\text{ °C}$, $\phi = 65\%$) a po dosažení rovnovážné vlhkosti byla změřena barva.

Dále byly vzorky formátovány na rozměry $5 \times 10 \times 30\text{ mm}$ pro modifikovanou zkoušku přirozené trvanlivosti dle ČSN EN 113 (Bravery, 1978). Oproti normě byly z důvodu časové náročnosti vzorky zmenšeny (normativně je stanovena velikost $50 \times 25 \times 15\text{ mm}$) a byla zkrácena expoziční doba z 16 na 6 týdnů.

4.2.2 Měření barvy CIELAB

Jedním ze způsobů měření barvy je systém $L^*a^*b^*$, který vychází z určení barevného spektra do souřadnicového prostoru XYZ. Byl zaveden mezinárodní komisí pro osvětlení (CIE) a je založen na teorii protikladných barev. Ta říká, že barvu vnímáme v kombinacích vzruchů jako černou a bílou (L), červenou a zelenou (a) a žlutou a modrou (b). V CIELAB na ose L^* nalezneme stupeň světlosti, na ose a^* hodnotu červené/zelené a osa b^* určuje hodnotu žluté/modré (Babiak et al, 2004).

Měření bylo provedeno vždy po dvou na tangenciálních plochách zkušebních vzorků přenosným spektrofotometrem Spectro-guide 45/0 (geometrie měření 45/0, standardní pozorovatel 10° , průměr měřené oblasti 11 mm, druh osvětlení D65, barevný systém 23 CIEL $^*a^*b^*$) a údaje převedeny do tabulkového procesoru. Jako výsledná hodnota byl uvažován průměr ze dvou měření na vzorku.



Obr. 4 Struktura os L^* , a^* , b^* v systému CIELAB (Babiak et al, 2004)

4.2.3 Zkouška trvanlivosti

Test trvanlivosti byl proveden modifikovanou zkouškou trvanlivosti „malých bloků“ dle ČSN EN 113 (Bravery, 1978).

Všechny vzorky byly klimatizovány za stejných podmínek ($t = 20\text{ }^{\circ}\text{C}$, $\varphi = 65\%$). Po dosažení rovnovážné vlhkosti byla na laboratorních vahách určena počáteční hmotnost zkušebních vzorků (m_1) a vlhkostních vzorků (m_w) s přesností na 0,001 g.

Vlhkostní vzorky byly dále vysušeny na nulovou vlhkost při teplotě $103 \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$ po dobu 24 h a po ochlazení byla stanovena jejich hmotnost v absolutně suchém stavu (m_0), z níž byla určena vlhkost zkušebních vzorků podle vzorce:

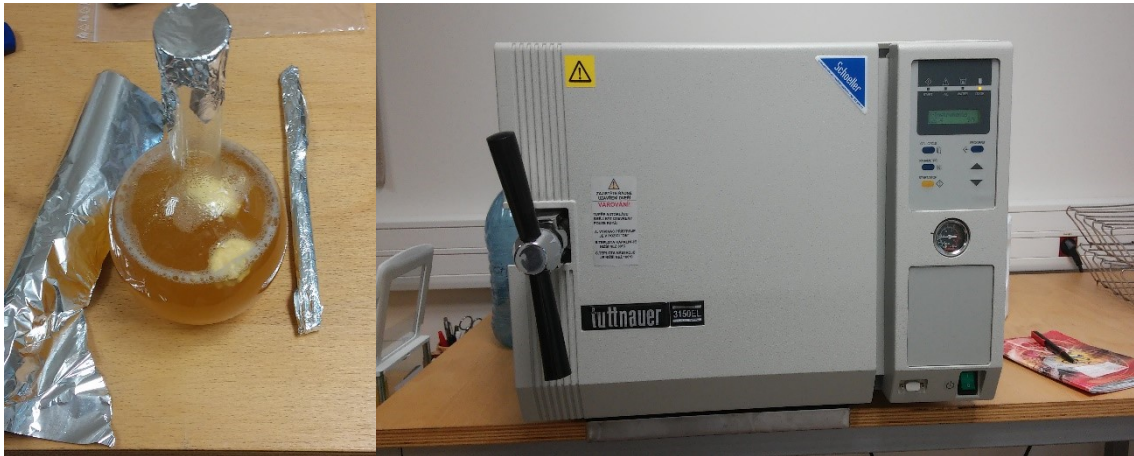
$$w = \frac{m_w - m_0}{m_0} \cdot 100 [\%]$$

Hmotnost zkušebních tělísek v absolutně suchém stavu byla odvozena ze vzorce:

$$m_2 = \frac{m_1}{(100 + w)} \cdot 100 [\%]$$

K přípravě živné půdy bylo užito 50 g přípravku Malt Extract Agar Base m137, který byl rozmíchán v 1000 ml studené destilované vody a následně rozpuštěn a

sterilizován v autoklávu spolu s nástroji k očkování. Rozpuštěným přípravkem byly naplněny sterilní Petriho misky (do výšky cca 3 mm).



Obr. 5 Příprava živného média a sterilizace v autoklávu

V digestoři bylo po ochlazení živného média provedeno očkování kulturou outkovky pestré (*Trametes versicolor*) pomocí skalpelu a očka. Poté byly všechny nádoby uzavřeny a vloženy do inkubátoru na dobu 9 dnů ($t = 22\text{ °C}$, $\phi = 65\%$).

Po rozrostení mycelií po celé ploše misek do nich byla vložena nerezová mřížka (sterilizovaná stejným způsobem jako nástroje) proti přímému kontaktu mycelia se vzorky. Do každé misky byly umístěny vždy 4 vzorky (3 vzorky zkušební a 1 referenční bukový). Misky byly poté pečlivě uzavřeny Parafilmem, aby nedošlo ke kontaminaci kultury, označeny čísly vzorků a datem a uloženy zpět do inkubátoru na dobu 6 týdnů.



