

MENDELOVA UNIVERZITA V BRNĚ
LESNICKÁ A DŘEVAŘSKÁ FAKULTA
Ústav nauky o dřevě



**Využití extraktivních látek tropických dřev pro zvýšení
přirozené trvanlivosti buku**

Bakalářská práce

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem práci: „Využití extraktivních látek tropických dřev pro zvýšení přirozené trvanlivosti buku“ zpracovala samostatně a veškeré použité prameny uvádím v seznamu použité literatury. Souhlasím, aby moje práce byla zveřejněna v souladu s § 47b Zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách ve znění pozdějších předpisů a v souladu s platnou Směrnicí o zveřejňování vysokoškolských závěrečných prací.

Jsem si vědoma, 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:.....podpis studenta

Poděkování

Ráda bych poděkovala všem, kteří se jakýmkoliv způsobem zasloužili o vznik této práce. A to především svému vedoucímu závěrečné práce panu doc. Ing. Vladimíru Grycovi, Ph.D. a svému konzultantovi Ing. Janu Baarovi, Ph.D. za užitečné rady a ochotné vedení při tvorbě této bakalářské práce. Dále bych chtěla poděkovat Ing. et Ing. Pavlu Sablíkovi za zasloužení do problematiky tohoto tématu a naplánování experimentu.

Abstrakt

Autor: Zdeňka Příbylová

Název bakalářské práce: Využití extraktivních látek tropických dřev pro zvýšení přirozené trvanlivosti buku

Bakalářská práce se zabývá vyhodnocením antimykotické aktivity extraktivních látek získaných extrakční aparaturou FexIKA. Jako materiál pro zkoumání bylo použito dřevo merbau (*Intsia bijuga* O.Ktze.) a jatoba (*Hymenaea courbaril* L.). Z rozemletých tropických dřev byly získány extraktivní látky. Látky byly impregnovány do dřeva buku (*Fagus sylvatica* L.). Následoval rychlý test přirozené trvanlivosti buku proti houbám při působení outkovkou pestrou (*Trametes versicolor* L.). Ze získaných dat byla posuzována ztráta hmotnosti vzorků impregnovaných extraktivními látkami a referenčních vzorků nativního buku. Výsledky ukázaly, že extraktivní látky získané z dřeva merbau při nejvyšší koncentraci byly schopny zvýšit přirozenou trvanlivost dřeva buku z 5. třídy trvanlivosti dřeva proti dřevokazným houbám (tzn. netrvanlivé) až na 1. třídu trvanlivosti (tzn. velmi trvanlivé). U extraktivních látek získaných ze dřeva jatoba při nejvyšší koncentraci byla zvýšena přirozená trvanlivost dřeva buku z 5. třídy trvanlivosti na 2. třídu trvanlivosti (tzn. trvanlivé).

Klíčová slova: extraktivní látky, *Intsia bijuga*, *Hymenaea courbaril*, *Fagus sylvatica*, extrakce, impregnace, *Trametes versicolor*, přirozená trvanlivost, třída trvanlivosti, koncentrace

Abstrakt

Author: Zdeňka Přibylová

Name of bachelor thesis: Using Extractive Compounds of Tropical Woods to Increase Natural Durability of Beech Wood

This Bachelor's thesis focuses on evaluating antimycotic activity of extractive compounds acquired using the FexIKA extraction apparatus. Merbau (*Intsia bijuga* O.Ktze.) and Jatoba (*Hymenaea courbaril* L.) were used as the studied material. The extractive compounds were obtained from ground samples of the tropical woods. Then, the beech wood was impregnated with the compounds. A rapid durability test of vulnerability to *Trametes versicolor* L. was performed. From the data acquired, the weight loss of the samples impregnated with extractive compounds and reference samples of native beech was evaluated. The results show that the extractive compounds procured from Merbau wood in the highest concentration were able to increase the natural durability of beech from class 5, i.e. not durable, to class 1 - very durable. Impregnation with extractives from Jatoba in the highest concentration level increased the durability from class 5 to class 2, i.e. durable.

Keywords: extractive compounds, *Intsia bijuga*, *Hymenaea courbaril*, *Fagus sylvatica*, extraction, impregnation, *Trametes versicolor*, natural durability, durability class, concentration

Obsah

1	ÚVOD	- 1 -
2	CÍL PRÁCE	- 2 -
3	LITERÁRNÍ PŘEHLED	- 3 -
3.1	Chemické složení dřeva	- 3 -
3.1.1	Základní složky dřeva	- 3 -
3.1.2	Doprovodné složky dřeva	- 4 -
3.1.3	Získávání extraktivních látek	- 7 -
3.2	Chemická ochrana dřeva	- 9 -
3.2.1	Chemické složení ochranných prostředků	- 10 -
3.2.2	Ekologie chemické ochrany dřeva	- 11 -
3.2.3	Impregnace	- 12 -
3.3	Přirozená trvanlivost dřeva	- 13 -
3.3.1	Laboratorní zkouška – rychlý test přirozené trvanlivosti dřeva buku impregnovaného extraktivními látkami	- 14 -
3.4	Charakteristika použitých dřev	- 15 -
3.4.1	Merbau	- 15 -
3.4.2	Jatoba	- 16 -
3.4.3	Buk lesní	- 17 -
3.5	Houby	- 18 -
3.5.1	Otkovka pestrá (<i>Trametes versicolor</i> L.)	- 19 -
4	MATERIÁL A METODIKA	- 20 -
4.1	Materiál	- 20 -
4.2	Metodika	- 20 -
4.2.1	Extrakce přístrojem FexIKA	- 20 -

4.2.2	Koncentrace	- 20 -
4.2.3	Zjištění obsahu extraktivních látek v impregnaci	- 22 -
4.2.4	Impregnace a sterilizace vzorků	- 22 -
4.2.5	Zjištění přirozené trvanlivosti buku impregnovaného extraktivními látkami - 23 -	
4.2.6	Stanovení vlhkosti dřeva.....	- 24 -
4.2.7	Stanovení hmotnostního úbytku	- 25 -
5	VÝSLEDKY	- 26 -
5.1	Obsah extraktivních látek.....	- 26 -
5.2	Hmotnostní úbytky vzorků impregnovaných extraktivními látkami dřeva Merbau	- 27 -
5.3	Hmotnostní úbytky vzorků impregnovaných extrakty dřeva Jatoba.....	- 31 -
5.4	Srovnání trvanlivosti dřeva (nativního) buku a impregnovaného buku.....	- 35 -
5.5	Srovnání trvanlivosti dřeva buku impregnovaného extraktivními látkami dřeva merbau a jatoba	- 38 -
6	DISKUSE.....	- 40 -
6.1	Obsah extraktivních látek tropických dřev	- 40 -
6.2	Přirozená trvanlivost buku impregnovaného extraktivními látkami	- 41 -
7	ZÁVĚR	- 44 -
8	SUMMARY.....	- 45 -
9	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	- 46 -

Seznam obrázků

Obr. 1 Merbau (zdroj: ldf. mendelu.cz – lexikon tropických dřev 2003).....	- 15 -
Obr. 2 : Jatoba (zdroj: ldf. mendelu.cz – lexikon tropických dřev 2003).....	- 16 -
Obr. 3: Buk (zdroj: ldf. mendelu.cz – lexikon domácích dřev).....	- 17 -
Obr. 4: Outkovka pestrá (zdroj www.naturfoto.cz).....	- 19 -
Obr. 5: Chlazení baněk v exsikátoru.....	- 22 -
Obr. 6: Vlevo vzorky po impregnaci, vpravo vakuově zabalené vzorky určené ke sterilizaci.....	- 23 -
Obr. 7: Vlevo misky s agarem a kouskem mycelia, vpravo misky po týdnu již celé porostlé myceliem.....	- 23 -
Obr. 8: Srovnání obsahu extraktivních látek v extraktu tří koncentrací dřeva merbau a jatoba.....	- 26 -
Obr. 9: Srovnání hmotnostních úbytků vzorků impregnovaných extraktivními látkami dřeva merbau, jejich referenčních vzorků a samotných referenčních vzorků	- 27 -
Obr. 10: Grafické vyjádření analýzy rozptylů (ANOVA) – vzorky impregnované extraktivními látkami dřeva merbau a jejich referenční vzorky	- 28 -
Obr. 11: Srovnání vzhledu Petriho misek po 8 týdnech testování.....	- 29 -
Obr. 12: Srovnání hmotnostních úbytků vzorků impregnovaných extraktivními látkami dřeva jatoba, jejich referenčních vzorků a samotných referenčních vzorků.....	- 31 -
Obr. 13: Grafické vyjádření analýzy rozptylů (ANOVA) – vzorky impregnované extraktivními látkami dřeva jatoba a jejich referenční vzorky	- 32 -
Obr. 14: Srovnání vzhledu Petriho misek po 8 týdnech testování.....	- 33 -
Obr. 15: Vzhled vzorků před testem trvanlivosti (vlevo) a po 8 týdnech testu trvanlivosti (vpravo).....	- 35 -
Obr. 16: Grafické vyjádření analýzy rozptylů (ANOVA) – vzorky impregnované extrakty o koncentraci 3, rozpouštědlem a samotné referenční vzorky.....	- 36 -
Obr. 17: Srovnání vzhledu Petriho misek po 8 týdnech testování.....	- 37 -

Obr. 18: Grafické vyjádření analýzy rozptylů (ANOVA) – vzorky buku impregnované extraktivními látkami dřeva merbau a jatoba o koncentraci 3.....	- 38 -
Obr. 19: Na obrázku vlevo vzorky impregnované extraktivními látkami dřeva merbau, jatoba a vzorky nativního buku. Na obrázku vpravo dřevo ošetřené chemickou impregnací (zdroj: www.zmuda.wbl.sk).....	- 42 -

Seznam tabulek

Tab. 1: Rozdělení skupin extraktivních látek z chemického hlediska (Blažej, Košík, 1985).....	- 5 -
Tab. 2: Rozdělení skupin extraktivních látek podle polaritý použitého extrakčního činidla (Kačíková et al., 2007).....	- 7 -
Tab. 3: Klasifikace impregnovatelnosti – ČSN EN 350-2.....	- 12 -
Tab. 4: Třídy přirozené trvanlivosti dřeva proti napadení houbami s použitím laboratorních zkoušek založených na ČSN EN 113	- 13 -
Tab. 5: Zastoupení buku v ha / % z celkové plochy porostní půdy ČR (zdroj: Zpráva o stavu lesa a lesního hospodářství České republiky v roce 2012).....	- 17 -
Tab. 6: Koncentrace vzorků.....	- 20 -
Tab. 7: Procentuální obsah extraktivních látek dřev merbau a jatoba ve 200 ml impregnačním roztoku	- 26 -
Tab. 8: Průměrný hmotnostní úbytek vzorků buku impregnovaného extraktivními látkami dřeva merbau (hodnoty jsou uváděny v %).	- 27 -
Tab. 9: Jednorozměrný test významnosti pro vzorky impregnované extraktivními látkami dřeva merbau.....	- 28 -
Tab. 10: Vyhodnocení Tuckeyho testu vícenásobného porovnání ($p < 0,05$ statisticky významný rozdíl, $p > 0,05$ bez statisticky významného rozdílu)	- 29 -
Tab. 11: Zařazení bukových vzorků impregnovaných extraktivními látkami dřeva merbau do tříd trvanlivosti proti dřevokazným houbám	- 30 -
Tab. 12: Průměrný hmotnostní úbytek vzorků buku impregnovaného extraktivními látkami dřeva jatoba (hodnoty jsou uváděny v %).	- 31 -

Tab. 13: Jednorozměrný test významnosti pro vzorky impregnované extraktivními látkami dřeva jatoba.....	- 32 -
Tab. 14: Vyhodnocení Tuckeyho testu vícenásobného porovnání ($p < 0,05$ statisticky významný rozdíl, $p > 0,05$ bez statisticky významného rozdílu)	- 33 -
Tab. 15: Zařazení bukových vzorků impregnovaných extraktivními látkami dřeva jatoba do tříd trvanlivosti proti dřevokazným houbám	- 34 -
Tab. 16: Průměrný hmotnostní úbytek vzorků buku impregnovaného extraktem dřeva merbau a jatoba o koncentraci 3, rozpouštědlem a samotných referenčních vzorků buku (hodnoty jsou uváděny v %).	- 35 -
Tab. 17: Vyhodnocení Tuckeyho testu vícenásobného porovnání ($p < 0,05$ statisticky významný rozdíl, $p > 0,05$ bez statisticky významného rozdílu)	- 36 -
Tab. 18: Zařazení bukových vzorků impregnovaných extraktivními látkami dřeva merbau a jatoba koncentrace 3, rozpouštědlem a samotných referenčních vzorků do tříd trvanlivosti proti dřevokazným houbám	- 37 -
Tab. 19: Jednorozměrný test významnosti pro vzorky impregnované extraktivními látkami dřeva merbau a jatoba	- 38 -
Tab. 20: Vyhodnocení Tuckeyho testu vícenásobného porovnání ($p < 0,05$ statisticky významný rozdíl, $p > 0,05$ bez statisticky významného rozdílu)	- 39 -

1 ÚVOD

Využívání dřeva člověkem je datováno od počátku věků. Ze začátku jako zbraň, palivo či základní stavební prvek. S dalším rozvojem člověka rostla i širší využití dřeva k zajišťování různých potřeb. I v dnešní době, kdy má člověk k dispozici širokou škálu materiálů, je dřevo stále hojně využíváno a v určitých oblastech je stále nenahraditelné.

Dřevo je jednou z našich nejzákladnějších domácích surovin, je nenahraditelné pro své vlastnosti, jako je např. estetický vzhled, lehkost, pevnost, pružnost a snadná opracovatelnost. Dřevo je obnovitelná surovina, která je také v přírodě snadno odstranitelná. Nevýhodou však je, že dřevo může degradovat, a to různými druhy biotických a abiotických činitelů. Dřevo vlivem poškození může měnit vzhled i fyzikální a chemické vlastnosti.

Kvůli degradaci dřeva způsobené vlivem vnějšího prostředí byla pro jeho ochranu vynalezena impregnace. Impregnaci dřeva využíváme již od nepaměti, zpočátku v podobě přírodních živočišných látek a minerálních olejů, dnes k ochraně dřeva využíváme různé průmyslové impregnace.

Problémem ochranných látek může být jejich toxicita. Po čase používání chemických látek se s dalším výzkumem přichází na jejich škodlivé účinky. I dnes hojně používaná měď je předmětem diskuze o její vhodnosti. Proto je potřeba obrátit se zpět k přírodě a začít čerpat přirozených možností, které nám nabízí. Cílem je zajištění zdravotní nezávadnosti a co nejmenšího dopadu na životní prostředí.

Z tohoto pohledu jsou jednou z možností pro vytvoření ekologické impregnace extraktivní látky, jež dřevo přirozeně chrání. Za tímto účelem je možné použít odolná tropická dřeva, která obsahují velké množství extraktivních látek.

Buk je řazen mezi dřeva s velmi nízkou přirozenou trvanlivostí. Zalesnění bukem se u nás každým rokem zvyšuje a i do budoucna se plánuje zvýšení jeho celkové plochy v lesích České republiky. Buk však právě kvůli své nízké trvanlivosti nachází využití velmi těžko, a to i navzdory tomu, že má výborné mechanické vlastnosti. Zvýšení jeho přirozené trvanlivosti by tedy mohlo vést ke zvýšení jeho využití v budoucnosti v dřevozpracujícím průmyslu.

