MASARYKOVA UNIVERZITA

PŘÍRODOVĚDECKÁ FAKULTA

ÚSTAV CHEMIE

Bakalářská práce

Brno 2015 **Jana Hegerová**

MASARYKOVA UNIVERZITA
PŘÍRODOVĚDECKÁ FAKULTA
ÚSTAV CHEMIE

Experimentální ověření možností snížení kontaminace dřevěných historických předmětů kovy

Bakalářská práce

Jana Hegerová

Vedoucí práce: Mgr. Bc. Radka Bačovská **Brno 2015**

Bibliografický záznam

Autor:	Jana Hegerová Přírodovědecká fakulta, Masarykova univerzita Ústav chemie
Název práce:	Experimentální ověření možností snížení kontaminace dřevěných historických předmětů kovy
Studijní program:	Chemie
Studijní obor:	Chemie konzervování - restaurování
Vedoucí práce:	Mgr. Bc. Radka Bačovská
Akademický rok:	2014/2015
Počet stran:	72
Klíčová slova:	kontaminace; dřevo; dřevěnné artefakty; těžké kovy; ošetření dřeva; spektrofotometrie; SEM; EDX

Bibliographic Entry

Author:	Jana Hegerová Faculty of Science, Masaryk University Department of chemismy
Title of Thesis:	Experimantal verification of possible methods for metal contamination reduction of wooden artefacts
Degree programme:	Chemistry
Field of Study:	Chemistry of Conservation - Restoration
Supervisor:	Mgr. Bc. Radka Bačovská
Academic Year:	2014/2015
Number of Pages:	72
Keywords:	contamination; wood; wooden artifacts; heavy metals; treatment of wood; spectrophotometry; SEM; EDX

Abstrakt

V této bakalářské práci se věnujeme problematice kontaminace dřevěných artefaktů těžkými kovy. V teoretické části byla popsána specifická stavba dřeva včetně jeho dělení podle charakteristických znaků. Byla zde definována skupina prvků zvaných těžké kovy a nakonec také možné způsoby poškození dřeva, způsoby ošetření a také rizika spojená s ošetřujícími látkami. V praktické části byly použity tři typy dřev vzorků, na které byly nejprve aplikovány metody umělé kontaminace Cu^{2+} a následně byly aplikovány metody na její snížení. Výsledky byly hodnoceny za pomoci analýz ze SEM (skenovací elektronová mikroskopie) a spektrofotometrické analýzy v UV-VIS. Cílem této práce bylo pokusit se nalézt metody možného snížení kontaminace dřevěných předmětů.

Abstract

In this thesis we study problems of contamination of wooden artifacts by heavy metals. In theoretic part was described specific structure of wood and its properties including wood division according to characteristic signs. Also a group of elements called heavy metals was described and in the end possible damaging ways of wood, methods of treatment and risks associated with substances for treatment. In practical part there was used three types of wooden samples, which were artificially contaminated by Cu^{2+} and then applied methods of decontamination on. Results were evaluated by analysis of SEM (scanning elektron microscopy) and spectrophotometry analysis in UV and visible light. The aim of this thesis was to find out possible ways to decontaminate wooden objects.

MASARYKOVA UNIVERZITA
Přírodovědecká fakulta

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Akademický rok: 2015/2016

Ústav: Ústav chemie

Studentka: Jana Hegerová

Program: Chemie

Obor: Chemie konzervování - restaurování

Ředitel *Ústavu chemie* PřF MU Vám ve smyslu Studijního a zkušebního řádu MU určuje bakalářskou práci s tématem:

Téma práce: Experimentální ověření možností snížení kontaminace dřevěných historických předmětů kovy

Téma práce anglicky: Experimantal verification of possible methods for metal contamination reduction of wooden artefacts

Oficiální zadání:
1) Vypracování literární rešerše zaměřené na kontaminující kovové prvky, jejich zdroje a možnosti jejich odstranění 2) Výběr modelových vzorků dřev a kovových kontaminantů 3) Simulace kontaminace dřevěného materiálu kovy 4) Navržení a ověření metodiky pro snížení (odstranění) obsahu kovů ve zkoumaných vzorcích 5) Dokumentace experimentů s využitím analytických metod pro důkaz přítomnosti kovů 6) Shrnutí výsledků a sepsání práce

Literatura:
Old poisons, new problems :a museum resource for managing contaminated cultural materials. Edited by G. Edwards Burroughts. : Altamira Press, 2005. 126 s. ISBN 0759105154.

Jazyk závěrečné práce: čeština

Vedoucí práce: Mgr. Bc. Radka Bačovská

Datum zadání práce: 14. 11. 2014

V Brně dne: 12. 2. 2015

Souhlasím se zadáním (podpis, datum):

Jana Hegerová **studentka**	Mgr. Bc. Radka Bačovská **vedoucí práce**	doc. Mgr. Marek Nečas, Ph.D **zástupce ředitele Ústavu chemie pro pedagogické záležitosti**

Poděkování

Na tomto místě bych chtěla poděkovat všem, kteří se podíleli na vzniku této bakalářské práce zejména své vedoucí Mgr. Bc. Radce Bačovské za cenné rady a připomínky. Velký dík patří také RNDr. Richardu Ševčíkovi Ph.D. a Mgr. Davidu Pavliňákovi za spolupráci. Dále bych chtěla poděkovat pracovníkům z VOŠ restaurátorské v Brně za přípravu vzorků a za přínosné rady a korekturu Bc. Zdeňka Holého DiS. V neposlední řadě bych ráda poděkovala svým kolegyním z oboru a také celé své rodině za podporu.

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem svoji bakalářskou práci vypracovala samostatně s využitím informačních zdrojů, které jsou v práci citovány.

Brno 12. června 2015 ……

Jana Hegerová

OBSAH

ÚVOD **10**
TEORETICKÁ ČÁST **11**
1 DŘEVO **11**
1.1 STAVBA DŘEVA 11
1.1.1 Makroskopická stavba *12*
1.1.2 Submikroskopická a chemická stavba *15*
1.1.3 Mikroskopická stavba *18*
1.1.4 Zvolené typy dřev pro experimenty *21*
2 TĚŽKÉ KOVY **23**
2.1 ARSEN 23
2.2 OLOVO 24
2.3 MĚĎ 25
2.4 RTUŤ 26
2.5 ZINEK 27
2.6 NIKL 27
2.7 KADMIUM 28
2.8 PLATINA 29
3 KONTAMINACE DŘEVĚNÝCH ARTEFAKTŮ **30**
3.1 POŠKOZENÍ DŘEVA 30
3.2 PROSTŘEDKY NA OCHRANU DŘEVA 33
3.2.1 Škodlivé účinky pro lidský organismus *33*
3.2.2 Zkouška přítomnosti arsenu *34*
3.2.3 Zkouška přítomnosti Cu^{2+} *34*
4 ANALYTICKÉ METODY POUŽITÉ PŘI VÝZKUMU **35**
4.1 SPEKTROFOTOMETRIE 35
4.2 SEM A EDX ANALÝZY 38
PRAKTICKÁ ČÁST **41**
5 EXPERIMENT SE DVĚMA DRUHY DŘEVĚNÝCH VZORKŮ **43**
5.1 VZORKY SM A DB 43
5.1.1 Vyhodnocení a diskuze: *44*

5.1.2 Vyhodnocení a diskuze: ... *45*
5.2 DEKONTAMINACE LOUHOVÁNÍM ... 45
5.3 SEM A EDX ANALÝZY ... 46
5.3.1 Vyhodnocení a diskuze: ... *48*
5.4 SPEKTROFOTOMETRIE ... 48
5.4.1 Vyhodnocení a diskuze: ... *50*
5.4.2 Vyhodnocení a diskuze: ... *51*
5.5 ZÁVĚR ... 51
6 EXPERIMENT SE VZORKY LP ... 53
6.1 SEM A EDX ANALÝZY ... 53
6.1.1 Vyhodnocení a diskuze: ... *54*
6.2 SPEKTROFOTOMETRIE V UV-VIS ... 54
6.2.1 Vyhodnocení a diskuze: ... *55*
6.3 ZÁVĚR ... 55
7 EXPERIMENT SE VZORKY SM 4, DB 4 A LP 4 ... 56
7.1 SEM A EDX ANALÝZY ... 56
7.1.1 Vyhodnocení a diskuze: ... *63*
7.2 SPEKTROFOTOMETRIE V UV-VIS ... 63
7.2.1 Vyhodnocení a diskuze: ... *65*
7.3 ZÁVĚR ... 65
ZÁVĚR ... 66
POUŽITÉ CHEMICKÉ LÁTKY ... 68
PŘÍLOHY: ... 69
PŘÍLOHA 1: VZORKY SMRKU SM 1, 2 A 3 ... 69
PŘÍLOHA 2: VZORKY DUBU DB 1,2 A 3 ... 69
PŘÍLOHA 3: SROVNÁNÍ BAREVNÉ ZMĚNY ROZTOKU SKALICE MODRÉ PO NALOŽENÍ VZORKŮ SM 3 A DB 3 ... 70
SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY: ... 71

Úvod

Dřevo patří k materiálům značně náchylných k poškození vlivem rozličných škůdců. Proto je zapotřebí ošetřovat dřevěné předměty látkami zabraňujícím těmto vlivům v narušování struktury a tím i vlastností dřeva. Často se ale v minulosti používaly nevhodné látky, které samy svým složením způsobovaly reakce narušující strukturu dřeva. Dokonce mnohé z nich obsahovaly toxické (těžké) kovy, které jsou škodlivé i pro člověka. Proto bylo cílem této práce nalézt postupy možného snížení kontaminace dřevěných předmětů. Provedené experimenty popsané v praktické části by mohly sloužit jako návod k ošetření dřevěných sbírkových předmětů, na které byly v minulosti aplikovány konzervátorské postupy s použitím nevhodných prostředků. Rovněž by výsledky mohly vést k dalším experimentálním pokusům snižování kontaminace např. ve sbírkových předmětech z jiných organických materiálů, na kterých byly také často tyto škodlivé prostředky aplikovány.

Teoretická část

1 Dřevo

Dřevo je anizotropní organický biopolymer. Pro své výborné mechanické vlastnosti byl hojně používaným materiálem pro výrobu nástrojů, zbraní, uměleckých předmětů i ke stavbě obydlí již od nepaměti. I v dnešní době je značně využíván, zejména pro jeho estetický vzhled a fakt, že patří k obnovitelným zdrojům. Oproti jiným materiálům je na svou malou hmotnost velmi pevný a odolný vůči mechanickým i chemickým vlivům. Zároveň není příliš tepelně roztažný a dá se lehce opracovávat. Také však vykazuje některé nedostatky. Kvůli vysoké hygroskopicitě dřevo pohlcuje vodu, ukládá ji a tím dochází k rozměrovým změnám. Vzhledem k jeho anizotropnímu charakteru, jsou tyto změny odlišné v různých směrech. Jedná se o lehko zápalný, hořlavý materiál a rovněž náchylný k napadení biologickými škůdci. Proto je nutné věnovat péči správné ochraně dřeva.

Tyto vlastnosti jsou typické pro dřevo obecně. Ale vlastnosti dřev různých stromů se mohou v mnoha ohledech lišit. Proto je při výběru dřeviny pro výrobu konkrétního dřevěného předmětu klíčové zvolit vhodný druh podle jeho vlastností. Stejně tak je důležité při analýze před konzervátorským zásahem do dřevěného předmětu rozpoznat, o jaký druh dřeva se jedná [1].

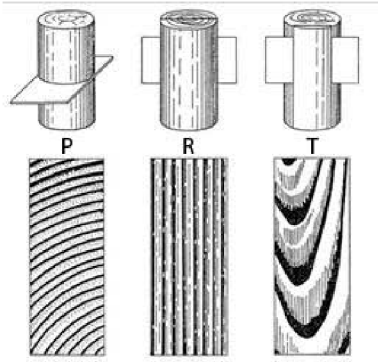
1.1 Stavba dřeva

Druh dřeva lze určit při pozorování jeho struktury. Na ní můžeme rozeznat různé znaky, typické pro určité dřeviny. Některé znaky jsou viditelné pouhým okem (makroskopické znaky) a jiné lze vidět pouze pod mikroskopem (mikroskopické znaky).

Struktura je zkoumána na 3 základních řezech kmenem dřeva (obr. 1):

- příčný (transversální, čelní, P řez) – prochází kolmo na osu kmene
- radiální (středový, poloměrový, R řez) – prochází rovnoběžně s osou kmene a zároveň jeho středem

- tangenciální (tečnový, T řez) – prochází rovnoběžně s osou kmene, ale zároveň je tečnou k některému letokruhu



Obr. 1: Znázornění základních řezů [2]

1.1.1 Makroskopická stavba

Při hodnocení makroskopické struktury dřeva jsou pozorovány letokruhy, jádro, běl, vyzrálé dřevo, cévy, dřeňové paprsky, pryskyřičné kanálky a další. Tyto části se však nemusí nutně vyskytovat v každém typu dřeva.

1.1.1.1 Letokruhy

Letokruhy jsou přírůstky dřevní hmoty stromu, vzniklé během jednoho vegetačního období (v našich podmínkách 1 rok). Proto je díky nim možné využívat dendrochronologickou analýzu k určování stáří dřeva v konzervátorské praxi. Vznikají činností dělivého pletiva – kambia. U dřevin mírného pásma jsou dobře rozpoznatelné pouhým okem nebo s lupou, naopak subtropické a tropické dřeviny mají letokruhy špatně odlišitelné. Stavba i šířka jednotlivých letokruhů jsou dány několika podmínkami – věkem dřeviny, polohou ve kmeni, podmínkami stanoviště (geografické, výživa, apod.). Šířka má také velký vliv na mechanické a fyzikální vlastnosti dřeva. Podle letokruhů jsou dřeva rozdělena do čtyř skupin: jehličnaté, listnaté kruhovitě pórovité, listnaté polokruhovitě pórovité a listnaté roztroušeně pórovité.

1.1.1.2 Jádro, běl a vyzrálé dřevo

Na **P** řezu jsou u některých dřevin rozpoznatelné dvě oblasti dřevní hmoty – vnitřní, středová tmavší část – *jádro* a obvodová světlejší část – *běl* (u ostatních se vyskytuje pouze bělová část). Bělovou část charakterizuje přítomnost živých buněk. Jsou v ní uloženy zásobní látky a vede vodu kmenem od kořenů k listům a jehlicím. Může mít odlišné fyzikální a mechanické vlastnosti oproti jádru a vyzrálému dřevu, např. je méně odolná vůči hnilobě a plísním. Jádrová část obsahuje tzv. jádrové látky a thyly, které způsobují neprůchodnost vody touto částí dřeva uvnitř kmene. Vyzrálé dřevo má stejnou strukturu jako jádrové dřevo, ale není barevně odlišeno od bělové části. Podle přítomnosti těchto znaků jsou dřeviny rozděleny do 3 skupin na dřeviny bělové, jádrové a s vyzrálým dřevem. V dřevinách se také ovšem může objevit z různých příčin (např. silné mrazy, hniloba, apod.) tzv. nepravé jádro – tmavě zbarvená středová část nepravidelně vlnitě ohraničená, která zpravidla obsahuje více minerálních látek než běl.

1.1.1.3 Dřeňové paprsky

Tyto paprsky jsou velká seskupení parenchymatických buněk[1] vyskytujících se kolmo na osu kmene. Zapříčiňují odlišné mechanické a fyzikální vlastnosti dřeva v **T** a **R** směru. Nachází se ve všech dřevinách, ale jen v některých jsou viditelné pouhým okem. Pokud jsou viditelné, vytváří lesklé plošky tzv. zrcátka. Při určování druhu dřeviny je pozorována jejich šířka, výška, hustota a počet. Někdy se vyskytují tzv. nepravé dřeňové paprsky, vzniklé sdružením dřeňových paprsků. Hojně se u dřevin vyskytují i tzv. dřeňové skvrny, které vypadají jako dřeňové paprsky, ale jde o hojivý parenchym vytvořený kvůli poškození kambia. Přítomnost těchto skvrn negativně ovlivňuje fyzikální a mechanické vlastnosti dřeva.

[1] Parenchymatické buňky jsou univerzálními živými buňkami rostlinného organismu se zásobní funkcí a funkcí metabolického centra. Vznikají v celém těle rostliny vlivem dělícího pletiva [1].

1.1.1.4 Pryskyřičné kanálky

Jedná se o systém buněk, který vede pryskyřice v kmeni stromu. Jsou přítomné jen u některých jehličnatých stromů. Mohou být dále rozlišeny na 2 typy:

- horizontální – vedoucí kolmo k ose kmenu a vyskytující se ve středu vícevrstevných dřeňových paprsků
- vertikální – svislé kanálky vedoucí mezi podélnými buňkami

1.1.1.5 Póry

Póry jsou vytvořeny vodivými cévami, jejichž přítomnost snižuje odolnost dřeva. Vyskytují se pouze u listnatých dřevin a jsou viditelné na P řezu jako okrouhlé póry a na T a R řezech jako rýhy. Okem lze pozorovat pouze velké póry o velikosti < 0,1 mm.