Obr. 6 Ukládání vzorků do misek

Po uplynutí této doby byly vzorky vyjmuty z kultivačních nádob, pečlivě očištěny od mycelia a zváženy (m_3). Následovalo vysušení vzorků ($t = 103 \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$) a byla zaznamenána hmotnost v absolutně suchém stavu po působení houby (m_4).



Obr. 7 Vzorky po vyjmutí z inkubátoru

Byl stanoven hmotnostní úbytek pro všechny zkušební ($m_2 - m_4$) a referenční vzorky ($m_0 - m_4$), který byl následně vyjádřen procentuálně z poměru původní a konečné hmotnosti.

Byla provedena kontrola virulence (hmotnostní úbytek u všech referenčních vzorků byl nad 20 %) a zařídění do jednotlivých tříd přirozené trvanlivosti dle ČSN EN 350–1,2 (Tab. 1).

4.2.4 Statistické vyhodnocení

Byla provedena popisná statistika barevných parametrů L^* , a^* , b^* , která byla také znázorněna v krabicovém grafu.

Stejným způsobem byla vyhodnocena trvanlivost jádrového dřeva zkušebních vzorků, navíc byl vyhotoven koláčový graf procentuálního zastoupení jednotlivých tříd trvanlivosti dle ČSN EN 350–1.

Pro zhodnocení změny trvanlivosti po poloměru kmene byla rovněž zpracována popisná statistika, zvláště pro běl, vnější jádro a juvenilní jádro. Změna hmotnostních úbytků po poloměru byla vyjádřena grafem a vyhodnocena analýzou rozptylu pro sekce běl, vnější jádro a juvenilní jádro. Statistická významnost rozdílů mezi jednotlivými sekcemi byla ověřena Tukeyho testem.

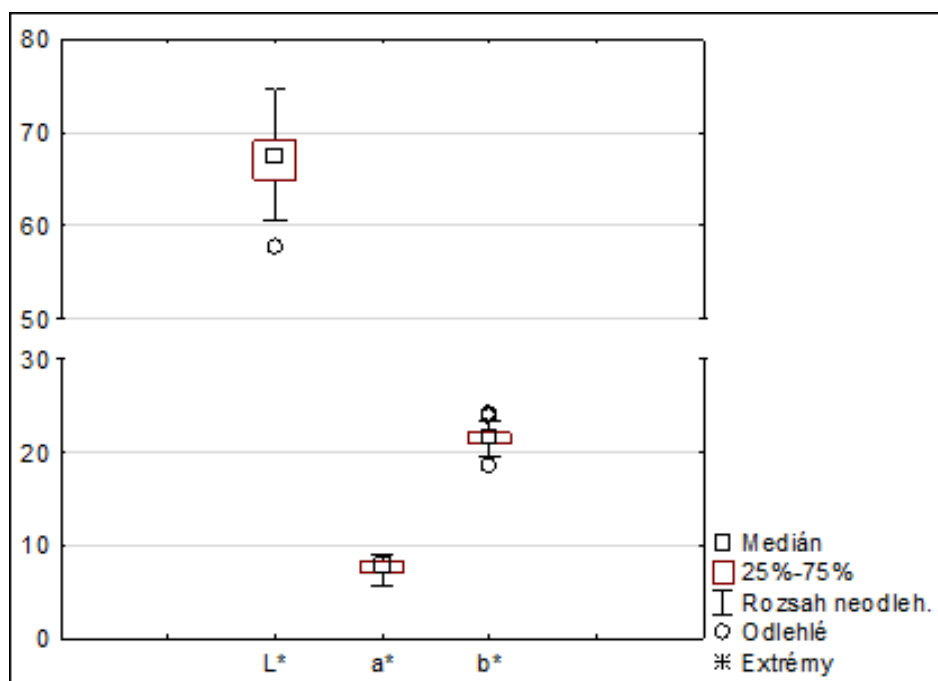
5 VÝSLEDKY

5.1 Barva dubu v systému CIEL*a*b*

Naměřené hodnoty barvy jádrového dřeva dubu jsou uvedeny v tabulce č. 3. Byla zjištěna malá variabilita parametrů L^* , a^* , b^* barvy. Největší rozptyl naměřených hodnot vykazuje parametr světlosti L^* . Průměrná hodnota barevných parametrů činila pro $L^* = 67,33$, $a^* = 7,71$, $b^* = 21,51$.

Tab. 3 Popisná statistika parametrů L^* , a^* , b^* jádrového dřeva dubu

	L^*	a^*	b^*
N platných	76	76	76
Průměr	67,33	7,71	21,51
Medián	67,50	7,83	21,54
Minimum	57,70	5,67	18,66
Maximum	74,59	9,06	24,17
Rozptyl	11,13	0,50	1,04
Sm.odch.	3,34	0,71	1,02
Var.koef. [%]	4,95	9,17	4,75



