

Mendelova univerzita v Brně

Lesnická a dřevařská fakulta

Ústav nauky o dřevě

**Analýza množství extraktivních látek a barvy dřeva
dubu zimního**

Bakalářská práce

Prohlašuji, že jsem práci: „Analýza množství extraktivních látek a barvy dřeva dubu zimního“ vypracoval 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 a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, a v souladu s platnou Směrnicí o zveřejňování vysokoškolských závěrečných prací.

Jsem si vědom, 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 nákladů spojených se vznikem díla, a to až do jejich skutečné výše.

V Brně, dne: 9. 5. 2017

Martin Holčák

podpis autora

Poděkování

V první řadě bych rád na tomto místě poděkoval vedoucímu práce doc. Ing. Vladimíru Grycovi, PhD. za odborné vedení vědecké činnosti, za cenné rady i připomínky. Dále děkuji Ing. Janu Baarovi, PhD. za pomoc při přípravě vzorků, měření a zaznamenání výsledků. Poděkování patří také RNDr. Idě Drápelové za odborné vedení činnosti v laboratoři. Za pomoc v rámci pochopení statistických analýz děkuji doc. Ing. Karlu Drápelovi, PhD. V neposlední řadě děkuji své přítelkyni a rodině za projevenou podporu a trpělivost.

Abstrakt

Autor práce: Martin Holčák

Název bakalářské práce: Analýza množství extraktivních látek a barvy dřeva dubu zimního

Tato práce se zabývá experimentálním zjištěním celkového obsahu extraktivních látek a podílového obsahu fenolických látek v extraktech dřeva dubu zimního (*Quercus petraea*) ze čtyř odlišných lokalit jižní oblasti „Pfälzer Wald“ v Rheinland-Pfalz Spolková republika Německo. Vedle chemických analýz byla také změřena barevnost dřeva v prostoru CIE Lab.

Teoretická část práce zachycuje obecná fakta o makroskopické i mikroskopické stavbě dřeva (*Quercus petraea*), dále podrobněji zachycuje problematiku barvy a chemického složení dřeva se zaměřením na doprovodné složky. V kapitole metodika je podrobně popsán postup celého experimentu pro možnost případné opakovatelnosti měření.

Výsledky této práce vykazují střední hodnoty parametrů barvy $L^* = 66,7$; $a^* = 7,0$; $b^* = 20,8$, pro které není statisticky vyhodnocena závislost na celkovém obsahu extraktivních látek ve dřevě dubu zimního. Celkový průměrný obsah extraktivních látek ve dřevě je vyhodnocen na 6,7 %, a dále pak obsah fenolických látek představuje 3,4 %. Je zjištěno, že vlastní barva dřeva i obsah extraktivních látek může být ovlivněn lokalitou růstu či samotnou pozicí v rámci poloměru kmene.

Klíčová slova: barva dřeva, CIE $L^*a^*b^*$, dub zimní (*Quercus petraea*), extraktivní látky, fenolické látky

Abstract

Author of the work: Martin Holčák

The title of the bachelor thesis: Analysis of the amount of extracts and the wood colour of the Sessile oak.

This thesis assesses the experimental findings of the total content of extractives and of the shared content of phenolic substances in wood extracts of the Sessile oak (*Quercus petraea*) from four different locations in the southern region „Pfälzer Wald“ in the Rheinland-Pfalz Federal Republic of Germany. Moreover, the thesis measures the wood colour in CIE Lab besides focusing only on chemical analysis.

The theoretical part outlines general facts about the macroscopic and microscopic structure of the wood (*Quercus petraea*). Also, it discusses in detail the issue of colour and chemical composition of wood with a focus on accompanying components. The chapter Methodics describes the process of the entire experiment for the possibility of repeatability of the measurement.

The results of this work show mean values of the parameters of the colour $L^* = 66,7$; $a^* = 7,0$; $b^* = 20,8$. Dependence on the total content of the extracts in the wood of the Sessile Oak is not statistically evaluated for these values. The total average content of extracts in wood is assessed at 6,7 % and the content of phenolic substances represents 3,4 %. It is detected that the own colour of wood and also the content of extractives may be affected by the location of growth or even by the position itself within the trunk radius.

Key words: wood colour, CIE $L^*a^*b^*$, Sessile oak (*Quercus petraea*), extractives, phenolic substances

1	Úvod.....	8
2	Cíl práce	10
3	Literární přehled.....	11
3.1	Makroskopická stavba dřeva dubu	11
3.2	Mikroskopická stavba dřeva dubu	12
3.3	Chemické složení dřeva	13
3.3.1	Základní složky dřeva.....	13
3.3.2	Doprovodné anorganické složky dřeva	15
3.3.3	Doprovodné organické složky dřeva	16
3.4	Optické vlastnosti dřeva.....	19
3.4.1	Barva dřeva.....	19
3.4.2	Systém CIE L*a*b.....	20
3.4.3	Závislost obsahu extraktivních látek na barvě dřeva.....	21
3.5	Trvanlivost dřeva	22
4	Materiál a metodika.....	24
4.1	Materiál.....	24
4.2	Metodika	25
4.2.1	Stanovení barvy	25
4.2.2	Stanovení obsahu doprovodných látek	26
4.2.2.1	Příprava vzorků	26
4.2.2.2	Stanovení celkového obsahu extraktivních látek	27
4.2.2.3	Stanovení obsahu fenolických látek v extraktech	31
5	Výsledky	34
5.1	Barva dřeva dubu zimního v systému CIE Lab	34
5.2	Obsah extraktivních látek a fenolických látek	36
5.3	Vliv obsahu extraktivních látek na barvu dřeva	37
5.4	Barva dřeva ve vztahu k lokalitě a pozici po poloměru kmene	39

5.5	Obsah extraktivních látek ve vztahu k lokalitě a sekci.....	42
6	Diskuse.....	46
6.1	Barva dubu zimního.....	46
6.2	Obsah extraktivních látek ve dřevě dubu zimního.....	46
6.3	Vliv obsahu extraktivních látek na barvu.....	47
6.4	Vliv lokality a sekce v kmeni na barvu.....	48
6.5	Vliv lokality a sekce na obsah extraktivních látek.....	49
6.6	Možnosti využití výsledků v praxi.....	50
7	Závěr.....	51
8	Summary.....	52
9	Seznam citované literatury.....	53
10	Seznam obrázků a tabulek.....	57

1 Úvod

Dřevní hmota představuje materiál organického původu, který vzniká spolupůsobením přírodních faktorů a procesů. Dřevo bylo využíváno již v dávné historii, kde představovalo pro člověka vedle kamene stěžejní konstrukční materiál. S plynoucím časem vznikaly nové technologie zpracování či možnosti využití dřevní suroviny, a tak se s dřevěnými výrobky setkáváme i dnes. Používání dřeva jakožto výrobní suroviny je v mnoha odvětvích průmyslu velmi strategické z hlediska obnovitelnosti tohoto přírodního zdroje a následného odbourávání přírodou. Dřevo vykazuje své specifické fyzikální a mechanické vlastnosti, které ho předurčují pro rozmanité průmyslové využití. Jedná se o materiál, který je v průmyslu často těžce nahraditelný díky své snadné opracovatelnosti a vysoké pevnosti i pružnosti vzhledem k relativně nízké hmotnosti. Dřevěné vlysy v kombinaci s ocelovými prvky můžou například vytvářet pokročilé příhradové systémy pro střešní, mostní a další konstrukce. Do přímého kontaktu s člověkem dřevo neoddiskutovatelně patří, a to díky velmi dekorativní kresbě, přírodního vzhledu a ekologického charakteru.

Vedle příznivých vlastností, pro které je dřevo vyhledávanou surovinou, musíme zohledňovat anizotropní charakter, rozměrovou proměnlivost, hořlavost či omezenou přirozenou trvanlivost tohoto materiálu. Různé druhy tuzemských či zahraničních dřev mají odlišnou přirozenou trvanlivost i specifické materiálové charakteristiky, proto je velmi důležitá prvotní volba vhodného druhu dřeva pro cílený výrobek či stavební konstrukci. Dřevo je relativně vhodným materiálem pro využití v exponovaných podmínkách exteriéru, avšak vhodný druh, konstrukční řešení, povrchová úprava i správná údržba je rozhodujícím faktorem použitelnosti v tomto prostředí. Dnešní doba přináší i možnosti provedení jistých modifikací dřeva, které velmi příznivě podpoří například přirozenou trvanlivost dřevěných prvků, a tak vedle tradičního nábytkářství má dřevo své pevné místo i ve stavebnictví.

Přirozenou trvanlivost ovlivňuje obsah doprovodných chemických složek dřeva, které se vyskytují u různých druhů v odlišném zastoupení. Jedná se o látky výrazné barvy, které svou barevností dominují nad hlavními chemickými složkami, a tak jejich přítomnost do velké míry předurčuje vlastní barvu dřeva. Předešlé výzkumy v této oblasti odhalují možné závislosti mezi přirozenou trvanlivostí a barvou dřeva, což nám umožňuje vytvoření předpokladu o trvanlivosti dřeva podle jeho barvy. Tato metoda je velmi dobře aplikovatelná v praxi, protože nevykazuje potřebu odborných chemických analýz

v prostředí draze vybavených laboratoří. Je tedy namístě v těchto experimentech pokračovat na dřevěch bohatých na extraktivní látky, jakým je například dřevo dubu zimního (*Quercus petraea*) a vytvářet jednoduché metody pro zjištění např. přirozené trvanlivosti podle barvy dřeva, nebo objasňovat vlivy působící na celkový obsah extraktivních látek ve dřevě.

2 Cíl práce

Předmětem této práce je (I) experimentálně stanovit barvu dřeva dubu zimního v rámci poloměru kmene. (II) Stanovit celkové množství extraktivních látek v závislosti na stanovišti a zastoupení v rámci poloměru kmene. (III) Spektrofotometrickou metodou stanovit obsah fenolických látek obsažených v extraktech.

(IV) Statisticky analyzovat získaná data, dále popsat vztah mezi barvou dřeva a celkovým obsahem extraktivních látek. Posoudit vliv stanoviště stromu na barvu dřeva a celkové množství extraktivních látek. Sledované parametry analyzovat po poloměru kmene. (V) Získaná data vhodně v práci interpretovat a oddiskutovat, navrhnout možnosti využití poznatků v praxi.

3 Literární přehled

3.1 Makroskopická stavba dřeva dubu

Dřevo dubu se řadí do skupiny jádrových dřev s kruhovitě pórovitou stavbou, má tedy vylišenou nažloutlou až světlehnědou bělu o šíři do 3 cm. Jádrové dřevo je nažloutle hnědé až tmavě hnědé, v čerstvém stavu se jeví lehce načervenalé v závislosti na stanovišti. Na příčném řezu jsou viditelné dobře vylišené letokruhy se zřetelnou hranicí mezi jarním a letním dřevem. Zóna jarního dřeva je tvořena makrocévy s viditelnými lumeny buněk, v zóně letního dřeva je viditelné seskupení mikrocév, které v případě dubu utváří radiální žíhání. Dalším důležitým znakem jsou výrazné pravé či nepravé dřeňové paprsky orientované v radiálním směru, které na radiálním řezu pozorujeme jako nápadná zrcátka. V důsledku kruhovitě pórovité stavby nelze povrch dřeva označit za hladký, na radiálním i tangenciálním řezu v oblastech jarního dřeva je patrné nápadné rýhování, dále na příčném řezu jsou patrné vpichy. Obr. 1 dokumentuje makroskopické znaky dřeva dubu na všech anatomických řezech. Dřevo dubu se obecně označuje za tvrdé, houževnaté, dobře opracovatelné a přirozeně velmi trvanlivé, patří k našim nejvíce trvanlivým dřevinám (Wagenführ 2002, Šlezingerová et. al. 2004).



Obr. 1 Makroskopická stavba dřeva dubu (*Quercus*) na příčném, tangenciálním, radiálním řezu (Lexikon dřeva 2012 [online])

3.2 Mikroskopická stavba dřeva dubu

Hlavní podíl dřevní hmoty vytváří libriformní vlákna, která jsou charakteristická protáhlým zašpicatělým tvarem se šterbinovitými tečkami ve stěnách. Pletivo libriformních vláken tvoří 50–60 % dřevní hmoty dubu a plní především mechanickou funkci. Na příčném řezu mikroskopického snímku je zřetelně vidět převážně jednotlivě uspořádané makrocévy jarního dřeva, které jasně vylišují jednotlivé letokruhy viz obr. 2. V zóně letního dřeva jsou viditelné mikrocévy, jejich uspořádání vytváří radiální seskupení. Na radiálním řezu můžeme dobře pozorovat jednoduché perforace cév. Jednovrstevnaté a mnohvrstevnaté výhradně homogenní dřevové paprsky vytvářejí na příčném řezu radiální pásy parenchymatických buněk, které mohou obsahovat krystaly viz obr. 3. V jarních i letních cévách se často vyskytují thyly, které lze pozorovat na všech řezech. Ve dřevě dubu jsou přítomny vláknité, cévovité i vazicentrické tracheidy pozorovatelné na radiálním a tangenciálním řezu. Vedle cév a libriformních vláken je u dubu obsažen axiální parenchym, převládá rozptýleně nakupený a tangenciálně nakupený typ tohoto parenchymu. (Šlezingerová et. al. 2004, IAWA 1989)



Obr. 2 Mikroskopická stavba dřeva (*Quercus*) na příčném řezu (Lexikon dřev 2004 [online])



Obr. 3 Mikroskopická stavba dřeva (*Quercus*) na radiálním (vlevo), tangenciálním (vpravo) řezu (Lexikon dřev 2004 [online])

3.3 Chemické složení dřeva

Vzorky různých druhů dřeva vysušených v laboratorních podmínkách při teplotě 105 °C na vlhkost blížíci se nule mají stejné zastoupení elementárních chemických prvků. Obsah těchto prvků tedy není závislý na druhu dřeva, a proto je hmotnost dřevní substance konstantní veličinou. Elementární složení představuje 49,5 % uhlíku, 44,2 % kyslíku a 6,3 % vodíku. Kromě majoritního podílu organických látek dřevo obsahuje dále minerální látky, které při spalování tvoří popel. Obsah minerálních látek ve dřevě se pohybuje v intervalu 0,2–1,2 % (Požgaj et. al. 1997).

Chemické složky dřeva lze dělit na základní stavební složky dřeva a doprovodné složky dřeva. Základní složky utváří stavbu buněčných stěn, jsou odpovědné za tvar dřevních buněk a za většinu fyzikálních i mechanických vlastností. Základními stavebními složkami dřeva jsou celulóza (40–50 %), hemicelulózy (20–30 %) a lignin (20–35 %). Extraktivní doprovodné látky (0–10 %) se nepodílí na stavbě buněčných stěn, jsou obsaženy v lumenech vodivých a zásobních buněk dřeva. Organické doprovodné složky jsou do jisté míry rozpustné, lze je ze dřeva extrahovat za použití rozpouštědel o správné polaritě. Anorganické doprovodné složky v obsahu menší než 1 % představují dřevní popel (Barnett et. al. 2003).

3.3.1 Základní složky dřeva

Polysacharidy jsou vysokomolekulární látky složené z velkého počtu molekul monosacharidů. Podle základní funkce je lze dělit na rezervní (škrob, inulin) a stavební polysacharidy (celulóza, hemicelulózy). Polysacharidy se váží do přímých nerozvětvených či rozvětvených řetězců, které jsou navzájem vázány glykosidickými vazbami (Janovský et. al. 1999).

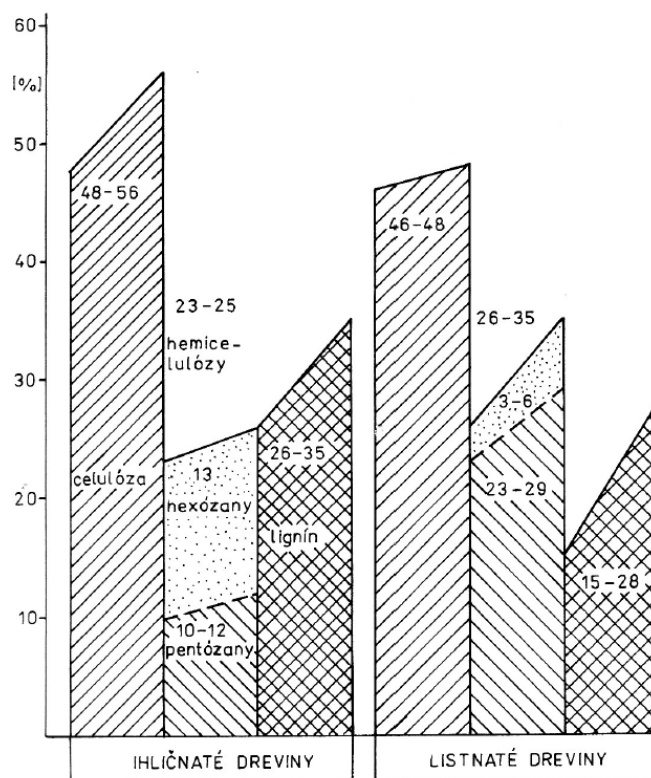
Celulóza je nejrozšířenějším biopolymerem na zemi, tvoří základní stavební jednotku rostlinných buněčných stěn. Významně je obsažena především ve vrstvě S₂ buněčné stěny. Čistá celulóza vytváří dlouhý homopolymerní řetězec složený z opakujících se složek celobiózy. Celobióza je složena z dvou jednotek β -D-glukózy pootočených mezi sebou o 180°, tyto glukózové jednotky jsou vázány glykosidickými vazbami β (1 \rightarrow 4) (Barnett et. al. 2003). Polymerní řetězec celulózy je zpevňován van der Waalsovými silami a intra-intermolekulárními vodíkovými vazbami. Vzdálenost mezi jednotlivými jednotkami glukózy je 0,6 nm a vzdálenost mezi jednotlivými řetězci je 0,54 nm (Janovský et. al. 1999). Se zvětšující se délkou řetězce celulózy se zvětšuje

i polymerační stupeň, a proto se navyšuje i pevnost dřeva. Řetězec celulózy může obsahovat až 10 000 jednotek (Požgaj et. al. 1997).