1.1.1.6 Další znaky

- Suky – pozůstatky odumřelých nebo počátky vznikajících větví, vyskytují se často až kolmo na osu kmene, jejich letokruhy navazují na letokruhy kmene a tím narušují rovnovláknitou stavbu dřeva a dochází ke zhoršení mechanických vlastností
- Barva dřeva – bývá charakteristická pro určitý druh dřeva, je zapříčíněna látkami uloženými v buněčných stěnách a lumenech (třísloviny, barviva, pryskyřice, rostlinné gumy a další)
- Vůně – je typická pro určité typy dřevin, závisí na množství tříslovin, pryskyřic a etherických olejů v dřevině, při vysychání dřeva slábne
- Lesk – vzniká díky schopnosti odrážet světelné paprsky, závisí na druhu dřeva, ale i na osvětlení a povrchové úpravě
- Textura – kresba dřeva, vyskytuje se na povrchu dřeva po jeho nařezání, je ovlivněna makroskopickými znaky vyskytujícími se v daném druhu dřeva
- Očka – zarostlé nevyvinuté pupeny větví, které na řezu dřevem vytváří tzv. očkovou kresbu a je typická jen pro několik málo druhů dřevin
- Svalovitost – nepravidelná struktura dřeva způsobená zvlněním či spletením dřevních vláken projevující se na příčném řezu jako zvlněné letokruhy, u některých dřev se vyskytují pouze místní zvlnění (tzv. lískovcové dřevo), která vykazují horší mechanické vlastnosti

- Reakční dřevo – lokální změna struktury dřeva způsobená mechanickým namáháním dřeva, projevující se excentrickým uspořádáním letokruhů v kmeni
- Hustota – přibližný odhad hustoty podle váhy vzorku bývá měřen při 12 % vlhkosti vzduchu, podle naměřených hodnot se dřeva rozdělují na:
    - S nízkou hustotou (do 540 kg/m^3)
    - Se střední hustotou (540-750 kg/m^3)
    - S vysokou hustotou – (nad 750 kg/m^3)
- Tvrdost – určena podle schopnosti jiného tělesa proniknout do dřeva, závislá na struktuře a hustotě, po určení při 12% vlhkosti vzduchu lze dřeva rozdělit do tří skupin:
    - Měkká (do 40 MPa)
    - Středně tvrdá (40 – 80 MPa)
    - Tvrdá (nad 80 MPa)

1.1.2 Submikroskopická a chemická stavba

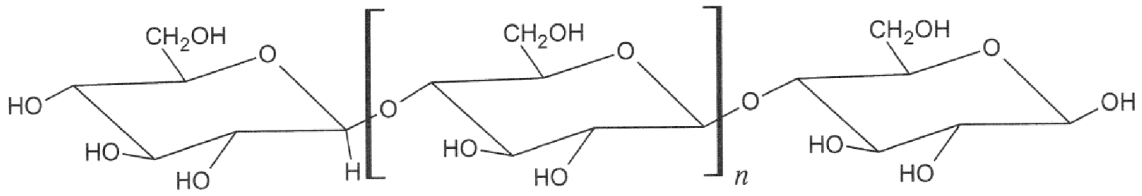
Pro všechny dřeviny je společné určité zastoupení prvků. Průměrně se ve dřevě vyskytuje 49,5 % uhlíku, 44,2 % kyslíku a 6,3 % vodíku. Kromě těchto základních prvků, které vytvářejí hlavní stavební složky, se ve dřevě vyskytují v malé míře i anorganické látky (tvoří cca 0,1–1 % v průměru).

Hlavními složkami jsou makromolekulární látky (polymery), jakými jsou lignin a sacharidy – celulóza a hemicelulózy. Tvoří 90-98% struktury dřeva a jsou základními jednotkami pro buněčné stěny a mezibuněčnou hmotu. Mimo hlavní složky se ve dřevě nacházejí i tzv. vedlejší složky. Ty tvoří 2-10 % obsahu a mohou být anorganické i organické povahy. Tyto látky mohou být ze dřeva extrahovány.

1.1.2.1 Celulóza

Tvoří zhruba 43-52 % hmotnosti dřeva a je základní stavební jednotkou buněčných stěn. Celulóza je lineární homopolymer složený z jednotek β-D-glukopyranóz spojených β-1→4-glykosidickou vazbou do řetězců (obr. 2). Každá dřevina obsahuje různě dlouhé řetězce celulózy. Některé mohou dosahovat polymeračního stupně až 12000 (průměrné hodnoty jsou však 8000-10000) a délky až 0,01 mm. Čím delší jsou řetězce celulózy, tím pevnější je dřevo. Jednotlivé řetězce jsou pak spojeny

sekundárními vazbami. Zejména intermolekulárními a intramolekulárními vodíkovými můstky, díky nimž jsou odolné vůči působení vody a rozpouštědel.



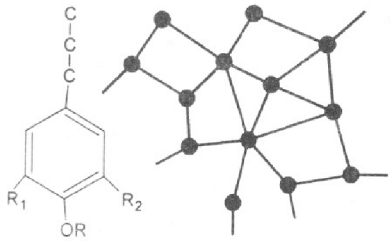
Obr. 2: Celulózový řetězec [3]

1.1.2.2 Hemicelulózy

Představují asi 20-35 % obsahu dřeva (u listnatých dřevin je procento vyšší). Jsou to lineární polysacharidy, které mají krátké postranní řetězce a jsou méně chemicky odolné než celulóza. Mají také nižší relativní molekulovou hmotnost a dosahují polymeračního stupně jen 150. Nejčastěji se jedná o sacharidy, které mají pyranózovou strukturu (xylány, manány a galaktány).

1.1.2.3 Lignin

Činí 20-30 % hmotnosti dřeva (u jehličnatých dřevin je podíl vyšší). Je to amorfní polymer s trojrozměrnou strukturou složenou z fenylpropanů. Jeho struktura však není přesně definována. Zřejmě je tvořen 70-130 jednotkami fenylpropanu (obr. 3) spojených do podjednotky vazbami uhlík-uhlík nebo uhlík-kyslík-uhlík, a tyto podjednotky (cca 500) pak vytváří molekulu ligninu. Ve struktuře dřeva je rozprostřen nerovnoměrně napříč buněčnou stěnou mezi celulózovými vlákny. Je hydrofobní, takže odpuzuje vodu a tudíž zabraňuje jejímu průchodu dřevem. Také zvyšuje pevnost v tlaku a odpuzuje mikroorganismy.



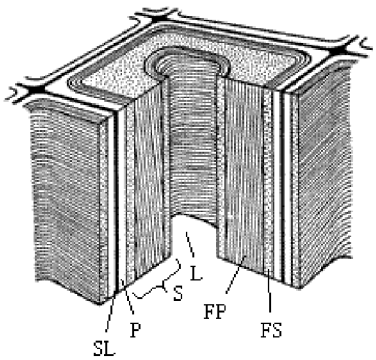
Obr. 3: Základní jednotka ligninu (fenylpropan) a jeho zjednodušená struktura [1]

1.1.2.4 Vedlejší složky

Tvoří zhruba jen 2-10 % hmotnosti dřeva a vyskytují se převážně v jádrovém dřevě. Jsou to různé látky, které se za pomoci rozličných rozpouštědel dají extrahovat. Typ i množství látky bývá charakteristické pro určité deviny. Mohou být anorganické i organické. Z anorganických látek to jsou zejména soli Ca, K, Mg, Na, Mn a další. Ty tvoří cca 0,5-1%. Organické látky se rozdělují na sacharidy, terpenoidy, látky fenolického typu, alkaloidy, acyklické kyseliny, alkoholy a další (např. bílkoviny, vosky a tuky).

1.1.2.5 Stavba buněčné stěny

Buňky (obr. 4) tvořící dřevo se skládají z buněčné stěny a buněčné dutiny (lumenu). Buněčná stěna je ale ještě tvořena několika rozdílnými vrstvami: střední lamelou, primární stěnou, sekundární stěnou, lumenem a podélně a spirálovitě uloženými fibrilami.



Obr. 4: Stavba buněčné stěny: SL – střední lamela, P – primární stěna, S – sekundární stěna, L – lumen, FP – podélně uložené fibrily, FS – spirálově uložené fibrily [2]

Střední lamela (silná asi 0,2-0,5 nm) spojuje jednotlivé buňky dřeva a je to tzv. mezibuněčná hmota. Je tvořena převážně ligninem (z cca 70 %), pektiny (zejména polysacharidů na bázi kyseliny D-galakturonové) a hemicelulózami.

Primární stěna (0,1-0,5 µm na tloušťku) je tvořena ze 7-15 % celulózou a liší se tedy od střední lamely zejména jinou strukturou.

Sekundární stěna je oproti primární tvořena až ze 43 % celulózou. Jelikož dodává buňce definitivní formu, ovlivňuje výrazně mechanické i chemické vlastnosti celého dřeva. Většinou se skládá ze 3 vrstev (někdy i z více nebo méně): vnější vrstvy S1 (z 6 až 8 %), střední vrstvy S2 (z 88-89 %) a vnitřní vrstvy S3 (z 5-4 %).

1.1.2.6 Ztenčeniny

Ztenčeniny jsou póry sloužící jako mezibuněčná propojení. Proudí jimi voda a živiny z jedné buňky do druhé. Chybí zde sekundární buněčná stěna. Existují dva typy: jednoduché a dvůrkaté ztenčeniny. Jenoduché (tzv. tečky) mají kruhovité nebo elipsoidní tvary. Jejich uspořádání, velikost a tvar charakterizují jednotlivé druhy dřevin. Dvůrkaté ztenčeniny neboli dvojtečky jsou specifické pro jehličnaté dřeviny.

1.1.3 Mikroskopická stavba

Dřevo je tvořeno 3 různými typy buněk rozlišených podle jejich funkcí: parenchymatickými (vyživovací), sklerenchymatickými (výztuž) a vodivými buněčnými elementy – cévami. Podle četnosti a složitosti těchto typů buněk jsou dřeva členěna na jehličnaté a listnaté.

1.1.3.1 Jehličnaté dřevo

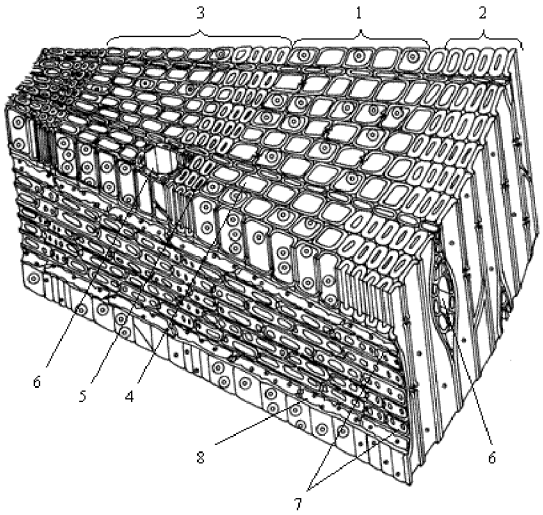
Mají jednoduší stavbu, protože jsou vývojově starší. Velký podíl na struktuře dřeva jehličnanů mají tracheidy (z 90-94 %) a zbylá část je tvořena parenchymatickými buňkami.

Tracheidy jsou svislé buňky protáhlého tvaru uspořádané do pravidelných kruhovitých řad. Tloušťka jejich stěn závisí zejména na umístění v letokruhu a stáří

stromu. Jejich vzhled a vlastnosti se liší v jarním a letním dřevě. *Jarní tracheidy* jsou menší s tenčí buněčnou stěnou. Obsahují mnoho dvojteček, které vedou vodu a jiné látky. Po vyschnutí se jejich dvojtečky většinou uzavřou a zabraňují impregnaci dřeva. *Letní tracheidy* jsou větší s tlustší buněčnou stěnou a mají méně dvojteček. Jejich lumeny, které vyztužují buňky, jsou menší. Přechod mezi jarními a letními tracheidami bývá různý podle druhu dřeviny.

Parenchymatické buňky mají obdélníkový tvar a plní vodivou a zásobovací funkci. Jsou součástí dřeňových paprsků, pryskyřičných kanálků a podélného parenchymu.

- Dřeňové paprsky – tvoří 5-10 % celkového objemu buněčných elementů ve dřevě jehličnanů
- Pryskyřičné kanálky – mezibuněčné prostory vyplněné pryskyřicí a podle jejich směru průchodu kmenem se rozdělují na vertikální a horizontální
- Podélný (axiální) parenchym – představuje pásy parenchymatických buněk uložených rovnoběžně s osou kmene, chybí u většiny jehličnanů u nás



Obr. 5: Mikroskopická stavba jehličnatého dřeva: 1 – jarní dřevo, 2 – letní dřevo, 3 – letokruh, 4 – jarní tracheida s dvojtečkami, 5 – letní tracheida, 6 – pryskyřičný kanálek, 7 – dřeňový paprsek, 8 – příčná tracheida [4]

1.1.3.2 Listnaté dřevo

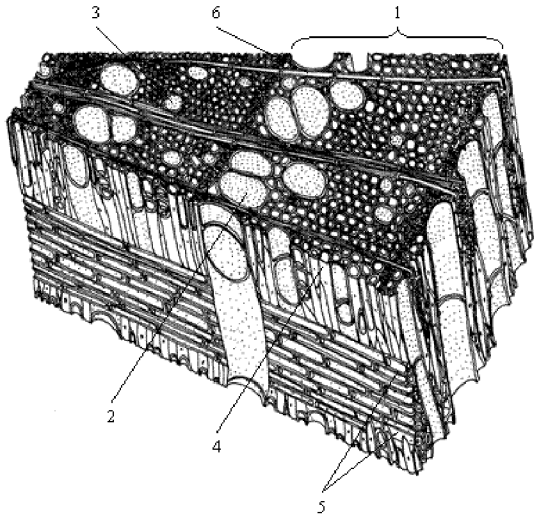
Na rozdíl od jehličnatých dřevin se u nich vyskytuje více typů buněk, a proto je jejich stavba složitější. Obsahují cévy (tracheje), tracheidy (cévice), dřevní vlákna (libriformní vlákna) a parenchymatické buňky.

Cévy (tracheje) jsou vodivými elementy typické pro listnaté dřeviny. Množství i rozměry cév v kmenu se liší podle typu dřeviny. Na R řezu jsou u nich pozorovány zbytky přehrádek tzv. perforace, které mohou být jednoduché (ve tvaru prstence) nebo složené (schodovité, žebříčkovité nebo síťovité). U některých druhů listnatých dřevin se na stěnách cév vyskytují ztluštěniny zvyšující mechanickou pevnost cév. V jádrovém dřevě mohou být cévy vyplněny různými látkami (oleje, gumy, anorganické soli apod.) a mohou obsahovat i vakovité útvary znemožňující vodivost tzv. thyly.

Tracheidy mají mechanickou a vodivou funkci. Jsou to doplňkové elementy a rozdělují se na cévovité (podlouhlé buňky s dvojtečkami, vodivá funkce), vazicentrické (krátké buňky, částečně vodivá funkce) a vláknité tracheidy (dlouhé buňky, přechodný typ mezi libriformními vlákny a tracheidami, mechanická funkce).

Libriformní vlákna jsou protáhlé buňky zastupující mechanickou funkci. Na **P** řezu jsou rozpoznatelné jako malé útvary o 4-6 stranách. Jejich délka se liší podle druhu dřeviny a pohybuje se mezi 0,2 a 2 mm. Nejsou však příliš významná při určování dřevin.

Parenchymatické buňky mají v porovnání s těmi u jehličnatých dřevin rozmanitější tvary a tvoří větší podíl obsahu (8-35 %). Mohou být uloženy jak podélně v kmenu (podélný parenchym), tak i kolmo na osu kmene (radiální parenchym a dřeňové paprsky). *Podélný (axiální) parenchym* zastupuje zásobní funkci a jeho charakteristická seskupování pomáhají určit některé druhy dřevin. Dřeňové paprsky mají vodivou i zásobní funkci a jsou tvořeny morfologicky odlišnými buňkami. Pozorují se zejm. jejich kontakty s tracheidami nebo cévami tzv. křížová pole. Podle těchto kontaktů se dřeňové paprsky člení na kontaktní, izolační a kontaktně-izolační. Podle tvarů buněk se pak rozlišují na homogenní a heterogenní dřeňové paprsky. U malé skupiny dřevin vznikají seskupením menších dřeňových paprsků tzv. nepravé dřeňové paprsky [1].



Obr. 6: Mikroskopická stavba listnatého dřeva: 1 – letokruh, 2 – jarní céva, 3 – letní céva, 4 – libriformní vlákno, 5 – dřeňový paprsek, 6 – podélný parenchym [4]

1.1.4 Zvolené typy dřev pro experimenty

Pro experimentální odstraňování toxických kovů ze dřeva byly vybrány 3 druhy dřev s odlišnými vlastnostmi - dub, smrk a lípa. Dub byl vybrán jako zástupce listnatých dřevin s velkou tvrdostí a hustotou. Smrkové dřevo patří naopak k lehkým jehličnatým dřevinám a lípa se řadí stejně jako dub k listnatým, ale jako smrk k lehkým dřevinám. Všechny tyto typy dřev se v minulosti používaly pro výrobu dřevěných předmětů a objevují se proto i mezi muzejními sbírkovými předměty.

1.1.4.1 Dub (DB)

Náleží do skupiny listnatých dřevin. Svou vysokou hustotou (680 kg.m^{-3}) a tvrdostí (67,5 MPa) spadá do skupin těžkých i tvrdých dřev. Má charakteristické uskupení letních cév vytvářejících radiální žíhání a jeho dřeňové paprsky jsou viditelné na všech řezech. Jde o jádrové dřevo s úzkou bělí (1-3 cm). Obsahuje velké množství tříslovin, díky kterým je velmi odolný a patří tak k našim nejtrvanlivějším dřevinám, a proto má široké využití. Lze jej dobře opracovávat, ale špatně se suší a je těžké jej naimpregnovat [3].

1.1.4.2 Smrk (SM)

Spadá do skupiny jehličnatých dřevin. Podle velmi malé hustoty (420 $kg.m^{-3}$) a tvrdosti (26 MPa) lze zařadit mezi lehká a měkká dřeva. Patří mezi jehličnaté dřeviny s pryskyřičnými kanálky, které jsou viditelné na řezech R a T. Jedná se o bělové dřevo. Hůře odolává biologickým škůdcům a není proto příliš trvanlivé. Také se dobře opracovává, snadno se suší, ale špatně se impregnuje. U nás patří k nejdůležitějším užitkovým dřevinám, velké využití má v nábytkářství, stavebnictví pro konstrukce, ale také pro chemické zpracování např. pro výrobu buničiny aj. [3].