Obr. 8 Krabicový graf hodnot parametrů L^* , a^* , b^* pro jádrové dřvo

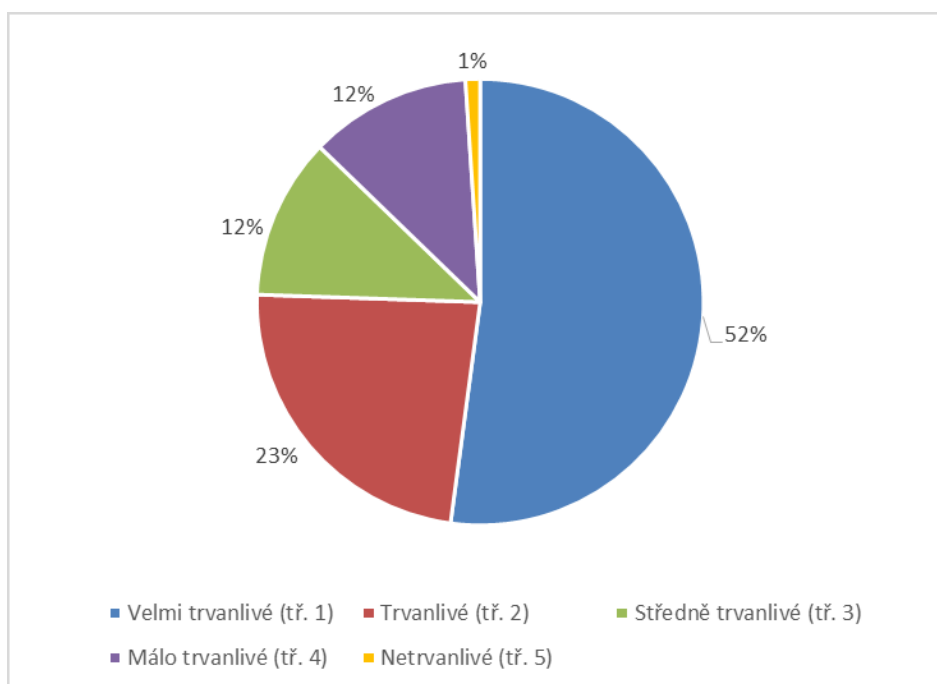
5.2 Trvanlivost jádrového dřeva dubu

Z vypočteného variačního koeficientu (Tab. 4) je patrná poměrně velká variabilita procentuálních hmotnostních úbytků.

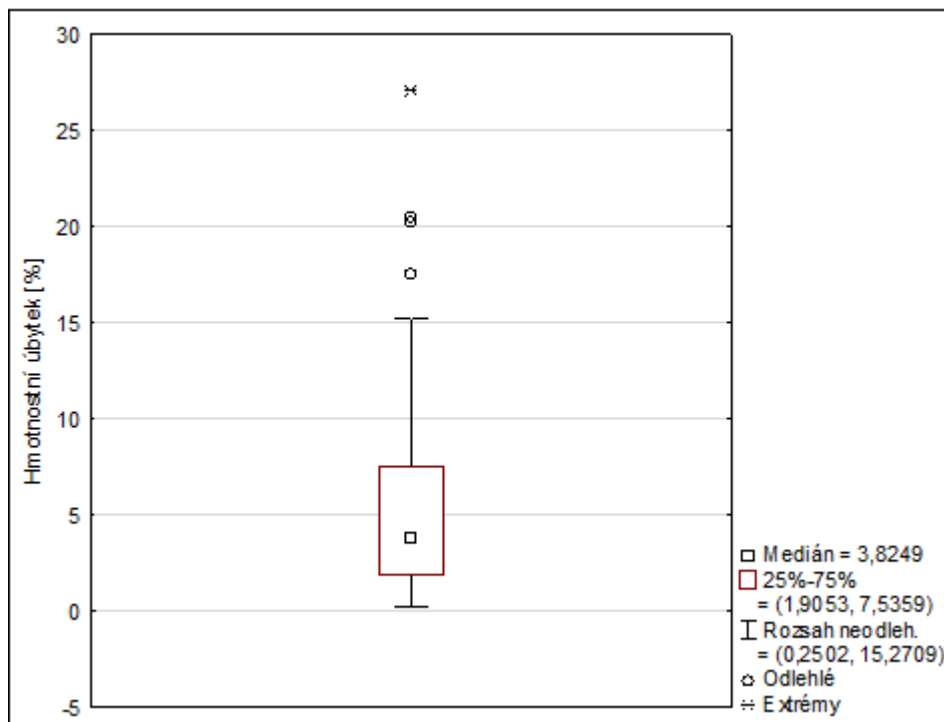
Tab. 4 Popisná statistika procentuálních hmotnostních úbytků jádrového dřeva dubových zkušebních vzorků

	Hmotnostní úbytek [%]
N platných	76
Průměr	5,81
Medián	3,82
Minimum	0,25
Maximum	27,14
Rozptyl	29,38
Sm.odch.	5,42
Var.koef. [%]	93,26

Graf procentuálního zastoupení jednotlivých tříd trvanlivosti (Obr. 9) ukazuje na vysokou trvanlivost vzorků – více než polovina vzorku byla zatříděna do nejvyšší třídy trvanlivosti (velmi trvanlivé) dle ČSN EN 350–1.



Obr. 9 Procentuální zastoupení tříd trvanlivosti testovaných vzorků



Obr. 10 Krabicový graf hmotnostních úbytků [%] jádrových dubových zkušebních vzorků

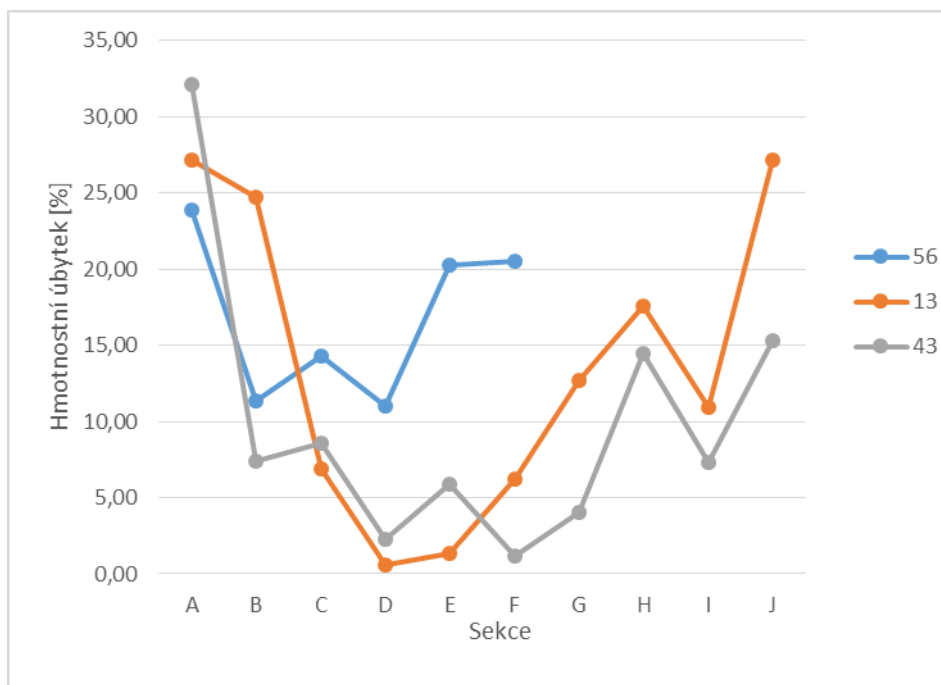
5.3 Změna trvanlivosti dřeva dubu po poloměru kmene

Z průměrných hodnot hmotnostních úbytků (Tab. 5) je patrný výrazně větší úbytek u bělového dřeva, rozdíl pozorujeme i uvnitř jádra – průměrný hmotnostní úbytek juvenilního dřeva je více než dvojnásobný proti vnějšímu jádru.

