

Univerzita Pardubice

Fakulta restaurování

**Vliv historických receptur na vlastnosti a degradaci
železagalových inkoustů na různých podložkách**

Diplomová práce

2025

BcA. Diana Janečková

Univerzita Pardubice
Fakulta restaurování
Akademický rok: 2024/2025

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení: **BcA. Diana Janečková**
Osobní číslo: **R23003**
Studijní program: **N0222A310001 Restaurování a konzervace děl hmotného kulturního dědictví**
Specializace: **Díla z papíru a pergamenu**
Téma práce: **Vliv rozdílných historických receptur na vlastnosti a degradaci železozagalových inkoustů na různých psacích podložkách**
Zadávající katedra: **Ateliér restaurování papíru, knižní vazby a dokumentů**

Zásady pro vypracování

Studentka se ve své práci bude zabývat železogatovými inkousty a jejich vlastnostmi na vytipovaných psacích podložkách. V rámci výzkumné části práce provede literární rešerši zaměřenou na sumarizaci současných poznatků o výrobě, vlastnostech a degradaci železogatových inkoustů. Následně se bude věnovat přípravě minimálně tří historických železogatových inkoustů dle původních receptur z receptářů 16. století. Poté vyhotoví sadu modelových vzorků na různých typech psacích podložek (ruční papír, strojní papír, pergamen), které před a po umělém stárnutí podrobí sadě analýz a testů se zaměřením na jejich mechanické vlastnosti. Cílem práce je pozorovat průběh degradace daného inkoustu a podrobit jej kritickému srovnání na různých typech psací podložky. Posléze studentka nashromážděná data o vlastnostech a degradačních projevech srovná mezi připravenými inkousty rozdílných receptur a vyhodnotí je.

Součástí práce bude restaurování vybraného objektu, rukopisu, psaného zkoumaným médiem. Celý proces restaurátorského zákroku bude podrobně písemně a fotograficky zdokumentován dle platných organizačních pokynů pro psaní diplomových prací na FR UPCE. Fotografická dokumentace bude obsahovat celkové pohledy a detaily díla před a po jeho zrestaurování, spolu s dokumentací jednotlivých zásahů z průběhu samotného restaurování. Nedílnou součástí předání díla bude vypracovaná restaurátorská dokumentace.

Práce bude konzultovaná s vedoucím práce nejméně jednou měsíčně v řádně domluveném termínu a zpracovaná dle platných organizačních pokynů pro psaní diplomových prací na FR UPCE. Finální podoba diplomové práce bude vedoucím práce k závěrečné korektuře odeslána nejméně 15 dnů před odevzdáním práce, dle harmonogramu akademického roku.

Časový harmonogramu k plnění cílů DP.

- Rešerše literatury, výroba vytipovaných inkoustů dle historických receptur 1/2025
- Vyhotovení modelových vzorků, umělé stárnutí, vyhodnocení dat 2-7/2025
- Průzkum objektu k restaurování, stanovení koncepce restaurování, provedení vstupních analýz (nejpozději do 3/2025)
- Restaurování objektu – mechanické čištění, rozebírání kn. bloku (nejpozději do 5/2025)
- Čištění papírové podložky, doplňování ztrát (nejpozději do 6/2024)
- Práce na knižní vazbě (nejpozději do 7/2025)
- Kompletace restaurovaného objektu, výroba ochranného obalu, zpracování restaurátorské dokumentace (nejpozději do 1. 8. 2025)
- Zpracování diplomové práce (nejpozději do 1. 8. 2025)

Rozsah pracovní zprávy:
Rozsah grafických prací:
Forma zpracování diplomové práce: **tištěná/elektronická**

Seznam doporučené literatury:

- ŽUROVIČ, Michal. Restaurování a konzervování archiválií a knih. V Praze: Paseka, 2002.
Zelinger, Jiří et al. *Chemie v práci konzervátora a restaurátora*. 2. přepracované a doplněné vydání. Praha: Academia, 1987. 253 s.
Kol.: Sborníky ze Seminářů restaurátorů a historiků
HANUS, Jozef – MAKOVÁ, Alena et al. Survey of Historical Manuscripts Written with Iron Gall Inks in the Slovak Republic. In *Restaurator*, 2009. s. 165–180.
HÄHNER, Ulrike. Condition Report of the Ink Corrosion Damage in the Handwritten Estate of the Jurist Friedrich Carl von Savigny. In *Restaurator*, 2006. s. 131–142.
HŘEBÍČKOVÁ B. A. Recepty starých mistrů aneb Malířské postupy středověku. Computer Press, Brno, 2006.
KOLAR, Jana – STRLIČ, Matija et al. Stabilisation of Corrosive Iron Gall Inks. In *Chimica Acta* 50. 2003.

Vedoucí diplomové práce: **MgA. Ivan Kopáček**
Ateliér restaurování papíru, knižní vazby a dokumentů
Konzultant diplomové práce: **Ing. Karol Bayer**
Katedra chemické technologie FR
Datum zadání diplomové práce: **30. listopadu 2024**
Termín odevzdání diplomové práce: **13. srpna 2025**

L.S.

Mgr. BcA. Radomír Slovík
děkan

MgA. Ivan Kopáček
vedoucí ateliéru

V Litomyšli dne 4. srpna 2025

Prohlašuji:

Práci s názvem *Vliv historických receptur na vlastnosti a degradaci železagalových inkoustů na různých podložkách* jsem vypracovala samostatně. Veškeré literární prameny a informace, které jsem v práci využila, jsou uvedeny v seznamu použité literatury.

Byla jsem seznámena s tím, že se na moji práci vztahují práva a povinnosti vyplývající ze zákona č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon), ve znění pozdějších předpisů, zejména se skutečností, že Univerzita Pardubice má právo na uzavření licenční smlouvy o užití této práce jako školního díla podle § 60 odst. 1 autorského zákona, a s tím, že pokud dojde k užití této práce mnou nebo bude poskytnuta licence o užití jinému subjektu, je Univerzita Pardubice oprávněna ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které na vytvoření díla vynaložila, a to podle okolností až do jejich skutečné výše.

Beru na vědomí, že v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, a směrnicí Univerzity Pardubice č. 7/2019 Pravidla pro odevzdávání, zveřejňování a formální úpravu závěrečných prací, ve znění pozdějších dodatků, bude práce zveřejněna prostřednictvím Digitální knihovny Univerzity Pardubice.

V Litomyšli dne 13. 8. 2025

Diana Janečková v. r.

Poděkování

Na tomto místě bych ráda poděkovala za veškerou podporu, jíž se mi dostalo a díky níž mohla tato práce vzniknout. Děkuji vedoucímu práce panu MgA. Ivanu Kopáčkovi za odborné vedení, cenné připomínky a trpělivost při tvorbě práce i za podporu během studia v Ateliéru restaurování papíru, knižní vazby a dokumentů.

Mé díky také náleží Ing. Karolu Bayerovi za odborné konzultace a provedení mikroskopické analýzy vzorků a Ing. Aleně Hurtové za rady, technickou pomoc během experimentů a provedení chemicko-technologického průzkumu restaurovaného objektu. Za umožnění provedení mechanických zkoušek v Národním archivu a za asistenci při jejich realizaci patří uznání Ing. Benjaminu Bartlovi, Ph.D. a Ing. Anně Fialové, Ph.D.

Dále děkuji PhDr. Janě Průšové za kontrolu transkripcí historických receptur, doc. Ing. Marcele Pejchalové, Ph.D., za mikrobiologickou analýzu, Ing. Nikole Šipošové za stanovení teploty smrštění usně a Mgr. Václavu Čermákovi, Ph.D., za pomoc s identifikací restaurovaného díla.

Závěrem chci vyjádřit jsou vděčnost rodině a přátelům za jejich všestrannou podporu po celou dobu mého studia.

Anotace

Tato diplomová práce se zabývá problematikou železozalových inkoustů. Konkrétně zkoumá jejich vlastnosti a degradační potenciál ve vztahu k odlišným historickým recepturám a vybraným psacím podložkám. Počáteční kapitoly práce seznamují čtenáře s komplexitou těchto záznamových prostředků, zejména s jejich historií, složením, přípravou a degradačními mechanismy. Na ně navazuje experiment, v jehož rámci bylo srovnáno sedm různých železozalových inkoustů připravených dle odlišných historických receptur ze 16. století. Tyto inkousty byly aplikovány na ruční papír, strojní papír a pergamen a část takto zhotovených vzorků byla podrobena umělému stárnutí. Výsledky provedených testů poukázaly na chemickou nestabilitu připravených inkoustů a na značné vyplavování reaktivních částic z jejich nánosů. Mechanické zkoušky prokázaly duální efekt nánosů, který podložku zpevňuje v tahu, ale zároveň ji činí křehčí v přehybu. Celá práce je završena restaurátorským zásahem provedeným na rukopise ze 16. století, jenž zasazuje zkoumanou problematiku do reálného kontextu.

Klíčová slova

železozalové inkousty, papír, pergamen, degradace, umělé stárnutí, fyzikálně-chemické vlastnosti, mechanické vlastnosti, historické receptury, restaurování, 16. století

Title

The effect of different historical recipes on the properties and degradation of iron gall inks on different writing substrates,

Annotation

This thesis examines the topic of iron gall inks, specifically their properties and degradation in relation to different historical recipes and selected writing materials. The initial chapters provide an overview of the complexity of these writing media, particularly their history, composition, preparation, and degradation mechanisms. This is followed by an experiment in which seven different iron gall inks, prepared according to various historical recipes from the 16th century, were compared. These inks were applied to hand-made paper, machine-made paper and parchment, and a portion of the samples was subjected to accelerated ageing. The results of the performed tests indicated the chemical instability of the prepared inks and a significant washing out of reactive particles from the site of their application. Mechanical tests revealed a dual effect of the ink application, which strengthens the substrate against tension while simultaneously making it weaker when folding. The work is concluded with a chapter detailing the conservation treatment of a 16th century manuscript, which offers practical insight into the topic of iron gall inks on historical documents.

Keywords

Iron-gall ink, paper, parchment, degradation, accelerated ageing, physical and chemical properties, mechanical properties, historical recipes, conservation, 16th century

OBSAH

1	Úvod	11
2	Definice inkoustu	12
3	Historický kontext	13
3.1	Vitriol	17
4	Složení a příprava železagalových inkoustů	18
4.1	Základní složky	18
4.1.1	Polyfenoly	18
4.1.2	Kationty železa	19
4.1.3	Pojiva	19
4.1.4	Rozpouštědla	20
4.1.5	Aditiva	20
4.2	Technologie přípravy	21
5	Chemická podstata železagalových inkoustů	23
6	Degradace železagalových inkoustů	27
7	Experimentální část	30
7.1	Cíl a metodika experimentu	30
7.1.1	Osnova experimentu	31
7.2	Příprava fáze experimentu	32
7.2.1	Rešerše a výběr vhodných historických receptur	32
7.2.2	Interpretace surovin ve vybraných historických recepturách	37
7.2.3	Převod historických jednotek	38
7.3	Příprava inkoustů	39
7.3.1	Seznam použitých surovin	39
7.3.2	Příprava surovin	40
7.3.3	Obecné principy k postupu	41
7.3.4	Postup přípravy inkoustů	41
7.3.5	Hodnocení inkoustů během přípravy	52
7.4	Příprava vzorků	59

7.4.1	Specifikace vybraných podložek	59
7.4.2	Parametry vzorků	60
7.4.3	Aplikace inkoustů na vybrané podložky	62
7.4.4	Umělé stárnutí	65
7.5	Testování vzorků	73
7.5.1	Základní analýzy	73
7.5.2	Zkoušky mechanických vlastností	76
7.6	Výsledky	78
7.6.1	Základní analýzy	78
7.6.2	Zkoušky mechanických vlastností	87
7.7	Diskuse	96
8	Restaurátorský zásah	114
8.1	Úvod	114
8.2	Popis objektu	114
8.2.1	Popis typologie a poškození objektu	114
8.2.2	Popis typografie objektu	124
8.3	Postup restaurování	126
8.4	Fotodokumentace restaurovaného objektu před a po zásahu	137
9	Závěr	146
10	Seznam použitých zdrojů a literatury	148
11	Seznam reprodukcí	153
12	Seznam použitých symbolů a zkratek	154
13	Seznam tabulek	156
14	Seznam obrazových příloh	157
15	Seznam textových příloh	162

1 ÚVOD

Železagalové inkousty představují jeden z nejčastěji používaných historických záznamových prostředků, zároveň jsou však pro konzervátory a restaurátory jednou z největších výzev. Jejich chemická podstata založená na reakci kationtů železa a polyfenolů je příčinou jak jejich trvanlivosti, tak jejich degradačního působení na papírové i pergamenové podložky. Ačkoliv je obecně známo, že v praxi pozorovaná variabilita míry poškození souvisí se složením a způsobem přípravy těchto prostředků, konkrétní dopady jednotlivých receptur zůstávají často neprobádány. Právě tato myšlenka se stala hlavním motivem pro zhotovení této práce, která je částečně pojata jako pilotní projekt pro budoucí výzkum.

Počáteční kapitoly shrnují dosavadní poznatky v dané oblasti a seznamují čtenáře s komplexitou těchto záznamových prostředků. Nejdříve definují základní pojmy, následně představují historický kontext, detailní přehled užívaných surovin, postupy přípravy, chemickou podstatu a degradační mechanismy železagalových inkoustů.

Na tyto kapitoly navazuje experiment, jež si klade za cíl ověřit vliv odlišného složení a způsobu přípravy železagalových inkoustů na finální vlastnosti a degradační mechanismy ve spojitosti s třemi různými podložkami. Za tímto účelem byla provedena rešerše historických pramenů zaměřená na vytipování vhodných receptur z 16. století. Podle nich bylo připraveno sedm odlišných železagalových inkoustů, které byly aplikovány na ruční papír, strojní papír a pergamen. Část zhotovených vzorků byla vystavena umělému stárnutí se záměrem urychlit degradační procesy a umožnit tak zhodnotit jejich degradační potenciál skrze sérii testů. Ty zahrnovaly bathofenantrolinový test, měření pH, zkoušky stability a dvě mechanické zkoušky (tržné zatížení, odolnost vůči přehýbání).

Kapitoly v experimentální části detailně popisují veškeré metodologické kroky, od přípravné fáze přes přípravu inkoustů a vzorků až po metody testování. V kapitole *Výsledky* jsou prezentována naměřená data. V navazující kapitole *Diskuse* jsou tyto výsledky interpretovány, zasazeny do širšího kontextu a jsou zde reflektovány metodologické limity.

Celou práci završuje restaurátorský zásah provedený na rukopise *Trebník* z 16. století, který poskytuje vhled do problematiky historických dokumentů psaných železagalovým inkoustem. V *Závěru* práce jsou shrnuta nejdůležitější zjištění.

2 DEFINICE INKOUSTU

Ačkoli napříč publikacemi existuje mnoho definic inkoustu, žádnou z nich nelze považovat za univerzální. Jeho chápání se totiž odvíjí od historického kontextu a vědního oboru, z jehož hlediska je posuzován – například z laického, chemického, uměleckého, historického apod. Významnou roli v různých definicích sehrává technologický pokrok, jenž měl historicky přímý vliv jak na formální vlastnosti inkoustu (např. konzistenci), tak rozsah jeho praktického využití (psaní, tisk apod.). Termín *ingaustr* (inkoust) se v českém prostředí poprvé objevuje až v 15. století, zatímco v starších obdobích se používaly výrazy *črnidlo* (černidlo) a *atramentum* (atrament).¹

Pro účely této práce je zásadní dělení záznamových prostředků na historické (do roku 1856) a novodobé. Definice v rámci obou kategorií se totiž značně odlišují, zejména z hlediska složení. V kontextu historických prostředků lze inkousty obecně definovat jako tekutiny určené k ručnímu záznamu psacím nástrojem, jako je ptačí brk. Pro přesnější vymezení je nutné inkousty odlišit od tuší, které měly stejnou primární funkci. Tuše jsou zpravidla **suspenze** velmi jemnozrnného pigmentu (nejčastěji obsahující uhlík) dispergovaného ve vodném roztoku pojidla. Oproti tomu historické inkousty jsou typicky definovány jako **roztoky** barviv v kapalném médiu, rovněž s přídavkem pojidla.²

Železogatové inkousty představují specifickou kategorii, která tuto jednoduchou definici překračuje. Jedná se o chemicky reaktivní systémy, které se v tekutém stavu chovají jako homogenní, případně koloidní roztoky slabě zbarvených prekurzorů. Jejich hlavní barevná složka (chromofor) vzniká až po aplikaci na podložku, kde vlivem oxidace dochází k přeměně na nerozpustnou barevnou sraženinu pevně fixovanou ve struktuře podložky (kap. 5 Chemická podstata).³

¹ ÚSTAV PRO JAZYK ČESKÝ (AKADEMIE VĚD ČR). Etymologická procházka po škole. *Naše řeč* [online]. 1944, roč. 28, č. 2. Dostupné z: <https://kramerius.lib.cas.cz/uuid/uuid:3c498518-4c3e-11e1-1331-001143e3f55c>

² ĎUROVIČ, Michal. *Restaurování a konzervování archiválií a knih*. Praha: Paseka, 2002, s. 318.; ZELINGER, Jiří. *Chemie v práci konzervátora a restaurátora*. Praha: Academia, 1987, s. 174.

³ ZELINGER, Jiří. *Chemie v práci konzervátora a restaurátora*, s. 175.

3 HISTORICKÝ KONTEXT

Železagalové inkousty představují jeden z nejstarších historických záznamových prostředků s významným postavením v písemnictví nejen Evropy, ale také severní Afriky a Blízkého východu. Navzdory dlouhé historii však zůstávají okolnosti jejich ranného vývoje stále poměrně nejasné. Přes rostoucí badatelský zájem a množství novějších studií zůstává dosavadní vědění v této oblasti nedostatečné a neumožňuje sestavení uceleného obrazu.⁴

Samotný princip vzniku tmavé barvy reakcí tříslovin s železnatými ionty byl znám již starověkým Římanům, sloužil jim primárně k barvení textilií a usní, nikoliv psaní.⁵ Z tohoto hlediska jsou nejbližší některé antické receptury pro přípravu sympatetických roztoků, jež jsou součástí širší kategorie neviditelných záznamových prostředků. Tyto prostředky byly užívány pro zanechání zpráv, které zůstaly neviditelné, dokud neprošly zviditelňovacím procesem.⁶ Často byly využívány v kontextu válečných konfliktů k sdílení tajných informací nebo při magických praktikách, například k inscenování zjevení či věštby. Nejstarší receptura tohoto typu je zaznamenána v díle *Belopoeica* (O střelných zbraních) od Filóna Byzantského z 3. století př. n. l. Jeho postup spočívá v napsání textu bezbarvým⁷ roztokem z prášku duběnek a vody, který byl později zviditelněn roztokem vitriolu (kap. 3.1 Vitriol, obr. 1). Obdobná receptura se pak nachází v díle připisovaném Hippolytovi Římskému ze 3. století n. l.⁸ Navzdory znalosti těchto receptur doposud nebylo prokázáno jejich použití u žádného dochovaného dokumentu, a tak je lze nanejvýš považovat za teoretické předchůdce železagalových inkoustů.⁹

Nejdříve lze existenci železagalového inkoustu fyzicky doložit rukopisy ze 4. století n. l., přičemž různé doklady naznačují jeho poměrně časnou přítomnost v Evropě, na Blízkém

⁴ RAGGETTI, Lucia. *Traces of ink: experiences of philology and replication* [online]. Boston: Brill, 2021, s. 70–78. Dostupné z: <https://www.jstor.org/stable/10.1163/j.ctv1sr6hgk>; ĎUROVIČ, Michal. *Restaurování a konzervování archiválií a knih*, s. 318–319.

⁵ ĎUROVIČ, Michal. *Restaurování a konzervování archiválií a knih*, s. 318.

⁶ PRAJAKTA, Harne, Mishra MUNISH K a Sodhi G.S. Examination of Invisible Writing Liquid Composition and Their Decoders. *Journal of Forensic Chemistry and Toxicology*. 2018, roč. 4, č. 2. Dostupné z: <https://doi.org/10.21088/jfct.2454.9363.4218.1>

⁷ Jednalo se spíše o mírně zbarvené roztoky, které na obdobně tónovaném podkladu nebyly vůbec nebo jen minimálně rozeznatelné.

⁸ CHRISTIANSEN, THOMAS. Manufacture of Black Ink in the Ancient Mediterranean. *The Bulletin of the American Society of Papyrologists*. 2017, roč. 54, s. 188–190. Dostupné z: <https://doi.org/10.2143/BASP.54.0.3239877>

⁹ NEHRING, Grzegorz et al. Looking for the missing link in the evolution of black inks. *Archaeological and Anthropological Sciences*. 2021, roč. 13, č. 71. Dostupné z: <https://doi.org/10.1007/s12520-021-01320-5>

východě i v severní Africe. V průběhu raného středověku v těchto regionech postupně získával na významu a do 12. století se etabloval jako primární záznamový prostředek.¹⁰ Vzestup železagalových inkoustů je často spojován s rostoucí oblíbeností pergamenu (později papíru), který přibližně v 5. století n. l. do velké míry nahradil papyrus. Tuto souvislost podporuje i pozorování, že na dochovaných papýrech převládá písmo psané tuší, zatímco na pergamenových kodexech již jasně dominuje železagalový inkoust.¹¹ Předpokládá se, že jedním z důvodů jeho preference byla lepší kompatibilita s pergamenem. Tuš totiž tvořila pouze povrchovou vrstvu pigmentu a nemusela vždy správně adherovat k podložce, zvláště pokud byl pergamen mastnější či méně kvalitně připravený. Oproti tomu inkoust částečně penetroval do struktury a tvořil trvalejší a hůře odstranitelný záznam, což bylo z hlediska uchování textu velmi žádoucí. Dalším běžně citovaným faktorem je domnělá menší tendence železagalových inkoustů ucpávat ptačí (většinou husí) brka, která se jako dominantní psací nástroj etablovala během 6. století.¹² Tento faktor byl však podmíněn přípravou kvalitního inkoustu a vhodným zacházením se samotným brkem.

Nejstarší známá receptura pro přípravu železagalového inkoustu pochází z 5. století n. l. a je zaznamenána v díle *De nuptiis Philologiae et Mercurii* (*O svatbě Filologie a Merkura*) od severoafrického autora Martiana Capella. V evropském prostředí se první dochovaná receptura objevuje až ve 12. století, kdy bylo používání tohoto prostředku již zcela běžné, a to v díle *Diversarum artium sedula* mnicha Theophila (obr. 2). Technologie výroby inkoustů byla zpočátku úzce spjata s kláštery, které fungovaly jako centra vzdělanosti.¹³ Mniši se zde mimo jiné věnovali přípravě barviv, pigmentů a někteří i alchymii, což byla předvědecká a filozofická disciplína kombinující prvky chemie, metalurgie, fyziky, medicíny, astrologie, magie, mystiky a psychologie. Tato činnost vycházela převážně z empirických zkušeností a nebyla podložena hlubším teoretickým poznáním chemických procesů.¹⁴

¹⁰ OLIVER, Meredith. *From Lazarus To Theophilus: How Manuscript Digitization Led To The Historical, Chemical, and Technological Understanding of Iron Gall Ink and its Counterparts*. 2015, Bakalářská práce, University of Mississippi, s. 24. Dostupné z: https://egrove.olemiss.edu/hon_thesis/700

¹¹ NEHRING, Grzegorz et al. *Looking for the missing link in the evolution of black inks*.

¹² CHRISTIANSEN, THOMAS. *Manufacture of Black Ink in the Ancient Mediterranean*, s. 188.; CARVALHO, David N. *Forty Centuries of Ink* [online]. New York: The Banks law publishing co., 1904, s. 62, 86. Dostupné z: <https://archive.org/details/fortycenturiesof00carv>

¹³ RAGGETTI, Lucia. *Traces of ink: experiences of philology and replication*, s. 72.; OLIVER, Meredith. *From Lazarus To Theophilus*, s. 24.

¹⁴ ŠICHMANOVÁ, Zuzana. *Alchymie a alchymisté v zemích českých a moravských*. 2007, Diplomová práce, Masarykova univerzita, s. 8–12. Dostupné z: <https://is.muni.cz/th/i7lnx/>

Pro rané období výroby tak bylo typické neustálé experimentování s regionálně dostupnými surovinami, které byly často neúčinné či škodlivé.¹⁵ Pokrok byl navíc brzděn utajováním receptur. Proto klíčové objevy pronikaly do obecného povědomí jen velmi pozvolna.¹⁶ Jedním z takových zásadních postupně se šířících poznatků byla nezbytnost použití sloučenin železa namísto mědi pro tvorbu sytého a trvanlivého inkoustu (kap. 3.1 Vitriol).¹⁷

Výraznější posun směrem ke standardizaci přinesla až renesance (cca 15. století), s rozvojem administrativy a rostoucí poptávkou po spolehlivých záznamových prostředcích pro úřední a obchodní účely. Spolu s rostoucí gramotností se znalost přípravy inkoustů navíc začala šířit ze specializovaných okruhů (např. písaři, umělci, učenci) i mezi širší veřejnost.¹⁸ Kvalitativní zlepšení inkoustových receptur bylo podpořeno rozvojem dálkového obchodu, jenž zpřístupnil řadu kvalitnějších surovin. Významným příkladem je arabská guma, jejíž dovoz do Evropy je doložen od 13. století, a která se do 16. století ustálila jako standardní složka.¹⁹

Období 17. století je považováno za vrchol ve výrobě stabilních a standardizovaných železozalových inkoustů, k čemuž přispělo i oficiální přijetí receptury chemika Guyota francouzskou vládou. Tento příklad byl rychle následován ostatními zeměmi a železozalové inkousty poměrně stejného charakteru a kvality se staly široce dostupnými. S tímto vývojem v 18. století nastal postupný úpadek. Výrobci začali upřednostňovat ekonomické zájmy, což se projevilo zejména používáním levnějších surovin.²⁰

Různorodost surovin v recepturách přetrvávala v různé míře až do 19. století, kdy se s industrializací výrobní postupy opět sjednocují, stále častěji vycházely z definovaných, čištěných surovin, které se mísily v přesných poměrech zaručujících optimalizaci vlastností a reprodukovatelnost kvality. S objevem a rozvojem syntetických barviv na bázi dehtových derivátů (1856) pak byly železozalové inkousty postupně vytlačeny z běžného používání.²¹

¹⁵ OLIVER, Meredith. *From Lazarus To Theophilus*, s. 26–27.; CARVALHO, David N. *Forty Centuries of Ink*, s. 62–63.

¹⁶ ĎUROVIČ, Michal. *Restaurování a konzervování archiválií a knih*, s. 320.

¹⁷ RAGGETTI, Lucia. *Traces of ink: experiences of philology and replication*, s. 77–78.

¹⁸ OLIVER, Meredith. *From Lazarus To Theophilus*, s. 27.; CARVALHO, David N. *Forty Centuries of Ink*, s. 93–98.

¹⁹ OLIVER, Meredith. *From Lazarus To Theophilus*, s. 19.

²⁰ *Ibid.*, s. 27–29.; CARVALHO, David N. *Forty Centuries of Ink*, s. 100–101.

²¹ ĎUROVIČ, Michal. *Restaurování a konzervování archiválií a knih*, s. 332–337.

Γράφονται δ' αἱ ἐπιστολαὶ εἰς καυσίαν καινὴν <ἢ>
εἰς τὸν χρῶτα, κικῖδος θλασθείσης καὶ ὕδατι
βραχείσης· ξηραθέντα δὲ τὰ γράμματα ἀδηλα
γίνεται, χαλκοῦ δὲ ἄνθους τριφθέντος ὡσπερ ἐν
ὕδατι τὸ μέλαν καὶ ἐν τούτῳ σπόγγου βραχέντος,
ὅταν ἀποσπογγισθῇ τούτῳ, φανερὰ γίνεται.

We suggest the following literal translation:

The letters are written on a new kausia,⁸ or on (human) skin, with crushed gallnuts soaked in water; when the characters dry out, they become invisible; when one grinds flower of copper, like black (ink) in water, and moistens a sponge with it, they become visible whenever one wipes them off with it as with a sponge.

*Obrázek 1 Příklad interpretace Filónovy receptury,
převzato z: Looking for the missing link in the evolution of
black inks*

Pro přípravu inkoustu si nařež dřevo z hlohu. Učiň tak v dubnu nebo v květnu, než vyraší listy a vykvete. Svaž je do otýpek a nechej ležet ve stínu týden, dva i čtyři, dokud neproschnou. Pak vezmi dřevěnou palici a buš do nich na tvrdém prkně, dokud nepůjde sloupat kůra, kterou dáš hned do sudu s vodou.

Když už máš sudy dva, tři, čtyři nebo i pět, nechej je tak stát osm dní, aby voda vytáhla z kůry všechnu mízu. Čas od času dej kus kůry do hrnce a zbyla-li v ní nějaká míza, vyvaří se. Vyhoď ji pak a dej do hrnce další. Nechej tu vodu ze dvou třetin vyvařit, přelij ji do menšího hrnce a dál vař, dokud nezačne černat a houstnout. Dávej dobrý pozor, abys nepřidal jinou vodu, než tu, ve které je míza. Když tedy vidíš, že voda zhoustla, přidej třetinu čistého vína, přelij do dalších dvou či tří nových hrnců a zahřívej, dokud neuvidíš, že se na povrchu dělá blanka.

Pak sundej hrnce z ohně a nechej stát na slunci, dokud se černý inkoust neoddělí od červeného kalu. Pak vezmi malé, pečlivě ušité pergamenové pytlíky podobné měchýřům, nalij do nich inkoust a nechej je schnout pověšené na slunci.

Až budou suché, vezmi z pytlíku, kolik potřebuješ, smíchej na ohni s vínem a zelenou skalicí a můžeš psát. Jestli se ti to nepovedlo a inkoust není dost černý, vezmi na palec silný kus železa, rozpal ho v ohni do červena a pak ho hod' do inkoustu.

*Obrázek 2 Příklad interpretace Theophilovy receptury,
převzato z: Recepty starých mistrů aneb Malířské postupy
středověku*

3.1 Vitriol

Termín *vitriol* má dlouhou a proměnlivou historii sahající až do starověku, kdy označoval skupinu minerálů se sklovitým leskem. Tyto látky vznikaly jako sekundární produkty zvětrávacích zón ložisek kovových sulfidů a jednalo se především o hydratované sírany dvojmocných kovů, zejména železa a mědi. V antickém Řecku a Římě byl *vitriol* těžen zejména v okolí měděných dolů na Kypru, a proto byl přirozeně považován za látku spjatou s mědí. Tato surovina, označovaná Řeky jako *chalcanthon* a v latině jako *atramentum sutorium*, nacházela uplatnění mimo jiné i při barvení kůže.²² Síran železnatý mohl být nicméně získán i jako vedlejší produkt při výrobě kamence.²³

Přestože byl *vitriol* již v minulosti tradičně rozlišován do několika podkategorií podle barvy (zelený, modrý, bílý, žlutý, červený či černý), nelze toto dělení přisuzovat pochopení jeho skutečného chemického složení. Šlo o klasifikaci založenou výhradně na vizuálním pozorování, které bylo často ovlivněno oxidací či přítomností jiných kovů (např. mědi, hliníku, zinku, manganu). Bez ohledu na svůj konkrétní “typ“ tak *vitriol* mohl obsahovat určité množství železnatých iontů zodpovědných za vznik černého barviva. Ačkoli tato skutečnost nebyla do 16. století obecně známa,²⁴ může zpětně objasnit funkčnost historických receptur, v nichž je jako hlavní složka uvedena surovina dnes spojovaná s mědí (např. modrý *vitriol*).

Termín *vitriol* se navíc často objevuje paralelně s výrazy *copperas*, *sal martis*, *vitriolum commune*, *vitriolum romanorum* a *vitriolum cyprinum*.²⁵ Teprve v 16. století se začaly systematicky zkoumat chemické vlastnosti těchto látek²⁶ a s následným rozvojem analytické chemie se význam termínu *vitriol* postupně zúžil a ustálil jako označení pro síran železnatý ($\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$).²⁷

²² KARPENKO, Vladimír a JOHN A. NORRIS. *Vitriol in the History of Chemistry*. *Chemické Listy* [online]. 2002, roč. 96, č. 12. Dostupné z: <http://www.chemicke-listy.cz/ojs3/index.php/chemicke-listy/article/view/2266>

²³ HAHN, O. et al. Characterization of iron-gall inks in historical manuscripts and music compositions using x-ray fluorescence spectrometry. *X-Ray Spectrometry*. 2004, roč. 33. Dostupné z: <https://doi.org/10.1002/xrs.677>

²⁴ MONTANARI, Giacomo et al. Artificial *vitriols*: a contemporary interpretation of historical ingredients. *RSC Advances*. 2024, roč. 14, č. 30. Dostupné z: <https://doi.org/10.1039/D4RA01896F>; KARPENKO, Vladimír a JOHN A. NORRIS. *Vitriol in the History of Chemistry*.

²⁵ HAHN, O. et al. *Characterization of iron-gall inks in historical manuscripts and music compositions using x-ray fluorescence spectrometry*.

²⁶ KARPENKO, Vladimír a JOHN A. NORRIS. *Vitriol in the History of Chemistry*.

²⁷ MONTANARI, Giacomo et al. *Artificial vitriols: a contemporary interpretation of historical ingredients*.

4 SLOŽENÍ A PŘÍPRAVA ŽELEZOGALOVÝCH INKOUSTŮ

Navzdory rozmanitosti dochovaných receptur, které odrážejí dlouhou tradici, zůstávají princip vzniku železagalového inkoustu (kap. 5 Chemická podstata), jeho základní složky a technologický postup v jádru neměnné. Základními složkami jsou **polyfenoly**, **kationty železa**, **pojiva** a **rozpouštědla**. Součástí nicméně mohla být i různá **aditiva** ovlivňující některé vlastnosti jako je odstín, viskozita či trvanlivost.²⁸ Některé složky navíc mohly plnit více rolí, kupříkladu ocet sloužil současně jako rozpouštědlo i konzervant.²⁹ Různorodost receptur spočívala především ve variabilitě surovin, které tyto jednotlivé složky zastupovaly.³⁰

4.1 Základní složky

4.1.1 Polyfenoly

Zdrojem polyfenolů byly různé přírodní materiály obsahující třísloviny, zejména hydrolyzované. Historicky nejpreferovanější surovinou byly **duběnky**, ceněné pro svůj vysoký obsah gallotanninů.³¹ Jedná se o patologické výrůstky (háčky) na dubech, které vznikají jako obranná reakce na parazitické působení hálkotvorného hmyzu (žlabatek). Jejich vznik je iniciován kladením oplozených vajíček samičkou do pletiv hostitelské rostliny, převážně listů, což spouští abnormální růst tkáně, která následně slouží jako výživa a ochrana pro vyvíjející se larvu.³² Kvalita duběnek, a tedy i obsah účinných látek, závisela na řadě faktorů, jako byl druh dubu, doba sběru či geografický původ. Za nejkvalitnější byly považovány tzv. aleppské duběnky z dubu hálkového (*Quercus infectoria*).³³

Mimo duběnky se jako zdroje tříslovin využívaly i jiné rostlinné části. Mezi nejčastější patřila **kůra stromů či keřů** (např. dub, hloh, borovice, třešeň, černá trnka, jasan, olše),³⁴ **listy** (např.

²⁸ ĎUROVIČ, Michal. *Restaurování a konzervování archiválií a knih*, s. 320.

²⁹ OLIVER, Meredith. *From Lazarus To Theophilus*, s. 18.

³⁰ ĎUROVIČ, Michal. *Restaurování a konzervování archiválií a knih*, s. 320.

³¹ Ibid.

³² WEISSOVÁ, Vendula. *Biologická aktivita metabolitů hálkotvorných organismů*. 2018, Bakalářská práce, Univerzita Palackého v Olomouci, s. 2, 4–5. Dostupné z: https://library.upol.cz/ar1-upol/cs/detail-upol_us_cat-0252191-Biologicka-aktivita-metabolitu-halkotvornych-organismu/

³³ CATERINO, Salvatore, Nicolò PAJER a Claudia CRESTINI. Iron-galls inks: preparation, structure and characterisation. *Microchemical Journal*. 2023, roč. 185. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.microc.2022.108258>; *Duběnky – dubové háčky* [online]. 2019. Dostupné z: <https://mudr-alena-hamplova.cz/dubenky-dubove-halky/>

³⁴ NOVÁK, Antonín, ed. *Traktáty a receptáře: výtvarné techniky středověku, renesance a baroka*. Praha: Filosofia, 2020, s. 131, 361, 380.; ĎUROVIČ, Michal. *Restaurování a konzervování archiválií a knih*, s. 320.

škumpa) či různé **plody a lusky** (např. slivoň myrobalán, sapaně koželužská, granátové jablko). Tyto suroviny byly v receptech mnohdy kombinovány nebo užívány jako sekundární zdroje polyfenolů vedle vydatnějších duběnek.³⁵

4.1.2 Kationty železa

Historicky nejvýznamnějším zdrojem kationtů železa byl **vitriol**, někdy označovaný jako zelený vitriol, dnes chemicky definovaný jako síran železnatý ($\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$), známý též jako zelená skalice. Vitriol v historickém kontextu ovšem mohl obsahovat různé koncentrace dalších kovů, které k tvorbě černého barviva nebyly vhodné (kap. 3.1 Vitriol).³⁶

V případech, kdy vitriol nebyl dostupný nebo kvalitní, receptury uvádějí i řadu **alternativních zdrojů**. Tyto suroviny sloužily buď jako hlavní reaktant nebo jako doplňková složka pro zvýšení kvality inkoustu. Patřila sem například modrá skalice, železné předměty (hřebíky, pláty), z nichž se ionty uvolňovaly louhováním či varem, ale i odpadní materiály jako rez nebo voda z broušení nožů nebo okují. Ačkoliv se tyto alternativy vyznačovaly snadnou dostupností a nízkými náklady, jejich nevýhodou byla pomalejší reakce a nižší kvalita získaného produktu.³⁷

4.1.3 Pojiva

V počátečních obdobích se jako pojiva používaly převážně různé typy **rostlinných gum** a **pryskyřic**, jako je tragant, mastix, myrha či gummy z plodů ovocných stromů a semen rohovníku (karob).³⁸ Tyto látky se lišily rozpustností, viskozitou a chováním v kyselém prostředí, což ovlivňovalo kvalitu inkoustu.³⁹

Časem se jako nejvhodnější a nejběžnější pojivo jednoznačně prosadila **arabská guma**.⁴⁰ Vedle své výborné rozpustnosti ve vodě a relativně nízké viskozitě, která i při vyšších koncentracích umožňovala dobrý tok inkoustu, se vyznačovala několika klíčovými funkčními vlastnostmi. Díky schopnosti vytvářet ochrannou bariéru kolem kationtů železa regulovala jejich

³⁵ CATERINO, Salvatore, Nicolò PAJER a Claudia CRESTINI. *Iron-galls inks: preparation, structure and characterisation*.

³⁶ HAHN, O. et al. *Characterization of iron-gall inks in historical manuscripts and music compositions using x-ray fluorescence spectrometry*.

³⁷ OLIVER, Meredith. *From Lazarus To Theophilus*, s. 16–17, 88, 97–98.; NOVÁK, Antonín, ed. *Traktáty a receptáře: výtvarné techniky středověku, renesance a baroka*, s. 134, 188, 372, 280.

³⁸ VASSIOU, Ermioni et al. Iron gall ink from historical recipes on organic substrates and their study before and after accelerated ageing with μ -RAMAN Spectroscopy and SEM-EDS. *Journal of Cultural Heritage*. 2024, roč. 66. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.culher.2024.01.006>; CATERINO, Salvatore, Nicolò PAJER a Claudia CRESTINI. *Iron-galls inks: preparation, structure and characterisation*.

³⁹ ZELINGER, Jiří. *Chemie v práci konzervátora a restaurátora*, s. 115–116.

⁴⁰ OLIVER, Meredith. *From Lazarus To Theophilus*, s. 19.

kontakt s kyslíkem, a tím částečně bránila předčasné oxidaci.⁴¹ V roztoku dále napomáhala tvorbě komplexu a přispívala ke stabilizaci pH. V neposlední řadě mohla plnit i ochrannou funkci vůči podložce, neboť vytvářela bariéru omezující degradační vliv agresivních složek inkoustu.⁴²

Okrajově se mohly uplatňovat i látky živočišného původu, jako želatina či vaječný bílek.⁴³ Jejich fyzikálně-chemické vlastnosti byly pro přípravu inkoustů méně vhodné, zejména kvůli omezené rozpustnosti a vyšší náchylnosti k mikrobiologickému napadení.⁴⁴

4.1.4 Rozpouštědla

Základním rozpouštědlem pro přípravu železozalových inkoustů byla voda, která byla snadno dostupná z různých přírodních zdrojů (např. studní, řek nebo deště), avšak sama o sobě nevykazovala žádné technologicky výhodné vlastnosti. Proto se často uplatňovaly i další kapaliny, buď samostatně nebo v kombinaci s vodou, které plnily aktivnější roli. Mezi nejběžnější patřily **víno** (zejména bílé), **ocet**⁴⁵ a **pivo**. Jejich kyselá povaha napomáhala účinnější extrakci tříslovin z rostlinných materiálů a zároveň zlepšovala penetraci inkoustu do podložky. Díky svým antimikrobiálním vlastnostem navíc sloužily i jako konzervanty. Ocet specificky mohl zpomalovat oxidaci železnatých iontů, čímž omezoval předčasnou tvorbu barviva v roztoku.⁴⁶

Vedle těchto hlavních rozpouštědel historické prameny zmiňují i další, méně častá média, jako byla šťáva z kyselých hroznů či medovina.⁴⁷

4.1.5 Aditiva

K běžným aditivům patřily **med** a **cukr**, případně různé **sirupy** a **melasa**, které ovlivňovaly reologické vlastnosti a rychlost schnutí inkoustu. Pro konzervační účely se přidával **hřebíček**, **fenol**, **kamenec**, **kuchyňská sůl**⁴⁸ nebo **slupky granátových jablek**. Za účelem dodání počáteční

⁴¹ ZELINGER, Jiří. *Chemie v práci konzervátora a restaurátora*, s. 116.