1.1.4.3 Lípa (LP)

Řadí se k listnatým dřevinám a svou nízkou hustotou (475 $kg.m^{-3}$) a tvrdostí (26 MPa) k lehkým a měkkým dřevům. Je to bělové dřevo s dřeňovými paprsky zřetelnými na R řezu a z dřevin našeho území nejméně odolné proti biologickým škůdcům. Vlivem vlhka mění svou barvu do šedého až zeleného zbarvení. Veškerá manipulace jako je sušení, moření nebo impregnace lze snadno provést. Největší využití nalézá v uměleckém řezbářství a nábytkářství a ve výrobě školních pomůcek [3].

2 Těžké kovy

Tato skupina prvků nebývá v literatuře často jednoznačně definována. Svůj název nese podle vysoké hustoty (nad 5 g/cm^3) většiny prvků v ní zařazených. Ale zahrnuje i prvky s nižší hustotou a dokonce i některé polokovy. Výraznou charakteristikou většiny těchto prvků je jejich vysoká toxicita. Proto se této skupině prvků také někdy říká toxické kovy. Kvůli své toxicitě jsou pro živé organismy velmi nebezpečné (kromě tzv. mikroelementů, prvků v malé koncentraci nezbytných pro organismy) [6]. Ale ne všechny prvky zařazené do skupiny těžkých kovů jsou toxické, a proto je toto označení dosti zavádějící [7]. Všechny tyto prvky mají schopnost bioakumulace, tj. schopnost hromadit se v živých organismech jako důsledek vstupování chemické látky do potravního řetězce a mohou tak způsobovat vážná onemocnění [8]. Patří sem: arsen, olovo, měď, rtuť, zinek, nikl, kadmium a platina.

2.1 Arsen

Arsen je polokov stříbřité barvy. Nachází se v 15. skupině periodické tabulky. V přírodě není příliš rozšířen. Vyskytuje se většinou v minerálech arzenopyritu FeAsS, auripigmentu Ag_2S_2, realgaru As_4S_4a nikelinu NiAs. Je znám ve třech krystalických modifikacích. Nejstálejší α-forma má vrstevnatou strukturu, je křehká a zbarvena do šeda.

Vyrábí se tepelným rozkladem arzenopyritu (1) nebo lolingitu (2) a také redukcí oxidu arsenitého oxidem uhelnatým (3) nebo uhlíkem (4).

$$FeAsS \rightarrow As + FeS \quad (1)$$

$$FeAs_2 \rightarrow As + FeAs \quad (2)$$

$$As_2O_3 + 3CO \rightarrow 2As + 3CO_2 \quad (3)$$

$$2As_2O_3 + 3C \rightarrow 4As + 3CO_2 \quad (4)$$

Sloučeniny arsenu se využívají pro výrobu organických barviv a chemoterapeutika v lékařství, jako odchlupovací činidlo v koželužství (tzv. královská žluť), ve sklářství, jako fluorační činidlo nebo také jako silné oxidační činidlo. Zároveň se používají jako fungicidní prostředky při moření dřeva, jako insekticidy a jedy.

Nebezpečné účinky arsenu na organismy jsou zřejmé. Samotný prvek v elementární formě není příliš škodlivý, ale vlivem metabolismu dochází k jeho přeměně na oxid arsenitý (tzv. arsenik) používaný dříve jako jed. Pro člověka je totiž velmi malé množství smrtelné (kolem 130 mg) [9]. Kromě této sloučeniny jsou ostatní rozpustné sloučeniny prudce jedovaté, a proto byly některé využívány jako bojové chemické látky (např. $AsCl_3$). Při otravě se podávají tzv. cheláty – látky schopné na sebe navázat arsen nebo rozpustné soli cesia [11].

2.2 Olovo

Olovo patří mezi kovy 14. skupiny periodické tabulky. Je jedním z nejdéle známých kovů (zmínky o jeho používání jsou zaznamenány už ve Starém zákonu). Má namodralou stříbrnou barvu. Ze všech těžkých kovů je nejrozšířenější díky svým čtyřem stabilním izotopům, které jsou konečnými produkty rozpadových řad. V přírodě se ryzí vykytuje jen zřídka. Nejčastěji se nachází v minerálech galenitu PbS, cerusitu $PbCO_3$, anglesitu $PbSO_4$, massikotu PbO, aj.

Nejrozšířenější způsob výroby je oxidací galenitu. V olovářských konvertorech vzniká oxid olovnatý, který je následně redukován oxidem uhelnatým v šachtové peci (5), (6).

$$2PbS + 3O_2 \rightarrow 2PbO + 2SO_2 \quad (5)$$

$$PbO + CO \rightarrow Pb + CO_2 \quad (6)$$

Olovo se využívá zejména jako odstínění nebezpečného záření, jako obal kabelů vedoucích elektřinu, na výrobu akumulátorů, munice, apod. Sloučeniny olova mají také značný význam. Používají se při výrobě olovnatého skla, slouží jako pigmenty, silné

oxidační činidlo v pyrotechnice a sloučenina zvaná suřík je používána jako nátěrová hmota kovových povrchů. Všechny sloučeniny olova jsou vysoce toxické. Používalo se jako antidetonační (protivýbušná) přísada do benzinu. Proto se často vyskytovalo v rozborech vín, které pocházely z vinic u silnic. Při jeho otravě se z těla odstraňuje tzv. chelatací. Jedná se o fyzikálně-chemický proces, kdy se olovo z organismu naváže na komplexní sloučeninu - chelatační látku (např. EDTA – $C_{10}H_{16}N_2O_8$) [9].

2.3 Měď

Patří do 11. skupiny periodické soustavy prvků a mezi tzv. mincovní kovy. Je jedním z ušlechtilých kovů. Má červenou barvu a je měkký a tažný. Měď se používala již před 7000 lety. O 2000 let později byla objevena její schopnost tvořit s cínem tvrdé slitiny – bronzy a začala doba bronzová. Nachází se ve 2 izotopech. V přírodě se nejčastěji vyskytuje v minerálech kovelinu CuS, chalkosinu Cu_2S, chalkopyritu $CuFeS_2$, kupritu Cu_2O, malachitu $CuCO_3 \cdot Cu(OH)_2$, azuritu $2CuCO_3 \cdot Cu(OH)_2$ a také ve skalici modré $CuSO_4 \cdot 5H_2O$.

K výrobě mědi lze dojít několika způsoby. Tradiční metodou výroby je pražení chalkopyritu při 800°C. Dalším možným způsobem je také pyrometalurgická výroba (7).

$$4\ CuFeS_2 + 15O_2 \rightarrow 2CuSO_4 + FeO_3 + 2SO_2 \qquad (7)$$

Měď se hojně využívá zejména na výrobu elektrických vodičů. Řadí se k nejvíce používaným technickým kovům. Společně s některými dalšími kovy, jakými jsou např. zinek a cín, vytváří hojně využívané slitiny – bronz a mosaz. S cínem a stříbrem také vytváří slitinu používanou jako dentální amalgám. Její slitiny byly také v historii a nyní stále jsou používány pro výrobu mincí [11]. Při tzv. Willsonově chorobě dochází k akumulaci mědi v těle vlivem nedostatku enzymu pro její transport. K odstraňování mědi z těla se používá, stejně jako u olova, chelatace [9].

2.4 Rtuť

Rtuť je prvkem 12. skupiny periodické tabulky. Poprvé byla izolována ze sulfidu rtuťnatého (tzv. rumělky) již před 2500 lety. Jedná se o ušlechtilý kov, jako jediný kapalný při normální laboratorní teplotě a s nejnižšími teplotami bodu varu a tání ze všech kovů vůbec. V přírodě se výjimečně vyskytuje i v ryzí podobě, ale nejčastěji v minerálu cinnabaritu HgS (rumělka), livingstonitu $HgSb_4S_8$, **laffittitu** $AgHgAsS_3$, **montroyditu** HgO, **coloradoitu** HgTe a dalších.

Výroba rtuti se dříve prováděla oxidačním pražením cinnabaritu za vzniku oxidu siřičitého a rtuti (8).

$$HgS + O2 \rightarrow SO_2 + Hg \quad (8)$$

Dalším způsobem výroby je pražení cinnabaritu bez přístupu kyslíku. Provádí se v retortách a pomocí vápna nebo železa je rtuť vyredukována (9), (10).

$$4HgS + 4CaO \rightarrow 4Hg + 3CaS + CaSO_4 \quad (9)$$

$$HgS + Fe \rightarrow Hg + FeS \quad (10)$$

Rtuť lze vyrobit i mokrou cestou, ale této metody se příliš nevyužívá. Práškový cinabarit je rozpuštěn v roztoku sulfidu sodného a poté je rtuť vysrážena hliníkem (11), (12).

$$HgS + Na_2S \rightarrow HgS{\cdot}Na_2S \quad (11)$$

$$3HgS{\cdot}Na_2S + 8NaOH + 2Al \rightarrow 3Hg + 6Na_2S + 2NaAlO_3 + 4H_2O \quad (12)$$

Rtuť je využívána zejména ve svých sloučeninách. Používají se zejména jako laboratorní činidla při důkazových zkouškách a v mnoha analytických metodách. Další možné využití nachází tyto sloučeniny ve farmacii a tzv. červená rtuť by mohla sloužit ke konstrukci nukleární bomby. Jak ryzí rtuť, tak všechny její sloučeniny jsou velmi toxické [11].

2.5 Zinek

Zinek je kov 11. Skupiny periodické tabulky s namodralou stříbřitou barvou. Jeho první příprava byla provedena ve 13. Stol. v Indii. Ale již dříve se používala slitina zinku s mědí – mosaz. Tvoří 5 stabilních izotopů a uměle bylo v laboratoři vytvořeno 35 dalších radioaktivních. V přírodě se nachází ryzí i v minerálech jako jsou např. smithsonit $ZnCO_3$, sfalerit ZnS, zinkit ZnO, hemimorfit $Zn_2SiO_4 \cdot H_2O$, leiteit $ZnAs_2O_4$, **zinkochromit** $ZnCr_2O_4$, aj.

Dříve se výroba zinku prováděla tzv. „převalováním“ křemičitanových a uhličitanových zinkových rud v muflových pecích. Při této činnosti docházelo k redukci oxidu zinečnatého uhlíkem (koksem). Dnes se používá elektrolytický způsob s rozpouštěním oxidu zinečnatého v kyselině sírové za vzniku vysoce čistého kovu.

V praxi se zinek hojně využívá k pozinkování železných povrchů (jako antikorozní vrstva), k výrobě suchých článků nebo jako příměs při výrobě slitin a lze ho použít při přípravě vodíku. Jeho sloučeniny slouží jako pigmenty v restaurování, textilní mořidla, při výrobě plastů i v pyrotechnice. Patří mezi tzv. mikroelementy a je tedy pro lidský organismus v malém množství nezbytným prvkem [11].

2.6 Nikl

Nikl je stříbrobílý kov s feromagnetickými vlastnostmi. Patří do skupiny prvků zvaných triáda železa (společně se železem a kobaltem). Reaguje se zředěnými minerálními kyselinami a naopak s vodnými zásaditými roztoky ne. Lze ho pasivovat koncentrovanou HNO_3 [17]. Jeho atomová relativní hmotnost je 58,6934, teplota tání 1453 °C a teplota varu 2913°C [19]. Nejčastěji se vyskytuje v oxidačním stupni II. Také se může vyskytovat v oxidačním stupni III, IV a vzácně i I v komplexních sloučeninách.

V přírodě se nachází ryzí i v minerálech, jakými jsou zejména nikelin NiAs, pentlandit $(Ni, Fe)_9S_8$, breithauptit NiSb a také bunsenit NiO, millerit NiS, annabergit $Ni_3(AsO_4)_2 \cdot 8H_2O$ a další.

Výroba niklu se nejčastěji provádí tzv. Orfordovým procesem. Niklová ruda je tavena za přítomnosti síranu sodného a koksu. Vzniklý oxid niklu je pak redukován uhlíkem (13), (14).

$$2Ni_3S_2 + 7O_2 \rightarrow 6NiO + 4SO_2 \quad (13)$$

$$NiO + C \rightarrow Ni + CO \quad (14)$$

Dalším způsobem je mokrá cesta, kdy je ruda redukována vodním plynem a poté loužena v roztoku uhličitanu amonného.

Nikl a jeho sloučenina s mědí tzv. Monelův kov se využívají při práci s fluorem a fluoridy xenonu díky schopnosti niklu pokrýt se dále nereaktivní vrstvou NiF_2 [11].

2.7 Kadmium

Kadmium je lesklý kov bílé barvy a náleží do 12. skupiny periodické tabulky. Svými chemickými vlastnostmi se podobá zinku. Poprvé bylo izolováno roku 1817 z minerálu smithsonitu. V přírodě existuje celkem 8 izotopů kadmia. Zpravidla ho můžeme nalézt jako příměs v rudách zinku a olova. Jsou však známy i minerály kadmia jako jsou monteponit CdO, kadmoselit CdSe, otavit $CdCO_3$ a hawleyt CdS.

Pro výrobu kadmia se používají dva možné postupy. Oba využívají odpadní produkty vzniklé po rafinování zinku. První způsob je mokrou cestou - loužením kyselinou sírovou, následnou redukcí zinkem a opakováním loužení. Nakonec je samotné kadmium o vysoké čistotě získáno elektrolyticky. Druhý způsob je frakční destilací v litinových retortách.

Stejně jako zinek se i kadmium hojně využívá na pokovování jiných kovů jako antikorozních vrstev nebo jako příměs do slitin pro zlepšení jejich vlastností. Sloučeniny se používají jako pigmenty, detektory gama a infračerveného záření, při výrobě zářivek a luminoforů, v pyrotechnice, apod. [11].

2.8 Platina

Platina je kov skupiny označované jako Platinové kovy (společně s palladiem, rhodiem, iridiem, osmiem a rutheniem). Má šedobílou barvu a je tažná a kujná. Patří mezi ušlechtilé kovy. Poprvé byla objevena v Kolumbii roku 1736. Obecně platinové kovy jsou v zemské kůře velmi vzácné, a proto lze platinu jen těžko nalézt v přírodě. Existuje však několik minerálů obsahujících tento kov. Jsou to například nigglit PtS, sperrylit $PtAs_2$, sudovikovit $PtSe_2$, feroniklplatina Pt_2FeNi nebo brigit (Pt, Pd, Ni)S.

Nejčastěji se platina vyrábí z namleté rudy rozpouštěné v lučavce královské. Tímto procesem je ruda zbavována osmia a iridia. Následně je zbylý roztok očištěn o ostatní kovy za účinku hydroxidu vápenatého. Nakonec je zbytek vyžíhán a po promytí kyselinou chlorovodíkovou vzniká surová platina. Méně využívaný m způsobem výroby platiny je pak také vícestupňová extrakce odpadních produktů z rafinace Cu, Ni nebo Zn.

Použití platiny je významné zvláště ve zdravotnictví (výroba chirurgických nástrojů), ve šperkařství nebo jako uchovatel peněz. Také slouží k výrobě odporových drátů, laboratorních pomůcek, stínítek pro rentgenové přístroje, jako katalyzátor chemických reakcí a mnoho dalších [11].

3 Kontaminace dřevěných artefaktů

Z důvodu vysoké náchylnosti k napadení škůdci, jakými jsou hmyz, plísně, houby a další, je nutné dřevo řádně chemicky ošetřit. Jinak dochází k výraznému poškození stavby dřeva, barevným změnám a dalšímu šíření na ostatní předměty. K tomuto účelu se používají látky, které hmyz vypudí nebo zahubí, odstraní plísně a houby a slouží následně jako preventivní ochrana. Bohužel tyto prostředky samy obsahují látky škodlivé pro dřevo. Narušují dřevěnou strukturu a některé jsou také škodlivé pro člověka [12].

3.1 Poškození dřeva

Dřevo může být poškozeno mnoha způsoby vlivem rozmanitých příčin. Poškození jsou rozdělena na chemické (poškození hlavních složek dřeva) a fyzikálně – mechanické (tab. 1)

Narušení dřeva z chemické stránky (koroze polymerů dřeva) má vliv i na mikroskopickou a makroskopickou stavbu a dochází k větším změnám vlastností než při poškození se začátkem až u mikroskopické nebo makroskopické úrovně.

Tab. 1: Typy poškození dřeva [12]

Poškození	Degradační/ korozní činitel
I. Poškození hlavních složek dřeva – Koroze dřeva	
Hydrolytické, dehydratační, oxidační reakce a jiné rekrystalizace	Agresivní chemikálie: Imise (SO_2, NO_X) Kyseliny a zásady Anorganické soli (fungicidy, retardéry, hoření)
Hydrolytické, dehydratační a termooxidační reakce	Termické účinky: zvýšená teplota a hoření
Fotooxidační reakce (lignin)	UV záření
Biochemické reakce katalyzované enzymy hub	Dřevokazné houby (hnědá a bílá hniloba)
II. Fyzikálně-mechanické poškození dřeva – Degradace dřeva	
Mechanické trhliny	Změna vlhkosti a teploty
Makroskopické otvory, Ohlodávání	Hmyz, měkkýši a savci
Změna barvy	Dřevozbarvující a mikroskopické houby
Poškození ztenčenin a buněčných stěn dřeva	Bakterie a houby

Hydrolýza je způsobena působením vodných roztoků kyselin a bází. Nejméně odolnou složkou dřeva při této reakci jsou hemicelulózy, následují polysacharidy a nejvíce odolný je lignin. Kvůli vyššímu obsahu hemicelulóz tak je listnaté dřevo méně odolné než jehličnaté.

Fotooxidace a oxidace, které ovlivňují polysacharidickou složku dřeva nemají příliš velký efekt na poškození struktury dřeva v porovnání s jinými reakcemi. Urychlují je kationty přechodných kovů. Při účinku alkalických roztoků oxidů těžkých kovů se ale oxiduje lignin za vzniku fenoxylových radikálů a chinonových struktur až nakonec dochází k rozkladu na monomery.