2 CÍL PRÁCE

Cílem této práce je experimentálně stanovit přirozenou trvanlivost dřeva buku (*Fagus sylvatica* L.) impregnovaného extraktivními látkami tropických dřev. Extraktivní látky budou získávány z tropických dřev merbau (*Intsia bijuga* O.Ktze.) a jatoba (*Hymenaea courbaril* L.). Extrakce bude probíhat na přístroji FexIKA. Po impregnaci bukových vzorků bude testována přirozená trvanlivost dřeva. Výsledky zkoušky bude potřeba zařadit dle ČSN EN 350–1. Trvanlivost dřev a materiálů na jeho bázi – Přirozená trvanlivost rostlého dřeva – Část 1: Návod na zkoušení a klasifikaci přirozené trvanlivosti dřeva, do tříd trvanlivosti vůči dřevokazným houbám. Závěrem bude zhodnocení účinnosti extraktivních látek.

3 LITERÁRNÍ PŘEHLED

3.1 Chemické složení dřeva

3.1.1 Základní složky dřeva

Hlavními stavebními látkami dřeva jsou celulóza, hemicelulózy, lignin a velká skupina doprovodných látek dřeva – extraktiv (Hon a Minemura, 2001; Wagenführ, 1999).

Celulóza je nerozvětvený homopolymer opakujících se složek celobiózy. V průměru celulóza tvoří 43 až 52 % z hmotnosti jehličnatého a listnatého dřeva. Je základní strukturální složkou buněčných stěn dřeva. Řetězce celulózy v mřížce navzájem postranně drží sekundární vodíkové vazby. Postranní síly spojující krystality celulózy jsou příčinou toho, že jsou odolné vůči vlivům vody a rozpouštědel (Panshin a Zeeuw, 1980; Požgaj et al., 1997).

Celulóza je ve vodě a běžných rozpouštědlech nerozpustná, pouze omezeně zde bobtná. Existuje jen omezený počet rozpouštědel, ve kterých celulóza nejprve nabobtná a potom s nimi tvoří viskózní roztoky. Jedním z takových roztoků je chlorid lithný v dimethylacetamidu. V koncentrovaných kyselinách se celulóza rozpouští, ale zároveň se jí snižuje polymerační stupeň. (Kačík a Solár, 1999).

Hemicelulózy jsou druhou sacharidickou složkou dřeva. V porovnání s celulózou jde o polysacharidy s menší relativní molekulovou hmotností a kratšími řetězci. Je možné je hydrolyzovat zředěnými kyselinami anebo extrahovat zředěnými alkáliemi. Dřevo obsahuje 20 až 35 % hemicelulóz a jejich obsah je vyšší u listnatých dřevin (Požgaj et al., 1997).

Doprovází celulózu v jednotlivých vrstvách buněčných stěn anatomických elementů dřeva, tvoří zde tmelící složku mezi vláknitými strukturami celulózy a ligninu. (Šlezingerová a Gandelová, 2005). Hemicelulózy se dělí podle převládajících monosacharidů v základním řetězci na xylany, manany a galaktany (Kačík a Solár, 1999).

Lignin je důležitou složkou zabezpečující dřevnatění buněčných stěn, jeho obsah představuje z hmotnosti dřeva převážně 20 až 30 %. Lignin chrání vazby celulóza – celulóza. Funkcí ligninu jako fenolické složky je, že spojuje vlákna, ale účinkuje i jako zpevňující faktor celulózové molekuly rámci buněčných stěn (Požgaj et al., 1997).

Makromolekuly ligninu jsou prostorově rozložené, takže mohou dobře vyplňovat prostory mezi vláknitými strukturami polysacharidů (Šlezingerová a Gandelová, 2005). Lignin je chemicky méně stálý než celulóza. Snadněji podléhá vlivu zásad, kyselin i jiných látek. Vzhledem k odlišnosti ligninu u listnatých a jehličnatých dřevin se někdy pro jeho získání používají různé metody (Kačík a Solár, 1999).

3.1.2 Doprovodné složky dřeva

Doprovodné složky dřeva jsou látky různé chemické povahy, které se ve dřevě vyskytují v malých množstvích, případně mohou být jen u některých dřev. Mají vliv na barvu dřeva, vůni, jeho vlastnosti, na opracování, sušení, povrchovou úpravu, impregnaci dřeva, trvanlivost a odolnost vůči abiotickým a biotickým činitelům (Šlezingerová a Gandelová, 2005).

Obsah a složení extraktivních látek ve dřevě je variabilní podle druhu a věku dřeviny, podle stanoviště, období těžby a hlavně místa odběru vzorku (kořen, jádro, běl, kůra, větve apod.). Obsah a složení extraktivních látek se mění i podle převládajícího druhu buněk, např. parenchymatické obsahují i tuky a některé glukany, zatímco v epitelových buňkách se nacházejí ve větším množství pryskyřičné kyseliny. Extraktivní látky mají ve dřevě určitou funkci, např. třísloviny, ostatní polyfenoly, terpeny, stilbeny, některé glykosidy, vosky a tuky zvyšující odolnost dřeva vůči biotickému poškození, ať už svou potencionální toxicitou, anebo hydrofóbností. Jiné, např. sacharidy, cukry alkoholu, rozpustné nízkomolekulové frakce polysacharidů, proteiny, vitamíny a soli organických kyselin jsou buď metabolity, anebo zásobními látkami a stabilitu dřeva vůči biotickým vlivům můžou snižovat, pokud mají vlastnosti substrátu (Kačík a Solár, 1999).

Podíl extraktivních látek dřev mírného pásma je udáván 1–5 %, ale u dřev tropického pásma může dosahovat až 30 % dřevní hmoty (Šlezingerová a Gandelová, 2005).

Je známý velký počet skupin extraktivních látek, a proto je můžeme těžko výstižně klasifikovat. Klasifikace podle určitých strukturálních rysů je obvykle ztížená polyfunkcionalitou některých složek. Běžně se používá rozdělení podle chemických typů a skupin (viz tab. 1) a fyzikálních vlastností (rozpuštěnost), zřídka podle botanických kritérií (Blažej et al., 1975).

Tab. 1: Rozdělení skupin extraktivních látek z chemického hlediska (Blažej, Košík, 1985)

a) Třísloviny	hydrolizovatelné	galataniny
		elagolatininy
		nesacharidové estery
		rostlinné glykosidy
	nehydrolizovatelné	flavan-3-oly
		flavan-3,4-dioly
		hydrostilbeny
		jiné
b) Monomerní flavanoidy	katechin	
	flavony	
	flavanoidy	
c) Lignany		
d) Alkaloidy		
e) Tropolony		
f) Cyklitoly		
g) Terpeny a terpenoidy	monoterpeny	
	seskviterpeny	
	pryskyřičné kyseliny	
h) Tzv. Mastné složky	vyšší mastné kyseliny	
	vyšší mastné alkoholy	
	steroly	
	jiné složky (nezmýdelnitelné)	

3.1.2.1 Sacharidy

Dřevo kromě celulózy a hemicelulózy obsahuje i různé množství škrobu, pektinů a jiných polysacharidů rozpustných ve vodě, jako i některé monosacharidy a glykosidy (Kačíková et al., 2007).

Pektiny jsou obsaženy ve dřevě jehličnanů i listnáčů 0,5–1 % z extraktivních látek. **Škrob** je směsí dvou polysacharidů (amylosy, amylopektinu). Jeho odbouráváním získávají živé rostliny energii. Jeho množství ve dřevě značně kolísá (0,3–7 % extraktivních látek), největší množství je nahromaděno na podzim. Bohatá

na škrob je např. běl dubu, jilmu, platanu, jasanu a některých tropických dřev (jako balsa, avodiré aj.). **Polyuronidy** jsou takzvané dřevní gumy. **Monosacharidy** (např. glukosu, galaktosu, xylosu, manosu aj.) obsahuje zejména bělové dřevo (0,1–1 % extraktivních látek), méně dřevo jádrové. **Heteroglykosidy** jsou tzv. složené polysacharidy, tvořené z části cukerné, na kterou je vázána složka necukerná (aglykon), což mohou být např. alkoholy, fenoly, steroly aj. (Šlezingerová a Gandelová, 2005).

3.1.2.2 Fenolické látky

Kromě ligninu dřevo obsahuje i fenolické látky rozpustné ve vodě a organických rozpouštědlech. Jsou to taniny, flavonoidy, stilbeny, lignany a tropolóny. Větší obsah nízkomolekulových fenolických složek je v kůře (Kačíková et al., 2007).

Fenolické látky tvoří poměrně vysoký podíl extraktivních látek (zejména dřev listnáčů). Způsobují zbarvení dřeva, barevné skvrny ve dřevě a mají funkci ochrannou. Tvoří charakteristickou skupinu doprovodných látek jádrového dřeva listnáčů a jehličnanů. Některé **jednoduché fenoly** byly izolovány ze dřeva listnáčů, např. kyselina hydroxybenzoová, vaniliová, aj., významnou skupinou fenolických látek jsou **lignany**. Vyskytují se v jádrovém dřevě jehličnanů i listnáčů, v běli je jejich obsah zanedbatelný. Obsáhlou skupinu extraktivních látek představují **flavonoidy** (zahrnují flavony, flavany, flavanoly, flavanony), které byly izolovány z jádrového dřeva jehličnanů i listnáčů. Podobné flavonoidům, s nimiž se vyskytují společně, jsou **stilbeny**. Např. ze dřeva borovice a jedle byl izolován pinosylvin, hydroxystilben. Tyto látky ovlivňují světlostálost zbarvení dřeva a mají ochrannou funkci – insekticidy, fungicidy (Šlezingerová a Gandelová, 2005). Hrdlička (2008) udává, že barva dřeva a její stálost je u dřevěných výrobků užívaných v exteriéru, ale zejména v interiéru, jedním z důležitých estetických znaků. Do této skupiny doprovodných látek se zařazují také **taniny** (třísloviny). Vyskytují se zejména v jádrovém dřevě a kůře našich listnáčů, tropických dřev, ale jen omezeně u jehličnanů. Stejně jako stilbeny mají ochrannou funkci (Šlezingerová a Gandelová, 2005).

3.1.2.3 Terpeny

Vyskytují se ve dřevě četných tropických listnáčů. Některá tropická dřeva obsahují jednoduché terpeny (kafr, santalol), jiné, především kaučukovník, obsahují polyterpeny, které tvoří základ přírodního kaučuku. Terpeny tvoří po chemické stránce velmi různorodou a obsáhlou skupinu přírodních látek (je jich známo přes 5000).

Základní stavební jednotkou je 2-methyl-1,3-butadien, jejíž polymerizací vznikají mono, seskvi, di, tri, až polymery (Šlezingerová a Gandelová, 2005).

3.1.2.4 Ostatní látky

Alkoholy, acyklické kyseliny, bílkoviny, cyklitoly, tuky, vosky, alkaloidy – často se vyskytují v semenech, kořenech, byly izolovány také ze dřeva a kůry stromů zejména tropického pásma (Šlezingerová a Gandelová, 2005).

3.1.3 Získávání extraktivních látek

Převážná část doprovodných složek dřeva jsou nízkomolekulové látky. Na rozdíl od hlavních složek dřeva jsou většinou rozpustné v rozpouštědlech různé polaritě a extrakcí je možné je oddělit od hlavních složek. Proto se nazývají i extraktivní látky (Kačíková et al., 2007).

Extraktivní látky rozdělujeme do skupin podle chemické povahy a struktury, nebo podle polaritě (viz tab. 2). Je možné i rozdělení extraktivních látek podle možnosti destilovat vodní parou (terpeny). V analytické chemii dřeva se upřednostňuje rozdělení podle rozpustnosti (Kačík a Solár, 1999).

Tab. 2: Rozdělení skupin extraktivních látek podle polaritě použitého extrakčního činidla (Kačíková et al., 2007)

Extrakční činidlo	Skupiny extraktivních látek
Nepolární: - dietyler - petroleter - chloroform	tuky, vosky, steroly, pryskyřice, oleje, terpeny bez polárních funkčních skupin
Středně polární: - benzen-etanolová směs - aceton - etylacetát	nízkomolekulové fenoly, aromatické aldehydy, lignoly, terpenoidy, některé rostlinné barviva v menší míře: tuky, monosacharidy, cukerné alkoholy cyklitoly, estery
Polární: - studená voda - horká voda - metanol - etanol - zředěné vodní roztoky NaOH (0,5–10 %)	monosacharidy, oligosacharidy, fragmenty polysacharidů, cukerné alkoholy cyklitoly, fenoly, polyfenoly, soli organických a anorganických kyselin, organické kyseliny, aminokyseliny, některé vitamíny

3.1.3.1 *Nepolární rozpouštědla*

Mezi látky s dobrou rozpustností v nepolárních rozpouštědlech se řadí tuky, vosky, steroly, pryskyřice, oleje a také terpeny, když neobsahují polárně funkční skupiny. Pro extrakci se používá dietyléter, petroléter a chloroform (Kačík a Solár, 1999).

3.1.3.2 *Benzen – etanolová směs*

Do benzen – etanolové směsi přecházejí látky střední polariry, jako jsou nízkomolekulové fenoly, aromatické aldehydy, lignoly, terpenoidy a některé rostlinné barviva a v menší míře i tuky, monosacharidy, cukrové alkoholy, cyklitoly a estery (Kačík a Solár, 1999).

3.1.3.3 *Polární rozpouštědla*

V polárních rozpouštědlech se nejlépe rozpouštějí polární látky přítomné ve dřevě. Do této skupiny zařazujeme monosacharidy, oligosacharidy a fragmenty polysacharidů, alkoholy cukru, cyklitoly, fenoly, polyfenoly, soli organických a anorganických kyselin, samotné organické kyseliny, aminokyseliny, některé vitamíny, apod. Jako rozpouštědla se používá studená voda a teplá voda (98 °C), metanol, etanol, a někdy i zředěné vodní roztoky NaOH 0,5–1,0 % (Kačík a Solár, 1999).

3.2 Chemická ochrana dřeva

Všeobecně jsou ochranné látky pro impregnaci dřeva buď jednoduché sloučeniny, nebo jejich směsi organického, popřípadě anorganického původu, používané k ochraně dřeva před znehodnocením. Mohou být podle účelu a způsobu používány při různých impregnačních způsobech. Ochranné látky musí odpovídat požadavkům ČSN 49 0600-1 a musí být schváleny příslušnou státní zkušebnou.

Základní vlastností je ochranná účinnost:

- a) proti dřevokazným houbám (fungicidy)
- b) proti dřevokaznému hmyzu (insekticidy)
- c) proti ohni (antipyreny)
- d) proti dalším znehodnocujícím vlivům

Další požadované vlastnosti jsou:

- rozpustnost ve vodě nebo jiných rozpouštědlech
- co největší schopnost pronikat do dřeva
- přilnavost ke dřevu
- trvanlivost (chemická i fyzikální stálost)
- nízká vyluhovatelnost ze dřeva (schopnost fixace)
- antikorozivnost vůči dřevu samotnému
- antikorozivnost vůči impregnačnímu zařízení (kovy, plasty aj.)
- co nejvyšší zdravotní nezávadnost

Každá ochranná látka splňuje uvedené požadavky v určité míře, a proto musí být důkladně zvažována vhodnost použití u jednotlivých případů (Kafka et al., 1989).