⁴² JANČOVIČOVÁ, V. et al. Interactions in iron gall inks. *Chemical Papers*. 2007, roč. 61, č. 5. Dostupné z: <https://doi.org/10.2478/s11696-007-0053-0>

⁴³ CATERINO, Salvatore, Nicolò PAJER a Claudia CRESTINI. *Iron-galls inks: preparation, structure and characterisation*.

⁴⁴ ZELINGER, Jiří. *Chemie v práci konzervátora a restaurátora*, s. 77–88.

⁴⁵ NOVÁK, Antonín, ed. *Traktáty a receptáře: výtvarné techniky středověku, renesance a baroka*, s. 184–186, 440.; HŘEBÍČKOVÁ, Barbora A., ed. *Recepty starých mistrů aneb Malířské postupy středověku*. Brno: Computer Press, 2006, s. 112–115.

⁴⁶ OLIVER, Meredith. *From Lazarus To Theophilus*, s. 18.

⁴⁷ NOVÁK, Antonín, ed. *Traktáty a receptáře: výtvarné techniky středověku, renesance a baroka*, s. 372.

⁴⁸ KAMINARI, Agathi-Anthoula, Stamatis C. BOYATZIS a Athina ALEXOPOULOU. Linking Infrared Spectra of Laboratory Iron Gall Inks Based on Traditional Recipes with their Material Components. *Applied Spectroscopy*. 2018, roč. 72, č. 10. Dostupné z: <https://doi.org/10.1177/0003702818778319>; ĎUROVIČ, Michal. *Restaurování a konzervování archiválií a knih*, s. 320.

barvy (před oxidací) nebo úpravě finálního odstínu a sytosti inkoustu se používaly přírodní i syntetické barvicí látky jako **hematit, indigo, uhlíková čern, lápis lazuli, pruská modř, zlatý prach, kamešky, brazilské dřevo** a později i syntetická **anilinová barviva**. Zmíněné indigo přitom bylo ceněno nejen pro sytý odstín, ale i pro schopnost vázat přebytečné ionty kovů a přispívat ke stabilitě inkoustu.⁴⁹

Je třeba podotknout, že historické receptury inkoustů zahrnovaly mnohem širší spektrum aditiv. Řada z těchto látek nebyla z hlediska dlouhodobé stability vhodná, zejména v počátečních obdobích, kdy se experimentovalo s přísadami, jejichž účinek na trvanlivost inkoustu nebyl dostatečně znám. Některá aditiva tak mohla přispět k degradačním procesům, které dnes komplikují uchování historických dokumentů.⁵⁰

4.2 Technologie přípravy

Výchozím krokem výrobního procesu byla **extrakce polyfenolů** z rostlinného materiálu. Druh a vlastnosti tohoto materiálu zásadně ovlivňovaly množství i charakter dostupných polyfenolických látek (např. volná kyselina gallová, kondenzované třísloviny). Přednostně se užívaly suroviny bohaté na hydrolyzovatelné třísloviny, především **gallotanniny** (estery kyseliny gallové navázané na glukózu). Tradičními extrakčními metody zahrnovaly **maceraci, vaření a fermentaci**.⁵¹

Účinnost extrakce závisela nejen na zvoleném postupu, ale také na jeho délce, teplotě, volbě rozpouštědla, způsobu zpracování rostlinného materiálu (například drcení) a poměru pevné a kapalné fáze. Obecně platilo, že s prodlužující se dobou extrakce rostl výtěžek tříslovin, současně nicméně mohlo docházet k postupnému snížení jejich kvality.⁵²

Přestože základní princip přípravy železagalového inkoustu zůstal víceméně stejný, mohl se lišit v sekvenci přidávání jednotlivých složek. Některé receptury uváděly všechny suroviny včetně aditiv smíchat již na počátku výrobního procesu. Jiné uplatňovaly oddělený postup, při němž byla extrakce provedena samostatně, získaný extrakt přefiltrován a zbývající suroviny přidány posléze. Existovaly rovněž kombinované postupy. Rostlinný materiál mohl být například

⁴⁹ OLIVER, Meredith. *From Lazarus To Theophilus*, s. 20–21.; CATERINO, Salvatore, Nicolò PAJER a Claudia CRESTINI. *Iron-galls inks: preparation, structure and characterisation*.

⁵⁰ ĎUROVIČ, Michal. *Restaurování a konzervování archiválií a knih*, s. 320.

⁵¹ VASSIOU, Ermioni et al. *Iron gall ink from historical recipes on organic substrates and their study before and after accelerated ageing with μ -RAMAN Spectroscopy and SEM-EDS*.

⁵² DAS, Atanu Kumar et al. Review on tannins: Extraction processes, applications and possibilities. *South African Journal of Botany*. 2020, roč. 135. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.sajb.2020.08.008>

nejprve povařen, načež se do směsi přidaly další suroviny a celek se ponechal k maceraci (kap. 7.3.4 Postup přípravy inkoustů).

Kromě klasické tekuté formy existovaly železagalové inkousty v podobě praktických polotovarů, které se připravovaly až těsně před použitím. Jejich hlavní výhodou byla snadná a bezpečná přenositelnost, což z nich činilo ideální cestovní záznamové prostředky. Další předností byla možnost připravit si vždy jen potřebné množství, čímž se omezilo riziko plesnivění. Jednou z forem byl zcela vysušený hotový železagalový inkoust, který stačilo před použitím znovu rozmíchat ve vodě či jiném rozpouštědle. Jinou variantou mohl být práškový polotovar obsahující například vysušený extrakt z duběnek, pojivo a někdy i vitriol. Taková směs se před psaním jednoduše rozmíchala s vodou a případně dalšími chybějícími složkami.⁵³ Tyto formy inkoustů byly nazývány jako *pevné*, *v kolečkách*, *v tyčinkách* apod.

⁵³ *Iron gall ink - Manufacture of ink* [online]. Dostupné z: <https://irongallink.org/iron-gall-ink-manufacture-of-ink.html>

5 CHEMICKÁ PODSTATA ŽELEZOGALOVÝCH INKOUSTŮ

Z chemického hlediska představují železagalové inkousty mimořádně komplexní systémy, jejichž přesné složení a výsledné vlastnosti jsou variabilní a obtížně definovatelné. Tato inherentní komplexita je dána celou řadou vzájemně provázaných faktorů. Mezi ně patří nejen druh a kvalita použitých surovin, ale také specifické složení výchozích rostlinných materiálů, způsob a účinnost extrakce polyfenolů, poměry jednotlivých složek, přítomnost aditiv i samotný technologický postup přípravy. Přestože bylo v posledních letech dosaženo značného pokroku, naše poznání chemického složení, mechanismů komplexace železa a degradačních procesů zůstává nadále předmětem kontinuálního výzkumu.⁵⁴

Tradiční pohled na složení železagalových inkoustů se opíral o představu, že jejich barvu tvoří výhradně komplexy železa s **kyselinou gallovou**. Moderní analytické metody tento zjednodušený předpoklad vyvracejí a ukazují, že na vzniku barevného komplexu se podílí mnohem **širší spektrum polyfenolických látek** (obr. 3). Jejich konkrétní zastoupení se odvíjelo od typu použité rostlinné suroviny a mohlo tak zahrnovat nejen hydrolyzovatelné třísloviny (gallotaniny i ellagotaniny), ale i ty kondenzované či komplexní.⁵⁵ Například extrakty z duběnek obsahují převážně složité oligogalloylové glukózy (jako pentagalloylglukózu) a jen zanedbatelné množství volné kyseliny gallové.⁵⁶

Navzdory této nově objevené komplexitě zůstává základní **dvoufázový mechanismus vzniku barevné složky** platný. V první fázi reagují železnaté ionty (Fe^{2+}) s dostupnými polyfenolickými ligandy (zejména katecholovými a galloylovými skupinami) za vzniku tmavých, ale stále ve vodě rozpustných komplexů. Tato komplexace je silně závislá na pH prostředí, které ovlivňuje stupeň deprotonace ligandů a počet dostupných koordinačních míst. Obecně platí, že s rostoucí hodnotou pH se zvyšuje i poměr železa k ligandu, a tedy i výsledná stabilita celého komplexu. V kyselém

⁵⁴ CATERINO, Salvatore et al. A Systematic Multianalytical Approach in the Study of Iron–Polyphenolic Complexes in Iron–Gall Inks: Exploring the Potentialities of Raman and Electron Paramagnetic Resonance. *Inorganic Chemistry*. American Chemical Society (ACS), 2025, roč. 64, č. 10. Dostupné z: <https://doi.org/10.1021/acs.inorgchem.4c04232>

⁵⁵ Ibid.

⁵⁶ TEIXEIRA, Natércia et al. In-depth phenolic characterization of iron gall inks by deconstructing representative Iberian recipes. *Scientific Reports*. Springer Science and Business Media LLC, 2021, roč. 11, č. 1. Dostupné z: <https://doi.org/10.1038/s41598-021-87969-3>

prostředí (pH <5,5), které je pro tyto inkousty typické, většinou vznikají jednoduché komplexy s poměrem 1:1.⁵⁷

Hodnota pH čerstvě připraveného inkoustu se, díky přítomnosti iontů železa a síry, kyselin z rostlinných materiálů (extrakce) a dalších kyselých složek (např. ocet), obvykle pohybuje v rozmezí od 2 do 3. Během přirozeného stárnutí pH přitom dále klesá, a to v důsledku deprotonace vody (odštěpení H⁺) během autooxidace železa v roztoku.⁵⁸ Některé zdroje také uvádějí, že k acidifikaci prostředí přispívá kyselina sírová, která může vznikat jako vedlejší produkt při komplexaci kationtů železa s polyfenolickými ligandy, kdy se odštěpené protony z hydroxylových skupin vážou na síranové anionty přítomné díky síranu železnatého. Přímé důkazy o přítomnosti volné kyseliny sírové v roztoku jsou nicméně omezené a její existence v tomto kontextu zůstává předmětem diskuse.⁵⁹

Ve druhé fázi, která obvykle nastává po nanesení inkoustu na psací podložku, dochází k autooxidaci železnatých iontů (Fe²⁺) na vyšší oxidační stupeň (Fe³⁺). Ačkoliv za běžných podmínek probíhá tento proces pomalu, navázané deprotonované polyfenolové ligandy výrazně snižují redoxní potenciál železa a tím ho urychlují. Jako vedlejší produkty oxidace mohou vznikat i vysoce reaktivní formy kyslíku, včetně peroxidu vodíku (H₂O₂). Takto vzniklé železité ionty se pak s polyfenoly váží s vyšší afinitou a tvoří finální tmavé nerozpustné komplexy většinou modročerného nebo hnědočerného odstínu.⁶⁰ Neodstranitelnost záznamu, pro kterou byly tyto inkousty ceněny, je důsledkem srážení těchto komplexů uvnitř struktury podložky, čímž dochází k jejich pevné a trvalé fixaci.⁶¹ Pojivo v roztoku mělo za úkol zpomalit zmíněnou oxidaci a zabránit

⁵⁷ CATERINO, Salvatore et al. *A Systematic Multianalytical Approach in the Study of Iron–Polyphenolic Complexes in Iron–Gall Inks.*; CATERINO, Salvatore, Nicolò PAJER a Claudia CRESTINI. *Iron-galls inks: preparation, structure and characterisation.*

⁵⁸ MELO, Maria João et al. Iron-gall inks: a review of their degradation mechanisms and conservation treatments. *Heritage Science*. Springer Science and Business Media LLC, 2022, roč. 10, č. 1. Dostupné z: <https://doi.org/10.1186/s40494-022-00779-2>; ROUCHON, Véronique et al. Room-Temperature Study of Iron Gall Ink Impregnated Paper Degradation under Various Oxygen and Humidity Conditions: Time-Dependent Monitoring by Viscosity and X-ray Absorption Near-Edge Spectrometry Measurements. *Analytical Chemistry*. American Chemical Society (ACS), 2011, roč. 83, č. 7. Dostupné z: <https://doi.org/10.1021/ac1029242>

⁵⁹ MELO, Maria João et al. *Iron-gall inks.*; ĎUROVIČ, Michal. *Restaurování a konzervování archiválií a knih*, s. 322.

⁶⁰ CATERINO, Salvatore et al. *A Systematic Multianalytical Approach in the Study of Iron–Polyphenolic Complexes in Iron–Gall Inks.*; CATERINO, Salvatore, Nicolò PAJER a Claudia CRESTINI. *Iron-galls inks: preparation, structure and characterisation.*

⁶¹ ROUCHON, V. a S. BERNARD. Mapping iron gall ink penetration within paper fibres using scanning transmission X-ray microscopy. *Journal of Analytical Atomic Spectrometry*. Royal Society of Chemistry (RSC), 2015, roč. 30, č. 3. Dostupné z: <https://doi.org/10.1039/c4ja00358f>

srážení případných předčasně vznikajících nerozpustných komplexů. Současně snižovalo penetraci inkoustu do podložky.⁶²

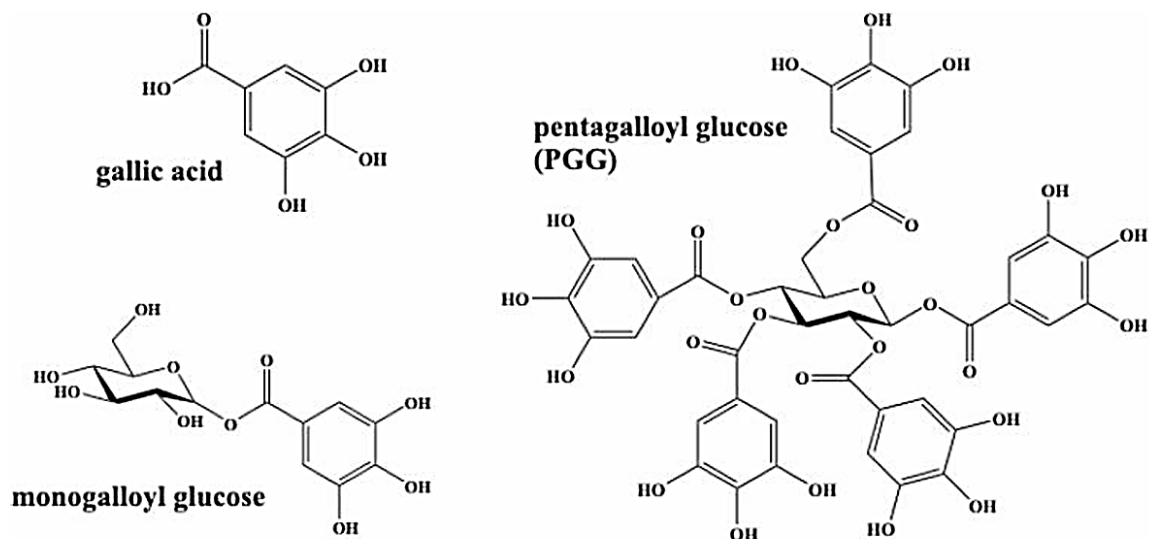
Přesná chemická struktura finálního nerozpustného barevného komplexu v železagalových inkoustech je stále předmětem odborné diskuse a v současnosti pro ni existují dva hlavní navrhované modely. První z nich popisuje komplex jako víceméně homogenní koordinační polymer s definovaným vzorcem $\text{Fe}(\text{C}_7\text{O}_5\text{H}_3) \cdot \chi \text{H}_2\text{O}$ ($\chi \approx 1.5\text{--}3.2$). Tato struktura vzniká propojením železitých iontů v oktaedrické geometrii s ligandy kyseliny gallové do prostorové sítě, jejíž kanálky vyplňují molekuly vody (obr. 4). Jeho relevantnost je však značně limitována, jelikož vychází z experimentů provedených na inkoustech připravených syntézou železnatých iontů výhradně s kyselinou gallovou ($\text{C}_7\text{H}_6\text{O}_5$). Platnost tohoto polymeru je nicméně v současnosti zpochybňována zjištěním, že jeho vznik vyžaduje prostředí o pH vyšším než 3, kterého lze při přípravě inkoustů dle historických receptur dosáhnout pouze za určitých podmínek.⁶³

Druhý model je založen na struktuře jádro-obal, kde jádro tvoří nanočástice oxid-hydroxidu železitého a obal polymerizované oxidační produkty polyfenolů. Tato varianta je oproti předchozí mnohem obecnější a lze ji považovat za relevantnější pro tradiční, vysoce kyselé inkousty vyrobené z přírodních extraktů.⁶⁴

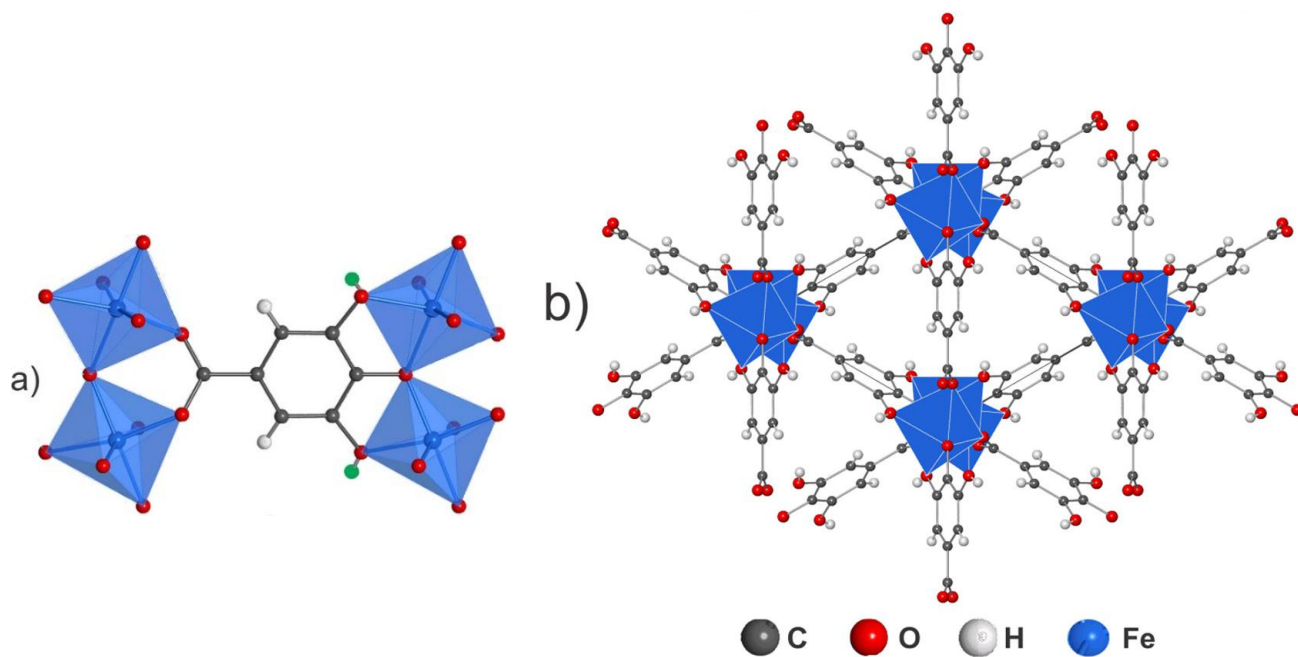
⁶² ROUCHON, V. a S. BERNARD. Mapping iron gall ink penetration within paper fibres using scanning transmission X-ray microscopy. *Journal of Analytical Atomic Spectrometry*. Royal Society of Chemistry (RSC), 2015, roč. 30, č. 3. Dostupné z: <https://doi.org/10.1039/c4ja00358f>; HAHN, O. et al. *Characterization of iron-gall inks in historical manuscripts and music compositions using x-ray fluorescence spectrometry*.

⁶³ PONCE, Aldo et al. Elucidation of the Fe(III) Gallate Structure in Historical Iron Gall Ink. *Analytical Chemistry*. American Chemical Society (ACS), 2016, roč. 88, č. 10. Dostupné z: <https://doi.org/10.1021/acs.analchem.6b00088>; TEIXEIRA, Natércia et al. Impact of Fe^{3+} /Polyphenol Ratio in Iron-gall Ink on Superoxide Formation: Rationalizing Historic Recipes from a Kinetic Study. *ChemPhysChem*. 2025, roč. 26, č. 1. Dostupné z: <https://doi.org/10.1002/cphc.202400859>

⁶⁴ TEIXEIRA, Natércia et al. *Impact of Fe^{3+} /Polyphenol Ratio in Iron-gall Ink on Superoxide Formation.*; LERF, A. a F. E. WAGNER. Model compounds of iron gall inks – a Mössbauer study. *Hyperfine Interactions*. Springer Science and Business Media LLC, 2016, roč. 237, č. 1. Dostupné z: <https://doi.org/10.1007/s10751-016-1280-y>



Obrázek 3 Strukturní vzorce vybraných polyfenolických látek podílejících se na tvorbě komplexů s kationty železa, převzato z: *In-depth phenolic characterization of iron gall inks by deconstructing representative Iberian recipes*



Obrázek 4 Schéma prostorové sítě koordinačního polymeru $Fe(C_7O_5H_3) \cdot xH_2O$ (bez molekul vody), převzato z: *Elucidation of the Fe(III) Gallate Structure in Historical Iron Gall Ink*

6 DEGRADACE ŽELEZOGALOVÝCH INKOUSTŮ

Železagalové inkousty, ač historicky mimořádně oblíbené, představují díky svému chemickému složení jeden z nejzávažnějších problémů z hlediska ochrany rukopisných památek.⁶⁵ Již z výroby obsahují složky, které lokálně katalyzují přirozeně probíhající degradační mechanismy papíru i pergamenu. Tento jev, nazývaný koroze, může v nejzávažnějších případech vést k úplné ztrátě mechanických vlastností v místě inkoustového nánosu. Současné vědecké poznání ovšem stále nedokáže plně pokrýt komplexnost a kinetiku těchto procesů, což je dáno již zmíněnou variabilitou historických receptur a faktem, že velká část výzkumu byla založena na zjednodušených modelových inkoustech.⁶⁶

Za hlavní příčiny koroze jsou považovány dva mechanismy, které často působí synergicky. Prvním z nich je kyselá hydrolýza katalyzovaná přítomnými kyselými složkami záznamového prostředku. Největší důraz byl v tomto ohledu tradičně kladen na kyselinu sírovou, nicméně jak již bylo uvedeno, její přítomnost v systému je v současnosti nejistá (kap. 5 Chemická podstata). Samotný průběh hydrolýzy se liší v závislosti na typu materiálu. U papíru dochází ke štěpení glykosidických vazeb celulózy, zatímco u pergamenu jde o zkracování kolagenních vláken a následnou denaturaci, jejímž projevem je nižší teplota smrštění.⁶⁷

Druhým klíčovým mechanismem je **kovem katalyzovaná oxidace**. V procesu mají zásadní roli volné ionty železa (Fe^{2+}) a často přítomné mědi (Cu^+), přičemž ionty mědi vykazují vyšší reaktivitu. V přítomnosti peroxidu vodíku (H_2O_2) dochází za účasti těchto iontů k tzv. Fentonovým reakcím, které generují vysoce reaktivní formy kyslíku, jako jsou hydroxylové radikály ($\text{OH}\cdot$).⁶⁸ Tyto radikály, společně s dalšími reaktivními formami vznikajícími během tvorby barevného komplexu (kap. 5 Chemická podstata), zahajují řetězové reakce. Výsledkem v případě papírové podložky je štěpení celulózových řetězců a v případě pergamenové podložky zvýšení podílu

⁶⁵ REISSLAND, Birgit. *Visible progress of paper degradation caused by iron gall inks*. Newcastle upon Tyne: Postprints, University of Northumbria, 2000.

⁶⁶ LIU, Yun, Irena KRALJ CIGIĆ a Matija STRLIČ. Kinetics of accelerated degradation of historic iron gall ink-containing paper. *Polymer Degradation and Stability*. Elsevier BV, 2017, roč. 142. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.polymdegradstab.2017.07.010>

⁶⁷ MELO, Maria João et al. *Iron-gall inks.*; BOYATZIS, Stamatis C., Georgia VELIVASAKI a Malea EKATERINI. A study of the deterioration of aged parchment marked with laboratory iron gall inks using FTIR-ATR spectroscopy and micro hot table. *Heritage Science*. 2016, roč. 4, č. 13. Dostupné z: <https://doi.org/10.1186/s40494-016-0083-4>

⁶⁸ RETKO, Klara et al. Exploring the properties and degradation of iron gall inks and logwood ink and their mixtures on various paper supports. *npj Heritage Science*. 2025, roč. 13, č. 139. Dostupné z: <https://doi.org/10.1038/s40494-025-01732-9>

kyselých aminokyselin nad zásaditými. V některých případech mohou být narušeny i peptidické vazby.⁶⁹

Je nutné si uvědomit, že průběh koroze podložky je do značné míry podmíněn **degradací samotného inkoustu**, jehož složení je ve své podstatě nestabilní. Během stárnutí proto dochází k chemickým změnám, které narušují jeho vnitřní strukturu a vedou ke vzniku vedlejších degradačních produktů. Vizuálně se tyto změny projevují posuny v barevnosti i sytosti inkoustového nánosu.⁷⁰ Ani tyto mechanismy však doposud nebyly plně objasněny. Mezi dobře zdokumentované procesy patří autooxidace kyseliny gallové na ellagovou či hydrolyza polygalloylových glukóz na jednodušší formy esterů kyseliny gallové s glukózou.⁷¹ Tyto reakce povětšinou produkují degradační produkty převážně žlutého či hnědého odstínu, které mohou přispět k tmavnutí⁷². Dalším jevem je redukce kovových iontů (Fe^{3+} , Cu^{2+}) organickými sloučeninami (např. kyselinou gallovou). Jako vedlejší produkty v tomto případě mimo jiné vznikají hnědé chinony (železo) a žlutohnědé sloučeniny (měď), jež se podílí na hnědnutí nebo žloutnutí inkoustového nánosu.⁷³ Inkoustové nánosy mohou také blednout, což bývá nejčastěji spojováno s působením světla, případně s úplným rozpadem barevného komplexu z jiných příčin.⁷⁴

Na rychlosti všech výše uvedených procesů se podílí celá řada vnitřních a vnějších faktorů. Zásadním vnitřním faktorem ovlivňující reaktivitu celého systému je molární poměr mezi ionty železa a polyfenolickými složkami.⁷⁵ Významnou roli hraje množství naneseného inkoustu, tedy šířka tahu a objem přenesené kapaliny. Silnější a širší vrstva koncentruje více degradačních složek

⁶⁹ BOYATZIS, Stamatis C., Georgia VELIVASAKI a Malea EKATERINI. *A study of the deterioration of aged parchment marked with laboratory iron gall inks using FTIR-ATR spectroscopy and micro hot table.*; ROUCHON, Véronique et al. *Room-Temperature Study of Iron Gall Ink Impregnated Paper Degradation under Various Oxygen and Humidity Conditions.*

⁷⁰ XU, Zhi, Qiwen WANG a Huiming FAN. Changes in color and iron ions of commercial iron gall inks after artificial aging. *Heritage Science*. Springer Science and Business Media LLC, 2023, roč. 11, č. 96. Dostupné z: <https://doi.org/10.1186/s40494-023-00943-2>

⁷¹ FERRETTI, Adele, Francesca SABATINI a Ilaria DEGANO. Linking historical recipes and ageing mechanisms: the issue of 19th century iron gall inks. *Journal of Cultural Heritage*. 2024, roč. 67. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.culher.2024.02.012>; REISSLAND, Birgit a Margaret W. COWAN. THE LIGHT SENSITIVITY OF IRON GALL INKS. *Studies in Conservation*. Informa UK Limited, 2002, roč. 47, č. 3. Dostupné z: <https://doi.org/10.1179/sic.2002.47.s3.037>

⁷² FERRETTI, Adele, Francesca SABATINI a Ilaria DEGANO. A Model Iron Gall Ink: An In-Depth Study of Ageing Processes Involving Gallic Acid. *Molecules*. MDPI AG, 2022, roč. 27, č. 23, 8603. Dostupné z: <https://doi.org/10.3390/molecules27238603>

⁷³ RETKO, Klara et al. *Exploring the properties and degradation of iron gall inks and logwood ink and their mixtures on various paper supports.*

⁷⁴ FERRETTI, Adele, Francesca SABATINI a Ilaria DEGANO. *A Model Iron Gall Ink.*; REISSLAND, Birgit a Margaret W. COWAN. *THE LIGHT SENSITIVITY OF IRON GALL INKS.*

⁷⁵ TEIXEIRA, Natércia et al. *Impact of Fe^{3+} /Polyphenol Ratio in Iron-gall Ink on Superoxide Formation.*; REISSLAND, Birgit. *Visible progress of paper degradation caused by iron gall inks.*

na jednom místě, což přispívá k rozsáhlejšímu poškození. Degradální aktivitu zvyšuje i přítomnost mědi, která je účinnějším katalyzátorem oxidace než železo. Z hlediska podložky ovlivňuje průběh koroze především její plošná hmotnost, hodnota pH, plniva, obsah ligninu apod.⁷⁶

Vnější faktory představují zejména klimatické podmínky (teplota, relativní vlhkost, čistota ovzduší, světlo) a způsob manipulace s objektem.⁷⁷ Vyšší vlhkost navíc umožňuje migraci rozpustných složek (především železnatých iontů) z nánosů do jeho okolí. Díky tomu se oblast degradačního působení zvětšuje a vzniká tzv. halo efekt. Nutno dodat, že jednotlivé složky inkoustu již při nanesení penetrují do podložky v různém rozsahu, což ovlivňuje finální distribuci látek. Tato skutečnost by mohla vysvětlit v praxi pozorovanou nerovnoměrnost degradace v rámci jednoho dokumentu či dokonce písmene. V tomto ohledu hraje značnou roli i pojivo, jež penetraci naopak omezuje.⁷⁸

⁷⁶ RETKO, Klara et al. *Exploring the properties and degradation of iron gall inks and logwood ink and their mixtures on various paper supports.*; REISLAND, Birgit. *Visible progress of paper degradation caused by iron gall inks.*

⁷⁷ REISLAND, Birgit. *Visible progress of paper degradation caused by iron gall inks.*; REISLAND, Birgit a Margaret W. COWAN. *THE LIGHT SENSITIVITY OF IRON GALL INKS.*

⁷⁸ MELO, Maria João et al. *Iron-gall inks.*; ROUCHON, Véronique et al. *Room-Temperature Study of Iron Gall Ink Impregnated Paper Degradation under Various Oxygen and Humidity Conditions.*

7 EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST

7.1 Cíl a metodika experimentu

Hlavním cílem experimentu bylo porozumět souvislosti mezi konkrétní **recepturou** železozalového inkoustu, jeho měřitelnými **vlastnostmi** a výsledným **degradačním** vlivem na podložku (korozi). Ačkoliv je korozivní povaha těchto inkoustů obecně známá, v praxi se restaurátoři setkávají s různými mírami poškození v rámci i jednoho objektu. Příčina této pozorované nejednotnosti se odvíjí od proměnlivosti samotných receptur, tedy v použitých surovinách a ve specifickém způsobu přípravy.

Pro účely experimentu byla zhotovena série různorodých železozalových inkoustů dle autentických dochovaných receptur, jež byly nanášeny na ruční papír, strojní papír a pergamen. Část připravených vzorků byla podrobena procesu umělého stárnutí, jehož cílem bylo urychlit přirozené degradační procesy a umožnit tak zhodnotit jejich rozsah a povahu. Všechny vzorky, stárnuté i nestárnuté, následně prošly několika vybranými analýzami a zkouškami. Ty zahrnovaly bathofenantrolinový test pro detekci volných železnatých iontů, měření pH inkoustu i podložky a zkoušky stability inkoustového nánosu. Výběr těchto specifických metod (dále základní analýzy) byl motivován restaurátorskou praxí, v jejímž rámci jsou běžně užívány při posouzení stavu záznamů napsaných železozalovým inkoustem. S ohledem na potencionální nežádoucí dopad prostředku na mechanické vlastnosti podložky a toho plynoucí rizika při manipulaci s rukopisnými objekty byly do experimentu rovněž zařazeny zkoušky tržného zatížení a odolnosti v přehýbání.

7.1.1 Osnova experimentu

1. **Přípravná fáze:** Rešerše historických pramenů spojená s výběrem replikovatelných receptur a jejich následná detailní interpretace do podoby konkrétních výrobních postupů.
2. **Příprava inkoustů:** Zhotovení série železagalových inkoustů podle vybraných receptur.
3. **Počáteční vizuální zhodnocení inkoustů:** Zhodnocení reálné vhodnosti připravených inkoustů pro zařazení do experimentu na základě několika aspektů.
4. **Příprava vzorků:** Aplikace připravených inkoustů na vybrané typy podložek (ruční papír, strojní papír, pergamen).
5. **Umělé stárnutí:** Podrobení části vzorků procesu umělého stárnutí dle modifikovaného postupu vycházejícího z normy ČSN ISO 5630-3.
6. **Zhodnocení procesu umělého stárnutí:** Vizuální zhodnocení nánosů ve viditelném a ultrafialovém světle (detekce degradačních projevů).
7. **Základní analýzy (nestárnuté i stárnuté vzorky):**
 - a. Bathofenantrolinový test (detekci iontů Fe^{2+})
 - b. Měření pH
 - c. Zkoušky stability (otěr za sucha, odolnost vůči vodě)
8. **Zkoušky mechanických vlastností (nestárnuté i stárnuté vzorky):**
 - a. Zkoušky tržného zatížení dle ČSN ISO 1924–2
 - b. Zkoušky odolnosti v přehýbání dle ISO 5626
9. **Interpretace a srovnání výsledků:** Vyhodnocení klíčových souvislostí mezi třemi hlavními proměnnými: recepturou inkoustu, typem podložky a mírou degradace před a po umělém stárnutí.

7.2 Příprava fáze experimentu

7.2.1 Rešerše a výběr vhodných historických receptur

Přípravná fáze experimentu zahrnovala rešerši historických pramenů s cílem identifikovat vhodné receptury pro přípravu testovaných železagalových inkoustů. Ačkoli samotné dohledání receptur českého i zahraničního původu bylo poměrně snadné, jejich replikovatelnost se ukázala být značně obtížná. Problém často spočíval v nekonkrétnosti či přílišné obecnosti uvedených postupů. Autoři receptur, zejména v starších obdobích, patrně počítali s určitou úrovní obeznámenosti čtenáře (nezřídka se jednalo o osobní poznámky), což vedlo k absenci detailního popisu jednotlivých kroků, přesné specifikace surovin či jejich množství. Zvláště problematické byly v tomto ohledu alchymistické příručky, kde suroviny i procesy často zastupují speciální symboly.⁷⁹

Zařazení receptury do experimentu bylo podmíněno dostatečnou interpretovatelností textu. V zájmu zachování metodologické konzistence byla pozornost soustředěna výhradně na receptury s duběnkami, které byly historicky nejpreferovanějším zdrojem tříslovin. Výběr receptur byl dále záměrně vymezen na 16. století a byly preferovány prameny českého původu. Přednost byla dána jednodušším technologickým postupům a běžně dostupným surovinám s cílem umožnit co nejvyšší reprodukovatelnost výsledků.⁸⁰

⁷⁹WILL, Jan. Technologické Recepty Českých Alchymistů. [online]. Dostupné z: <https://www.scribd.com/document/522253696/Technologicke-Recepty-%C4%8Cesk%C3%BDch-Alchymist%C5%AF>; ŠICHMANOVÁ, Zuzana. *Alchymie a alchymisté v zemích českých a moravských*.

⁸⁰ GOUK, Penelope. *Transforming Matter, Refining the Spirit: Alchemy, Music and Experimental Philosophy around 1600. European Review*. Cambridge University Press (CUP), 2013, roč. 21, č. 2. Dostupné z: <https://doi.org/10.1017/s1062798712000324>

7.2.1.1 Česká alchymie

Stěžejním pramenem se stala alchymistická příručka *Česká alchymie*, aktuálně uložená v Knihovně Národního muzea v Praze (sign. I G 22). Jedná se o konvolut textů pocházejících z 15. až 18. století. Jeho hlavním autorem či kompilátorem je český alchymista Bavor Rodovský mladší z Hustiřan (1526–1592). Rukopis je považován za Bavorův osobní zápisník, v němž shromažďuje nejen své vlastní praktické zkušenosti, ale i ty převzaté od přátel a kolegů.⁸¹ Tento pramen byl zvolen pro svůj rozsah, volný přístup k digitalizované verzi knihy⁸² a existenci transkripcí některých z receptur, které publikovala Martina Andryková.⁸³

Celkem byly vybrány tři receptury (fol. 299v-300r), podle nichž bylo připraveno pět různých inkoustů. První zvolená receptura představovala nejjednodušší možný výrobní postup spočívající v prostém smíchání základních surovin (duběnky, zelená skalice, voda, arabská guma) bez aditiv (Inkoust 1). Ta byla zároveň využita k vytvoření druhého vařeného typu inkoustu s nímž by bylo možné srovnat Inkoust 4 (viz níže). Za tímto účelem byl uvedený postup receptury záměrně doplněn o krok vaření (Inkoust 2).

- **Inkoust 1 (voda)** – nevařený inkoust na bázi vody
- **Inkoust 2 (voda+var)** – vařený inkoust na bázi vody

Druhá vybraná receptura je postupem identická s předchozím, avšak odlišovala se jak specifickým poměrem použitých složek, tak použitím vína jako rozpouštědla. Tato receptura navíc explicitně uváděla dvě možnosti přípravy – s tepelnou úpravou (Inkoust 4) i bez ní (Inkoust 3).

- **Inkoust 3 (víno)** – nevařený inkoust na bázi vína
- **Inkoust 4 (víno+var)** – vařený inkoust na bázi vína

Poslední receptura popisovala přípravu tzv. inkoustu v kolečkách.

- **Inkoust 5 (pevný)** – reprezentant historické pevné formy inkoustu

⁸¹ WILL, Jan. *Technologické Recepty Českých Alchymistů*.

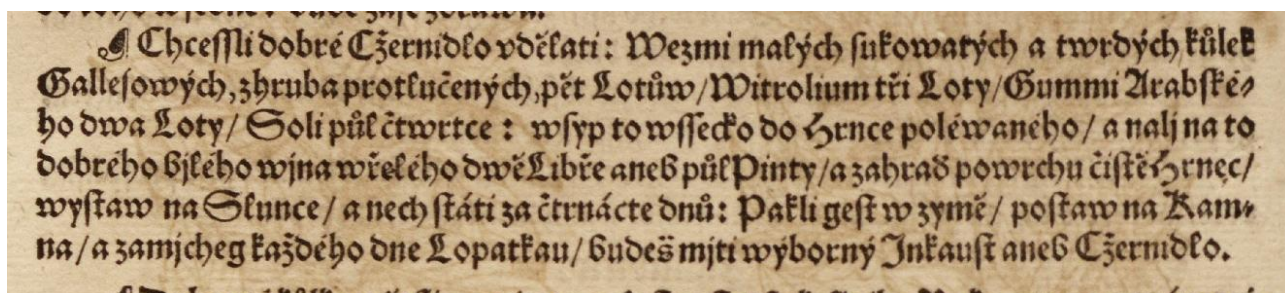
⁸² *Česká alchymie* [online]. Praha, 1510–1520. signatura: I G 22. Knihovna Národního muzea, Praha. Dostupné z: https://new.manuscriptorium.com/apis/resolver-api/cs/catalog/default/detail/manuscriptorium%7CKNM___-NMP___I_G_22_____0MWHWF4-cs

⁸³ ANDRYKOVÁ, Martina. *K výrobě inkoustu a recepturám v českých zemích do 16.století*. 2009, Diplomová práce, Masarykova univerzita. Dostupné z: <https://theses.cz/id/gr2zgu/>

7.2.1.2 Mattioliho herbář

Dalším stěžejním pramenem se stal botanický tisk *Herbář aneb Bylinář*, jehož autorem byl lékař Pietro Andrea Mattioli. Konkrétně se jednalo o jeho druhé vydání českého překladu z roku 1596 z tiskárny Daniela Adama z Veleslavína.⁸⁴ Tento pramen byl zvolen pro svou velkou popularitu v raném novověku, což z něj činí cenný doklad vymezeného období, a také díky své volné digitální dostupnosti.⁸⁵ Herbář obsahuje pouze jednu recepturu pro výrobu duběnkového inkoustu (fol. 64v) a jako jednu ze složek uvádí sůl, která byla poměrně častým aditivem.

- **Inkoust 6: víno+sůl** – nevařený inkoust na bázi vína s aditivem soli



Obrázek 6 Receptura z Mattioliho herbáře (výřez z původního formátu, převzato z: Manuscriptorium)

7.2.1.3 Boltzův Illuminierbuch

Posledním vybraným pramenem byl německý malířský receptář *Illuminierbuch* od Valentina Boltze ze 16. století.⁸⁶ Ačkoliv pramen nepochází z českého prostředí, pro výzkum je relevantní vzhledem k úzkým kulturním vazbám a sdílení poznatků v daném období. Zvolená receptura (fol. 62v-63v) byla pro experiment vhodná ze dvou důvodů. Zaprvé uváděla užití octa, čímž experiment doplnila o třetí nejčastější rozpouštědlo, za druhé zahrnovala kombinovaný technologický postup přípravy sestávající z macerace a zahřívání.