Při výskytu předmětů v exteriéru mají velký vliv venkovní přírodní podmínky – vítr, UV záření, déšť, ale také emise v ovzduší a další. Tyto vlivy nejvíce narušují ligninovou složku.

Pokud je dřevěný předmět trvale vystaven delšímu působení vysokých teplot jde o termooxidaci. Rozsah poškození při ní závisí na teplotě, délce vystavení, přísunu kyslíku, vlhkosti apod. Nejvíce postihuje hemicelulózy. Hořením je označována termooxidace, při které se uvolňuje teplo a světlo a dřevo se rozkládá na vodu a oxid uhličitý.

Degradace dřeva vzniká působením fyzikálního poškození (např. změnou obsahu vlhkosti dřeva kvůli změně teploty a vlhkosti okolí nebo působením některých rozpouštědel). Projevuje se viditelnými rozměrovými změnami a snížením mechanických vlastností.

Biokoroze je poškození dřeva způsobené činností bakterií napadajících hemicelulózy a celulózu (lignin naprosto odolný). Není tak škodlivá jako činnost hub a hmyzu, ale dochází k barevným změnám, zhoršení pevnosti a zvýšení propustnosti.

Houby poškozují dřevo více než bakterie. Obsahují enzymy, díky kterým mohou přijímat potřebné živiny z polysacharidů a ligninu. Napadají dřevo jen za určitých podmínek – kombinaci vlhkosti e teploty vzduchu (RV = 30-35 % a t = 20-25°C).

Hmyz napadá dřevo kvůli potřebě útulku, potravy a místa na kladení vajíček. Vytváří ve dřevě úzké chodbičky a tak klesá hmotnost i pevnost dřeva. Nejčastějšími hmyzími škůdci jsou brouci z čeledí červotočovití, hrbohlavovití a tesaříci [20].

Poškození bývá často vázáno na podmínky uložení předmětů, proto je důležité věnovat správnému prostředí dostatek péče. Rovněž by nemělo být opomenuto ošetření chemickými prostředky, které mohou výrazně zvýši odolnost dřeva vůči faktorům poškození [12].

3.2 Prostředky na ochranu dřeva

V dnešní době lze vybírat prostředky na ochranu dřeva z velkého množství prostředků. které se stále mění a vylepšují. Nejčastější prostředky jsou biocidy[2] nebo tvořeny kombinací několika biocidů a často obsahují i povrchově aktivní látky – barviva, pigmenty, pojiva či fixativa. Rozdělují se na *fungicidy* a *insekticidy*. Zatímco fungicidy zastavují životní aktivitu hub, insekticidy jsou přípravky proti hmyzu. Fungicidní látky se většinou skládají z anorganických solí (Cu^{2+}, BO_3^{3-}, F^-, SiF_6^{2-}), komplexních organických sloučenin kovů, polyaromatických sloučenin (uhlovodíků, derivátů fenolu aj.), kvartérních amoniových sloučenin a organických sloučenin s obsahem dusíku, síry nebo obou. Insekticidy obsahují většinou chlorované uhlovodíky, pyretroidy, karbamáty, organofosfáty a toxické plyny (kyanovodík, metylbromid a další). Také se používají netoxické hormonální insekticidy, které narušují vývojová stádia hmyzu [12].

Součástí ochranných prostředků na dřevo však jsou často i těžké kovy. Ty samotné jsou ale pro dřevo i pro člověka škodlivé. Ukládají se ve struktuře, narušují ji a při vylučování mohou škodit lidskému zdraví. Zejména v historii se používaly nevhodné prostředky, např. extrémně toxické chemikálie s obsahem arsenu než bylo jejich používání zakázáno. Často se také objevovaly sloučeniny se rtutí, nejvíce ve formě chloridu rtuťnatého, zinek ve dvou formách – fosfidu zinečnatého (znám jako Arrex) a hexafluorokřemičitanu zinečnatého, boritany, organofosfáty, sloučeniny síry nebo velmi často užívané DDT ($C_{14}H_9C_{l5}$) [13].

3.2.1 Škodlivé účinky pro lidský organismus

Tyto látky bývají bohužel často jedovaté pro živé organismy a tedy i pro člověka. Jedem se označují látky, které narušují organismus. Do těla se dostávají vdechnutím, dotykem nebo polknutím. Mohou způsobovat okamžité zdravotní problémy nebo se jejich vliv projeví až po delší době (např. vznik rakoviny, neplodnost apod.). Při vystavení těmto vlivům ale nejvíce záleží na množství látky, době expozice nebo také na imunitě organismu. Některé látky jsou toxické jen ve velkém množství (např. sůl) a jiné už v malém množství jako např. arsen. Jeho účinky jsou smrtelné v dávkách od 1 mg. Jinak může způsobit vážná onemocnění, jakými jsou chronické

[2] Biocidy jsou látky přírodního nebo syntetického původu rozkládající živé organismy (zejm. mikroorganismy) [13].

selhání ledvin, srdeční arytmii, mrtvici, neuropatii nebo koma a další. Arsen býval součástí biocidů a i dnes bývá ve formě arsenitanu sodného v prostředcích na ošetření různých povrchů.

Dalším těžkým kovem používaným v prostředcích na ochranu různých materiálů je měď. I tento prvek může při vyšších dávkách způsobit vážná onemocnění jako je selhání ledvin, kolaps a při chronickém vystavení vlivu mědi dochází k dýchacím potížím, gastrointestinálním problémům, poruchám nervového systému až ke změnám duševního zdraví.

Až v poslední době po získání nových poznatků se začíná klást větší důraz na odstraňování starších prostředků na ochranu ze dřeva i z jiných materiálů. Před začátkem těchto procesů je ale nejprve nutné analyzovat, zda je toxický kov přítomen. K tomu slouží různé zkoušky [14].

3.2.2 Zkouška přítomnosti arsenu

Přítomnost arsenu lze zjistit následující reakcí. Nejprve je vytvořen plynný vodík (z práškového zinku a koncentrovaného roztoku chlorovodíku) (15). Pokud je přítomen i arsen, vzniká hydrid arsenitý (16), který se dá identifikovat pomocí papírku s naneseným bromidem rtuťnatým zabarvením do žluta až hněda (17) [14].

$$Zn(s) + 2HCl(aq) \rightarrow 2H^{+}(g) + ZnCl_2(aq) \quad (15)$$

$$As^{3+}(aq) + 3H^{+}(g) \rightarrow AsH_2(g) \quad (16)$$

$$AsH_3(g) + HgBr_2(aq) \rightarrow As(HgBr)_3(aq) + HBr \quad (17)$$

3.2.3 Zkouška přítomnosti Cu^{2+}

Zkouška na přítomnost kationtu mědnatého se provádí pomocí speciálně upraveného papírku Cuprotesmo navlhčeného v deionizované vodě, který je položen na zkoumaný předmět. Při přítomnosti mědi se papírek zbarví do růžova [14].

$$Cu^{2+} + \text{testovací papírek} \rightarrow \text{růžově zbarvený komplex}$$

4 Analytické metody použité při výzkumu

4.1 Spektrofotometrie

Spektrofotometrie je jedna ze základních analytických spektrometrických metod pro zjišťování koncentrace roztoku. Je založena na principu pohlcování (absorpci) elektromagnetického záření nejčastěji v ultrafialové (UV, o vlnové délce λ = 190 - 400 nm) nebo viditelné části spektra (VIS, o vlnové délce λ = 400 - 800 nm) molekulami v roztocích [15]. Molekuly všech látek se vyskytují v určitých kvantových stavech se specifickou energií. Pokud molekuly absorbují záření, dochází k excitaci valenčních elektronů z molekulových orbitalů a vzniká charakteristické absorpční spektrum [16]. Toto spektrum slouží k identifikaci látek (zejm. organických) a skládá se z několika absorpčních pásů, jež jsou určeny pomocí maxima, absorbancí v maximu a tvarem. Vyjadřuje také závislost absorbance (absorpce) na vlnové délce (frekvenci) [15].

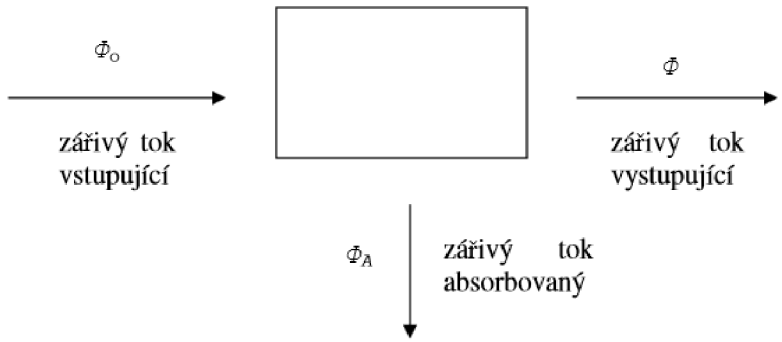
Měření absorpce záření se provádí na absorpčních spektrofotometrech. Skládají se zpravidla ze čtyř částí – ze zdroje záření, monochromátoru, absorpčního prostředí a detekčního systému. Jako zdroj se používá wolframová nebo halogenová žárovka. Monochromátor slouží k rozkladu paprsku světla skleněným hranolem nebo reflexní mřížkou a je tvořen vstupní a výstupní štěrbinou. Jako absorpce prostředí funguje skleněná kyveta s měrným roztokem. Detekční systém je tvořen detektorem, který tok záření převede na elektrický signál. Ten je pak dál zpracován v zesilovači a nakonec vystupuje jako číselný údaj na digitálním displeji [15].

Při měření je na kyvetu s měřeným roztokem mířen zářivý tok (Φ_O). Při průchodu vzorkem je část tohoto záření pohlcena (absorbována) molekulami a vystupující tok záření (Φ) je proto menší (viz obr. 7). Tyto hodnoty se následně dosazují do vzorce pro výpočet transmitance $\boldsymbol{\tau}$ (podíl zářivého toku vstupujícího a vystupujícího) [15].

$$\tau = \frac{\Phi}{\Phi_O}$$

Z tohoto vztahu je odvozen vzorec pro výpočet absorbance $\boldsymbol{A}$, která se vypočítá jako záporný logaritmus transmitance.

$$A = -\log\tau = \log\frac{\Phi_0}{\Phi}$$



Obr. 7: Princip spektrofotometru [16]

U dvoupaprskového spektrofotometru jsou využívány hodnoty průchodu paprsku dvěma kyvetami zároveň. V jedné je slepý vzorek (blank, používá se destilovaná voda) a ve druhé vzorek o neznámé koncentraci. Naměřené hodnoty jsou pak porovnávány. Při použití jednopaprskového spektrofotometru je nutné změřit nejprve vystupující světelný tok slepého vzorku (blank) s nulovou absorpcí a tato hodnota je uložena do počítače. Následně jsou měřeny vzorky s neznámou koncentrací a jejich absorbance jsou porovnávány s uloženou hodnotou slepého vzorku.

Esenciální složkou spektrofotometrie je její kvantitativní analýza. Ta je založena na tzv. Lambert-Beerově zákoně. Podle něj je v případě měření jedné absorbující látky a nízké koncentraci (cca do 10^{-2} mol·l^{-1}) hodnota absorbance při dané vlnové délce přímo úměrná koncentraci měrného roztoku. Konstanta úměrnosti je součin tloušťky

měřené vrstvy b v cm a molárního absorpčního koeficientu při stejné vlnové délce o rozměru 1 $mol^{-1} \cdot cm^{-1}$.

$$A_\lambda = \varepsilon_\lambda \mathrm{b\ c} = \mathrm{k} \cdot \mathrm{c}$$

Z naměřené absorbance lze proto podle tohoto vztahu vypočítat koncentraci měrného roztoku.

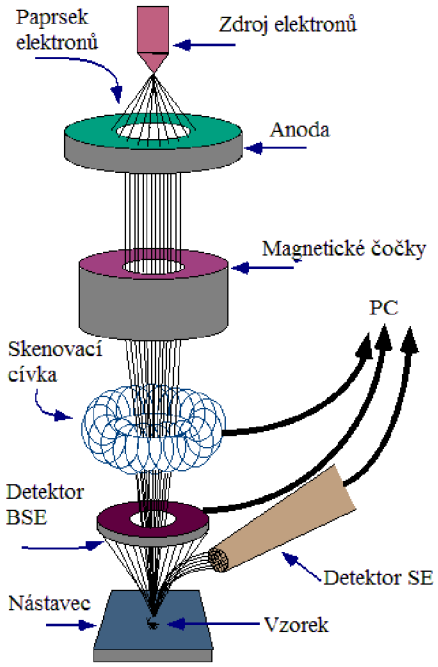
Před samotným měřením je nutné zhotovit nejprve tzv. kalibrační křivku. Absorbance několika roztoků zkoumané látky o známých koncentracích je změřena na spektrofotometru a naměřené hodnoty jsou vynášeny do grafu, aby vytvořily lineární křivku. Následující naměřené hodnoty absorbance měřených roztoků jsou pak vynášeny na tuto křivku a hodnoty molární koncentrace lze vyčíst z grafu. Hodnoty absorbance se také dosazují do rovnice kalibrační křivky, ze které rovněž vyjde hodnota koncentrace [15].

4.2 SEM a EDX analýzy

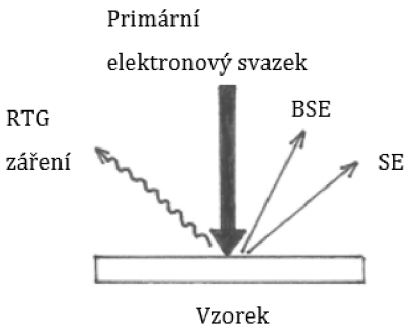
Skenovací (rastrovací) elektronová mikroskopie (SEM, scanning electron microscopy) patří společně s energiově disperzní rentgenovou spektroskopií (EDX nebo EDS, energy X-ray dispersive spectroscopy) k několika nejpoužívanějším metodám pro prvkovou analýzu a zkoumání povrchů různých materiálů [17].

Skenovací elektronový mikroskop (obr. 8) používá zvětšení vzorku až 1 000 000. Princip této metody je založen na snímání povrchu paprskem elektronů, který je ze zdroje vypuštěn za vysokého napětí (většinou kolem 5-30 kV) a mířen na povrch vzorku pomocí soustavy čoček. Průchod svazku elektronů ze zdroje k povrchu vzorku je znázorněn na obr. 9. Při dopadu svazku na vzorek reagují tyto elektrony s elektrony v atomech prvků vyskytujících se na zkoumaném povrchu. Vyslané elektrony způsobí odraz tzv. zpětně odražených elektronů (BSE) a tzv. sekundárních elektronů (SE) (obr. 10). Zpětně odražené elektrony obsahují informace o chemickém složení a vytváří tak obraz materiálového kontrastu. Pro jejich zachycení slouží detektor uložený v tubusu mikroskopu [18]. Sekundární elektrony podávají sdělení o členitosti povrchu vzorku. Zároveň vzniká při odrazu elektronů rentgenové záření, které je jedinečné pro každý prvek. K analyzování rentgenového záření se používá nejčastěji EDX nebo také WDS (vlnově disperzní spektroskopie). WDS je sice přesnější, ale pro analýzu je nutné mít k dispozici záznamy typických vlnových délek všech prvků. Proto bývá častěji využíván EDX analyzátor [19].

Obr. 8: Skenovací elektronový mikroskop [18]



Obr. 9: Skenovací elektronový mikroskop - průchod svazku elektronů ze zdroje k povrchu zkoumaného vzorku [20]



Obr. 10: Princip SEM – odražené BSE a SE za vzniku rentgenového záření [18]

EDX se také někdy jinak označuje jako EDXA (energy dispersive X-ray analysis) nebo EDXMA (energy dispersive X-ray microanalysis). Tato metoda bývá používaná pro prvkovou analýzu povrchu vzorku. Je založena na schopnosti každého prvku vytvářet unikátní sadu hodnot na rentgenovém emisním spektru díky jedinečné atomové struktuře [17]. Je schopna měřit do hloubky 1-2 µm [21].

Pro zkoumání vzorků metodou SEM musí daný vzorek splňovat několik kritérií: na jeho povrchu nesmí být žádná cizorodá částice (např. prachová), měl by být stabilní ve vakuu i po ozáření paprskem elektronů, musí produkovat dostatek sekundárních elektronů, a nesmí docházet k nabíjení povrchu vzorku při expozici primárních elektronů. Pro pozorování organických vzorků, bývá nejčastěji problém obsah vody ve vzorku. Proto je nutné ji před měřením odstranit. Pro přípravu vzorků je nutné odebrat dostatečně malý kousek s rovným povrchem. Ideální rozměry vzorku jsou cca 1x1 cm o šířce 1-2 mm [22].

Po přípravě jsou tyto vzorky vkládány do naprašovací komory, kde dochází k elektrickému zvodivění povrchu pomocí magnetronového naprašování uhlíkem nebo zlatem. Pak mohou být vzorky vloženy do komory skenovacího mikroskopu. Ten je napojen na počítač, na kterém je možné zpracovávat snímaný obraz.

Praktická část

V praktické části byly místo sbírkových předmětů použity modelové vzorky dřev. Zvoleny byly vzorky tří typů dřev – smrku, dubu a lípy. U nich byla provedena simulační kontaminace modrou skalicí ($CuSO_4 \cdot 5H_2O$). Tato látka měla zastupovat kontaminaci těžkými kovy a byla zvolena pro svou malou toxicitu a snadnou dostupnost. Pro přehlednější popis postupů při experimentech byly vytvořeny zkratky vzorků dřev podle typu dřeva a druhu postupu, který na ně byl aplikován.