Hemicelulózy tvoří další základní sacharidickou složku dřeva, která není tak stálá jako celulóza. Tyto látky mají oproti celulóze amorfní nad-molekulovou stavbu, a proto nejsou odolné vůči kyselé hydrolyze glykosidických vazeb. Hemicelulózy lze ze dřeva hydrolyzovat zředěnými kyselinami, nebo je možné ze dřeva extrahovat roztoky alkálií. Hemicelulózy prostupují celulóзовý skelet buněčné stěny a utváří vzájemné spolupůsobení s celulózou a ligninem. Toto spolupůsobení neumožňuje izolaci jednotlivých složek v nativním a intaktním stavu (Janovský et. al. 1999). Obecně se v literatuře uvádí, že obsah hemicelulóz ve dřevě je v rozsahu 20–30 %. Listnaté dřeviny jsou v porovnání s jehličnany bohatší na obsah hemicelulóz (Požgaj et. al. 1997). U listnatých dřevin je spolupůsobení celulóz s hemicelulózami vyšší, a proto nelze izolovat celulózu, aniž by neobsahovala stopy hemicelulóz. Nelze tedy experimentálně přesně určit obsah hemicelulóz, pro dub je orientačně uváděn obsah 23,3 % (Janovský et. al. 1999). Podíl hemicelulóz ve dřevě se skládá ze skupiny polysacharidů s nižším polymeračním číslem (100–200) než má celulóza, mezi tyto polysacharidy patří D-glukosa, D-xylosa, D-manosa, D-galaktosa, L-ramnosa, L-fruktosa, L-arabiosa a doprovodné množství dalších cukrů. Hemicelulózy mohou být ve velkém množství obsaženy v silově namáhaném kmeni stromu, tlakové dřevo vykazuje vysoký obsah D-galaktosy doprovázenou vyšším obsahem ligninu (Rowell et. al. 2013). Hemicelulózy doplňují celulózu v jednotlivých vrstvách buněčné stěny a vytváří tmelící složku spojující řetězce celulózy s ligninem. Hemicelulózy lze členit na manany, xylany a galaktany, podle druhu převládajícího monosacharidu v hlavním řetězci (Gandelová et. al. 2002).

Lignin je hned po celulóze nejvíce zastoupený polymer v chemickém složení dřeva. Lignifikace (zdřevnatění) je proces ukládání ligninu do buněčných stěn, ke kterému dochází po ukončení tvorby celulózové kostry stěn dřevních buněk. Lignin vyplňuje prostory mezi strukturami polysacharidů, na které je poután pomocí elektrostatických interakcí, van der Waalsovými silami i chemickými vazbami. Chemické vazby probíhají především mezi postranními řetězci hemicelulóz, polysacharidy s ligninem utváří lignopolysacharidové komplexy. Zastoupení ligninu ve dřevě je velmi proměnlivé a pohybuje se v rozmezí 15–33 %, dále je uváděno vyšší procentuální zastoupení u jehličnatých dřevin v rozmezí 24–33 % (Gandelová et. al. 2002). Janovský et. al. (1999) dále uvádí, že obsah ligninu se u jehličnatých dřevin pohybuje v intervalu

27–37 %, listnaté dřeviny mají nižší obsah v rozmezí asi 16–29 % v případě dubu 18,4 %. Obsah ligninu není ve dřevě stálý, ale mění se v odlišných částech kmene či ve větvích. Lignin je složen z fenylypropanových jednotek substituovaných v jádře a bočním řetězci. Přesná struktura trojdimenzionálních řetězců není doposud přesně definovaná. Nejvyššího obsahu lignin dosahuje ve střední lamele, který se pohybuje kolem 60 až 90 %. Obsah ligninu ubývá směrem k lumenu a navyšuje se podíl hemicelulóz a celulózy. Hlavní funkce ligninu spočívá ve spojování vláken, a také zpevňuje molekuly celulózy v buněčných stěnách, tím dodává dřevu pevnost především v tlaku. Lignin je termoplastický, díky čemuž je možné dřevo za splnění určitých podmínek plastifikovat a následně tvarovat. Další vlastností je vysoká absorpce světla, která způsobuje šednutí dřeva vlivem atmosférické koroze dřeva (Požgaj et. al. 1997).



Obr. 4 Zastoupení základních složek dřeva (Požgaj et. al. 1997)

3.3.2 Doprovodné anorganické složky dřeva

Anorganické složky se ve dřevě vyskytují jen v zanedbatelném množství, avšak i přes tento nízký obsah plní pro správnou vegetaci stromu nepostradatelnou funkci. Anorganické látky jsou čerpány z půdy kořenovým systémem a dále jsou transportovány asimilačním tokem do listů a jehlic, kde se účastní asimilačních a disimilačních procesů.

Mezi anorganické složky patří řada minerálních látek především draslík, sodík, vápník, hořčík, křemík, fosfor (Janovský et. al. 1999). Největší množství anorganických látek je však obsaženo ve vnitřní kůře kmene, obsažené množství těchto minerálů dosahuje až 13 %. Vlivem vysokého obsahu anorganických látek má kůra znatelně nižší pH v porovnání s bělovým či jádrovým dřevem. Literaturou uváděný experiment ukazuje, že kůra borovice dosahuje pH v hodnotách 3,1–3,8 v porovnání s bělovým dřevem, které dosahuje hodnot 4,4–4,6. Dále je uváděno, že nejčastěji zastoupenými prvky je vápník, hořčík a draslík, které tvoří 80 % dřevního popela (Rowell et. al. 2013). Ve dřevě dubu je z anorganických látek nejvíce obsažen vápník, jehož množství dosahuje hodnoty 2 640 ppm, což odpovídá obsahu 0,264 %. Ve dřevě dubu může být dále zaznamenán i stopový obsah cínu, kobaltu, niklu a titanu (Janovský et. al. 1999).

3.3.3 Doprovodné organické složky dřeva

Sacharidy

Dřevo dále obsahuje kromě hlavních polysacharidů (celulózy, hemicelulóz) malý obsah pektinů, škrobů a proteinů. *Pektiny* jsou nejvíce obsaženy především v membránách buněčných ztenčenin a také ve střední lamelle. Nejvyšší koncentrace pektinů se však nachází ve stěnách parenchymatických buněk vnitřní kůry a lýka stromu, kde plní funkci pojiva (Rowell 2013). Přesná podoba stavby molekul pektinu není doposud známa, molekuly mohou obsahovat až 1000 sacharidických článků. Kvantitativní obsah pektinových látek ve dřevě není nijak významný, pohybuje se do 0,5–1 % z obsahu extraktivních látek (Jankovský et. al. 1999). *Škrob* je velmi významnou zásobní látkou rostlin, která je složena ze dvou druhů polysacharidů, a to z amylosy a amylopektinu. Ve vyzrálém dřevě je jeho obsah velmi nízký, škrob je soustředěn především v pletivech, kde jsou přítomny fotosyntetické procesy a dále v oblastech transportu živin. Dřevo listnatých dřevin má vyšší obsah škrobu, nejvíce bohatá na škrob je běl dubu, jilmu, jasanu, platanu a některých tropických dřev. Jeho celkový obsah ve dřevě je velice variabilní a kolísá v rozmezí 0,3–7 % (Gandelová et. al. 2002). *Polyuronidy* jsou zvláštní skupinou heterogenních polysacharidů, jejichž sacharidické články jsou tvořeny uronovými kyselinami. V podobě rostlinných látek se nejvíce vyskytují v mezibuněčných prostorech, kde plní funkci adheziva. Dokáží do jisté míry ovlivňovat tvrdost, elasticitu a plasticitu rostlinného pletiva. Tyto látky dosáhly velkého významu především v potravinářském a textilním průmyslu, kde se používají

jako aditiva pro tvorbu gelu např. v ovocných výrobcích. Obecně jsou polyuronidy označovány jako dřevní gummy (Jankovský et. al. 1999).

Terpenoidy

Terpenoidy patří do rozsáhlé skupiny extraktivních látek obsažených ve dřevě, které jsou utvářeny z různého počtu molekul izoprenu tzv. izoprenových jednotek. Základní stavební jednotkou terpenů je izopren, který je označován systematickým názvem jako 2-methyl-1,3-butadien, jehož polymerizací vznikají monoterpeny, seskviterpeny, diterpeny, triterpeny a dále polyterpeny. Nižší terpeny až do triterpenu jsou obsaženy především v měkkých dřevěch zejména v pryskyřici. V tvrdých dřevěch se vyskytují výhradně vyšší terpeny s výjimkou některých exotických dřev (Barnett et. al. 2003). Přírodní směsi terpenů rostlinného původu se označují jako *éterické oleje* nebo také jako *silice*. Tyto silice jsou charakteristické svou těkavostí s vodní parou a také rozpustností v lipidních látkách. Těchto vlastností se užívá při získávání z rostlinného materiálu a následně se velmi často používají v potravinářském průmyslu či v lékařství (Jankovský et. al. 1999). Jádru dřeva jehličnanů s obsahem pryskyřičných kanálek je nejvíce bohaté na množství terpenů. Silice a éterické oleje ze dřeva získáváme pomocí destilace vodní parou, tuhý zbytek představuje až 90 % a je tvořen především pryskyřičnými kyselinami a steroly. Celkový obsah pryskyřičných kyselin je u dřeva borovice až 67 % z obsahu extraktivních látek, ve dřevě smrku je obsah snížen do 24 %. Terpeny jsou v listnatých dřevinách obsaženy vzácně, v případě dubu byl ve stopovém množství izolován betulín a skvalen (Gandelová et. al. 2002).

Fenolické látky

Fenolické látky představují další hlavní skupinu extraktivních látek, které jsou charakteristické přítomností hydroxylové funkční skupiny vázané přímo na benzenové jádro. Nejjednodušším zástupcem fenolických látek je fenol, který není jako takový obsažen v extraktivních látkách dřeva. Fenolické látky obecně ovlivňují charakteristické zbarvení dřeva, barevné skvrny, přirozenou trvanlivost a rezistentní vlastnosti vůči biotickým škůdcům. Jednou z významných skupin fenolických látek obsažených v jádrovém dřevě listnáčů i jehličnanů tvoří *lignan*y. Obsah lignanů je soustředěn především v jádrovém barevně vylišeném dřevě, obsah těchto látek v běli je minimální. (Barnett et. al. 2003). Další obsáhlou skupinu fenolických látek tvoří *flavonoid*y, definované jako sekundární metabolity, které se přirozeně vyskytují téměř ve všech

rostlinných organismech. Flavonoidy jsou poměrně významně obsaženy v jádrovém dřevě, kde plní především ochrannou funkci proti ultrafialovému záření, patogenním organismům a dalším biotickým činitelům živočišné říše. Obsah flavonoidů má tedy významný vliv na přirozenou trvanlivost dřeva. Flavonoidy si získaly pozornost především díky schopnosti vychytávání či neutralizaci volných radikálů a dále díky fungicidní biologické aktivitě (Nascimento et. al. 2013). Flavonoidy jsou ve dřevě zpravidla doprovázeny *stilbeny*, jejich přítomnost přispívá k zvýšení přirozené trvanlivosti. Stilbeny se převážně nacházejí v jádrovém dřevě borovice (*Pinus sylvestris*) tam, kde se vyskytlo napadení dřevokaznými houbami, či došlo k přílišné absorpci UV světla. Přítomnost těchto látek ve dřevě přináší řadu problémů v rámci zpracování dřeva na buničinu pro výrobu papíru, a dále také způsobují rychlé tmavnutí povrchu dřeva v důsledku absorpce světla (Barnett et. al. 2003). Mezi fenolické látky dále řadíme *taniny* neboli třísloviny, které definujeme jako látky polyfenolického charakteru obsažené v rostlinných pletivech dřeva, kůry, listů, jehličí i květech. Jejich primární funkce je ochrana proti napadení býložravci či dřevokazným hmyzem. Třísloviny jsou charakteristické svou velmi trpkou a svíravou chutí i nepříjemnou vůní. Tyto látky jsou schopné srážet bílkoviny z vodných roztoků a vytvářet amorfni sraženiny se solemi těžkých kovů či s alkaloidy. Dřevo s vysokým obsahem tříslovin silně reaguje s mnohými kovovými kationty, a tím vytváří charakteristické zabarvení dřeva do černých odstínů. Dřevo bohaté na obsah tříslovin se užívá v potravinářském průmyslu zejména pro výrobu a uchování drahých vín či destilátů. Schopnost tříslovin srážet bílkoviny našla uplatnění v kožedělném průmyslu pro činění kůží. Taniny můžeme klasifikovat na třísloviny hydrolyzovatelné (štěpitelné) a nehydrolyzovatelné (kondenzované) podle toho, zda je možné tyto látky štěpit působením minerálních kyselin nebo hydroxidů (Jankovský et. al. 1999).

3.4 Optické vlastnosti dřeva

3.4.1 Barva dřeva

Anatomická stavba a chemické složení dřeva předurčují vedle fyzikálních a mechanických vlastností také vlastnosti estetické. Barva dřeva a její stálost v podmínkách exteriéru či interiéru je jedním z důležitých estetických hodnot daného druhu dřeva. Barva je zrakový vjem, který je dán spektrálním složením odražených paprsků světla. Barva dřeva je velmi variabilní vlastnost lišící se jednak samotným druhem dřeviny, ale také v rámci jednoho dřevěného prvku, a to mezi jádrem a bělí či vrstvami jarního a letního dřeva v letokruhu (Gandelová et. al. 2002).

Vlastní barva dřeva je ovlivněna jeho chemickým složením, zejména přítomností doprovodných extraktivních látek. Hlavní chemické složky celulóza a hemicelulózy neabsorbují viditelné spektrum světla, mají vjem bílé barvy, dále pak relativně čistě extrahovaný lignin má barvu světle žlutou. Přestože jsou tyto hlavní složky ve dřevě majoritně zastoupeny, jejich světlé bílé odstíny jsou překrývány výraznou barvou méně zastoupených doprovodných látek (Baar, Gryc 2010). Tmavší barva jádrového dřeva je důsledkem přirozeného stárnutí stromů, kdy dochází k biochemickým změnám v buňkách a k ukládání jádrových buněk. K dalším barevným změnám dochází vlivem působení atmosférických podmínek, dřevozbarvujících či dřevokazných hub, technologických postupů, a dále pak v důsledku chemické ochrany dřeva (Gandelová et. al. 2002).

Povrch dřeva je schopen paprsky určitých vlnových délek pohlcovat a některé naopak odrážet, odražené paprsky mají odlišné spektrální složení než paprsky dopadající. Pohlcováno je barevné spektrum odpovídající vlnovým délkám kolem 400 nm, vlnová délka odražených světelných paprsků pak spadá do intervalu 575–585 nm. Nejvíce je tedy dřevem pohlcována ultrafialová složka světla, která dosahuje vlnových délek do 380 nm, světelné záření o vyšších vlnových délkách je částečné nebo zcela odraženo (Horáček 2008). Lignin tvořící jednu z hlavních složek dřeva absorbuje 80–95 % UV záření, polysacharické složky 5–12 % a extraktivní látky pouze 2 % tohoto záření. Dřevo vystavené přímému UV záření relativně rychle mění svou barvu do žlutých odstínů vlivem absorpce záření a následné fotooxidace ligninu, šednutí dřeva je pak způsobeno vyplavením rozkladných produktů ligninu. UV záření je schopné pronikat z povrchu do hloubky 200 μm , a proto je rozklad nejméně stabilního ligninu pouze v povrchových

vrstvách dřeva. Ztmavnutí barvy dřeva ve větší hloubce do 2 mm je nejspíše zapříčiněno řetězovými reakcemi volných radikálů (Baar, Gryc 2010).

Při určování přesné barvy dřeva pouhým slovním popisem na základě zrakového vjemu dochází k značné nepřesnosti, která je způsobena lidským subjektivním vnímáním barevného spektra. Kolorimetrie se zabývá metodami přesného objektivního určení barvy a barevných odstínů, tyto metody nám poskytují referenční data charakterizující konkrétní barevný odstín. Pro popis konkrétní barvy jsou používány trichromatické soustavy CIE určované Mezinárodní komisí pro osvětlení, které vychází ze skutečnosti, že mícháním tří základních světél můžeme vyvolat vjem jakékoli barvy (Požgaj et. al. 1997).

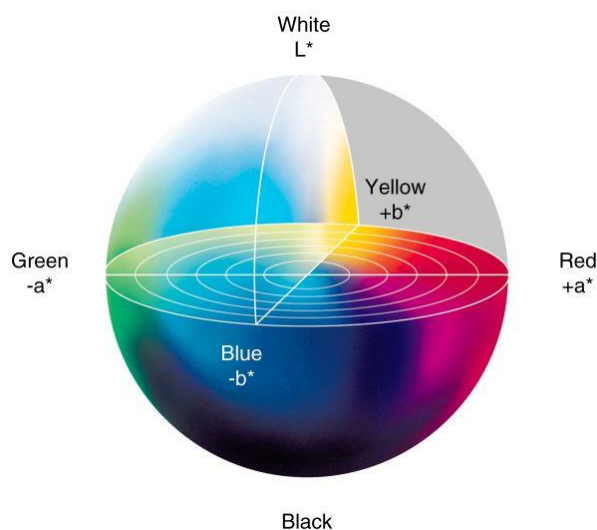
3.4.2 Systém CIE L*a*b

Převratnou roli pro definování barevných systémů tvoří komise CIE, která byla založena v roce 1931. Barevné prostory definované komisí CIE jsou nezávislé na subjektivních vlastnostech pozorovatele, pro stavbu systému byly stanoveny standardní podmínky pozorování barev.