- **Inkoust 7 (voda+ocet)** – zahříváný inkoust na bázi vody a octa

⁸⁴ Daniel Adam z Veleslavína [online]. Dostupné z:

https://www.encyklopedieknihy.cz/index.php?title=Daniel_Adam_z_Veleslav%C3%ADna

⁸⁵ MATTIOLI, Pietro Andrea. *Herbář aneb Bylinář Wysoce včeného a wznesseného P. Doktora Petra Ondřege Mathiola* [online]. Praha, 1596. signatura: K-16903. fol. 64v. Vlastivědné muzeum v Olomouci. Dostupné z:

https://new.manuscriptorium.com/hub/catalog/default/detail/single/manuscriptorium%7CVMO___-VMO___K_16903___2QA14G1-cs?lang=cs

⁸⁶ NOVÁK, Antonín, ed. *Traktáty a receptáře: výtvarné techniky středověku, renesance a baroka*, s. 408.

Von Dinten.

Gute beständige Schreibdinten/
die sol man also bereiten.

SUm ersten/so sihe das du besonder gute dicke Zäfen habest/ vier oder fünff/ zü der notturfft. Wenn du nun wilt Dinten machen/so nimb ein halb maß gute alt Regenwasser in ein hafens/nim auch ij. viertheil einer maß guten starcken weissen Essig/

63
Essig/das vermisch durch einander in das Regenwasser / alsden nim sechs lot Gallöpffel wol zerstoßen / vnd durch ein sib gereiet. Das Gallöpffel pulffer thū den in ein sonderm hafens / vnd geuß auß dem ersten hafens den halben theil über das pulffer/ rüre es wol vnder einander mit ein holz. Nim denn vier lot wol gestoßen Victrill/ dz thū auch in einen sonderm hafens / geuß über den Victrill ein halbē theil des ersten hafens. Darnach thū in den letzten überbleibenden theil des ersten hafens vier lot gut Gummi Arabicum / der vorhin wol gestoßen sey. Deck diese drey hafens wol zü/ vnd laß sie vier oder fünff stundt stehen. Doch soltu es inn einem jeden hafens alle tag oft wol durch einander rüren mit ein stecklein. Wenn denn die zeyt umbher ist/ so nimb den hafens mit den Gallöpffeln/ vñ setz in zü ein sanfften Feüwerlin dz er wol heiß werd / aber nicht sied. Wenn er denn schier siedig wil werden/ so heb in vom Feüwer / vnd laß es überschlagen / seihs durch ein thuch in ein saubern lehren hafens / laß es selbs vngenötigt durchs thuch lauffen.

Denn so nimb das inn den andern zweyen hafens in diesen hafens / vnd rür die matery wol durch einander. Deck es zü/ vnd laß es also ruwen vnd still stehen drey tag / doch solt du es teglich vmbürren / das sich die Matery deste baß durch einander erbeiß. Am vierdten tag so lupff feuberlich den hafens / das sich die boden trusen nicht bewegē/ vñ geuß die feuchte durch ein thuch inn ein sauberen hafens / darinn laß es zügedeckt stehen / so hastu gute Dinten.

Nim die abgesigne matery aller trusen zusammen inn ein hafens/ geuß daran gut altes Regenwasser/ vnd ein gläs mit Essig/ das behalt also biß du mehr Dinten wilt machen/ das nim denn für lauter wasser.

Es sind noch viel andere stück vnd gattungen Dinten zü machen / die ich hie vñ derlassen wil/ kürze halb.

Denn ich bin nicht willens gewesen in diesem werck viel Dinten zü tractieren. Das befehl ich denen/ so viel mit Dinten sich üben müssen.

Von

Obrazek 7 Receptura z Boltzova Illuminierbuch (výřezy z původního formátu, převzato:)

7.2.2 Interpretace surovin ve vybraných historických recepturách

Ačkoliv byl výběr historických receptur podmíněn jejich interpretovatelností, nebylo možné se zcela vyhnout určitým nedostatkům v přesné specifikaci surovin. Při doplňování těchto údajů bylo přihlíženo zejména k dobovým výrobním zvyklostem a dostupnosti surovin ve vymezeném období. Důležitým kritériem byla také míra, v jaké se současné ekvivalenty svými vlastnostmi a složením přibližují těm, které byly pravděpodobně používány v minulosti.

V rámci přípravy železogatlových inkoustů byla použita **dešťová voda** jakožto zástupce typického historického přírodního zdroje. Možnost použití demineralizované vody byla zavržena, protože zcela postrádá přirozené stopové prvky. Kohoutková voda byla vyhodnocena jako nevhodná kvůli moderním úpravám, jako je chlorace nebo přidávání dalších chemických látek.

Volba **bílého vína** vycházela z jeho častého výskytu v obdobných recepturách z téhož období.⁸⁷ Bílý ocet, uvedený v receptuře z *Illuminierbuch*, byl nahrazen běžným **kvasným lihovým octem**, který lépe odpovídá historickému způsobu výroby octa přirozenou fermentací. Současný komerčně dostupný bílý ocet je totiž typicky produktem destilace lihu a může se lišit jak technologií výroby, tak i přítomností stopových látek.⁸⁸

Sůl uvedená v Mattioliho herbáři byla zastoupena nerafinovanou kamennou solí bez moderních aditiv. Poslední nedostatečně specifikovanou surovinou byla **guma**, která byla s ohledem na historický kontext upřesněna jako **arabská**.

⁸⁷ DÍAZ HIDALGO, Rafael Javier et al. New insights into iron-gall inks through the use of historically accurate reconstructions. *Heritage Science*. 2018, roč. 6, č. 1. Dostupné z: <https://doi.org/10.1186/s40494-018-0228-8>

⁸⁸ DOBEŠKOVÁ, Michaela. *Technologie výroby octa*. 2011, Bakalářská práce, Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, s. 9–10, 26–27. Dostupné z: https://digilib.k.utb.cz/bitstream/handle/10563/16506/dobe%C5%A1kov%C3%A1_2011_bp.pdf?sequence=1&isAllowed=y

7.2.3 Převod historických jednotek

Nezbytným krokem po výběru receptur byl převod v nich uvedených dobových měrných jednotek na současné ekvivalenty. Tento proces byl zkomplikován skutečností, že v českých zemích v 16. století neexistovala jednotná ani závazně kodifikovaná měrová soustava. Ačkoliv existovaly snahy o sjednocení, v praxi se souběžně uplatňovaly různé lokální systémy, v nichž se hodnoty jednotek často lišily.⁸⁹

S ohledem na tuto nejednotnost bylo prostudováno několik odborných pramenů zabývajících se historickou metrologií.⁹⁰ Na základě jejich srovnání byla sestavena tabulka s nejpravděpodobnějšími hodnotami nejčastěji uváděných jednotek, která následně posloužila pro všechny převody v této práci:

Tabulka 1 Základní hodnoty historických měr používané v rámci diplomové práce

Název historické jednotky	Množství v soustavě SI
Pinta	1936ml
Libra	513,728g
Lot	16,054g
Žejdlík	484ml
Máz	1414,7ml
Čtvrtec	5812ml

⁸⁹ BLAHOVÁ, Kristýna. *Vývoj měr a vah v českých zemích*. 2020, Bakalářská práce, Masarykova univerzita. Dostupné z:

https://is.muni.cz/th/h7mqj/BP_KB_Vyvoj_mer_a_vah_v_ceskych_zemich_finale_PDF.pdf

⁹⁰ Ibid.; HLAVÁČEK, Ivan, Jaroslav KAŠPAR a Rostislav NOVÝ, eds. *Vademecum pomocných věd historických* [online]. Jinočany: H&H, 2002. Dostupné z: <https://ndk.cz/uuid/uuid:33806f70-4dfc-11e4-ab76-005056827e51>; CHVOHKA, Miloš a Jiří SKÁLA. *Malý slovník jednotek měření* [online]. Praha: Mladá fronta, 1982. Dostupné z: <https://ndk.cz/uuid/uuid:bfb09420-414b-11e3-ad8c-005056827e52>; SEDLÁČEK, August. *Paměti a doklady o staročeských mírách a váhách* [online]. Praha: Česká akademie věd a umění, 1923. Dostupné z: <https://digi.law.muni.cz/handle/digilaw/1271>

7.3 Příprava inkoustů

7.3.1 Seznam použitých surovin

- Dešťová voda – původem z obce Mikuleč
- Duběnky – samosběr, původem z lesů u Valtic
- Himálajská růžová sůl – kamenná sůl nerafinovaná, výrobce *BioNebio*
- Chardonnay – suché bílé víno, 13 % alkoholu, původ Španělsko
- Kvasný ocet – 8% lihový ocet, výrobce *Bzenecký ocet*
- Zelená skalice – síran železnatý $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$, výrobce *Forestina*



Obrázek 8 Některé z použitých surovin k přípravě inkoustů (zleva: zelená skalice Forestina, kvasný ocet Bzenecký ocet, Himálajská sůl růžová BioNebio)

7.3.2 Příprava surovin

Příprava surovin začala úpravou **dešťové vody**, která byla převařena a přefiltrována přes bavlněné plátno k odstranění mechanických nečistot. Následovala příprava pevných surovin. U **duběnek** bylo nejprve zapotřebí sjednotit vlastnosti materiálu ze staršího a nového sběru, a to důkladným vysušením čerstvého materiálu za použití tepelného zdroje. Následně byly duběnky rozdrceny úderem kladiva, přičemž byly zabaleny do textilie, aby se předešlo jejich rozptýlení (obr. 9).⁹¹ Odlišný postup si vyžádala **arabská guma**, kterou kvůli přirozené lepivosti nebylo možné tímto způsobem zpracovat. Ta byla kladivem rozbita jen na menší kusy a poté finálně rozmělněna v hmoždíři (obr. 10). **Zelená skalice** byla rozdrcena pouze působením tlouku hmoždíře (obr. 11). Jemnost všech takto získaných prášků byla průběžně kontrolována proséváním přes jemné síto.



Obrázek 9 Duběnky v různých fázích přípravy



Obrázek 10 Arabská guma v různých fázích přípravy



Obrázek 11 Zelená skalice v různých fázích přípravy

⁹¹ Metoda drcení kladivem byla zvolena poté, co se použití hmoždíře ukázalo jako nevhodné. Některé části duběnek byly totiž příliš pružné a pod tlakem tlouku se je nedařilo efektivně rozdrtit. Pohyb tlouku navíc vedl k nežádoucím materiálovým ztrátám vlivem víření jejich jemných částic.

7.3.3 Obecné principy k postupu

Vybrané receptury postrádaly přesné parametry jako je teplota nebo délka fází macerace (stání) a vaření. Z tohoto důvodu byly v rámci experimentu aplikovány sjednocené podmínky. Pro minimalizaci rizika kontaminace a nežádoucích interakcí s vnějšími složkami probíhala veškerá příprava inkoustů ve skleněných kádinkách a k míchání byla použita skleněná tyčinka. Po zhotovení byly všechny připravené inkousty skladovány ve sterilizovaných uzavřených skleněných nádobách při jednotných klimatických podmínkách.

I při maximální snaze o striktní dodržení níže specifikovaných postupů, nelze zaručit dosažení zcela replikovatelných výsledků. Hlavní příčinou je heterogenita vstupních přírodních surovin. Jejich chemické složení se nevyhnutelně liší v závislosti na geografickém původu, stáří, metodách zpracování, podmínkách skladování a řadě dalších nekontrolovatelných faktorů. Je také třeba zdůraznit, že příprava inkoustů podle historických receptur svou podstatou odpovídá spíše empirickému přístupu než preciznímu laboratornímu experimentu.

7.3.4 Postup přípravy inkoustů

7.3.4.1 Inkoust 1 (voda) a Inkoust 2 (voda+var)

Transkripce receptury (převzato z práce Martiny Andrykové, upraveno):⁹²

2 pinty vody, gallesu 16 lotů, vitriolu 12 lo(tů) a gumi 8 l(otů), to vše stluč na prach a vsyp do té vody svrchu psaný a nech státi v teple a budeš míti Inkoust dobrý. Tento inkoust naučil mě dělati písař z kanceláře Nového Města pražského, kderéhož písaři v tejš kanceláři užívají.

Tabulka 2 Přehled surovin a jejich množství – Inkoust 1 (voda), Inkoust 2 (voda+var)

Suroviny (původní název)	Původní množství (historické jednotky)	Převedená množství (současné jednotky)	Použitá množství
Dešťová voda (voda)	2 pinty	3 872 ml	500 ml
Duběnky (galles)	16 lotů	256,86 g	33,17 g
Zelená skalice (vitriol)	12 lotů	192,65 g	24,88 g
Arabská guma (guma)	8 lotů	128,43 g	16,59 g

⁹² ANDRYKOVÁ, Martina. *K výrobě inkoustu a recepturám v českých zemích do 16.století*, s. 78.

Vlastní postup přípravy:

1. **Příprava surovin:** Duběnky, arabská guma a zelená skalice byly rozdrceny na prach.
2. **Míchání:** Všechny suché suroviny byly smíchány s vodou (převařená a přefiltrovaná).
3. **Tepelná úprava (platí pouze pro inkoust 2):** Výsledná směs byla vařena na plotně po dobu 15 minut.
4. **Macerace:** Nádoba se směsí byla uzavřena a uložena ve tmě při teplotě přibližně 22 °C po dobu 40 dnů. Směs byla v průběhu této doby denně míchána.
5. **Filtrace:** Směs byla několikrát přefiltrována přes bavlněné plátno.



Obrázek 12 Příprava Inkoustu 1 (voda) a Inkoustu 2 (voda+var) – znázornění množství surovin

7.3.4.2 Inkoust 3 (víno) a Inkoust 4 (víno+var)

Transkripce receptury (převzato a upraveno z práce Martiny Andrykové):

Galesu 0,5 lo(tu), vitriolu 2 ½ lo(tu), gumi ½ lo(tu) a čtvrtci, to všecko stluč na prach a vsypati ty prachy do dvú žejtlíkú vína, nech státi v teple. Pak-li chceš, můžeš dáti zvařiti to víno s těmi receptami a potom nech státi v světnici pod lavicí.

Tabulka 3 Přehled surovin a jejich množství – Inkoust 3 (víno), Inkoust 4 (víno+var)

Suroviny (původní název)	Původní množství (historické jednotky)	Převedená množství (současné jednotky)	Použitá množství
Chardonnay (víno)	2 žejdlíky	968,000 ml	500 ml
Duběnky (galles)	0,5 lotu	8,027 g	4,15 g
Zelená skalice (vitriol)	2 ½ lotu	40,135 g	20,73 g
Arabská guma (guma)	½ lotu a čtvrtci ⁹³	12,040 g	6,22 g

⁹³ Chápáno jako ¾ lotu (vychází ze studovaných publikací)

Vlastní postup přípravy:

1. **Příprava surovin:** Duběňky, arabská guma a zelená skalice byly rozdrceny na prach
2. **Míchání:** Všechny suché suroviny byly smíchány s vínem.
3. **Tepelná úprava (platí pouze pro inkoust 4):** Výsledná směs byla vařena na plotně po dobu 15 minut.
4. **Macerace:** Nádoba se směsí byla uzavřena a uložena ve tmě při teplotě přibližně 22 °C po dobu 40 dnů. Směs byla v průběhu této doby denně míchána.
5. **Filtrace:** Směs byla několikrát přefiltrována přes bavlněné plátno



Obrázek 13 Příprava Inkoustu 3 (vino) a Inkoustu 4 (vino+var) – znázornění množství surovin



Obrázek 14 Příprava Inkoustu 3 (vino) – míchání



Obrázek 15 Příprava Inkoustu 4 (vino+var) – vaření

7.3.4.3 Inkoust 5 (pevný)

Transkripce receptury (převzato a upraveno z práce Martiny Andrykové):

Inkoust v kolečkách dělati: Tehdy vezmi galesu 2 l(i)b(ry), ztluč na prach to galles aneb málo protluč zhruba i vař te(n) v vodě, a tak vždy slívej tu vodu černú, opět jiné vody nalívati dotud, dokud bude Galles z sebe černost pouštěti. A když nebude žádné černosti, to vymy pryč, poto(m) tu vodu vařiti dotud, až se povyvaří zase k hustosti, poto(m) vezmi gumi 3 štvrti l(i)b(ry) i namočetí té kumi, až se rozpustí v vodě i přilévati tu vodu gumovú k tomu galesu vyvařenému, aby se lepkost spolu spojila. Když bude jako kaše, vezmi vitriolu na prach stlučené 1 l(i)b(ru) i posýpati tím prache(m) do to(h)o Ingoustu, až bude jako těsto, a tak budeš moci sobě na formu dělati a vytlačovati je na kolečka, poto(m) je sobě vysuš, jak toho potřeba káže. A budeť dobrý Inkoust, kderý budeš moci lidem za dobrý prodávati etc. A toto naučení j(es)t od Johanesa appatykáře pravé.

Tabulka 4 Přehled surovin a jejich množství – Inkoust 5 (pevný)

Suroviny (původní název)	Původní množství (historické jednotky)	Převedená množství (současné jednotky)	Použitá množství
Dešťová voda (voda)	neuveдено	-	dle potřeby
Duběnky (galles)	2 libry	1 027,456 g	20 g
Zelená skalice (vitriol)	1 libra	513,728 g	10 g
Arabská guma (guma)	3 štvrti libry	385,296 g	7,5 g

Vlastní postup přípravy:

- Příprava surovin:** Duběnky, arabská guma a zelená skalice byly rozdrčeny na prach.
- Míchání:** Duběnky byly smíchány s 150 ml vody (převařená a přefiltrovaná).
- Tepelná úprava:** Směs s duběnkami byla vařena na plotně po dobu 15 minut.
- Filtrace:** Nádoba byla odstavena z plotny a po ochlazení byl duběnkový extrakt přefiltrován přes bavlněné plátno. Tímto procesem byl získán "černý" extrakt.
- Opakování extrakce:** Již použité duběnky byly smíchány s dalšími 150 ml vody, směs byla znovu vařena 10 minut, odstavena, zchlazena a přefiltrována. Tento postup byl opakován, dokud extrakt z duběnek výrazně neztratil svou barevnou intenzitu.
Poznámka: Celkový objem získaného extraktu činil 2642 ml. Tento údaj však není závazný, neboť ukončení extrakce záviselo na subjektivním posouzení barevné intenzity.
- Redukce vody:** Získaný extrakt byl přiveden k varu a voda byla postupně odpařována až do dosažení požadované hustoty.

Poznámka: Extrakt byl zredukován na 100 ml. Ukončení procesu bylo opět subjektivní. Nutno také poznamenat, že silně koncentrovaný extrakt je možné připálit, proto je vhodné závěr redukce provést ve vodní lázni.

7. **Příprava roztoku arabské gummy:** Předem nabobtnaná arabská guma byla za stálého míchání zahřívána ve vodní lázni, dokud se zcela nerozpustila.
8. **Míchání:** Rozpuštěná arabská guma byla přidána do stále teplého extraktu a důkladně s ním smíchána. Následně byla za stálého míchání postupně přisypávána zelená skalice.
9. **Plnění forem a sušení:** Výsledná směs byla nalita do forem (v tomto případě malých Petriho misek) a ponechána k volnému vyschnutí.



Obrázek 16 Příprava Inkoustu 3 (víno) a Inkoustu 4 (víno+var) – znázornění množství surovin



Obrázek 17 Příprava Inkoustu 5 (pevný) – vaření



Obrázek 18 Příprava Inkoustu 5 (pevný) – slítí extraktu
45



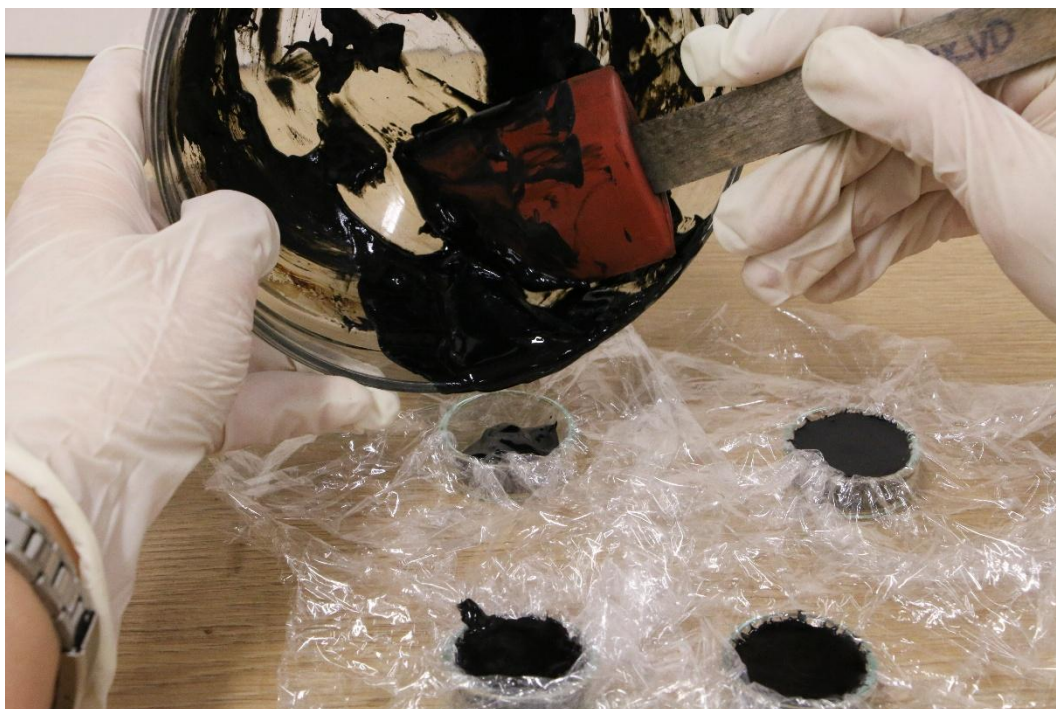
Obrázek 19 Příprava Inkoustu 5 (pevný) – výsledek extrakce



Obrázek 20 Příprava Inkoustu 5 (pevný) – redukce



Obrázek 21 Příprava Inkoustu 5 (pevný) – míchání



Obrázek 22 Příprava Inkoustu 5 (pevný) – plnění forem

7.3.4.4 Inkoust 6 (víno+sůl)

Transkripce receptury (převzato a upraveno z Mattioliho herbáře, fol. 64v):⁹⁴

Chcešli dobré Černidlo udělati: Vezmi malých sukovatých a tvrdých kulek Galesových, zhruba protlučených pět Lotův, Vitrolium tři Loty, Gummi Arabského dva Loty, Soli půl čtvrtce: vsyp to všecko do Hrnce polévaného a nali na to dobrého bílého vína vřelého dvě Libře aneb půl Pinty a zahra(d) povrchu čistě Hrnc, vystav na Slunce a nech státi za čtrnácte dnů: Pakli jest v zymě, postav na Kamna a zamíchej každého dne Lopatkau, budeš míti výborná Ingaust aneb Černidlo.

Tabulka 5 Přehled surovin a jejich množství – Inkoust 6 (víno+sůl)

Suroviny (původní název)	Původní množství (historické jednotky)	Převedená množství (současné jednotky)	Použitá množství
Chardonnay (bílé víno)	1 pinta	1 936ml	500ml
Duběny (galles)	10 lotů	160,54g	41,46 g
Zelená skalice (vitriol)	6 lotů	96,324g	24,88 g
Arabská guma (guma)	4 loty	64,216g	16,59 g
Himalájská sůl (sůl)	1 čtvrtec (čtvrty)	5812ml	1 501,03 ml

⁹⁴ MATTIOLI, Pietro Andrea. *Herbář aneb Bylinář Wysoce včeného a wznesseného P. Doktora Petra Ondřege Mathiola.*

Vlastní postup přípravy:

1. **Příprava surovin:** Arabská guma a zelená skalice byly rozdrceny na jemný prach, duběnky byly rozdrceny pouze nahrubo.
2. **Míchání:** Nejprve byly smíchány suché suroviny, následně se přidalo vřelé bílé víno.
3. **Macerace:** Nádoba se směsí byla uzavřena a uložena ve tmě při teplotě přibližně 22 °C po dobu 14 dní. Během této doby byla směs denně promíchána.
4. **Filtrace:** Směs byla několikrát přefiltrována přes bavlněné plátno.



Obrázek 23 Příprava Inkoustu 6 (víno+sůl) – znázornění množství surovin



Obrázek 24 Příprava Inkoustu 6 (víno+sůl) – míchání



Obrázek 25 Příprava Inkoustu 6 (víno+sůl) – zalití

7.3.4.5 Inkoust 7 (voda+ocet)

Překlad receptury (převzato z Traktáty a receptáře: výtvarné techniky středověku, renesance a baroka):⁹⁵

Jak připravit dobrý a stálý psací inkoust (schrybdinten): Zprvu hled' si na jít několik zvlášť dobrých silných hrnců, budeš jich potřebovat asi čtyři nebo pět. Když pak budeš chtít vyrobit inkoust, dej do jednoho hrnce 1 půlku mázu (I halb mass) dobře uleželé dešťové vody. Vezmi též 2 čtvrtky mázu (II viertel einer mass) dobrého silného bílého octa a smíchej s dešťovou vodou. Pak vezmi 6 lotů duběnek (gallöpfel) dobře roztlučených a prosypaných sítím. Ten duběnkový prach dej do jiného hrnce a z prvního hrnce k němu přilij asi polovinu a rozmíchej dřívkem. Pak vezmi 4 loty dobře roztlučené skalice (vitriol) a nasyp ji do dalšího hrnce; nalij na to z prvního hrnce polovinu (zbývající) vody. Do zbytku v prvním hrnci nasyp 4 loty arabské gumy, předem důkladně roztlučené. Dobře pak všechny ty tři hrnce přikryj a nech odležet čtyři až pět dní. Každodenně však co nejčastěji v nich promíchávej nějakou hůlkou. Až pak ten čas vyprší, vezmi hrnec s duběnkami a postav ho na mírný oheň, aby se to zahřívalo, vařit se však nesmí. Jestliže tedy žár již hrozí vzkypěním, dej hrnec pryč z ohně a nech usadit. Proced' to skrz plátno do čistého prázdného hrnce, a to pomalu bez tlaku, aby to prošlo samovolně. Vezmi pak, co je v druhých dvou hrncích, a přidej to k tomu a všechny ty látky dobře promíchej. Pak přikryj a nech tři dny uležet. Denně však mezitím promíchávej, aby se ta materie lépe rozplynula. Čtvrtého dne pak zlehka zvedni ten hrnec, aby se usazeniny při dnu nerozběhaly, a proced' tu tekutinu přes plátno do čistého hrnce. Ten pokryj natrvalo, to je již dobrý inkoust. Všechny zbylé usazeniny, které jsi odcedil, seber do hrnce, nalij na to dobrou starou dešťovou vodu a sklenici octa – uchovej to pro případ, že budeš potřebovat přidělat další inkoust, pak to rozřeďíš čistou vodou. Jinak jsou ještě mnohé jiné kousky a způsoby přípravy inkoustů, které bych pomínil pro stručnost. Neboť v tomto díle nechci o inkoustech podrobněji pojednávat – ponechávám to těm, kteří se inkousty šířeji zabývají.

Tabulka 6 Přehled surovin a jejich množství – Inkoust 7 (voda+ocet)

Suroviny (původní název)	Původní množství (historické jednotky)	Převedená množství (současné jednotky)	Použitá množství
Dešťová voda (voda)	0,5 mázu	707,35 ml	250 ml
Kvasná lihový ocet (silný bílý ocet)	2 čtvrtky mázu	707,35 ml	250 ml
Duběny (galles)	6 lotů	96,324 g	34,04 g
Zelená skalice (vitriol)	4 loty	64,216 g	22,7 g
Arabská guma (guma)	4 loty	64,216 g	22,7 g

⁹⁵ NOVÁK, Antonín, ed. *Traktáty a receptáře: výtvarné techniky středověku, renesance a baroka*, s. 441–442.

Vlastní postup přípravy:

1. **Příprava surovin:** Duběňky, arabská guma a zelená skalice byly rozdrčeny na prach.
2. **Míchání a distribuce roztoku:** Nejdříve byla voda (převařená a přefiltrovaná) smíchána s octem. Vzniklá směs byla poté rozdělena do tří kádinek v přibližném poměru 2:2:1. Do jedné z kádinek s dvěma díly byly přisypány duběňky, do druhé nádoby s dvěma díly zelená skalice a do kádinky s jedním dílem arabská guma. Obsah všech kádinek byl důkladně zamíchán.
3. **Macerace:** Všechny kádinky byly uzavřeny a uloženy ve tmě při teplotě přibližně 22 °C po dobu 5 dnů. Během této doby byl obsah všech kádinek dvakrát denně promíchán.
4. **Tepelná úprava:** Směs obsahující duběňky byla zahřívána na plotně po dobu 15 minut, aniž by došlo k dosažení bodu varu.
5. **Filtrace:** Po zchladnutí byla směs s duběnkami několikrát přefiltrována přes bavlněné plátno.
6. **Míchání:** Přefiltrovaný duběnkový extrakt byl smíchán s obsahem zbývajících kádinek.
7. **Macerace:** Nádoba s výslednou směsí byla uzavřena a uložena ve tmě při teplotě přibližně 22 °C po dobu 3 dnů. Během této doby byla směs denně promíchávána.
8. **Filtrace:** Směs byla několikrát přefiltrována přes bavlněné plátno.



Obrázek 26 Příprava Inkoustu 7 (voda+ocet) – znázornění množství surovin



Obrázek 27 Příprava Inkoustu 7 (voda+ocet) – macerace



Obrázek 28 Příprava Inkoustu 7 (voda+ocet) – tepelná úprava



Obrázek 29 Příprava Inkoustu 7 (voda+ocet) – filtrace



Obrázek 30 Příprava Inkoustu 7 (voda+ocet) – míchání

7.3.5 Hodnocení inkoustů během přípravy

V průběhu přípravy jednotlivých inkoustů byly zhotovovány testovací nánosy, na nichž probíhalo vizuální posouzení. Primárním cílem tohoto procesu bylo ověřit praktickou funkčnost a vhodnost inkoustů pro zařazení do experimentu. Hodnocení se zaměřilo na několik klíčových aspektů, jako je vznik barevného komplexu, reologické vlastnosti a chování nánosu na papíře (např. rozpíjení). Nad rámec tohoto hlavního cíle umožnil zvolený postup také sledovat případné degradační projevy v různých fázích přípravy.

Za účelem hodnocení tak od počátku macerace jednotlivých inkoustů v desetidenních intervalech vznikaly tzv. předběžné vzorky, přičemž každý z nich byl rozdělen na kontrolní část uloženou ve tmě a část vystavenou slunci. Expozice slunečnímu záření zde fungovala jako katalyzátor, který měl urychlit a zintenzivnit veškeré probíhající chemické děje. To umožnilo relevantnější pozorování nejen případných degradačních projevů, ale i samotného vývoje barevnosti.

Inkousty 1 (voda) a 2 (voda+var)⁹⁶

Tyto inkousty se v počátečních fázích jevily jako světle šedé, později jako tmavě šedé. Nános na papíře se vyznačoval zřetelným obrysem a jeho barva poměrně rychle přešla z šedé do hnědé, načež dále tmavla. U vzorků zhotovených před filtrací bylo při silnějším nánosu zaznamenáno mírné prorážení skrze papírovou podložku. Rozpíjení ani migrace pozorovány nebyly (obr. 31, 32).

Inkousty 3 (víno) a 4 (víno+var)

Varianty na bázi vína se chovaly obdobně, avšak s několika rozdíly. Jejich roztoky měly po celou dobu nazelenalý nádech, což lze přisoudit užití vína. Okrajový obrys nánosu byl méně výrazný a barva po aplikaci přecházela do světlejšího a teplejšího hnědého odstínu, který opět postupem času získával na sytosti. Mírné prorážení skrze papír bylo pozorováno za stejných podmínek jako výše, zatímco migrace ani rozpíjení se opět neobjevilo (obr. 33).

Inkoustu 5 (pevný)

U pevného inkoustu se ukázalo, že pouhé smíchání sušiny s vodou vede ke vzniku heterogenní a nepoužitelné kapaliny. Po několika neúspěšných pokusech byl tento inkoust připraven podobně jako pigment. Sušina byla rozmělněna a smíchána s vodou na hladkém kameni pomocí skleněného

⁹⁶ Mezi vařenými a nevařenými variantami téže receptury nebyly zaznamenány žádné podstatné rozdíly (kromě rychlejšího rozkladu surovin během varu). Z tohoto důvodu jsou jejich popisy pro přehlednost sloučeny.

třetího běžce. Tímto způsobem byl získán homogenní roztok s výrazně sytým černým odstínem. Při aplikaci se inkoust nerozpíjel, neměl viditelný obrys a pouze mírně prorážel skrze papírovou podložku (obr. 34).

Inkoust 6 (víno+sůl)

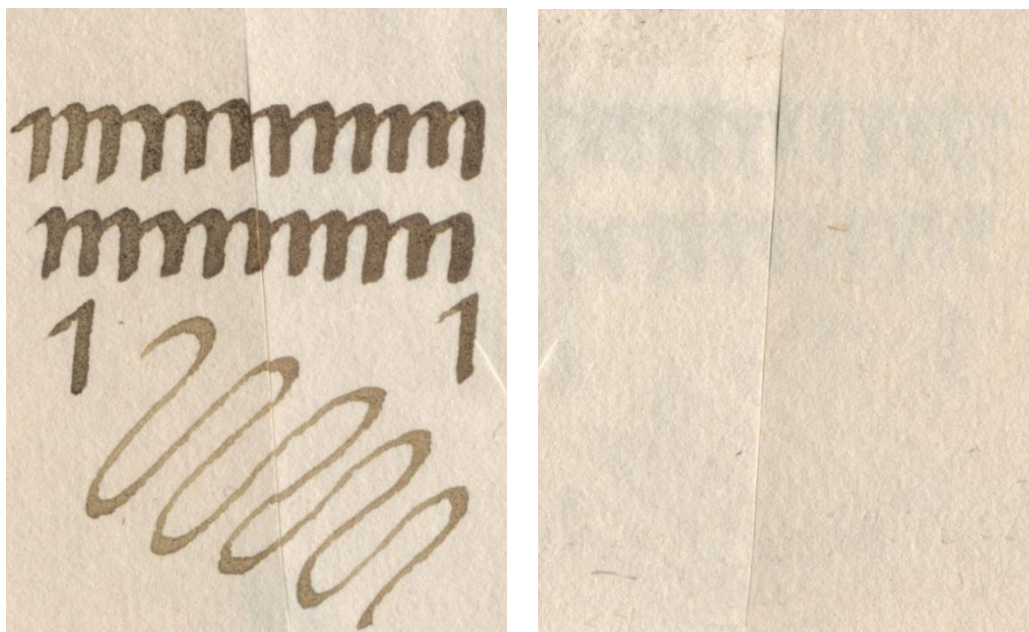
Tento inkoust měl při nanesení narůžovělý odstín, který se již následující den změnil na intenzivní, postupně tmavnoucí, žlutohnědý. Ačkoliv se nerozpíjel, ve velmi krátké době se projevilo razantní prorážení i migrace jeho složek do okolí (obr. 35). Tyto degradační projevy postupně slábly, což naznačuje, že během fáze macerace docházelo ke stabilizaci roztoku (obr. 36). Po filtraci inkoustu byla jeho barva světlejší a zaznamenané degradační projevy zcela vymizely (obr. 37). Charakteristickým rysem byla taktéž tvorba krystalů na povrchu zaschlé vrstvy. Později provedená analýza potvrdila, že se jedná o krystaly soli (text. p. 4 a 6 Mikroskopické studium vybraných vzorků).

Inkoust 7 (voda+ocet)

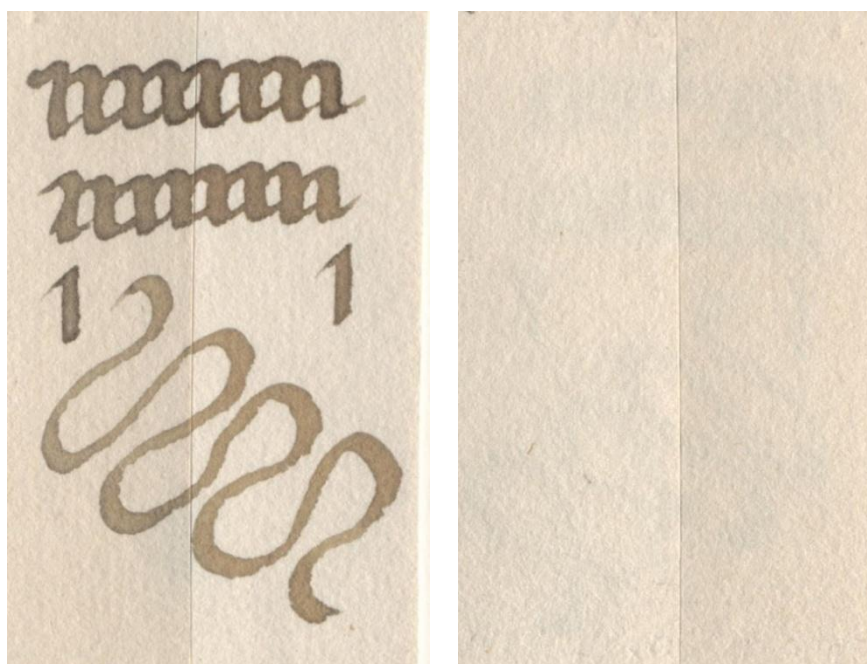
Jelikož byl Inkoust 7 do experimentu zařazen později a jeho doba přípravy byla výrazně kratší, vznikl v jeho případě pouze jeden předběžný vzorek. Na rozdíl od ostatních inkoustů jeho roztok získal ihned po přidání octa intenzivní modročerné zbarvení. Po aplikaci na papír se nerozpíjel, neměl viditelný obrys, ani se u něj neprojevily známky degradace podložky.

Závěr

Na základě tohoto zhodnocení byly všechny připravené inkousty shledány jako vhodné pro zařazení do experimentu.