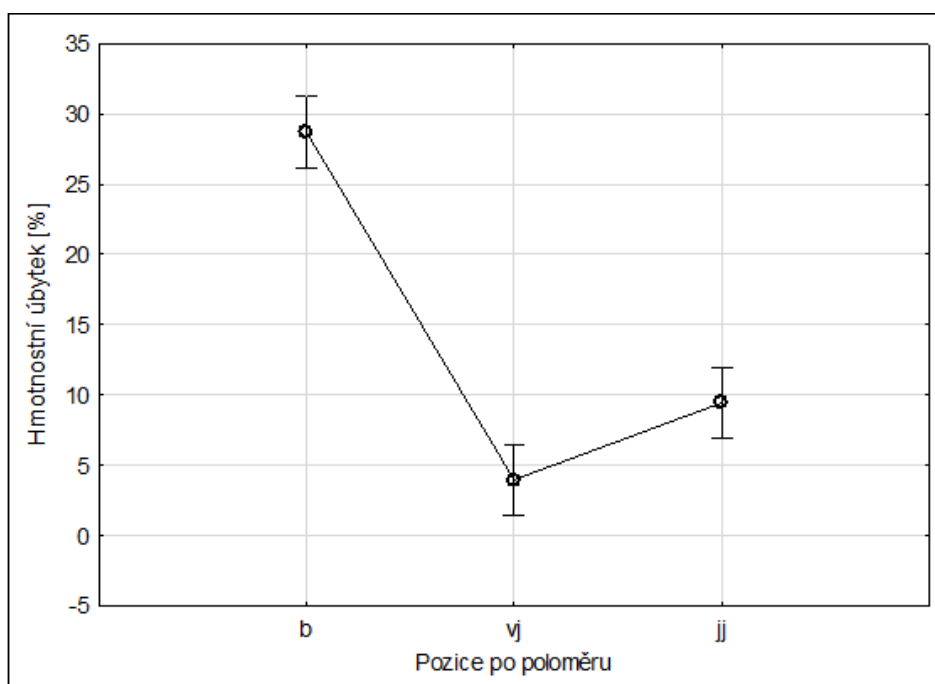
Tab. 5 Popisná statistika procentuálních hmotnostních úbytků dubových zkušebních vzorků

	Běl	Vnější jádro	Juvenilní jádro
N platných	18	18	18
Průměr	28,73	3,97	9,44
Medián	27,14	2,57	7,39
Minimum	23,87	0,55	1,59
Maximum	39,61	14,27	27,14
Rozptyl	14,73	14,24	56,56
Sm.odch.	3,84	3,77	7,52
Var.koef. [%]	13,36	94,96	79,63

V grafu změny hmotnostních úbytků po poloměru kmene (Obr. 11) směrem od bělí (A) ke dřeni pozorujeme velké hmotnostní úbytky v oblasti bělového dřeva, poté pokles v oblasti jádra a opětovný nárůst v oblasti juvenilního dřeva.



Obr. 11 Změna hmotnostních úbytků dřeva od bělí ke dřeni



Obr. 12 Analýza dat ANOVA (b – běl, vj – vnější jádro, jj – juvenilní jádro)

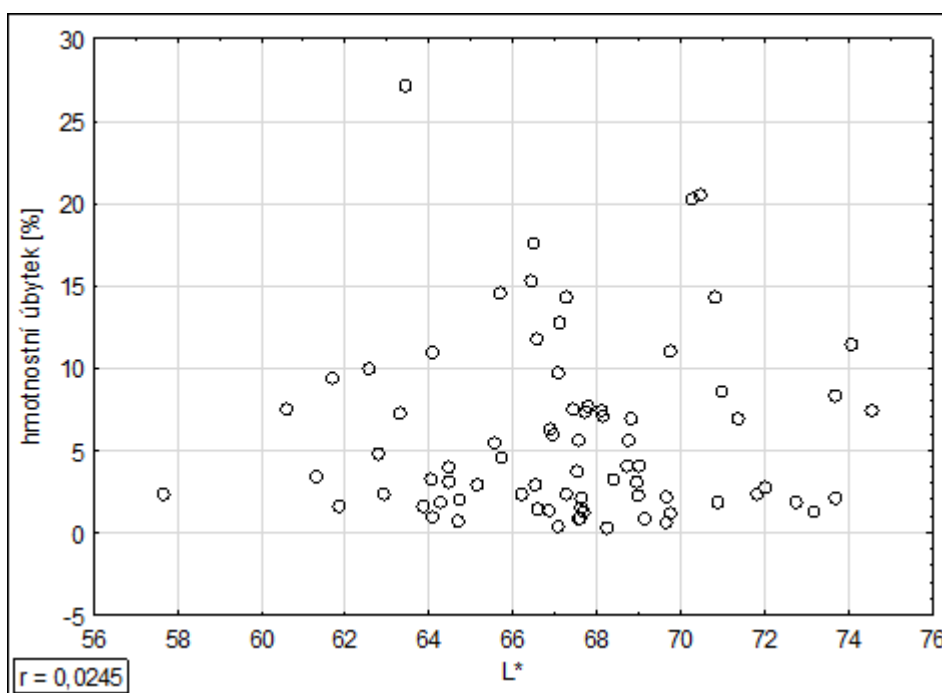
Tukeyho test vícenásobného porovnání (Tab. 6) poukazuje na statisticky významné rozdíly ($p < 0,05$) hmotnostních úbytků mezi všemi skupinami po poloměru kmene navzájem.