Barevný systém CIE L*a*b z roku 1976 řeší problém nedostatečného reálného vnímání barev a vychází z transformace předešlého barevného prostoru CIE XYZ z roku 1931. Barevný model CIE L*a*b napodobuje přístup, jak člověk posuzuje barvy svým vnímáním, aby byl vjem barvy rovnoměrný. Model je stanoven tak, aby obsáhl množinu všech barev vnímatelných lidským okem (Pospíšilová 2008 [online]). Barevný systém L*a*b je vymezen třemi osami, a to nepestrou osou světlosti (L^*), chromatickou osou zeleno-červenou (a^*) a chromatickou osou modro-žlutou (b^*) viz obr. 5. Osa světlosti L^* se pohybuje v intervalu od 0 do 100, kdy hodnota rovna 0 představuje černou a hodnota 100 představuje čistě bílou barvu. Barevnost je pak určena parametry a^* a b^* , které mohou být kladné či záporné, podle převládající barvy (+ a^* – červená, – a^* – zelená, + b^* – žlutá, – b^* – modrá). Souřadnice L^* , a^* , b^* přesně definují měřenou barvu v jejím odstínu, sytosti i jasu. Rozložení barev a polohu souřadnicových os zobrazuje model barevného prostoru $L^* a^* b^*$ v podobě koule na obr. 5 (Baar, Gryc 2010).

Světlo odražené povrchem materiálu již nemá stejné spektrální vlastnosti jako světlo dopadající na povrch. Parametry barevnosti zjišťujeme změřením spektrálních charakteristik odraženého bílého světla, které je pak v optickém přístroji rozloženo na jednotlivé vlnové délky. Pro zachycení odraženého spektra a následné vyhodnocení se

velmi často používá přenosných spektrofotometrů společně s programovou podporou počítače (Mamoňová 2014 [online]).



Obr. 5 Model barevného prostoru CIE L*a*b* (Blathur 2013 [online])

3.4.3 Závislost obsahu extraktivních látek na barvě dřeva

Jak již bylo v předešlé kapitole nastíněno, barvu dřeva ovlivňuje četné množství faktorů spojené s růstem stromu, skladováním kulatiny, sušením řeziva, výrobním zpracováním a ochranou výrobku ze dřeva. V neposlední řadě je samotná barva dřeva značně ovlivňována genetickými faktory dané dřeviny a také chemickým složením zejména přítomností extraktivních látek.

Studie prokazují závislost mezi barvou dřeva a obsahem extraktivních látek ve dřevě. McGinnes (1975) poukázal na tuto závislost experimentem extrakce vzorků jádrového dřeva ořešáku černého (*Juglans nigra*) v ředěném roztoku metanolu, vzorky borovice po extrakci vykazovaly rapidní zesvětlení barvy. Hiller et. al. (1972) také prokázal negativní korelaci mezi intenzitou zbarvení jádrového dřeva a celkovým obsahem extraktivních látek rozpuštěných ve vodě. Barva dřeva je obvykle spojena s tvorbou jádrového dřeva. Tento proces zjadernění je doprovázen odumíráním buněčných pletiv s postupným vymizením obsahu zásobních látek a nárůstem obsahu extraktivních fenolických látek (Burtin et. al. 1997). Minoritní podíl extraktivních látek je podobně jako lignin citlivý vůči záření. Barevná degradace extraktivních látek může probíhat dvěma mechanismy, a to strukturální změnou ve funkčních skupinách molekul, nebo dochází

ke kombinaci fenolických látek mezi sebou. Tyto mechanismy jsou doprovázeny změnou barvy doprovodných látek, a tak i změnou vlastní barvy dřeva (Chang et. al. 2010).

3.5 Trvanlivost dřeva

Studie zabývající se celkovým obsahem extraktivních látek ve dřevě jsou velmi úzce spjaty s přirozenou trvanlivostí dřeva. Zjednodušeně lze konstatovat, že množství extraktivních látek předurčuje výslednou přirozenou trvanlivost dřeva. Tato práce se však zabývá především vazbou mezi extraktivními látkami a barvou dřeva, a proto je v následující kapitole pouze nastíněn pojem přirozené trvanlivosti a závislosti na extraktech.

Omezená trvanlivost dřeva vystaveného podmínkám exteriéru je jednou z hlavních negativních vlastností tohoto materiálu. Dřevěné prvky v exteriéru jsou náchylné na poškození dřevokazným hmyzem, dřevokaznými houbami, atmosférickou korozi, agresivními chemikáliemi či tvarovou deformací při změně klimatu. Přirozenou trvanlivostí dřeva se rozumí schopnost chemicky či konstrukčně nechráněného prvku odolávat vůči atmosférickým podmínkám a biologickým škůdcům. Přirozená trvanlivost dřeva se v praxi nedá přesně definovat, je závislá na mnoha faktorech spojených s konkrétním expozičním zatížením dřevěného prvku a samotného druhu dřeviny (Reinprecht 2008).

Biologicky aktivní bělové dřevo má velmi nízkou přirozenou trvanlivost ve srovnání s jádrovým vyzrálým dřevem, a proto se běl ve zpracovatelském průmyslu prakticky nevyužívá. Jádrové dřevo některých dřevin naopak disponuje vysokou odolností vůči případné biodegradaci. Stewart (1966) uvádí, že tvorba jádrového dřeva je doprovázena vznikem toxických produktů rostlinného metabolismu (Taylor et. al. 2002). Zvýšená přirozená trvanlivost dřeva často souvisí s obsahem toxinů extraktivních složek dřeva, které zabraňují či výrazně zpomalují činnosti patogenních organismů ve dřevě. Několik studií dokazuje, že při odebrání (extrakci) doprovodných látek z velmi trvanlivého dřeva dochází k porušení rezistence a dřevo se stává velmi citlivé vůči patogenním organismům (Nascimento et. al. 2013). Přestože třísloviny a další doprovodné látky pozitivně navyšují trvanlivost dřeva, může docházet k postupnému vyprchání či vymytí těchto látek a k trvalému snížení přirozené trvanlivosti v čase. Tato skutečnost byla prezentována na 8 150letém subfossilním dubovém dřevě, které vykazovalo výrazně nižší odolnost vůči hnilobě a plísním v porovnání s dnešním dubovým dřevem (Reinprecht 2008).

Na základě praxe a výsledků laboratorních měření byly vypracovány porovnávací materiály v rámci přirozené trvanlivosti dřeva. Podle normy EN 350-2 jsou jednotlivé druhy dřeva začleněny podle přirozené trvanlivosti do pěti tříd. Mezi nejtrvalejší dřeviny vyskytující se v tuzemských podmínkách patří akát (*Robinia pseudoacacia*) podle EN 350-2 hodnocen 1–2 třídou trvanlivosti, a dále dub (*Quercus robur*, *Q. petraea*) hodnocen třídou 2. Hodnoceno je pouze jádrové dřevo vybraných dřevin, bělové dřevo je klasifikováno do třídy 5 bez ohledu na dřevinu. Tabulka 1 obsahuje výčet průmyslově zpracovávaných dřev spolu s přiřazením odpovídající třídy trvanlivosti (EN 350-2 1994).

Tab. 1 Členění vybraných dřev podle trvanlivosti (dle EN 350-2)

TŘÍDA TRVANLIVOSTI		
1 velmi trvanlivé	<i>Pterocarpus soyauxii</i>	Padouk
	<i>Tectona grandis</i>	Teak
	<i>Eperua falcata</i>	Walaba
	<i>Mansonia altissima</i>	Mansonia
1–2	<i>Robinia pseudoacacia</i>	Akát
	<i>Dryobalanops aromatica</i>	Kapur
2 trvanlivé	<i>Quercus robur</i> , <i>Q. petraea</i>	Dub
	<i>Castanea sativa</i>	Kaštan
	<i>Guibourtia demeusii</i>	Bubinga
3 středně trvanlivé	<i>Pseudotsuga menziesii</i>	Douglaska
	<i>Quercus cerris</i>	Dub cer
	<i>Juglans regia</i>	Ořech
3–4	<i>Pinus sylvestris</i>	Borovice
	<i>Larix decidua</i>	Modřín
4 málo trvanlivé	<i>Abies alba</i>	Jedle
	<i>Picea abies</i>	Smrk
	<i>Ulmus sp.</i>	Jilm
5 netrvanlivé	<i>Betula pendula</i>	Bříza
	<i>Fagus sylvatica</i>	Buk
	<i>Carpinus betulus</i>	Habr
	<i>Fraxinus excelsior</i>	Jasan
	<i>Acer pseudoplatanus</i>	Javor

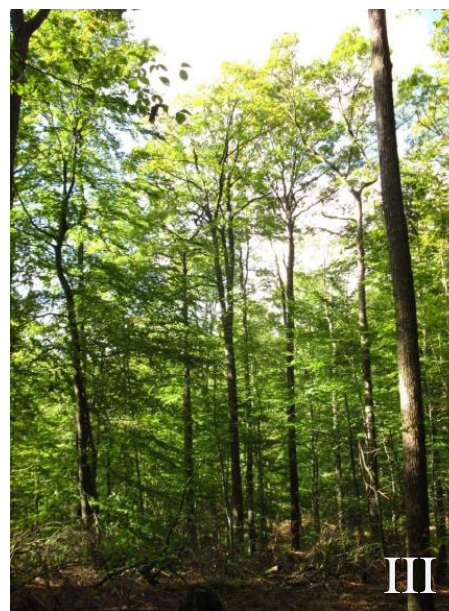
4 Materiál a metodika

4.1 Materiál

Pro experimentální činnost byly pořízeny vzorky dubu zimního (*Quercus petraea*) pocházejících z odlišných lokalit Pfälzer Wald ve Spolkové republice Německo. Lokality byly označeny třídami I, III, IV a V, které se liší nadmořskou výškou, procentuálním zastoupením dubu zimního v rámci stanoviště, rozlohou a druhovým složením lesního porostu. Konkrétní informace charakterizující stanoviště a průměrný věk stromů dubu pro získání vzorků obsahuje tabulka 2 (Hapla, Gille 2015).

Tab. 2 Charakteristika lokalit v Pfälzer Wald (Hapla, Gille 2015)

LOKALITA	DOMINUJÍCÍ DRUH	ROZLOHA STANOVIŠTĚ [ha]	NADMOŘSKÁ VÝŠKA [m]	ZASTOUPENÍ (<i>Quercus petraea</i>) [%]	PRŮMĚRNÝ VĚK STROMŮ [poč. let]
I	<i>Q. petraea</i>	7,3	380–420	60	146
III	<i>Q. petraea</i>	4,5	350–400	30	172
IV	<i>P. sylvestris</i> <i>Q. petraea</i>	3,5	260–400	31	131
V	<i>Q. petraea</i>	1,5	260–360	22	98



Obr. 6 Lokality třídy I a III (Hapla, Gille 2015)



Obr. 7 Lokality třídy IV a V (Hapla, Gille 2015)

V každé z lokalit bylo vytěženo 6 stromů dubu a ve výši 90 cm od paty kmene byly pořízeny diskové výřezy reprezentující kvalitu a barvu dřeva po celém průřezu kmene. Pro tuto práci byly využity výřezy ze třech stromů z každé lokality. Tyto výřezy byly dále řezány na jednotlivé vzorky o tloušťce přibližně 1 cm a následně označeny písmeny abecedy směrem od kůry k dřeni. Každý z takto pořízených vzorků tedy obsahoval číselné označení třídy lokality těžby, číslo kmene a dále písmeno označující přesnou polohu v kmeni. Vzorky byly vyrobeny z bělového i jádrového dřeva, které bylo očištěno od kůry a dřene. Dřevo nevykazovalo žádné biotické či abiotické poškození, což je podstatné pro porovnatelnost naměřených experimentálních dat. Pravá strana každého ze vzorků byla důkladně podél vláken vybroušena při zrnitosti brusiva 120, tato operace je nezbytná pro referenční výsledky měření barvy dřeva přenosným spektrofotometrem.

4.2 Metodika

4.2.1 Stanovení barvy

Měření barvy bylo prováděno za pomoci přenosného spektrofotometru typu CM-2600 d vyrobeného firmou Konica Minolta. Tento přístroj lze jednoduše obsluhovat jednou rukou a s pomocí navigačního kolečka snímat požadované místo povrchu. Spektrofotometr využívá geometrii typu 45/0, rozsah zaznamenávaných vlnových délek je v intervalu 360–740 nm. Měřená oblast představuje kruh o průměru 11 mm, standardní

pozorovatel $8-10^\circ$ a čas snímání povrchu s vyhodnocením se pohybuje od 1,5–2 s. Vzorok přichystané na měření bylo zapotřebí uchovávat na neosvětleném místě, aby nedocházelo ke změnám barevnosti vlivem slunečního záření. Samotné měření se provádělo na anatomicky pravé straně vzorku, kde byla měřena barevnost na dvou místech. Na každém vzorku byly tedy vyhodnoceny parametry L^* , a^* , b^* pro dvě místa, výsledná hodnota představuje průměr. Pro efektivnější záznam měřených dat byl přístroj připojen k počítači s programovou podporou.



Obr. 8 Přenosný spektrofotometr CM-2600 d (Konica Minolta [online])

4.2.2 Stanovení obsahu doprovodných látek

4.2.2.1 Příprava vzorků

Pro další experimenty bylo zapotřebí zpracovat všechny vzorky na dřevní prach, ze kterého je pak možné extrahovat doprovodné látky. K dezintegraci celistvých vzorků byl zvolen oscilační mlýn typu MM 400 od firmy Retsch. Tento typ oscilačního mlýnu lze používat pro mokré, suché i kryogenní mletí malých objemů. Technologie mletí je velmi vhodná pro narušování biologických buněk v materiálu (Retsch [online]). Vstupní velikost materiálu pro mlýn je omezená na 8 mm, a proto byly vzorky naštípány na drobnější fragmenty o velikosti zápalky. Takto připravený materiál byl vkládán v předepsaném množství do mlecích patron spolu s mlecím tělesem (kuličkou). Dobře uzavřené patrony se bezpečně upnuly do zařízení a pomocí horizontálních oscilací o frekvenci 30 Hz byly mlety na jemnou frakci po dobu 2,5 min. Technologie umožňuje intenzivní promíchávání materiálu v patronách, a tím zabezpečuje sourodou velikost částic. Namletý materiál byl uložen do sáčku s označením vzorku.



Obr. 9 Naštípané fragmenty dřeva před mletím, vzorek po mletí

4.2.2.2 Stanovení celkového obsahu extraktivních látek

Experimentální činnost pokračovala stanovováním celkového množství extraktivních látek ze vzorků dubu zimního (*Quercus petraea*). Princip zvolené metody spočívá v extrakci maximálního množství doprovodných látek z dřevního prachu do rozpouštědla. Po následné filtraci heterogenní směsi a vypaření celého objemu rozpouštědla za zvýšené teploty je zbylý extrakt na stěnách baňky přesně zvážen. Je tedy možné tuto metodu zjištění vyluhovatelných látek označit za váhovou.

Z každého vzorku bylo do vzorkovnice odváženo 5 g dřevního prachu, z důvodu lepší přehlednosti experimentu se navažovaly série po deseti vzorcích. Dále byl do 5 g navážky prachu přidán objem 60 ml 50 % methanolu. Obsah vzorkovnic byl řádně uzavřen a promíchán, pro urychlení procesu extrakce byly takto připravené vzorky vloženy do ultrazvukové lázně po dobu 20 min. Po 20 min. extrakce byl objem rozpouštědla slit do nálevky s filtračním papírem a po čas filtrace jímán do širokohrdlé erlenmeyerovy baňky. Do již jednou extrahované navážky dřevního prachu bylo dále přidáno 40 ml 50 % methanolu. Následovala druhá fáze extrakce, která probíhala analogicky jen s nižším obsahem methanolu. Po skončení druhé fáze extrakce byl celý objem směsi rozpouštědla a dřevního prachu přefiltrován. Po dokončení filtrace byl celkový objem filtrátu změřen v odměrném válci a zaznamenán. Z objemu filtrátu byl do paralelky odebrán vzorek 2 ml a nadále uchováván v lednici pro následnou spektrofotometrickou analýzu.