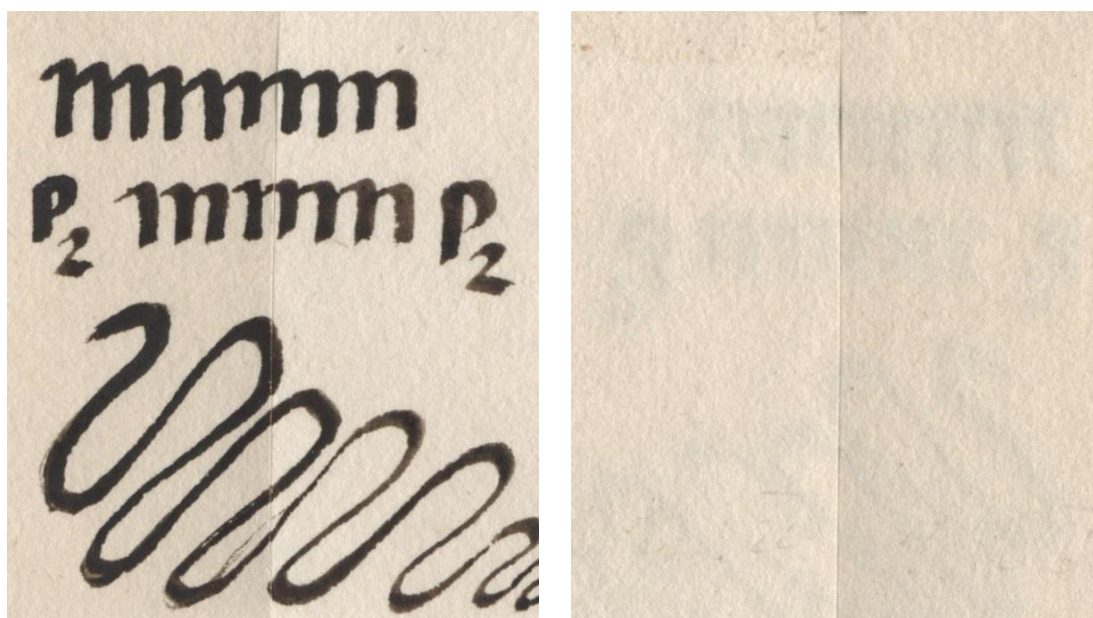
Obrázek 31 Předběžný vzorek Inkoustu 1 (voda) z 23.12.2024 (před filtrací) – vlevo líc (pravá část vzorku vystavená slunci), vpravo rub (levá část vzorku vystavená slunci)



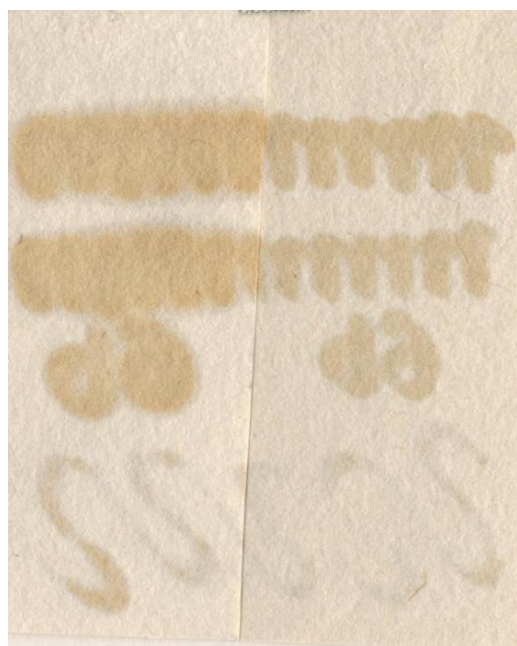
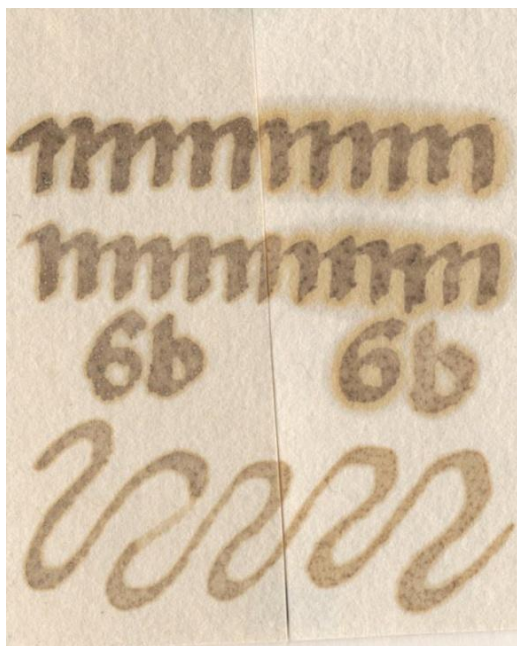
Obrázek 32 Předběžný vzorek Inkoustu 1 (voda) z 12.1.2025 (po filtraci) – vlevo líc (pravá část vzorku vystavená slunci), vpravo rub (levá část vzorku vystavená slunci)



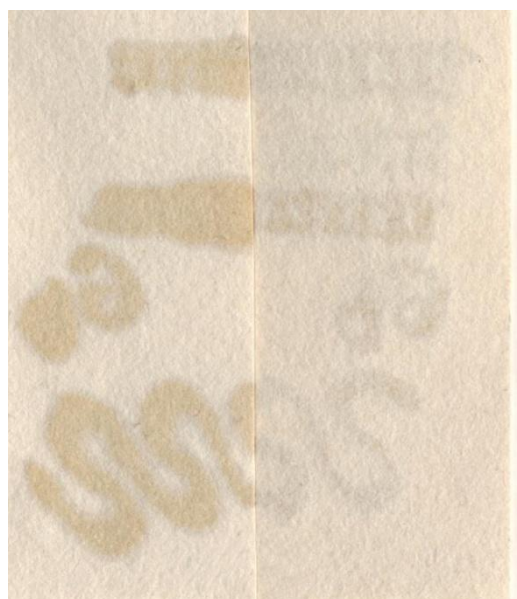
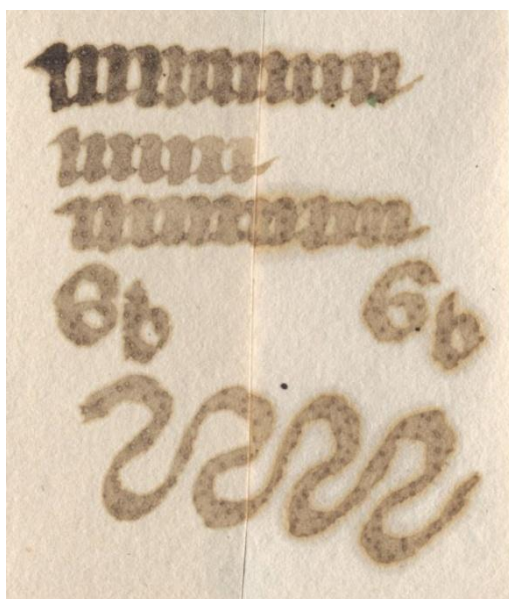
Obrázek 33 Předběžný vzorek Inkoustu 3 (víno) z 2.1.2025 – vlevo líc (pravá část vzorku vystavená slunci), vpravo rub (levá část vzorku vystavená slunci)



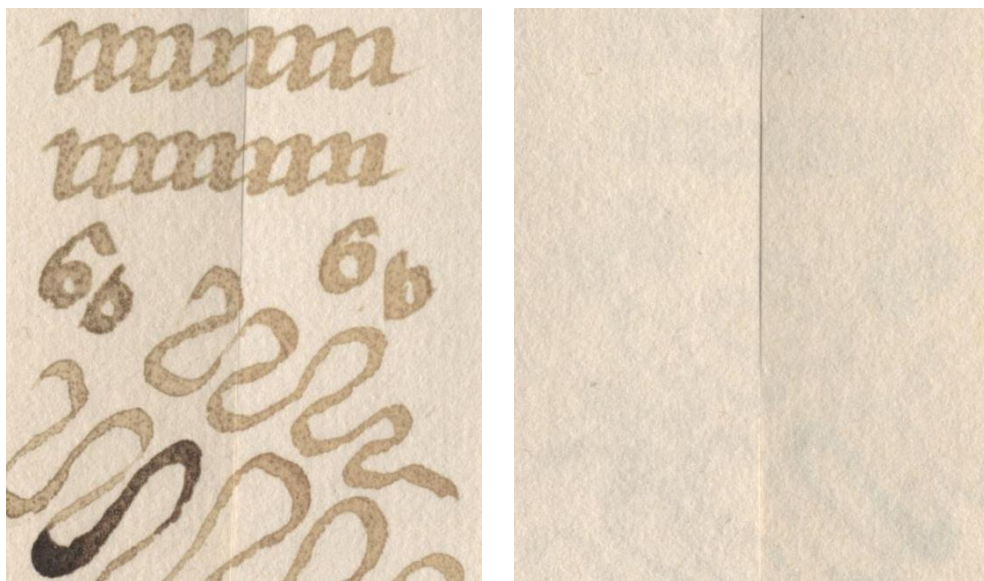
Obrázek 34 Předběžný vzorek Inkoustu 5 (pevný) z 13.12.2024 – vlevo líc (pravá část vzorku vystavená slunci), vpravo rub (levá část vzorku vystavená slunci)



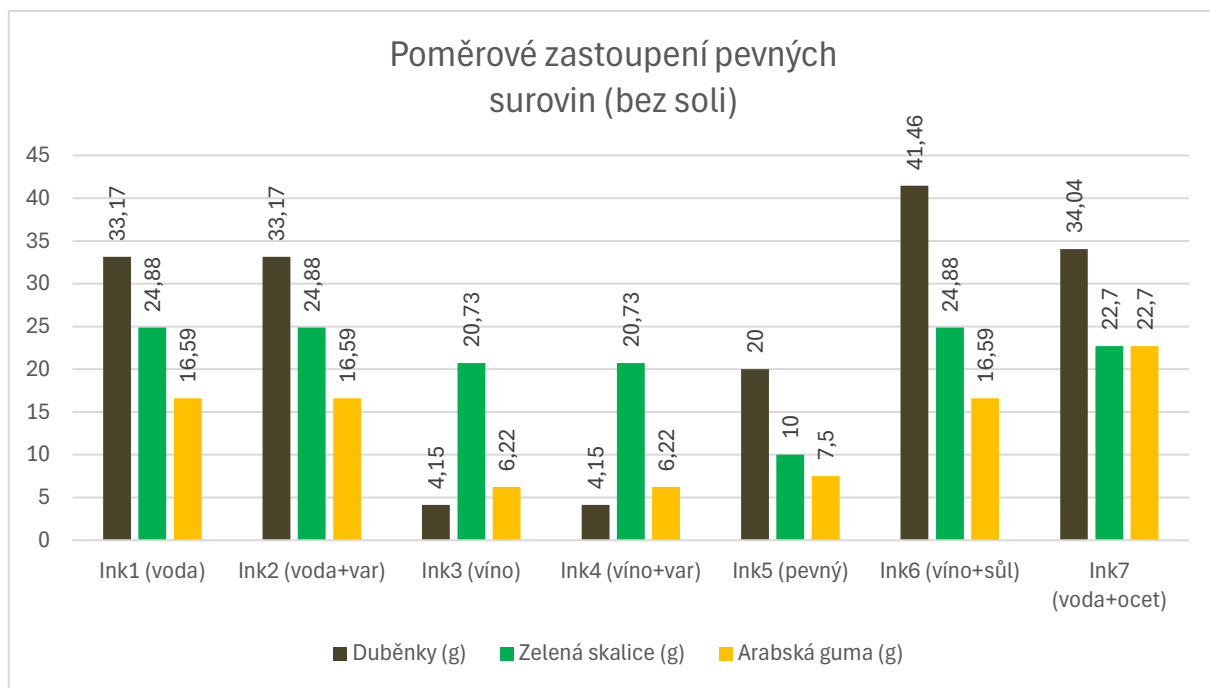
Obrázek 35 Předběžný vzorek Inkoustu 6 (víno+sůl) z 23.12.2024 – vlevo líc (pravá část vzorku vystavená slunci), vpravo rub (levá část vzorku vystavená slunci)



Obrázek 36 Předběžný vzorek Inkoustu 6 (víno+sůl) z 2.1.2025 – vlevo líc (pravá část vzorku vystavená slunci), vpravo rub (levá část vzorku vystavená slunci)



Obrázek 37 Předběžný vzorek Inkoustu 6 (víno+sůl) z 12.1.2025 – vlevo líc (pravá část vzorku vystavená slunci), vpravo rub (levá část vzorku vystavená slunci)



Obrázek 38 srovnání poměrového zastoupení pevných surovin v recepturách (sůl kvůli přehlednosti nezahrnuta)

Tabulka 7 shrnutí poznatků z hodnocení inkoustů během přípravy

Inkoust	Barevnost				Známky degradace				Jednotlivost tahu	Rozpíjivost tahu
	Před macerací	Během macerace	Po filtraci	Vliv expozice	Prorážení		Migrace			
					Před filtrací	Po filtraci	Před filtrací	Po filtraci		
Ink1 (voda)	Světle šedá	Teple hnědá	Desaturace a zesvětlení	Tmavnutí	Mírné	Žádné	Žádná	Žádná	Silné obrysy	Žádná
Ink2 (voda+var)	Světle šedá	Teple hnědá	Desaturace a zesvětlení	Tmavnutí	Mírné	Žádné	Žádná	Žádná	Silné obrysy	Žádná
Ink3 (vino)	Světlá šedo zelená	Teple hnědá	Desaturace	Tmavnutí	Mírné	Žádné	Žádná	Žádná	Mírné obrysy	Žádná
Ink4 (vino+var)	Světlá šedo zelená	Teple hnědá	Desaturace	Tmavnutí	Mírné	Žádné	Žádná	Žádná	Mírné obrysy	Žádná
Ink5 (pevný)	Intenzivní černá									
Ink6 (vino+sůl)	Světle růžová	Hnědo-žlutá	Světlejší tón	Žádný	Intenzivní	Žádné	Intenzivní	Žádná	Krystaly na povrchu	Žádná
Ink7 (voda+ocet)	Intenzivní modročerná									

7.4 Příprava vzorků

7.4.1 Specifikace vybraných podložek

Testování probíhalo na třech typech podložek reprezentující nejvýznamnější psací materiály používané v různých obdobích užívání železagalových inkoustů. Prvním z nich byl **ruční papír z papírny Karla Křenka**, jehož materiálové složení bylo ze všech komerčně dostupných variant historicky nejautentičtější. Druhým byl **strojní, pH neutrální papír (90 g/m², 100% bavlna, Ceiba s.r.o.)** zvolený na základě neutrálního pH a pro absenci složek, jež by mohly ovlivnit výsledky plánovaných analýz a zkoušek (např. optických zjasňovacích prostředků nebo alkalické rezervy). Třetí testovanou podložku byl **oboustranně broušený telecí pergamen (Franz Hoffmann – Feinleder)**, zahrnutý pro svou historickou relevanci, a to i přes předpoklad, že díky své zásadité povaze nebude podléhat degradaci v míře srovnatelné s papírem.

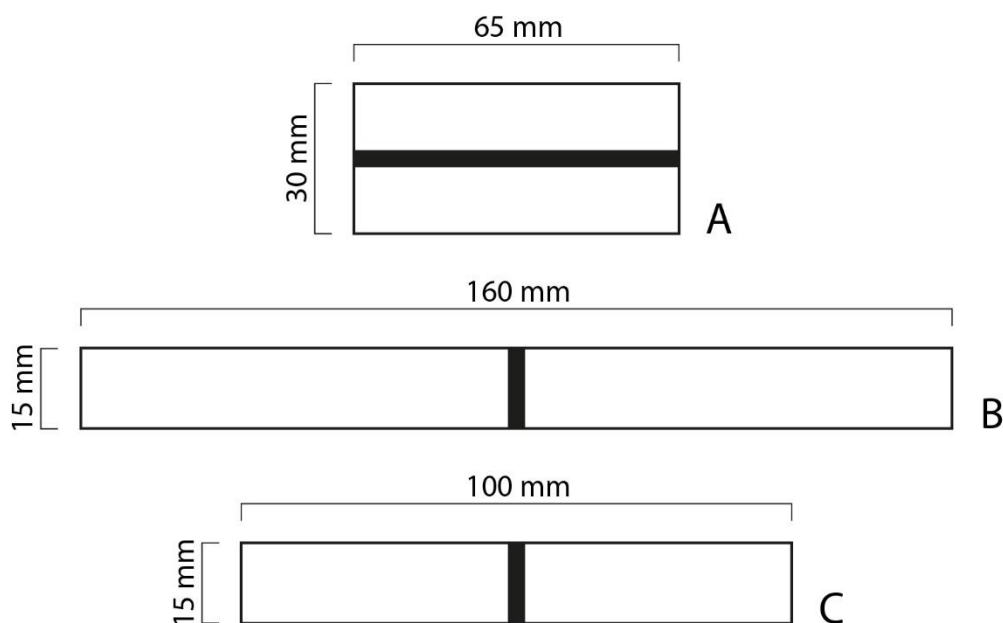
Seznam vybraných podložek:

- Ruční papír z papírny Karla Křenka (kombinace len, konopí)
- pH neutrální papír 90 g/m² (100% bavlna, Ceiba s.r.o.)
- Oboustranně broušený telecí pergamen (Franz Hoffmann – Feinleder)

7.4.2 Parametry vzorků

Pro účely experimentu byly zhotoveny tři typy vzorků, jež se lišily několika parametry. Vzorky zhotovené pro provedení základních analýz měly rozměry $65 \times 30 \pm 1$ mm a jejich inkoustová linka byla vedena paralelně a s delší stranou (obr. 39A). Druhý typ vzorků o rozměrech $160 \times 15 \pm 1$ mm (obr. 39B) byl určen k tržnému zatížení a linka nánosu byla orientovaná kolmo vůči delší straně. Na posledním typu vzorků o rozměrech $100 \times 15 \pm 1$ mm též s kolmou linkou byly provedeny zkoušky odolnosti v přehýbání (obr. 39C). Všechny typy vzorků byly dále rozděleny na tři sady: **referenční** (podložky bez inkoustu), **nestárnuté** a **stárnuté** (podložky s inkoustem). Při testování mechanických vlastností se navíc zohledňoval i **směr vláken**, přičemž **podélný** směr odpovídá orientaci rovnoběžné s delší stranou vzorku, zatímco **příčný** směr orientaci rovnoběžné s kratší stranou. Kompletní rozdělení a počty vzorků každého testovaného inkoustu jsou pro přehlednost shrnuty v tabulce níže.

Paralelně s hlavními vzorky byl zhotoven soubor tzv. rezervních vzorků, které sloužily k ověření metodiky a zároveň jako záloha pro případ opakování některé části experimentu.



Obrázek 39 Schéma hlavních vzorků experimentu (podoba, rozměry),
A – základní analýzy, B – zkoušky tržného zatížení, C – zkoušky odolnosti v přehýbání

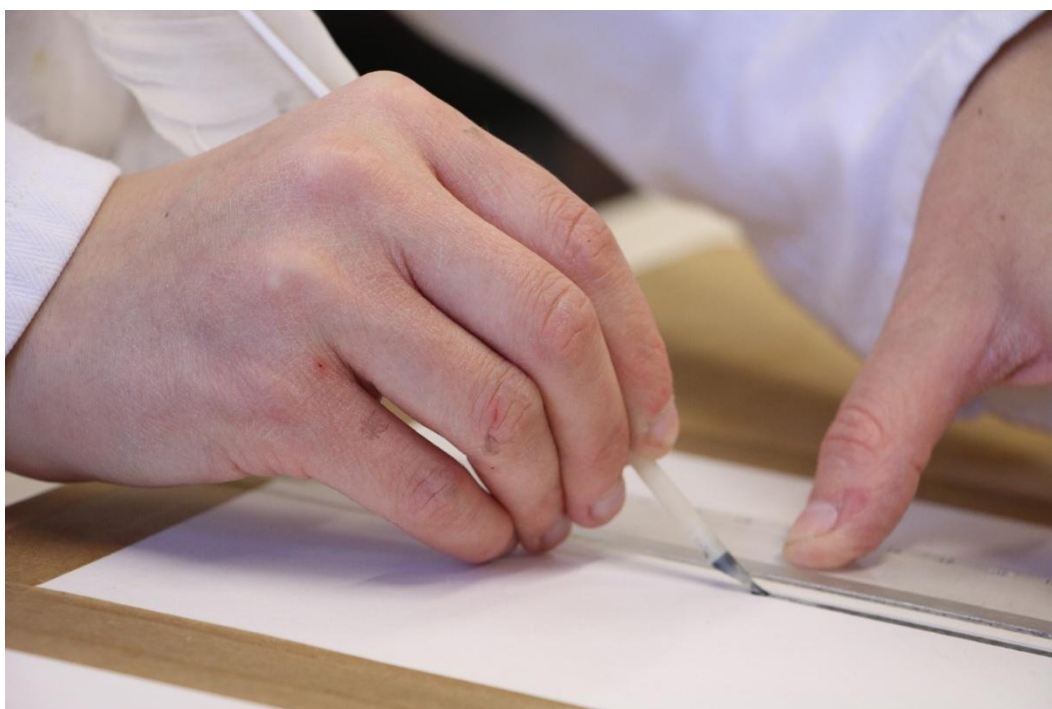
Tabulka 8 Přehled vzorků zhotovených pro účely experimentu

Typ podložky	Typ analýzy/zkoušky	Směr vláken	Sada	Počet replikátů	
Papír (ruční, strojní)	Základní analýzy	/	Referenční (bez inkoustu)	1	
			Nestárnuté (s inkoustem)	1	
			Stárnuté (s inkoustem)	1	
	Zkoušky tržného zatížení	Podélný (rovnoběžný s delší stranou)	/	Referenční (bez inkoustu)	3
				Nestárnuté (s inkoustem)	3
				Stárnuté (s inkoustem)	3
		Příčný (rovnoběžný s kratší stranou)	/	Referenční (bez inkoustu)	3
				Nestárnuté (s inkoustem)	3
				Stárnuté (s inkoustem)	3
	Zkoušky pevnosti v přehybání	Podélný (rovnoběžný s delší stranou)	/	Referenční (bez inkoustu)	3
				Nestárnuté (s inkoustem)	3
				Stárnuté (s inkoustem)	3
		Příčný (rovnoběžný s kratší stranou)	/	Referenční (bez inkoustu)	3
				Nestárnuté (s inkoustem)	3
				Stárnuté (s inkoustem)	3
Pergamen	Základní analýzy	/	Referenční (bez inkoustu)	1	
			Nestárnuté (s inkoustem)	1	
			Stárnuté (s inkoustem)	1	
	Zkoušky tržného zatížení	/	/	Referenční (bez inkoustu)	1
				Nestárnuté (s inkoustem)	1
				Stárnuté (s inkoustem)	1
	Zkoušky odolnosti v přehybání	/	/	Referenční (bez inkoustu)	1
				Nestárnuté (s inkoustem)	1
				Stárnuté (s inkoustem)	1

7.4.3 Aplikace inkoustů na vybrané podložky

Pro aplikaci inkoustů na vybrané podložky byl v rámci experimentu použit ručně seříznutý husí brk s hrotem o šířce přibližně 3,5 mm. Tato volba byla založena nejen na historické relevanci, ale také na metodologické potřebě vyloučit riziko chemické reakce mezi inkoustem a kovovým hrotem. Praktická realizace však ukázala, že je potřeba oba typy papírových podložek před aplikací napnout, protože při nanášení inkoustů docházelo k jejich vlnění, což komplikovalo vytvoření rovnoměrného nánosu. Pergamen, vzhledem ke své odlišné povaze, tento krok nevyžadoval. Samotný nános inkoustu byl proveden v podobě série rovných linek vedených podél pravítka (obr. 40). Vzorky byly z těchto archů vyřezány až následně, a to dle stanovených parametrů (kap. 7.4.2 Parametry).

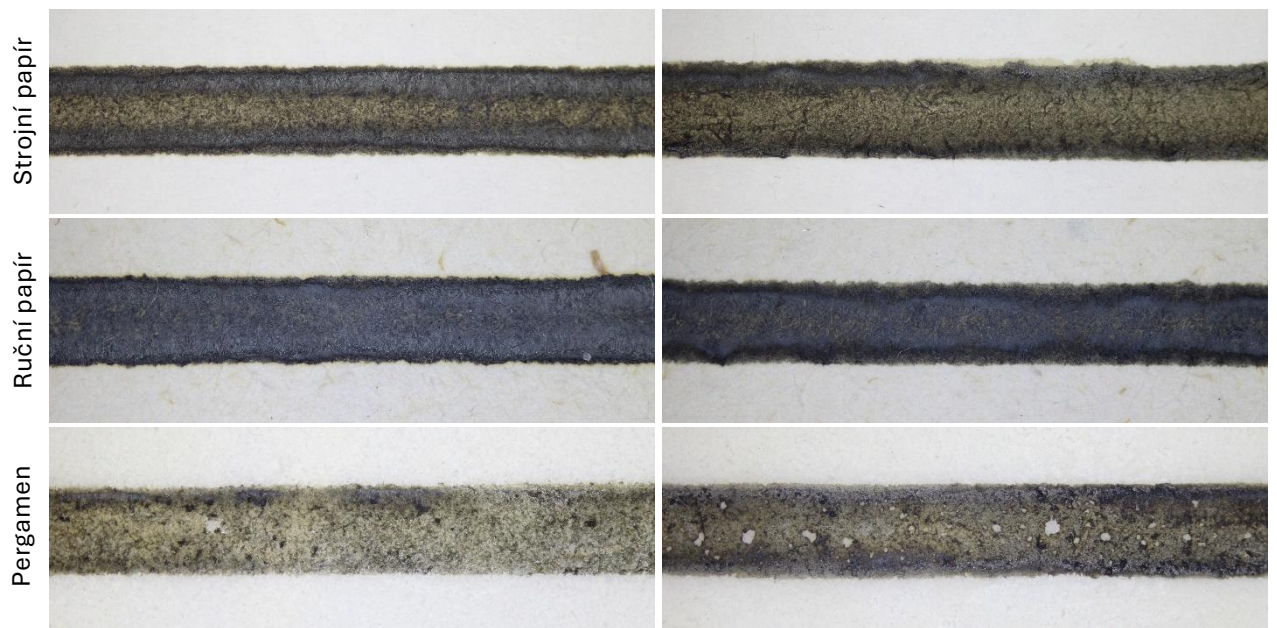
Výjimku v postupu představoval **Inkoust 5 (pevný)**, který musel být před použitím připraven způsobem popsáním v kapitole 7.3.4.3 *Inkoust 5 (pevný)* (obr. 41). Ačkoliv byl pro celý proces použit materiál z jedné výchozí šarže (připravené smícháním 2 g pevné sušiny s 25 ml dešťové vody), nebylo možné udržet jeho koncentraci po celou dobu aplikace zcela konstantní. V průběhu psaní totiž docházelo k postupnému vysychání roztoku, což si vyžádalo opakované ředění přibližným množstvím dešťové vody pro zachování optimálních psacích vlastností. Tento faktor je třeba brát v potaz při interpretaci výsledků.



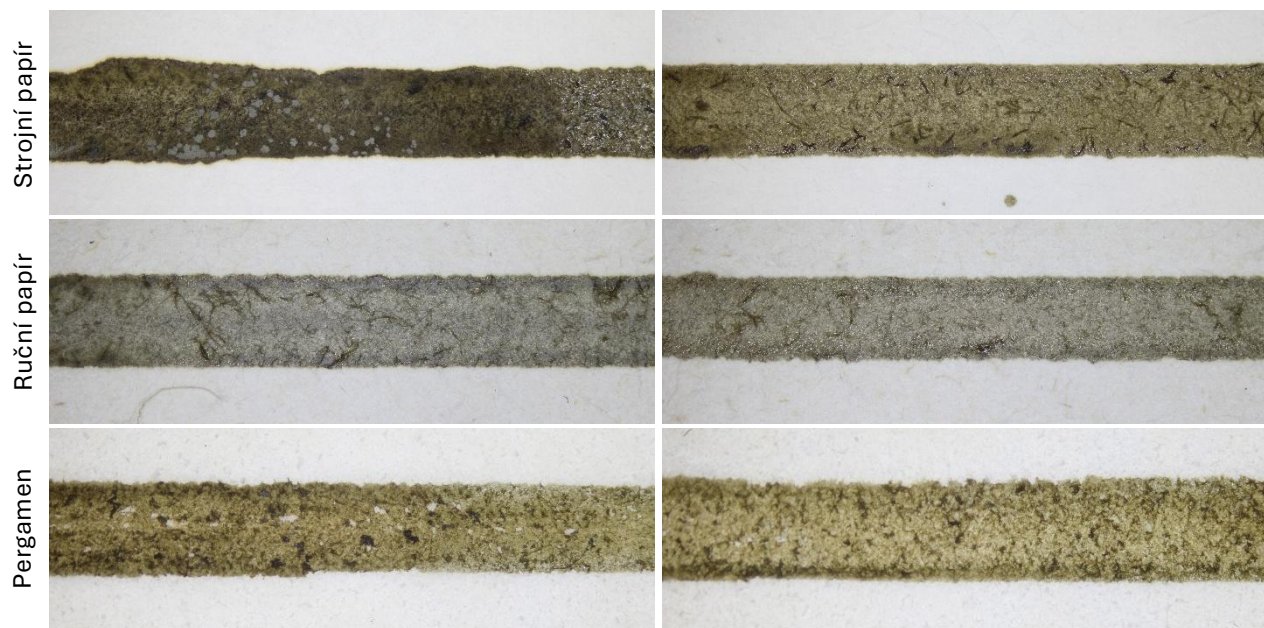
Obrázek 40 Aplikace železegalových inkoustů na podložku ptačím brkem



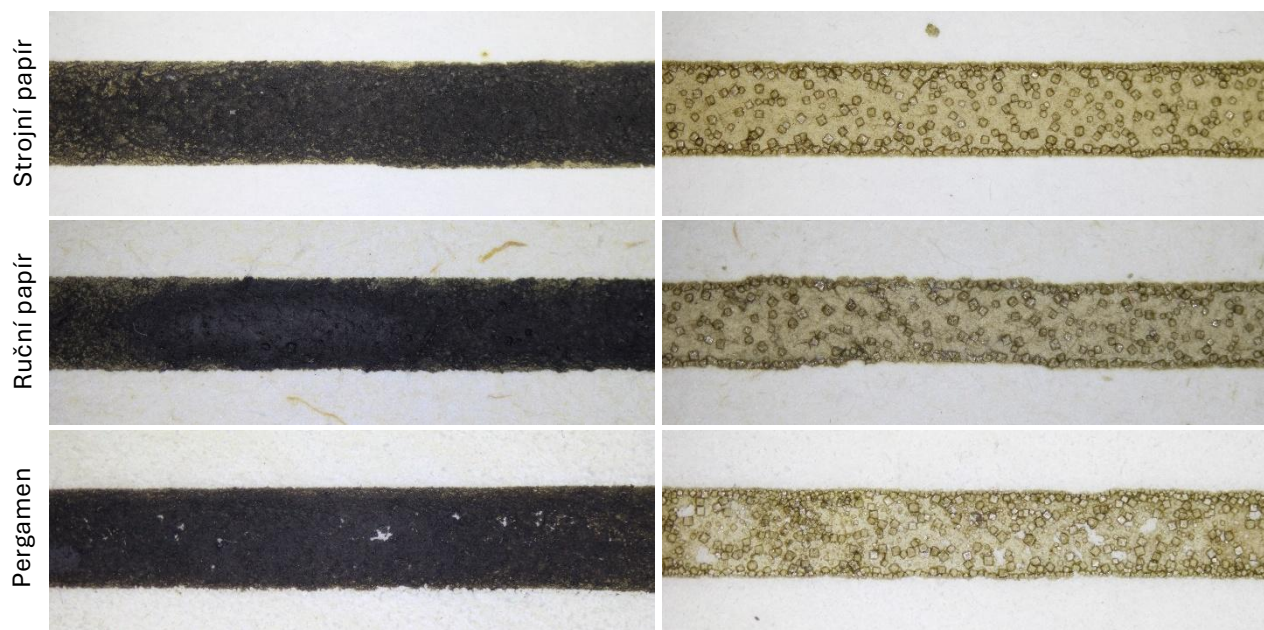
Obrázek 41 Příprava Inkoustu 5 (pevný) před aplikací na podložku



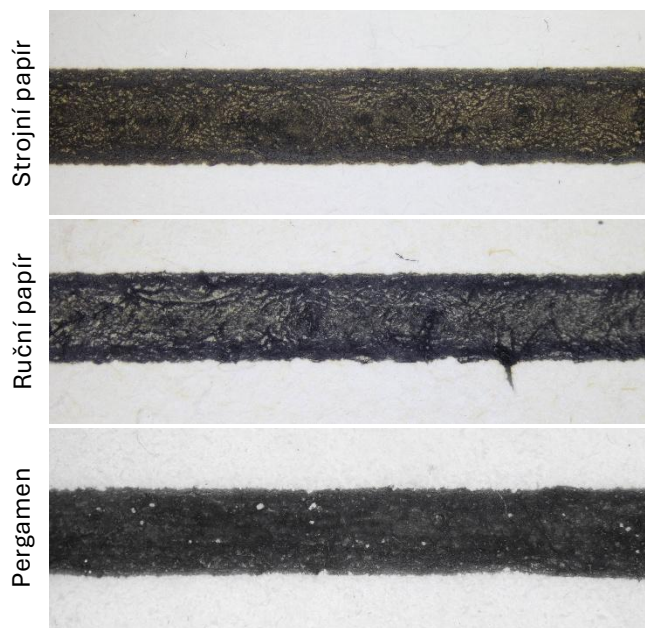
Obrázek 42 Ukázky inkoustových nánosů na všech vybraných podložkách – vlevo Inkoust 1 (voda), vpravo Inkoust 2 (voda+var)



Obrázek 43 Ukázky inkoustových nánosů na všech vybraných podložkách – vlevo Inkoust 3 (víno), vpravo Inkoust 4 (víno+var)



Obrázek 44 Ukázky inkoustových nánosů na všech vybraných podložkách – vlevo Inkoust 5 (pevný), vpravo Inkoust 6 (víno+sůl)



Obrázek 45 Ukázky inkoustových nánosů na všech vybraných podložkách – Inkoust 7 (voda+ocet)

7.4.4 Umělé stárnutí

Cílem umělého stárnutí bylo vyvolat zřetelnou degradaci vzorků, ale zároveň zachovat jejich dostatečnou celistvost pro následné mechanické zkoušky. Původní návrh metodiky vycházel z normy ČSN ISO 5630/3 (80 °C, 65 % RV) určené k urychlení stárnutí papíru a lepenky. S ohledem na specifické vlastnosti železagalového inkoustu však existovalo riziko, že užití těchto podmínek způsobí příliš rychlou destrukci papírových vzorků. Tato domněnka byla následně potvrzena prostřednictvím předběžných zkoušek na vybraných rezervních vzorcích.

V návaznosti na toto zjištění byla ve spolupráci s technologií fakulty navržena nová, šetrnější strategie založená na použití stejné relativní vlhkosti, ale výrazně nižší **teploty 40 °C**. Pro ověření vhodnosti nově nastavených podmínek proběhla druhá **ověřovací** zkouška. V jejím rámci byly opět využity rezervní vzorky. Tentokrát však byl každý z testovaných inkoustů zastoupen třemi replikáty na obou typech papírové podložky (pergamen testován nebyl). Tyto replikáty byly do klimatické komory vloženy současně, načež byly po 2, 4 a 7 dnech postupně odebírány.

Teprve na základě této zkoušky byla stanovena finální metodika umělého stárnutí. Jako první byly do klimatické komory umístěny tzv. monitorovací vzorky, vyčleněné z rezervní sady, které obsahovaly tři replikáty pro každou kombinaci inkoustu a podložky. Hlavní vzorky experimentu byly do komory přidány až po uplynutí tří dnů. Tento postup umožnil sledovat míru degradace hlavních vzorků s třídním předstihem a proces včas ukončit. Finální doba stárnutí byla stanovena

na **10 dnů**, neboť u nejméně odolného vzorku (ruční papír s Inkoustem 3) se po 12 dnech při ohnutí materiál zlomil na dvě části.

- Finální podmínky umělého stárnutí: **40 °C, 65 % RV, 10 dnů**.

Tabulka 9 Výsledky zkoušek umělého stárnutí – Inkoust 1 (voda)

Inkoust		Nestárnuté	Umělé stárnutí 2dny	Umělé stárnutí 4dny	Umělé stárnutí 7dní	Umělé stárnutí 9dní	Umělé stárnutí 11dní	Umělé stárnutí 7dní (80 °C)	
Ink1 (voda)	Strojní papír	VIS	Líc →						
			Rub →						
		UV	Líc →						
			Rub →						
	Ruční papír	VIS	Líc →						
			Rub →						
		UV	Líc →						
			Rub →						

Tabulka 10 Výsledky zkoušek umělého stárnutí – Inkoust 2 (voda+var)

Inkoust		Nestárnuté	Umělé stárnutí 2dny	Umělé stárnutí 4dny	Umělé stárnutí 7dní	Umělé stárnutí 9dní	Umělé stárnutí 11dní	Umělé stárnutí 7dní (80 °C)			
Ink2 (voda+var)	Strojní papír	VIS	Líc →					/			
			Rub →								
		UV	Líc →						/		
			Rub →								
	Ruční papír	VIS	Líc →					/	/		
			Rub →								
		UV	Líc →							/	/
			Rub →								

Tabulka 11 Výsledky zkoušek umělého stárnutí – Inkoust 3 (víno)

Inkoust		Nestárnuté	Umělé stárnutí 2dny	Umělé stárnutí 4dny	Umělé stárnutí 7dní	Umělé stárnutí 9dní	Umělé stárnutí 11dní	Umělé stárnutí 7dní (80 °C)	
Ink3 (víno)	Strojní papír	VIS	Líc →						
			Rub →						
		UV	Líc →						
			Rub →						
	Ruční papír	VIS	Líc →						
			Rub →						
		UV	Líc →						
			Rub →						

Tabulka 12 Výsledky zkoušek umělého stárnutí – Inkoust 4 (vino+var)

Inkoust		Nestárnuté	Umělé stárnutí 2dny	Umělé stárnutí 4dny	Umělé stárnutí 7dní	Umělé stárnutí 9dní	Umělé stárnutí 11dní	Umělé stárnutí 7dní (80 °C)
Ink4 (vino+var)	Strojní papír	VIS	Líc →					
			Rub →					
		UV	Líc →					
			Rub →					
	Ruční papír	VIS	Líc →					
			Rub →					
		UV	Líc →					
			Rub →					

Tabulka 13 Výsledky zkoušek umělého stárnutí – Inkoust 5 (pevný)

Inkoust		Nestárnuté	Umělé stárnutí 2dny	Umělé stárnutí 4dny	Umělé stárnutí 7dní	Umělé stárnutí 9dní	Umělé stárnutí 11dní	Umělé stárnutí 7dní (80 °C)		
Ink5 (pevný)	Strojní papír	VIS	Líc →							
			Rub →							
		UV	Líc →							
			Rub →							
	Ruční papír	VIS	Líc →							
			Rub →							
		UV	Líc →							
			Rub →							

Tabulka 14 Výsledky zkoušek umělého stárnutí – Inkoust 6 (víno+sůl)

Inkoust		Nestárnuté	Umělé stárnutí 2dny	Umělé stárnutí 4dny	Umělé stárnutí 7dní	Umělé stárnutí 9dní	Umělé stárnutí 11dní	Umělé stárnutí 7dní (80 °C)				
Ink6 (víno+sůl)	Strojní papír	UV	Líc →									
			Rub →									
		VIS	Líc →									
			Rub →									
	Ruční papír	VIS	Líc →									
			Rub →									
		UV	Líc →									
			Rub →									

Tabulka 15 Výsledky zkoušek umělého stárnutí – Inkoust 7 (voda+ocet)

Inkoust		Nestárnuté	Umělé stárnutí 2dny	Umělé stárnutí 4dny	Umělé stárnutí 7dní	Umělé stárnutí 9dní	Umělé stárnutí 11dní	Umělé stárnutí 7dní (80 °C)	
Ink7 (voda+ocet)	Strojní papír	VIS	Líc →						
			Rub →						
		UV	Líc →						
			Rub →						
	Ruční papír	VIS	Líc →						
			Rub →						
		UV	Líc →						
			Rub →						

7.5 Testování vzorků

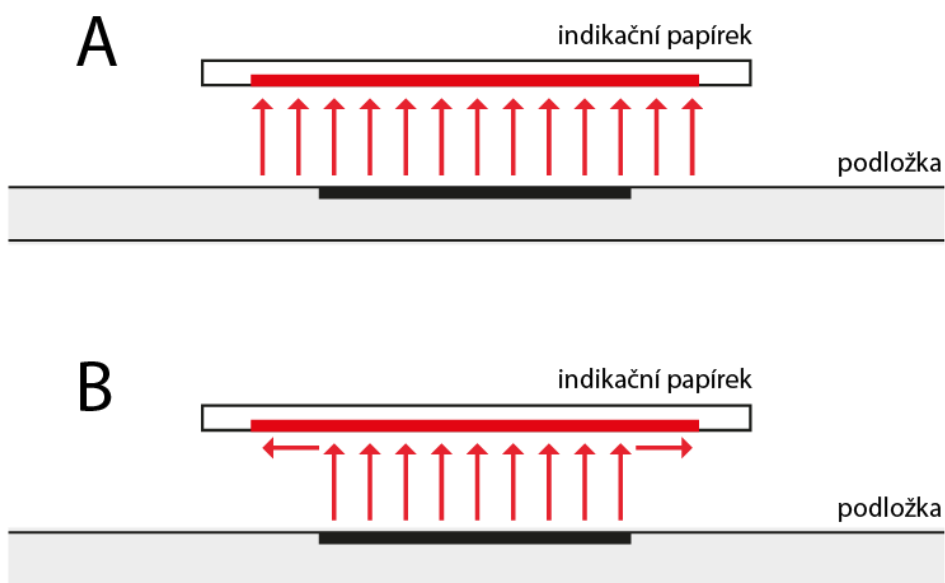
7.5.1 Základní analýzy

7.5.1.1 Bathofenantrolinový test

Test byl proveden pomocí indikačních papírků, jejichž příprava spočívala v ponoření čtverečků filtračního papíru do nasyceného roztoku bathofenantrolinu ($C_{24}H_{16}N_2$) v ethanolu a následném 24hodinovém sušení. Za normálních okolností je indikátor před testem opětovně zvlhčen a zhruba po dobu 20 sekund lehce přitlačěn k podložce. Tento postup se v tomto případě ukázal jako nevhodný, protože připravené inkousty byly příliš reaktivní a prvotní výsledky téměř nečitelné. Z tohoto důvodu byly čtverečky filtračního papíru po zvlhčení demineralizovanou vodou nejprve částečně vysušeny desetisekundovým stlačením mezi dvěma čistými filtračními papíry. Až takto připravené "polosuché" indikační papírky byly na 5 sekund přitlačeny na testované místo.

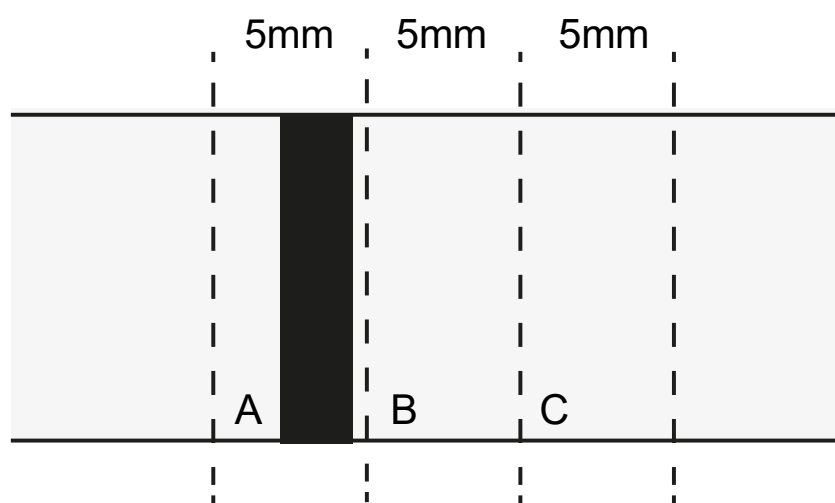
I po této modifikaci postupu však vzniklo podezření, že výsledek není zcela relevantní. Interpretační problém spočíval v konfliktu dvou možných mechanismů vzniku výsledné barvy. První možností byla klasická detekce iontů v místě jejich reálné migrace v podložce (obr. 46A), druhou pak sekundární reakce v samotném indikátoru v důsledku absorpce a následné difuzi přenesených iontů z nánosu (obr. 46B). Jelikož by tato druhá možnost zpochybnila vypovídací hodnotu celého testu, bylo přistoupeno k ověření tohoto jevu prostřednictvím ověřovací zkoušky, jejíž princip spočíval v detekci přítomnosti migrujících iontů v předem fyzicky oddělených zónách.