ČSN EN 113 (Ochranné prostředky na dřevo) udává že, ochrana dřeva, dosažená ochranným prostředkem při dané koncentraci, se považuje za dostatečnou, jestliže:

- a) Průměrný hmotnostní úbytek zkušebních těles je menší než 3,0 %
- b) Maximálně jedno zkušební těleso má hmotnostní úbytek větší než 3,0 %, avšak nižší než 5,0 %

3.2.1 Chemické složení ochranných prostředků

3.2.1.1 Anorganické sloučeniny rozpustné ve vodě

- a) *Vyluhovatelné vodou* – jsou určené jen pro třídu ohrožení 1 a 2. Biocidní účinnost je zaručena boritými solemi (kyselina boritá, tetraboritan sodný, polyboritany). Aplikují se nátěrem, máčením i tlakovou impregnací (Baier a Týn, 2001).
- b) *Nevyluhovatelné vodou* – jsou použitelné i v třídách ohrožení 3 a 4. účinnými složkami přípravku jsou soli boru, mědi, chrómu a fluoru. Fixaci přípravku ve dřevě způsobují soli chrómu. Tyto ochranné přípravky jsou určeny jen pro průmyslovou vakuotlakovou impregnaci nebo dlouhodobé máčení (Baier a Týn, 2001).

3.2.1.2 Organické sloučeniny rozpustné ve vodě

Nejrozšířenější jsou kvartetní amoniové soli, které se fixují na dřevo již za 2–4 hodiny. Používají se ve třídách ohrožení 1, 2, 3. Jsou určeny pro povrchovou ochranu nátěrem, máčením, postřikem i vakuotlakou impregnací (Baier a Týn, 2001).

3.2.1.3 Organické sloučeniny rozpustné v organických rozpouštědlech

Biocidní účinnost ochranných prostředků zajišťují například měďnaté a zinečnaté soli naftalenových kyselin, deriváty benzthiazolu, deriváty 1,2,4-triazolu, zejména tebulconazol a propiconazol (Baier a Týn, 2001).

3.2.1.4 Impregnační oleje nerozpustné ve vodě

Získají se destilací černouhelného dehtu. Jsou určeny jen do exteriéru pro třídy ohrožení 3, 4 5. Dřevo, zejména pražce a sloupy, se impregnují vakuotlakovými způsoby (Baier a Týn, 2001).

3.2.1.5 Protiplísňové bakteriocidní prostředky

Používají se většinou jen organické sloučeniny, které jsou téměř zdravotně nezávadné. Chemické složení těchto příkladů je velmi rozmanité. Používají se i některé fungicidní látky, například kvarterní soli (Baier a Týn, 2001).

3.2.2 Ekologie chemické ochrany dřeva

Aplikací chemické ochrany na dřevo je dotčena ekologie životního prostředí. Chemickými prostředky se může kontaminovat ovzduší, vodní toky, spodní vody a půda. S možnou kontaminací je nutné počítat jak při aplikacích vlastních technologií, tak při zabudování chráněného dřeva do míst expozice a rovněž, po skončení životnosti dřevěného předmětu, při likvidaci chráněného dřeva (Svatoň, 2000).

Chemického prostředky na ochranu dřeva vykazují menší či větší toxicitu vůči všem živým organismům. Jsou to především biocidy, fungicidy a insekticidy (Svatoň, 2000).

Toxikologická problematika je vyjadřovaná formou akutní toxicity a bývá značená symbolem zdravotně hygienické a ekologické přípustnosti prostředku, udělované hlavním hygienik ČR. Ekologická problematika hodnotí dlouhodobý vliv chemických látek na životní prostředí. Akutní toxicita je charakterizovaná letální dávkou LD₅₀ [mg/kg]. Jedná se o dávku látky vyvolávající usmrcení 50 % z počtu testovaných zvířat o známé hmotnosti. Udává se v mg chemické látky v přepočtu na 1 kg tělesné hmotnosti zvířat. Toxicita chemikálií se zvyšuje s poklesem hodnot LD₅₀ (Svatoň, 2000).

Chemické látky zařazujeme podle hodnoty LD₅₀ do šesti skupin:

1. extrémně toxické	$LD_{50} \leq 1$
2. vysoce toxické	$1 < LD_{50} \leq 50$
3. středně toxické	$50 < LD_{50} \leq 500$
4. málo toxické	$500 < LD_{50} \leq 5000$
5. téměř netoxické	$5000 < LD_{50} \leq 15000$
6. relativně neškodné	$15000 < LD_{50}$

Kritéria pro stanovení toxicity jsou uvedena v příloze č. 1 vyhlášky č. 402/2011 (Svatoň, 2000).

3.2.3 Impregnace

Impregnační dřeva můžeme označit zavedení chemických látek do struktury dřeva s cílem zlepšit jeho vlastnosti nebo získat zcela nové vlastnosti. Mezi nejčastější způsoby impregnace patří impregnace dřeva pomocí fungicidů a insekticidů, které zajišťují ochranu dřeva proti hnilobě a jiným formám biologického poškození. Dále jsou používány retardéry hoření, které brání dřevu ve vznícení a hoření (David, 2011).

Zušlechťující účinek impregnace závisí především na schopnosti impregnačních látek pronikat do dřeva. Pro dobrou ochranu je potřeba, aby impregnační látky pronikaly co nehlouběji do buněčných stěn dřeva. Nejúčinnější hydrofobní látky jsou v rozpuštěném stavu tak viskózní, že buď vůbec neproniknou, anebo jenom částečně proniknou do buněčných stěn. Proto se takové látky rozpouštějí v rozpouštědlech, čím se může jejich průnik do dřeva téměř libovolně stupňovat (Požgaj et al., 1997).

V praxi jsou aplikovány vhodné typy chemických látek – chemické prostředky na ochranu dřeva, respektive chemické ochranné prostředky. Ty jsou na povrch dřeva nebo do určité hloubky dřeva nanášeny nátěrem, postřikem, máčením a jinými beztlakovými technologiemi. Chceme-li dosáhnout jejich většího průniku a příjmu do dřeva, jsou používány podtlakové nebo přetlakové technologie v impregnačních kotlích (David, 2011).

Vakuová impregnace využívá střídání vakua a atmosférického tlaku na kapalinu. V hermeticky uzavřené nádrži je v prostředí dřeva vytvořen podtlak za účelem snížit koncentraci molekul vzduchu ve dřevě (Svatoň, 2000).

Tab. 3: Klasifikace impregnovatelnosti – ČSN EN 350-2

Třída	Popis	Vysvětlivky
1	impregnuje se lehce	řezivo lze úplně proimpregnovat tlakovou impregnací
2	impregnuje se středně obtížně	úplný průnik obvykle není možný, ale po 2 h nebo 3 h tlakové impregnace, lze dosáhnout více než 6 mm bočního průniku u jehličnatých dřevin a u listnatých dřevin průniku velkou částí cév
3	impregnuje se obtížně	po 3 h až 4 h tlakové impregnace nelze dosáhnout více než 3 mm a 6 mm bočního průniku
4	impregnuje se extrémně obtížně	značně nepropustné pro impregnaci, průnik ochranného prostředku je i po 3 h až 4 h tlakové impregnace minimální

3.3 Přírozená trvanlivost dřeva

Na dřevo působí vždy podmínky, ve kterých se nachází. Jakmile jsou tyto podmínky příznivé pro aktivitu dřevokazných činitelů, nastávají ve dřevě degradační procesy a dřevo ztrácí svoje původní vlastnosti. Změny se v tomto případě týkají v první řadě vzhledu dřeva a jeho mechanických a fyzikálních vlastností. Intenzita degradačních procesů je závislá na tzv. expozičním zatížení dřeva a samozřejmě na dokonalosti ochrany (Svatoň, 2000).

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

Tab. 4: Třídy přírozené trvanlivosti dřeva proti napadení houbami s použitím laboratorních zkoušek založených na ČSN EN 113

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

Pozn.: ^{x)} x je průměrný hmotnostní úbytek referenčních těles při konkrétní zkoušce

3.3.1 Laboratorní zkouška – rychlý test přirozené trvanlivosti dřeva buku impregnovaného extraktivními látkami

Zkouška je založena na normě ČSN EN 113 (Ochranné prostředky na dřevo – Zkušební metody pro stanovení ochranné účinnosti proti dřevokazným houbám Basidiomycetes –Stanovení hranice účinnosti), která ale podle normy trvá 16 týdnů. Schultz et al. (2008) a Sablík et al. (2015) uvádějí rychlý test trvanlivosti. Je to klasická mykologická zkouška na agarové živné půdě. Vyhodnocuje se pomocí zjištění hmotnostního úbytku po jejich 8týdenní expozici v čisté kultuře konkrétní houby. Vyhodnocení zkoušky se pak provádí podle tabulky č. 4 (Třídy přirozené trvanlivosti dřeva proti napadení houbami s použitím laboratorních zkoušek). Nejprve je nutné stanovit průměrný hmotnostní úbytek referenčních těles. Referenční tělesa jsou z bukového dřeva a jsou vystavena stejným podmínkám jako zkušební tělesa.

3.4 Charakteristika použitých dřev

3.4.1 Merbau

Obchodní název (ČR): merbau

Botanický název: *Intsia bijuga* O.Ktze.

Čeleď: Caesalpiniaceae

Výskyt: jihovýchodní Asie, Indonésie



Obr. 1 Merbau (zdroj: ldf.mendelu.cz – lexikon tropických dřev 2003)

Popis dřeva: Jádru je velmi proměnlivé barvy od hnědošedé až po bronzovou, tmavnoucí na temně hnědou, běl je mdle žlutavě bílá, často se zelenavými odlesky, široká je 5–8 cm a je dobře odlišena, neupotřebitelná. Dřevo má hrubou texturu, žlutavé a tmavé depozice, je masné rovné, světlý parenchym dává dřevu typickou kresbu, má točitá vlákna, je tvrdé a těžké, při kontaktu s vlhkostí se objevují na dřevu barevné skvrny (Roček, 2005).

Trvanlivost: Trvanlivé i v půdě a odolné proti houbám, hmyzu i povětrnostním vlivům (ldf.mendelu.cz – lexikon tropických dřev 2003). Merbau chemicky reaguje při kontaktu se železem (Roček, 2005).

Fyzikální vlastnosti:

Hrubá hustota při vlhkosti 12–15 % je 830–900 kg·m⁻³.

Podíl pórů je asi 49 %.

Mechanické zpracování: Dobré, ale se zvýšeným použitím síly, dá se řezat nožem, po napaření se také dobře ohýbá.

Sušení: Dobré, jen malý sklon k tvorbě trhlin. Dobrá tvarová stálost. Sušení provádět pomalu, kvůli vysoké hrubé hustotě.

Povrchová úprava: Poněkud obtížnější, protože barvy na dřevo mohou vést k zabarvení. Je nutné použít speciální laky (lazury, laky na bázi alkydové pryskyřice) (Wagenführ, 2000).

3.4.2 Jatoba

Obchodní název (ČR): jatoba

Botanický název: *Hymenae courbaril* L.

Čeleď: Caesalpiniaceae

Výskyt: Střední a Jižní Amerika



Obr. 2 : Jatoba (zdroj: ldf. mendelu.cz – lexikon tropických dřev 2003)

Popis dřeva: Jádru je růžově hnědě béžové až červeně hnědé, často jemně žilkované (barva žilkování různá), běl je odlišena, růžově bílá, je široká 6–12cm. Dřevo je velmi dekorativní, polojemné, má rovná vlákna, je tvrdé, těžké až velmi těžké. Dřevo má krásný povrch, je velmi trvanlivé. V Americe se používá jako náhrada akátu pod názvem american black locust (Roček, 2005).

Trvanlivost: Dřevo jatoba je velmi trvanlivé a odolné proti houbám, hmyzu; ve styku se zemí je méně odolné (ldf. mendelu.cz – lexikon tropických dřev 2003).

Starší stromy vylučují žlutavou až oranžově zbarvenou pryskyřici, která se po zatvrdnutí získává ze země jako Copal (Wagenführ, 2000).

Fyzikální vlastnosti:

Hrubá hustota při vlhkosti 12–15 % je 800–950–1020 kg·m⁻³.

Podíl pórů je asi 53 %.

Chemické vlastnosti: Extrakt benzol-alkohol: 10–15 %

Celulóza: asi 40 %

Mechanické zpracování: Dobré, je nutné lehce zvýšené použití síly, nástroje se rychle ztupí. Dobře se řeže, frézuje, vrtá, soustruží a hobluje.

Sušení: Dobré, ale pomalé. Všeobecné bez problémů, tvarová stálost dobrá (Wagenführ, 2000).

3.4.3 Buk lesní

Čeleď: Fagaceae

Botanický název: *Fagus sylvatica* L.



Obr. 3: Buk (zdroj: *ldf.mendelu.cz – lexikon domácích dřev*)

Popis dřeva: Barva dřeva je narůžovělá, nahnědlá až červenohnědá, u starých stromů jsou častá nepravá jádra.

Trvanlivost: méně trvanlivé a málo odolné proti biotickým činitelům. Dřevo buku je řazeno do 5. třídy trvanlivosti – netrvanlivé dle ČSN EN 350–2 (viz tab. 4).

Fyzikální vlastnosti:

Hrubá hustota při vlhkosti 12 % je $685 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$.

Opracovatelnost: Dřevo buku se dobře impregnuje – třída impregnovatelnosti 1 dle ČSN EN 350–2 (viz tab. 3), paří, moří, ale hůře se suší (má sklon k tvorbě trhlin a borcení).

Využití: Dřevo buku je hodně využíváno především v nábytkářství, protože se dobře ohýbá. Dřevo buku je také důležitou surovinou pro výrobu dých, překližek parket a železničních pražců (*ldf.mendelu.cz – lexikon domácích dřev*).

Tab. 5: Zastoupení buku v ha / % z celkové plochy porostní půdy ČR
(zdroj: *Zpráva o stavu lesa a lesního hospodářství České republiky v roce 2012*)

Dřevina	Rok					
	2000	2004	2008	2010	2011	2012
	Plocha porostní půdy ha / %					
Buk	154 791	168 212	182 048	189 998	194 257	198 652
	6,0	6,5	7,0	7,3	7,5	7,7

3.5 Houby

Houby se živí absorbováním živin z organického materiálu, na kterém žijí nebo ve kterém žijí (Schultz et al., 2008). Houby (latinsky „*Fungi*“) jsou nejvýznamnějším destruuujícím činitelem dřeva, z hlediska podílu z celkového objemu znehodnoceného dřeva. Různé typy těchto organismů napadají buď jen vrstvy dřeva, nebo rozkládají dřevo v celém objemu. Houby vyvolávají na dřevě jednak barevné změny, jednak některé druhy způsobují rozklad dřeva označovaný jako hniloba. Mezi houby patří i plísně a kvasinky (Svatoň, 2000).

Dřevokazné houby rozkládají dřevo buď ze stromů skácených, dřevo už zpracované nebo mrtvé, nebo rozkládají dřevo stromů ještě rostoucích a napadají je za jejich života. Dělí se na houby saprofytické (získávají živiny enzymatickým rozkladem z mrtvých organických látek) a parazitické (získávají živiny enzymatickým od partnera, se kterým společně žijí). Zcela vyhraněných typů, buď saprofytických, nebo parazitických, je poměrně málo jak mezi houbami celulosovornými, tak mezi lignivornými. Většina jich přechází z parazitismu do saprofytismu nebo obráceně, takže nacházíme jeden a týž druh rostoucí jednou na živém stromu, jindy na mrtvém dřevě – saproparasiti (Rypáček, 1957).

Korozivní hniloba – bílá – lignovornými houbami jsou ve dřevě rozkládány alespoň z počátku větší či menší partie a zbytek dřevní hmoty je dočasně neporušený. Dřevo se nakonec stává měkké a drobivé, ztrácí na váze, ale neubývá na objemu. A proto se dřevo kostkovitě netrhá jako u napadení celulosovornými houbami (Rypáček, 1957).