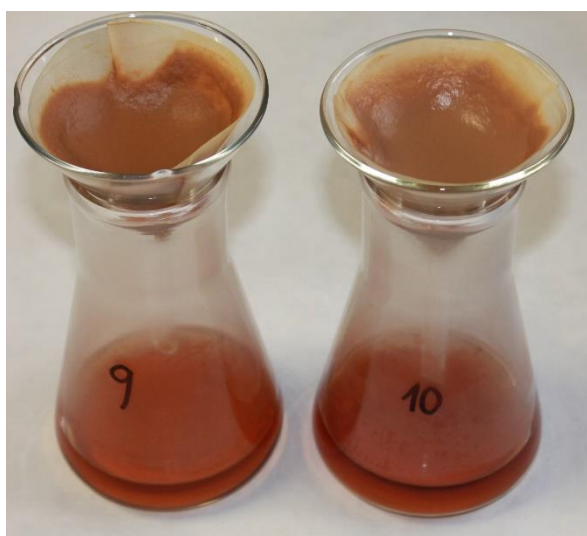
Obr. 10 Navážky 5 g dřevního prachu



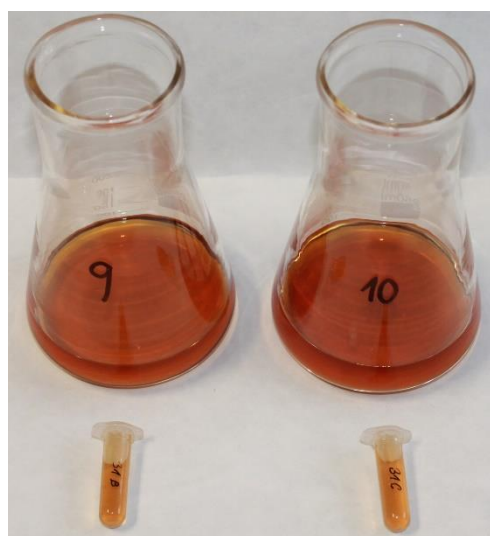
Obr. 11 Směs navážky a 60 ml methanolu



Obr. 12 Vzorčovníce vloženy do ultrazvukové lázně



Obr. 13 Druhá fáze extrakce

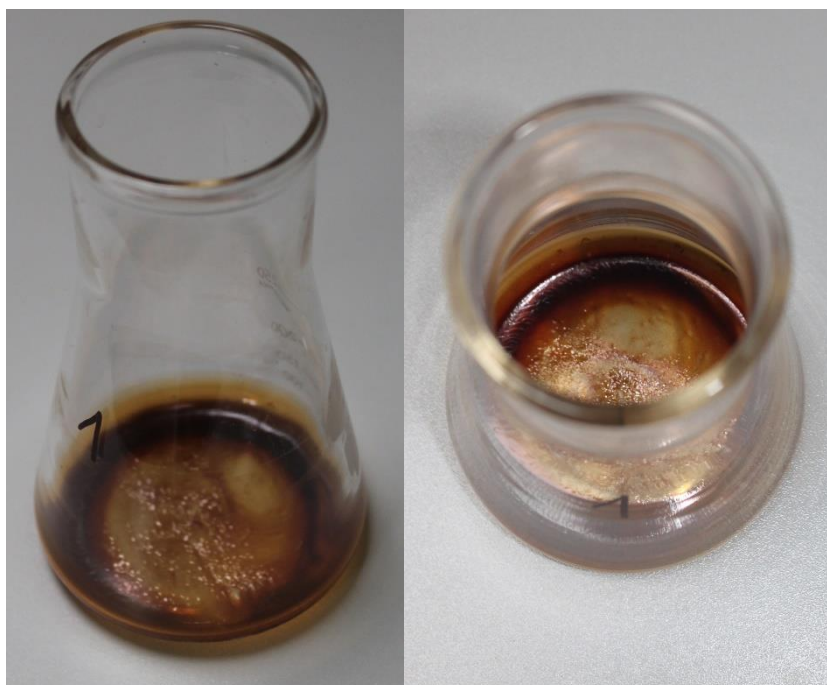


Obr. 14 Vzorčky 2 ml extraktu pro spektrofotometrickou analýzu

Erlenmeyerovy baňky s filtrátem byly uloženy do sušárny, kde se při teplotě 103 °C vypařil celý objem methanolu z filtrátu. Po tomto procesu byly baňky vyjmuty ze sušárny a okamžitě vloženy do exikátoru, kde pozvolna chladly na teplotu okolního prostředí. Tento postup je velmi důležitý pro vysokou přesnost vážení baňky s extraktivními látkami, zvýšená teplota laboratorního skla či působení okolní vzdušné vlhkosti na chladnoucí sklo způsobují nepřesnosti při laboratorním vážení. Vychladlé baňky s extraktem byly zváženy na laboratorních vahách s přesností na tisícinu gramu a hodnoty zaznamenány do počítače.

Pro přesnost experimentu byla nutná i správná příprava a vážení prázdných erlenmeyerových baněk, znalost hmotnosti prázdné baňky vstupující do experimentu je předpokladem pro přesné určení hmotnosti extraktu. Laboratorní baňky byly důkladně umyty a opláchnuty destilovanou vodou, následně se vysušily při teplotě 103 °C a vložily do exikátoru na vychladnutí. Teprve tímto způsobem připravené sklo bylo váženo.

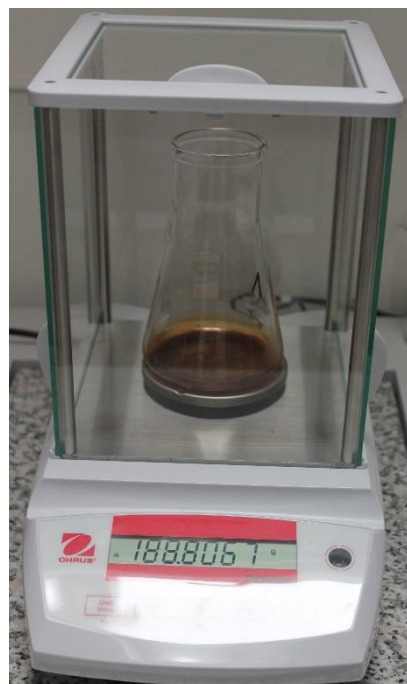
Pro ověření přesnosti celého experimentu bylo namátkou vybráno padesát původních vzorků dřevního prachu a na těchto vzorcích se provedlo opakované měření. Výsledná data druhých měření odhalily velmi malou chybu měření, a proto můžeme získaná data dále zpracovávat.



Obr. 15 Erlenmeyerova baňka s extraktem



Obr. 16 Chlazení baněk v exikátoru



Obr. 17 Vážení baňky s extraktem

Zaznamenané hodnoty byly dále početně upraveny, aby je bylo možné srozumitelně interpretovat. Pro vstupní vzorky dřevního prachu byla váhovou metodou zjištěna průměrná vlhkost 7,831 %, a proto byla hmotnost vstupní navážky přepočtena podle (4.1) na hmotnost sušiny.

Ze zjištěných hmotností prázdné erlenmeyerovy baňky a hmotnosti baňky s extraktem byla vypočtena podle (4.2) hmotnost extraktu. Vzhledem k tomu, že část objemu rozpouštědla byla absorbována dřevním prachem a filtračním papírem byla hmotnost extraktu přepočtena podle (4.3) ke 100 ml rozpouštědla. Z této poměrové hodnoty bylo podle (4.4) vypočteno procentuální zastoupení extraktivní látky v 1 g sušiny, hodnoty v této podobě jsou interpretovány v kapitole výsledky.

$$m_0 = \frac{m_w}{\frac{w}{100} + 1} \quad [\text{g}] \quad (4.1)$$

kde m_0 – hmotnost sušiny [g], m_w – hmotnost vlhkého vzorku [g], w – vlhkost [%]

$$m_{exr} = m_{e0} - m_{epl} \quad [\text{g}] \quad (4.2)$$

kde m_{exr} – hmotnost extraktu [g], m_{e0} – hmotnost prázdné baňky [g], m_{epl} – hmotnost baňky s extraktem [g]

$$m_{extr/ml} = \frac{m_{extr} \cdot 100}{V_{fil}} \quad [g] \quad (4.3)$$

kde $m_{extr/ml}$ – hmotnost extraktu na 100 ml rozpouštědla [g/100 ml], V_{fil} – objem filtrátu [ml],
 m_{extr} – hmotnost extraktu [g]

$$m_{extr \%} = \frac{m_{extr/ml}}{m_0} \cdot 100 \quad [\%] \quad (4.4)$$

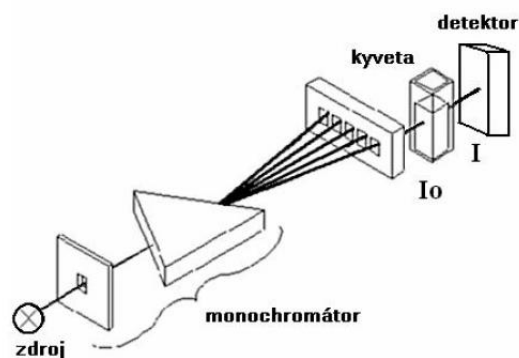
kde $m_{extr \%}$ – extraktu z 1 g sušiny, $m_{extr/ml}$ – hmotnost extraktu na 100 ml rozpouštědla [g/100 ml], m_0 – hmotnost sušiny [g]

4.2.2.3 Stanovení obsahu fenolických látek v extraktech

Posledním experimentem této práce bylo pomocí spektrální metody stanovit podílové množství fenolických látek z celkového obsahu extraktivních látek. Pro stanovování byly použity předem připravené vzorky metanického extraktu z předešlého experimentu, které byly uchovávány v chladném neosvětleném prostředí.

Metody spektrální analýzy jsou založeny na vzájemné interakci mezi hmotou a elektromagnetickým zářením. Charakteristikou každého záření je vlnová délka a frekvence. Při přechodu záření do jiného prostředí se mění jeho rychlost, avšak nemění se jeho frekvence. Při průchodu záření přes absorpční prostředí dochází k zeslabení záření, závislost zeslabení záření na vlnové délce vyjadřuje absorpční spektrum. Princip spektrofotometrie: světelné záření vychází ze zdroje záření a pomocí zrcadel je regulováno a směřováno přes absorbující prostředí (extrakt) na detektor, kde je zaznamenáno zeslabení. V závislosti na koncentraci absorbující barevné látky vzorku je zeslabení intenzivnější. Zdroj záření je dále doplněn monochromátorem tak, aby bylo dosaženo záření o přesné vlnové délce, pro naše stanovování bylo použito záření viditelného spektra VIS o vlnové délce 700 nm. Roztok měřeného vzorku je obsažen v kyvetě, což je nádobka s přesně danými geometrickými rozměry (tvar hranolu). Kyvety jsou vyrobeny z materiálu, který ve spektrální oblasti neabsorbuje světelné záření, a tak samotná kyveta neovlivňuje výsledek absorpce. Světelné záření je kromě samotné absorpce roztoku dále zeslabováno přechody mezi různorodým prostředím (vzduch-kyveta-roztok), a proto je třeba zachovat konstantní uspořádání po celý průběh měření. Měřením vzorku destilované vody tzv. srovnávacím roztokem (blankem) je provedena kalibrace přístroje, záření prošlé přes blank považujeme za nezeslabené. Světelná propustnost (transmitace) je poměr mezi zeslabením měřeným roztokem a blankem

popsaná veličinou absorbance. Vztah mezi absorbancí a měřeným roztokem popisuje Lambert-Beerův zákon. Tento zákon vyjadřuje lineární závislost mezi absorbancí a množstvím analytu v konstantním objemu. Před každým spektrofotometrickým stanovením je třeba vytvořit tzv. kalibrační křivku, která dává do závislosti naměřené absorbance a koncentrace analytu známých vzorků standardu. Křivka musí být sestavena tak, aby obsáhla koncentrační rozpětí všech měřených vzorků (Bartušek a Pazourek [online]).



Obr. 18 Princip a základní součásti spektrofotometru (Bartušek a Pazourek [online])

Analýza vzorků

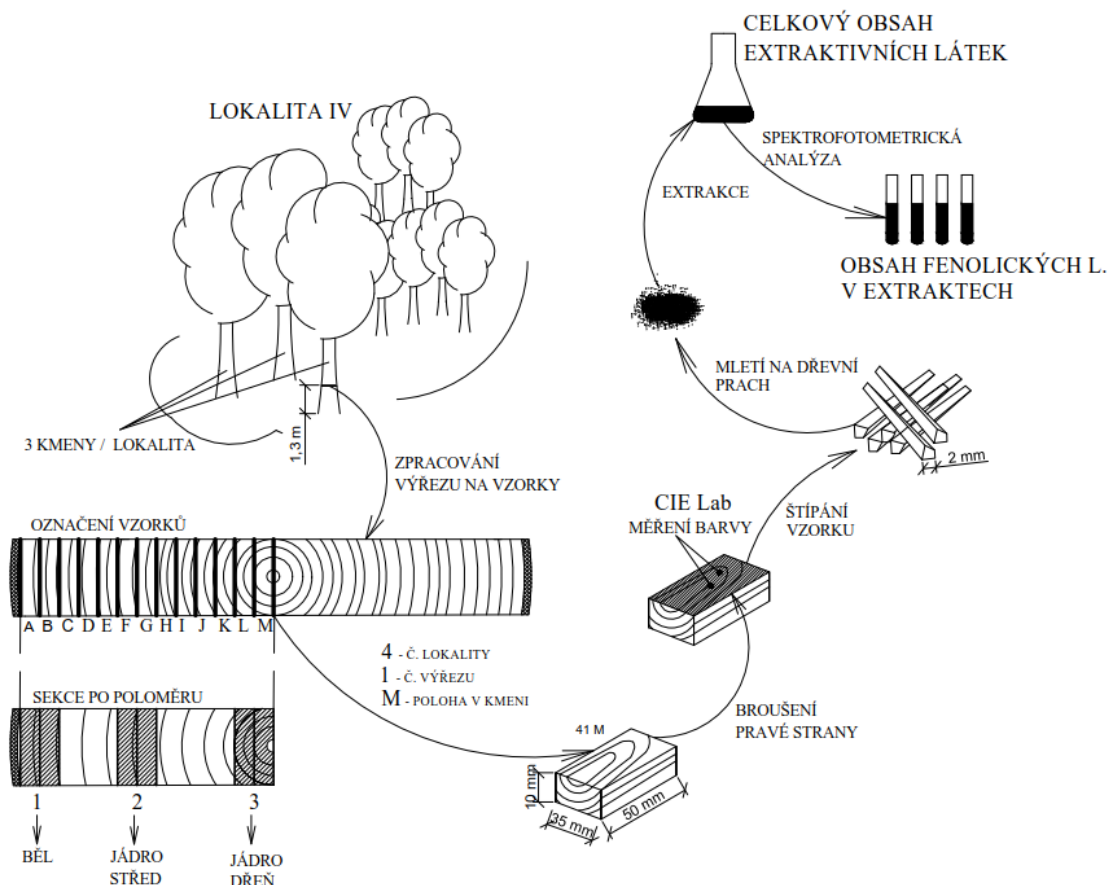
Ze vzorku 2 ml metanolického extraktu bylo do zkumavky odpipetováno 50 μ l a doplněno 10,15 ml destilované vody. Dále bylo přidáno 150 μ l Folin-Ciocalteuova činidla a následně byla směs důkladně promíchána za pomoci Vortexu. Po uplynutí 3 min, kdy směs v klidu spolupůsobila, byl přidán 1 ml 20 % roztoku uhličitanu sodného a opět byl vzorek důkladně Vortexem promíchán. Takto připravený vzorek byl ponechán stát po dobu 30 min při konstantní laboratorní teplotě. Po uplynutí této doby byl vzorek opět důkladně promíchán a ihned analyzován na spektrofotometru METASH 5100 V při vlnové délce 700 nm oproti destilované vodě (blanku).

Ke každé sérii vzorků analyzované za den je stejným způsobem sestavena kalibrační křivka pro standart fenolických látek v předpokládaném pracovním rozsahu, jedná se o standard kyseliny gallové (GA). Všechny výsledky jsou vyjádřeny jako ekvivalent kyseliny gallové.

Kalibrační křivka

Do deseti zkumavek bylo pipetováno po řadě 0, 20, 40, 60, 80, 100, 120, 140, 160, 180 μ l zásobního standardu kyseliny gallové a dále destilovaná voda po řadě 200, 180,

160, 140, 120, 100, 80, 60, 40, 20 μl . Do každé z takto připravených zkumavek bylo dále odpipetováno 10 ml destilované vody a 150 μl Folin-Ciocalteuova činidla, poté byl obsah důkladně promíchán pomocí Vortexu. Po 3 minutách byl do obsahu přidán 1 ml 20 % roztoku Na_2CO_3 a důkladně promíchán. Po 30 minutách stání při konstantní laboratorní teplotě a po opětovném promíchání byla provedena analýza absorbance proti vodě při vlnové délce 700 nm.



Obr. 19 Schematické vyobrazení metodického postupu, značení vzorků, členění poloměru kmene na sekce

5 Výsledky

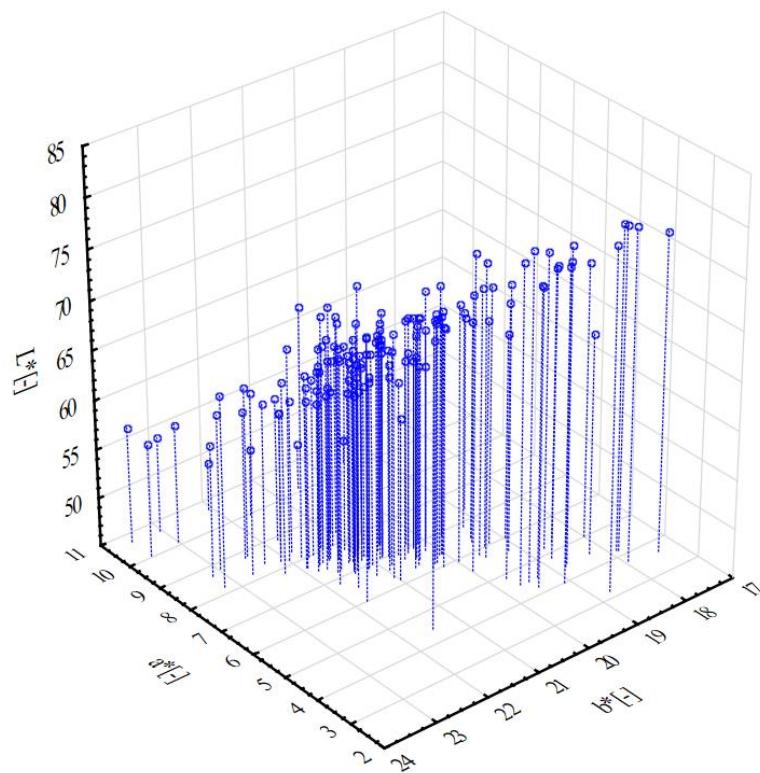
5.1 Barva dřeva dubu zimního v systému CIE Lab

Tab. 3 obsahuje popisnou statistiku celého datového souboru parametrů barvy v systému CIE L*a*b*. Popisná statistika nám dává informaci o celkovém rozložení hodnot datového souboru. Hodnoty všech tří parametrů jsou rozloženy relativně rovnoměrně, což lze usoudit z blízkých hodnot průměru a mediánu. Nejnižší variabilitu hodnot pozorujeme u parametru b* dosahující 5,8 %, rozložení hodnot parametru L* vykazuje variabilitu 8,6 % a rozložení parametru a* vykazuje nejvyšší variabilitu 20,4 %. Barva byla měřena celkově na 145 vzorcích, z toho všechna měření byla statisticky vyhodnocena.