Tab. 2: Použité názvy vzorků

Zkratka	**Vzorek**
SM 1	vzorek smrkového dřeva namočený v 5 % roztoku po 1 týden
SM 2	vzorek smrkového dřeva namočený v 5 % roztoku po 2 týdny
SM 3	vzorek smrkového dřeva namočený v 5 % roztoku po 1 měsíc
DB 1	vzorek dubového dřeva namočený v 5 % roztoku po 1 týden
DB 2	vzorek dubového dřeva namočený v 5 % roztoku po 2 týdny
DB 3	vzorek dubového dřeva namočený v 5 % roztoku po 1 měsíc
SM H_2O	vzorek SM 3 vyluhovaný v destilované vodě
DB H_2O	vzorek DB 3 vyluhovaný v destilované vodě
LP 1, 2, 3	vzorky lipového dřeva namočené v 5 % roztoku skalice modré po 1 týden
LP H_2O	vzorek LP 1 vyluhovaný v destilované vodě
SM 4	vzorek smrkového dřeva namočený v koncentrovaném roztoku skalice modré po 1 týden
DB 4	vzorek dubového dřeva namočený v koncentrovaném roztoku skalice modré po 1 týden

LP 4	vzorek lipového dřeva namočený v koncentrovaném roztoku skalice modré po 1 týden
SM 4 H_2O	vzorek SM 4 vyluhovaný v destilované vodě po 1 týden
DB 4 H_2O	vzorek DB 4 vyluhovaný v destilované vodě po 1 týden
LP 4 H_2O	vzorek LP 4 vyluhovaný v destilované vodě po 1 týden

5 Experiment se dvěma druhy dřevěných vzorků

Pro experimentální ověřování snížení kontaminace kovy byl zvolen roztok modré skalice ($CuSO_4 \cdot 5H_2O$). Nejprve bylo nutné připravit modelové vzorky různých typů dřev a zavést do jejich struktury kov. Bylo zhotoveno šest vzorků dřeva ve tvaru kvádru. Tři z nich pocházely ze dřeva smrkového a zbylé tři z dubového. Před použitím byly vzorky zváženy (tab. 1) a vyfotografovány (Příloha 1 a 2).

Následně bylo namícháno 1200 ml 5 % roztoku skalice modré z navážky 63,15 g soli. Ten byl rozlit do šesti stejných kádinek po 200 ml, do každé z nich byl ponořen jeden vzorek dřeva a kádinka byla zakryta Parafilmem "M". Po vytažení vzorků z roztoků po určité době (jednom, dvou nebo čtyřech týdnech) byly na takto uměle kontaminované vzorky aplikovány různé metody snižování obsahu kovů usazených ve dřevě.

5.1 Vzorky SM a DB

První vzorky **SM 1** a **DB 1** byly z roztoku vytaženy po jednom týdnu, vzorky **SM 2** a **DB 2** po dvou týdnech a vzorky **SM 3** a **DB 3** po jednom měsíci naložení do kontaminačních roztoků modré skalice. Dřevěné kvádry byly vloženy do sušárny a sušeny při teplotě 60 °C po tři dny. Po uplynutí této doby byly vzorky ponechány položené na laboratorním stole na filtračním papíře po jeden týden, aby nasály normální vlhkost vzduchu při laboratorní teplotě. Následně byly vzorky opět zváženy a výsledky srovnány s počáteční hmotností (tab. 3).

Ze všech zbylých kontaminačních roztoků bylo vždy odebráno po 10 ml na odpaření na magnetické míchačce. Po odpaření vody z roztoku byl zbylý odparek ponechán na stole v laboratoři po jeden týden, aby nabral potřebnou vodu ze vzduchu. Tyto odparky roztoků byly rovněž zváženy a porovnány s vypočítanou hodnotou navážky pro 10 ml 5 % roztoku skalice modré (tab. 4).

Tab. 3: Hmotnosti vzorků před (hmotnost 1) a po namočení (hmotnost 2) do roztoku skalice modré

	Dřevo	**Hmotnost 1**	**Hmotnost 2**	**Podíl hmotnosti 2 a hmotnosti 1 [%]**
Vzorky č. 1	**SM 1**	40,85 g	40,95 g	100,24
	DB 1	80,56 g	79,42 g	98,58
Vzorky č. 2	**SM 2**	42,20 g	42,59 g	100,92
	DB 2	79,81 g	78,31 g	98,12
Vzorky č. 3	**SM 3**	42,61 g	42,88 g	100,63
	DB 3	81,23 g	79,73 g	98,15

5.1.1 Vyhodnocení a diskuze:

Rozdíly hmotností vzorků dřeva **SM** před experimentem (hmotnost 1) a po něm (hmotnost 2) ukazují, že všechny tři vzorky zvětšily svou hmotnost. Lze soudit, že vzorky SM tedy do své struktury nejspíše absorbovaly alespoň malé množství modré skalice. Naproti tomu vzorky **DB** vážily méně po experimentu než před ním. Příčinou by mohla být přítomnost tříslovin v dubovém dřevě, které lze vyluhovat. Proto se ze vzorků **DB** vyluhovalo větší množství látek, než jaké bylo absorbováno do struktury dřeva z roztoku skalice modré. Všechny hodnoty jednotlivých vzorků se od sebe příliš nelišily. Proto lze soudit, že nezáleží na délce doby, po kterou byly vzorky naloženy v kontaminačním roztoku. Proto není třeba při dalších experimentech louhovat vzorky pro kontaminaci déle než jeden týden.

Tab. 4: Hmotnosti odparků a jejich podíl na vypočítané hodnotě

Vypočítaná hodnota pro 10 ml 5 % $CuSO_4 \cdot 5H_2O$ je 0,5263 g soli.		
Odparky vzorku	**Hmotnost odparku [g]**	**Podíl hmotnosti odparku z vypočítané hodnoty**
SM 1	0,49	93,10
SM 2	0,52	98,80
SM 3	0,54	102,60
DB 1	0,52	98,80
DB 2	0,53	100,70
DB 3	0,49	93,10

5.1.2 Vyhodnocení a diskuze:

Také z podílu hmotností navážených odparků a vypočítané hodnoty pro 10 ml 5 % roztoku modré skalice je patrné, že se obsah soli v roztoku ve většině případů snížil. V případě odparků vzorků **SM 3** a **DB 2** se však hmotnost zvýšila. Opět lze toto navýšení přikládat extrakci látek ze vzorků dřeva do roztoku. Tyto hodnoty však příliš nekorelují s naváženými hodnotami vzorků (tab. 2). Jelikož se ale jednalo o velmi malá množství a mohlo tak docházet k častým chybám při vážení, u dalších experimentů bylo od tohoto vážení úplně upuštěno nebo se k jeho výsledkům přihlíželo spíše orientačně.

5.2 Dekontaminace louhováním

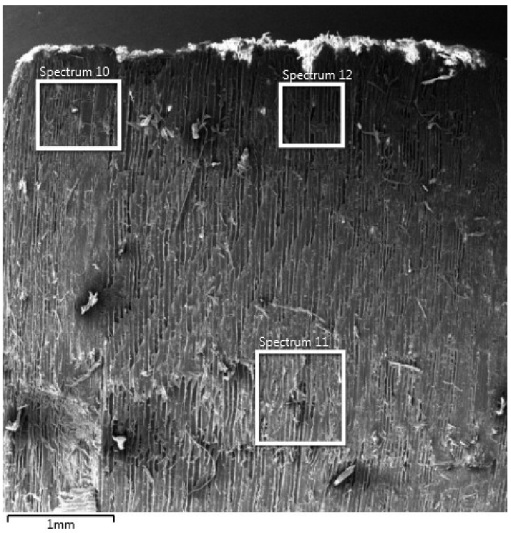
Pro snížení kontaminace byla aplikována metoda louhování vzorků dřev v roztoku chelátu a pro srovnání i v destilované vodě. Byl namíchán 10 % roztok Chelatonu III. (EDTA, $C_{10}H_{14}N_2Na_2O_8 \cdot 2H_2O$) z navážky 30,20 g soli v 302 ml destilované vody. Tento roztok byl rozlit do dvou stejných kádinek. Do nich byly naloženy vzorky **SM 2** a **DB 2** a kádinky byly zakryty Parafilmem "M" po dobu dvou týdnů. Vzorky **SM 3** a **DB 3** byly po kontaminování skalicí modrou namočeny do kádinek s 250 ml destilované vody. Kádinky byly překryty Parafilmem "M". Takto byly louhovány také po dva týdny

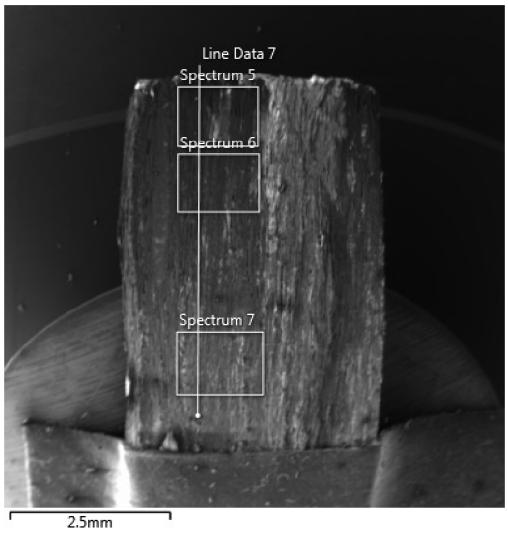
a po uplynutí této doby byly všechny čtyři vzorky vytaženy a znovu usušeny v sušárně při teplotě 60°C. Po ponechání všech vzorků na vzduchu mohly být použity pro další zkoumání na skenovacím elektronovém mikroskopu.

5.3 SEM a EDX analýzy

Ze vzorků **SM 1** a **DB 1** byly odřezány malé štěpy pro SEM. Poté byly zkoumány pod elektronovým skenovacím mikroskopem. Štěpy pro zkoumání byly odebrány z rohové části kvádru dřeva, aby bylo možné pozorovat hloubku, do jaké se nasála skalice modrá. Nejprve bylo nutné upravit tyto vzorky tak, aby se vešly do nástavce v napravovací komoře i v komoře skenovacího elektronového mikroskopu. Vzorky bylo dále nutné vyrovnat pilníkem, aby nedocházelo ke ztrátě dat, vlivem špatného odrazu elektronů. Po této přípravě byly upravené vzorky vloženy do napravovací komory Quorum Q150R ES pro elektrické zvodivění vzorků. Po odsátí vzduchu z komory napravovací komory na ně byla aplikována vrtsva Au (10 nm) pomocí magnetronu. Pak byly vzorky vloženy do komory skenovacího elektronového mikroskopu. Výsledný obraz se ukázal na počítači propojeném s mikroskopem. Dále byla použita EDX analýza. Hodnoty z EDX analýzy byly zaznamenány do tabulky (tab. 4 a 5).

Obr. 11 a 12: Snímek **SM 1** (vlevo) a snímek **DB 1** (vpravo) s vyznačenými poli pro EDX analýzu





Tab. 5: EDX analýza - nejčetnější chemické prvky na vzorku **SM 1** na obr. 11

Spectrum	C	O	Na	**S**	Cl	K	Ca	**Cu**	Total
Spectrum 10	60,19	35,55	0,69	**0,42**	0,89	1,15	0,28	**0,82**	100
Spectrum 11	59,88	36,62	0,56	**0,39**	0,72	0,86	0,23	**0,73**	100
Spectrum 12	59,32	36,33	0,57	**0,61**	0,81	1	0,24	**1,12**	100

Tab. 6: EDX analýza - nejčetnější chemické prvky na vzorku **DB 1** na obr. 12

Spectrum	C	O	Na	**S**	Cl	K	Ca	**Cu**	Total
Spectrum 5	58,44	40,09	0,11	**0,23**	0,13	0,15	0,08	**0,77**	100
Spectrum 6	58,88	40,3	0,08	**0,07**	0,09	0,11	0,1	**0,36**	100
Spectrum 7	59,57	39,69	0,12	**0,03**	0,16	0,27	0,11	**0,04**	100

5.3.1 Vyhodnocení a diskuze:

Podle výsledků z EDX analýzy se u obou vzorků (**SM 1** a **DB 1**) vyskytovalo kromě prvků běžně se vyskytujících ve struktuře dřeva (C a O) i některé další prvky zahrnující měď a síru. Co se týče ostatních prvků, byly zřejmě přítomny ve struktuře dřeva už na počátku, před experimentem. Podle malého množství síry a mědi ve struktuře lze soudit, že se sůl z roztoku modré skalice opravdu částečně absorbovala do vzorku. Čím dále se zkoumaná oblast nachází od krajní hrany vzorku, tím více se toto množství snižuje. Lze tedy soudit, že se skalice modrá nasála do dřevní struktury do hloubky až cca 5,5 mm vzorku a při průchodu dovnitř vzorku její množství klesalo.

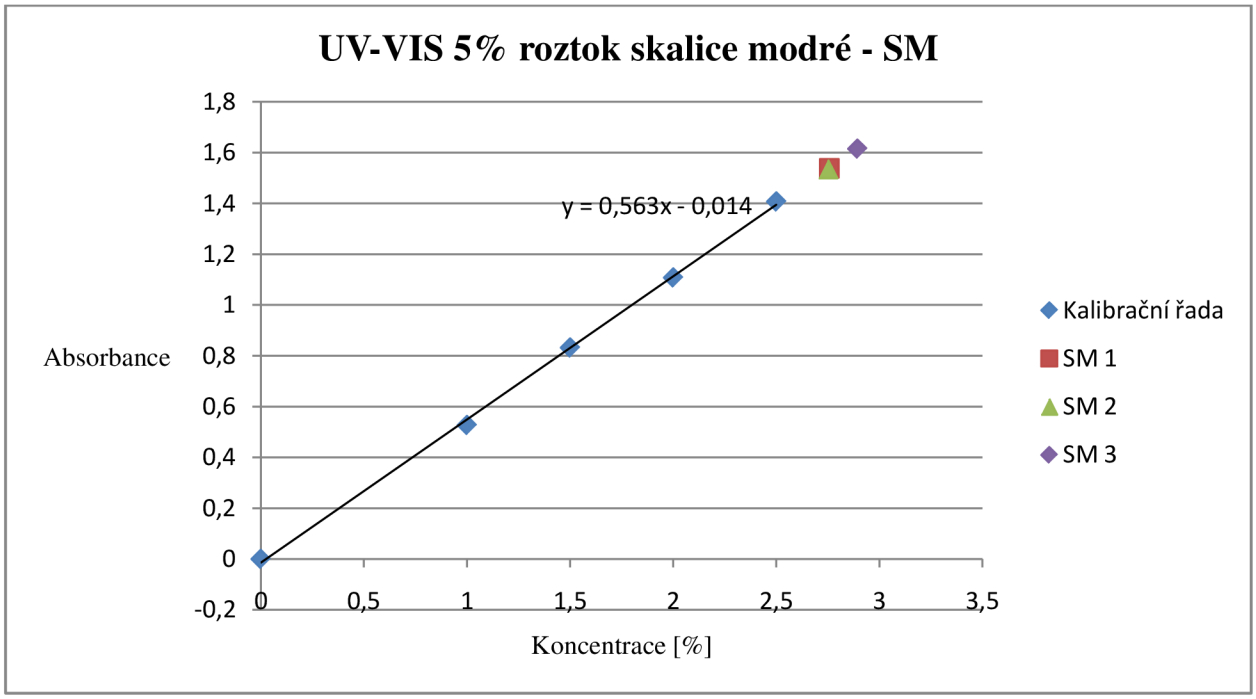
5.4 Spektrofotometrie

Roztoky použité pro naložení vzorků dřev byly měřeny na spektrofotometru SpectroVis Plus značky Vernier. Nejprve byly změřeny hodnoty absorbance kalibrační řady při vlnové délce 819,9 nm. Tyto hodnoty byly zaneseny do grafu. Pak byly změřeny jednotlivé absorbance roztoků vzorků **SM 1**, **SM 2**, **SM 3** a vzorků **DB 1**, **DB 2** a **DB 3**. Také tyto hodnoty byly zaznamenány do tabulky (tab. 7) a do grafu s kalibrační křivkou (grafy 1 a 2).