Houby vyžadují vodu nejen v živném médiu, ale též určitou relativní vzdušnou vlhkost. Každý druh žije jen v určitém rozmezí teplot, charakterizovaném důležitými bod minima, optima a maxima. Pro houby je velmi důležité optimální pH. Optimální acidita, ke které houba reaguje, se pohybuje v rozmezí od pH 4,2 do pH 5,5 (Rypáček, 1957). Svatoň (2000) udává, že pro houby je optimem slabě kyselé prostředí pH = 5–6,5.

Činnost lignivorních hub je možné do jisté míry srovnat s působením kyselých alkoholických roztoků na dřevo. Enzymy oxydasového typu produkované houbou působí především na lignin a oxidují ho v látky kyselého povahy (Thompson, 1991), které snad ve větším množství mohou i spolupůsobit při dalším rozkladu dřeva (Rypáček, 1957).

3.5.1 Otkovka pestrá (*Trametes versicolor* L.)

Houba bílé hniloby, která se vyskytuje převážně na mrtvém listnatém dřevě. Podhoubí této houby je značně citlivé na toxický účinek tříslovin. Je velmi odolná proti nedostatku vlhkosti i nepříznivé teplotě. Její optimální teploty jsou 26–29 °C, mezní teplota 5 až 38 °C, nejlépe roste při vlhkosti 40–50 %. Rozklad dřeva patří mezi bílou hnilobu. Dřevo je zpočátku tvrdé a křehké, v pozdějším stádiu bílé, měkké a rozpadající se podél dřevných paprsků (Svatoň, 2000).

Otkovka je saproparazitická houba může se vyskytovat jak ve volné přírodě (méně často), tak na skladech řeziva, ale i v místnostech. Žije v mrtvém dřevě, příležitostně také jako parazit na poraněných nebo oslabených dřevinách. Napadá hlavně běl, která je v kontaktu se zemí (Voroncov a Červinková, 1986).

Rozšiřuje se přenosem mycelia, výtrusy, její klíčivost je až 3 měsíce. Dobře odolává suchu, její vývoj může být brzděn koncentracemi taninu. Proto jádro dubu je velmi odolné (Vorocov a Červinková, 1986).

Napadá hlavně listnaté dřeviny, méně často jehličnaté. Infekce proniká a šíří se různými zraněními. Ohrožené je dřevo ve vlhkých nevětraných místnostech, často zahradní konstrukce (Baier a Týn, 1996).



Obr. 4: Otkovka pestrá (zdroj www.naturfoto.cz)

4 MATERIÁL A METODIKA

4.1 Materiál

Tropická dřeva mají díky vyššímu obsahu extraktivních látek obvykle vyšší odolnost vůči biotickým a abiotickým činitelům. Pro výrobu extraktu byla použita dvě tropická dřeva: merbau (*Insia bijunga* O. Ktze.) a jatoba (*Hymenaea courbaril* L.). Pro přípravu extraktů bylo dřevo rozštípáno na třísky a poté byly tyto třísky rozemlety na dřevní prach.

Na rozdíl od těchto tropických dřev je dřevo buku (*Fagus sylvatica* L.) méně odolné vůči biotickým a abiotickým činitelům. Buk byl použit pro výrobu vzorků určených pro impregnaci a následný test trvanlivosti. Bukové vzorky pro zkoušku trvanlivosti měly rozměry 30×5×10 mm (D×Š×V) podle Braveryho (1979). Kromě vzorků určených k impregnaci byly také vyrobeny kontrolní (referenční) vzorky. Všechny vzorky byly označeny pro pozdější identifikaci a poté sušeny při teplotě 103 °C ± 2 °C. Po vysušení byly vzorky zváženy při nulové vlhkosti dřeva.

4.2 Metodika

4.2.1 Extrakce přístrojem FexIKA

Dřevní prach byl navážen do filtračních pytlíků. Navážka byla 10 gramů s přesností jedné setiny gramu. Do baňky bylo odměřeno 150 ml rozpouštědla – roztok vody a metanolu v poměru 1 : 1. Byla vpuštěna voda do chladičů a zapnut program na přístroji FexIKA (IKA*RET control/t). Po ukončení programu, při kterém došlo k částečnému odpaření rozpouštědla, byl extrakt doplněn zpět na 150 ml.

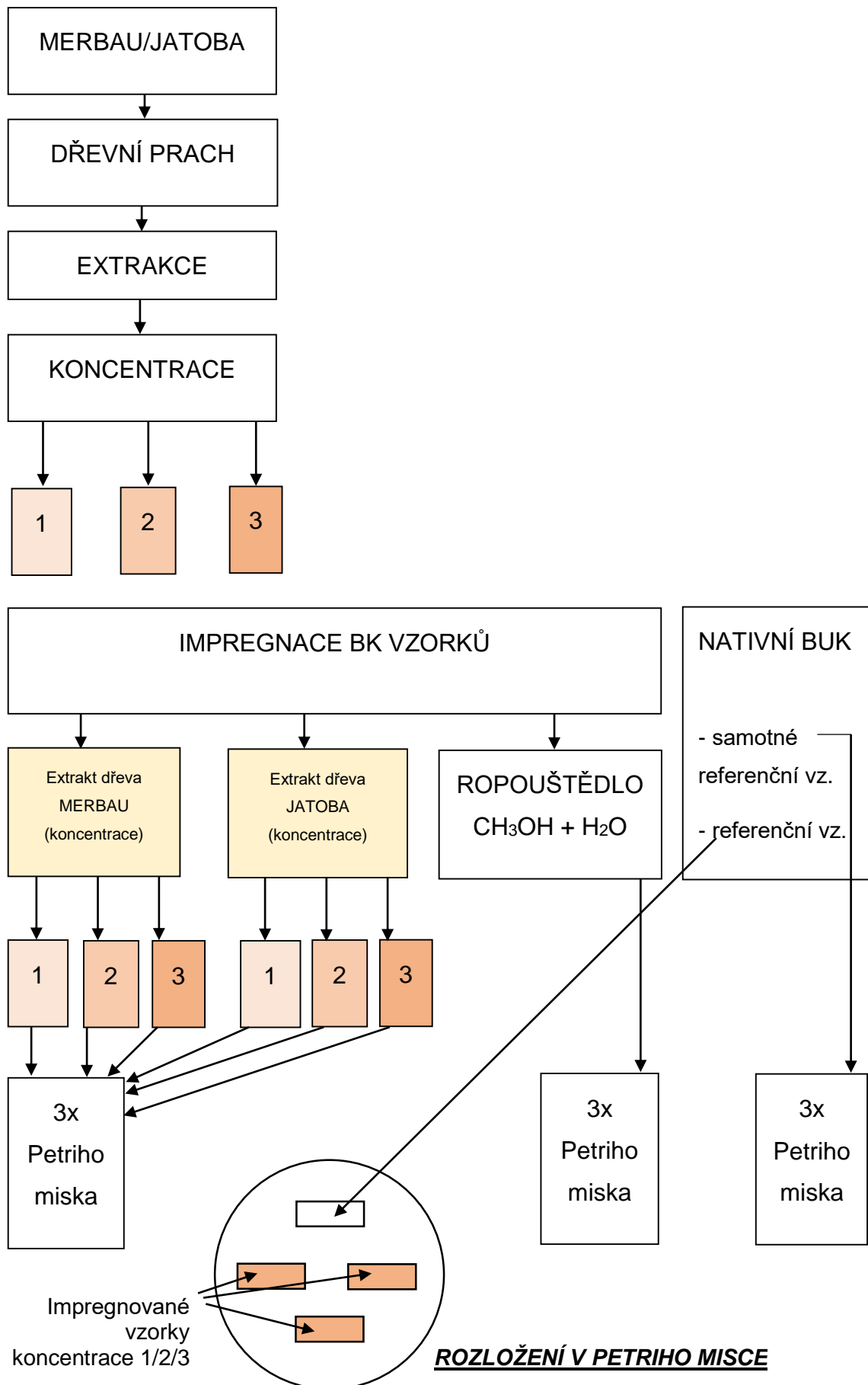
4.2.2 Koncentrace

Od každého extraktu byl ponechán vzorek 1 o původní koncentraci. Extrakty byly následně odpařovány v baňce, za pomoci odparky (RVO 400). Odpařování probíhalo při teplotě 70 °C a rotaci 10 otáček/minutu. Vzorek s označením 2 byl zkoncentrován z 200 ml na 40 ml. Vzorek s označením 3 byl zkoncentrován z 200 ml na 20 ml.

Tab. 6: Koncentrace vzorků

	Koncentrace		
	1	2	3
Původní extrakt	200 ml	200 ml	200 ml
Výsledný extrakt	200 ml	40 ml	20 ml

4.2.2.1 Schéma experimentu



4.2.3 Zjištění obsahu extraktivních látek v impregnaci

Erlenmeyerovy baňky byly zváženy s přesností na 4 desetinná místa. Do baněk bylo odměřeno 75 ml extraktu. Baňky i s obsahem byly opět zváženy. Baňky byly vloženy do sušárny. Baňky byly sušeny při teplotě $103\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$ tak dlouho, než došlo k úplnému odpaření rozpouštědla. Baňky byly po zchladnutí v exikátoru zváženy. Kompletní hmotnost baněk po vysušení byla odečtena z hmotnosti zjištěné na počátku analýzy. Byla porovnána hmotnost před a po vysušení. Zjištěný rozdíl hodnot byl převeden na procentuální podíl sušiny ve vzorku.

Výpočet extraktivních látek v impregnaci (MS – hmotnost sušiny):

$$MS = \frac{m_c - m_m}{m_n / 100} [\%]$$

kde: m_c – je hmotnost celku (baňky i extraktu) po vytažení ze sušárny, m_m – je hmotnost baňky, m_n – je hmotnost navážky dřevního prachu

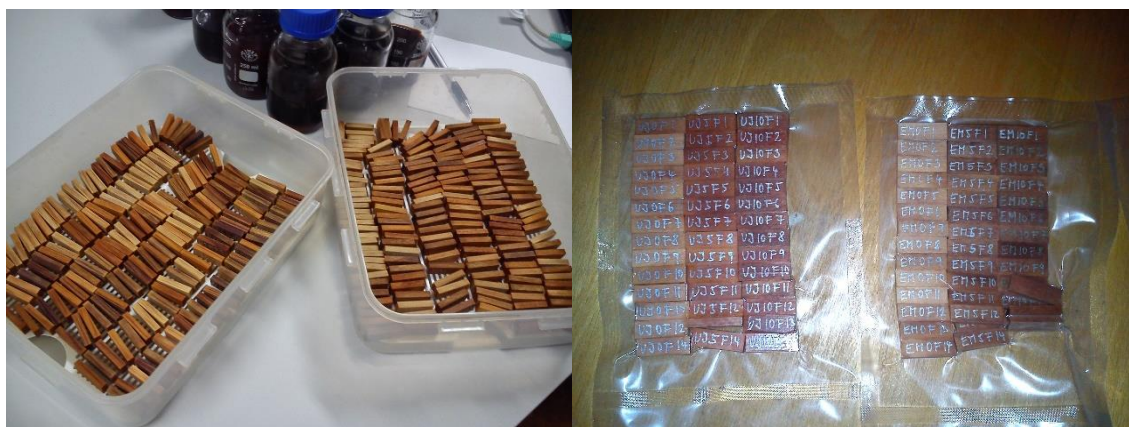


Obr. 5: Chlazení baněk v exsikátoru

4.2.4 Impregnace a sterilizace vzorků

Vzorky buku byly impregnovány podtlakem dle normy ČSN EN 113. Vzorky byly vloženy do kádinky, která obsahovala příslušný extrakt a kádinka do exsikátoru. Poté byla připojena vývěva na 20 minut. Vzorky byly v extraktu ponechány 2 hodiny. Po vyjmutí z extraktu byly všechny vzorky znovu zváženy.

Vzorky byly rozděleny podle koncentrace a vakuově zabaleny do fólie. Takto zajištěny byly odeslány na sterilizaci gama zářením (28 kGy).



Obr. 6: Vlevo vzorky po impregnaci, vpravo vakuově zabalené vzorky určené ke sterilizaci

4.2.5 Zjištění přirozené trvanlivosti buku impregnovaného extraktivními látkami

Rychlý test přirozené trvanlivosti buku byl proveden na základě Sablík et al. (2015). Před začátkem testu byla celá pracovní plocha digestoře umyta a dezinfikována etanolem a UV zářením kvůli případné kontaminaci sterilizovaných Petriho misek, nástrojů a sterilizovaných vzorků.

4.2.5.1 Živná půda

Jako živné médium pro dřevokaznou houbu byl použit Malt extrakt agar Base m 137. Bylo použito 32,5 g agaru na 650 ml vody. Tato směs byla v baňce sterilizována v autoklávu při teplotě 115 °C po dobu 10 minut. Odměrný válec a očkovací jehla byly také vloženy do autoklávu kvůli sterilizaci.



Obr. 7: Vlevo misky s agarem a kouskem mycelia, vpravo misky po týdnu již celé porostlé myceliem

4.2.5.2 Očkování houbové kultury

Do digestoře byly připraveny sterilizované Petriho misky, sterilizovaný válec, očkovací jehla, baňka s agarem a narostlé mycelium outkovky pestré. Do každé Petriho misky bylo vlit 15 ml agaru. Miska s agarem byla ponechána 5 minut pootevřena kvůli zchladnutí a zatuhnutí agaru. Do misky byla vložena část mycelia outkovky pestré. Miska byla utěsněna gelovou páskou. Následně byly misky vloženy na týden do inkubátoru. V inkubátoru byly trvale udržovány podmínky 22 °C a 65 % vzdušné vlhkosti.

4.2.5.3 Zkouška přirozené trvanlivosti buku impregnovaného extraktivními látkami

Po týdnu bylo celé živné médium porostlé myceliem. Misky byly vloženy do digestoře. Bylo použito 18 misek pro oba extrakty, 3 misky pro rozpouštědlo a 3 misky pro samotné referenční vzorky. Do každé misky byla vložena sterilizovaná kovová mřížka. Na kovovou mřížku byly vloženy 4 vzorky. 3 ze vzorků byly impregnované a jeden referenční – neimpregnovaný. Miska byla opět uzavřena a utěsněna gelovou páskou. Číslo každého vzorku bylo opsáno nahoru na misku pro případ možné ztráty identifikace vlivem houby. Všechny misky byly vloženy zpět do inkubátoru s teplotou 22 °C a 65 % vzdušné vlhkosti. Do inkubátoru byly také vloženy misky se vzorky pro korekci (jen impregnované a nativní vzorky buku bez živné půdy a houby). Misky byly ponechány 8 týdnů v inkubátoru na testu trvanlivosti extraktivních látek.

Po 8 týdnech testu trvanlivosti extraktivních látek, byly vzorky vyjmuty z Petriho misek, očištěny a byla zjišťována jejich vlhkost vážením. Poté byl zjišťován hmotnostní úbytek hmoty vysušením při teplotě 103 °C ± 2 °C a opětovným zvážením.

4.2.6 Stanovení vlhkosti dřeva

Vlhkost dřeva se udává jako množství vody, které se nachází ve dřevě. Vyjadřuje se poměrem hmotnosti vody k hmotnosti absolutně suchého dřeva, pokud mluvíme o absolutní vlhkosti. Pokud ale vlhkost dřeva vyjadřujeme poměrem hmotnosti vody a hmotnosti mokrého dřeva, tak hovoříme o relativní vlhkosti dřeva. Oba dva typy vlhkosti se nejčastěji udávají v procentech (Požgaj et al., 1997).