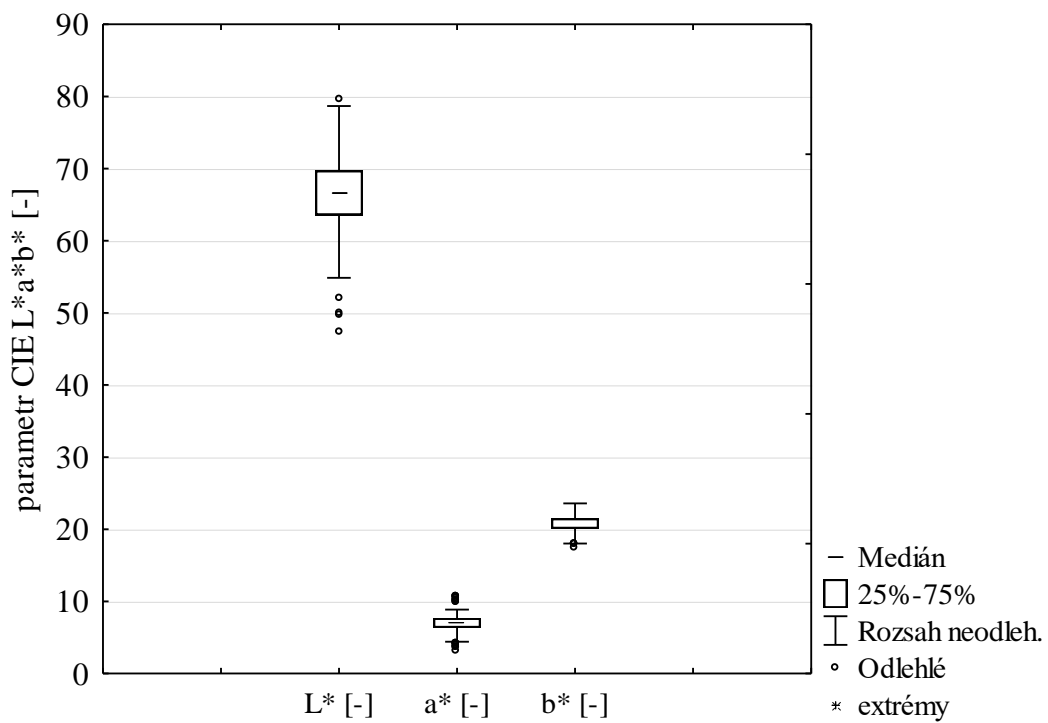
Tab. 3 Popisná statistika parametrů barvy systému CIE L*a*b*

	L*	a*	b*
N platných	145	145	145
Průměr	66,702	6,989	20,758
Medián	66,493	7,080	20,970
Minimum	47,358	3,190	17,400
Maximum	79,573	10,680	23,580
Dolní kvartil	63,555	6,345	20,098
Horní kvartil	69,733	7,685	21,498
Rozptyl	32,681	2,037	1,436
Směr. odchyl.	5,717	1,427	1,198
Var. koef.	8,570	20,421	5,773
Směr. chyba	0,475	0,119	0,100

Dále pak byly hodnoty parametrů barvy L*, a*, b* vyneseny do grafu x, y, z na obr. 20, který zobrazuje prostorové uspořádání všech hodnot určujících barevnost v rámci systému CIE. Popisná statistika je na obr. 21 doplněna krabicovým grafem pro každý z parametrů, kde krabicová část diagramu zobrazuje hodnoty v intervalu horního a dolního kvartilu s vyznačením mediánu. Linie vycházející z krabice zobrazují rozložení hodnot pod kvartily, odlehle hodnoty souboru jsou vyznačeny jako jednotlivé body.



Obr. 20 Prostorové zobrazení hodnot barevnosti v CIE L*a*b*



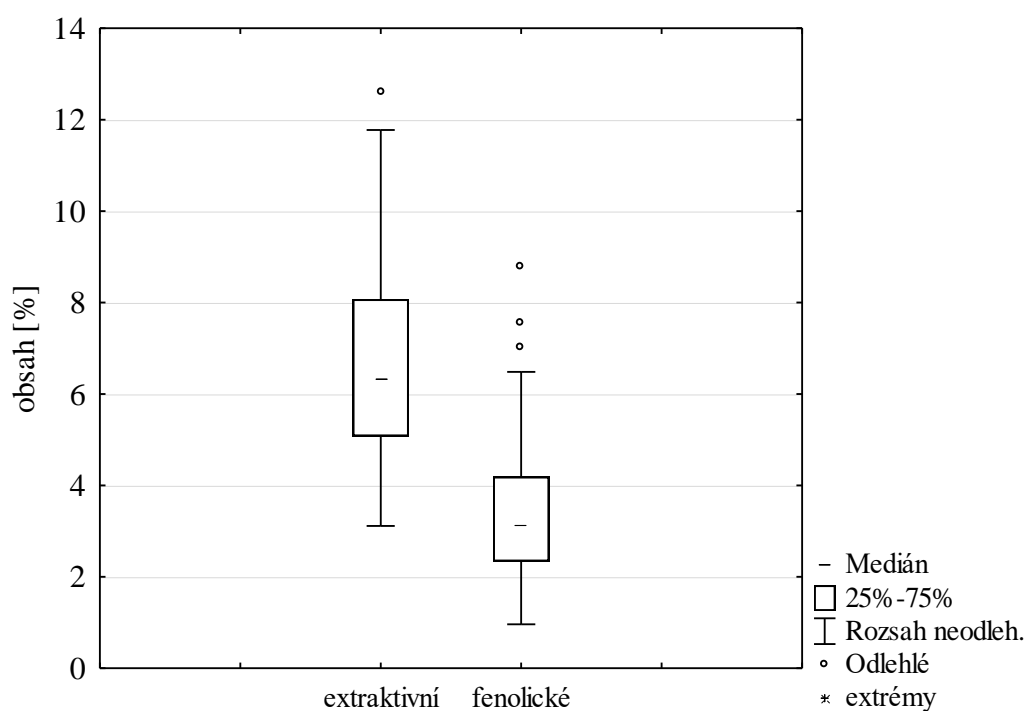
Obr. 21 Krabicový graf parametrů L*, a*, b*

5.2 Obsah extraktivních látek a fenolických látek

Tabulka 4 obsahuje popisnou statistiku 145 měření celkového obsahu extraktivních látek a podílu obsahu fenolických látek. Hodnoty jsou uvedeny v % z 1 g sušiny, opět jsou více méně rovnoměrně rozloženy vzhledem k podobnosti průměrných hodnot a hodnot mediánu. Oba datové soubory mají vyšší variabilitu oproti parametrům barvy, extraktivní látky vykazují variabilitu 29,7 % a fenolické látky variabilitu 41,5 %. Obr. 22 doplňuje popisnou statistiku krabicovým grafem, hodnoty mediánu ukazují přibližně o polovinu nižší obsah fenolických látek oproti obsahu extraktivních látek.

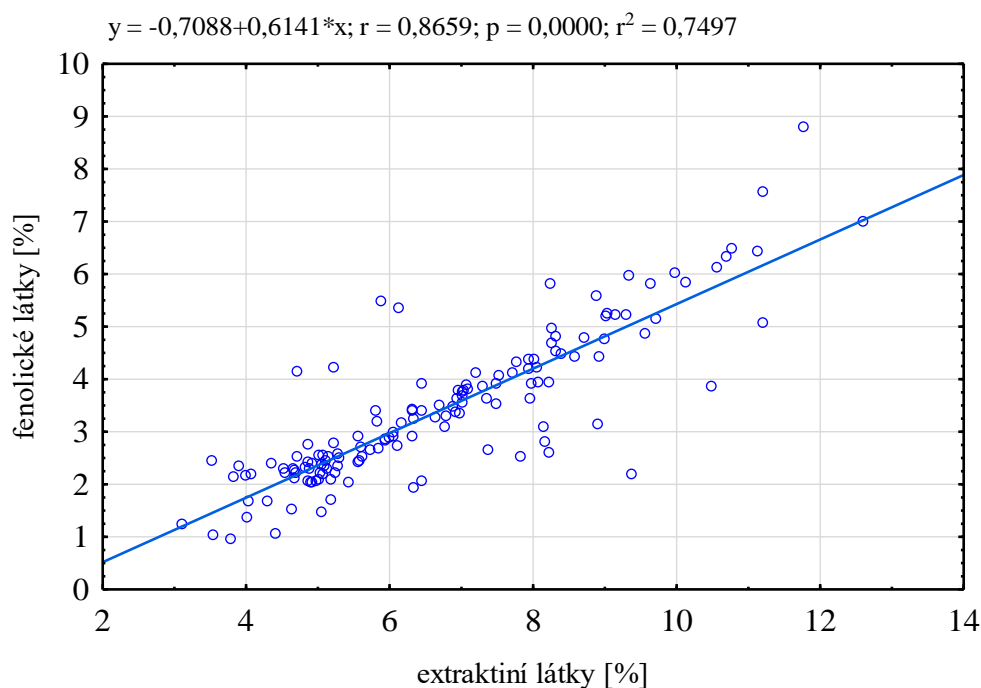
Tab. 4 Popisná statistika obsahu extraktivních a fenolických látek

	extraktivní látky	fenolické látky
N platných	145	145
Průměr	6,702	3,407
Medián	6,339	3,127
Minimum	3,113	0,963
Maximum	12,596	8,806
Dolní kvartil	5,074	2,336
Horní kvartil	8,073	4,194
Rozptyl	3,975	1,999
Směr. odchyl.	1,994	1,414
Var. koef.	29,746	41,501
Směr. chyba	0,166	0,117



Obr. 22 Krabicový graf hodnot obsahu extraktivních a fenolických látek

Na obr. 23 je grafické zobrazení závislosti obsahu fenolických a extraktivních látek, korelační koeficient $r = 0,8659$ potvrzuje vysokou závislost mezi oběma složkami. Jedná se o závislost přímo úměrnou, kdy podle koeficientu determinace 74,97 % nárůstu obsahu fenolických látek je právě spojeno s navýšením obsahu extraktivních látek, dále pak zbylých 25,03 % nárůstu fenolických látek je spojeno s jinými faktory.

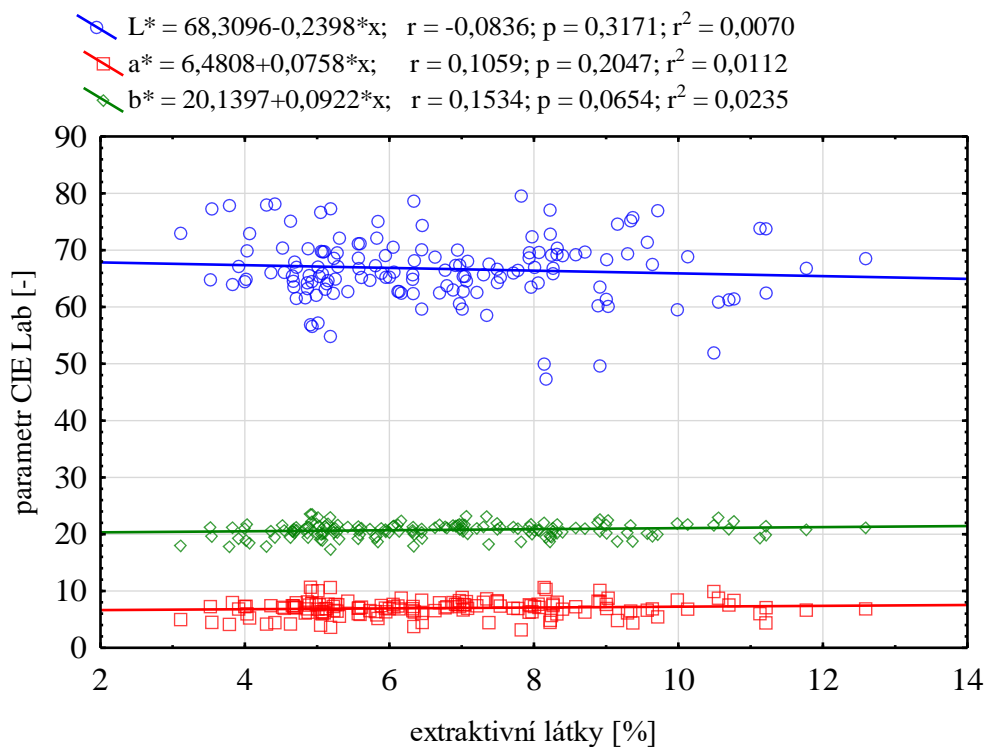


Obr. 23 Korelační a regresní analýza mezi obsahem fenolických látek a celkovým obsahem extraktivních látek

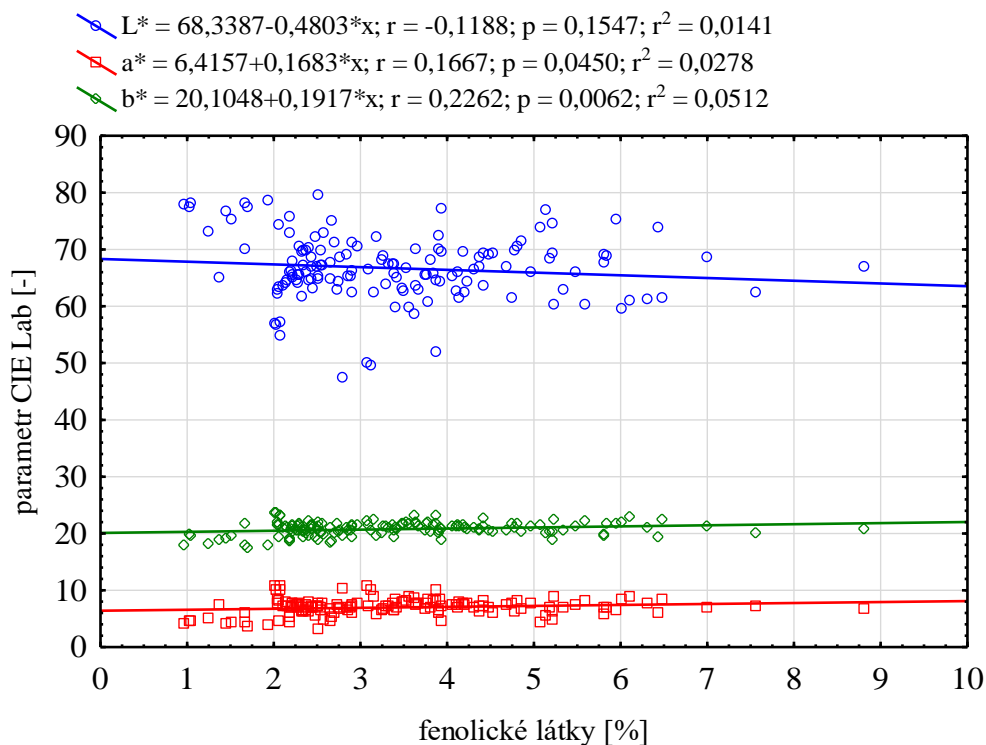
5.3 Vliv obsahu extraktivních látek na barvu dřeva

Korelační a regresní analýza na obr. 24 dokumentuje vztah mezi celkovým množstvím extraktivních látek v % z 1 g sušiny a parametry barvy CIE L^* , a^* , b^* . Analýza vykazuje velmi nízké hodnoty korelačních koeficientů, a proto nemůžeme vyhodnotit závislost mezi jedním z parametrů barvy a celkovým obsahem extraktivních látek. Podle koeficientu determinace neexistuje pro parametr L^* žádná závislost, pro parametry a^* , b^* je vyhodnocen pouze 1–2 % nárůst hodnot spojen s nárůstem množství extraktivních látek, tuto závislost nelze považovat za statisticky významnou.

Obdobnou situaci ukazuje analýza na obr. 25, která popisuje vztah mezi jednotlivými parametry barvy a obsahem fenolických látek uvedených v % z 1 g sušiny. Opět jsou regresní koeficienty velmi nízké, a proto nemůžeme vyhodnocovat žádnou závislost.