Tab. 6 Tukeyho test vícenásobného porovnání hmotnostních úbytků

Pozice po poloměru	Běl	Vnější jádro	Juvenilní jádro
Běl		0,000123	0,000123
Vnější jádro	0,000123		0,009438
Juvenilní jádro	0,000123	0,009438	

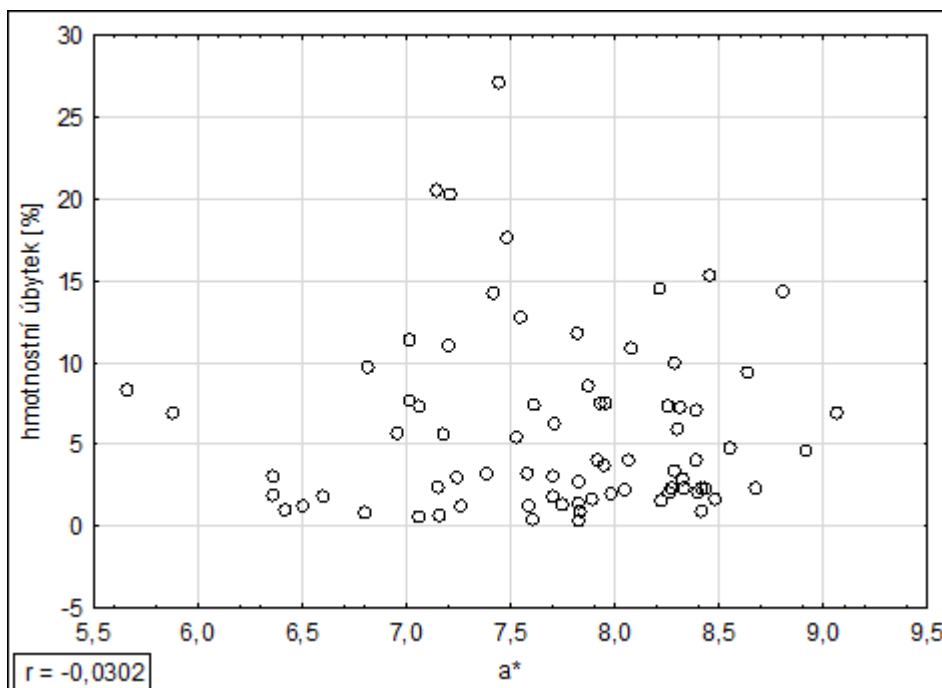
5.4 Vztah přirozené trvanlivosti a barvy dřeva dubu

Z korelační analýzy vztahu barevného parametru světlosti L^* (Obr. 8) je patrné, že mezi světlostí barvy dřeva dubu a hmotnostními úbytky neexistuje žádná závislost, což je prokázáno nízkou hodnotou korelačního koeficientu $r = 0,0245$.



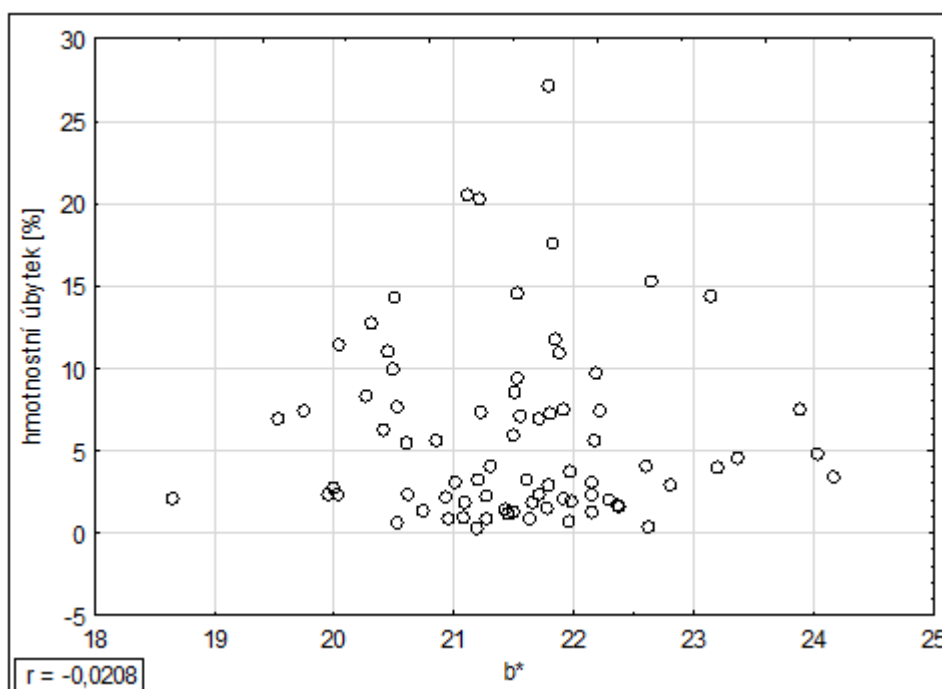
Obr. 13 Vztah hmotnostních úbytků a parametru barvy L^*

Korelační analýzou vztahu barevného parametru a^* a hmotnostních úbytků (Obr. 9) taktéž nebyla prokázána závislost ($r = -0,0302$).



Obr. 14 Vztah hmotnostního úbytku a parametru barvy a^*

Korelační analýza mezi parametrem barvy b^* a hmotnostním úbytkem (Obr. 10) neprokázala vzájemnou závislost ($r = -0,0208$).



Obr. 15 Vztah hmotnostního úbytku a parametru barvy b^*

6 DISKUZE

6.1 Barva dřeva dubu

Průměrná hodnota barvy zjištěná naším měřením byla $L^* = 67,33$, $a^* = 7,71$, $b^* = 21,51$. Babiak et al (2004) uvádí $L^* = 69,92$, $a^* = 6,51$, $b^* = 20,65$; Mosedale et al (1996) uvádí pro jádro *Quercus petraea* $L^* = 67,8$, $a^* = 10,5$, $b^* = 23,4$; pro *Quercus robur* $L^* = 68,7$, $a^* = 10,3$, $b^* = 23,6$. Hodnoty tedy odpovídaly literatuře. Drobné rozdíly barevných parametrů mohly být způsobeny geneticky, odlišnými podmínkami růstu nebo jiným stanovištěm (Mosedale et al, 1996). Je pravděpodobné, že extrakcí jádrových látek by bylo zjištěno i jiné chemické složení dřeva.