Výpočet vlhkosti (MC – calculation of moisture):

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

kde: m_w – je hmotnost dřeva při vlhkosti w , m_0 – je hmotnost v absolutně suchém stavu

4.2.7 Stanovení hmotnostního úbytku

Přirozená trvanlivost je vyhodnocena na základě hmotnostních úbytků vzorků. Je nutné znát hmotnost při nulové vlhkosti jak před provedením zkoušky, tak po jejím provedení.

Výpočet hmotnostního úbytku (ML – loss in mass):

$$ML = \left(\frac{m_0 - m_3}{m_0 * 100} \right) - CC [\%]$$

kde: m_0 – je hmotnost vzorku v absolutně suchém stavu, před impregnací, m_3 – nulová hmotnost vzorku po testování, CC – průměr vzorků pro korekci (Samples for correction)

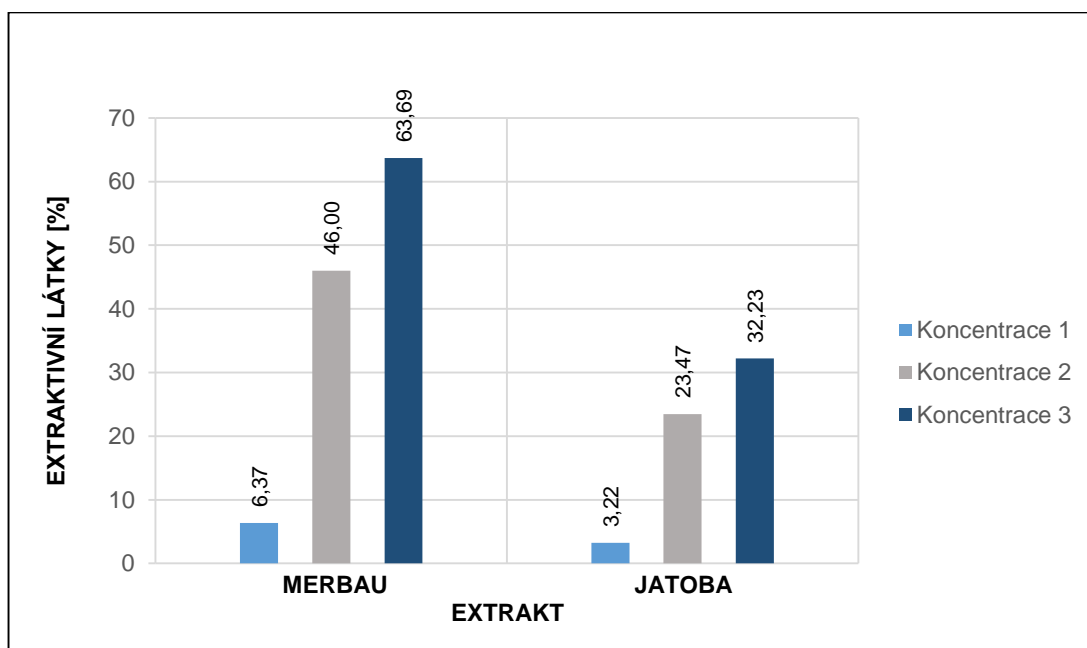
5 VÝSLEDKY

5.1 Obsah extraktivních látek

Ze získaných extraktivních látek byly vytvořeny tři koncentrace. Obsah extraktivních látek získaných zrychlenou voda–metanol extrakcí byl v průměru 6,37 % u dřeva merbau u koncentrace 1 a 3,22 % u dřeva jatoba u koncentrace 1. Nejvyšší obsah extraktivních látek je u dřeva merbau u koncentrace 3 – 63,69 % (viz tab. 7). S rostoucí koncentrací roste i obsah extraktivních látek. Hodnoty extraktivních látek dřeva merbau jsou téměř dvojnásobné oproti dřevu jatoba (viz obr. 8).

Tab. 7: Procentuální obsah extraktivních látek dřev merbau a jatoba ve 200 ml impregnačním roztoku

Extrakt	Koncentrace		
	1	2	3
Merbau	6,37	46,00	63,69
Jatoba	3,22	23,47	32,23



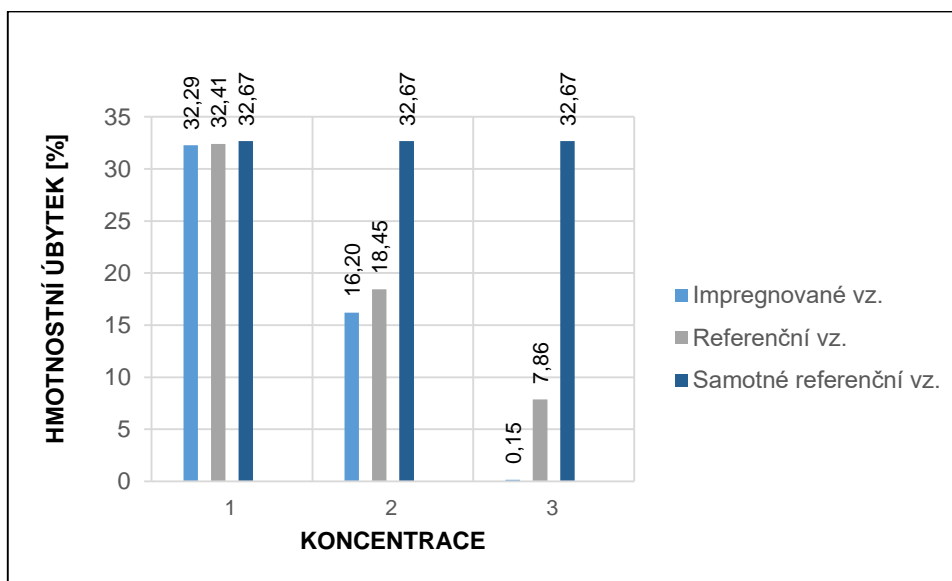
Obr. 8: Srovnání obsahu extraktivních látek v extraktu tří koncentrací dřeva merbau a jatoba

5.2 Hmotnostní úbytky vzorků impregnovaných extraktivními látkami dřeva Merbau

Hmotnostní úbytky po 8 týdnech u vzorků impregnovaných koncentrací 1 (nejméně koncentrované) jsou 32,29 %, naproti tomu vzorky impregnované koncentrací 3 (nejvíce koncentrované) vykazují hmotnostní úbytky 0,15 %. Jejich referenční vzorky vykazují hmotnostní úbytky 32,41 % a 7,86 %. Přičemž referenční vzorky u koncentrace 3 vykazují vysokou směrodatnou odchylku 10,47 a referenční vzorky koncentrace 2 vykazují směrodatnou odchylku 24,16. Samotné referenční vzorky vykazují průměrný hmotnostní úbytek 32,67 % a směrodatnou odchylku 3,61 (viz tab. 8). Hmotnostní úbytky impregnovaných vzorků buku vykazují sestupný trend se zvyšující se koncentrací extraktivních látek v extraktu (viz obr. 9).

Tab. 8: Průměrný hmotnostní úbytek vzorků buku impregnovaného extraktivními látkami dřeva merbau (hodnoty jsou uváděny v %).

Koncentrace	Impregnované vzorky		Referenční vzorky		Nativní buk	
	Průměr	Směrodatná odchylka	Průměr	Směrodatná odchylka	Průměr	Směrodatná odchylka
1	32,29	9,80	32,41	13,41	32,67	3,61
2	16,20	2,37	18,45	24,16		
3	0,15	0,30	7,86	10,47		

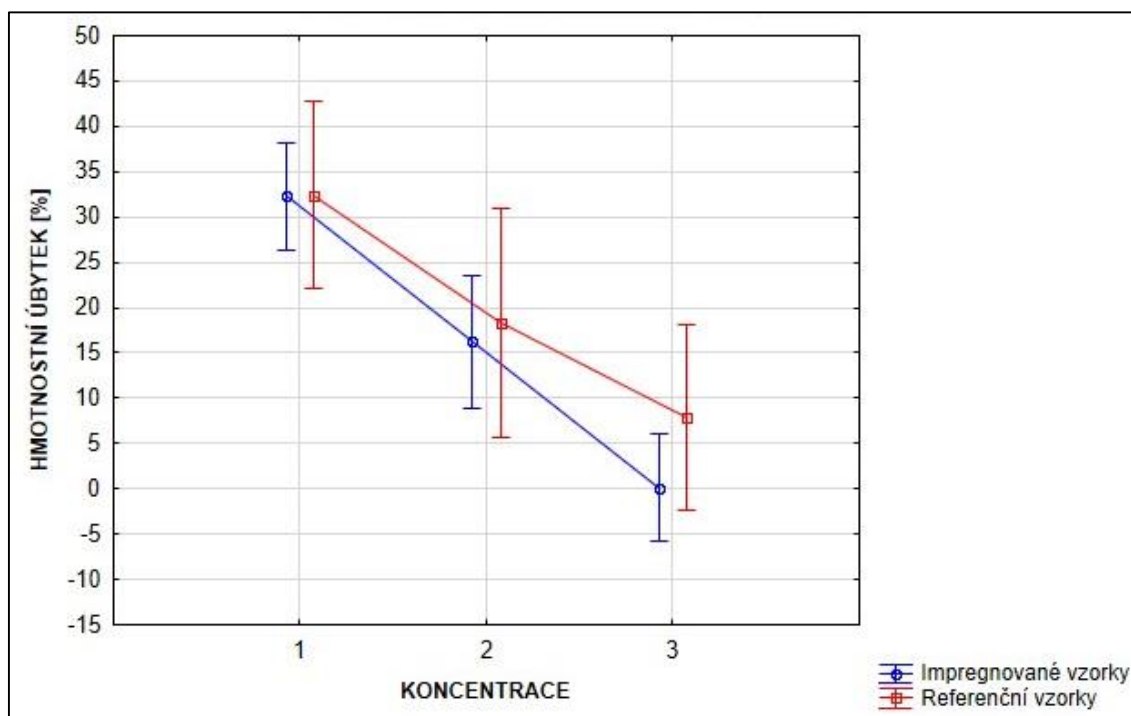


Obr. 9: Srovnání hmotnostních úbytků vzorků impregnovaných extraktivními látkami dřeva merbau, jejich referenčních vzorků a samotných referenčních vzorků

Šetřením pomocí dvoufaktorové ANOVY bylo zjištěno, že pouze faktor B (koncentrace) vykazuje statisticky významný rozdíl (viz tab. 9). Použitím Tuckeyho testu vícenásobného porovnání bylo zjištěno následující: Vždy je alespoň jeden statisticky významný rozdíl mezi sledovanými vzorky. Vzorky referenční se liší mezi první a třetí koncentrací (viz tab. 10).

Tab. 9: Jednorozměrný test významnosti pro vzorky impregnované extraktivními látkami dřeva merbau

Efekt	SČ	Stupně volnosti	PČ	F	p
Abs. Člen	7401,78	1	7401,78	97,93	0,000000
Faktor A – vzorky	64,34	1	64,34	0,85	0,364686
Faktor B – Koncentrace	3619,16	2	1809,58	23,94	0,000001
Faktor A*Faktor B	68,35	2	34,17	0,45	0,641168
Chyba	1965,06	26	75,58		

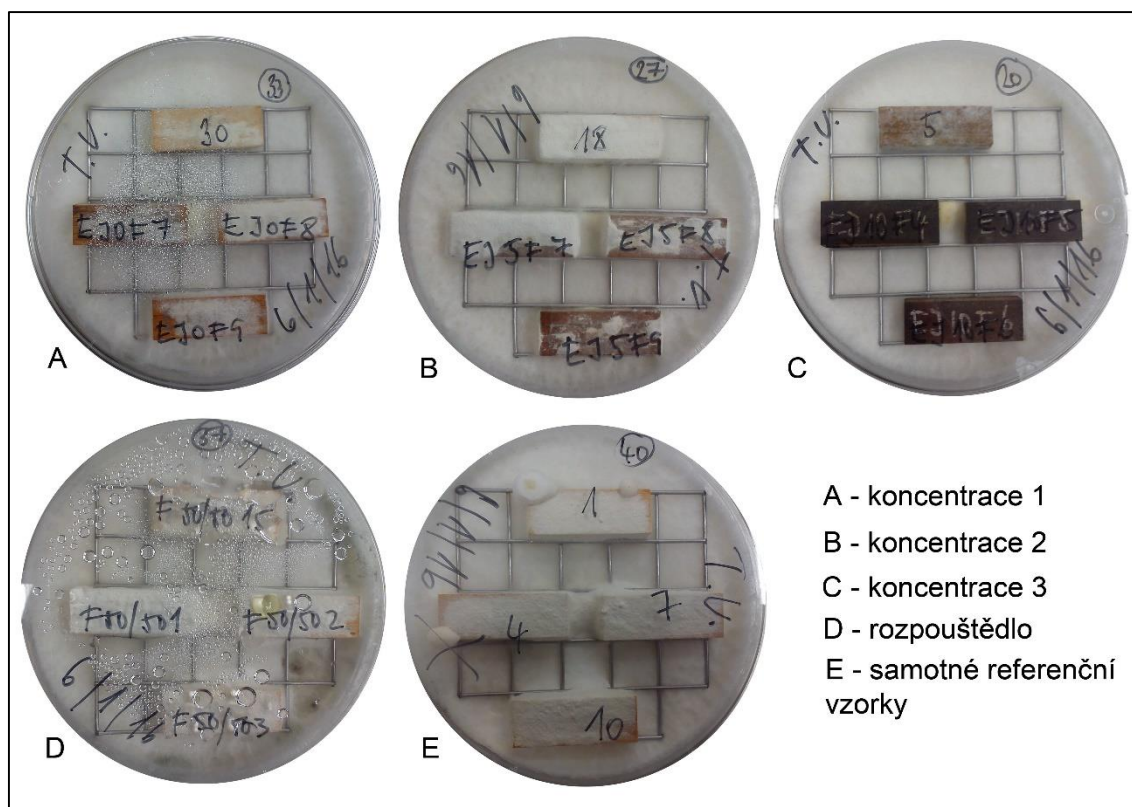


Obr. 10: Grafické vyjádření analýzy rozptylů (ANOVA) – vzorky impregnované extraktivními látkami dřeva merbau a jejich referenční vzorky

Tab. 10: Vyhodnocení Tuckeyho testu vícenásobného porovnání ($p < 0,05$ statisticky významný rozdíl, $p > 0,05$ bez statisticky významného rozdílu)

Vzorky	Koncentrace	1	2	3	1	2	3
Impregnované vz.	1		0,03727	0,00013	1,00000	0,60552	0,02169
Impregnované vz.	2	0,03727		0,03785	0,23679	0,99986	0,84447
Impregnované vz.	3	0,00013	0,03785		0,00151	0,31971	0,88231
Referenční vz.	1	1,00000	0,23679	0,00151		0,59728	0,02088
Referenční vz.	2	0,60552	0,99986	0,31971	0,59728		0,82825
Referenční vz.	3	0,02169	0,84447	0,88231	0,02088	0,82825	

Na Petriho miskách po 8 týdnech testování můžeme vidět, že vzorky které byly impregnovány extraktem o s koncentraci 3, jsou téměř bez napadení. U koncentrací 1 a 2 je vidět větší působení dřevokazné houby, a to především u referenčních vzorků (vzorky umístěné v misce nahoře). Vzorky impregnované rozpouštědlem ($\text{CH}_3\text{OH} + \text{H}_2\text{O}$ v poměru 1:1) a samotné referenční vzorky jsou více napadené (viz obr. 11).