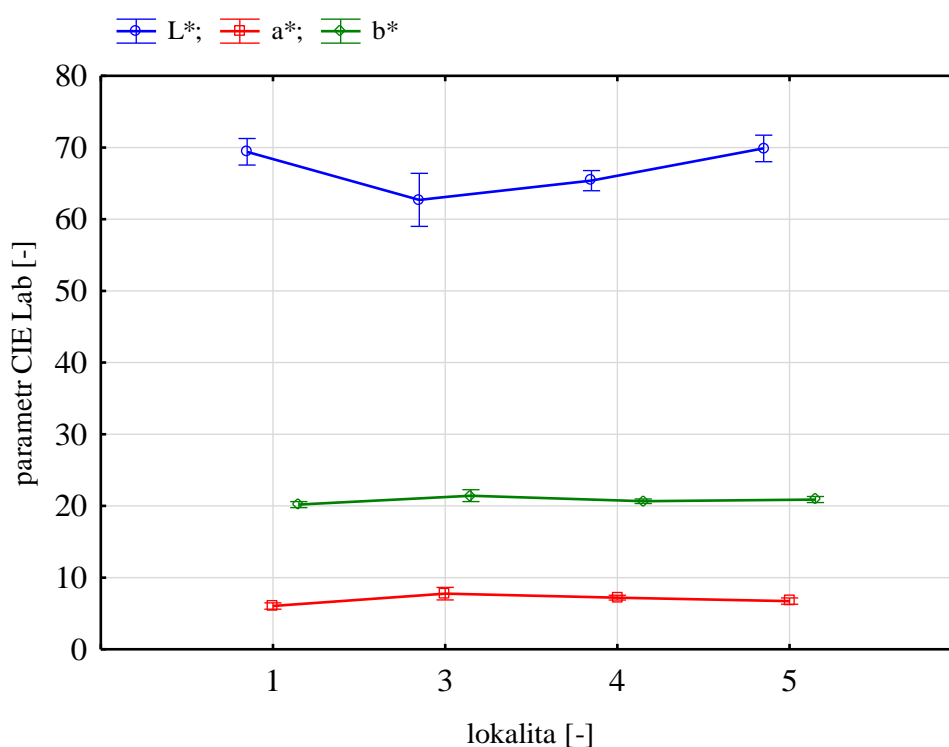
Obr. 24 Korelační a regresní analýza mezi hodnotami parametrů barvy a celkovým obsahem extraktivních látek



Obr. 25 Korelační a regresní analýza mezi hodnotami parametrů barvy a obsahem fenolických látek

5.4 Barva dřeva ve vztahu k lokalitě a pozici po poloměru kmene

Statistickou dvoufaktorovou analýzou ANOVA byly zjištěny významné rozdíly v rozptylech středních hodnot parametrů L^* , a^* , b^* mezi jednotlivými lokalitami. Významný statistický rozdíl byl shledán ve středních hodnotách parametru L^* mezi lokalitami I–III, I–IV, III–V a IV–V. Dále pak byly shledány významné rozdíly ve středních hodnotách parametru a^* mezi lokalitami I–III, I–IV, pro hodnoty parametru b^* nebyly analyzovány významné rozdíly mezi lokalitami. Na obr. 26 je grafický výstup analýzy ANOVA, a dále je v tab. 5, 6 vyhodnocení analýzy pomocí Tuckeyho testu vícenásobného porovnání, kde červeně vyznačené hodnoty $p < 0,05$ ukazují významné statistické rozdíly hodnot v rámci čtyřech lokalit.



Obr. 26 Grafické zobrazení analýzy rozptylů ANOVA pro hodnoty parametrů L^* , a^* , b^* / všechny lokality

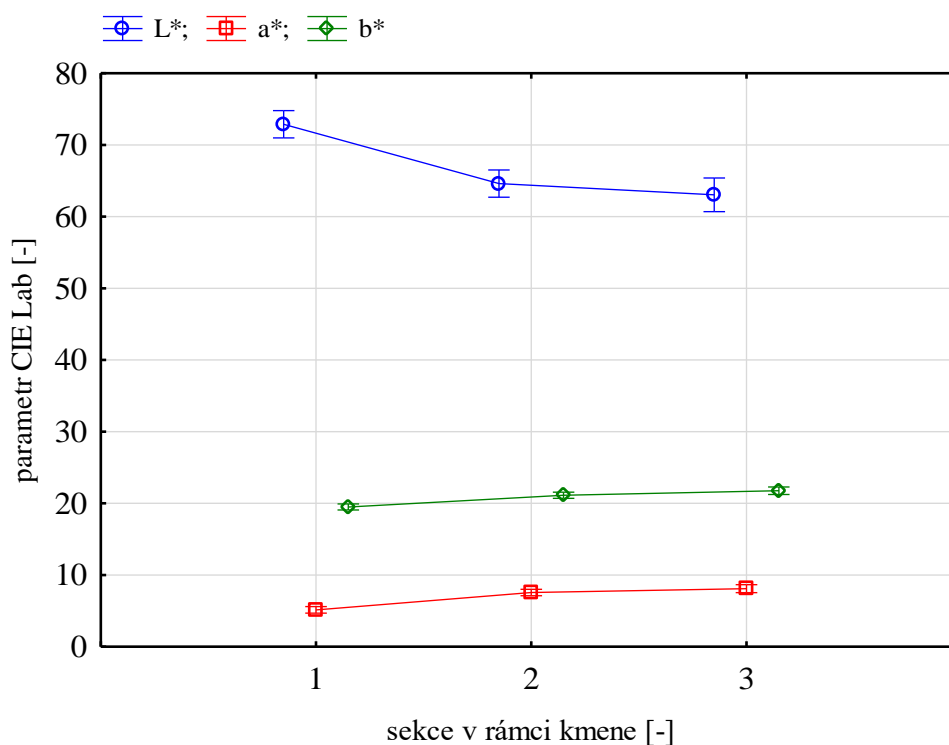
Tab. 5 Vyhodnocení Tuckeyho testu vícenásobného porovnání kde $p < 0,05$ představuje významné statistické rozdíly – parametry L^* , a^* / lokalita

lokalita	parametr L^*				lokalita	parametr a^*			
	1	3	4	5		1	3	4	5
1		0,01664	0,00426	0,98330	1		0,01217	0,00047	0,13980
3	0,01664		0,72756	0,00849	3	0,01217		0,90437	0,31110
4	0,00426	0,72756		0,00125	4	0,00047	0,90437		0,25304
5	0,98330	0,00849	0,00125		5	0,13980	0,31110	0,25304	

Tab. 6 Vyhodnocení Tuckeyho testu – parametr b^* / lokalita

parametr b^*				
lokalita	1	3	4	5
1		0,05063	0,21321	0,08975
3	0,05063		0,40929	0,71432
4	0,21321	0,40929		0,88636
5	0,08975	0,71432	0,88636	

Obdobně byly analyzovány rozptyly středních hodnot parametrů barvy mezi jednotlivými sekcemi v rámci kmene. Významné statistické rozdíly byly zjištěny v rozptylech středních hodnot parametrů L^* a a^* mezi sekcemi 1–2, 1–3. Pro parametr b^* byly analyzovány rozptyly středních hodnot mezi všemi sekcemi 1, 2, 3. Na obr. 27 je opět zobrazena grafická podoba analýzy, která je doplněna tab. 7 obsahující Tuckeyho test vícenásobného porovnání.

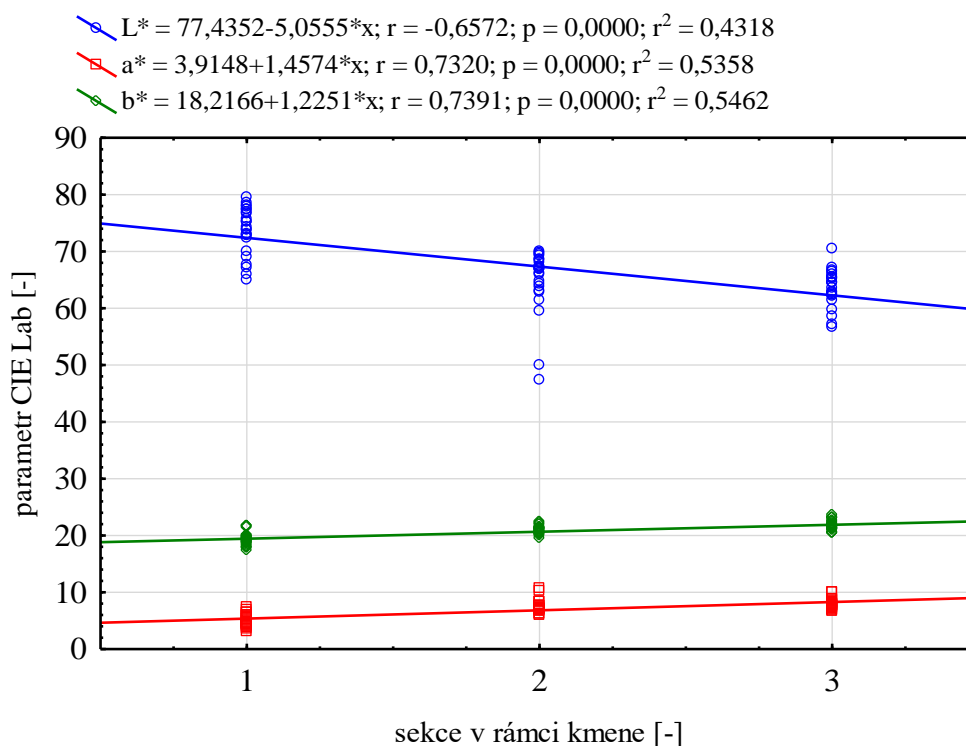
Obr. 27 Grafické zobrazení analýzy rozptylů ANOVA pro hodnoty parametrů L^* , a^* , b^* / sekce v rámci kmene

Tab. 7 Vyhodnocení Tuckeyho testu vícenásobného porovnání kde $p < 0,05$ představuje významné statistické rozdíly – parametry L^* , a^* , b^* / sekce

parametr L^*				parametr a^*			
sekce	1	2	3	sekce	1	2	3
1		0,000117	0,000117	1		0,000117	0,000117
2	0,000117		0,472446	2	0,000117		0,191015
3	0,000117	0,472446		3	0,000117	0,191015	

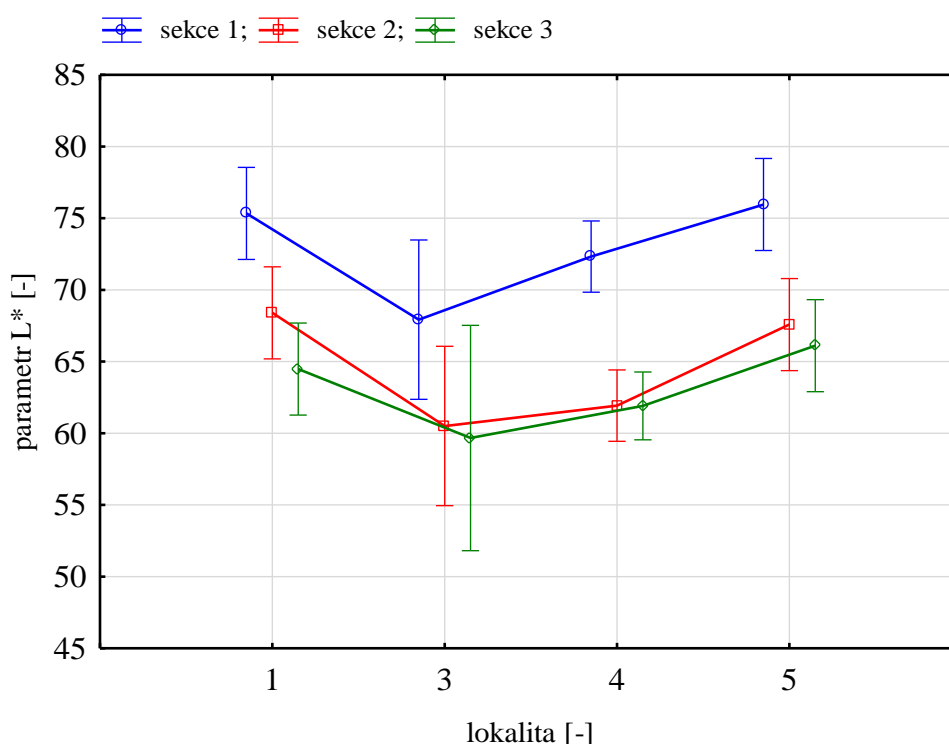
parametr b^*			
sekce	1	2	3
1		0,000117	0,000117
2	0,000117		0,004644
3	0,000117	0,004644	

Vztah mezi hodnotami parametrů barvy a třemi sekcemi po poloměru kmene byl vyhodnocen korelační a regresní analýzou na obr. 28. Pro parametr světlosti barvy L^* byl vyhodnocen korelační koeficient $r = -0,6572$, což prokazuje středně významnou nepřímo úměrnou závislost s koeficientem determinace $r^2 = 0,4318$. Vedle toho parametry barevnosti jsou přímo závislé na sekci, přibližně 54 % nárůstu těchto hodnot je ve spojitosti s polohou v kmeni.



Obr. 28 Korelační a regresní analýza mezi parametry L^* , a^* , b^* a sekcemi v rámci poloměru kmene

V rámci prováděné více faktorové analýzy ANOVA byly na obr. 29 vyhodnoceny interakce mezi dvěma nezávislými proměnnými (faktory), a to lokalitou i sekci v rámci poloměru kmene. Vyhodnocení proběhlo pro všechny tři parametry barvy s velmi podobným výsledkem, a proto je v práci uváděn pouze vztah k parametru L^* . Z grafického výstupu analýzy lze usoudit, že mezi lokalitami a sekcemi v rámci kmene nevznikaly žádné statisticky významné interakce. Spojnice středních hodnot jednotlivých parametrů barvy jsou přibližně rovnoběžné, výkyvy vznikají pouze v rámci lokality III. Toto rozpoložení nelze označit za interakci, ale pouze anomálii ve vyšší variabilitě rozpoložení datového souboru v rámci lokality III. Závěrečná interpretace analýzy je tedy bez vzájemných interakcí.

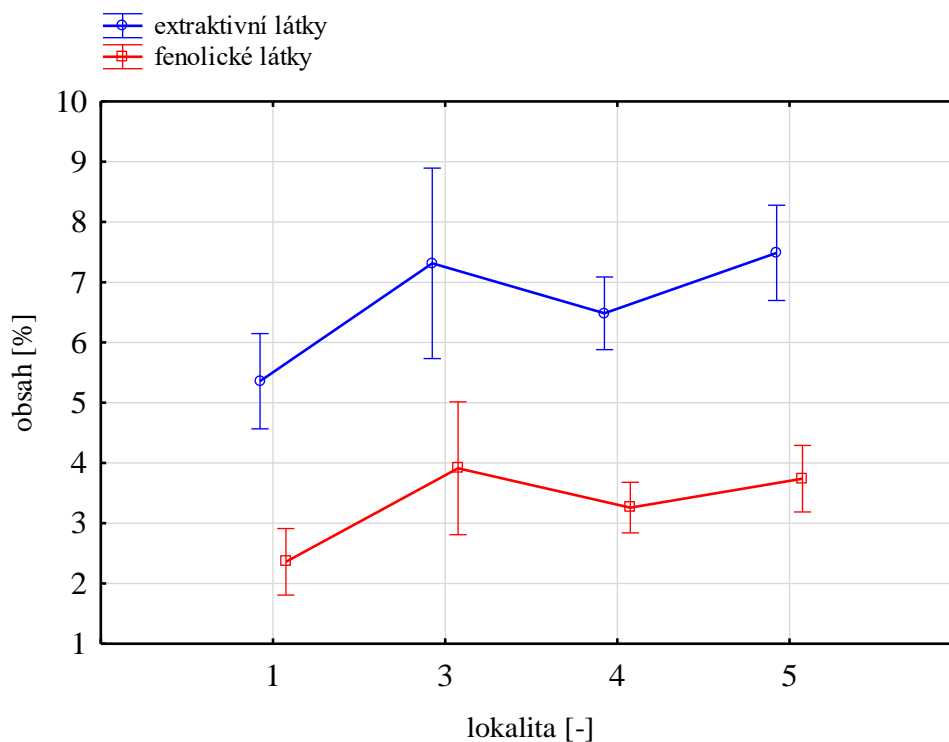


Obr. 29 Grafické zobrazení analýzy ANOVA s interakcemi mezi lokalitou a sekcí v rámci kmene / parametr L^*

5.5 Obsah extraktivních látek ve vztahu k lokalitě a sekci

Statistické vyhodnocení pomocí více faktorové ANOVY, ukázalo některé statisticky významné rozdíly ve středních hodnotách obsahu extraktivních a fenolických látek vzhledem k různým lokalitám. V rámci obsahu extraktivních látek byly zjištěny významné statistické rozdíly mezi lokalitou I a lokalitou V. Obsahy fenolických látek vykazovaly statistické rozdíly mezi lokalitami I–III a I–V. Na obr. 30 je graficky

znázorněn výsledek šetření ANOVOU, a dále v tab. 8 je vyhodnocení analýzy pomocí Tuckeyho testu vícenásobného porovnání, kde červeně vyznačené hodnoty $p < 0,05$ ukazují významné statistické rozdíly hodnot v rámci čtyřech lokalit.