6.2 Trvanlivost jádrového dřeva dubu

Většina vzorků (52 %) jádrového dřeva bylo zařazeno do třídy trvanlivosti 1 (velmi trvanlivé) tato až nezvykle vysoká přirozená trvanlivost dřeva oproti normovým hodnotám (ČSN EN 350–1) byla pravděpodobně zapříčiněna použitím pouze jedné normou doporučené houby – outkovky pestré (*Trametes versicolor*) pro stanovení přirozené trvanlivosti dřeva listnáčů, která je značně náchylná na přítomnost jádrových látek ve dřevě (Svatoň, 2000). Jiné studie dokazují, že použitím jiných hub, např. pórnatky placentové (*Poria placenta*) či sírovce žlutooranžového (*Laetiporus sulphureus*), by bylo dosaženo úbytků vyšších a zařazení dřeva dubu až do 3. třídy trvanlivosti (středně trvanlivé) (Nevrlý, 2015). Naměřené hodnoty přirozené trvanlivosti odpovídají literatuře (Guilley et al, 2004), ale nejsou zcela přenosná do reálného použití, jelikož laboratorní testy se od provozních podmínek liší použitím pouze čistých kultur. Vysoká trvanlivost vzorků mohla být také zapříčiněna čerstvostí zkušebních výřezů. Je dokázáno, že s prodlužující se dobou provozu dubových komponentů ve stavbách postupně klesá množství extraktiv obsažených ve dřevě a tedy i jejich přirozená trvanlivost (Thaler a Humar, 2013).

6.3 Změna trvanlivosti dřeva dubu po poloměru kmene

Průběh naměřených hmotnostních úbytků po poloměru kmene dopadl dle očekávání tak, jak ho popisuje literatura (Guilley et al, 2004) – největší průměrné hmotnostní úbytky nacházíme v bělové části dřeva (28,73 %), nejmenší ve vnějším jádru (3,97 %) a mírný nárůst opět pozorujeme ve středu kmene (9,44 %), kde se nachází juvenilní dřevo

s malým množstvím tríslových látek (Latorraca et al, 2011). Toto tvrzení podporuje i provedená ANOVA a Tukeyho test, jimiž byly dokázány statisticky významné rozdíly mezi vzorky vybranými z oblasti bělí, vnějšího jádra a jádra vnitřního (juvenilního).

Z daného vyplývá, že v hodnocení přirozené trvanlivosti jádrového dřeva dubu je potřeba vzít v potaz přítomnost juvenilního dřeva, které trvanlivost ovlivňuje poměrně značnou měrou. Mladé, obzvláště rychle narostlé stromy menších poloměrů s vysokým podílem juvenilního dřeva a širokými letokruhy pravděpodobně nebudou vhodné ke zpracování s očekáváním trvanlivosti věhlasné pro dub. Naproti tomu stromy, které nebudou mít vhodné podmínky růstu a jejich letokruhy budou velmi úzké, nedokážou uložit dostatečné množství extraktivních látek a dřevo bude méně trvanlivé (Humar et al, 2008). Toto tvrzení dokazuje fakt, že většina vzorků skupiny 56, která měla velmi úzké letokruhy, byla zařazena do třetí třídy trvanlivosti, tedy jako středně trvanlivá, zatímco vzorky z kmenů větších poloměrů se pohybovaly v třídách 1 (velmi trvanlivé) nebo 2 (trvanlivé) dle ČSN EN 350-1,2. Tato skutečnost by při použití v reálném prostředí byla navíc umocněna působením mnoha dřevokazných činitelů najednou, což by znamenalo snížení reálné trvanlivosti o několik let (Meyer et al, 2013). Přílišný tlak na rychlý růst stromů ke zvýšení výtěžnosti tedy vede z hlediska přirozené trvanlivosti k rapidnímu poklesu kvality produkovaného řeziva, ačkoliv se z pohledu jakostního třídění na pilách dle ČSN EN 975 (listnaté dřeviny) a ČSN EN 1611 (jehličnaté dřeviny) může zdát jako bezvadé.

6.4 Vztah přirozené trvanlivosti a barvy dřeva dubu

V dostupné literatuře na téma vzájemného vztahu přirozené trvanlivosti a barvy dřeva různých dřevin (např. *Robinia pseudoacacia*, *Eperua grandiflora*, *Dicorynia guianensis*...) nacházíme určité závislosti. U akátu (Dobrovolný, 2014) byla popsána nepřímá úměra mezi červenou barvou a trvanlivostí, u *Eperua grandiflora* (Amusant et al, 2008) a *Dicorynia guianensis* (Amusant et al, 2004) naopak přímá. Hodnocení trvanlivosti podle barvy tedy nemůžeme v žádném případě generalizovat pro různé dřeviny. U tropických dřevin Francouzské Guyany byla navíc nalezena závislost mezi světlostí dřeva a přirozenou trvanlivostí, která se u akátu nepotvrdila (Dobrovolný, 2014).

Měření barvy dubového dřeva nedospělo k žádné závislosti mezi parametry L^* , a^* , b^* a jeho přirozenou trvanlivostí. Byla provedena korelační analýza, která ukázala velmi nízké ($r < 0,05$) hodnoty korelačních koeficientů pro všechny parametry barvy

CIEL^{*}a^{*}b^{*}. Jedna z příčin tohoto výsledku mohla být nízká variabilita barvy (var. koef. pro L^{*} = 4,95, a^{*} = 9,17, b = 4,75) oproti trvanlivosti (var. koef. 93,26). Barva dřeva se tedy po poloměru, na rozdíl od trvanlivosti, nijak výrazně neměnila.