Obr. 11: Srovnání vzhledu Petriho misek po 8 týdnech testování

Z tabulky 11 je patrné, že u vzorků, které byly impregnované vyššími koncentracemi extraktivních látek, se dosáhlo vyšších tříd trvanlivosti dřeva vůči dřevokazným houbám. Vzorky impregnované koncentrací 3 vykazují minimální hmotnostní úbytky, a jsou tedy zařazeny do 1. třídy trvanlivosti, přičemž 77,78 % vzorků vykazuje hmotnostní úbytek 0 %.

Tab. 11: Zařazení bukových vzorků impregnovaných extraktivními látkami dřeva merbau do tříd trvanlivosti proti dřevokazným houbám

Koncentrace	Třída trvanlivosti	
	Impregnované vzorky	Samotné referenční vzorky
1	5	5
2	4	
3	1	

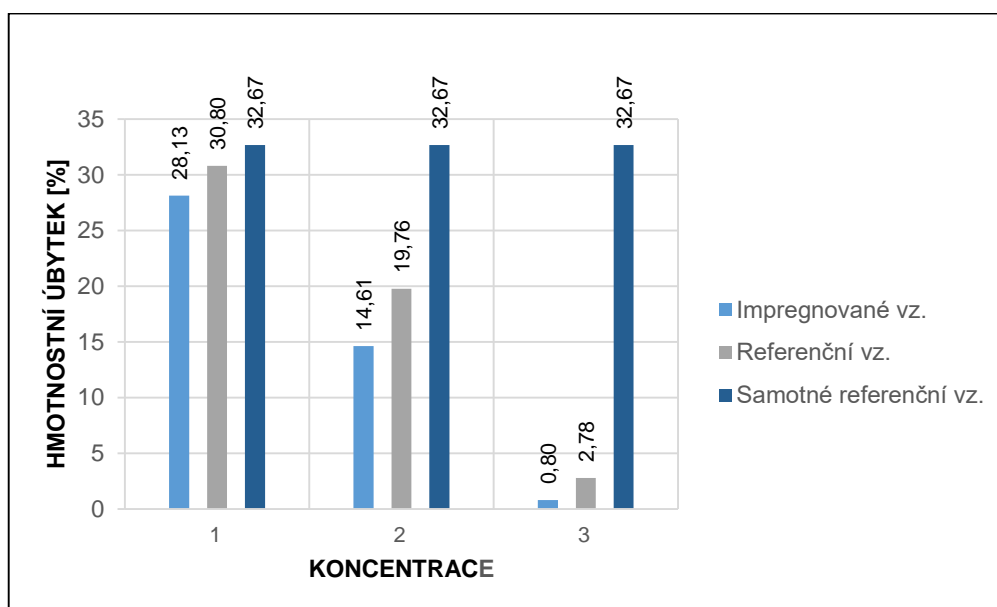
Podle normy, ČSN EN 113 – Ochranné prostředky na dřevo – Zkušební metody pro stanovení ochranné účinnosti proti dřevokazným houbám Basidiomycetes – Stanovení hranice účinnosti vychází, že pouze vzorky buku impregnované extraktem o koncentraci 3 vykazují dostatečnou ochranu dřeva.

5.3 Hmotnostní úbytky vzorků impregnovaných extrakty dřeva Jatoba

Hmotnostní úbytky po 8 týdnech u vzorků impregnovaných koncentrací 1 (nejméně koncentrované) jsou 28,13 %, naproti tomu vzorky impregnované koncentrací 3 (nejvíce koncentrované) vykazují hmotnostní úbytky 0,80 %. Jejich referenční vzorky vykazují hmotnostní úbytky 30,80 % a 2,78 %. Referenční vzorky vykazují vysokou směrodatnou odchylku u koncentrace 2 (25,20). Samotné referenční vzorky mají průměrný hmotnostní úbytek 32,67 % a směrodatnou odchylku 3,61 (viz tab. 12). Hmotnostní úbytky impregnovaných vzorků buku vykazují sestupný trend se zvyšující se koncentrací extraktivních látek v extraktu (viz obr. 12).

Tab. 12: Průměrný hmotnostní úbytek vzorků buku impregnovaného extraktivními látkami dřeva jatoba (hodnoty jsou uváděny v %).

Koncentrace	Impregnované vzorky		Referenční vzorky		Nativní buk	
	Průměr	Směrodatná odchylka	Průměr	Směrodatná odchylka	Průměr	Směrodatná odchylka
1	28,13	8,71	30,80	2,26	32,67	3,61
2	14,61	6,02	19,76	25,20		
3	0,80	0,46	2,78	3,81		

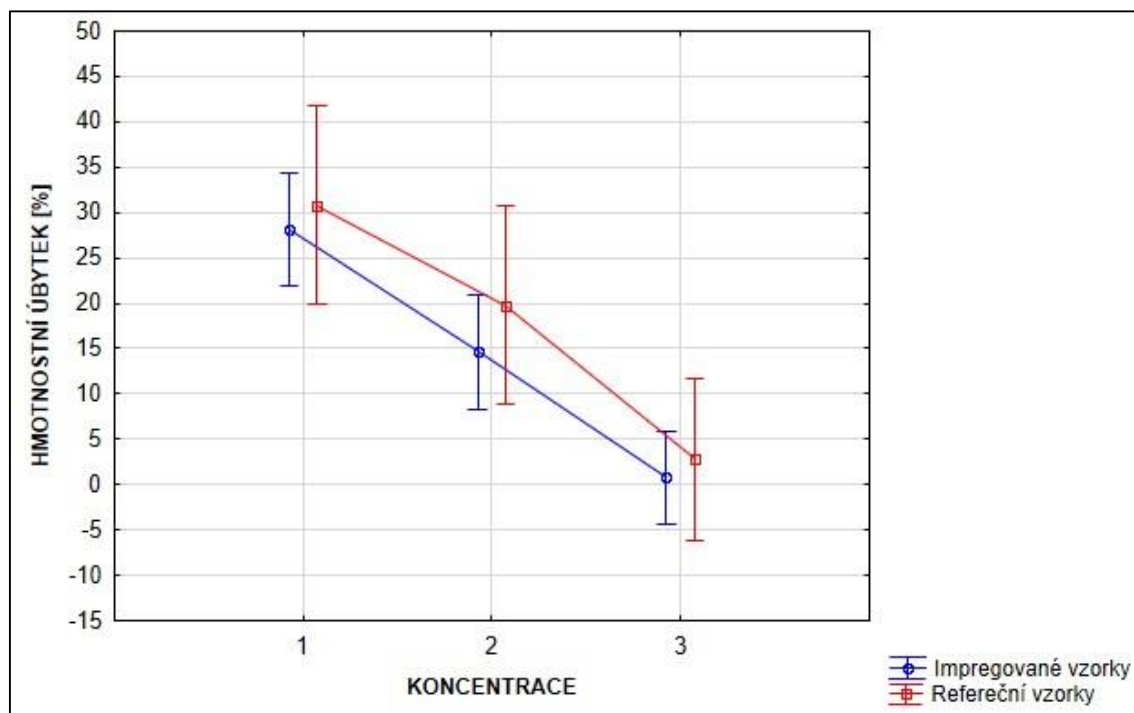


Obr. 12: Srovnání hmotnostních úbytků vzorků impregnovaných extraktivními látkami dřeva jatoba, jejich referenčních vzorků a samotných referenčních vzorků

Šetřením pomocí dvoufaktorové ANOVY bylo zjištěno, že pouze faktor B (koncentrace) vykazuje statisticky významný rozdíl (viz tab. 13). Použitím Tuckeyho testu vícenásobného porovnání bylo zjištěno následující: Vždy je alespoň jeden významný rozdíl mezi sledovanými parametry. Impregnované vzorky se navzájem mezi sebou liší. Vzorky referenční se liší mezi první a třetí koncentrací (viz tab. 14).

Tab. 13: Jednorozměrný test významnosti pro vzorky impregnované extraktivními látkami dřeva jatoba

Efekt	SČ	Stupně volnosti	PČ	F	p
Abs. Člen	5279,415	1	5279,415	95,07062	0,000000
Faktor A – vzorky	53,992	1	53,992	0,97227	0,334835
Faktor B – Koncentrace	2836,597	2	1418,298	25,54043	0,000002
Faktor A*Faktor B	9,410	2	4,705	0,08472	0,919065
Chyba	1221,693	22	55,532		

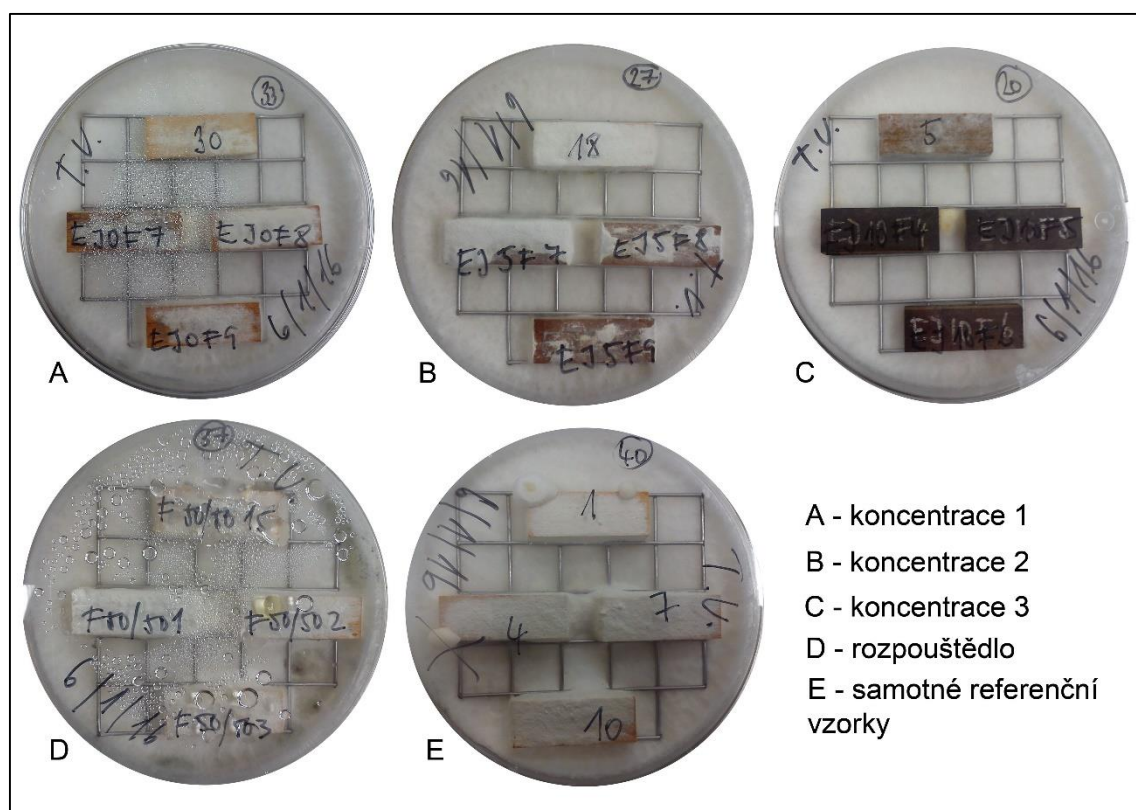


Obr. 13: Grafické vyjádření analýzy rozptylů (ANOVA) – vzorky impregnované extraktivními látkami dřeva jatoba a jejich referenční vzorky

Tab. 14: Vyhodnocení Tuckeyho testu vícenásobného porovnání ($p < 0,05$ statisticky významný rozdíl, $p > 0,05$ bez statisticky významného rozdílu)

Vzorky	Koncentrace	1	2	3	1	2	3
Impregnované vz.	1		0,04722	0,00016	0,99917	0,86650	0,00482
Impregnované vz.	2	0,04722		0,04106	0,28964	0,98110	0,40414
Impregnované vz.	3	0,00016	0,04106		0,00666	0,15434	0,99947
Referenční vz.	1	0,99917	0,28964	0,00666		0,67934	0,01220
Referenční vz.	2	0,86650	0,98110	0,15434	0,67934		0,24460
Referenční vz.	3	0,00482	0,40414	0,99947	0,01220	0,24460	

Na Petriho miskách po 8 týdnech testování můžeme vidět, že vzorky s koncentrací 3 jsou téměř bez napadení. U koncentrací 1 a 2 je vidět větší působení dřevokazné houby, ale především na horním (referenčním) vzorku. Vzorky impregnované rozpouštědlem ($\text{CH}_3\text{OH} + \text{H}_2\text{O}$ v poměru 1:1) a samotné referenční vzorky jsou více napadené (viz obr. 14).



Obr. 14: Srovnání vzhledu Petriho misek po 8 týdnech testování

Z tabulky 15 je patrné, že u vzorků které byly impregnované vyššími koncentrace extraktivních látek, se dosáhlo vyšších tříd trvanlivosti dřeva vůči dřevokazným houbám. Vzorky impregnované koncentrací 3 mají velmi nízké hmotnostní úbytky a jsou tedy zařazeny do 2. třídy trvanlivosti.

Tab. 15: Zařazení bukových vzorků impregnovaných extraktivními látkami dřeva jatoba do tříd trvanlivosti proti dřevokazným houbám

Koncentrace	Třída trvanlivosti	
	Impregnované vzorky	Samotné referenční vzorky
1	5	5
2	4	
3	2	

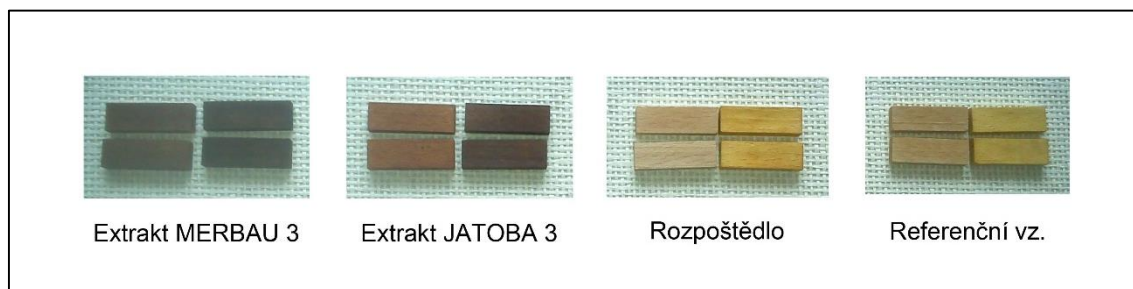
Podle normy, ČSN EN 113 – Ochranné prostředky na dřevo – Zkušební metody pro stanovení ochranné účinnosti proti dřevokazným houbám Basidiomycetes – Stanovení hranice účinnosti vychází, že pouze vzorky buku impregnované extraktem o koncentraci 3 vykazují dostatečnou ochranu dřeva.

5.4 Srovnání trvanlivosti dřeva (nativního) buku a impregnovaného buku

V této kapitole budeme porovnávat účinnost extraktu se vzorky impregnovanými rozpouštědlem ($\text{CH}_3\text{OH} + \text{H}_2\text{O}$ v poměru 1:1) a samotnými referenčními vzorky (nativního) buku, abychom předešli možnosti, že rozpouštědlo je tou složkou extraktu, která dřevo chrání. Vzhledem k tomu, že předchozí výsledky impregnovaných vzorků extraktem o koncentraci 1 a 2 nevykazují velkou rozdílnost od neimpregnovaných vzorků, byly v tomto srovnání použity jen výsledky impregnovaných vzorků extraktem o koncentraci 3. Vzorky impregnované extraktem o koncentraci 3 mají nízké hmotnostní úbytky 0,15–0,80 %. A také mají nízkou směrodatnou odchylku do 0,46 (viz tab. 16).