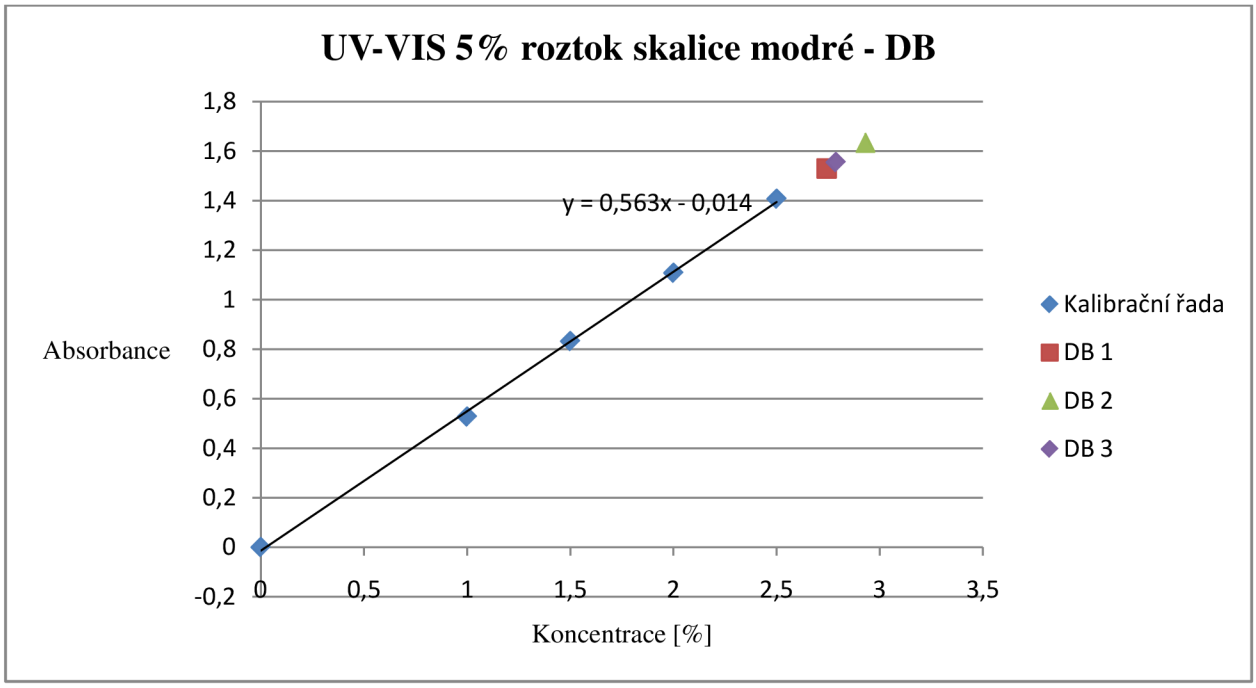
Tab. 7: Naměřené hodnoty absorbance 5 % roztoků $CuSO_4 \cdot 5H_2O$ po naložení vzorků

	SM	**DB**
Vzorek č. 1	1,538	1,530
Vzorek č. 2	1,535	1,635
Vzorek č. 3	1,615	1,555

Graf 1: Hodnoty měření koncentrací 5 % roztoků skalice modré po naložení vzorků **SM** na spektrofotometru



Graf 2: Hodnoty měření koncentrací 5 % roztoků skalice modré po naložení vzorků **DB** na spektrofotometru



5.4.1 Vyhodnocení a diskuze:

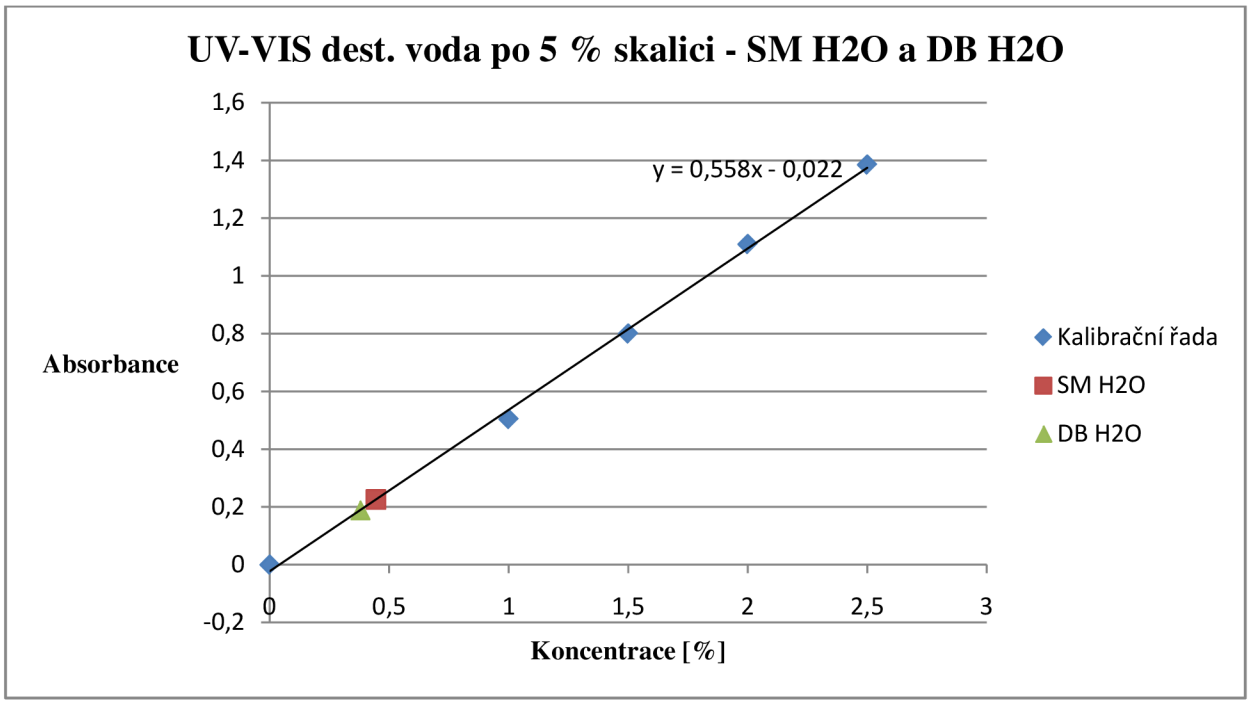
Z grafů spektrofotometrické analýzy je patrné, že se jednotlivé hodnoty absorbancí příliš nelišily, a proto byly i koncentrace těchto roztoků velmi podobné. Všechny hodnoty se pohybovaly v rozmezí od 1,530 do 1,635, a jejich koncentrace se pohybovaly v oblasti okolo hodnoty 2,8 %.

Touto spektrofotometrickou metodou byla také změřena koncentrace destilované vody, ve které byly louhovány vzorky dřev po uměle vytvořené kontaminaci, a které vykazovaly známky možného vyluhování soli ze vzorků. Hodnoty (tab. 8) byly opět vyznačeny do jednoho grafu společně s kalibrační řadou (graf 3). Měření bylo provedeno pro stejnou vlnovou délku (819,9 nm).

Tab. 8: Naměřené hodnoty absorbancí roztoků na vyluhování

Vzorek dřeva	**Naměřená absorbance**
SM H2O	0,226
DB H2O	0,189

Graf 3: Hodnoty měření koncentrací destilované vody po naložení vzorků **SM H_2O** a **DB H_2O** na spektrofotometru



5.4.2 Vyhodnocení a diskuze:

Jelikož byla destilovaná voda po vzorcích **SM H_2O** a **DB H_2O** výrazně modře zbarvena, byla u těchto roztoků změřena koncentrace mědnatých kationtů (Ca^{2+}). Podle výsledných hodnot v tabulce z měření na spektrofotometru je patrné, že se do destilované vody uvolnilo množství skalice modré uložené ve vzorcích, což způsobilo větší absorbanci.

5.5 Závěr

Výsledky vážení vzorků **SM 1-3** a **DB 1-3** (tab. 3) ukázaly, že pro experimentální kontaminaci vzorků dřeva není potřeba delší louhování než po dobu jednoho týdne. Naměřené hodnoty jednotlivých druhů dřev byly totiž téměř stejné a rozdíly tedy zanedbatelné. Překvapivá snížení hmotnosti vzorků **DB** byla zřejmě způsobena větším vyluhovaným množstvím tříslovin z dubového dřeva do roztoku než absorbovaného

množství skalice modré z roztoku do dřeva. Tento předpoklad dokládala i výrazná vůně roztoků, ve kterých byly vzorky dřev louhovány a také žlutozelené zabarvení roztoků (Příloha 3).

Výsledky vážení odparků po 5 % roztocích skalice modré (tab. 4), ve kterých byly naloženy vzorky **SM 1-3** a **DB 1-3** vykazují v některých případech větší množství než vypočítaná navážka v 10 ml 5 % roztoku $CuSO_4 \cdot 5H_2O$ ze stejného důvodu.

Rovněž lze podle grafů s vyznačenými hodnotami ze spektrofotometrie v UV-VIS (grafy 1 a 2) konstatovat, že se jednotlivé hodnoty koncentrací 5 % roztoků skalice modré použitých pro naložení vzorků **SM** a **DB** od sebe příliš nelišily.

Po namočení vzorků **SM 2** a **DB 2** do 10 % roztoku Chelatonu III. došlo k okamžitému zbarvení roztoků do modra, což viditelně dokazovalo vyvázání skalice ze vzorků dřev do roztoků chelatonu. U destilované vody se toto zbarvení projevilo až později.

Bylo nutné dokázat, že se také do destilované vody vyloužilo dostatečné množství soli, a proto bylo použito měření na spektrofotometru. Při měření absorbancí roztoků po vzorcích **SM H_2O** a **DB H_2O** (tab. 8) bylo zjištěno, že se skalice uložená ve vzorcích vymývala. Proto lze soudit, že na dekontaminaci se může použít i louhování v destilované vodě, která je dostupnější než roztok Chelatonu III. Proto už u tohoto roztoku nebyly měřeny absorbance.

Ze SEM analýzy vyšlo, že se do dřeva nenasálo dostatečně velké množství skalice modré, aby bylo toto kvantum dobře viditelné na mikroskopickém snímku. Proto byly při dalších pokusech použity roztoky s vyšší koncentrací. Podle EDX analýz se do vzorků dřev dostalo malé množství skalice modré, které se směrem do středu vzorku snižovalo.

6 Experiment se vzorky LP

Podle pokusů se vzorky **SM** a **DB** byly naloženy tři vzorky tvaru kvádru o rozměrech přibližně 4,3x4,2x4,3 mm z lipového dřeva označené jako **LP 1**, **LP 2** a **LP 3** do 5 % roztoku skalice modré. Tento pokus proběhl, aby bylo zjištěno, zda se lipové dřevo bude chovat podobně jako předešlé dva typy dřev. Bylo zvoleno dřevo, které stejně jako smrkové patří k lehkým dřevům a stejně jako dubové k listnatým.

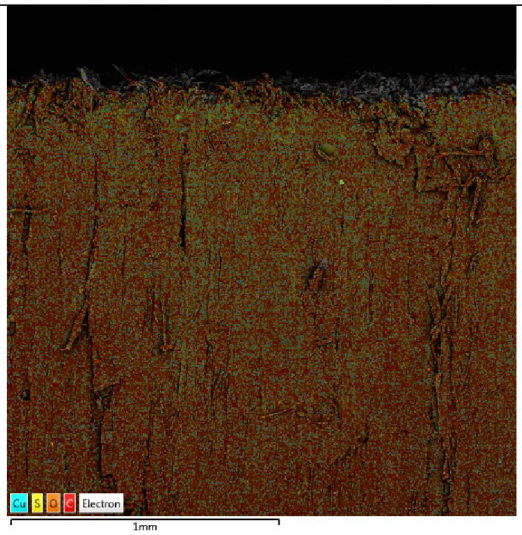
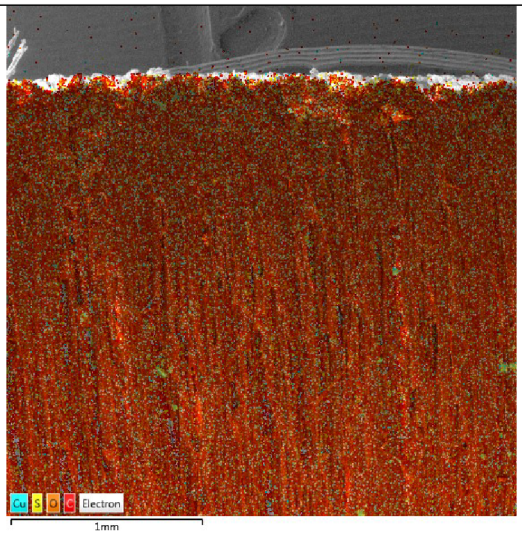
Podle výpočtu bylo namícháno 500 ml 5 % roztoku skalice modré z navážky 26,31 g soli. Tento roztok byl rozlit do tří kádinek, do každé z nich byl vložen jeden vzorek lipového dřeva a nakonec byly kádinky zakryty Parafilmem "M". Vzorky **LP 1**, **LP 2** a **LP3** byly vytaženy po jednom týdnu, usušeny v sušárně při teplotě 60°C a ponechány na vzdušné vlhkosti v laboratoři.

Po experimentálním odstraňování kontaminace ze vzorků smrku a dubu bylo zvoleno vyluhování pouze v destilované vodě. Vzorek **LP 1** byl vložen do kádinky a zalit destilovanou vodou. Tato kádinka pak byla vzduchotěsně uzavřena pomocí Parafilmu "M". Po jednom týdnu byl vzorek **LP 1** vytažen a usušen. Poté byl zkoumán pomocí skenovacího elektronového mikroskopu.

6.1 SEM a EDX analýzy

Ze vzorků **LP 1** a **LP H_2O** byly odebrány malé štěpy, které byly v napravovací komoře magnetronově poprášeny vrstvou zlata (10 nm). Po tomto zvodivění byly vloženy do komory mikroskopu, kde byla provedena SEM analýza. Pro přehlednější zobrazení přítomnosti Cu ve formě skalice modré, byla pořízena mapa prvků vyskytujících se na povrchu vzorku (tab. 9).

Tab. 9: SEM snímky s mapovitým vyznačením prvků – vzorky **LP 1** a **LP H_2O**

LP 1	**LP H_2O**
	

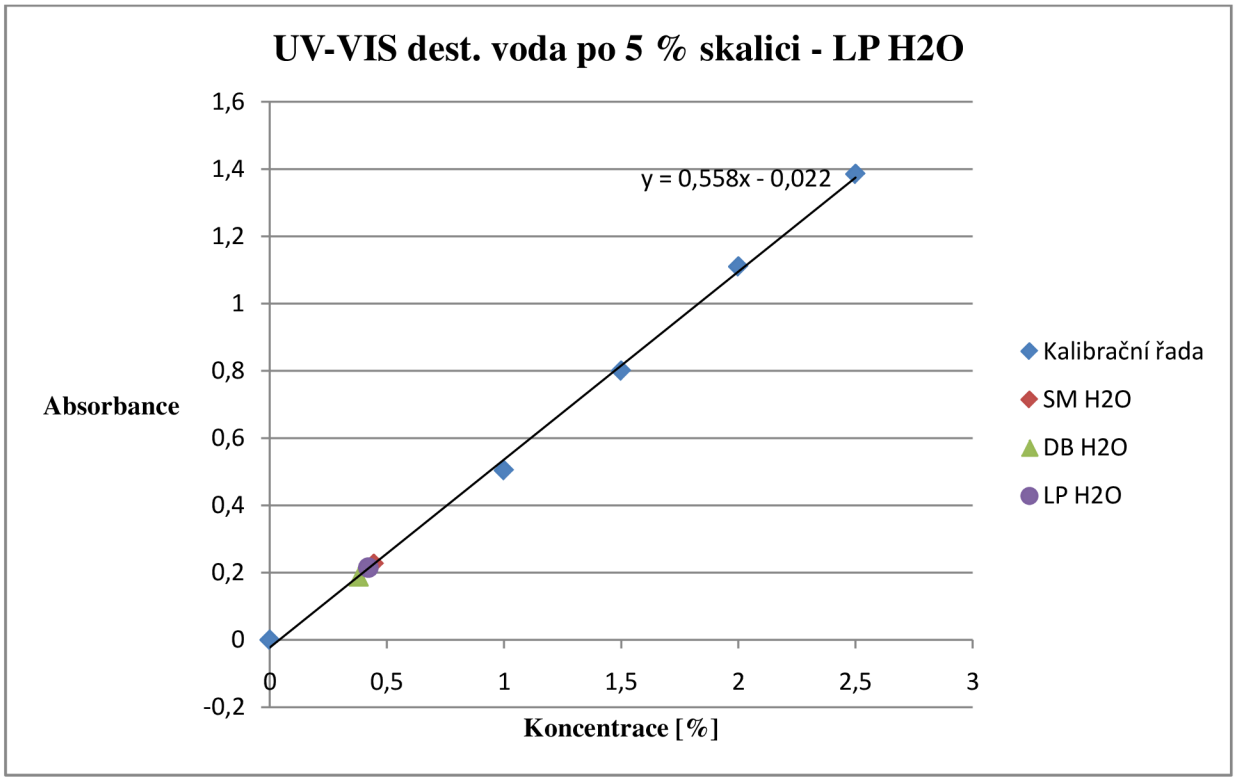
6.1.1 Vyhodnocení a diskuze:

Podle snímků s barevným zaznačením vyskytujících se prvků pořízených na skenovacím elektronovém mikroskopu lze zřetelně rozpoznat uloženou měď ve struktuře vzorku. Také je znovu (stejně jako u vzorků **SM 1** a **DB 1**) patrné klesající množství mědi ve vzorku směrem od povrchu do středu kvádru. Na druhém snímku je vzorek **LP H_2O**, tedy dekontaminovaný vzorek v destilované vodě. Jak lze opět dobře vidět (i při srovnání s původní situací), množství mědi ve struktuře se snížilo. Tato metoda tudíž ukazuje, že by louhování v destilované vodě mohlo mít také pozitivní účinky na dekontaminaci lipového dřeva. Tento předpoklad však nešlo příliš dokázat, jelikož jsou výsledky experimentu s tak malou koncentrací jen málo zřetelné.

6.2 Spektrofotometrie v UV-VIS

Rovněž byla měřena koncentrace roztoku, ve kterém byl namočen vzorek **LP H_2O**. Po měření absorbance (s vlnovou délkou 819,9 nm) kalibrační řady byl změřen i daný roztok. Absorbance byla naměřena 0,215. Výsledky byly společně vyneseny do grafu (graf 4). Pro lepší srovnání byly do tohoto grafu vyznačeny i hodnoty měření absorbancí roztoků po vzorcích **SM H_2O** a **DB H_2O**.

Graf 4: Hodnoty měření koncentrací destilované vody použité pro louhování vzorku **LP H_2O** v porovnání s hodnotami roztoků od vzorků **SM H_2O** a **DB H_2O**



6.2.1 Vyhodnocení a diskuze:

Podle grafického znázornění je vidět, že i ze vzorku lipového dřeva se skalice vymývala do destilované vody. Při srovnání s předchozími vzorky (dubu a smrku) je také patrné, že koncentrace všech tří roztoků byly velmi podobné.

6.3 Závěr

Ze snímků SEM (tab. 9) je patrné, že po vyluhování vzorku **LP 1** v 5 % roztoku skalice modré se sůl částečně dostala do dřevní struktury a směrem do středu vzorku jí ubývalo. Na druhém snímku ze SEM, od vzorku **LP H_2O**, lze pozorovat rapidní pokles obsahu mědi i síry, a proto nejsou téměř vidět. I z podobné koncentrace (graf 4) roztoku vzniklého po vzorku **LP H_2O** jako byly koncentrace přo použití vzorků **SM 2** a **DB 2** lze soudit, že pro odstranění kontaminace lipového dřeva kovy je vhodné použít lázeň z destilované vody jako v minulém pokusu se vzorky **SM 2** a **DB 2**.