Pro tento účel byly použity mechanicky neporušené části vybraných vzorků stárnutého ručního papíru po zkoušce tržného zatížení (kap. 7.6.2.1 Zkoušky tržného zatížení). Z každého takového vzorku byly vyříznuty tři paralelní proužky o šířce 5 mm (obr. 47): proužek A (samotná inkoustová linka), proužek B (oblast těsně vedle linky) a proužek C (oblast dále od linky). Tyto proužky byly následně po dobu 15 minut koupány ve vodní lázni za účelem vyplavení rozpustných složek. Po důkladném vysušení byl na každém proužku proveden bathofenantrolinový test.



Obrázek 46 Schéma dvou možných mechanismů vybarvovací reakce bathofenantrolinu

SCHÉMA Odstupňování vzorků



Obrázek 47 Schéma vzorků pro ověřovací bathofenantrolinový test

7.5.1.2 Měření pH

K měření byl použit pH metr **Thermo Scientific Orion Star A111** vybavený dotykovou elektrodou **HI1413** od firmy **Hanna Instruments**. Měření probíhalo ve dvou oddělených fázích. V první fázi byla stanovena kyselost čerstvě připravených a přefiltrovaných inkoustů, a to mírným ponorem elektrody do roztoku. Výjimku představoval Inkoust 5 (pevný), jehož pH bylo změřeno až po jeho přípravě těsně před aplikací na psací podložky při přípravě vzorků experimentu (kap. 7.4.2 Parametry).

Druhá fáze měření se uskutečnila po ukončení procesu umělého stárnutí a spočívala ve stanovení povrchového pH jak čistých podložek (referenční vzorky), tak všech inkoustových nánosů (nestárnuté, stárnuté vzorky). Pro zajištění reprezentativnosti výsledků byla hodnota pH každého vzorku změřena na dvou různých místech. Z obou získaných hodnot byl následně vypočítán průměr.

Po vzoru metodiky aplikované u bathofenantrolinového testu bylo rozhodnuto rozšířit i měření povrchového pH. I zde byl využit princip odstupňovaných vzorků (proužky A, B, C), které byly před měřením nejprve promyty ve vodní lázni a poté vysušeny. Tento postup umožnil nejen zmapovat potenciální migraci kyselých složek pocházejících z výroby nebo degradačních procesů porovnáním pH v jednotlivých zónách, ale zároveň kvantifikovat vliv promytí na výslednou kyselost nánosů.

7.5.1.3 Zkoušky stability

Při zkouškách stability byla nejprve pomocí vatové tyčinky ověřena odolnost inkoustových nánosů vůči **otěru za sucha**. Následně byla posuzována jejich **reaktivita při kontaktu s vodou**, a to ze dvou hledisek. Prvním bylo tzv. **krvácení inkoustu**, kdy se po aplikaci kapky vody vizuálně hodnotila míra jeho rozpíjení do okolí. Druhým hlediskem byla **stabilita při přitlaku**, kdy se posuzovala intenzita obtisku nánosů na čtvereček filtračního papíru při aplikaci tlaku na zvlhčené místo. Pro vyhodnocení byla použita třístupňová klasifikace intenzity reakce: + (zřetelná reakce), ± (mírná reakce), - (žádná reakce).

7.5.2 Zkoušky mechanických vlastností

Zkoušky mechanických vlastností byly provedeny v laboratořích Národního archivu v Praze, kde probíhaly za odborné asistence pracovníka s využitím dostupného přístrojového vybavení. Před samotným měřením prošly všechny hlavní vzorky, včetně referenčních, kondicionováním dle normy **ISO 187**. Tento proces probíhal po dobu minimálně 24 hodin přímo na místě měření za standardních podmínek 23 °C (± 1 °C) a 50 % (± 2 %) relativní vlhkosti. Tím bylo zajištěno dosažení vlhkostní rovnováhy vzorků, která je zásadní pro přesnost a srovnatelnost výsledků. U každé posuzované mechanické vlastnosti byla provedena měření na třech replikátech v obou směrech vláken daného typu vzorku. Z těchto tří měření byl následně vypočítán průměr, který představuje výslednou hodnotu.

7.5.2.1 Zkoušky tržného zatížení

Tržné zatížení bylo stanoveno na přístroji *L&W Alwetron TH1* (obr. 48, 49) v souladu s metodikou popsanou normou **ČSN ISO 1924-2**. Konkrétně byla použita metoda s konstantní rychlostí prodlužování (20 mm/min) při vzdálenosti klem 100 mm ($\pm 0,1$ mm). Výsledné hodnoty jsou udávány v jednotkách kN/m.



Obrázek 48 Přístroj L&W Alwetron TH1



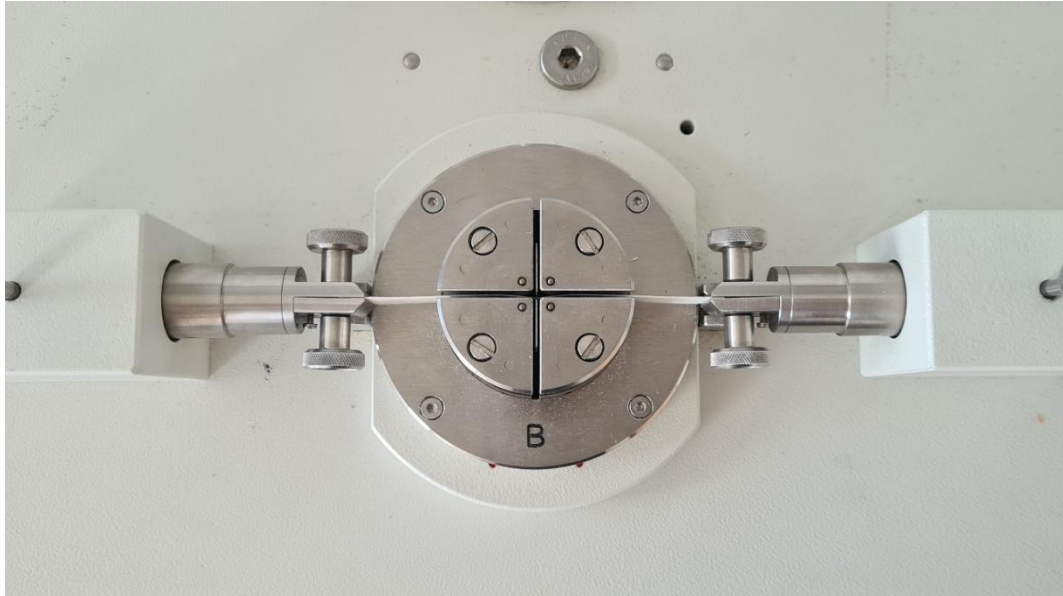
Obrázek 49 Pohled na vzorek uchycený v klemách přístroje L&W Alwetron TH1

7.5.2.2 Zkoušky odolnosti v přehýbání

Odolnost v přehýbání všech vzorků byla měřena na přístroji *Frank-PTI Twin Folding Tester* (obr. 50, 51) dle normy **ISO 5626**. Zkouška probíhala opakovaným přehýbáním vzorku přímo v místě inkoustového nánosu při minimálním a maximálním tahu pružin 7,55–9,91N. Výsledek je udáván jako počet dvojohybů (tedy tam a zpět) do přetržení vzorku.



Obrázek 50 Přístroj Frank-PTI Twin Folding Tester



Obrázek 51 Pohled na vzorek uchycený v klemách přístroje Frank-PTI Twin Folding Tester

7.6 Výsledky



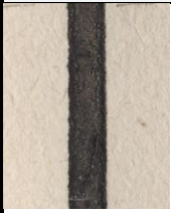
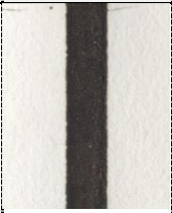









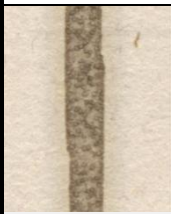





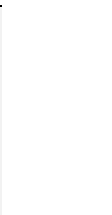
7.6.1 Základní analýzy

7.6.1.1 Bathofenantrolinový test

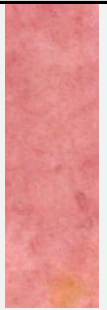


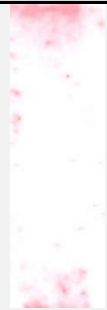


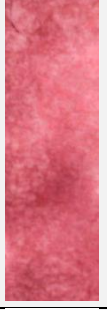
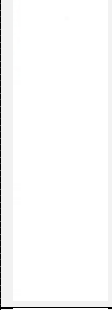

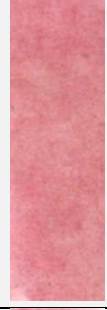









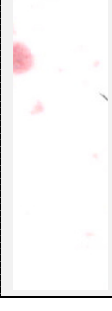

Bathofenantrolinový test prokázal přítomnost volných iontů Fe^{2+} u všech testovaných inkoustů před i po stárnutí (tab. 16). Ověřovací zkouška na izolovaných zónách jednoznačně prokázala, že k jejich samovolné migraci z nánosu do okolního papíru nedochází (tab. 17). Pozitivní reakce byla totiž detekována pouze v prouzcích s inkoustovým nánosem (proužek A). Z toho plyne, že zbarvení indikátorů pozorované při prvotním testu je důsledkem mechanismu B, popsaného v kapitole 7.5.1.1 *Bathofenantrolinový test*. Jedinou výjimkou jsou stárnuté vzorky inkoustu se solí (Inkoust 6), u nichž intenzita zbarvení koresponduje s viditelným halo efektem. Rozdíly v intenzitě reakce mezi nestárnutými a stárnutými vzorky tak nesvědčí o míře migrace, ale o změně koncentrace reaktivních iontů Fe^{2+} přímo v místě nánosu inkoustu. Tento pokles byl nejvýraznější u vzorků s inkoustem 5 (pevný), 6 (vino+sůl) a 7 (voda+ocet).

Tabulka 16 Výsledky bathofenantrolinového testu

	Sada vzorků	Nestárnuté			Stárnuté		
		Typ podložky	Ruční papír	Strojní papír	Pergamen	Ruční papír	Strojní papír
Ink1 (voda)	Testované místo						
	Indikační papírek						
Ink2 (voda+var)	Testované místo						
	Indikační papírek						
Ink3 (víno)	Testované místo						
	Indikační papírek						

Ink7 (voda+ocet)	Ink6 (víno+sůl)		Ink5 (pevný)		Ink4 (víno+var)	
	Indikační papírek	Testované místo	Indikační papírek	Testované místo	Indikační papírek	Testované místo
						
						
						

Tabulka 17 Výsledky ověřovacího bathofenantrolinového testu na recyklovaných stárnutých vzorcích ručního papíru

Označení proužku	A	B	C	Označení proužku	A	B	C
Ink1 (voda)				Ink5 (pevný)			
Ink2 (voda+var)				Ink6 (víno+sůl)			
Ink3 (víno)				Ink7 (voda+ocet)			
Ink4 (víno+var)							

7.6.1.2 Měření pH

Hodnota pH roztoků se pohybovala převážně kolem 2. Značně vyšší hodnotou se vykazují pouze pevný inkoust (Inkoust 5) s pH 3,7. Při srovnání vařených variant s jejich nevařenými protějšky (Inkoust 1/2 a 3/4) si lze navíc povšimnout mírného poklesu, značícího nárůst kyselosti (tab. 18).

Z povrchového měření čistých podložek vyplývá, že oba typy papíru (strojní i ruční) jsou lehce alkalické (pH 7,32 a 7,16) a čistý pergamen mírně kyselý (pH 5,96). Hodnoty samotných inkoustových nánosů se pohybují v rozmezí od 2,54 do 5,83 u nestárnutých vzorků a od 2,52 do 6,23 u stárnutých vzorků. Z nasbíraných dat je zřejmý především **vliv typu podložky**, konkrétně její chemické složení a fyzikální vlastnosti. Pergamen vykazuje nejmenší rozptyl hodnot (tedy nejnižší směrodatnou odchylku), strojní papír se pohybuje ve středním rozsahu a zároveň vykazuje nejvyšší pH, zatímco ruční papír vykazuje největší variabilitu a nejnižší naměřené hodnoty. **Vliv umělého stárnutí** se ve většině měření projevil poklesem pH. Byly zaznamenány i výjimky, kdy po stárnutí došlo naopak k nárůstu hodnoty (v tabulce označeno *). Tento jev byl nicméně konzistentně a v notné míře pozorován pouze u Inkoustu 6 (víno+sůl). U ostatních takových výkyvů je rozdíl hodnot natolik nepatrný, že jej nelze považovat za průkazný (tab. 19).

Doplňková zkouška s koupanými vzorky prokázala, že k významné migraci kyselých složek do okolí nánosů nedochází, jelikož pH proužků B a C se blížilo hodnotám čisté podložky. Samotný proces koupání měl značný neutralizační efekt a zvýšil pH všech testovaných proužků do rozmezí 6,51–7,99. Mimo to test také potvrdil vyšší kyselost vařených variant inkoustů oproti nevařeným (tab. 20).

Tabulka 18 Výsledky měření pH roztoků

	pH roztoku
Ink1 (voda)	2,08
Ink2 (voda+var)	1,88
Ink3 (víno)	1,96
Ink4 (víno+var)	1,91
Ink5 (pevný)	3,70
Ink6 (víno+sůl)	1,9
Ink7 (voda+ocet)	2,33

Tabulka 19 Výsledky povrchového měření pH

Sada vzorků	Nestárnuté			Stárnuté		
	Ruční papír	Strojní papír	Pergamen	Ruční papír	Strojní papír	Pergamen
Referenční	7,32	7,16	5,96			
Ink1 (voda)	3,55	5,29	4,27	2,87	5,00	4,07
Ink2 (voda+var)	3,69	4,45	4,66	2,98	4,55*	4,35
Ink3 (víno)	2,68	4,69	4,38	2,52	3,85	4,42*
Ink4 (víno+var)	2,54	4,65	4,05	2,73*	4,50	3,57
Ink5 (pevný)	4,51	5,83	4,59	3,93	5,01	4,52
Ink6 (víno+sůl)	4,06	4,75	4,57	4,94*	6,23*	5,29*
Ink7 (voda+ocet)	4,33	5,13	4,44	3,61	4,98	4,25
Směrodatná odchylka	1,49	0,89	0,58			

* označuje hodnoty u nichž došlo po umělém stárnutí k navýšení

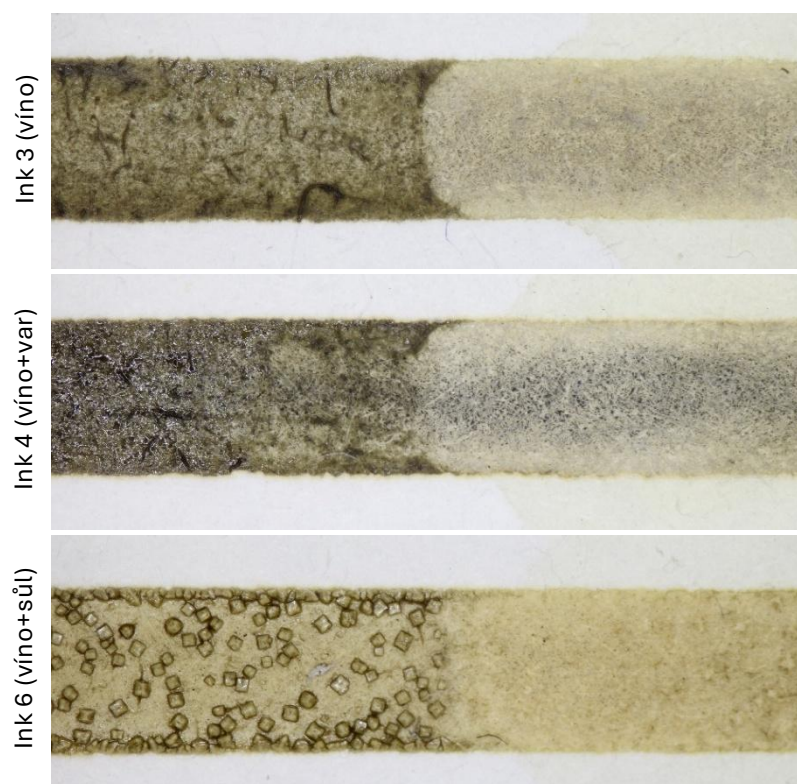
Tabulka 20 Výsledky dodatečného měření povrchového pH na recyklovaných stárnutých vzorcích ručního papíru

Označení části vzorku	a)		b)		c)	
	Před vykoupaním	Po vykoupaním	Před vykoupaním	Po vykoupaním	Před vykoupaním	Po vykoupaním
Stav vzorku během měření						
Ink1 (voda)	4,28	7,68	6,70	7,72	7,05	7,99
Ink2 (voda+var)	3,70	6,88	6,66	7,39	5,09	7,42
Ink3 (víno)	3,98	6,68	6,82	7,77	7,32	7,94
Ink4 (víno+var)	2,67	6,51	7,39	7,60	7,80	7,65
Ink5 (pevný)	3,97	6,79	7,06	7,62	7,61	7,79
Ink6 (víno+sůl)	5,62	7,73	7,06	7,60	7,81	7,76
Ink7 (voda+ocet)	3,65	7,68	7,50	7,72	7,63	7,49

7.6.1.3 Zkoušky stability

U zkoušek na **otěr za sucha** zřetelně reagovaly pouze nestárnuté inkoustové nánosy na vodní bázi (Inkoust 1, 2), zatímco u stárnutých vzorků se mírně stíralo jen několik inkoustů na strojním papíře (tab. 21). Z hlediska reaktivity inkoustů při kontaktu s vodou se žádný z nich nevyznačoval **krvácením** do okolí. Nejnižší stabilita byla zaznamenána při mechanickém **přítlaku** po zvlhčení, kdy do určité míry reagovaly všechny nánosy na nestárnutých vzorcích a téměř polovina nánosů po stárnutí.




















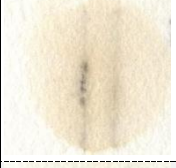




Při hodnocení výsledků bylo nicméně nezbytné rozlišit mezi výše uvedeným jevem krvácení (rozpíjení inkoustu do stran) a fenoménem **vyplavování**. Při něm se z nánosů do vodní kapky uvolňovalo žlutohnědé barvivo, které po zpětném vsáknutí a odpaření vody vytvářelo na povrchu podložky tzv. zatekliny. Zatímco tento jev byl pozorován u všech nánosů bez ohledu na jejich stáří a u většiny z nich nezpůsobil žádnou viditelnou změnu, u inkoustů s obsahem vína (Inkousty 3, 4 a 6; obr. 52) byla zaznamenána zřetelná ztráta sytosti. U stárnutých vzorků bylo vyplavování obecně výrazně slabší, přičemž největší útlum vykazovaly Inkousty 5–7. Celkově tak lze konstatovat, že proces umělého stárnutí značně přispěl ke zvýšení stability inkoustového nánosů.



Obrázek 52 Ukázky ztráty sytosti inkoustových nánosů v důsledku vyplavování, shora: Inkoust 3 (víno), 4 (víno+var) a 6 (víno+sůl)

Tabulka 21 Výsledky zkoušek stability inkoustových nánosů

	Typ provedené analýzy	Suchý otěr			Stabilita při kontaktu s vodou								
					Krvácení			Přítlak (+ fotografie indikačních papírků)					
		Typ podložky	Ruční papír	Strojní papír	Pergamen	Ruční papír	Strojní papír	Pergamen	Ruční papír	Strojní papír	Pergamen	Ruční papír	Strojní papír
Ink1 (voda)	Nestárnuté vzorky	±	±	-	-	-	-	+	+	-			
	Stárnuté vzorky	-	-	-	-	-	-	±	±	-			
Ink2 (voda+var)	Nestárnuté vzorky	±	±	-	-	-	-	+	+	+			
	Stárnuté vzorky	-	-	-	-	-	-	±	-	-			
Ink3 (víno)	Nestárnuté vzorky	-	-	-	-	-	-	+	+	+			
	Stárnuté vzorky	-	-	-	-	-	-	±	-	+			

Ink4 (víno+var)	Nestárnuté vzorky	-	-	-	-	-	-	+	+	+			
	Stárnuté vzorky	-	±	-	-	-	-	±	-	-			
Ink5 (pevný)	Nestárnuté vzorky	-	-	-	-	-	-	+	±	+			
	Stárnuté vzorky	-	-	-	-	-	-	±	-	-			
Ink6 (víno+súl)	Nestárnuté vzorky	-	-	-	-	-	-	+	+	+			
	Stárnuté vzorky	-	±	-	-	-	-	±	-	+			
Ink7 (voda+ocet)	Nestárnuté vzorky	-	-	-	-	-	-	+	+	+			
	Stárnuté vzorky	-	±	-	-	-	-	-	-	-			

7.6.2 Zkoušky mechanických vlastností

7.6.2.1 Zkoušky tržného zatížení

Při zkouškách tržného zatížení došlo k přetržení vzorků téměř vždy **mimo inkoustovou linku** (obr. 53). Získaná data tak primárně odrážejí změny pevnosti samotných podložek vlivem umělého stárnutí. Při srovnání naměřených hodnot jak referenčních a nestárnutých, tak nestárnutých a stárnutých vzorků obou typů papírové podložky lze sledovat převážně snížení odolnosti, ačkoliv v některých případech došlo naopak k jejímu zvýšení (v tabulce označeno *; tab. 22, 23). V případě pergamenu byly výsledky neprůkazné (tab. 24).



Obrázek 53 Vzorky po zkouškách tržného zatížení

Tabulka 22 Výsledky zkoušek tržného zatížení ručního papíru

Inkoust	Sada vzorků	Směr vláken	Měření 1 (kN/m)	Měření 2 (kN/m)	Měření 3 (kN/m)	Průměr hodnot	Směrodatná odchylka
	Referenční	Podélný (↔)	3,45	3,25	3,30	3,33	0,10
		Příčný (⊥)	2,05	1,95	1,99	2,00	0,05
Ink1 (voda)	Nestárnuté	Podélný (↔)	2,93	2,95	2,98	2,95	0,03
		Příčný (⊥)	1,39	1,63	1,74	1,59	0,18
	Stárnuté	Podélný (↔)	2,54	2,64	2,66	2,61	0,06
		Příčný (⊥)	1,02	1,13	1,18	1,11	0,08
Ink2 (voda+var)	Nestárnuté	Podélný (↔)	3,08	3,16	3,18	3,14	0,05
		Příčný (⊥)	2,46	2,52	2,53	2,50	0,04
	Stárnuté	Podélný (↔)	2,98	3,06	3,15	3,06	0,09
		Příčný (⊥)	1,97	2,18	2,38	2,18	0,21
Ink3 (víno)	Nestárnuté	Podélný (↔)	2,91	2,99	3,00	2,97	0,05
		Příčný (⊥)	1,93	1,97	2,05	1,98	0,06
	Stárnuté	Podélný (↔)	3,01	3,11	3,33	3,15*	0,16
		Příčný (⊥)	2,35	2,37	2,43	2,38*	0,04
Ink4 (víno+var)	Nestárnuté	Podélný (↔)	2,65	2,86	2,98	2,83	0,17
		Příčný (⊥)	1,68	1,95	2,09	1,91	0,21
	Stárnuté	Podélný (↔)	2,75	2,88	2,91	2,85*	0,09
		Příčný (⊥)	1,70	1,79	1,94	1,81	0,12
Ink5 (pevný)	Nestárnuté	Podélný (↔)	2,66	2,78	2,82	2,75	0,08
		Příčný (⊥)	2,09	2,19	2,23	2,17	0,07
	Stárnuté	Podélný (↔)	2,59	2,67	2,72	2,66	0,07
		Příčný (⊥)	1,96	2,06	2,14	2,05	0,09
Ink6 (víno+sůl)	Nestárnuté	Podélný (↔)	2,70	2,77	2,82	2,76	0,06
		Příčný (⊥)	2,03	2,08	2,15	2,09	0,06
	Stárnuté	Podélný (↔)	2,91	2,93	3,10	2,98*	0,10
		Příčný (⊥)	2,14	2,20	2,22	2,19*	0,04
Ink7 (voda+ocet)	Nestárnuté	Podélný (↔)	2,62	2,62	2,64	2,63	0,01
		Příčný (⊥)	2,07	2,08	2,17	2,11	0,06
	Stárnuté	Podélný (↔)	2,60	2,62	2,70	2,64*	0,05
		Příčný (⊥)	1,81	1,93	1,95	1,90	0,08

* označuje hodnoty u nichž došlo po umělém stárnutí k navýšení

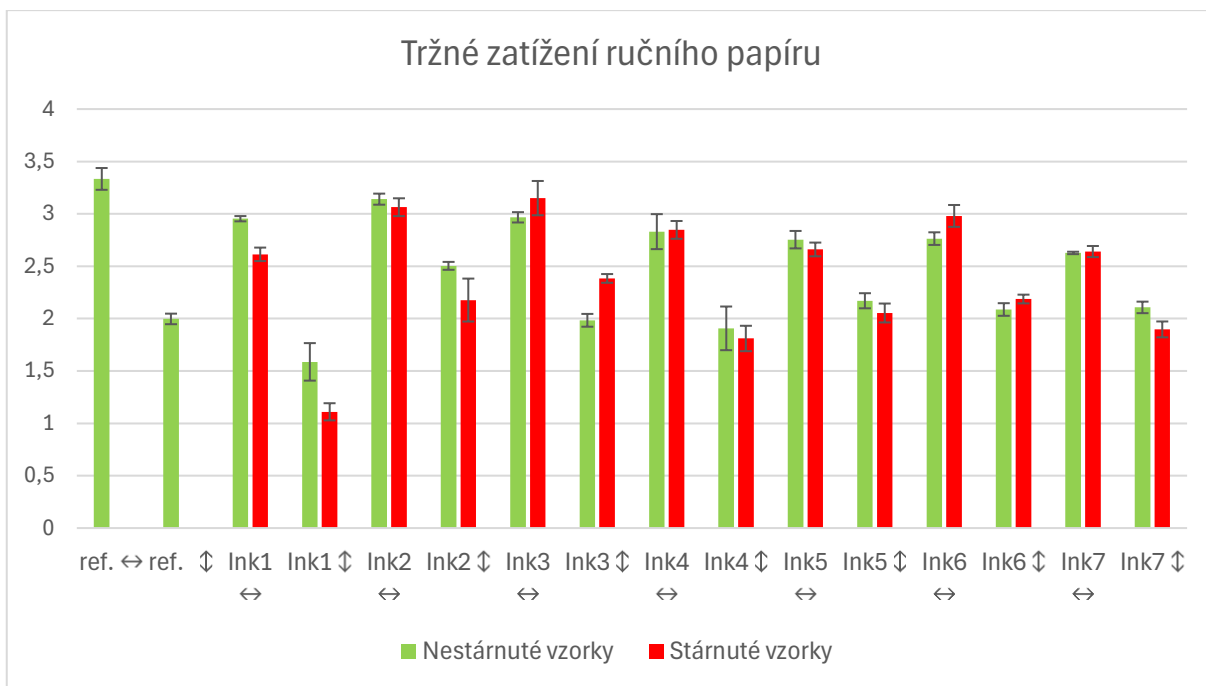
Tabulka 23 Výsledky zkoušek tržného zatížení strojního papíru

Inkoust	Sada vzorků	Směr vláken	Měření 1 (kN/m)	Měření 2 (kN/m)	Měření 3 (kN/m)	Průměr hodnot	Směrodatná odchylka
	Referenční	Podélný (↔)	5,17	5,18	5,18	5,18	0,01
		Příčný (⊥)	2,19	2,17	2,18	2,18	0,01
Ink1 (voda)	Nestárnuté	Podélný (↔)	5,11	5,13	5,29	5,18	0,10
		Příčný (⊥)	2,19	2,22	2,31	2,24	0,06
	Stárnuté	Podélný (↔)	4,85	4,86	5,00	4,90	0,08
		Příčný (⊥)	2,08	2,20	2,27	2,18	0,10
Ink2 (voda+var)	Nestárnuté	Podélný (↔)	3,76	4,87	5,11	4,58	0,72
		Příčný (⊥)	2,04	2,09	2,33	2,15	0,16
	Stárnuté	Podélný (↔)	5,07	5,26	5,48	5,27*	0,21
		Příčný (⊥)	2,25	2,27	2,32	2,28*	0,04
Ink3 (víno)	Nestárnuté	Podélný (↔)	5,09	5,27	5,32	5,23	0,12
		Příčný (⊥)	2,49	2,51	2,62	2,54	0,07
	Stárnuté	Podélný (↔)	4,38	4,63	4,68	4,56	0,16
		Příčný (⊥)	2,37	2,39	2,62	2,46	0,14
Ink4 (víno+var)	Nestárnuté	Podélný (↔)	5,15	5,37	5,46	5,33	0,16
		Příčný (⊥)	2,49	2,49	2,52	2,50	0,02
	Stárnuté	Podélný (↔)	4,91	5,19	5,23	5,11	0,17
		Příčný (⊥)	2,29	2,45	2,45	2,40	0,09
Ink5 (pevný)	Nestárnuté	Podélný (↔)	4,77	4,82	4,92	4,84	0,08
		Příčný (⊥)	2,16	2,25	2,34	2,25	0,09
	Stárnuté	Podélný (↔)	4,60	4,85	4,95	4,80	0,18
		Příčný (⊥)	2,21	2,27	2,37	2,28*	0,08
Ink6 (víno+sůl)	Nestárnuté	Podélný (↔)	4,61	5,05	5,08	4,91	0,26
		Příčný (⊥)	2,48	2,49	2,60	2,52	0,07
	Stárnuté	Podélný (↔)	5,2	5,23	5,34	5,26*	0,07
		Příčný (⊥)	2,28	2,40	2,58	2,42	0,15
Ink7 (voda+ocet)	Nestárnuté	Podélný (↔)	4,84	5,05	5,17	5,02	0,17
		Příčný (⊥)	2,37	2,38	2,46	2,40	0,05
	Stárnuté	Podélný (↔)	4,76	4,99	5,03	4,93	0,15
		Příčný (⊥)	2,42	2,42	2,44	2,43	0,01

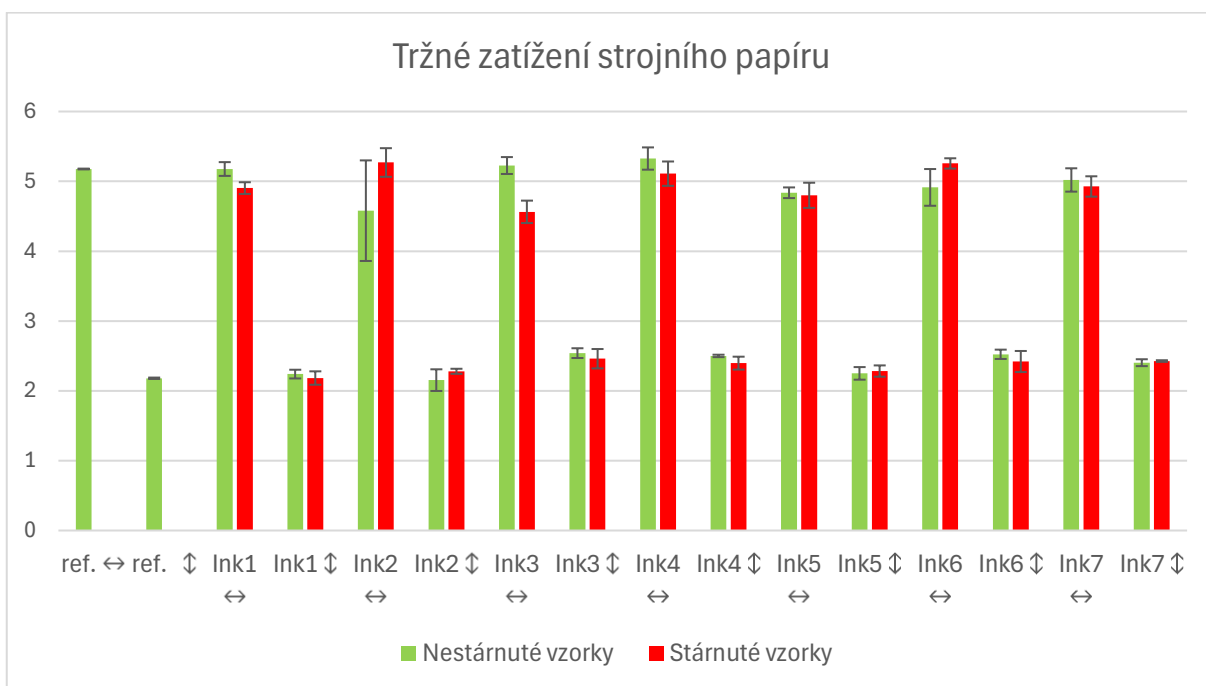
* označuje hodnoty u nichž došlo po umělém stárnutí k navýšení

Tabulka 24 Výsledky zkoušek tržného zatížení pergamentu

Inkoust	Sada vzorků	Měření 1 (kN/m)
	Referenční	33,1
Ink1 (voda)	Nestárnuté	33,1
	Stárnuté	33,1
Ink2 (voda+var)	Nestárnuté	33,1
	Stárnuté	33,1
Ink3 (víno)	Nestárnuté	33,1
	Stárnuté	33,1
Ink4 (víno+var)	Nestárnuté	33,1
	Stárnuté	33,1
Ink5 (pevný)	Nestárnuté	33,1
	Stárnuté	33,1
Ink6 (víno+sůl)	Nestárnuté	33,1
	Stárnuté	33,1
Ink7 (voda+ocet)	Nestárnuté	33,1
	Stárnuté	33,1



Obrázek 54 Schéma tržného zatížení ručního papíru



Obrázek 55 Schéma tržného zatížení strojního papíru

7.6.2.2 Zkoušky odolnosti v přehýbání

Z výsledků je patrné, že **ruční papír** obecně vykazoval nízkou mechanickou odolnost (tab. 25). Již jeho referenční vzorky dosahovaly v průměru pouhých 17 dvojohybů v podélném směru vláken a 7 v příčném. Počet dvojohybů u vzorků s inkoustovým nánosem (nestárnutých i stárnutých) byl pak ještě nižší, typicky v rozmezí od 0 do 4. Vzhledem k těmto hodnotám, které se často blíží hranici měřitelnosti, je interpretace jakýchkoliv společných trendů u tohoto materiálu problematická.

Relevantnější data poskytl **strojní papír**, který byl již v základu odolnější, jak dokazuje průměrná hodnota 209 dvojohybů v podélném směru a 57 v příčném (tab. 26). I zde byla u vzorků s nánosy zaznamenána snížená odolnost, přičemž nejnižší hodnoty byly naměřeny u inkoustů na vinné bázi (Inkoust 3 a 4). Z hlediska vlivu umělého stárnutí bylo pozorováno jak zvýšení, tak snížení hodnot v porovnání s nestárnutými vzorky. Konkrétně k navýšení odolnosti došlo u vzorků s inkousty 3 a 6 v obou směrech vláken a u inkoustů 2, 4 a 7 v podélném směru vláken.

Interpretaci všech získaných výsledků nicméně komplikovaly ojedinělé značné odchylky, které pravděpodobně souvisejí s chybami měření. Je nutné také poznamenat, že pergamenové vzorky nebylo možné touto metodou posoudit, neboť ani po 2500 dvojohybech nedošlo k jejich přetržení. Z tohoto důvodu bylo testování této podložky ukončeno předčasně.



Obrázek 56 Vzorky po zkouškách odolnosti v přehýbání

Tabulka 25 Výsledky zkoušek odolnosti v přehýbání z ručního papíru

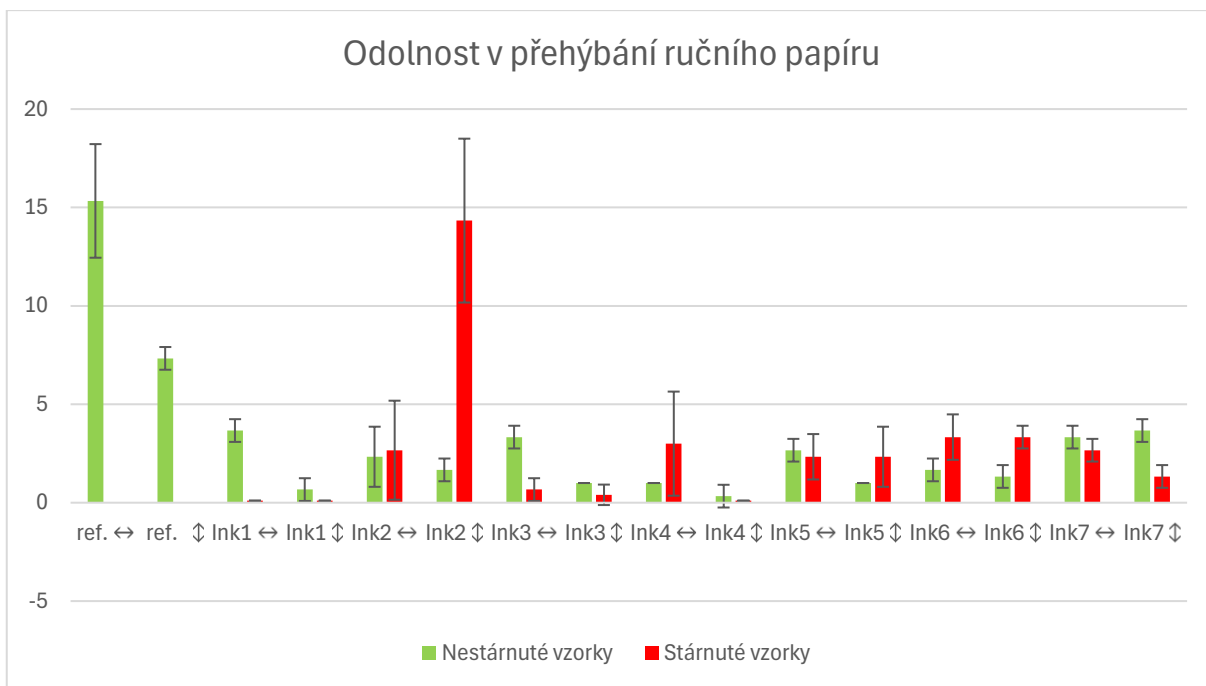
Inkoust	Sada vzorků	Směr vláken	Měření 1 (dvojohyb)	Měření 2 (dvojohyb)	Měření 3 (dvojohyb)	Průměr hodnot	Směrodatná odchylka
	Referenční	Podélný (↔)	17	17	12	15,33	2,546
		Příčný (↕)	7	7	8	7,33	0,509
Ink1 (voda)	Nestárnuté	Podélný (↔)	3	4	4	4	0,58
		Příčný (↕)	0	1	1	1	0,58
	Stárnuté	Podélný (↔)	0	0	0	0	0,00
		Příčný (↕)	0	0	0	0	0,00
Ink2 (voda+var)	Nestárnuté	Podélný (↔)	2	1	4	2	1,53
		Příčný (↕)	2	1	2	2	0,58
	Stárnuté	Podélný (↔)	3	5	0	3*	2,52
		Příčný (↕)	11	19	13	14*	4,16
Ink3 (víno)	Nestárnuté	Podélný (↔)	3	3	4	3	0,58
		Příčný (↕)	1	1	1	1	0,00
	Stárnuté	Podélný (↔)	1	0	1	1	0,58
		Příčný (↕)	0	1	0	0	0,58
Ink4 (víno+var)	Nestárnuté	Podélný (↔)	1	1	1	1	0,00
		Příčný (↕)	1	0	0	0	0,58
	Stárnuté	Podélný (↔)	4	5	0	3*	2,65
		Příčný (↕)	0	0	0	0	0,00
Ink5 (pevný)	Nestárnuté	Podélný (↔)	2	3	3	3	0,58
		Příčný (↕)	1	1	1	1	0,00
	Stárnuté	Podélný (↔)	1	3	3	2	1,15
		Příčný (↕)	2	4	1	2*	1,53
Ink6 (víno+sůl)	Nestárnuté	Podélný (↔)	2	2	1	2	0,58
		Příčný (↕)	1	1	2	1	0,58
	Stárnuté	Podélný (↔)	2	4	4	3*	1,15
		Příčný (↕)	4	3	3	3*	0,58
Ink7 (voda+ocet)	Nestárnuté	Podélný (↔)	3	4	3	3	0,58
		Příčný (↕)	3	4	4	4	0,58
	Stárnuté	Podélný (↔)	2	3	3	3	0,58
		Příčný (↕)	1	2	1	1	0,58

* označuje hodnoty u nichž došlo po umělém stárnutí k navýšení

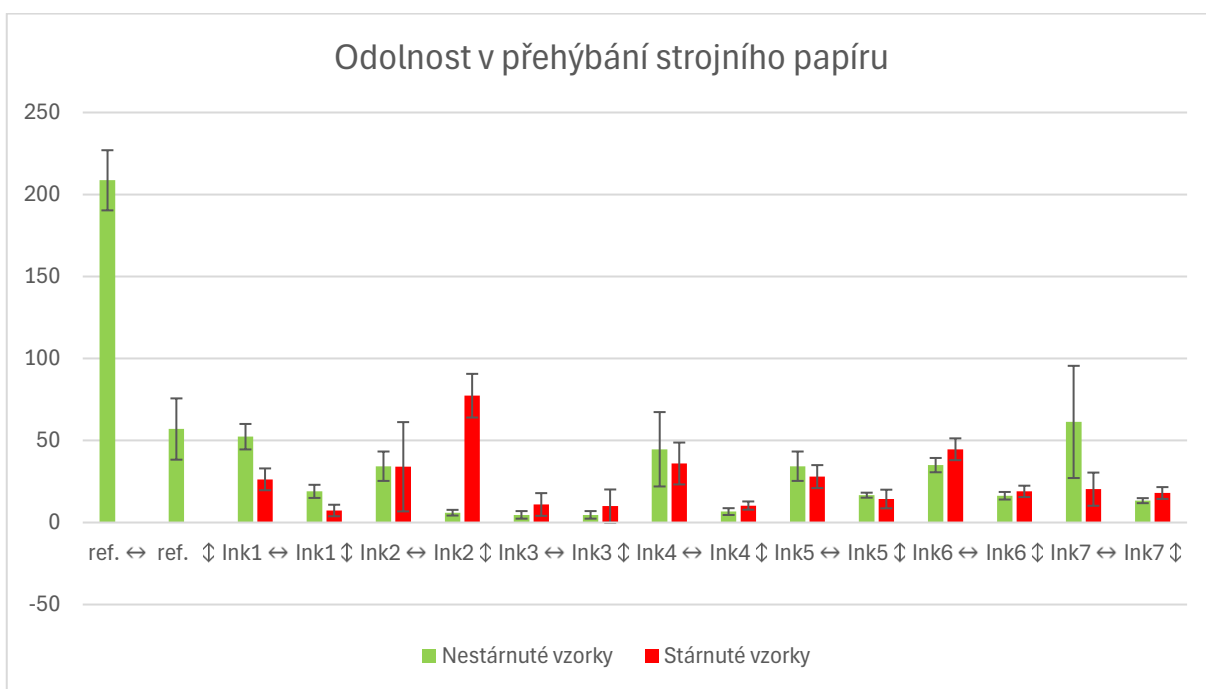
Tabulka 26 Výsledky zkoušek odolnosti v přehýbání strojního papíru

Inkou st	Sada vzorků	Směr vláken	Měření 1 (dvojohyb)	Měření 2 (dvojohyb)	Měření 3 (dvojohyb)	Průměr hodnot	Směrodatná odchylka
	Referenční	Podélný (↔)	188	215	223	208,67	7,183
		Příčný (↕)	77	40	54	57,00	9,074
Ink1 (voda)	Nestárnuté	Podélný (↔)	50	46	61	52	7,77
		Příčný (↕)	19	23	15	19	4,00
	Stárnuté	Podélný (↔)	28	19	32	26	6,66
		Příčný (↕)	11	7	4	7	3,51
Ink2 (voda+var)	Nestárnuté	Podélný (↔)	24	40	39	34	8,96
		Příčný (↕)	5	5	8	6	1,73
	Stárnuté	Podélný (↔)	65	23	14	34	27,22
		Příčný (↕)	86	62	84	77*	13,32
Ink3 (víno)	Nestárnuté	Podélný (↔)	6	6	2	5	2,31
		Příčný (↕)	2	6	6	5	2,31
	Stárnuté	Podélný (↔)	19	7	7	11*	6,93
		Příčný (↕)	1	8	21	10*	10,15
Ink4 (víno+var)	Nestárnuté	Podélný (↔)	62	19	53	45	22,68
		Příčný (↕)	6	9	5	7	2,08
	Stárnuté	Podélný (↔)	39	47	22	36	12,77
		Příčný (↕)	8	13	10	10*	2,52
Ink5 (pevný)	Nestárnuté	Podélný (↔)	24	40	39	34	8,96
		Příčný (↕)	17	18	15	17	1,53
	Stárnuté	Podélný (↔)	20	31	33	28	7,00
		Příčný (↕)	16	8	19	14	5,69
Ink6 (víno+sůl)	Nestárnuté	Podélný (↔)	37	38	30	35	4,36
		Příčný (↕)	19	15	15	16	2,31
	Stárnuté	Podélný (↔)	43	52	39	45*	6,66
		Příčný (↕)	17	17	23	19*	3,46
Ink7 (voda+ocet)	Nestárnuté	Podélný (↔)	49	100	35	61	34,21
		Příčný (↕)	12	15	13	13	1,53
	Stárnuté	Podélný (↔)	15	14	32	20	10,12
		Příčný (↕)	14	21	19	18	3,61

* označuje hodnoty u nichž došlo po umělém stárnutí k navýšení



Obrázek 57 Schéma odolnosti v přehýbání ručního papíru



Obrázek 58 Schéma odolnosti v přehýbání strojního papíru

7.7 Diskuse

Tato kapitola se věnuje interpretaci klíčových zjištění experimentu provedeném v rámci této práce a jejich zasazení do širšího kontextu. Při hodnocení výsledků je nicméně třeba brát v úvahu určitá metodologická omezení, která mohou ovlivnit jejich přesnost i spolehlivost. Jedním z těchto limitů je pravděpodobná drobná nerovnoměrnost inkoustových nánosů. Dalším pak rozdílná míra absorpce tekutiny jednotlivými typy podložek při aplikaci inkoustů, přičemž nejvyšší absorpční schopnost byla zaznamenána u ručního papíru, a naopak nejmenší u pergamenu. Určitou míru omezení přinášejí i metody posouzení založené na vizuálním pozorování, které mohou být ovlivněny subjektivní interpretací. Vedle toho je vhodné zohlednit i nižší přesnost některých užitých analýz (např. povrchové měření pH). V neposlední řadě je třeba mít na paměti, že umělé stárnutí nedokáže plně postihnout složitost reálných degradačních procesů probíhajících v dlouhém časovém horizontu. Na výsledky a navrhované hypotézy je tak nutné nahlížet s určitou opatrností. Za účelem objasnění či potvrzení některých z prezentovaných domněnek byla dodatečně provedena mikroskopická analýza (viz níže, text. p. 2-14), jež vznikla nad rámec experimentu teprve v reakci na konkrétní zjištění. Z tohoto důvodu jsou zde prezentovány pouze vybrané poznatky, které přímo souvisejí s diskutovanými jevy.