Je zřejmé, že na trvanlivost dřeva mají největší vliv extraktivní látky (Guilley et al, 2004) k hodnocení přirozené trvanlivosti dřeva dle barvy by tedy musela být minimálně popsána barva jednotlivých extraktiv (roburin A, B, C, D, and E, grandinin, vescalagin, castalagin). Mosedale et al (1996) uvádí slabé korelace mezi koncentrací vescalaginu a světlostí dřeva ($r = 0,32$) a parametrem barvy b^{*} ($r = 0,24$). Tyto hodnoty samy o sobě jsou však příliš nízké k přesnějším odhadům přirozené trvanlivosti dřeva. Dřevo je přírodní materiál, který se vyznačuje vysokou variabilitou svých vlastností a je tedy nutné ho posuzovat komplexně i z jiných hledisek jako jsou např. šířka letokruhů, hustota či podíl letního dřeva.

7 ZÁVĚR

Byla zjištěna průměrná barva dřeva dubu $L^* = 67,33$, $a^* = 7,71$, $b^* = 21,51$ a následně popsán její vztah k přirozené trvanlivosti dřeva dubu. Korelační analýzou nebyla zjištěna žádná závislost mezi jakýmkoliv z parametrů barvy a hmotnostními úbytky.

V další části práce byla hodnocena přirozená trvanlivost jádrového dřeva dubu. Byla zjištěna průměrná hodnota hmotnostního úbytku 5,81 %, variační koeficient úbytku byl 93,26, medián 3,82, rozptyl 29,38, směrodatná odchylka 5,42.

Následující část se zabývala změnou trvanlivosti (hmotnostních úbytků) po poloměru kmene. Byla vypracována popisná statistika zvlášť pro běl, vnější jádro a juvenilní jádro. Průměrný hmotnostní úbytek činil pro běl 28,73 %, pro vnější jádro 3,97 % a 9,44 % pro juvenilní jádro. Z uvedeného vyplývá, že trvanlivost dřeva dubu směrem od běli roste a s blížící se vzdáleností ke dřeni opět klesá, ne však tak výrazně jako v běli. Nejvyšší trvanlivost vykazovaly vzorky vnějšího jádra. Tento průběh byl potvrzen analýzou rozptylu a Tukeyho testem vícenásobného porovnání (byly zjištěny statisticky významné rozdíly pro všechny kategorie) v programu Statistica.

8 SUMMARY

The average colour of oak wood was determined as $L^* = 67,33$, $a^* = 7,71$, $b^* = 21,51$ and subsequently its relation to the natural durability of oak wood was described. By means of the correlation analysis, no dependence between any of the colour parameters and the mass decrement was found.

In the next section of the thesis, the natural durability of the oak heart-wood was evaluated. The detected average value of the mass decrement was equal to 5.81 %, the scattering coefficient of the mass decrement was equal to 93.26, median 3.82, scattering 29.38, root mean square deviation 5.42.

The subsequent section dealt with the change of durability (of the mass decrements) on the trunk radius. Descriptive statistics was elaborated individually for sapwood, exterior core and juvenile core. The average mass decrement amounted to 28.73 % for sapwood, to 3.97 % for exterior core and to 9.44 % for juvenile core. From the above stated it follows that the oak wood durability increases in the direction away from the sapwood and in the direction towards the sapwood and it decreases once again when getting closer to the core, nevertheless, the decrease is not as prominent as in the case of the sapwood. The above progress was confirmed by the analysis of variance and by means of the Tukey's test of multiple comparisons statistically important differences were found for all the categories in the Statistica program.

9 POUŽITÁ LITERATURA

AMUSANT, Nadine, et al. Decay resistance in *Dicorynia guianensis* Amsh.: analysis of inter-tree and intra-tree variability and relations with wood colour. *Annals of forest science*, 2004, 61.4: 373-380.

AMUSANT, Nadine; FOURNIER, Meriem; BEAUCHENE, Jacques. Colour and decay resistance and its relationships in *Eperua grandiflora*. *Annals of forest science*, 2008, 65.8: 1.

BABIAK, M.; KUBOVSKÝ, I.; MAMOŇOVÁ, M. Farebný priestor vybraných domácich drevín. *Interaction of wood with various Forms of Energy*. Zvolen: TU Zvolen, 2004, 113-117.

BRAVERY, A. F. A miniaturised wood-block test for the rapid evaluation of wood preservative fungicides. *International Research Group on Wood Preservation. Document No. IRG/WP*, 1978, 2113.

DOBROVOLNÝ, J. *Vztah mezi trvanlivostí dřeva akátu (Robinia pseudoacacia) a jeho přirozenou barvou*, Brno, 2014. Bakalářská práce. Mendelova univerzita v Brně, Lesnická a dřevařská fakulta.

ERIKSSON, Karl-Erik, R BLANCHETTE a Paul ANDER. *Microbial and enzymatic degradation of wood and wood components*. 1st ed. Berlin: Springer-Verlag, 1990. Springer series in wood science. ISBN 978-3-642-46689-2.

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

GIERLINGER, Notburga, et al. Colour of larch heartwood and relationships to extractives and brown-rot decay resistance. *Trees*, 2004, 18.1: 102-108.

GUILLEY, Edith, et al. Decay resistance against *Coriolus versicolor* in Sessile oak (*Quercus petraea* Liebl.): analysis of the between-tree variability and correlations with

extractives, tree growth and other basic wood properties. *Wood Science and Technology*, 2004, 38.7: 539-554.

HOLAN, Jiří. *Ochrana dřeva*. Brno, 2008. Skriptum. MZLU.

HON, D. N. S., MINEMURA, N., 2001: Color and discoloration. In: HON, D. N. S. and SHIRAISHI, N., *Wood and cellulosic chemistry*. New York: Marcel Dekker, 385–442.

HUMAR, Miha, et al. Influence of xylem growth ring width and wood density on durability of oak heartwood. *International Biodeterioration & Biodegradation*, 2008, 62.4: 368-371.

LATORRACA, João VF; DÜNISCH, Oliver; KOCH, Gerald. Chemical composition and natural durability of juvenile and mature heartwood of *Robinia pseudoacacia* L. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, 2011, 83.3: 1059-1068.