7 Experiment se vzorky SM 4, DB 4 a LP 4

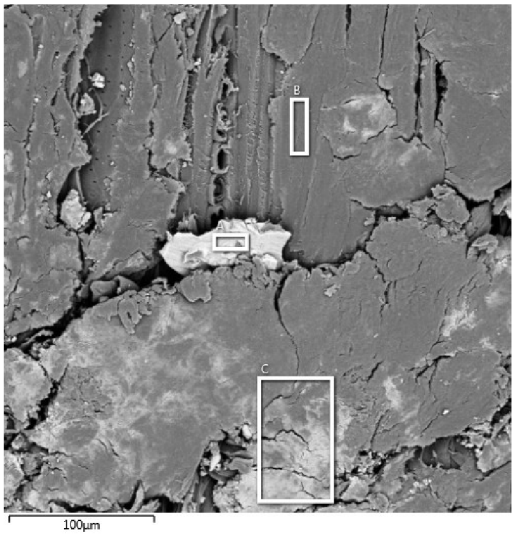
Na základě výsledků ze SEM v experimentu s předešlými vzorky byl připraven silnější roztok skalice modré na namočení vzorků dřeva. Podle hodnoty maximální rozpustnosti skalice modré ve vodě bylo namícháno 1000 ml koncentrovaného roztoku z navážky 366 g $CuSO_4 \cdot 5H_2O$. Ten byl rozlit do tří stejných kádinek a do nich byly ponořeny vzorky dřev smrku, dubu a lípy. Poté byly kádinky zakryty Parafilmem "M". Po jednom týdnu byly vzorky dřev vytaženy a sušeny v sušárně při teplotě 60°C po tři dny. Poté byly všechny vzorky položeny na filtrační papír na laboratorní stůl, aby nabraly potřebnou vlhkost vzduchu.

Pro experimentální odstranění kontaminace byly tyto vzorky naloženy do kádinek s destilovanou vodou a ponechány v nich po dobu jednoho týdne. Poté byly opět sušeny v sušárně s teplotou 60 °C po tři dny a nakonec ponechány položené na filtračním papíře na stole v laboratoři při laboratorní teplotě, aby nabraly potřebnou vlhkost ze vzduchu. Pro vyhodnocení výsledků byly opět použity analýzy ze SEM a EDX a měření absorbancí na spektrofotometru v UV-VIS.

7.1 SEM a EDX analýzy

Ze vzorků dřev **SM 4**, **DB 4** a **LP4** byly odřezány štěpy o vhodné velikosti pro zkoumání pod skenovacím elektronovým mikroskopem. Po vložení do naprašovací komory byla aplikována vrstva Au (10 nm) pomocí magnetronu pro zvodivění vzorků. Poté byly vzorky připevněny do nástavce v komoře mikroskopu a byly provedeny SEM a EDX analýzy.

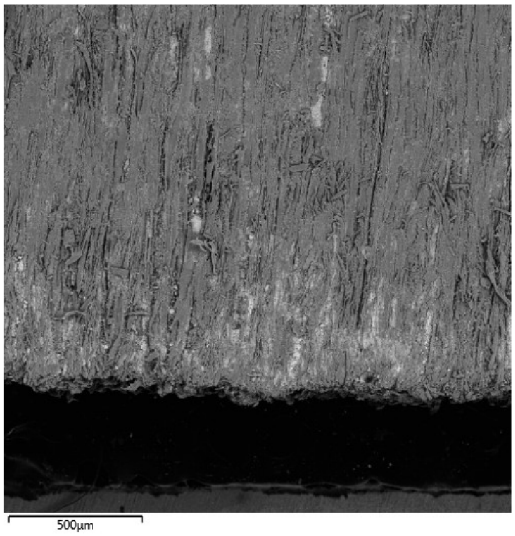
Obr. 13 a 14: Snímek ze SEM a jeho detail – **DB 4** s vyznačenými oblastmi pro EDX analýzy

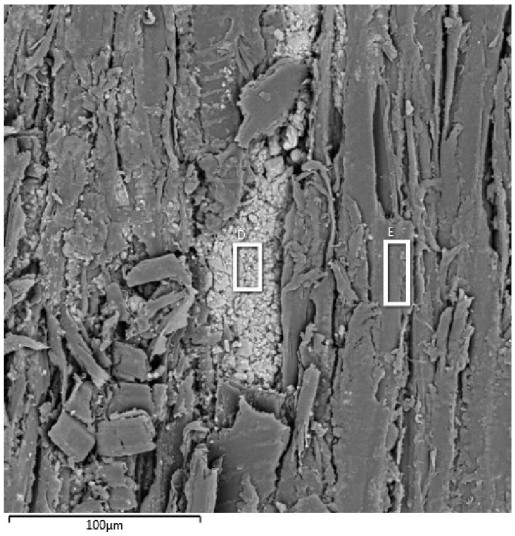


Tab. 10: Výsledky EDX analýzy – **DB 4** na obr. 14

Oblast	C	O	S	Cu	Total
A	23,97	35,56	15,21	25,26	100
B	67,35	28,34	0,84	3,47	100
C	40,69	39,17	5,38	14,76	100

Obr. 15 a 16 : Snímek ze SEM a jeho detail – **SM 4** s vyznačenými oblastmi pro EDX analýzy

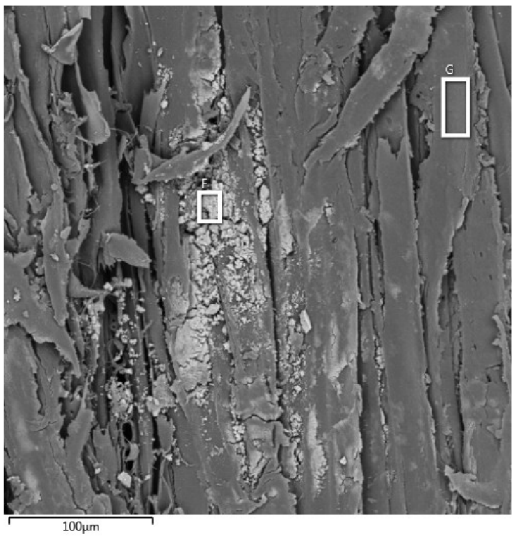




Tab. 11: Výsledky EDX analýzy – **SM 4** na obr.16

Oblast	C	O	S	Cu	Total
D	15,48	49,18	11,98	23,37	100
E	69,01	25,24	1,84	3,9	100

Obr. 17 a 18: Snímek ze SEM a jeho detail – **LP 4** s vyznačenými oblastmi pro EDX analýzy

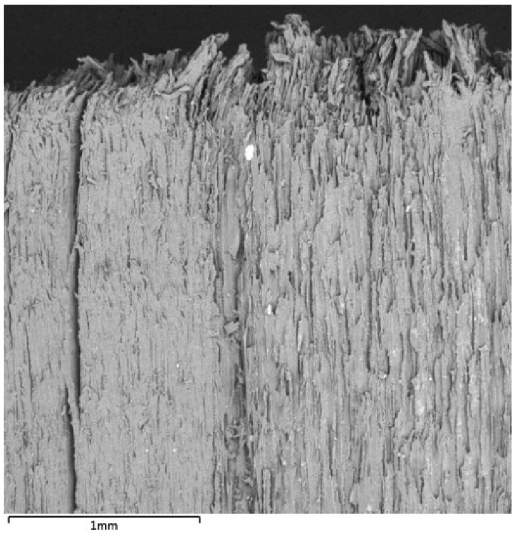


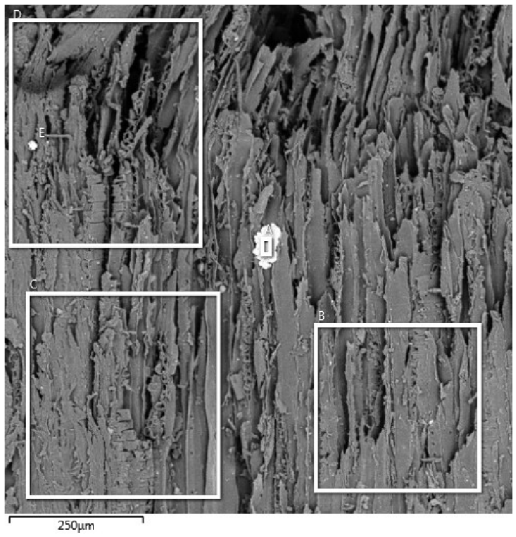
Tab. 12: Procentuální zastoupení prvků v oblastech EDX analýzy **LP 4** na obr. 18

Oblast	C	O	S	Cu	Total
F	23,69	37,58	11,68	27,05	100
G	68,8	28,1	0,78	2,31	100

Na SEM byly také zkoumány vyluhované vzorky **SM 4 H_2O**, **DB 4 H_2O** a **LP 4 H_2O**.

Obr. 19 a 20: Snímky vzorku **SM 4 H_2O** na SEM s vyznačenými oblastmi pro EDX analýzu

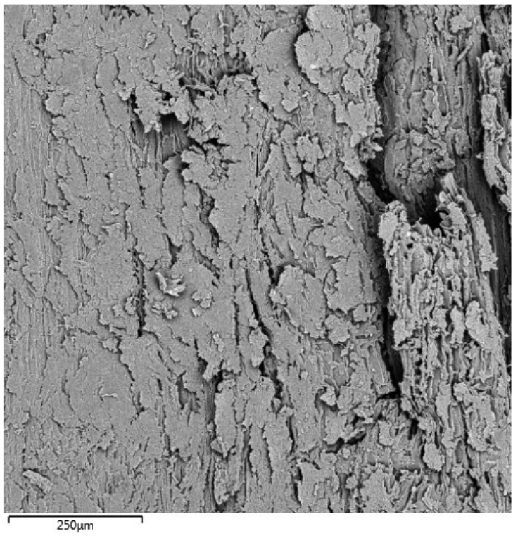


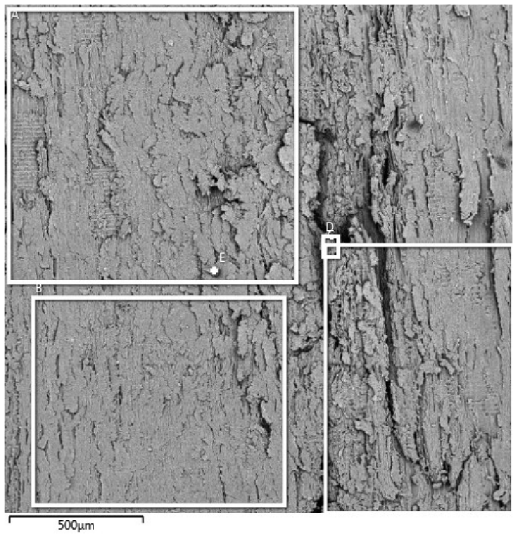


Tab. 13: Procentuální zastoupení prvků v oblastech EDX analýzy vzorku **SM 4 H_2O** na obr. 20

Oblast	C	O	S	Cu	Total
A	12,45	1,77	0,14	85,64	100
B	55,55	41,4	0,92	2,13	100
C	55,61	42,04	0,59	1,76	100
D	56,56	41,22	0,74	1,48	100
E	38,07	34,38	8,84	18,7	100

Obr. 21 a 22: Snímky vzorku **DB 4 H_2O** na SEM s vyznačenými oblastmi pro EDX analýzu

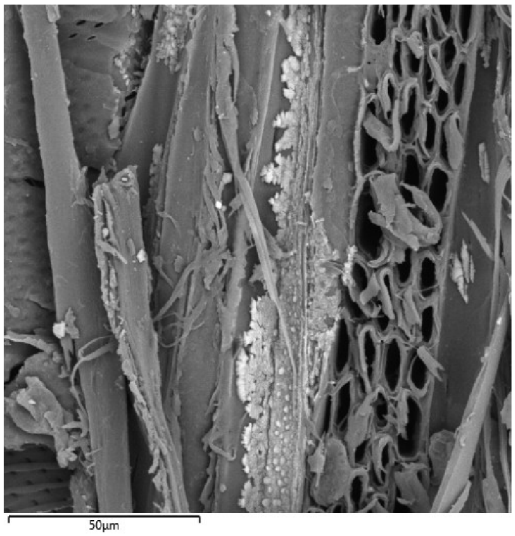




Tab. 14: Procentuální zastoupení prvků v oblastech EDX analýzy vzorku **DB 4 H_2O** na obr. 22

Oblast	C	O	S	Cu	Total
A	56,22	42,83	0,07	0,89	100
B	55,98	43,25	0,04	0,73	100
C	56,35	42,32	0,17	1,15	100
D	59,26	36,48	0,99	3,27	100
E	75,81	20,04	0,76	3,39	100

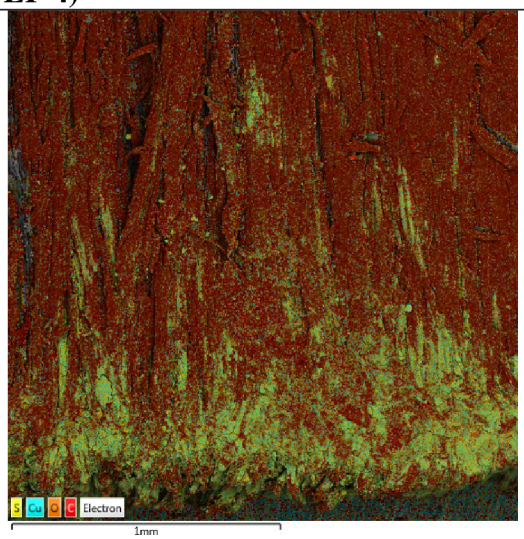
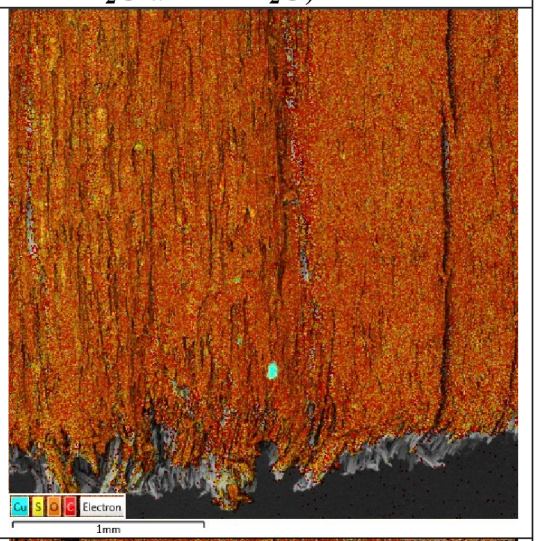
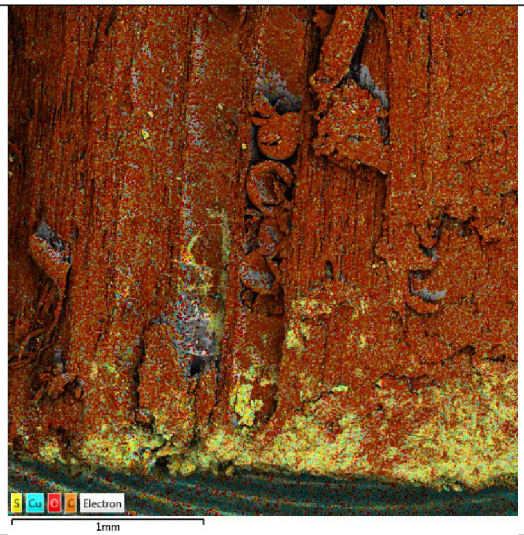
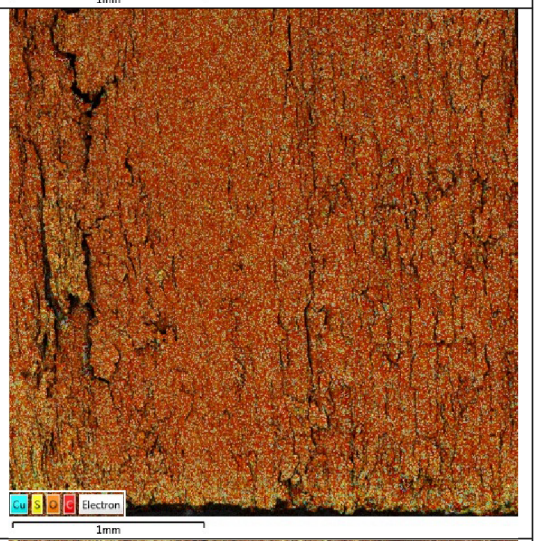
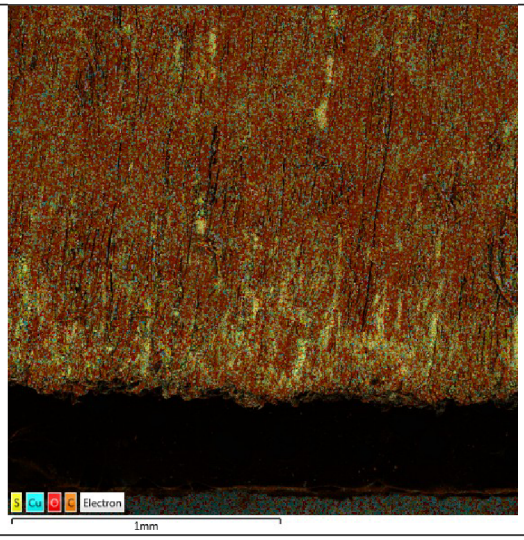
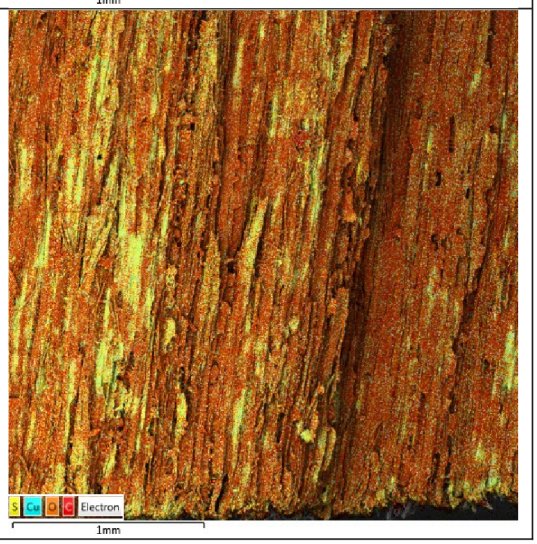
Obr. 23 a 24: Snímky vzorku **LP 4 H_2O** na SEM s vyznačenými oblastmi pro EDX analýzu



Tab. 15: Procentuální zastoupení prvků v oblastech EDX analýzy vzorku **LP 4 H_2O** na obr. 24

Oblast	C	O	S	Cu	Total
A	55,99	38,13	1,59	4,29	100
B	56,13	37,79	1,7	4,38	100
C	54,87	38,26	1,84	5,02	100
D	43,95	29,43	6,01	20,62	100

Tab. 16: Snímky ze SEM s mapovým vyznačením prvků na vzorcích

	Kontaminované (vz. **SM 4**, **DB 4** a **LP 4**)	Po dest. vodě (vz. **SM 4 H_2O**, **DB 4 H_2O** a **LP 4 H_2O**)
SM		
DB		
LP		

7.1.1 Vyhodnocení a diskuze:

Podle snímků ze SEM vzorků **SM 4**, **DB 4** a **LP 4** bylo poznat, že se do vzorků uchytilo velké množství skalice. Dokonce se na detailních snímcích vyskytovaly rozpoznatelné krystaly modré skalice (obr. 14, 16 a 18). I EDX analýza potvrdila, že se absorbovalo větší množství soli než v případě louhování vzorků **SM**, **DB** a **LP** v 5 % roztoku modré skalice, a že se vzniklé krystaly ve struktuře opravdu skládají převážně z mědi, síry a kyslíku. Tedy že jde pravděpodobně o síran mědnatý ($CuSO_4$).