Jedním z hlavních pozorovaných jevů napříč všemi základními analýzami bylo výrazné vyplavování ve vodě rozpustných složek s charakteristickým žlutohnědým zbarvením. Ačkoli je tento fenomén znám i z historických dokumentů a přímo vychází z chemického mechanismu tvorby železogatlového inkoustu (kap. 5 Chemická podstata), míra jeho projevu byla nezvykle vysoká. Tuto intenzitu lze částečně přisoudit soustředění složek do omezené oblasti pod sraženinou, jak vyplývá z mikroskopického studia nábrusů a potvrzují dílčí výsledky analýz (text. p. 9, 10). Jejich přítomnost přitom bývá tradičně spojována s přebytkem nezreagovaných výchozích složek, degradačními procesy nebo přítomností aditiv. Ty jsou ovšem ve vybraných recepturách zastoupeny pouze solí. Jelikož se jedná o čerstvě připravené inkousty je možné, že jejich přítomnost může vycházet z dosud neukončené chemické stabilizace (komplexace), nikoliv z nevhodného poměru mezi surovinami. Kromě neobvyklé intenzity vyplavování, která je u stárnutých vzorků nižší, tuto hypotézu podporují i výsledky bathofenantrolinových testů, které poukazují na mimořádné množství reaktivních iontů (viz níže). Zaznamenané tmavnutí spojené s hnědnutím u všech vzorků po umělém stárnutí bylo přisouzeno interním změnám struktury inkoustu a tvorbě nových produktů (kap. 6 Degradace).

Z výsledků **bathofenantrolinového testu** vyplývá přítomnost velkého množství volných iontů Fe^{2+} ve všech nánosech bez ohledu na jejich stáří, jež dle ověřovacího testu nemigrují do okolí nánosu. Právě vyšší koncentrace reaktivních iontů v izolované oblasti by vysvětlila jak intenzitu výsledného zbarvení, tak pozorovaný mechanismus řetězové reakce v probíhající v indikačním filtračním papírku (mechanismus B). Za izolací přitom potencionálně stojí přítomnost arabské gumy. Vzájemným porovnáním zbarvení indikátorů jednotlivých inkoustů lze také odvodit spojitost mezi projevující se intenzitou a složením receptury, neboť nejslabší reakce byly zaznamenány u inkoustů 5, 6 a 7, které se vyznačují nejnižším podílem síranu železnatého vůči tríslovinám. Pozorovaný vliv umělého stárnutí lze opět přičíst probíhající oxidaci železnatých iontů.

Hodnoty pH tekutých roztoků, pohybující se kolem 2, potvrdily očekávání.⁹⁷ Stejně tak výsledky z nánosů jsou plně v souladu s hodnotami naměřenými u čerstvých inkoustů z jiných studií.⁹⁸ V porovnání s historickými dokumenty se však jedná o značně nižší hodnoty. I tuto skutečnost lze přisoudit vyšší koncentraci rozpustných složek, u nichž se předpokládá kyselý charakter (např. kyselina gallová, ellagová). Dostupná data dále potvrzují vliv tepelné úpravy, neboť u vařených inkoustů (Inkoust 2 a 4) bylo konzistentně naměřeno nižší pH. Tento jev lze vysvětlit efektivnější extrakcí organických kyselin a urychlenou oxidací dvojmocného železa na kyselejší trojmocné formy. Dosud neobjasněným fenoménem zůstává pokles kyselosti v důsledku umělého stárnutí. Zatímco u několika ojedinělých vzorků lze tento výkyv připsat chybě měření, u Inkoustu 6 (víno+sůl) se jednalo o konzistentní jev napříč všemi typy podložek. S největší pravděpodobností souvisí s přítomností soli, která mohla během stárnutí ovlivnit chemické prostředí inkoustu.

Za zmínku dále stojí srovnání **směrodatných odchylek** naměřených hodnot pH jednotlivých typů podložek. Na rozdíl od pergamentu, kde byla nízká odchylka očekávatelná, byl malý rozptyl hodnot u strojního papíru v porovnání s papírem ručním překvapivý. Tato skutečnost vedla k hypotéze o přítomnosti interní složky s neutralizačním účinkem. Ačkoli technický list produktu (text. p. 1) tuto domněnku nepotvrdil, následná mikroskopická analýza odhalila alkalickou rezervu v podobě částic uhličitanu vápenatého (text. p. 3)

⁹⁷ ROUCHON, Véronique et al. *Room-Temperature Study of Iron Gall Ink Impregnated Paper Degradation under Various Oxygen and Humidity Conditions*.

⁹⁸ RETKO, Klara et al. *Exploring the properties and degradation of iron gall inks and logwood ink and their mixtures on various paper supports*.

Zkoušky stability ukazují, že s výjimkou nestárnutých inkoustů na bázi vody (Inkoust 1 a 2) jsou všechny inkousty stabilní vůči suchému otěru a při kontaktu s vodou nekrvácí do okolních vláken. Na zkoušku při přítlaku již ale reagovaly všechny inkousty bez výjimky. U všech se přitom otisk objevoval téměř výhradně podél okrajů inkoustových nánosů. Tento jev lze vysvětlit mírným vyboulením vláken podložky po absorpci vody během aplikace inkoustu. V důsledku tohoto efektu inkoust mírně stékal do stran, čímž došlo k akumulaci méně fixované sraženiny při okrajích.

K překvapivému vývoji došlo při obou **zkouškách mechanických vlastností**. Během **tržného zatížení** docházelo k přetržení vzorků téměř výhradně mimo inkoustovou linku. Toto zjištění naznačuje, že inkoustový nános papír lokálně zpevňuje a slabším místem se stává okolí, inkoustem nedotčená podložka. Naopak při **zkouškách odolnosti v přehýbání**, kdy bylo namáhání cíleně soustředěno do oblasti nánosů, bylo ve srovnání s čistým materiálem (referenčními vzorky) zaznamenáno výrazné oslabení. Z toho vyplývá, že tentýž faktor, který zvyšuje pevnost papíru v tahu, zároveň snižuje jeho pružnost a odolnost vůči ohybu.

Tento duální efekt lze s největší pravděpodobností přisoudit **arabské gumě** použité jako pojivo inkoustů, která se vyznačuje svými pojivými a filmotvornými vlastnostmi. Snížení odolnosti v přehybu po umělém stárnutí by pak mohlo souviset s procesem degradace samotného pojiva. Paradoxní zvýšení odolnosti u některých vzorků po stárnutí nicméně zůstává prozatím neobjasněno. Rovněž se ukázalo, že použitý typ ručního papíru byl pro tento typ zkoušek příliš křehký a jeho výsledky je proto třeba posuzovat s určitou rezervou. V případě pergamenu se potvrdila vysoká odolnost vůči degradačním projevům, jejichž vznik v laboratorních podmínkách by si zřejmě vyžádal podstatně agresivnější podmínky stárnutí, než jaké byly v rámci testování zvoleny.

Na základě těchto zjištění lze formulovat několik konkrétních **doporučení pro budoucí výzkum**. Za účelem ověření hypotézy o probíhající chemické stabilizaci a možném vlivu arabské gumy na mechanické vlastnosti a na omezení migrace iontů, by bylo vhodné experimentálně porovnat inkoustové receptury s přítomností této složky i bez ní. Dále by bylo přínosné využít mechanicky odolnější typ ručního papíru, přizpůsobit podmínky umělého stárnutí jednotlivým typům podložek a zvýšit počet replikátů pro zajištění statistické průkaznosti. Zvláště přínosné by bylo zahrnout do výzkumu také přirozeně stárnuté vzorky s inkoustovými nánosy, jejichž degradační procesy by lépe odpovídaly reálným podmínkám.

Technická specifikace č. 54

Obchodní název: **Archivní papír, 60-120 g/m²**

Výrobní parametry

č.	Vlastnost	Jednotky	Norma	Výrobní Parametr	Limit přijatelnosti	
					min	max
				60, 80, 90, 100, 110, 120	±4%	
1	Plošná hmotnost	gsm	ČSN EN ISO 536			
2	Drsnost	μm	ČSN ISO8791-4	6,5	6	7
3	Cobb₆₀	gsm	ČSN ISO 535	35		50
4	Tisková opacita¹	%	ČSN ISO 2471	90	89	
5	pH vodního výluhu		ISO 6588	7	6	8
6	Dotržení²	mN	ČSN ISO 1974	450	350	
7	Vlhkost	%	ČSN ISO 287	5	4	7
8	Bělost	%	ČSN 50 0418	85	80	
9	Počet dvojohybů-střední³		ČSN 50 0345	100	60	

SLOŽENÍ

10 **100% buničina**

OSTATNÍ

Papír je vyráběn při pH neutrálním.

Papír neobsahuje OZP.

Rovnoměrný průhled.

Papír je zkoušen při teplotě 23±1 °C a relativní vlhkosti 50±5 %.

Rozměry archů a kotoučů a balení podle požadavku zákazníka.

Vyrobený papír musí být v souladu s touto specifikací. U 20% měřených parametrů se může hodnota lišit o 10% od specifikovaných limitů přijatelnosti (±).

¹ Opacita platí pro plošné hmotnosti 90 gsm a vyšší.

² Dotržení platí pro plošné hmotnosti 90 gsm a vyšší.

³ Počet dvojohybů platí pro plošné hmotnosti 110 gsm a vyšší.

Platnost od
28.5.2023

Vystavila
Ing. Ida Skotnicová, Ph.D.

Mikroskopické studium vybraných vzorků

Zadání: - srovnání mikromorfologie použitého ručního a strojního papíru

- určení složení / příčiny tvorby bílého povlaku na některých typech inkoustů
- zjištění penetrace součástí vybraných inkoustů do papírové podložky

Metody analýzy:

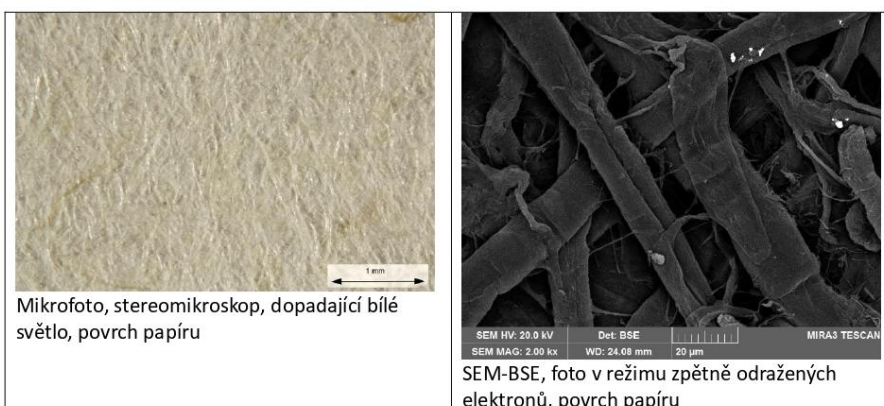
- rastrovací elektronová mikroskopie s energo-disperzní analýzou (elektronový mikroskop Tescan MIRA 3 s energo-disperzním analyzátozem Bruker).

Vzorky byly zkoumány v režimu vysokého vakua a před analýzami naprášeny zlatem.

- optická mikroskopie v dopadajícím světle (polarizační mikroskop Nikon OPTIPHOT2-POL a stereomikroskop Nikon SMZ 800)

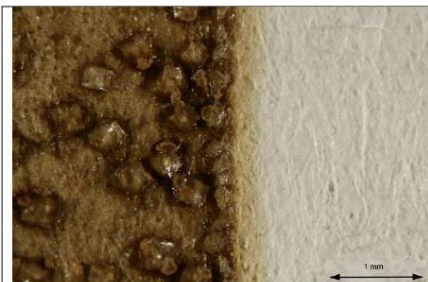
Část vzorků byla prozkoumána zkoumána přímo bez další úpravy. Z vybraných vzorků byly připraveny příčné řezy (nábrusy) broušením a leštěním po zalití do akrylátové bezbarvé pryskyřice Spofacryl Nábrusy byly zkoumány v dopadajícím viditelném světle a po excitaci modrým a UV světlem.

Vz 1 – ruční papír

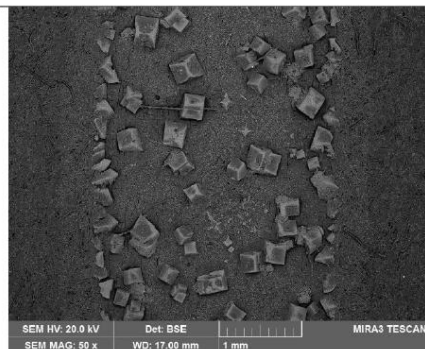


Vlákna papíru jsou poměrně zaoblené, vzájemně propletené, papír neobsahuje žádná anorganická aditiva.

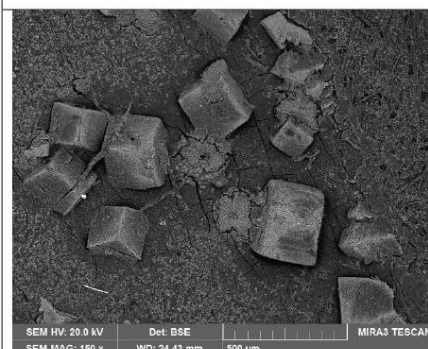
Vz 3 – stárnuté / strojní papír / inkoust 6



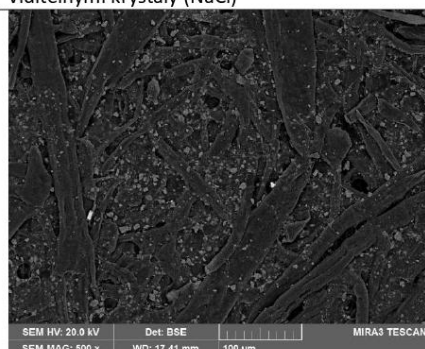
Mikrofoto, stereomikroskop, dopadající bílé světlo, povrch papíru a inkoustu s viditelnými krystaly



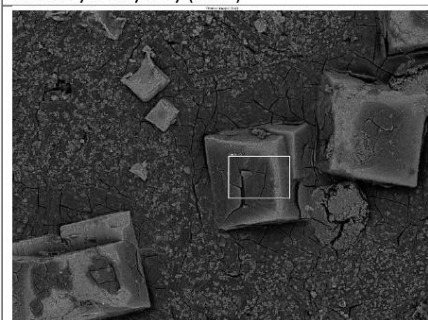
SEM-BSE, foto v režimu zpětně odražených elektronů, povrch papíru a inkoustu s viditelnými krystaly (NaCl)



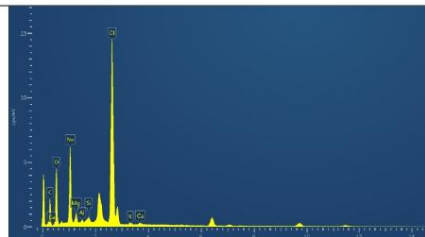
SEM-BSE, foto v režimu zpětně odražených elektronů, povrch papíru a inkoustu s viditelnými krystaly (NaCl)



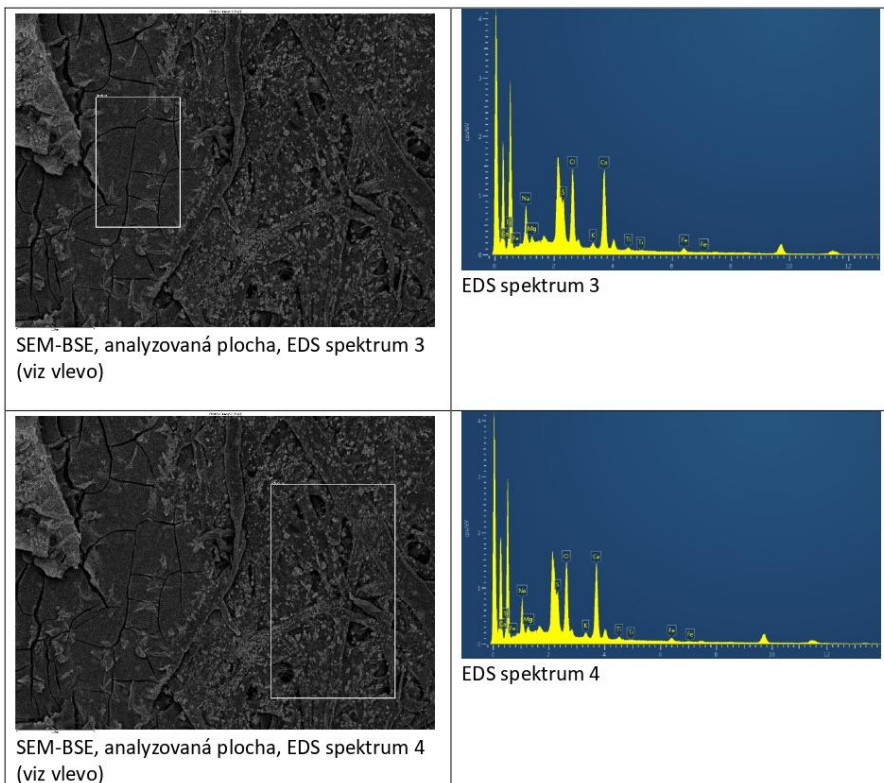
SEM-BSE, foto v režimu zpětně odražených elektronů, povrch papíru



SEM-BSE, analyzovaná plocha, EDS spektrum 2 (viz vlevo)



EDS spektrum 2

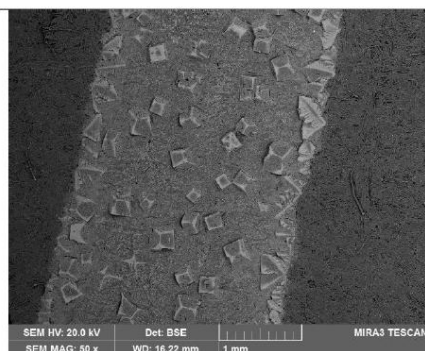


Vlákna papíru jsou podobná jako ve vzorku 2, papír obsahuje jemnozrnné částice uhličitanu vápenatého a malé množství oxidu titaničitého (zřejmě titanové běloby). Na povrchu inkoustu jsou viditelné krystaly chloridu sodného. Rozpustné složky inkoustu, včetně chloridu sodného, penetrovali do papíru v okolí inkoustu. Na vláknech papíru nejsou viditelné morfologické změny v důsledku stárnutí.

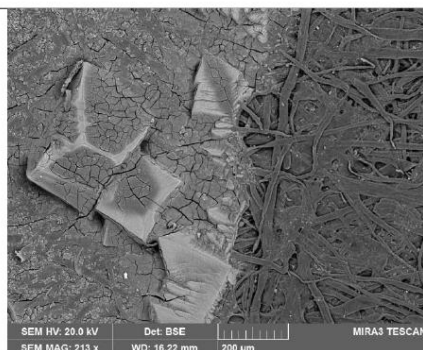
Vz 4 – nestárnuté / strojní papír / inkoust 6



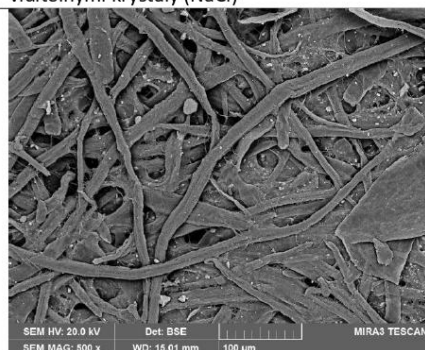
Mikrofoto, stereomikroskop, dopadající bílé světlo, povrch papíru a inkoustu s viditelnými krystaly



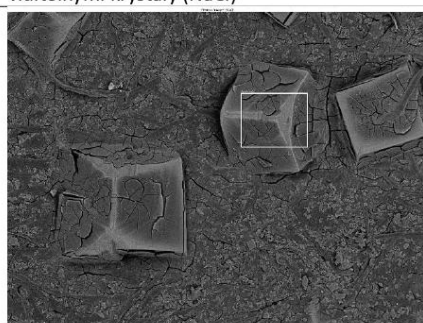
SEM-BSE, foto v režimu zpětně odražených elektronů, povrch papíru a inkoustu s viditelnými krystaly (NaCl)



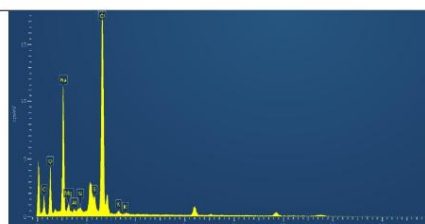
SEM-BSE, foto v režimu zpětně odražených elektronů, povrch papíru a inkoustu s viditelnými krystaly (NaCl)



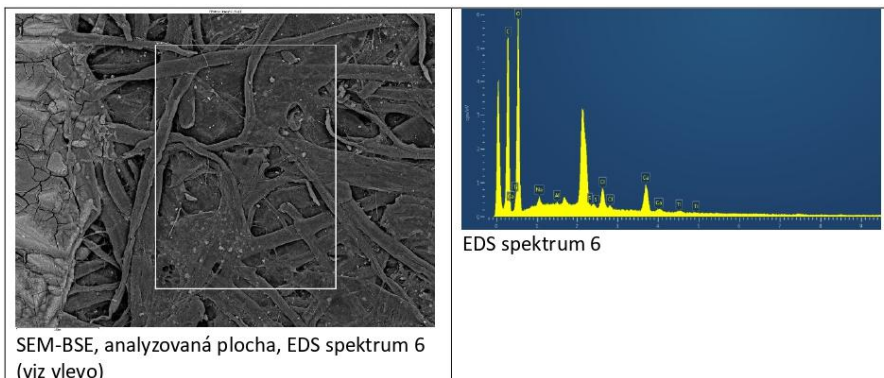
SEM-BSE, foto v režimu zpětně odražených elektronů, povrch papíru



SEM-BSE, analyzovaná plocha, EDS spektrum 5 (viz vlevo)

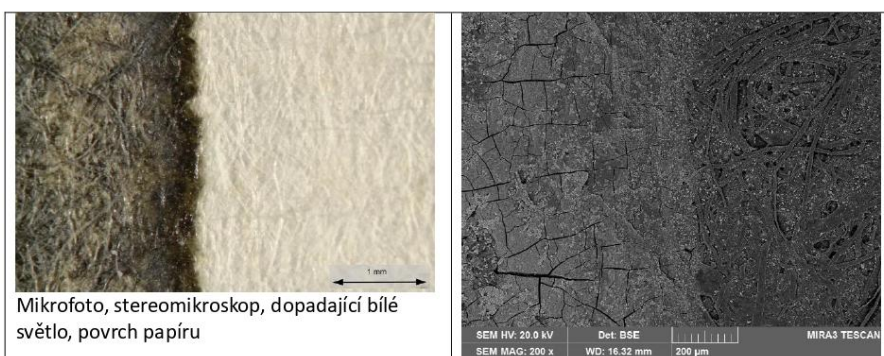


EDS Spektrum 5

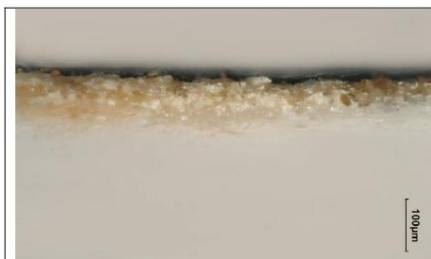


Vlákna papíru jsou podobná jako ve vzorku 2, papír obsahuje jemnozrnné částice uhlíčitanu vápenatého a malé množství oxidu titaničitého (zřejmě titanové běloby). Na povrchu inkoustu jsou viditelné krystaly chloridu sodného. Rozpuslné složky inkoustu, včetně chloridu sodného, penetrovali do papíru v okolí inkoustu.

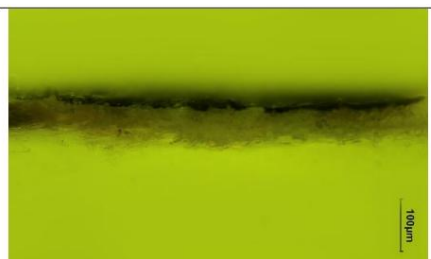
Vz 5 – nestárnuté / strojní papír / inkoust 1



	<p>SEM-BSE, foto v režimu zpětně odražených elektronů, povrch papíru a inkoustu</p>
<p>SEM-BSE, foto v režimu zpětně odražených elektronů, povrch papíru, světlá zrna v papíru jsou částice CaCO_3</p>	
<p>SEM-BSE, analyzovaná plocha, EDS spektrum 7 (viz vlevo)</p>	<p>EDS spektrum 7</p>
<p>SEM-BSE, analyzovaná plocha, EDS spektrum 8 (viz vlevo)</p>	<p>EDS spektrum 8</p>



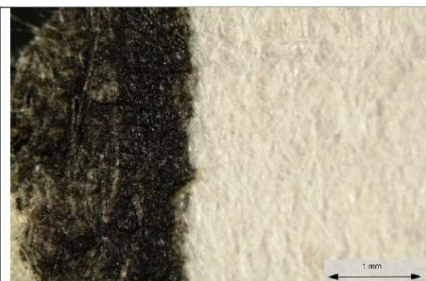
Mikrofoto, nábrus, dopadající bílé světlo, fotografováno při zvětšení 200x



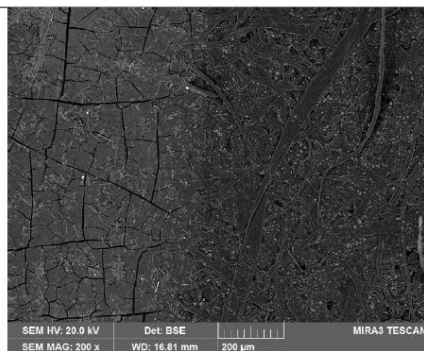
Mikrofoto, nábrus, excitace modrým světlem, fotografováno při zvětšení 200x

Vlákna papíru jsou podobná jako ve vzorku 2, papír obsahuje jemnozrnné částice uhličitanu vápenatého a malé množství oxidu titaničitého (zřejmě titanové běloby). V inkoustu byla prokázána přítomnost krystalů síranu vápenatého. Plošná penetrace rozpustných složek inkoustu do papíru za okraj inkoustu nebyla prokázána. Na základě mikroskopického zkoumání nábrusu v dopadajícím bílé světle lze předpokládat, že dochází k penetraci rozpustných složek inkoustu do podložky pod vrstvou inkoustu (řádově desítky μm).

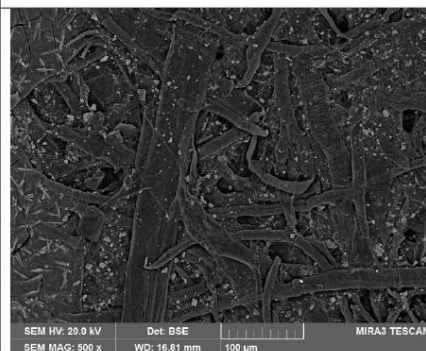
Vz 6 – nestárnuté / strojní papír / inkoust 7



Mikrofoto, stereomikroskop, dopadající bílé světlo, povrch papíru



SEM-BSE, foto v režimu zpětně odražených elektronů, povrch papíru a inkoustu



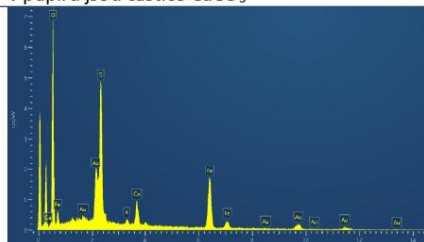
SEM-BSE, foto v režimu zpětně odražených elektronů, povrch papíru, světlá zrna v papíru jsou částice CaCO₃



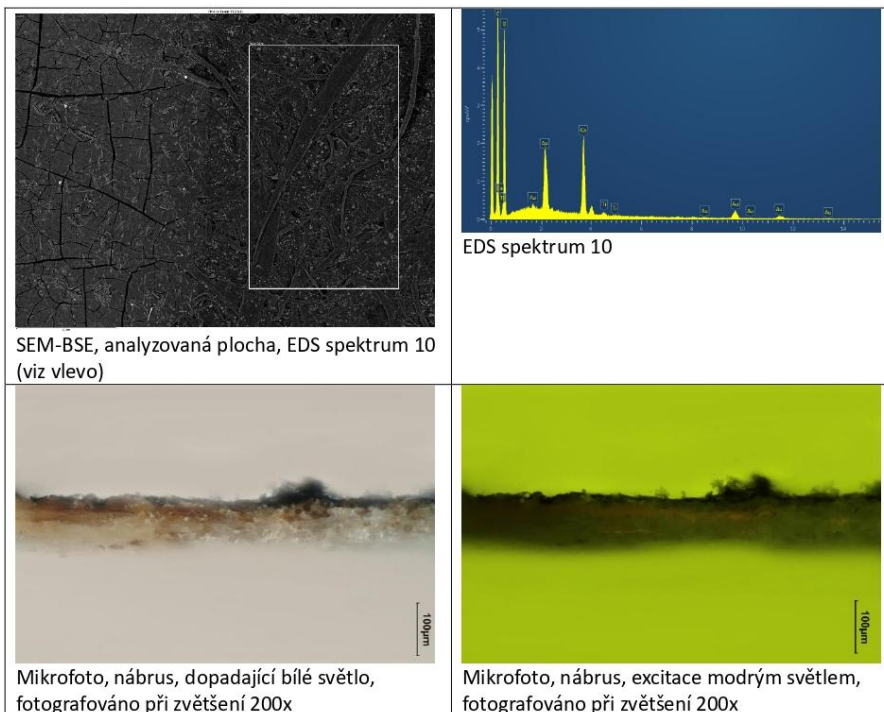
SEM-BSE, foto v režimu zpětně odražených elektronů, povrch papíru a okraj inkoustu s drobnými krystaly (CaSO₄·2H₂O), světlá zrna v papíru jsou částice CaCO₃



SEM-BSE, analyzovaná plocha, EDS spektrum 9 (viz vlevo)

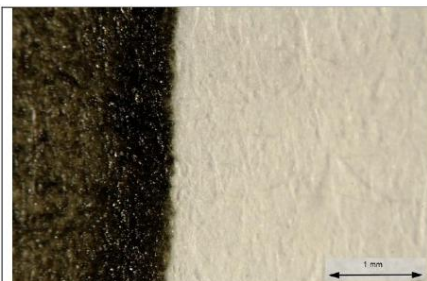


EDS spektrum 9

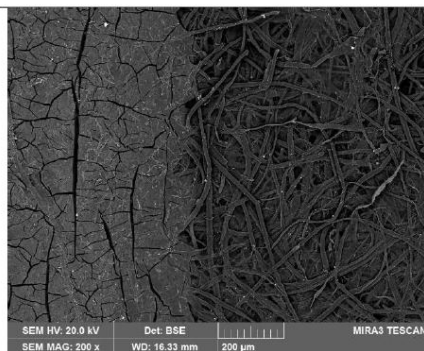


Vlákna papíru jsou podobná jako ve vzorku 2, papír obsahuje jemnozrné částice uhličitanu vápenatého a malé množství oxidu titaničitého (zřejmě titanové běloby). V inkoustu byla prokázána přítomnost krystalů síranu vápenatého. V inkoustu byla prokázána přítomnost krystalů síranu vápenatého. Plošná penetrace rozpustných složek inkoustu do papíru za okraj inkoustu nebyla prokázána. Na základě mikroskopického zkoumání nábrusu v dopadajícím bílém světle lze předpokládat, že dochází k penetraci rozpustných složek inkoustu do podložky pod vrstvou inkoustu (řádově desítky μm).