MEYER, L., et al. Durability of English oak (*Quercus robur* L.)—Comparison of decay progress and resistance under various laboratory and field conditions. *International Biodeterioration & Biodegradation*, 2014, 86: 79-85.

MOSEDALE, J. R.; CHARRIER, B.; JANIN, G. Genetic control of wood colour, density and heartwood ellagitannin concentration in European oak (*Quercus petraea* and *Q. robur*). *Forestry*, 1996, 69.2: 111-124.

MUHLETHALER, K. Ultrastructure and Formation of Plant Cell Walls. *Annual Review of Plant Physiology* [online]. 1967, **18**(1), 1-24 [cit. 2016-03-31]. DOI: 10.1146/annurev.pp.18.060167.000245. ISSN 0066-4294. Dostupné z: <http://www.annualreviews.org/doi/abs/10.1146/annurev.pp.18.060167.000245>

NEVRLÝ, O. *Srovnání přirozené trvanlivosti a vybraných vlhkostních vlastností dřeva subfossilního dubu s dřevem dubu recentního*, Brno, 2015. Bakalářská práce. Mendelova univerzita v Brně, Lesnická a dřevařská fakulta.

POŽGAJ, A., CHOVANEC, D., KURJATKO, S. BABIAK, M. *Štruktúra a vlastnosti dreva*. Bratislava, 1997. ISBN 80-07-00960-4.

REINPRECHT, Ladislav. *Ochrana dreva: vysokoškolská učebnica*. 1. vyd. Vo Zvolene: Technická univerzita, 2008. ISBN 978-80-228-1863-6.

REINPRECHT, Ladislav. *Procesy degradácie dreva*. Vyd. 2. Zvolen: Technická univerzita, 1997. ISBN 80-228-0662-5.

ROSS, Robert J. 2010. *Wood handbook : wood as an engineering material*. Centennial ed. General technical report FPL ; GTR-190. Madison, WI : U.S. Dept. of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory, 2010: 1 v.

RYPÁČEK, Vladimír. *Biologie dřevokazných hub*. Praha: Nakladatelství Československé akademie věd, 1957. Studie a prameny. Sekce biologická.

SVATONĚ, Josef. *Ochrana dřeva*. Brno: Mendelova zemědělská a lesnická univerzita, 2000. ISBN 80-7157-435-X.

THALER, Nejc; HUMAR, Miha. Performance of oak, beech and spruce beams after more than 100 years in service. *International Biodeterioration & Biodegradation*, 2013, 85: 305-310.

WAGENFÜHR, Rudi. *Anatomie des Holzes: unter besonderer Berücksichtigung der Holztechnik*. 4., neubearbeitete Aufl. Leipzig: Fachbuchverlag, 1989. ISBN 3-343-00455-3.

WAGENFÜHR, Rudi. *Dřevo: obrazový lexikon*. 1. vyd. Praha: Grada, 2002. ISBN 80-247-0346-7

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 1996

ČSN EN 350–2: Trvanlivost dřev a materiálů na jeho bázi – Přirozená trvanlivost rostlého dřeva – Část 2: Přirozená 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

Obrázky a tabulky:

Odolnost a trvanlivost dřevěných konstrukcí. *Tzb-info.cz* [online]. Brno, Praha, 2013 [cit. 2016-05-13]. Dostupné z: <http://stavba.tzb-info.cz/drevene-konstrukce/9638-odolnost-a-trvanlivost-drevenych-konstrukci>

Mushroom Photo Galleries. *Mykoweb.com* [online]. 2010 [cit. 2016-05-13]. Dostupné z: [http://www.mykoweb.com/photos/p7lsm_img_2/fullsize/Trametes_versicolor\(mgw-03\)_fs_fs.jpg](http://www.mykoweb.com/photos/p7lsm_img_2/fullsize/Trametes_versicolor(mgw-03)_fs_fs.jpg)

10 SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1 Delignifikační (a) a erozní (b) formy tlení (Reinprecht, 2008)	12
Obr. 2 Plodnice outkovky pestré (mykoweb.com)	13
Obr. 3 Výřez z kmene s vyznačenými sekce	15
Obr. 4 Struktura os L^* , a^* , b^* v systému CIELAB (Babiak et al, 2004)	17
Obr. 5 Příprava živného média a sterilizace v autoklávu	18
Obr. 6 Ukládání vzorků do misek	18
Obr. 7 Vzorky po vyjmutí z inkubátoru.....	19
Obr. 8 Krabicový graf hodnot parametrů L^* , a^* , b^* pro jádrové dřevo	20
Obr. 9 Procentuální zastoupení tříd trvanlivosti testovaných vzorků	21
Obr. 10 Krabicový graf hmotnostních úbytků [%] jádrových dubových zkušebních vzorků	22
Obr. 11 Změna hmotnostních úbytků dřeva od běli ke dřeni	23
Obr. 12 Analýza dat ANOVA (b – běl, vj – vnější jádro, jj – juvenilní jádro)	23
Obr. 13 Vztah hmotnostních úbytků a parametru barvy L^*	24
Obr. 14 Vztah hmotnostního úbytku a parametru barvy a^*	25
Obr. 15 Vztah hmotnostního úbytku a parametru barvy b^*	25

11 SEZNAM TABULEK

Tab. 1 Zatrídění přirozené trvanlivosti dřeva podle ČSN EN 350–1,2 dle hmotnostních úbytků zjištěných laboratorní zkouškou podle ČSN EN 113	6
Tab. 2 Třídy trvanlivosti vybraných dřevin dle ČSN EN 350-2 a jejich odhadovaná trvanlivost (tzb-info.cz)	7
Tab. 3 Popisná statistika parametrů L^* , a^* , b^* jádrového dřeva dubu	20
Tab. 4 Popisná statistika procentuálních hmotnostních úbytků jádrového dřeva dubových zkušebních vzorků.....	21
Tab. 5 Popisná statistika procentuálních hmotnostních úbytků dubových zkušebních vzorků	22
Tab. 6 Tukeyho test vícenásobného porovnání hmotnostních úbytků.....	24