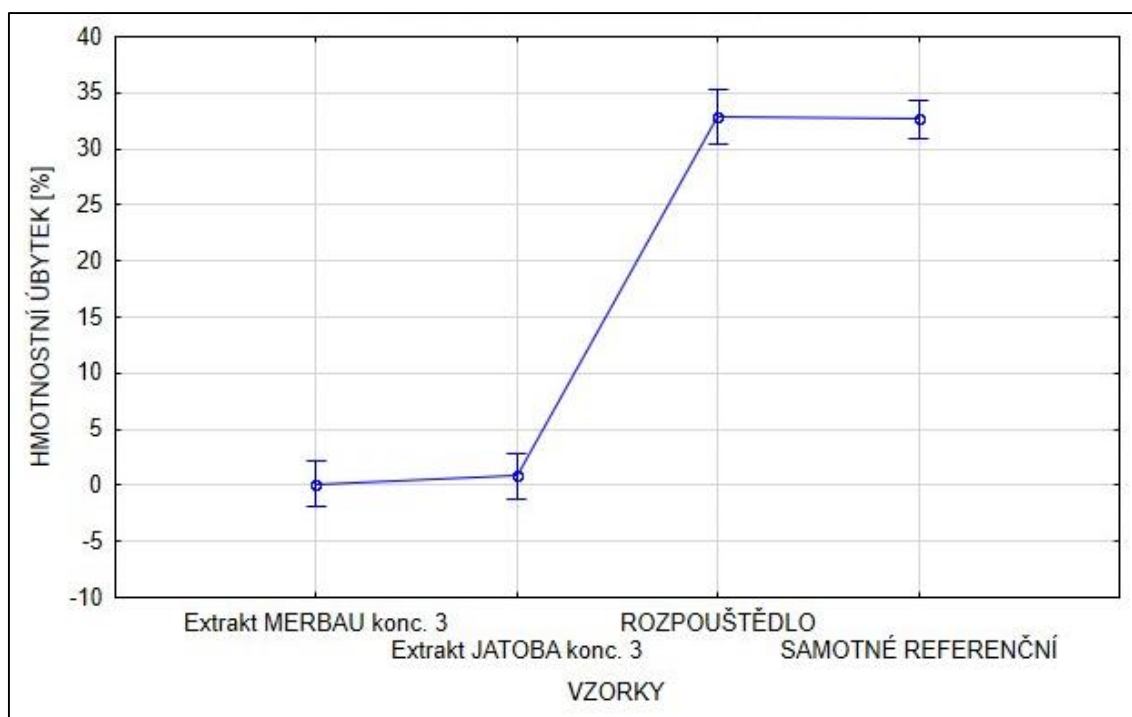
Tab. 16: Průměrný hmotnostní úbytek vzorků buku impregnovaného extraktem dřeva merbau a jatoba o koncentraci 3, rozpouštědlem a samotných referenčních vzorků buku (hodnoty jsou uváděny v %).

Extrakt MERBAU 3		Extrakt JATOBA 3		Rozpouštědlo $\text{CH}_3\text{OH} + \text{H}_2\text{O}$		Samotné referenční vzorky	
Průměr	Směrodatná odchylka	Průměr	Směrodatná odchylka	Průměr	Směrodatná odchylka	Průměr	Směrodatná odchylka
0,15	0,30	0,80	0,46	32,89	5,03	32,67	3,61



Obr. 15: Vzhled vzorků před testem trvanlivosti (vlevo) a po 8 týdnech testu trvanlivosti (vpravo)

Šetřením pomocí jednofaktorové ANOVY bylo zjištěno, že segmenty impregnovaných vzorků extraktem dřeva merbau a jatoba se překrývají, není tedy mezi nimi statisticky významný rozdíl, stejně tak segmenty vzorků impregnovaných rozpouštědlem ($\text{CH}_3\text{OH} + \text{H}_2\text{O}$ v poměru 1:1) a samotných referenčních vzorků se překrývají. Mezi těmito dvěma skupinami je statisticky významný rozdíl (viz obr. 16).



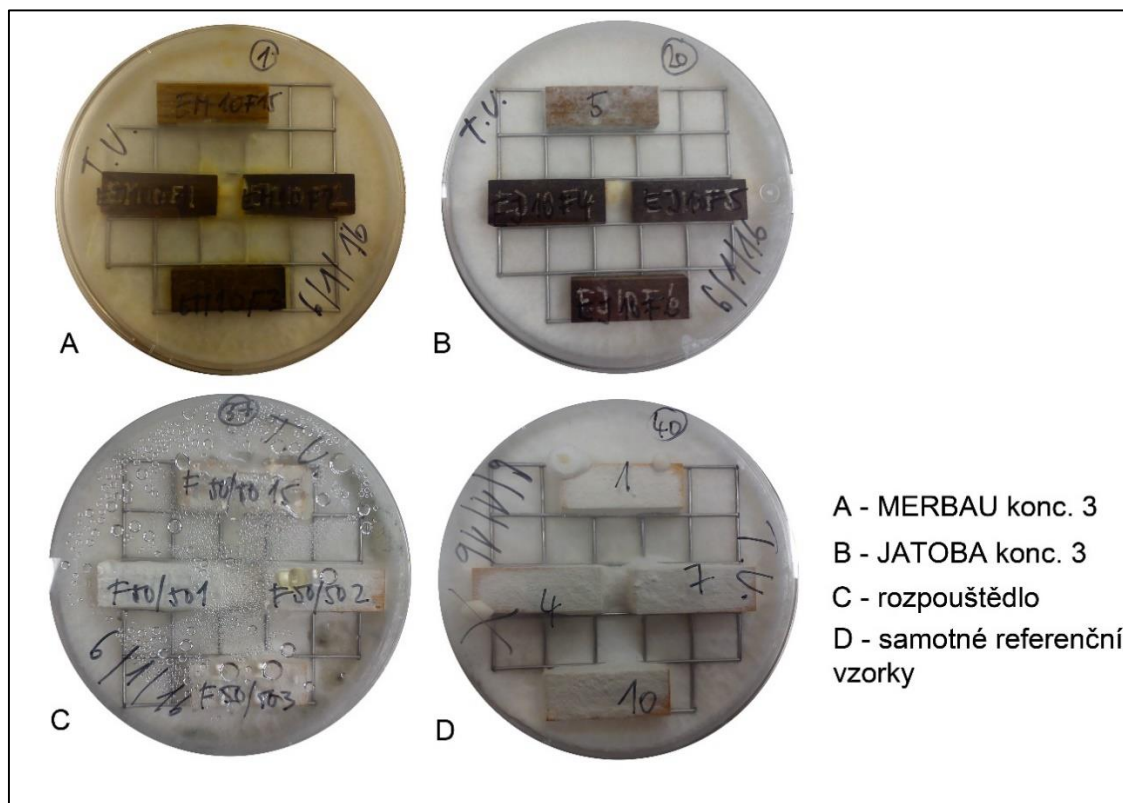
Obr. 16: Grafické vyjádření analýzy rozptylů (ANOVA) – vzorky impregnované extrakty o koncentraci 3, rozpouštědlem a samotné referenční vzorky

Použitím Tuckeyho testu vícenásobného porovnání bylo zjištěno následující: Impregnované vzorky extraktivními látkami merbau – koncentrace 3 se neliší od vzorků impregnovaných extraktivními látkami jatoba – koncentrace 3, ale liší od vzorků impregnovaných rozpouštědlem ($\text{CH}_3\text{OH} + \text{H}_2\text{O}$ v poměru 1:1) a samotných referenčních vzorků. Stejně tak vzorky impregnované extraktivními látkami jatoba. Vzorky impregnované rozpouštědlem se neliší od samotných referenčních vzorků, ale od impregnovaných vzorků (viz tab. 17).

Tab. 17: Vyhodnocení Tuckeyho testu vícenásobného porovnání ($p < 0,05$ statisticky významný rozdíl, $p > 0,05$ bez statisticky významného rozdílu)

	Vzorky	1	2	3	4
1	Extrakt MERBAU konc. 3		0,964324	0,000165	0,000165
2	Extrakt JATOBA konc. 3	0,964324		0,000165	0,000165
3	Rozpouštědlo	0,000165	0,000165		0,999287
4	Samotné referenční	0,000165	0,000165	0,999287	

Na Petriho miskách po 8 týdních testování můžeme vidět, že vzorky impregnované koncentrací 3 (extrakt ze dřeva merbau i jatoba) jsou téměř bez napadení. Oproti tomu jsou vzorky impregnované rozpouštědlem (CH₃OH + H₂O v poměru 1:1) a samotné referenční vzorky celé pokryté myceliem houby (viz obr. 17).



Obr. 17: Srovnání vzhledu Petriho misek po 8 týdních testování

Z tabulky 18 je patrné, že u vzorků, které byly impregnované vyššími koncentracemi extraktivních látek, se dosáhlo vyšších tříd trvanlivosti dřeva. Vzorky impregnované extraktem o koncentraci 3 mají velmi nízké hmotnostní úbytky a jsou tedy zařazeny do třídy trvanlivosti 1 a 2. Vzorky impregnované rozpouštědlem jsou zařazeny do stejné třídy trvanlivosti jako samotné referenční vzorky nativního buku (třída trvanlivosti 5).

Tab. 18: Zařazení bukových vzorků impregnovaných extraktivními látkami dřeva merbau a jatoba koncentrace 3, rozpouštědlem a samotných referenčních vzorků do tříd trvanlivosti proti dřevokazným houbám

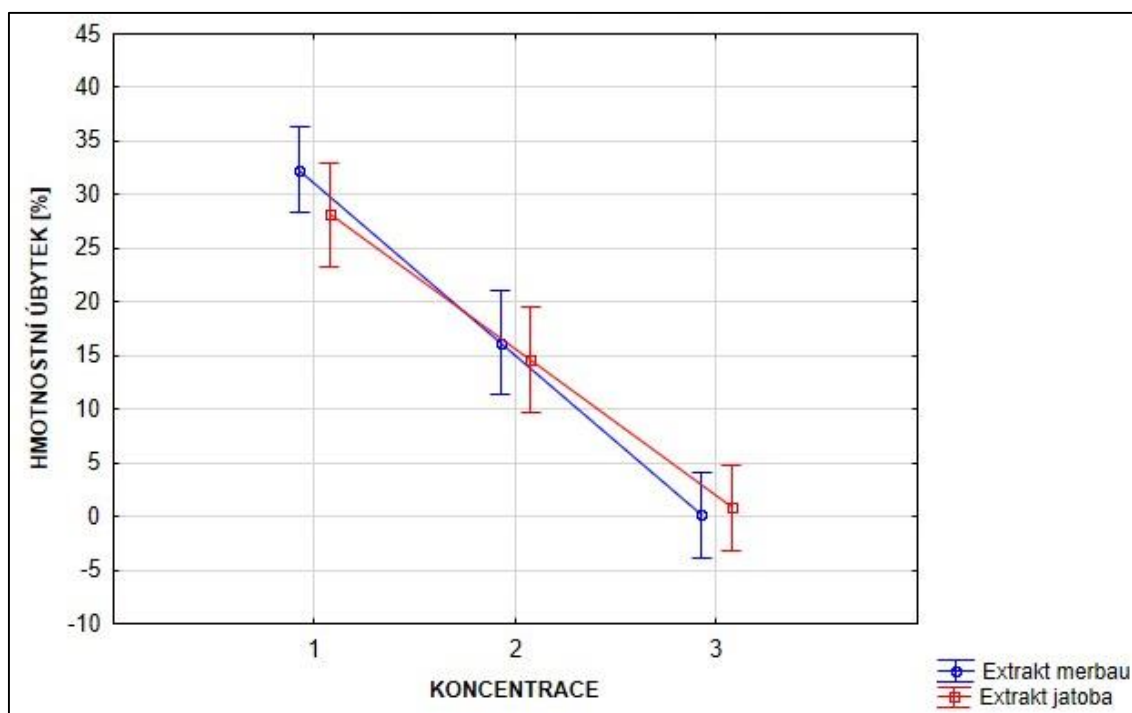
Vzorky	Třída trvanlivosti
Extrakt MERBAU konc. 3	1
Extrakt JATOBA konc. 3	2
Rozpouštědlo	5
Samotné referenční	5

5.5 Srovnání trvanlivosti dřeva buku impregnovaného extraktivními látkami dřeva merbau a jatoba

Šetřením pomocí dvoufaktorové ANOVY bylo zjištěno, že pouze faktor B (koncentrace) vykazuje statisticky významný rozdíl (viz tab. 19). Použitím Tuckeyho testu vícenásobného porovnání bylo zjištěno následující: Impregnované vzorky extraktivními látkami merbau a jatoba o stejné koncentraci se navzájem neliší, ale liší se všemi ostatními (viz tab. 20).

Tab. 19: Jednorozměrný test významnosti pro vzorky impregnované extraktivními látkami dřeva merbau a jatoba

Efekt	SČ	Stupně volnosti	PČ	F	p
Abs. Člen	10198,92	1	10198,92	292,5508	0,000000
Faktor A – Druh dřeva	31,31	1	31,31	0,8982	0,349093
Faktor B – Koncentrace	7100,29	2	3550,15	101,8341	0,000000
Faktor A*Faktor B	46,37	2	23,19	0,6651	0,519963
Chyba	1359,62	39	34,86		



Obr. 18: Grafické vyjádření analýzy rozptylů (ANOVA) – vzorky buku impregnované extraktivními látkami dřeva merbau a jatoba o koncentraci 3

Tab. 20: Vyhodnocení Tuckeyho testu vícenásobného porovnání ($p < 0,05$ statisticky významný rozdíl, $p > 0,05$ bez statisticky významného rozdílu)

Vzorky	Koncentrace	1	2	3	1	2	3
Extrakt merbau	1		0,00054	0,00014	0,82396	0,00022	0,00014
Extrakt merbau	2	0,00054		0,00055	0,01412	0,99702	0,00087
Extrakt merbau	3	0,00014	0,00055		0,00014	0,00183	0,99990
Extrakt jatoba	1	0,82396	0,01412	0,00014		0,00392	0,00014
Extrakt jatoba	2	0,00022	0,99702	0,00183	0,00392		0,00311
Extrakt jatoba	3	0,00014	0,00087	0,99990	0,00014	0,00311	

6 DISKUSE

6.1 Obsah extraktivních látek tropických dřev

Doprovodné složky dřeva jsou látky různé chemické povahy, které se ve dřevě vyskytují v malých množstvích, případně mohou být jen u některých dřev (Šlezingerová a Gandelová, 2005). Baar et al. (2014) uvádí průměrný obsah extraktivních látek 12,30 % u dřeva jatoba za pomoci extrakčního činidla voda–metanol–aceton. Extraktivní látky zjištěné v této práci za pomoci extrakčního činidla voda–metanol dosáhly rozdílných hodnot. U dřeva merbau bylo extrakcí získáno 12,74 % ve 100 ml extraktu a ze dřeva jatoba 6,45 % ve 100 ml extraktu. Tento rozdíl můžeme vysvětlit jiným extrakčním činidlem použitým v extrakci. Nebo také uvedený rozdíl může být způsoben tím že, složení extraktivních látek ve dřevě je variabilní podle druhu a věku dřeviny, podle stanoviště, období těžby a hlavně místa odběru vzorku – kořen, jádro, běl, kůra, větve apod. (Kačík a Solár 1999). Sablík et al. (2015) prováděl obdobný experiment za pomoci extrakčního činidla voda–metanol, při kterém používal k extrakci dřevo akátu a afrického padouku. Z akátu získal 7,41 % extraktivních látek ve 100 ml extraktu a ze dřeva padouku 11,21 % extraktivních látek ve 100 ml extraktu. Sablík et al. (2015) v tomto experimentu nepoužíval pro extrakci jenom jádrové dřevo akátu, ale i kůru akátu. Z kůry získal větší množství extraktivních látek (9,56 %), ale v následném testu trvanlivosti měly vzorky impregnované extraktivními látkami akátové kůry vyšší hmotnostní úbytky. Množství tedy nemusí být rozhodující, záleží také na složení a chemické povaze extraktivních látek.