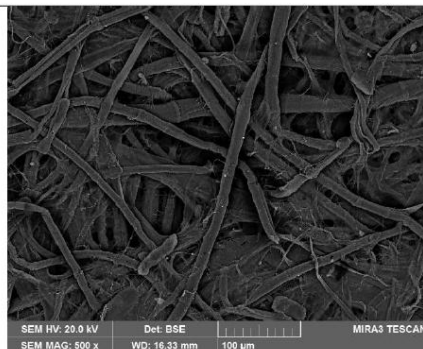
Vz 7 – nestárnuté / ruční papír / inkoust 1



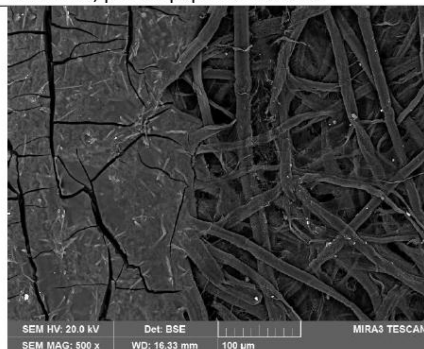
Mikrofoto, stereomikroskop, dopadající bílé světlo, povrch papíru



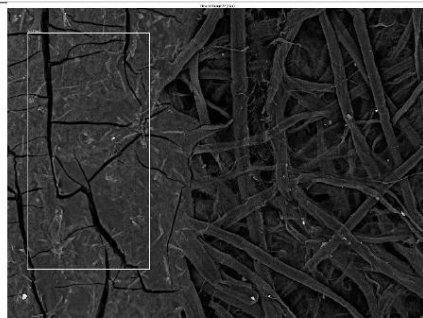
SEM-BSE, foto v režimu zpětně odražených elektronů, povrch papíru a inkoustu



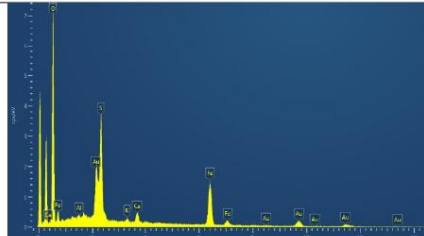
SEM-BSE, foto v režimu zpětně odražených elektronů, povrch papíru



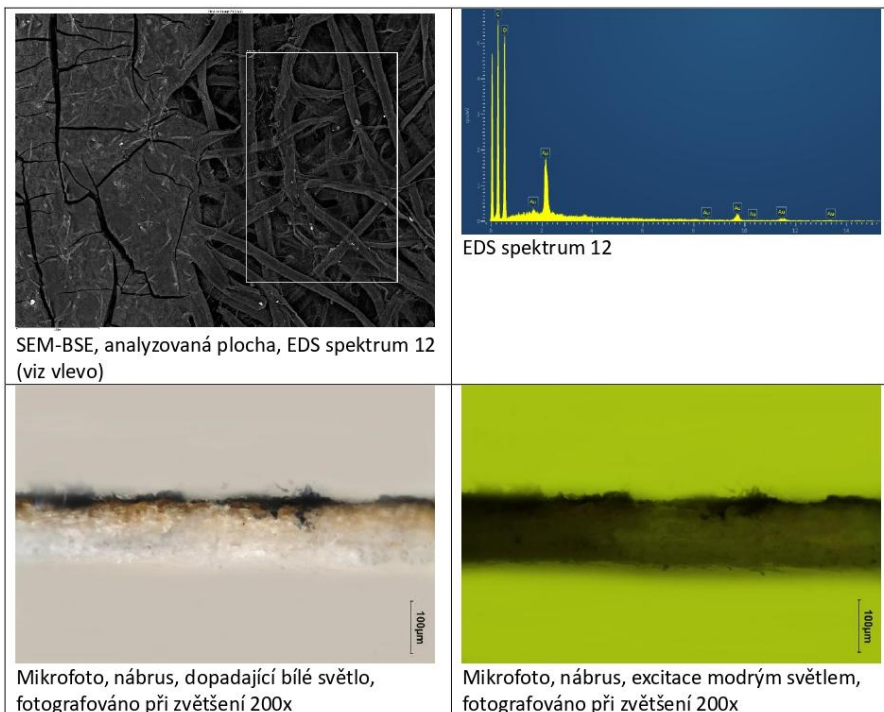
SEM-BSE, foto v režimu zpětně odražených elektronů, povrch papíru a inkoustu



SEM-BSE, analyzovaná plocha, EDS spektrum 11 (viz vlevo)

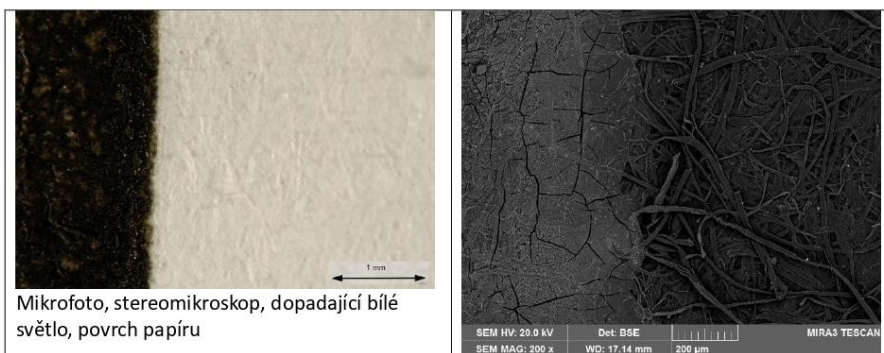


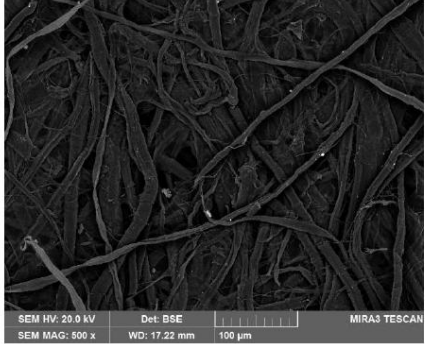

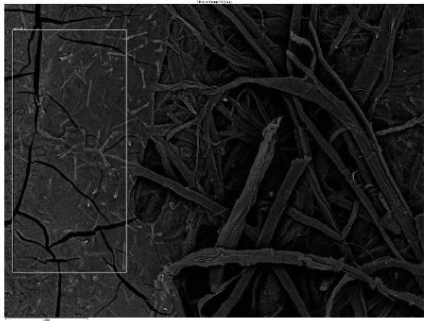
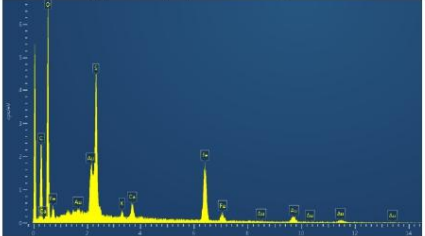
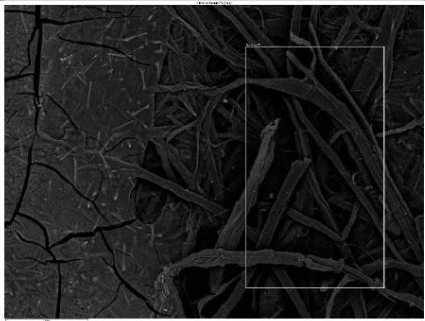
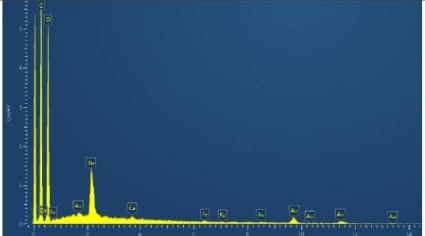
EDS spektrum 11

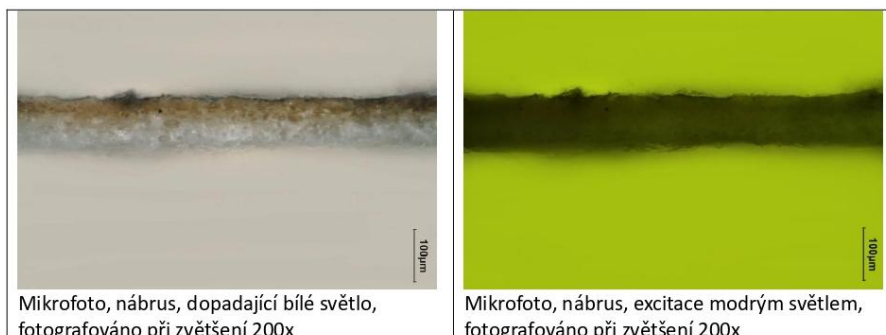


Vlákna papíru jsou podobná jako ve vzorku 1, papír neobsahuje žádná anorganická aditiva. Plošná penetrace rozpustných složek inkoustu do papíru za okraj inkoustu nebyla prokázána. Na základě mikroskopického zkoumání nábrusu v dopadajícím bílé světle lze předpokládat, že dochází k penetraci rozpustných složek inkoustu do podložky pod vrstvou inkoustu (řádově desítky μm).

Vz 8 – nestárnuté / ruční papír / inkoust 7



 <p>SEM HV: 20.0 kV Det: BSE MIRA3 TESCAN SEM MAG: 500 x WD: 17.22 mm 100 µm</p>	<p>SEM-BSE, foto v režimu zpětně odražených elektronů, povrch papíru a inkoustu</p>  <p>SEM HV: 20.0 kV Det: BSE MIRA3 TESCAN SEM MAG: 500 x WD: 17.14 mm 100 µm</p>
<p>SEM-BSE, foto v režimu zpětně odražených elektronů, povrch papíru</p> 	<p>SEM-BSE, foto v režimu zpětně odražených elektronů, povrch papíru a okraj inkoustu</p>  <p>EDS spektrum 13</p>
<p>SEM-BSE, analyzovaná plocha, EDS spektrum 13 (viz vlevo)</p> 	 <p>EDS spektrum 14</p>



Vlákna papíru jsou podobná jako ve vzorku 1, papír neobsahuje žádná anorganická aditiva. Plošná penetrace rozpustných složek inkoustu do papíru za okraj inkoustu nebyla prokázána. Na základě mikroskopického zkoumání nábrusu v dopadajícím bílé světlo lze předpokládat, že dochází k penetraci rozpustných složek inkoustu do podložky pod vrstvou inkoustu (řádově desítky μm).

8 RESTAURÁTORSKÝ ZÁSAH

8.1 Úvod

Nedílnou součástí diplomové práce byl restaurátorský zásah, jenž poskytl vhled do problematiky dokumentů psaných historickým železgalovým inkoustem. K tomuto účelu posloužila modlitební kniha *Trebnik* (sign. S1052) pocházející ze 16. století a z východoslovanské oblasti. Provedený zásah doprovázelo vyhotovení podrobné restaurátorské dokumentace, která byla předána společně se zrestaurovaným objektem zadavateli a majiteli práce, kterým byla Filozofická fakulta Masarykovy univerzity v Brně. Kopie dokumentace je uložena v soukromém archivu autorky a v Ateliéru restaurování papíru, knižní vazby a dokumentů Fakulty restaurování Univerzity Pardubice. Tato práce předkládá její upravenou verzi jejíž obsah je předmětem následujících kapitol.

8.2 Popis objektu

8.2.1 Popis typologie a poškození objektu

Restaurovaným objektem o rozměrech 206 × 162 × 64 mm (výška × šířka × síla) je celousňová knižní vazba s dřevěnými deskami. Pravděpodobně se jedná o převazbu, čemuž nasvědčuje ořez knižního bloku a směs typologických prvků, z nichž převládají byzantské (např. řecké kapitálky). Objekt také vykazuje známky dobové opravy, což indikují mimo jiné papírové vysprávky bloku a pozměněný způsob nasazení desek.

Dle dochovaných fragmentů byla kniha opatřena **uzavíracím systémem** v podobě dírkových spon s trnem v hraně přední desky. Konkrétně se dochovaly konce obou železných trnů a části tří ze čtyř hřebíků, které původně fixovaly spony k zadní desce (obr. 74). Podobu hřebíků lze přibližně odvodit od nejméně poškozeného z nich, který je 2 mm silný a na vnější straně zahnutý (obr. 59). Všechny kovové prvky jsou silně zkorodované a při manipulaci se rozpadají na menší části.

Jako **pokryv** slouží 1 mm silná tříslem činěná useň zdobená slepotiskem (obr. 106, 108), která byla přilepena pomocí škrobového mazu. Ačkoliv je výzdoba téměř nečitelná, lze na přední desce identifikovat jednoduchý rám s křížem ve vnitřním poli a na zadní desce křížící se dvojlinky. Další dvojlinky jsou patrné na některých hranách desek. Na hřbetě je pokryv nezdobený a bez viditelné stopy po vyvázání pravých vazů (obr. 116). Hlavice knihy jsou tvořeny přesahem usně, který je obtočen kolem jádra kapitálku a pod ním zafixován šitím (obr. 60). V oblasti drážek useň není narušena a plynule přechází v záložky, které jsou nevytenčené a zaříznuté do nestejných

lichoběžníků (obr. 64). Ty byly v minulosti pravděpodobně v rámci dobové opravy druhotně uchyceny k přidešti desek pomocí dřevěných kolíčků, které byly zavedeny do otvorů v deskách umístěných při okrajích záložek. Otvory přitom neprochází zcela silou desky a v nich byly kolíčky fixovány klihem (obr. 75). Ačkoliv způsob zpracování usňového materiálu v rozích není kvůli míře poškození zcela jasný předpokládá se, že šlo o založení na steč s mírným překryvem částí (obr. 61). V levém horním rohu přední desky se nacházejí dva papírové štítky s textem (obr. 62).

Celkově je pokryv značně znečištěný, smršťený, tvarově deformovaný, ztvrdlý a křehký. Od desek je useň téměř odlepena a zmíněné druhotné uchycení již neplní svou funkci. Příčinou je ztráta většiny kolíčků, které byly zřejmě vytrženy v důsledku smršťení pokryvu, čímž došlo k zmenšení jeho formátu. Useň tak fixuje pouze prošívané materiálu pod kapitálky a její celkové ztvrdnutí. Na jeho povrchu se objevují praskliny, škrábance, zářezy a sedření. Ztráty materiálu jsou drobné a omezené převážně na rohy desek, okolí hlavic a oblast prvků uzavíracího systému.

Dalším prvkem knižní vazby jsou **řecké kapitálky** s jedním motouzovým jádrem, která přechází z bloku na hrany desek. Jádra jsou ukotvena pomocí konopné nitě, která v hřbetní části prochází středem každé složky a v oblasti desek vždy dvěma páry otvorů po stranách obou kapitálků. Ty vedou z hrany desek na jejich vnější stranu, odkud vede druhý otvor na přidešti (obr. 63, 76). Zatímco motouzy jsou pouze mírně roztřepeny na koncích, nit je místy přetržená nebo zcela chybí. S kapitálkami je spojeno také roztržení většiny složek od zapošivacího stehu k okraji, což vedlo k jejich úplné separaci od knižního bloku.

Kromě usně hřbet knihy pokrývá **poměrně silné plátno** přilepené klihem k vnější straně obou desek (obr. 80). Přímě k bloku pravděpodobně lepeno nebylo, protože zde nejsou patrná rezidua lepidla. Poškození plátna zahrnuje znečištění, uvolněné nitě na okrajích, částečné odlepení od desek a celkové oddělení od pokryvu, kterým bylo v minulosti přelepeno.

Knižní desky o formátu cca 195 × 148 × 10 mm (výška × šířka × síla) jsou vyrobeny z měkkého dřeva (nejspíše lípa), nemají kanty a jsou zhraněny pouze u hřbetu z vnější strany. Desky se dochovaly kompletní, v malé míře jsou však napadené červotočem a v okolí kovových prvků uzavíracího systému poškozené prostupující korozí. K jejich nasazení původně sloužily dvě řady otvorů procházející skrze sílu desek (obr. 77), přičemž ty blíže k hřbetu knihy byly vedeny pod mírným úhlem (první řada) a ty vzdálenější kolmo (druhá řada). Přestože jsou v kolmých otvorech zavedeny dřevěné fixační kolíčky doprovázené fragmenty motouzu, současný způsob nasazení desek druhou řadu otvorů nevyužívá. Místo toho jsou vazby bloku provlečeny pouze šikmými otvory z vnější strany na přidešti, kde jsou roztřepeny a přilepeny klihem (obr. 80). Tuto modifikaci lze přisoudit dobové opravě, případně druhotnému užití desek z jiné vazby. Konce vazů

jsou dále na obou přideštích překryty jedním pruhem ručního papíru, který byl nalepen za pomoci klihu (obr. 122). Oba přelepy jsou přitom zhotoveny z druhotně užitého materiálu, konkrétněji jednoho listu odlišného rukopisu, který byl za tímto účelem podélně rozříznut na dva kusy (kap. 8.2.2 Popis typografie objektu). Na zadním přelepu se navíc nachází razítko zadavatele. Při srovnání se zbytkem bloku je tato papírová podložka mnohem křehčí, značně znečištěná a zcela prosycená užitým lepidlem. Některé části materiálu chybí nebo jsou od sebe odděleny, místy se objevují trhliny.

Součástí knižní vazby jsou také čtyři rozměrově nejednotné **pergamenové mezivazné přelepy** zhotovené z druhotně použitého materiálu s oboustranným rukopisným textem (obr. 64, kap. 8.2.2 Popis typografie objektu). Každý z nich je přilepen klihem jednak ke hřbetu bloku, jednak k přideštiní desek. V důsledku absorpce značného množství lepidla jsou mezivazné přelepy celkově ztvrdlé. Rezidua klihu na povrchu pergamenu navíc omezují čitelnost textu, zejména na vnější straně. Mimo to jsou přelepy zpřehýbané, na okrajích se objevují trhliny a drobné ztráty materiálu.

Knižní blok je **ušit** na tři pravé dvojité motouzové vazy a dva zapošivací stehy přímým šitím bez pakování (obr. 78). Tento systém šití nicméně pravděpodobně není původní, protože jsou jím přišity i mladší papírové vysprávky (viz níže). Ačkoliv je soudržnost bloku z větší části zachována, jeho propojení s deskami je narušeno přetržením dvou ze tří vazů v oblasti drážek. Samotná nit šití je na pár místech přetržena. Po ušití byl hřbet bloku je zaoblen a zaklížen. Ořízky byly vyrovnány nejspíše hoblíkem a ponechány bez zdobení (např. barevným nátěrem či zlacením).

Celkově se blok skládá z předsádek, jejichž struktura je tvořena jedním listem s křídélkem, (obr. 80) a 19 složkami o nepravidelném počtu listů (od 8 do 12, obr. 79). Nejčastěji se objevuje schéma o čtyřech dvojlistech. **Předsádky** jsou zhotoveny z druhotně použitého ručního papíru s rukopisným textem a jejich listem bylo za pomoci klihu původně vylepeno přideštiní desek pod záložkami pokryvu. K přední předsádce je bodově přilepen papírový štítek, na kterém se nacházejí základní informace o restaurovaném objektu a razítko zadavatele (obr. 65, 118). Odlišné a rozpité razítko je umístěné v horním rohu zadního předsádkového listu (obr. 66). Jejich poškození jsou zcela stejná jako již zmíněné papírové přelepy motouzových vazů.

Samotné složky jsou z ručního papíru. Dle 10 odlišných filigránů, které se objevují v bloku lze předpokládat, že papír pochází z různých papíren. Značnou část dvojlistů tvoří jednolisty přilepené ke středovým vysprávkám, jež mají podobu pruhů z druhotně užitého ručního papíru s rukopisným textem. **Dobové vysprávky** jsou převážně lepeny z vnější strany listů, v několika případech i ze strany vnitřní či dokonce na každém listu jinak. Kromě středové oblasti

se vysprávky ve tvaru obdélníků, případně trojúhelníků nalézají v ploše či při okrajích dvojlistů, kde doplňují chybějící materiál nebo scelují trhliny (obr. 67). K jejich nalepení byl použit kliš, případně jeho směs se škrobovým mazem.

Rezidua lepidla na středových vysprávkách bez dochovaného listu naznačují, že knižní blok není kompletní. Rozsah ztrát je velmi špatně odhadnutelný, protože v knize chybí indicie jako archová signatura či paginace (kap. 8.2.2 Popis typografie objektu), které by poukazovaly na návaznost listů. Ze stejného důvodu nelze jasně stanovit, zda nepravidelnost současné skladby složek a pořadí listů je původní nebo výsledkem dobové opravy. Některé listy se dochovaly bez značné části nebo pouze v malých fragmentech (obr. 120). V bloku se nalézají volné listy, jež dříve mohly utvářet dvojlisty nebo být přilepeny ke zmíněným vysprávkám. Mezi běžná poškození patří přehnuté a zaoblené rohy, trhliny a různá znečištění (prach, zatekliny, exkrementy).

V knize je použito několik druhů **záznamových prostředků**, a to železozalový inkoust, tužka, červené, žluté a dva typy černého média s odlišnou šířkou tahu. Největší zastoupení přitom má železozalový inkoust a červené médium, jejichž charakter se v různých částech bloku mění. Proto také nelze jejich stav posoudit jednotně. Železozalový inkoust je převážně v dobrém stavu, avšak lokálně ztrácí sytost nebo se obtiskuje na protilehlou stranu (obr. 68). Jeho korozivní účinek se projevuje pouze na pár listech, kde dochází k jeho prorážení skrze papírovou podložku a k tvorbě prasklin v místě inkoustového nánosu (obr. 69, 70). Projevy koroze jako tmavnutí, migraci do okolí a prorážení skrze sílu podložky lze mnohem častěji pozorovat u červených písmen (obr. 71). Dle výsledků průzkumu (zejména XRF) provedeném v rámci restaurátorského zásahu se zdá, že na těchto místech byl nejdříve aplikován inkoust, který byl později překryt barevným prostředkem. Alternativou je, že kovové složky obsahuje přímo červené médium. Pro červené a černé médium s širším tahem je dále typické sprašování, obtiskování na protilehlou stranu a rozmazávání (obr. 68, 72, 73). Ostatní uvedené záznamové prostředky nevykazují žádná poškození.



Obrázek 59 Pohled na nejméně poškozený fixační hřebík dolní spony z vnější strany desky (detail)



Obrázek 60 Pohled na horní hlavici knihy (detail)



Obrázek 61 Pohled na horní roh přední desky z vnitřní strany (detail)



Obrázek 62 Pohled na papírové štítky nalepené na vnější straně pokryvu přední desky (detail)



Obrázek 63 Pohled na otvory pro vedení nitě kapitálků u hlavy přední desky z vnitřní strany (detail)



Obrázek 64 Pohled na oddělenou knižní vazbu z vnitřní strany



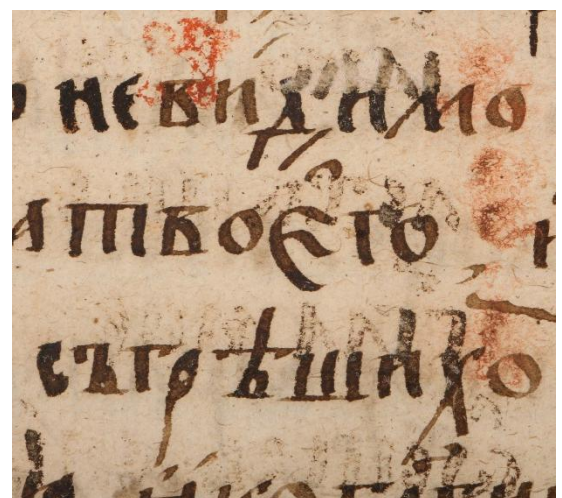
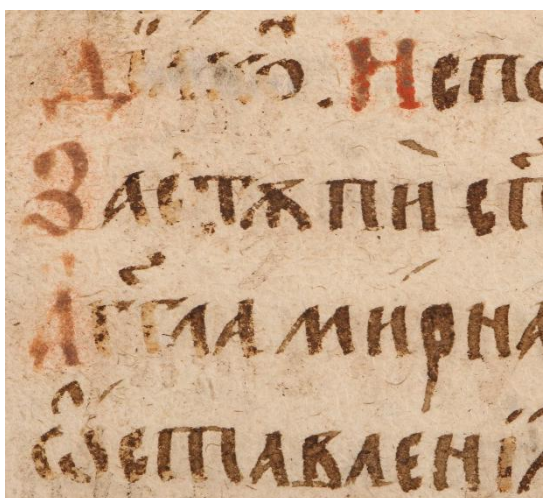
Obrázek 65 Pohled na razítko na papírovém štítku nalepeném na předním předsádkovém listu (detail)



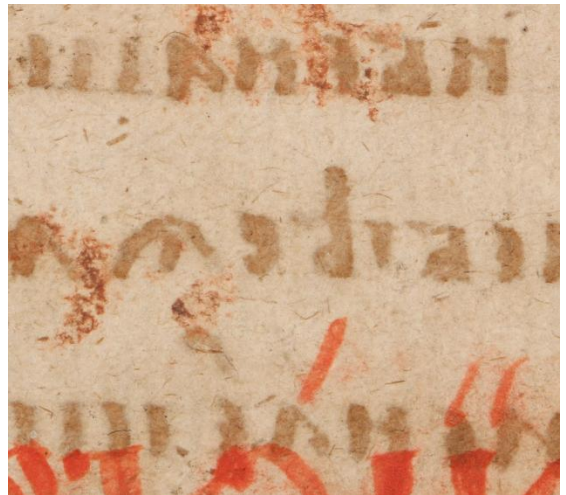
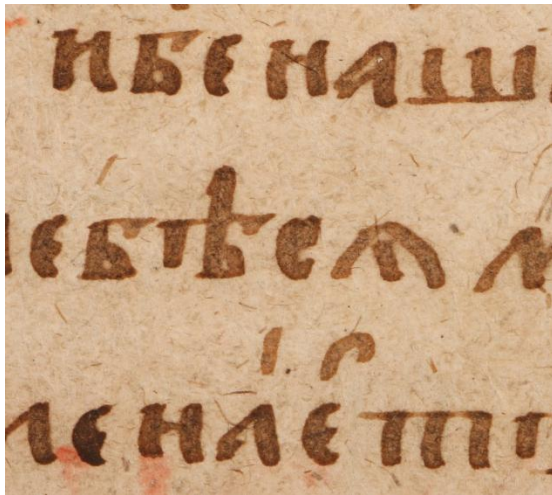
Obrázek 66 Pohled na rozpité razítko na zadním předsádkovém listu (detail)



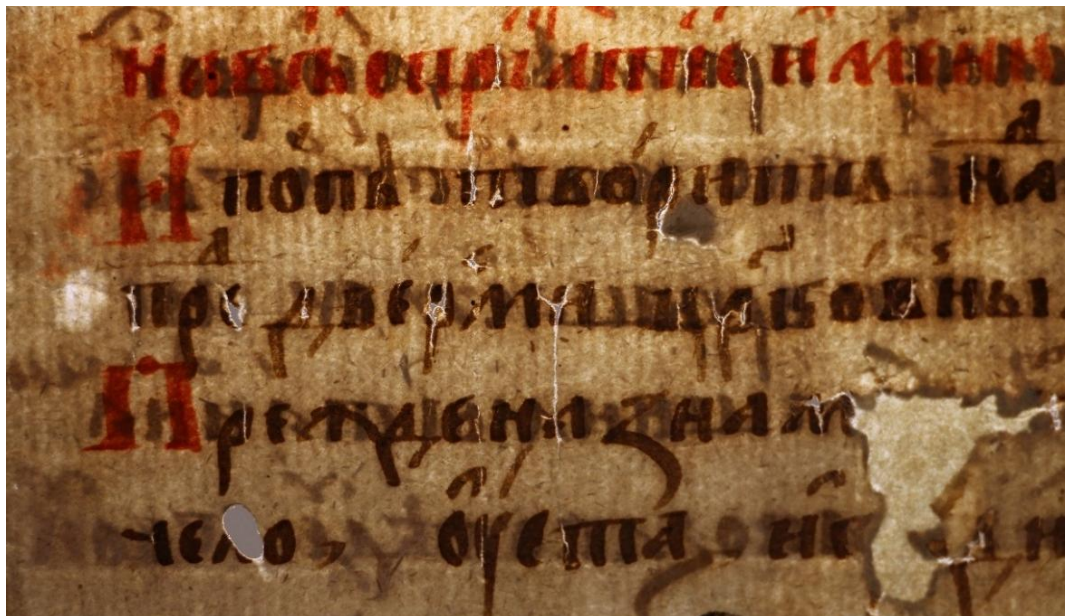
Obrázek 67 Příklad dobových vysprávek nacházejících se listu O9 recto (detail)



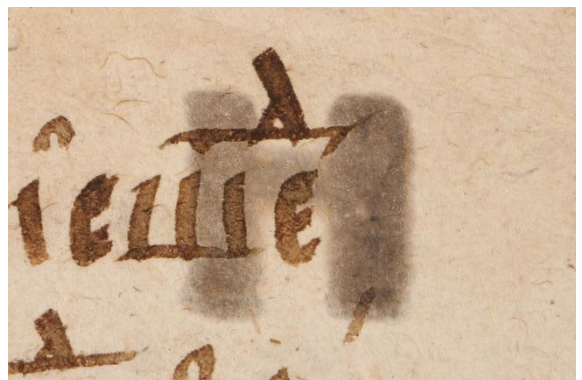
Obrázek 68 Příklad obtisku železogatlového inkoustu a červeného média na protilehlou stranu (vlevo list L13 verso, vpravo list M1 recto, detail)



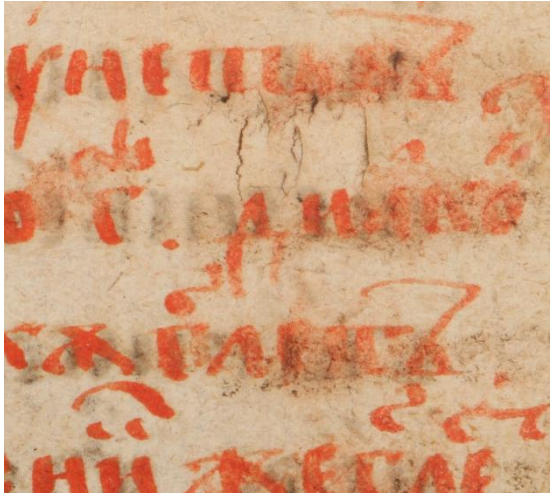
Obrázek 69 Příklad projevu koroze železogatového inkoustu na listu N1 – prorážení skrze papírovou podložku (vlevo recto, vpravo verso, detail)



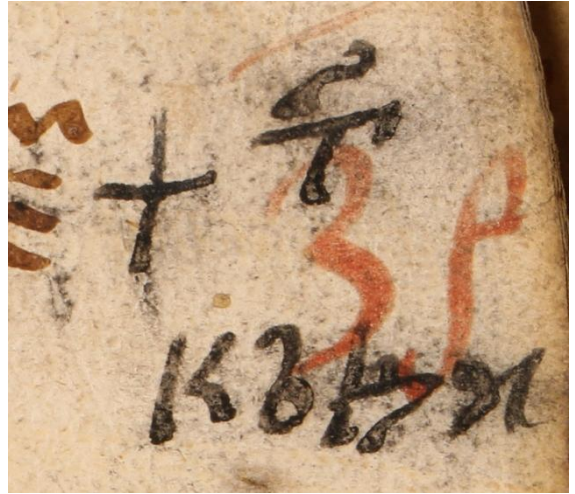
Obrázek 70 Příklad projevu koroze železogatového inkoustu na listu N1 – praskání podložky v místě inkoustového nánosu (foceno v průsvitu, detail)



Obrázek 71 Příklad projevů koroze objevující se u červených písmen na listu A1 – tmavnutí, migrace do okolí a prorážení (vpravo recto, vlevo verso, detail)

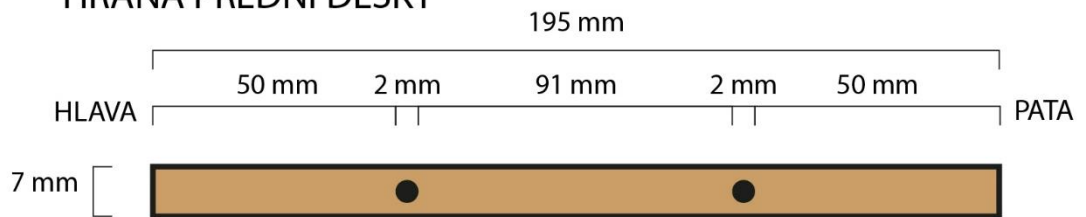


Obrázek 72 Příklad rozmazání červené média na listu Q1 recto (detail)

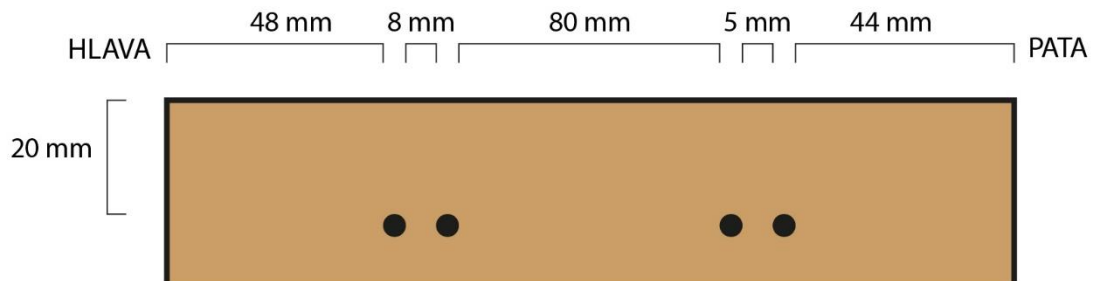


Obrázek 73 Příklad rozmazání černého média se silnou stopou na listu C4 recto (detail)

HRANA PŘEDNÍ DESKY



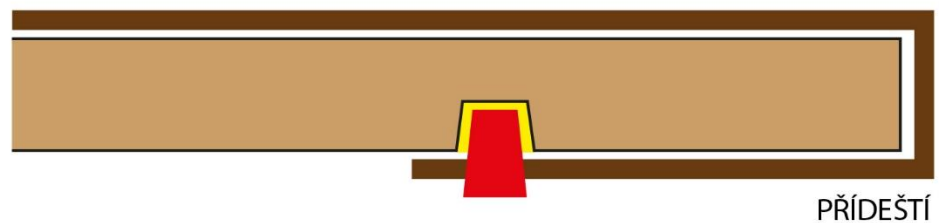
ZADNÍ DESKA



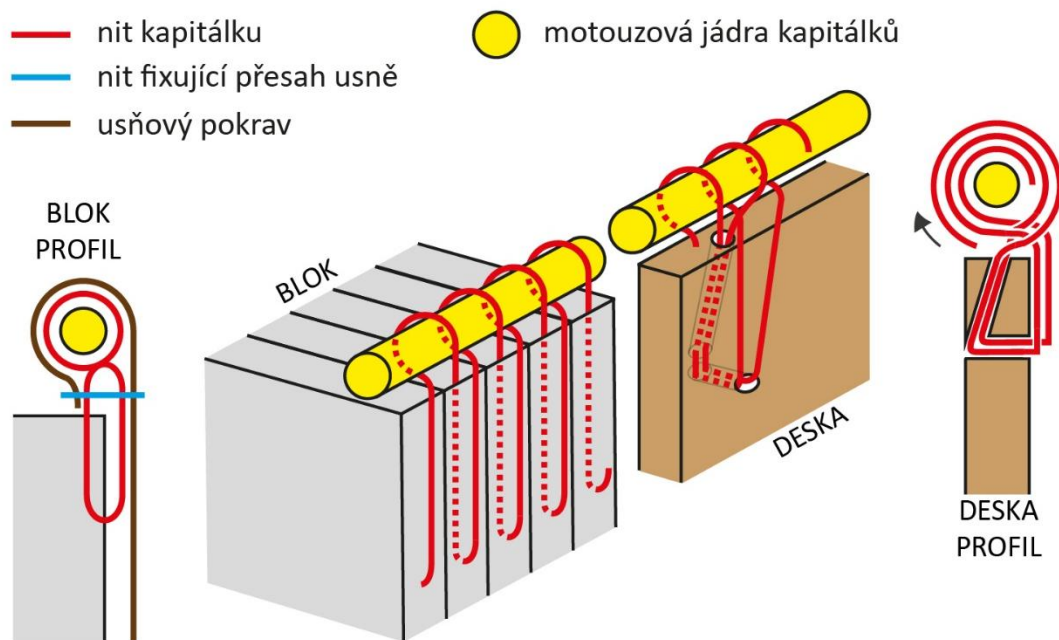
Obrázek 74 Schéma rozmístění dochovaných kovových prvků

- usňový pokryv
- deska
- dřevěný kolíček
- klič

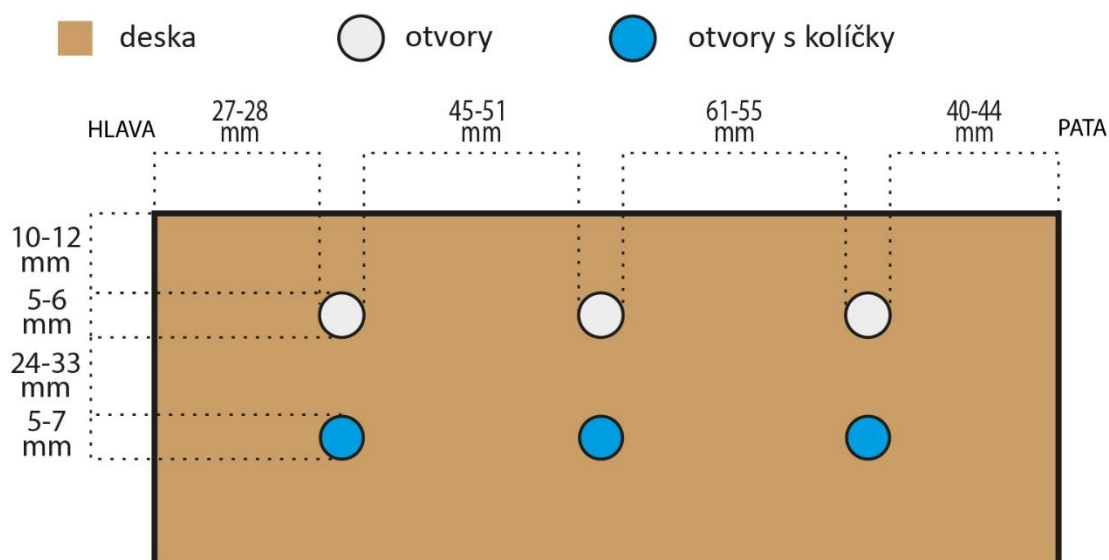
VNĚJŠÍ STRANA DESKY



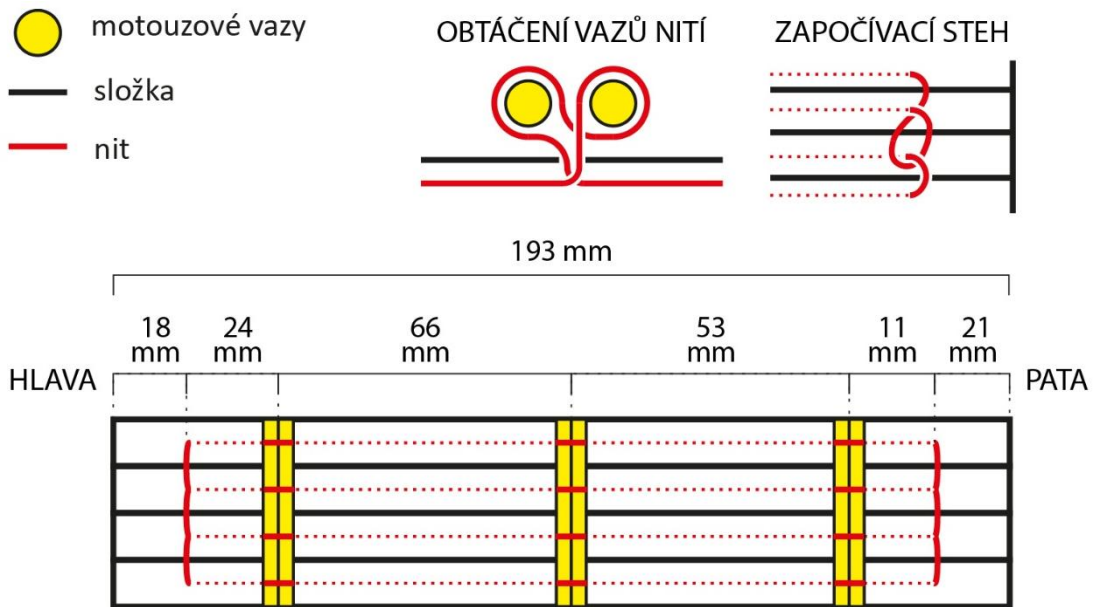
Obrázek 75 Schéma uchycení záložek pokryvu dřevěnými kolíčky



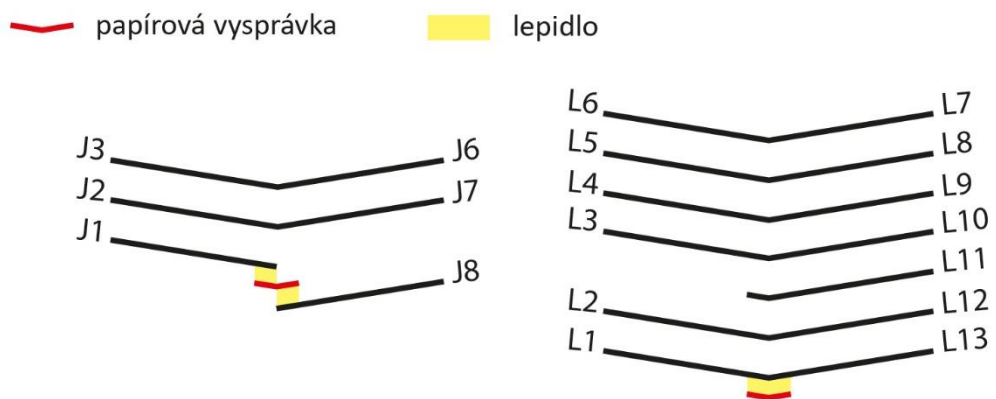
Obrázek 76 Schéma vedení nitě kapitálků



Obrázek 77 Schéma otvorů v deskách

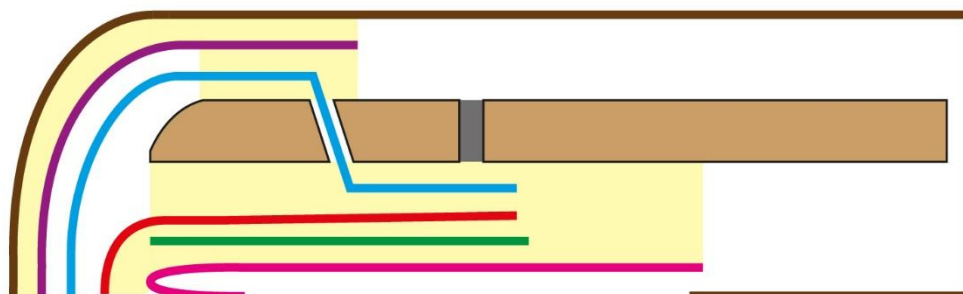


Obrázek 78 Schéma šití bloku



Obrázek 79 Ukázka skladby složek v knize

- | | | |
|--|---|--|
| ■ usňový pokryv | ■ deska | ■ papírový přelep |
| ■ plátno | ■ kolíček | ■ předsádka |
| ■ motouzové vazy | ■ mezivazné přeplepy | ■ lepidlo |



Obrázek 80 Schéma původní struktury knihy

8.2.2 Popis typografie objektu

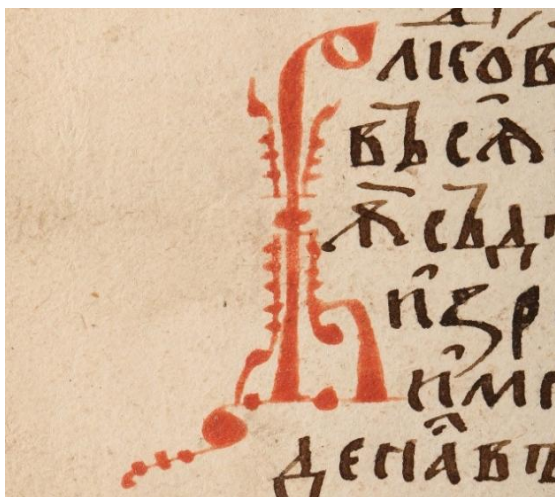
Rukopis je psaný v ruském jazyce cyrilicí. Jeho text je uspořádaný do jednoho sloupce v rámci stálého zrcadla psací plochy. Hlavním záznamovým prostředkem je železagalový inkoust, který doprovází zejména červená rubrikace (obr. 120). Na vzniku díla se znatelně podílelo více písařů, což dokládá proměnlivý styl a velikost písma, mírné rozdíly ve výzdobě a nekonzistence typografických prvků. Kniha postrádá jakékoli orientační prvky jako foliaci, paginaci či kustody. Výjimkou jsou živá záhlaví, která se vyskytují na několika listech v zadní části bloku.

Hlavní text je členěn červenými názvy kapitol, iniciálami, úseky textu (snad pokyny pro čtení) a počátečními písmeny většiny vět. Názvy kapitol a iniciály jsou zdobeny různými geometrickými prvky (obr. 81). Velmi častá jsou trojúhelníková a smyčková zakončení, prodloužené tahy a ovály uprostřed tenkých tahů písmen. Z těch někdy vyrůstají paprskovité útvary (např. vlnovky). Dvě kapitoly rukopisu jsou zakončeny odlišnými geometrickými ornamenty (obr. 82). Součástí textu jsou také interpunkční a diakritická znaménka (např. tečky, dvojtečky, lomítka a tzv. titly⁹⁹).