Oproti snímkům ze SEM vzorků **SM 4** a **DB 4** byly na snímcích vzorků po experimentální dekontaminaci **SM 4 H_2O** a **DB 4 H_2O** přítomny jen malé zbytky po síranu mědnatém. I podle výsledků z EDX analýzy se na povrchu těchto vzorků vyskytovalo mnohem menší množství mědi a síry. Na vzorcích **LP 4 H_2O** však po vyluhování zůstalo velké množství síry.

I na mapách znázorňujících prvkové zastoupení byl výskyt mědi i síry na vzorcích **SM 4** a **DB 4** četný. Opět zde byl viditelný úbytek množství usazené skalice se zvyšující se hloubkou prostupu do vzorku. V porovnání se vzorky **SM 4 H_2O** a **DB 4 H_2O**, u kterých byly rovněž zhotoveny mapy výskytu prvků se viditelně obsah Cu i S snížil. U vzorku **LP 4 H_2O** se sice snížil obsah mědi, ale zůstala zde usazená síra.

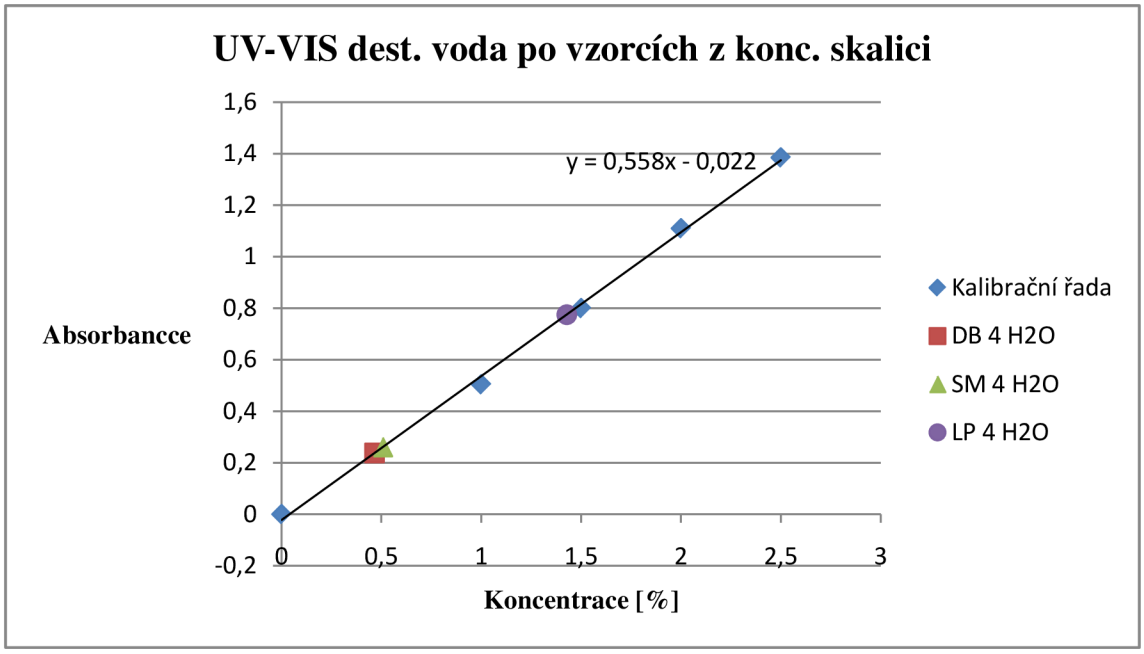
7.2 Spektrofotometrie v UV-VIS

Tato metoda byla použita pro vzniklé roztoky po louhování vzorků **SM 4 H2O, DB 4 H2O a LP 4 H2O**. Měření bylo provedeno pro vlnovou délku 819,9 nm. Nejprve byly naměřeny hodnoty kalibrační řady a poté jednotlivé roztoky po louhování. Výsledné hodnoty byly zaznamenány do tabulky (tab. 16) a ty následně vyneseny do grafu (graf. 5).

Tab. 17: Naměřené hodnoty absorbance destilované vody po vzorcích **SM 4 H2O, DB 4 H2O a LP 4 H2O** z UV-VIS spektrofotometrie

Výpočet podle rovnice kalibrační řady y = 0,558x – 0,022		
Vzorek	**Absorbance**	**Odpovídající koncentrace [%]**
SM 4	0,261	0,507
DB 4	0,238	0,466
LP 4	0,775	1,428

Graf 5: Hodnoty měření koncentrací destilované vody po naložení vzorků **DB 4 H_2O**, **SM 4 H_2O** a **LP 4 H_2O** na spektrofotometru



7.2.1 Vyhodnocení a diskuze:

Výsledky z měření roztoků vzniklých z destilované vody po vyluhování vzorků **DB 4 H_2O**, **SM 4 H_2O** a **LP 4 H_2O** ukazují, že nejvíce mědi se vyluhovalo ze vzorku lípy. Jelikož bylo také do tohoto vzorku absorbováno nejméně soli, zdá se, že měď se v lipovém dřevě špatně usazuje, a proto se i lehce vymývá. Roztoky dubu vykazovaly viditelně slabé žlutozelené zabarevní na rozdíl od ostatních roztoků zabarvených do modra od modré skalice. Toto žlutozelené zabarvení způsobné vymytím tříslovin z obsahu dřeva se projevilo na spektru při měření spektrofotometru jako vedlejší absorpce s maximální vlnovou délkou 395 nm.

7.3 Závěr

Naložením vzorků **SM 4**, **DB 4** a **LP 4** do koncentrovaného roztoku modré skalice bylo do struktury dřeva absorbováno dostatečné množství soli, které bylo dobře viditelné na snímcích ze SEM. Dokonce byly na snímcích rozpoznatelné krystaly síranu mědnatého. Jeho přítomnost potvrdily i EDX analýzy na oblastech s vytvořenými krystaly.

Po experimentální dekontaminaci v destilované vodě se vzorky **DB 4 H_2O** a **SM 4 H_2O** došlo viditelně (na snímcích ze SEM) k značnému vymytí soli ze struktury dřeva, což dokládaly výsledky EDX analýzy i hodnoty naměřené na spektrofotometru. U vzorků **LP 4 H_2O** se sice vymyla měď, jak bylo ověřeno na SEM, EDX i spektrofotometrických analýzách, ale síra ve vzorku zůstala (podle snímku ze SEM).

Při srovnání jednotlivých druhů dřev lze říci, že z dubového dřeva se celkově sůl vyluhovala nejlépe, ale rovněž se ze dřeva vyluhovalo velké množství tříslovin. Na smrkové dřevo měla tato dekontaminace také pozitivní účinky a k vyluhování soli došlo téměř ve stejné míře jako u dubového dřeva. Odlišně dopadly výsledky lipového dřeva. Nedošlo sice k tak velké absorbci soli, ale ze struktury šla dobře vyluhovat jen měď.

Závěr

V posledních letech se začíná řešit škodlivost některých použitých látek při konzervování a ošetřování sbírkových předmětů v minulosti, zejm. dřevěných předmětů. Nejčastěji šlo o látky tvořené sloučeninami s těžkými kovy. Škodlivé účinky těchto prostředků jsou dodnes znatelné na strukturách předmětů i na zdraví lidí, kteří s těmito předměty přišli do kontaktu. Proto se objevují snahy nalézt metody snížení takto kontaminovaných předmětů.

Cílem této práce bylo pokusit se najít takové způsoby, které by nejlépe odstranily těžké kovy z dřevěné struktury. Pro kontaminaci byla vybrána měď, pro svou snadnou dostupnost a malou toxicitu. Jako simulace dřevěných předmětů sloužily vzorky tří různých typů dřev (smrk, dub a lípa). Ty byly uměle kontaminovány roztokem skalice modré a následně na ně byly vyzkoušeny metody snížení obsahu mědi v jejich strukturách. K vyhodnocení sloužily analýzy SEM a EDX a také spektrofotometrická analýza v UV-VIS.

Z experimentů vyšlo, že všechny tři vybrané druhy dřev do sebe po naložení po dobu jednoho týdne absorbovaly sůl už z 5 % roztoku modré skalice. Pro lepší viditelnost a názornější zobrazení vymytí soli na SEM, byly raději zvoleny koncentrované roztoky.

U roztoků, které vznikly po louhování kontaminovaných vzorků v destilované vodě, byly změřeny koncentrace pomocí spektrofotometrie v UV-VIS. Bylo zjištěno, že sůl se rovněž vymývá v destilované vodě.

Proto lze soudit, že naložení do destilované vody je také možná varianta dekontaminace. Výhodou této metody oproti naložení v roztoku Chelatonu III. je její schopnost nezanechávání reziduí z roztoku ve vzorcích dřeva.

Při srovnání chování jednotlivých typů dřev je patrné, že se z dřeva dubu celkově síran mědnatý vyluhoval nejlépe. Ale při častém nakládání do roztoku docházelo k výraznému vyluhování tříslovin obsažených ve struktuře dřeva a tím k ovlivňování výsledků. Také se nakládáním způsobily značná poškození dřevní struktury doprovázené vznikem prasklin ve vzorcích.

Dřevo smrku do sebe nasálo téměř stejné množství modré skalice a jen o něco málo se hůře vymývalo. Struktura vzorků však byla vlivem častého namáčení a sušení mírně narušena. Toto narušení se projevovalo slabým prohloubením jarního dřeva na vzorku.

V případě lipového dřeva došlo k odlišným výsledkům, kdy se z jeho vzorků podle spektrofotometrické analýzy vyluhovalo nejvíce mědi, ale na snímku SEM byl vidět značný pozůstatek síry.

Návrhem pro další experimentální dekontaminace by mohly být experimenty s jinými druhy dřev nebo dokonce s jinými organickými materiály a také experimenty za použití roztoků dalších těžkých kovů.

Použité chemické látky

Název	**Chem. vzorec**	**Molární hmotnost [g·mol^{-1}]**	**P a H věty**	**Teplota varu [°C]**	**Teplota tání [°C]**
Destilovaná voda	H_2O	18,01528	-	100	0
Modrá skalice	$CuSO_4 \cdot 5\ H_2O$	249,686	H302-H315-H319-H410 P273-P305 + P351 + P338-P501	635	147
Chelaton III. (EDTA)	$C_{10}H_{14}N_2Na_2O_8 \cdot 2H_2O$	372,24	H302 - H315 - H319 - H332 P280 - P302+P352 - P304+P340 - P305+P351+P338	termický rozklad > 248	248

Přílohy:

Příloha 1: Vzorky smrku **SM 1, 2** a **3**

Příloha 2: Vzorky dubu **DB 1,2** a **3**

Příloha 3: Srovnání barevné změny roztoku skalice modré po naložení vzorků **SM 3** a **DB 3**

Seznam použité literatury:

[1] ŠIMŮNKOVÁ, Eva a Irena KUČEROVÁ. *Dřevo*. Vyd. 1. Praha: STOP, 2000, 134 s. ISBN 8090266843.

[2] KLOUDA, Pavel. *Základy biochemie*. 3. vyd. Ostrava: Pavko, 2013, 220 s. ISBN 9788086369167

[3] VAVRČÍK, Hanuš a kol. *Anatomická stavba dřeva* [online]. Mendelova univerzita v Brně, 2002, Dostupné z: http://ldf.mendelu.cz/und/sites/default/files/multimedia/stavba_dreva/index.htm

[4] MOLDAN, Bedřich. *Ekologická dimenze udržitelného rozvoje*. Vyd. 1. Praha: Karolinum, 2001, 102 s. ISBN 8024602466.

[5] POŽGAJ, Alexander. *Štruktúra a vlastnosti dreva.* Príroda, 1997, 485 s. ISBN 8007009604

[6] *DUFFUS, JH. Heavy Metals"—A Meaningless Term?. Pure and Applied Chemistry. 2002, roč. 74, čís. 5, s. 793–807*

[7] VÍDEN, Ivan. *Chemie ovzduší*. Vyd. 1. Praha: VSCHT, 2005, 98 s., ISBN 80-7080-571-4

[8] TOUŽÍN, Jiří. Stručný přehled chemie prvků. V Tribunu EU vyd. 1. Brno: Tribun EU, 2008, 225 s. ISBN 9788073995270.

[9] PIVOŇKOVÁ, Eva, 2013. *Otrava arsenem, arsenikem – příznaky, projevy, symptomy.* In: příznaky-projevy.cz [online]. [cit. 2015-06-15]. Dostupné z: http://www.priznaky-projevy.cz/otravy/otrava-arsenem-arsenikem-priznaky-projevy-symptomy

[10] HOUSECROFT, Catherine E a A SHARPE. *Anorganická chemie*. Vyd. 1. Praha: Vysoká škola chemicko-technologická v Praze, 2014, xxx, 1119 s. ISBN 9788070808726.

[11] Periodická soustava prvků. [online]. 2009 - 2015 [cit. 2015-3-5]. Dostupné z: http://www.prvky.com/

[12] KUČEROVÁ, Irena. Atmosférická degradace dřeva, koroze a ochrana materiálu. VSCHT, Praha, 2005

[13] Velký lékařský slovník. Maxdorf. [online]. 2008 [cit. 2015-6-4]. Dostupné z: http://lekarske.slovniky.cz/pojem/biocid

[14] ODEGAARD, Nancy a Alyce SADONGEI. *Old poisons, new problems: a museum resource for managing contaminated cultural materials*. Walnut Creek: Altamira Press, c2005, 126 s. ISBN 0759105154.

[15] SINICA, Alla. *Spektrofotometrie ve viditelné oblasti spektra* [online]. VSCHT, Praha. Dostupné z: http://old.vscht.cz/anl/lach1/5_Foto.pdf

[16] MACHALÍČEK, Michal. *Separační metody a jejich kombinace ve výuce analytické chemie* [online]. 2013 [cit. 2015-05-24]. Diplomová práce. Masarykova univerzita, Přírodovědecká fakulta. Vedoucí práce Marta Farková. Dostupné z: <http://is.muni.cz/th/270175/prif_m/>.

[17] Scanning Electron Microscopy coupled with Energy Dispersive X-ray (SEM/EDX) Spectroscopy. Surface science western:, 2014 [online]. Surface science western [cit. 2015-05-07]. Dostupné z: http://www.surfacesciencewestern.com/analytical-services/scanning-electron-microscopy-coupled-with-energy-dispersive-x-ray-semedx-spectroscopy/

[18] Povrchová analýza. Ceplant [online]. 2014 [cit. 2015-6-8]. Dostupné z: http://ceplant.cz/research/equipment/analytics/sem/

[19] PECENOVÁ, Zuzana. *Materiálový průzkum a konzervace orientálních zbraní ze sbírek Jihomoravského muzea ve Znojmě* [online]. 2014 [cit. 2015-05-24]. Diplomová práce. Masarykova univerzita, Přírodovědecká fakulta. Vedoucí práce Richard Ševčík. Dostupné z: <http://is.muni.cz/th/417007/prif_m/>.

[20] SCHWEITZER, Jim, 2014. *Scanning Electron Microscope*. Purdue.edu [online] Dostupné z: http://www.purdue.edu/ehps/rem/rs/sem.htm

[21] ŠTĚPÁNOVÁ, Vlasta. *Úprava vlastností živočišných vláken pomocí DCSBD výboje* [online]. 2013 [cit. 2015-04-24]. Diplomová práce. Masarykova univerzita, Přírodovědecká fakulta. Vedoucí práce Pavel Slavíček. Dostupné z: <http://is.muni.cz/th/329300/prif_m/>.

[22] NEBESÁŘOVÁ, Jana, 2001. *Příprava preparátů pro SEM.* In:Elektronová mikroskopie pro biology [online]. [cit. 2015-04-24]. Dostupné z: http://www.paru.cas.cz/lem/book/Podkap/8.0.html