Extraktivní látky rozdělujeme do skupin podle chemické povahy a struktury anebo podle polarit. Je možné i rozdělení extraktivních látek podle možnosti destilovat vodní parou – terpeny (Kačík a Solár, 1999). Extraktivní látky obsažené ve dřevě jsou různé a v různém složení, každé jsou také lépe či hůře extrahovatelné použitým rozpouštědlem. Tím může být zdůvodněn velký rozdíl získaných extraktivních látek zkoumaných v této práci. Množství i složení získaných extraktivních látek závisí tedy nejen na druhu dřeva, ale i na typu extrakce a extrakčním činidlu.

6.2 Přírozená trvanlivost buku impregnovaného extraktivními látkami

Přírozená trvanlivost buku, zjištěná rychlým testem odolnosti, která byla hlavním tématem této práce, ukázala dřevo samotných referenčních vzorků (nativního) buku jako netrvanlivé (5. třída trvanlivosti), což je dáno v normě (ČSN EN 350–2) a k těmto závěrům došli i Sablík et al. (2015).

Sacharidy, cukry alkoholu, rozpustné nízkomolekulové frakce polysacharidů, proteiny, vitamíny a soli organických kyselin jsou buď metabolity, anebo zásobními látkami a stabilitu dřeva vůči biotickým vlivům můžou snižovat, pokud mají vlastnosti substrátu (Kačík a Solár, 1999). Při použití extraktivních látek ze dřeva merbau a jatoba o koncentraci 1 (tedy nejméně koncentrované) zůstalo dřevo buku netrvanlivým. Jeho hmotnostní úbytky se od hmotnostních úbytků referenčních vzorků a samotných referenčních vzorků téměř nelišily. Je tedy možné, že v této koncentraci převládaly látky, které mohou stabilitu dřeva spíše snižovat a látek které působí ochranně, nebyla dostatečně velká koncentrace.

Použitím koncentrace 2 se dřevo buku dostalo do 4. třídy trvanlivosti (málo trvanlivé), dle ČSN EN 350–1. V této koncentraci se nejspíše začaly více projevovat látky, které mají pro dřevo funkci ochrannou. Koncentrace těchto ochranných látek začala převládat nad koncentrací látek, které stabilitu dřeva vůči dřevokazným houbám snižují. ČSN EN 113 udává, že ochrana dřeva, dosažená ochranným prostředkem při dané koncentraci, se považuje za dostatečnou, jestliže:

- a) Průměrný hmotnostní úbytek zkušebních těles je menší než 3,0 %
- b) Maximálně jedno zkušební těleso má hmotnostní úbytek větší než 3,0 %, avšak nižší než 5,0 %

Vzorky byly tedy zařazeny do 4. třídy trvanlivosti, ale extrakt o koncentraci 2 by nebyl dostatečnou ochrannou látkou pro dřevo. Podle normy, ČSN EN 113 – Ochranné prostředky na dřevo – Zkušební metody pro stanovení ochranné účinnosti proti dřevokazným houbám Basidiomycetes – Stanovení hranice účinnosti.

Fenolické látky způsobují zbarvení dřeva, barevné skvrny ve dřevě a mají i funkci ochrannou. Tyto látky ovlivňují světlostálost zbarvení dřeva a mají ochrannou funkci (insekticidy, fungicidy). Do této skupiny doprovodných látek se zařazují také taniny – třísloviny (Šlezingerová a Gandelová, 2005). V extraktu získaného ze dřeva merbau

bylo téměř dvakrát více extraktivních látek než u dřeva jatoba. Vzorky impregnované extraktivními látkami dřeva merbau, byly odolnější proti dřevokazné houbě (*Trametes versicolor* L.), což může být zapříčiněno vyšším obsahem například fenolických látek.

Barva dřeva a její stálost je u dřevěných výrobků užívaných v exteriéru, ale zejména v interiéru, jedním z důležitých estetických znaků (Hrdlička, 2008). Vzorky po impregnaci byly také jinak zbarveny. Extrakt by se tedy mohl využít nejen k ochraně dřeva proti houbám, ale i k tomu, aby dřevu dodal příjemný a zajímavý vzhled. Při použití impregnací v dnešní době dostupných, se dřevo většinou zbarvuje na zelenomodré tóny, což může působit dosti nepřirozeně. Dřevo buku nemá nijak výraznou kresbu ani zajímavou barvu. Po impregnaci extraktivními látkami se dřevo buku zbarvuje do zajímavých barevných tónů, připomínajících tropická dřeva.



Obr. 19: Na obrázku vlevo vzorky impregnované extraktivními látkami dřeva merbau, jatoba a vzorky nativního buku. Na obrázku vpravo dřevo ošetřené chemickou impregnací (zdroj: www.zmuda.wbl.sk)

Vývoj outkovky pestré může být brzděn koncentracemi taninu (Vorocov a Červinková, 1986). Taniny se vyskytují zejména v jádrovém dřevě a kůře našich listnáčů a tropických dřev. Stejně jako stilbeny mají ochrannou funkci (Šlezingerová a Gandelová, 2005).

Při použití extraktivních látek dřeva merbau koncentrace 3 dřevo buku dosáhlo z 5. třídy (netrvanlivé) trvanlivosti až na 1. třídu trvanlivosti (velmi trvanlivé). Přičemž 77,78 % vzorků mělo dokonce nulové úbytky. Při použití extraktivních látek dřeva jatoba koncentrace 3 dosáhlo dřevo buku až na 2. třídu trvanlivosti (trvanlivé).

Extrakty o koncentraci 3 byly dostatečným ochranným prostředkem pro dřevo (dle ČSN EN 113). Již u koncentrace 2 byly sledovány nižší hmotnostní úbytky. Bylo by tedy možné nalézt v rozmezí těchto dvou koncentrací ideální koncentraci,

kteřá by splňovala podmínky pro dostatečnou ochranu dřeva a přitom nemusela být tolikrát zkoncentrována.

Rozdíl mezi účinností extraktivních látek dřeva merbau a jatoba je pravděpodobně způsoben:

- a) vyšším obsahem extraktivních látek
- b) rozdílností jejich složení

Zařazením podle hmotnostních úbytků dle tabulky 5 (Třídý přirozené trvanlivosti dřeva proti napadení houbami s použitím laboratorních zkoušek založených na ČSN EN 113), byla zjištěna rozdílná účinnost mezi extrakty ze dřeva merbau a jatoba. Avšak podle statistického vyhodnocení není prokázán statisticky významný rozdíl mezi dřevinami, z kterých extrakt je, ale jen mezi koncentracemi.

V miskách u vzorků impregnovaných koncentrací 3 byl zaznamenán nižší úbytek hmotnosti i u referenčních vzorků oproti samotným referenčním vzorkům (nativnímu) buku. To by mohlo být vysvětleno natolik silnou koncentrací látek narušujících růst houby, že ovlivnily celé mikroklima misky. Vorocov a Červinková (1986) udává, že vývoj *Outkovky pestré* může být brzděn koncentracemi taninu. Tím by se také daly vysvětlit vysoké směrodatné odchylky u referenčních vzorků a tudíž jejich velký rozptyl hodnot hmotnostních úbytků. Směrodatná odchylka ukazuje nestálost těchto dat a tudíž možné ovlivnění okolními vlivy, zde okolními impregnovanými vzorky.

7 ZÁVĚR

Abychom získali nové látky, které lze použít k ochraně dřeva, založené na přírodní bázi a které budou šetrné k životnímu prostředí, bylo experimentálně stanoveno množství extraktivních látek u dřeva merbau a jatoba. Pro získání extraktivních látek bylo použito extrakční činidlo voda–metanol, látky byly získávány pomocí extrakční aparatury FexIKA. Byla studována efektivita těchto extraktivních látek proti dřevokazným houbám. Test trvanlivosti extraktivních látek impregnovaných na dřevo buku ukázal, že extraktivní látky dřeva merbau a jatoba mají velmi silné antimykotické účinky. Závěrečná práce ukázala, že existuje možnost použití extraktivních látek pro zvýšení přirozené trvanlivosti dřeva buku. Z výsledků vyplývá, že při použití extraktivních látek o vyšší koncentraci je možné zvýšit přirozenou trvanlivost dřeva buku z 5. třídy trvanlivosti na 1. třídu trvanlivosti. V dalším výzkumu je potřeba se zaměřit na fixaci extraktivních látek do impregnovaného dřeva a také se detailněji zabývat typy extraktivních látek, které zvyšují trvanlivost dřeva vůči dřevokazným houbám.

8 SUMMARY

The goal of this study was to investigate the antimycotic properties of compounds extracted from exotic woods. Specifically, the aim was to evaluate how the natural durability of beech wood changes when impregnated with extractive compounds acquired from the merbau and jatoba woods.

The exotic woods were ground into dust and then, using the FexIKA apparatus and water-methanol mix as an extraction agent, extractive compounds were acquired. Three different concentrations were made. Samples of beech wood were impregnated with the extractives. Then, the impregnated and reference samples were exposed to a culture of the *Trametes versicolor* L. Fungus in a rapid durability test. After 8 weeks, the samples were cleaned and weighed and weight loss of each sample was assessed.

The results of this rapid durability test show that by using extractives with the highest concentration, the natural durability against wood-decaying fungi increases. The impregnated wood was classed into durability classes based on the Czech norm ČSN EN 350–1. Samples impregnated with the highest concentration of the merbau extract achieved class 1 durability – very durable. Samples impregnated with the highest concentration of the jatoba extract achieved class 2 durability – durable. Based on the norm ČSN EN 113, the extractives of the highest concentration were classed as a sufficient wood protecting agent against wood-decaying fungi.

9 SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

BAIER J., TÝN Z., 2001. *Ochrana dřeva*. 2. vyd. Praha: Grada Publishing, spol. s r. o. 2001. 96 s.

BLAŽEJ A., ŠUTÝ L., 1985. *Fytomasa ako chemická surovina*. 1. vyd. Bratislava: Veda, 1985. 402 s.

BLAŽEJ A., ŠUTÝ L., et al., 1975. *Chémia dreva*. 1. vyd. Bratislava: Alfa, 1975. 221 s.

BRAVERY A. F., 1979. *A miniaturised wood-block test for the rapid evaluation o wood preservative fungicides*. 136 vyd. č. Swed Wood PreservInst 21: 58–65.

DAVID M., 2011. *Unikátní laboratorní impregnační autokláv*. Diplomová práce: Mendelova univerzita v Brně, 2011. 85 s.

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

HRČKA, R., 2008. *Identifi cation of discoloration of beech wood*. In: CIELAB space. *Wood research*, 53, 1: 119–124.

KAČÍK F., SOLÁR R., 2000. *Analytická chémia dreva* 1. vyd. Zvolen: Technická univerzita, 1999. 369 s. ISBN 80-228-0882-0.

KAČÍKOVÁ D., GEFFERT A., et al., 2007. *Extraktívne látky v surovine, technologickom procese a produktech celulózovo-papierenského priemyslu*. 1. vyd. Zvolen: Technická univerzita, 2007. 83 s. ISBN 978-80-228-1818-6.

Kafka E. et al., 1989. *Dřevařská příručka*, 1. část, Praha 1989, 484 s.

PANSHIN, A. J., ZEEUW DE, C., 1980. *Textbook of Wood Technology: Structure, Identification, Properties, and Uses of the Commercial Woods of the United States and Canada*. 4. vyd. New York: McGraw-Hill, 1980. 722 s. ISBN 0-07-048441-4.

POŽGAJ, A., 1993. *Štruktúra a vlastnosti dreva*. 1. vyd. Bratislava: Príroda, 1993. 485 s. ISBN 80-07-00600-1.

ROČEK I., 2005. *Dřeva tropických oblastí*. vyd. Fakulta lesnická a environmentální České zemědělské univerzity v Praze, 2005. 327 s. ISBN 80-213-1346-3.

RYPÁČEK, V., 1957. *Biologie dřevokazných hub*. 1. vyd. Praha: ČSAV, 1957. 209 s.

SABLÍK P., GIAGLI K., et al., 2015: Impact of extractive chemical compounds from durable wood species on fungal decay after impregnation of nondurable wood species, vyd. European Journal of Wood and Wood Products, 2015. 6 s.

SCHULTZ, T P. et al., 2008. *Development of commercial wood preservatives: efficacy, environmental, and health issues*. Washington, DC: American Chemical Society, 2008. 655 s. ISBN 978-0-8412-3951-7.

SVATOŇ J., 2000. *Ochrana dřeva*. 1. vyd. Brno: Mendelova zemědělská a lesnická univerzita, 2000. 203 s. ISBN 80-7157-435-X.

ŠLEZINGEROVÁ J., GANDELOVÁ L., 2005. *Stavba dřeva* vyd. dotisk, Brno: Mendelova zemědělská a lesnická univerzita, 2005. 187 s. ISBN 80-7157-636-0.

THOMPSON, R., 1991. *The chemistry of wood preservation*. Cambridge: The Royal society of chemistry, 1991. 315 s. ISBN 0-85186-476-7.

VORONCOV A. I., ČERVINKOVÁ H., 1986 *Škůdci dřeva*, Státní zem. Nakladatelství 1986. 168 s. ISBN 07-015-86.

WAGENFÜHR, R., 1999. *Anatomie des Holzes: Strukturanalytik - Identifizierung - Nomenklatur - Mikrotechnologie*. 5. vyd. Leinfelden-Echterdingen: DRW Verlag, 1999. 188 s. ISBN 3-87181-351-6.

WAGENFÜHR, R., 2000. *Holzatlas*. 5. vyd. München: Fachbuchverlag Leipzig im Carl Hanser Verlag, 2000. 707 s. ISBN 3-446-21390-2.

ŽÁK, J., REINPRECHT L., 1998. *Ochrana dřeva ve stavbě: odborná příručka pro stavebníky, investory, projektanty a architekty*. 1. vyd. Praha: Arch, 1998, 95 s. ISBN 80-86165-00-0.

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

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 – Přírozená trvanlivost rostlého dřeva – Část 2: Přírozená trvanlivost a impregnovatelnost vybraných dřevin důležitých v Evropě 1996.

DŘEVO OŠETŘENÉ CHEMICKOU IMPREGNACÍ. [online] Dostupné na World Wide Web:

<<http://www.zmuda.wbl.sk/SORTIMENT-VYROBKOV.html>>

HOUBY. [online] Dostupné na World Wide Web: <<http://www.naturfoto.cz/outkovka-pestra-fotografie-7226.html>>

CHARAKTERISTIKA DOMÁCÍCH DŘEV. [online] Dostupné na World Wide Web:

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

CHARAKTERISTIKA TROPICKÝCH DŘEV. [online] Dostupné na World Wide

Web:

<http://ldf.mendelu.cz/und/sites/default/files/multimedia/tropicka_dreva/index.htm>

PLOŠNÉ ZASTOUPENÍ BUKU. [online] Dostupné na World Wide Web:

<http://eagri.cz/public/web/file/263114/Zprava_o_stavu_lesa_2012.pdf>