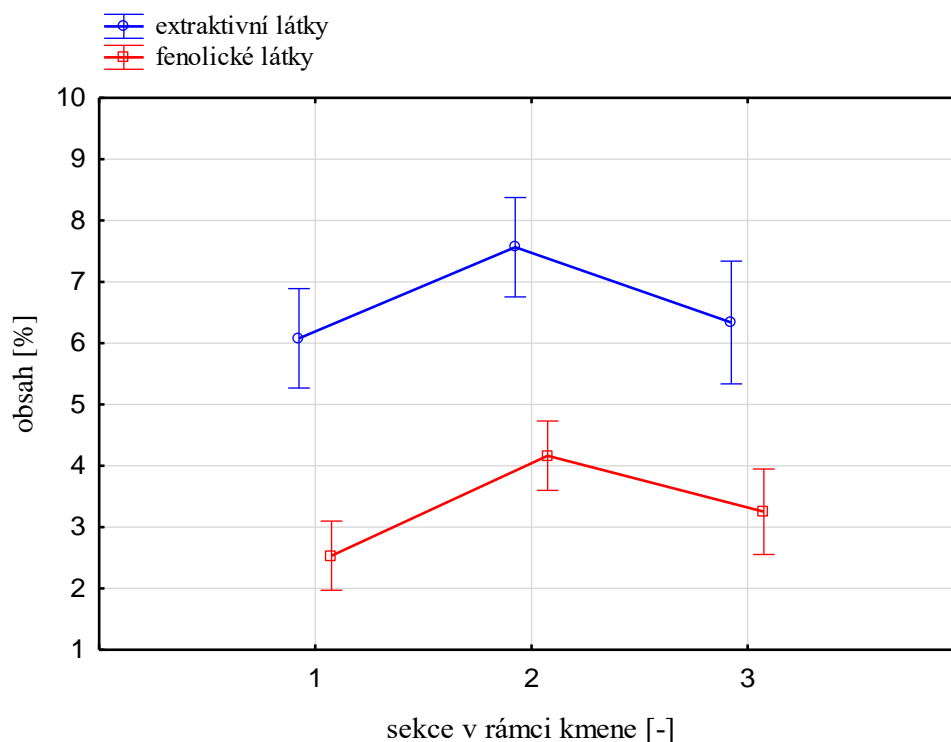


Obr. 30 Grafické zobrazení analýzy rozptylů ANOVA pro obsah extraktivních a fenolických látek / všechny lokality

Tab. 8 Vyhodnocení Tuckeyho testu vícenásobného porovnání kde $p < 0,05$ představuje významné statistické rozdíly

extraktivní látky					fenolické látky				
lokalita	1	3	4	5	lokalita	1	3	4	5
1		0,092198	0,124355	0,001940	1		0,038886	0,057661	0,004337
3	0,092198		0,679721	0,999233	3	0,038886		0,572323	0,976377
4	0,124355	0,679721		0,183497	4	0,057661	0,572323		0,505704
5	0,001940	0,999233	0,183497		5	0,004337	0,976377	0,505704	

Statistické šetření středních hodnot ukázalo významný rozdíl ve středních hodnotách obsahu fenolických látek v rámci 1–2 sekce v kmeni. Naproti tomu se neprokázaly významné rozdíly středních hodnot obsahu extraktivních látek v rámci jednotlivých sekcí v kmeni. Na obr. 31 je grafické zobrazení výsledku analýzy, a dále tab. 9 obsahuje Tuckeyho test porovnání, kde je zvýrazněn červeně významný rozdíl v obsahu fenolických látek.

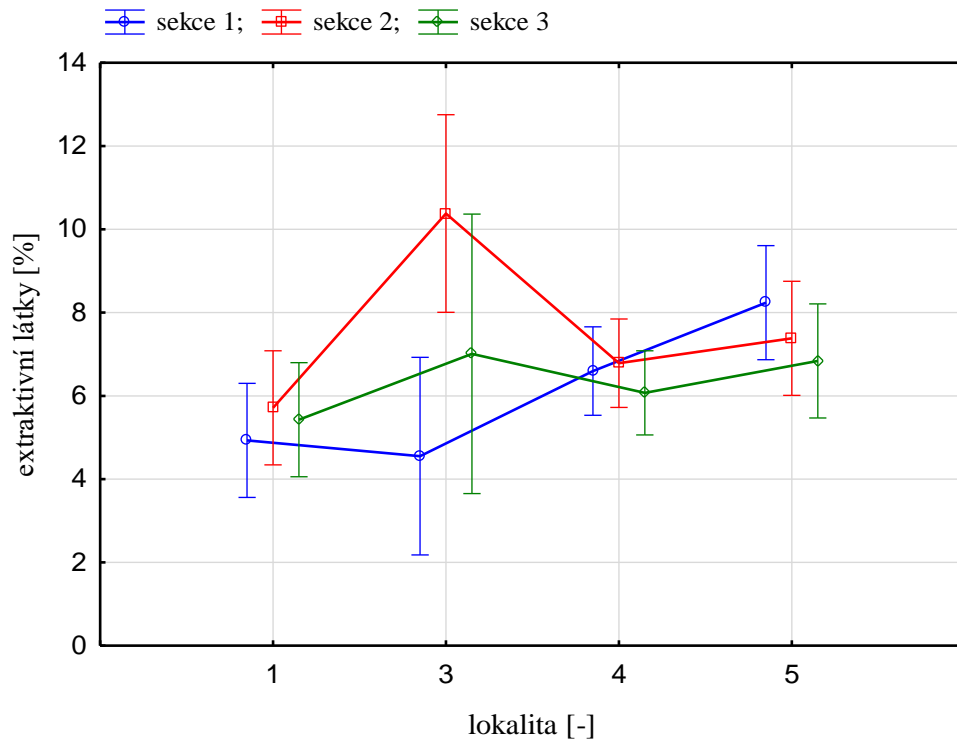


Obr. 31 Grafické zobrazení analýzy rozptylů ANOVA pro obsah extraktivních a fenolických látek / sekce v kmeni

Tab. 9 Vyhodnocení Tuckeyho testu vícenásobného porovnání kde $p < 0,05$ představuje významné statistické rozdíly

extraktivní látky				fenolické látky			
sekce	1	2	3	sekce	1	2	3
1		0,500815	0,834658	1		0,009952	0,373880
2	0,500815		0,212971	2	0,009952		0,219779
3	0,834658	0,212971		3	0,373880	0,219779	

Statistická analýza ANOVA s interakcemi na obr. 32 ukazuje vzájemnou interakci mezi lokalitami a jednotlivými sekcemi v kmeni s vlivem na obsah extraktivních látek. Z grafu není patrná žádná interakce (spolupůsobení) lokality a sekce v kmeni, pouze lokalita tři vykazuje anomálie spojené s větší variabilitou rozložení středních hodnot obsahu extraktivních látek. Výsledkem analýzy tedy je, že neexistuje statisticky významná interakce mezi lokalitami a sekcemi v kmeni s vlivem na obsah extraktivních látek. Vzhledem k faktu, že závislost mezi obsahem extraktivních a fenolických látek je téměř lineární viz obr. 23, je zde z důvodu podobnosti uvedena pouze jedna analýza interakcí pro obsah extraktivních látek.



Obr. 32 Grafické zobrazení analýzy ANOVA s interakcemi mezi lokalitou a sekci v rámci kmene / extraktivní látky

6 Diskuse

6.1 Barva dubu zimního

V první části kapitoly *Výsledky* se tato práce zaměřuje na vyhodnocení naměřených parametrů barvy v mezinárodně uznávané soustavě barevnosti CIE Lab. Výsledky našeho experimentu pro zjištění barvy vykazují střední (průměrné) hodnoty parametru $L^* = 66,7$, $a^* = 7,0$ a $b^* = 20,8$. Je třeba poukázat, že jsou hodnoty všech tří parametrů rozloženy více méně rovnoměrně bez výrazných extrémních hodnot, a proto lze považovat střední hodnoty těchto parametrů za relevantní. Katuščák a Kučera (2000) uvádějí širší intervaly parametrů barvy $L^* = 40-100$; $a^* = 0-20$; $b^* = 10-40$, a to pro dřeviny vyskytující se v mírném pásmu. Babiak et. al. (2004) v odborné literatuře uvádí pro dub letní (*Quercus robur*) střední hodnoty parametru $L^* = 69,92$; $a^* = 6,51$; $b^* = 20,65$, dále pak pro dub cer (*Quercus cerris*) uvádí střední hodnoty $L^* = 69,25$; $a^* = 7,92$ a $b^* = 18,61$. Mosedale et. al. (1996) v literatuře uvádí pro jádrové dřevo dubu zimního (*Quercus petraea*) střední hodnoty barvy $L^* = 67,8$; $a^* = 10,5$; $b^* = 23,4$, dále uvádí pro bělové dřevo hodnoty barvy $L^* = 81,1$; $a^* = 9,2$ a $b^* = 22,9$. Mezi hodnotami uváděnými odbornou literaturou a námi zjištěnými hodnotami nejsou patrné žádné významné odlišnosti. K danému druhu dřeva není možné přesně definovat jednotlivé parametry barvy, jelikož dřevo v obecném pohledu vykazuje značnou variabilitu v rámci chemického složení, zejména v obsahu doprovodných látek. Experimentem zjištěná maximální hodnota parametru $L^* = 79,57$ přibližně odpovídá parametru L^* pro bělové dřevo uváděné v odborné literatuře Babiakem et. al. (1997). Z výše uvedeného lze konstatovat, že námi naměřené hodnoty barvy bez výhrad odpovídají již publikovaným hodnotám, a proto můžeme měření považovat za správné.

6.2 Obsah extraktivních látek ve dřevě dubu zimního

V další části kapitoly *Výsledky* je vyhodnoceno experimentální měření celkového obsahu extraktivních látek a obsahu fenolických látek obsažených v extraktu. Střední hodnota celkového obsahu **extraktivních látek** je vyhodnocena na **6,7 %** a střední hodnota obsahu **fenolických látek** představuje **3,4 %**. Nutno podotknout, že datové soubory vykazují vyšší variabilitu, pro hodnoty obsahu fenolických látek dosahuje variabilita 41,5 %, čemuž korespondují významné rozdíly mezi maximálními a minimálními hodnotami. Barnett et. al. (2003) ve své literatuře uvádí širší interval

0–10 % obsahu doprovodných extraktivních látek ve dřevě. Klumpers et. al. (1993) svým experimentem na dřevě dubu (*Quercus petraea*, stáří stromu 70–150 let) prokazuje rozpětí 6–13 % obsahu extraktivních látek v rámci jádrového dřeva a rozpětí 2–4 % obsahu v rámci bělového dřeva. Dále uvádí, že nejvyššího obsahu extraktivních látek je shledáno v jádrovém dřevě v blízkosti běli. Laurová et. al. (2007) svým experimentem prezentuje v případě dubu zimního (*Quercus petraea*) rozpětí 2,17–4,5 % obsahu extraktivních látek s tím, že nejvyšší koncentrace je zaznamenána ve středu jádra. Aloui et. al. (2004) uvádí obsah fenolických látek v jádrovém dřevě dubu (*Quercus petraea*) v rozmezí 3–9 %, ellagitaniny jsou uváděny jako hlavní složka fenolických látek.

Námi naměřené hodnoty obsahu extraktivních látek nejsou v rozporu s hodnotami uváděných v odborných literaturách. Je zde třeba dodat, že problematika celkového obsahu extraktivních (doprovodných) látek je velice variabilní, obsah extraktivních látek se může lišit mezidruhově, v rámci poloměru kmene (viz další části diskuse), lokace měřeného vzorku v kmeni, věkem a vegetačním stanovištěm samotného stromu. Dalším faktorem, který ovlivňuje celkový zjištěný obsah je druh extrakčního rozpouštědla a celá koncepce metodiky práce, a proto lze očekávat mezi jednotlivými experimenty odlišnosti ve výsledcích.

6.3 Vliv obsahu extraktivních látek na barvu

V této části diskuse je třeba komentovat korelační a regresní analýzu na obr. 24 a 25. V obou případech se jedná o graf závislosti parametrů barvy L^* , a^* , b^* na obsahu extraktivních či fenolických látek. Analýzy neprokázaly žádnou závislost mezi parametry barvy a nárůstem obsahu extraktivních látek. Toto zjištění se může jevit v rozporu s literárně uváděnými tezemi, že vlastní barva dřeva je předurčována především minoritním obsahem doprovodných látek. Je třeba diskutovat o tom, že znalost kvantitativního obsahu není hlavním předpokladem pro předurčení barvy dřeva, protože se vlastní extraktivní látky skládají z širokého komplexu látek zmíněných v kapitole (3.3.3). Moya et. al. (2012) se ve svém experimentu zabýval závislostí parametrů CIE L^* , a^* , b^* na množství extraktivních látek ve dřevě (*Acacia mangium*). Autor uvádí nepřímou úměrnou závislost parametru L^* na obsahu extraktivních látek (ethanolový extrát) s koeficientem determinace $r^2 = 0,11$, a dále přímou úměrnou závislost pro parametr a^* s přibližným determinantem $r^2 = 0,39$. Vedle toho autor udává rapidní změny či vymizení uvedených závislostí za použití různých rozpouštědel (horká voda, ethanol). Závislost

parametrů b^* na obsahu fenolických látek Moya et. al. (2012) neprokázal, a dále uvádí, že prokazatelná závislost parametrů barvy na celkovém obsahu extraktivních látek je limitována právě druhem dřeva.

Abychom byli schopni vyhodnotit literárně existující závislost barvy na doprovodných látkách dřeva dubu, je nezbytné provést podrobnější chromatografickou analýzu pro zjištění kvalitativního složení extraktivních látek. Tímto způsobem by byla odhalena konkrétní látka či komplex látek obsažených v extraktech, které dokáží významně ovlivnit vlastní barvu dřeva. Tato práce je však omezena především na kvantitativní určení obsahu extraktivních látek, kdy kvalitativní analýza ukazuje pouze obsah fenolických látek v extraktech, a proto výsledné analýzy neshledaly žádnou významnou závislost mezi barvou a extraktivními či fenolickými látkami obsaženými ve dřevě.

6.4 Vliv lokality a sekce v kmeni na barvu

Dvoufaktorovou statistickou analýzou ANOVA jsou zjištěny významné statistické rozdíly středních hodnot parametru L^* mezi lokalitami I–III, I–IV, III–V a IV–V, pro parametr a^* jsou zjištěny statistické rozdíly hodnot mezi lokalitami I–III, I–IV. Je nutno podotknout, že variabilita parametrů barvy je nízká, a proto i přes analyzované statisticky významné rozdíly se nejedná o významné rozdíly barevnosti dřeva pro následné využití poznatku v praxi. Komentář je třeba směřovat k hodnotám L^* lokality III, které vůči ostatním vykazují významnější variabilitu barvy. Tato anomálie lokality III je dobře patrná na zobrazení interakcí v rámci lokality a sekce (obr. 29). Zjištěné výsledky však dokazují, že samotná lokalita růstu stromu může ovlivňovat výslednou barvu dřeva. Není však zcela patrné, která charakteristika lokality (nadmořská výška, průměrný věk stromů, rozloha parcele a další) je pro barvu dřeva rozhodující, v tomto směru by byla vhodná doplňující práce zaměřená na podrobnější analýzou těchto faktorů.

Obdobným způsobem byly hodnoty parametrů barvy pomocí ANOVY analyzovány mezi jednotlivými sekcemi v rámci kmene. Pro všechny tři parametry jsou prokázány významné rozdíly středních hodnot mezi sekcemi 1–2 a 1–3 toto zjištění je zcela namístě vzhledem k barevné rozdílnosti bělového dřeva a jádrového dřeva. Největší rozdíly jsou zjištěny pro hodnoty parametru světlosti L^* mezi sekcí 1 (běl) a 3 (jádro v blízkosti dřene). Korelační a regresní analýza mezi parametry barvy a sekcemi v kmeni prokazuje, že parametr světlosti L^* má klesající charakter ($r^2 = 0,4318$) pro sekce postupující od bělí

směrem k dřeni. Tato závislost je správná, neboť dřevo v rámci běle či přechodu mezi bělí a jádrem má světlejší odstíny než dřevo jádrové. Skutečnost, že je barva dřeva ovlivněna pozicí v kmene je dobře pozorovatelná pouhým makroskopickým pozorováním vzorku, a to je prokázáno i výsledky měření.

6.5 Vliv lokality a sekce na obsah extraktivních látek

Pomocí dvoufaktorové analýzy ANOVA jsou zjištěny významné statistické rozdíly středních hodnot obsahu extraktivních látek mezi lokalitami I–V, rozdíly středních hodnot obsahu fenolických látek jsou vyšetřeny mezi lokalitami I–III a I–V. Provedené analýzy tedy říkají, že celkový obsah extraktivních látek či obsah fenolických látek může být ovlivňován lokalitou (stanovištěm) růstu stromu. Doussot et. al. (2002) svým experimentem zjistil proměnlivost obsahu extraktivních látek dřeva dubu v závislosti na šesti růstových lokalitách ve Francii. Mezi lokalitami uvádí 0,5–4,5 % rozdíl obsahu extraktivních látek dřeva dubu, lze tedy diskutovat o tom, že lokalita růstu dokáže výrazně ovlivňovat obsah doprovodných látek. Z výše uvedeného můžeme konstatovat, že zjištěné výsledky provedených analýz se shodují s odbornou literaturou.

Obdobným způsobem byly statisticky analyzovány rozdíly středních hodnot obsahu extraktivních a fenolických látek mezi jednotlivými sekcemi v rámci poloměru kmene. Významné statistické rozdíly v hodnotách obsahu fenolických látek jsou zjištěny mezi sekcemi 1–2, naproti tomu pro střední hodnoty celkového obsahu extraktivních látek nejsou shledány významné rozdíly mezi jednotlivými sekcemi. Dále je třeba poznamenat, že nejvyšší obsahy extraktivních i fenolických látek jsou zaznamenány v sekci 2, které odpovídá dřevo střední části jádra. Laurová et. al. (2007) uvádí značnou proměnlivost obsahu extraktivních látek ve dřevě (*Quercus petraea*) v rámci poloměru kmene, přičemž nejvíce bohaté na extraktivní látky (4,05 %) je jádrové dřevo s pozicí 2 cm od hranice s bělí a nejnižší obsah (2,17 %) je pak uváděn pro dřevo bělové. Klumpers et. al. (1993) udává nejvyšší obsah extraktivních látek (9–13%) v jádrovém dřevě (*Quercus petraea*) v blízkosti hranice s bělí, a pak nejnižší obsah (1,5–3,2 %) uvádí v bělovém dřevě. Dále autor uvádí obsah 6–8 % extraktivních látek v jádrovém dřevě v centru kmene.

Výše uvedené hodnoty nevyvracejí výsledky měření této práce. Je potvrzeno výsledky této práce, tak i odbornou literaturou, že nejvyšší obsah extraktivních látek je v jádrovém dřevě s pozicí blíže k bělí. Výsledky práce a hodnoty z odborné literatury se mírně rozcházejí v obsahu extraktivních látek v bělovém dřevě, toto může být zapříčiněno

variabilitou v rámci chemického složení, nebo příliš úzkou zónou běli pro vyhodnocení sekce 1 (běl). Rozdíly středních hodnot obsahu extraktivních látek mezi sekcemi v rámci poloměru kmene nebyly vyhodnoceny analýzou jako statisticky významné, a to díky vyšší variabilitě datových souborů. Z obr. 31 je však viditelný jistý vliv jednotlivých sekcí v rámci poloměru kmene na obsah extraktivních látek, tak i na obsah fenolických látek.

6.6 Možnosti využití výsledků v praxi

Tato práce je svým tématem i interpretací výsledků zaměřená spíše na prohloubení ryze teoretických poznatků v rámci problematiky barvy dřeva a zastoupení doprovodných extraktivních látek i možných vlivů lokality či pozice v rámci kmene.

Znalost obsahu extraktivních látek pro daný druh dřeva může mít však přesah praktického využití, především v oblasti problematiky přirozené trvanlivosti dřeva. Obecně lze hodnotit dřevo s vysokým obsahem extraktivních látek za trvanlivé, a proto je vhodnější pro použití v exponovaných podmínkách. Bohužel nebyla prokázána statisticky významná závislost mezi barvou a obsahem extraktivních látek ve dřevě dubu zimního, není tedy možné ani přibližně určit obsah extraktivních látek podle parametrů barvy dřeva. Do praxe lze implementovat také vliv růstové lokality, tedy přesně analyzovat nejvhodnější lokalitu pro růst dubu zimního maximálně bohatého na obsah extraktivních látek.

Výše uvedené postoje k výsledkům lze použít i v rámci potravinářského průmyslu. Dřevo bohaté na obsah doprovodných látek je obzvláště vhodné pro výrobu dřevěných sudů či obalů, kdy interakce mezi uchovávaným nápojem a dřevěným sudem pozitivně ovlivňují výslednou chuť nápoje (víno, destilát).

7 Závěr

Experimentálním měřením 145 vzorků dřeva dubu zimního (*Quercus petraea*) získaných ze čtyř různých vegetačních stanovišť byly zjištěny následující skutečnosti.

Výsledné střední hodnoty parametrů barvy soustavy CIE Lab představují $L^* = 66,7$; $a^* = 7,0$; $b^* = 20,8$. Uvedené hodnoty jsou v rámci diskuse porovnány s hodnotami odborné literatury s tím, že nevykazují významné odlišnosti. Měření tedy proběhlo správně a výsledky jsou relevantní.

Extrakční metodou je zjištěno **6,7 %** zastoupení extraktivních látek ve dřevě dubu zimního, dále pak analytickou metodou spektrofotometrie je vyhodnoceno **3,4 %** zastoupení fenolických látek v extraktech. Správnost uvedených průměrných hodnot obsahu extraktivních látek je ověřena odbornou literaturou v diskusi, měření tedy bylo provedeno správně.

Statistické analýzy neprokazují, že by vlastní barva dřeva měla vliv na celkový obsah extraktivních látek či obsah fenolických látek. Toto tvrzení se do jisté míry konfrontuje s odbornou literaturou, avšak není zcela vyvráceno. Abychom podrobně vyšetřili závislost mezi barvou dřeva a obsahem extraktivních látek, je zapotřebí provést chromatografickou analýzu jednotlivých složek extraktivních látek a statisticky je analyzovat ve vztahu k barvě dřeva.

Statistickou analýzou ANOVA je prokázán vliv lokality na hodnoty parametrů barvy. Nejvíce statisticky významných rozdílů mezi jednotlivými lokalitami vykazují hodnoty parametru světlosti L^* . Výsledkem šetření tedy je, že růstová lokalita může mít vliv na vlastní barvu dřeva, ale bylo by vhodné provést analýzu vztahu barvy dřeva k jednotlivým charakteristikám lokality (nadmořská výška, rozloha lokality, druhové zastoupení, stáří porostu). Dále je statisticky prokázán vliv pozice vzorku v rámci poloměru kmene na hodnoty parametrů barvy dřeva. Významné rozdíly hodnot všech tří parametrů barvy jsou mezi bělovým a jádrovým dřevem. Toto zjištění lze ověřit pouhým makroskopickým pozorováním a vyhodnotit ho za správné.

Analýzami je vyšetřen možný vliv růstové lokality na celkový obsah extraktivních látek i na obsah fenolických látek. Opět by bylo vhodné tuto závislost doplnit analýzou jednotlivých charakteristik dané lokality. Je zjištěno, že nejvíce bohaté na extraktivní látky je jádrové dřevo s polohou v blízkosti běli. Pozice dřeva v rámci poloměru kmene tedy také ovlivňuje celkový obsah extraktivních i fenolických látek.

8 Summary

Submitted work contains the issue of the colour evaluation and the content of accompanying substances in the wood of the Sessile Oak (*Quercus petraea*). The material for experimental work consisted of 145 samples of dimensions $10 \times 35 \times 50$ mm which were taken from four different locations. Individual locations vary with altitude, generic representation of timber species, area, and the average age of the forest vegetation.

The colour in two places within the right side of each sample was measured with help of portable spectrophotometer. Furthermore, the samples were processed into wood dust that represented input material for extraction. The filtered extract of each sample was let to evaporate at an elevated temperature and the extraction residue was the content of extractives in each sample. Spectrophotometric analysis of the taken extract sample provided information about the content of phenolic substances in extracts.

Results within the colour measurement show mean values $L^* = 66,7$; $a^* = 7,0$; $b^* = 20,8$, the parameter values display low variability and they are consistent with an appropriate literature. The total average content of extracts in wood (*Quercus petraea*) is assessed at 6,7 % and the content of phenolic substances represents 3,4 %. Dependence between colour parameters and content of extractives is not statistically demonstrated hence the approximate content of extractives according to colour cannot be evaluated in practice. Possible influences of the growth site on the colour of the wood and the total content of the extractives are identified. Moreover, the influence of the position within the radius of the trunk on its own colour is shown and the highest values of lightness parameter L^* are determined for the sapwood. The results of this work shown that the highest content of extractives occurs near sapwood within the heartwood. The credible literature supports this finding. The values of the content of extractives and phenolic substances for individual sections within the trunk radius show greater variability and they do not demonstrate statistical differences among themselves in most cases.

9 Seznam citované literatury

ALLOUI, R. et. al. Durability of European oak (*Quercus petraea* and *Quercus robur*) against white rot fungi (*Coriolus versicolor*): relations with phenol extractives. *Holz als Roh-und Werkstoff*, 2004. DOI: 10.1007/s00107-004-0489-7

BAAR, J., GRYC, V. The analysis of tropical wood discoloration caused by simulated sunlight. *European Journal of Wood and Wood Products*. 2011, roč. 70, 1-3, s. 263-269. DOI: 10.1007/s00107-011-0551-1

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

BARNETT, R., JERONIMIDIS, G. *Wood quality and its biological basis*. Boca Raton, FL: Published in the USA/Canada by CRC Press, 2003. Biological sciences series (Oxford, England). ISBN 1-84127-319-8

BURTIN, P., JAY-ALLEMAND, C., CHARPENTIER, J.P., JANIN, G. Nature wood colouring process in *Juglans sp.* depends on native phenolic compounds accumulated in the transition zone between sapwood and heartwood. *Trees*. 1997, č. 12, s. 258–264.

DOUSSOT, F. et. al. Extractives content in cooperage oak wood during natural seasoning and toasting; influence of tree species, geographic location and single-tree effects. *Journal of Agricultural and food chemistry*, 2002. 50; 5955–5961 (5955).

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

HAPLA, F., GILLE, M. Effect of climate on the growth ring structural parameters of sessile oak grown on sites with different yield-soil classes. *Wood Biology and Wood Products*; Georg-August-University of Göttingen 2015.

HILLER, C. et. al. Relationships in black walnut heartwood between color and other physical and anatomical characteristics. *Wood Fiber* 1972. 4: 38–42.

HORÁČEK, P. Fyzikální a mechanické vlastnosti dřeva I., 2. přepracované vydání Brno: Mendelova zemědělská a lesnická univerzita v Brně, 2008. 124 s. ISBN 978-80-7375-169-2

CHANG, S.-T. et. al. Influences of extractives on the photodegradation of wood. *Polymer Degradation and Stability* 2010. 95-4, 516s–521s.

IAWA COMITEE. IAWA list of microscopic features for hardwood identification: with an appendix on non-anatomical information. Leiden, The Netherlands: Published for the International Association of Wood Anatomists at the Rijksherbarium, 1989.

JANKOVSKÝ, M., LACHMAN, J., STASZKOVÁ, L. Chemie dřeva, první vydání 1999, Praha: AF a LF ČZU v Praze, 1999. 212 s. ISBN 80-213-0559-2

KATUŠČÁK, S., KUČERA, J. CIE orthogonal and cylindrical color parameters and the color sequences of the temperate wood species. *Wood Research*, 2000, 45,3:9-21.

KLUMPERS, J. et. al. The influences of age, extractive content and soil water on wood color in oak: the possible genetic determination of wood color. *Ann Sci For* 1993. 50-1, 403s–409s, DOI: 10.1051/forest:19930746

LAUROVÁ, M. et. al. Lipofilné extraktívne látky v jadre a beli duba zimného (*Quercus petraea* (mattusch.) libel.). *Acta facultatis – xylologiae*, Zvolen 2007. XLIX (2), 17–23.

McGINNES, E. A. et. al. Influence of incandescent and fluorescent light on teh color of unfinished heartwood of black walnut and eastern red cedar. *Wood Sci* 1975. 7: 270–279

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.

MOYA, R. et. al. Relationship Between Wood Color Parameters Measured by the CIELab System and Extractive and Phenol Content in *Acacia mangium* and *Vochysia guatemalensis* from Fast-Growth Plantations. *Journal Molecules*, 2012. 17-12, DOI: 10.3390/molecules17043639

NASCIMENTO, M. S. et. al. Phenolic Extractives and Natural Resistance of Wood. *Biodegradation-Life of science*, 2013. ISBN 978-953-51-1154-2

POŽGAJ, A., CHOVANEC, D., KURJATKO, S., BABIAK, M. Struktura a vlastnosti dřeva. 2. vydání. Bratislava: Príroda, 1997. 488 s. ISBN 80-07-00960-4

REINPRECHT, L. Ochrana dřeva. 1. vyd. Zvolen: Technická univerzita vo Zvolene, 2008. 453 s. ISBN 978-80-228-1863-6

ROWELL, R., M., et. al. Handbook of wood chemistry and wood composites. druhé vydání 2013, Boca Raton: CRC Press, 2013. 703 s. ISBN 9781439853801

ŠLEZINGEROVÁ, J., GANDELOVÁ, L. Stavba dřeva – cvičení, 1. vydání 1999, dotisk 2004, Brno: MZLU, 2004. 132 s. ISBN 80-7157-400-7

TAYLOR, A. M. et. al. Heartwood formation and natural durability a review. *Wood and Fiber Science* 2002. 34-4, 587–611.

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

Citované normy:

ČSN EN 350-2, ISO 490081 – Trvanlivost dřeva a materiálů na jeho bázi – Přírozená trvanlivost rostlého dřeva – Část 2: Přírozená trvanlivost a impregnovatelnost vybraných dřevin důležitých v Evropě.

Internetové zdroje:

BARTUŠEK, M., PAZOUREK, J. Základy metod analytické chemie [online]. Oddělení analytické chemie, Ústav chemie MU v Brně [citováno 2017-04-03].

Dostupné z: <http://www.sci.muni.cz/~analchem/?q=studenti>

BLATHUR, S. CIE Lab – color space [online] 2013 [citováno 2017-03-02].

Dostupné z: <http://sheriffblathur.blogspot.cz/2013/07/cie-lab-color-space.html>

Konica Minolta Sensing Europe B.V. [online] 2017 [citováno 2017-03-20].

Dostupné z: <https://www.konicaminolta.eu/en/measuring-instruments/products/colour-measurement/spectrophotometers-portable/cm-2600d-cm-2500d/introduction.html>

Lexikon domácích dřev [online]. Brno: Mendelova univerzita v Brně, 2004 [citováno 2017-03-01]. Dostupné z:

http://ldf.mendelu.cz/und/sites/default/files/multimedia/stavba_dreva/lexikon/index.htm

MAMOŇOVÁ, M. Farebný priestor vybraných domácich drevín. [citováno 2017-03-02].

Dostupné z: <http://mamonova.webz.cz/curric/X6.htm>

Retsch, Solutions in Milling & Sieving [online] 2017 [citováno 2017-03-22].

Dostupné z: <http://www.retsch.cz/cz/produkty/mleti/kulove-mlyny/>

ZEIDLER, A. Lexikon dřeva/obrázky [online]. Praha: ČZU v Praze, 2012 [citováno 2017-02-05] Dostupné z: http://fld.czu.cz/~zeidler/lexikon_dreva/obrazky_web/

10 Seznam obrázků a tabulek

Obr. 1	Makroskopická stavba dřeva <i>Quercus</i> na příčném, tangenciálním, radiálním řezu	11
Obr. 2	Mikroskopická stavba dřeva <i>Quercus</i> na příčném řezu	12
Obr. 3	Mikroskopická stavba dřeva <i>Quercus</i> na radiálním (vlevo), tangenciálním (vpravo) řezu.....	12
Obr. 4	Zastoupení základních složek dřeva.....	15
Obr. 5	Model barevného prostoru CIEL*a*b*.....	21
Obr. 6	Lokality třídy I a III	24
Obr. 7	Lokality třídy IV a V	25
Obr. 8	Přenosný spektrofotometr CM2600 d	26
Obr. 9	Vzorek po mletí, našťípané fragmenty dřeva před mletím	27
Obr. 10	Navážky 5 g dřevního prachu	28
Obr. 11	Směs navážky a 60 ml methanolu.....	28
Obr. 12	Vzorkovnice vloženy do ultrazvukové lázně	28
Obr. 13	Druhá fáze extrakce.....	28
Obr. 14	Vzorky pro spektrofotometrii.....	28
Obr. 15	Erlenmeyerova baňka s extraktem.....	29
Obr. 16	Chlazení baněk v exikátoru.....	30
Obr. 17	Vážení baňky s extraktem.....	30
Obr. 18	Princip a základní součásti spektrofotometru.....	32
Obr. 19	Schematické vyobrazení metodického postupu, značení vzorků, členění poloměru kmene na sekce.....	33
Obr. 20	Prostorové zobrazení hodnot barevnosti v CIE L*a*b*	35
Obr. 21	Krabicový graf parametrů L*, a*, b*.....	35
Obr. 22	Krabicový graf hodnot obsahu extraktivních a fenolických látek.....	36
Obr. 23	Korelační a regresní analýza mezi obsahem fenolických látek a celkovým obsahem extraktivních látek [% z 1 g sušiny].....	37
Obr. 24	Korelační a regresní analýza mezi hodnotami parametrů barvy a celkovým obsahem extraktivních látek.....	38
Obr. 25	Korelační a regresní analýza mezi hodnotami parametrů barvy a obsahem fenolických látek.....	38
Obr. 26	Grafické zobrazení analýzy rozptylů ANOVA pro hodnoty parametrů L*, a*, b* – všechny lokality.....	39

Obr. 27 Grafické zobrazení analýzy rozptylů ANOVA pro hodnoty parametrů L^* , a^* , b^* – sekce v rámci kmene.....	40
Obr. 28 Korelační a regresní analýza mezi parametry L^* , a^* , b^* a sekcemi v rámci poloměru kmene.....	41
Obr. 29 Korelační a regresní analýza mezi parametry L^* , a^* , b^* a sekcemi v rámci poloměru kmene.....	42
Obr. 30 Grafické zobrazení analýzy rozptylů ANOVA pro obsah extraktivních a fenolických látek – všechny lokality.....	43
Obr. 31 Grafické zobrazení analýzy rozptylů ANOVA pro obsah extraktivních a fenolických látek – sekce v kmeni.....	44
Obr. 32 Grafické zobrazení analýzy ANOVA s interakcemi mezi lokalitou a sekcí v rámci kmene.....	45
Tab. 1 Členění vybraných dřev podle trvanlivosti.....	23
Tab. 2 Charakteristika lokalit v Pfälzer Wald.....	24
Tab. 3 Popisná statistika parametrů barvy systému CIE $L^*a^*b^*$	34
Tab. 4 Popisná statistika obsahu extraktivních a fenolických látek.....	36
Tab. 5 Vyhodnocení Tuckeyho testu vícenásobného porovnání kde $p < 0,05$ představuje významné statistické rozdíly – parametry L^* , a^* / lokalita.....	39
Tab. 6 Vyhodnocení Tuckeyho testu – parametr b^* / lokalita.....	40
Tab. 7 Vyhodnocení Tuckeyho testu vícenásobného porovnání kde $p < 0,05$ představuje významné statistické rozdíly – parametry L^* , a^* , b^* / sekce.....	41
Tab. 8 Vyhodnocení Tuckeyho testu vícenásobného porovnání kde $p < 0,05$ představuje významné statistické rozdíly.....	43
Tab. 9 Vyhodnocení Tuckeyho testu vícenásobného porovnání kde $p < 0,05$ představuje významné statistické rozdíly.....	44