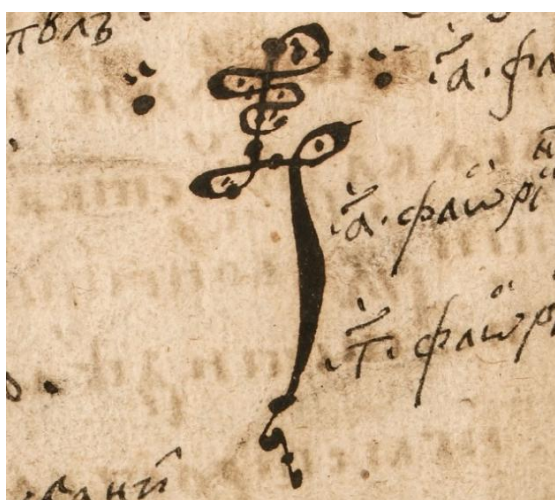
Mimo zrcadlo psací plochy se objevují různorodé poznámky, korekce a blíže nespecifikované značky, několik stylizovaných, nejspíše dětských, kreseb a pár ornamentů (obr. 83, 84). Převážná část těchto prvků je vyhotovena již zmíněným červeným médiem, jen výjimečně je užit inkoust. Nově se zde objevují dva typy černého záznamového prostředku, k jejichž odlišení slouží šířka nanesené stopy (obr. 73, 83). Větší zastoupení má černé médium se širokým tahem, které se objevuje téměř na každém listu v podobě křížku.

Jelikož výše uvedený popis lze v zásadě aplikovat na všechny části knihy s rukopisným textem, následující pasáže se věnují pouze specifickým rysům druhotně použitých materiálů. **Mezivazné přelepy** obsahují dvě žlutočervené iniciály, z nichž je jedna pletencová. Ačkoliv všechny z nich pravděpodobně pocházejí ze stejného zdroje, pouze horní a dolní přelep na sebe obsahem navazují. Text **papírových přelepů a předsádkových listů** je vůči bloku orientován obráceně (tedy vzhůru nohama) a provedený průzkum potvrdil, že se jedná o druhotně užitý materiál ze stejného díla. Konkrétně jde o tři listy evangelia. **Papírové vysprávky** se od typografie hlavního textu odlišují jen občasným použitím žlutého záznamového prostředku. Výjimkou je skupina vysprávky psaných zcela odlišným písmem (obr. 67). Některé z vysprávky se podařilo spojit do větších souvislých celků.

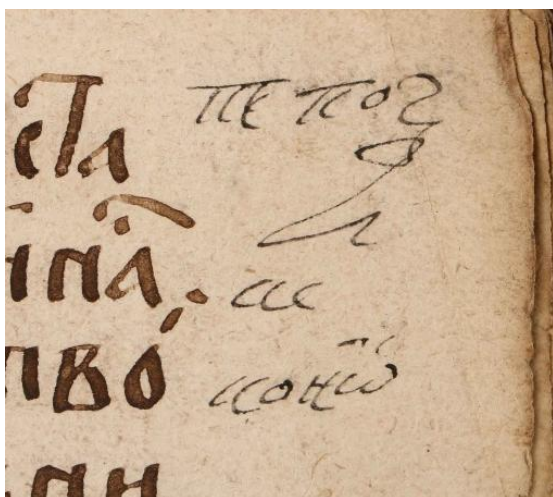
⁹⁹ Vodorovné nadřádkové čáry poukazující na zkrácené slovo nebo číslici (*Cyrilice* [online]. Dostupné z: <https://encyklopedieknihy.cz/index.php?title=Cyrilice>)



Obrázek 81 Příklad červených iniciál (vlevo list 16 verso, vpravo list 17 recto, detail)



Obrázek 82 Příklad ornamentů ukončující dvě z kapitol rukopisu (vlevo list L9 recto, vpravo list O6 verso, detail)



Obrázek 83 Příklad rukopisné poznámky nacházející se v knižním bloku (list F7 recto, detail)



Obrázek 84 Příklad stylizované kresby nacházející se v knižním bloku (list G5 verso, detail)

8.3 Postup restaurování

Restaurátorský záměr byl sestaven na základě vizuálního průzkumu a výsledků odborných analýz. Finální postup určilo několika navzájem provázaných faktorů. Těmi byly nepříznivý stav usňového pokryvu, nemožnost opětovného využití některých prvků bez jejich rozebrání a ztráty vypovídající hodnoty. Dále technologická nemožnost pracovat na určitých částech bez demontáže jiných a v neposlední řadě potenciální badatelská hodnota pergamenových mezivazných přelepů. Po konzultaci se zadavatelem bylo proto rozhodnuto považovat dochovanou vazbu za samostatný studijní fragment a knižní blok opatřit novými ochrannými deskami, které svým zpracováním a vlastnostmi tvoří typ konzervační struktury. Zásah na původní vazbě se tak omezil pouze na očištění a zabezpečení jednotlivých prvků vazby proti ztrátě a dalšímu poškození. Součástí schváleného záměru bylo rovněž vyjmutí pergamenových přelepů z knižní vazby za účelem jejich restaurování a samostatné adjustace.

Prvním krokem celého zásahu bylo preventivní odebrání stěrů k **mikrobiologické analýze**, která vyloučila nutnost dezinfekce objektu. Následně bylo přistoupeno k důkladné **fotografické dokumentaci** restaurovaného objektu. Fotografie zachycující stav před a po zásahu byly pořízeny za užití nekonečného pozadí a zábleskových světel *Fomei Digital Pro X 300*. Fotografie z průběhu restaurování byly naopak pořízeny při různorodých světelných podmínkách. V obou případech byl použit fotoaparát *Canon EOS 70D*. Makrosnímky byly opatřeny stereomikroskopem *Leica S6D* s fotoaparátem *Canon EOS 600D*.

Za účelem detailní analýzy objektu byl proveden komplexní chemicko-technologický průzkum. U papíru, motouzu a nití bylo určeno jejich vlákninové složení. Dále byl určen stupeň koherence kolagenních vláken usňového pokryvu a změřena teplota jejich smrštění. Provedena byla i mobilní rentgen-fluorescenční spektrometrie (XRF) pro určení užitého pojiva a infračervená spektroskopie (FTIR) pro objasnění povahy červeného média (kap. 8.2.1 Popis typologie a poškození). Z těchto analýz vyplývá, že papírová podložka knižního bloku je vyrobena z hadroviny, motouzové vazby a nit šití jsou lněné, nit kapitálek konopná. Usňový povrch tvoří silně degradovaná tříslem činěná useň s teplotou smrštění kolem 40 °C. Vzhledem k tomuto výsledku bylo doporučeno vyhnout se vodným procesům. Pokus o mikroskopickou identifikaci druhu zvířete usně byl kvůli míře poškození neúspěšný. Červené médium je pravděpodobně tvořeno miniem s příměsí rumělky. Pozorovaný tmavý podklad pod červenými písmeny vykazuje vysokou koncentraci síry a vyšší koncentraci železa, což potvrzuje dříve navržené hypotézy (kap. 8.2.1 Popis typologie a poškození objektu). Pojivo se identifikovat nepodařilo.

Následující zkoušky se věnovaly posouzení **stability** užitých záznamových prostředků. Některé z nich přitom byly z důvodu patrných odlišností značící různá období vzniku anebo způsob přípravy testovány na více místech v různých částech bloku. U medií, jež neměla v průběhu restaurátorského zásahu přijít do kontaktu s rozpouštědly, byla testována pouze stabilita na suchý otěr. Výsledky ukázaly všeobecnou citlivost jak na suchý, tak vlhký otěr, přičemž nejreaktivnější bylo červené a černé médium s širším tahem. S ohledem na rozsáhlé užití železogatového inkoustu byl proveden **bathofenantrolinový test**, který ve čtyřech z osmi případů prokázal slabou pozitivní reakci (obr. 83). Poslední analýzou bylo **měření pH** papíru dotykovou elektrodou (obr. 86). Měření bylo provedeno na pěti listech vždy ve třech bodech. Naměřené hodnoty se pohybovaly od 6,69 do 7,73, průměrná hodnota pH činila 7,23.

Demontáž bloku proběhla s označením jednotlivých listů a vysprávek tužkou, aby bylo možné později správně určit jejich původní uspořádání (obr. 97). Zároveň byla zaznamenána skladba složek a způsob šití. Posléze byly zařazeny volné listy na základě vizuálních znaků, přičemž správnost jejich obsahové návaznosti ověřil externí odborník.¹⁰⁰ Klíčovým zjištěním tohoto průzkumu bylo, že umístění listů v současné skladbě nemuselo odpovídat původnímu uspořádání. Například listy v současnosti spojené vysprávkami mohli být součástí odlišných dvojlistů. Demontáž také zahrnovala sejmutí papírových komponentů z přídeští za pomoci ultrazvukového zvlhčovače s párovým skalpelem (obr. 87).

Všechny papírové součásti knihy byly následně očištěny s ohledem na reaktivnost přítomných záznamových medií. **Suché čištění** probíhalo mechanicky s využitím nástrojů jako guma *Wishab*¹⁰¹, jemný štětec a vysavač s regulací tahu (obr. 88). Před přistoupením k mokrému čištění byla taveninou cyklohexanu **zafixována** razítka na předsádkových listech a přelepch (obr. 89). Finální postup **mokrého čištění** byl stanoven na základě předběžných zkoušek, které optimalizovaly parametry jako teplota, doba ponoru a metoda sušení. Cílem bylo nalézt co nejkratší efektivní čas, aby se minimalizovalo riziko vyplavení pojiva a narušení stability záznamových prostředků během procesu. Současně byla porovnána hodnota pH před a po čištění, pevnost neklíženého a klíženého papíru. Za dostačující se nakonec ukázal 10minutový postup sestávající z tří námoků ve vodě se vstupní teplotou o 35 °C (±2 °C) bez přidání tenzidu. Průběžně byly také snímány dobové vysprávky z papírové podložky (obr. 90). Vykoupané listy byly mírně vysušeny a oboustranně doklíženy 2% vodním roztokem *Tylose MH 300*¹⁰². Klíždlo bylo

¹⁰⁰ Mgr. Václav Čermák, Ph.D (Slovanský ústav AV ČR)

¹⁰¹ umělý vulkanizovaný kaučuk

¹⁰² metylhydroxyetylcelulóza

aplikováno nátěrem přes *HollyTex*¹⁰³, který zabránil přímému kontaktu s nestabilními záznamovými médii (obr. 91).

Praktická realizace mokrého čištění však narazila na dva problémy. Zaprvé se zjistilo, že i přes důkladné zkoušky stability se červené médium na některých listech po aplikaci vody samovolně uvolňuje z povrchu podložky. To si vyžádalo zavedení individuálních testů a případnou fixaci záznamového prostředku cyklohexanem ve spreji. Zadruhé se při sušení listů na savých lepenkách projevila tendence materiálu absorbovat nejen vodu ale i železagalový inkoust a červené médium. Z tohoto důvodu byla metoda nahrazena sušením ve svislé poloze. Po vyschnutí byly všechny vykoupané papírové prvky za účelem **neutralizace** železagalového inkoustu a vytvoření alkalické rezervy ošetřeny 0,5% roztokem *MMM*¹⁰⁴ v methanolu, který byl aplikován nátěrem opět přes *HollyTex*.

V další fázi bylo **trvale zafixováno** stále reaktivní červené a černé médium. Parametry aplikace, tedy koncentrace a počet vrstev, byly stanoveny na základě předběžných zkoušek. Cílem bylo zajistit dostatečnou fixaci a zároveň minimalizovat nežádoucí vizuální změny, jako je lesk nebo vznik zateklin. Na základě těchto testů byl zvolen 0,5% vodní roztok filtrované vyziny¹⁰⁵ nanesený ve třech vrstvách.

Materiálové ztráty papíru byly doplněny předem zhotovenými záplatami z papírové suspenze. Ta byla připravena smícháním vody, azobarvivy¹⁰⁶ obarvené papíroviny¹⁰⁷ (obr. 92, 93) a 1,5% roztoku *Tylose MH 300*. Záplaty měly převážně tvar různě širokých a dlouhých pruhů a byly využity jak k doplnění ztrát, tak pro spojení oddělených listů do dvojlistů. K jejich nalepení byl použit 4% vodný roztok *Tylose MH 6000* a sušení probíhalo vždy pod tlakem. Posléze bylo provedeno **kontrolní měření pH** a **bathofenantrolinový test**.

Trhliny byly vyspraveny azobarvivy tónovanými japonskými papíry o dvou různých plošných hmotnostech (*Tengujo Kashmir* 8,6 g/m² a *Kouzo* 3,6 g/m², obr. 94). Výběr papíru závisel na typu poškození, přičemž tenčí varianta byla preferována pro opravy v textu. Japonským papírem byly dle potřeby zafixovány i záplaty a zpevněny středy minimálně vnitřního a vnějšího dvojlistu složky (obr. 95). Veškeré lepení bylo provedeno 3% vodným roztokem *Tylose MH 6000* a sušení probíhalo v lise. Posléze byly odstraněny přesahy japonských papírů, blok znovu zkompletován

¹⁰³ 33 g/m² a 81 g/m², 100% polyester bez obsahu kyselin

¹⁰⁴ metoxymagnesiummetylkarbonát

¹⁰⁵ kolagenní materiál získávaný z plovacích měchýřů jeseterovitých ryb

¹⁰⁶ 0,3% Saturninová šed' LRN, 0,3% Saturninová hněd' L2G, 0,1% Saturninová žluť LFF 200

¹⁰⁷ 60 % bavlna, 40 % len; papírna Velké Losiny

a vložen do lisu k vyvzdušnění (obr. 97). Dolitky byly prozatím pouze zarovnány. K finálnímu ořezu došlo až po ušití, kdy bylo možné profil ořezu snadněji přizpůsobit dle sousedních listů.

Aby byla zachována čitelnost textu na původních **předsádkách** a zároveň zajištěno pevné spojení bloku s deskami, byla struktura vazby modifikována. Na začátek a konec bloku byl všit nový předsádkový list z japonského papíru (*Kouzo*, 39 g/m²) s křídélkem, které bylo poskládáno do podoby harmoniky. Do takto vzniklých záhybů pak byly při šití vloženy jak původní předsádkové listy, tak první a poslední složka bloku, čímž došlo k zpevnění celé struktury (obr. 100).

Následně byl knižní blok opětovně **ušit**, a to na knihařském stávku dle dochovaného způsobu na tři dvojité motouzové vazy a dva zapošivací stehy (obr. 98). Během šití byly na svá místa navraceny dobové středové vysprávký. Ty, k nimž byly listy původně přilepeny na jedné straně z vnitřní a na druhé z vnější strany, byly zpravidla přišity z vnější strany příslušného dvojlistu. Nit byla vždy navazována uvnitř složek a předem navoskována včelím voskem. Po ušití bloku byl jeho hřbet zaoblen. Záměrně se nepřistoupilo k jeho klížení z důvodu možného poškození textu na vnějších vysprávkách.

Dále byly oříznuty přesahy papírových záplat a připraveny nové **lipové desky**, jejichž podoba sice vycházela z originálu, ale byla modifikována tak, aby odpovídala současným parametrům bloku. Nové desky o formátu 240 × 152 × 9 mm (výška × šířka × síla) měli kanty, které byly přidány za účelem ochrany vyčnívajících listů bloku. Po vzoru originálu bylo provedeno zhranění pouze u hřbetu z vnější strany a do desek byly provrtány šikmé otvory, kterými byly při nasazení provlečeny motouzové vazy. Ty byly po provlečení roztřepeny a přilepeny kostním kličem k přideším (obr. 99). Nakonec byly vylepeny nové předsádkové listy z japonského papíru za pomoci hustého škrobového mazu a do prostoru mezi novou a původní předsádku připevněny původní papírové přelepy fixované proužkem japonského papíru (*Tengujo Kashmir* 8,6g/m², obr. 100).

Práce na původní vazbě začaly vyjmutím pergamenových mezivazných přelepů. Oddělení horního a dolního pruhu si nicméně vyžádalo přestřižení nití kapitálků, což vedlo k narušení konstrukce daného prvku (obr. 101). Za účelem zamezení ztrát nově uvolněných nití bylo přistoupeno k jejich opětovnému spojení. Toho bylo dosaženo přilepením nití k proužku z japonského papíru (8,6g/m², obr. 102). Obdobně byly zajištěny i volné fragmenty původních motouzových vazů, jež byly bodově přilepeny k deskám. Posléze byla očištěna odkrytá vnitřní strana hřbetního textilního přelepu.

Z vyjmutých **pergamenových přelepů** byla nejdříve tupým skalpelem odstraněna rezidua lepidla zakrývající přítomný rukopisný text (obr. 103). Poté byly vyrovnány tvarové deformace lokálním zvlhčením a zalisováním materiálu a vyspraveny trhliny tónovaným japonským papírem (8,6g/m²) lepeným 2% želatinou. Korozní produkty fragmentů **železných hřebíků** byly odstraněny mechanicky jehlou, avšak pouze v míře, kterou dovoloval stav drolicího se materiálu (obr. 104). Následovalo odmaštění kovových prvků ethanolem a jejich finální konsolidace a fixace 1,5% roztokem *Paraloidu B72*¹⁰⁸ v toluenu.

V poslední fázi zásahu byl pro oddělenou knižní vazbu zhotoven podpůrný falešný blok v podobě kvádrů z lepenky *AlphaCell Antique*¹⁰⁹. K lepení jednotlivých částí bylo užito disperzní lepidlo *Acrykleber 545*¹¹⁰ a hrany byly zpevněny *Filmoplastem T*¹¹¹. Fragменты vyjmuté z knihy byly adjustovány na desky z alkalické lepenky *BoxBoard*¹¹² v pouzdech z *Melinexu 401*¹¹³, která byla po stranách zatavena. K uchycení pouzder sloužily melinexové proužky fixované na zadní straně desek *Filmoplastem T*. Oddělené pergamenové přelepy byly adjustovány samostatně za užití stejných materiálů, a to způsobem který umožňuje nahlížet na obě jejich strany bez nutnosti jejich vyjmutí z ochranného obalu. Na závěr byl pro zrestaurovaný objekt, oddělenou knižní vazbu a adjustované fragmenty na míru zhotoven ochranný obal typu *Phase-box* z alkalických lepenek *BoxBoard* a *AlphaCell Antique* (obr. 105). K veškerému lepení byl užit *Akrylep 545*¹¹⁴. Po dokončení všech zásahů byl fotograficky zdokumentován stav objektu po zásahu za stejných podmínek jako před zásahem a byla vypracována restaurátorská dokumentace.

¹⁰⁸ akrylátová pryskyřice na bázi kopolymeru etylmetakrylát – metylakrylát

¹⁰⁹ 1505 g/m², 2 mm, alkalická archivní lepenka bez obsahu kyselých složek a ligninu, pH 8,0

¹¹⁰ termoplastická kopolymerní butyl-methakrylátová disperze, zahuštěná kyselinou akrylovou esterem, pH 8-9

¹¹¹ 240 μm, samolepící textilní páska z tkaného plátna, pH 7,0 lepící vrstva

¹¹² 550 g/m², 0,7 mm, alkalická archivní lepenka, 100% celulóza, bez obsahu zjasňovadel a ligninu, pH 7,5–10,0, alkalická rezerva >3 %

¹¹³ 100 μm, 100% polyesterová folie, vysoce transparentní, inertní, chemicky i rozměrově stálá, nestárne a nežloutne

¹¹⁴ samosítující akrylátová disperze s obsahem aditiv a konzervačního prostředku, s obsahem alkalické rezervy, pH 7,5–8,5



Obrázek 85 Ukázky bathofenantrolinového test, zleva: testované místo, indikační filtrační papírek před zásahem a po zásahu



Obrázek 86 Měření pH papírové podložky



Obrázek 87 Sejmutí papírového přeplepu z přideštiny pomoci ultrazvukového zvlhčovače s párovým skalpelem



Obrázek 88 Suché čištění papírové podložky



Obrázek 89 Dočasná fixace razítka taveninou cyklododekanu před mokrým čištěním



Obrázek 90 Mokrě čištění papírové podložky a snímání dobové vysprávky



Obrázek 91 Doklizení papírové podložky po mokrém čištění



Obrázek 92 Dolévání záplat papírovou suspenzí pro doplnění materiálových ztrát papírové podložky



Obrázek 93 Lepení záplat z papírové suspenze k listům bloku



Obrázek 94 Vyspravení trhlin papírové podložky japonským papírem



Obrázek 95 Zpevnění středu dvojlistů knižního bloku japonským papírem



Obrázek 96 Demontovaný knižní blok před zásahem



Obrázek 97 Demontovaný knižní blok po zásahu

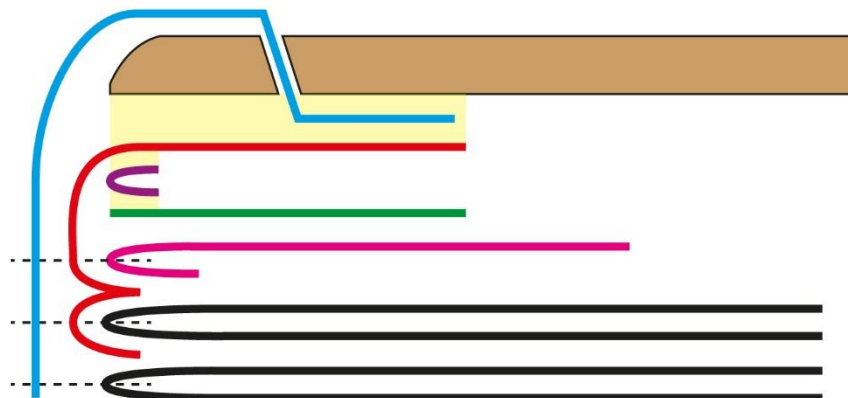


Obrázek 98 Opětovné ušití knižního bloku



Obrázek 99 Nasazení nových lipových desek na zrestaurovaný knižní blok

- | | | |
|--|---|---|
|  deska |  nová předsádka |  složky |
|  motouzové vazy |  původní předsádka |  lepidlo |
|  japonský papír |  papírový přelep |  šití |



Obrázek 100 Schéma struktury knihy po zásahu



Obrázek 101 Rozstřížení nití dolního kapitálku pro umožnění výjmutí mezivazného pergamenového přelepu



Obrázek 102 Přilepení rozstřížených nití kapitálku k proužku japonského papíru



Obrázek 103 Čištění pergamenových mezivazných přelepů – vlevo stav před zásahem, vpravo po zásahu (detail)



Obrázek 104 Čištění kovových prvků – vlevo stav před zásahem, vpravo po zásahu (detail)



Obrázek 105 Zrestaurovaný objekt s Phase-boxem a adjustovanými fragmenty

8.4 Fotodokumentace restaurovaného objektu před a po zásahu



Obrázek 106 Tříčtvrteční pohled na přední desku, hřbet a dolní ořízku před zásahem



Obrázek 107 Tříčtvrteční pohled na přední desku, hřbet a dolní ořízku po zásahu



Obrázek 108 Tříčtvrteční pohled na zadní desku, přední a dolní ořízku před zásahem



Obrázek 109 Tříčtvrteční pohled na zadní desku, přední a dolní ořízku po zásahu



Obrázek 110 Přímý pohled na horní ořízku před zásahem



Obrázek 111 Přímý pohled na horní ořízku po zásahu



Obrázek 112 Přímý pohled na přední ořízku před zásahem



Obrázek 113 Přímý pohled na přední ořízku po zásahu



Obrázek 114 Přímý pohled na dolní ořízku před zásahem



Obrázek 115 Přímý pohled na dolní ořízku před zásahem



Obrázek 116 Přímý pohled na hřbet před zásahem



Obrázek 117 Přímý pohled na hřbet po zásahu



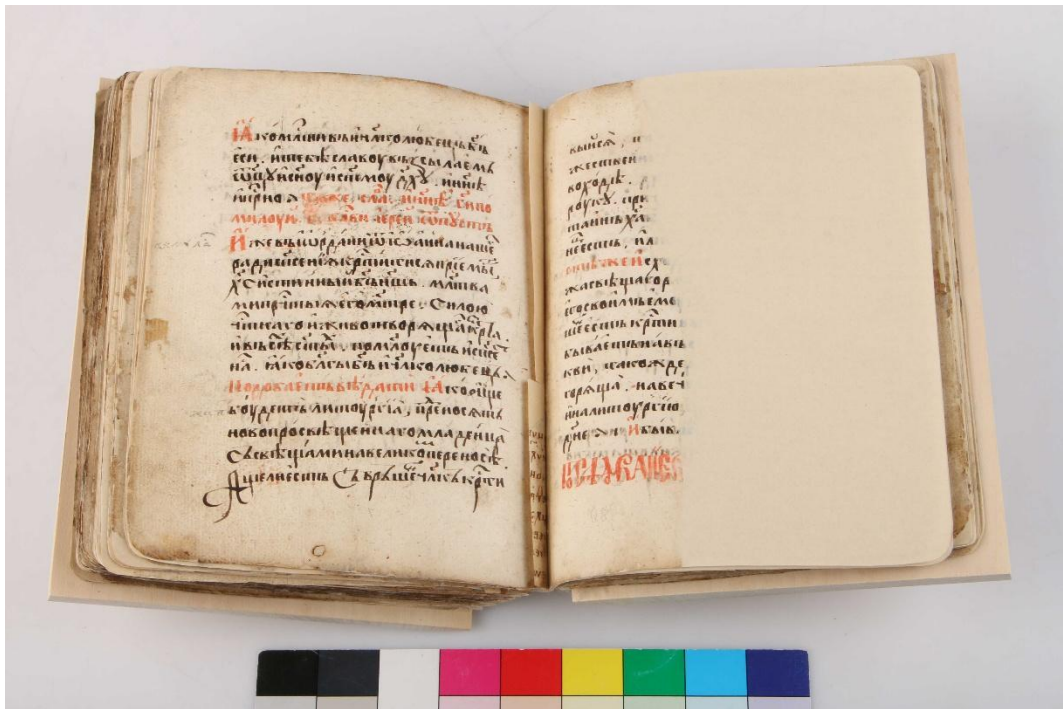
Obrázek 118 Pohled na přidešti přední desky knihy před zásahem



Obrázek 119 P Pohled na přidešti přední desky knihy po zásahu



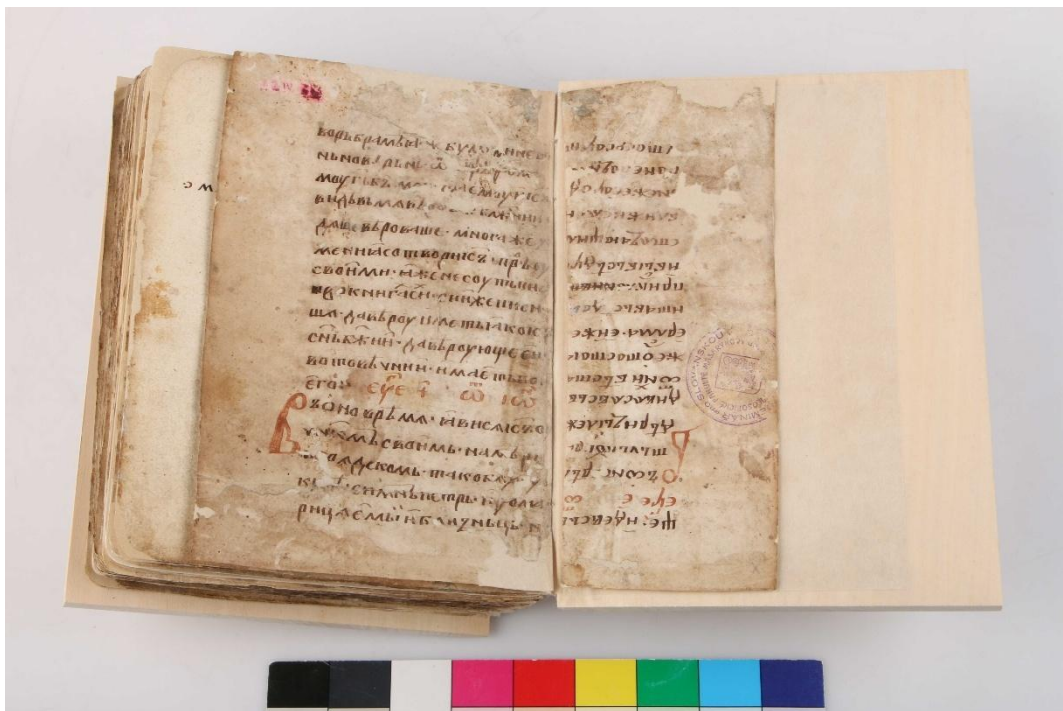
Obrázek 120 Pohled na list Q7 verso a Q8 recto před zásahem



Obrázek 121 Pohled na list Q7 verso a Q8 recto po zásahu



Obrázek 122 Pohled na přidešti zadní desky knihy před zásahem



Obrázek 123 Pohled na přidešti zadní desky knihy po zásahu

9 ZÁVĚR

Diplomová práce se zabývala problematikou železozalových inkoustů, konkrétně jejich vlastnostmi a degradačním potenciálem ve vztahu k odlišným historickým recepturám a vybraným psacím podložkám. **Počáteční kapitoly práce** shrnují dosavadní poznatky o historii, složení, přípravě, chemické podstatě a degradačních mechanismech těchto záznamových prostředků. Z těchto kapitol vyplývá, že železozalové inkousty jsou komplexní a vysoce variabilní systémy, jejichž vlastnosti a degradace závisí na mnoha provázaných faktorech. I přes značný pokrok v této oblasti za několik posledních desetiletí, zůstává stále mnoho otázek nezodpovězených.

Experimentální část práce byla založena na předpokladu, že užití odlišných surovin a způsobů přípravy ovlivní finální vlastnosti a degradaci zkoumaného záznamového prostředku. S cílem potvrdit tento předpoklad byla navržena následující metodika. Nejdříve bylo připraveno několik odlišných železozalových inkoustů na základě historických receptur ze 16. století, které byly aplikovány na ruční papír, strojní papír a pergamen. Část takto připravených vzorků byla vystavena umělému stárnutí. Nakonec byly všechny vzorky podrobeny sérii testů, které zahrnovaly měření pH, bathofenantrolinový test, zkoušky stability (souhrnně označeny jako “základní zkoušky”), stanovení tržného zatížení a odolnosti v přehýbání vybraných podložek.

Mezi hlavní zjištění experimentu patřilo výrazné vyplavování vodou ředitelných, žlutohnědých složek, což bylo přisouzeno přebytku nezreagovaných látek v důsledku stále probíhající přirozené chemické stabilizace inkoustu. S tím souvisela i mimořádně vysoká koncentrace reaktivních železnatých iontů (Fe^{2+}), jejichž migraci pravděpodobně bránila přítomná arabská guma, což vedlo k intenzivním reakcím při testování. Zásadní poznatek přinesly také mechanické zkoušky, které odhalily duální povahu inkoustového nánosu. Zatímco lokálně zvyšoval pevnost papíru v tahu, zároveň výrazně snižoval jeho odolnost při přehýbání. Tento protichůdný efekt byl opět přisouzen arabské gumě.

Výsledky experimentální části i jejich interpretaci je nicméně nutné vnímat v kontextu metodologických limitů. Za podstatné lze považovat zejména to, že zvolený ruční papír byl pro mechanické zkoušky příliš křehký a testování pergamenu nebylo navrženou metodikou účelné. Tím nejdůležitějším je však samotný fakt, že práce hodnotí chování čerstvě připravených a uměle stárnutých inkoustů, jejichž reaktivní a nestabilní stav nemusí plně odpovídat chování přirozeně zestárlých dokumentů.

Ze získaných poznatků dále vyplývá několik praktických implikací pro restaurátorskou praxi. Zjištění o duálním mechanickém chování je zásadní pro manipulaci s podobnými dokumenty

a ukazuje, že zvýšenou pozornost je třeba věnovat především při ohybu listů. Potvrzený fenomén vyplavování reaktivních složek zároveň podtrhává účinnost, ale i potenciální rizika vodných metod. V neposlední řadě různorodost výsledků zdůrazňuje potřebu individuálního přístupu při ochraně historických objektů. Tyto implikace byly nakonec zohledněny během restaurátorského zásahu provedeném na rukopise napsaném zkoumaným záznamovým prostředkem pocházejícího z 16. století.

V rámci této práce byl iniciován také pilotní projekt zaměřený na dlouhodobé sledování přirozeného stárnutí. Byla vytvořena duplicitní sada vzorků, která byla adjustována do rámu a vystavena reálným, proměnlivým podmínkám v okenním prostoru. Pro monitorování prostředí (světlo, teplota, vlhkost) a sběr dat byl do místnosti instalován datalogger. Tyto vzorky, jejichž stav nebyl v rámci této práce vyhodnocován, tak představují základ pro budoucí navazující výzkum, který by mohl porovnat výsledky zrychleného laboratorního stárnutí s reálnou degradací v horizontu několika let.

10 SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ A LITERATURY

ANDRYKOVÁ, Martina. *K výrobě inkoustu a recepturám v českých zemích do 16.století*. 2009, Diplomová práce, Masarykova univerzita. Dostupné z: <https://theses.cz/id/gr2zgu/>

AUGUSTA, Pavel, Jindřich KLÚNA a Pavel TICHÝ. *Tajemství přesnosti* [online]. Praha: SNTL, 1990. ISBN 80-03-00087-4. Dostupné z: <https://ndk.cz/view/uuid:6aeaf720-bda3-11e4-b2e2-005056827e52?page=uuid:7bbf7c80-e8bc-11e4-b834-005056827e51>

BLAHOVÁ, Kristýna. *Vývoj měř a vah v českých zemích*. 2020, Bakalářská práce, Masarykova univerzita. Dostupné z: https://is.muni.cz/th/h7mqj/BP_KB_Vyvoj_mer_a_vah_v_ceskych_zemich_finale_PDF.pdf

BOYATZIS, Stamatis C., Georgia VELIVASAKI a Malea EKATERINI. A study of the deterioration of aged parchment marked with laboratory iron gall inks using FTIR-ATR spectroscopy and micro hot table. *Heritage Science*. 2016, roč. 4, č. 13. ISSN 2050-7445. Dostupné z: <https://doi.org/10.1186/s40494-016-0083-4>

CARVALHO, David N. *Forty Centuries of Ink* [online]. New York: The Banks law publishing co., 1904. Dostupné z: <https://archive.org/details/fortycenturiesof00carv>

CATERINO, Salvatore et al. A Systematic Multianalytical Approach in the Study of Iron–Polyphenolic Complexes in Iron-Gall Inks: Exploring the Potentialities of Raman and Electron Paramagnetic Resonance. *Inorganic Chemistry*. American Chemical Society (ACS), 2025, roč. 64, č. 10, s. 4802–4816. ISSN 0020-1669. Dostupné z: <https://doi.org/10.1021/acs.inorgchem.4c04232>

CATERINO, Salvatore, Nicolò PAJER a Claudia CRESTINI. Iron-galls inks: preparation, structure and characterisation. *Microchemical Journal*. 2023, roč. 185. ISSN 0026265X. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.microc.2022.108258>

DAS, Atanu Kumar et al. Review on tannins: Extraction processes, applications and possibilities. *South African Journal of Botany*. 2020, roč. 135, s. 58–70. ISSN 02546299. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.sajb.2020.08.008>

DÍAZ HIDALGO, Rafael Javier et al. New insights into iron-gall inks through the use of historically accurate reconstructions. *Heritage Science*. 2018, roč. 6, č. 1, s. 63. ISSN 2050-7445. Dostupné z: <https://doi.org/10.1186/s40494-018-0228-8>

DOBEŠKOVÁ, Michaela. *Technologie výroby octa*. 2011, Bakalářská práce, Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně. Dostupné z: https://digilib.k.utb.cz/bitstream/handle/10563/16506/dobe%C5%A1kov%C3%A1_2011_bp.pdf?sequence=1&isAllowed=y

ĎUROVIČ, Michal. *Restaurování a konzervování archiválií a knih*. Vyd. 1. Praha: Paseka, 2002. ISBN 978-80-7185-383-1.

- FERRETTI, Adele, Francesca SABATINI a Ilaria DEGANO. A Model Iron Gall Ink: An In-Depth Study of Ageing Processes Involving Gallic Acid. *Molecules*. MDPI AG, 2022, roč. 27, č. 23, 8603. ISSN 1420-3049. Dostupné z: <https://doi.org/10.3390/molecules27238603>
- FERRETTI, Adele, Francesca SABATINI a Ilaria DEGANO. Linking historical recipes and ageing mechanisms: the issue of 19th century iron gall inks. *Journal of Cultural Heritage*. 2024, roč. 67, s. 111–120. ISSN 12962074. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.culher.2024.02.012>
- GOUK, Penelope. Transforming Matter, Refining the Spirit: Alchemy, Music and Experimental Philosophy around 1600. *European Review*. Cambridge University Press (CUP), 2013, roč. 21, č. 2, s. 146–157. ISSN 1062-7987. Dostupné z: <https://doi.org/10.1017/s1062798712000324>
- HAHN, O. et al. Characterization of iron-gall inks in historical manuscripts and music compositions using x-ray fluorescence spectrometry. *X-Ray Spectrometry*. 2004, roč. 33, s. 234–239. ISSN 0049-8246. Dostupné z: <https://doi.org/10.1002/xrs.677>
- HLAVÁČEK, Ivan, Jaroslav KAŠPAR a Rostislav NOVÝ, eds. *Vademecum pomocných věd historických* [online]. Jinočany: H&H, 2002. ISBN 80-7319-004-4. Dostupné z: <https://ndk.cz/uuid/uuid:33806f70-4dfc-11e4-ab76-005056827e51>
- HŘEBÍČKOVÁ, Barbora A., ed. *Recepty starých mistrů aneb Malířské postupy středověku*. Vyd. 1. Brno: Computer Press, 2006. ISBN 978-80-251-1025-6.
- CHRISTIANSEN, THOMAS. Manufacture of Black Ink in the Ancient Mediterranean. *The Bulletin of the American Society of Papyrologists*. 2017, roč. 54, s. 167–195. ISSN 1938-6958. Dostupné z: <https://doi.org/10.2143/BASP.54.0.3239877>
- CHVOHKA, Miloš a Jiří SKÁLA. *Malý slovník jednotek měření* [online]. Praha: Mladá fronta, 1982. Dostupné z: <https://ndk.cz/uuid/uuid:bfb09420-414b-11e3-ad8c-005056827e52>
- JANČOVIČOVÁ, V. et al. Interactions in iron gall inks. *Chemical Papers*. 2007, roč. 61, č. 5. ISSN 1336-9075. Dostupné z: <https://doi.org/10.2478/s11696-007-0053-0>
- KAMINARI, Agathi-Anthoula, Stamatia C. BOYATZIS a Athina ALEXOPOULOU. Linking Infrared Spectra of Laboratory Iron Gall Inks Based on Traditional Recipes with their Material Components. *Applied Spectroscopy*. 2018, roč. 72, č. 10, s. 1511–1527. ISSN 0003-7028. Dostupné z: <https://doi.org/10.1177/0003702818778319>
- KARPENKO, Vladimír a JOHN A. NORRIS. Vitriol in the History of Chemistry. *Chemické Listy* [online]. 2002, roč. 96, č. 12, s. 997–1005. Dostupné z: <http://www.chemicke-listy.cz/ojs3/index.php/chemicke-listy/article/view/2266>
- LERF, A. a F. E. WAGNER. Model compounds of iron gall inks – a Mössbauer study. *Hyperfine Interactions*. Springer Science and Business Media LLC, 2016, roč. 237, č. 1. ISSN 0304-3843. Dostupné z: <https://doi.org/10.1007/s10751-016-1280-y>

LIU, Yun, Irena KRALJ CIGIĆ a Matija STRLIČ. Kinetics of accelerated degradation of historic iron gall ink-containing paper. *Polymer Degradation and Stability*. Elsevier BV, 2017, roč. 142, s. 255–262. ISSN 0141-3910. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.polymdegradstab.2017.07.010>

MATTIOLI, Pietro Andrea. *Herbář aneb Bylinář Wysoce včeného a wznesseného P. Doktora Petra Ondřege Mathiola* [online]. Praha, 1596. Dostupné z: https://new.manuscriptorium.com/apis/resolver-api/cs/catalog/default/detail/manuscriptorium%7CNKCR__-NKCR__54_A_000001_2BSLVX0-cs

MELO, Maria João et al. Iron-gall inks: a review of their degradation mechanisms and conservation treatments. *Heritage Science*. Springer Science and Business Media LLC, 2022, roč. 10, č. 1. ISSN 2050-7445. Dostupné z: <https://doi.org/10.1186/s40494-022-00779-2>

MONTANARI, Giacomo et al. Artificial vitriols: a contemporary interpretation of historical ingredients. *RSC Advances*. 2024, roč. 14, č. 30, s. 21538–21543. ISSN 2046-2069. Dostupné z: <https://doi.org/10.1039/D4RA01896F>

NEHRING, Grzegorz et al. Looking for the missing link in the evolution of black inks. *Archaeological and Anthropological Sciences*. 2021, roč. 13, č. 71. ISSN 1866-9557, 1866-9565. Dostupné z: <https://doi.org/10.1007/s12520-021-01320-5>

NOVÁK, Antonín, ed. *Traktáty a receptáře: výtvarné techniky středověku, renesance a baroka*. Vyd. 1. Praha: Filosofia, 2020. ISBN 978-80-7007-633-0.

OLIVER, Meredith. *From Lazarus To Theophilus: How Manuscript Digitization Led To The Historical, Chemical, and Technological Understanding of Iron Gall Ink and its Counterparts*. 2015, Bakalářská práce, University of Mississippi. Dostupné z: https://egrove.olemiss.edu/hon_thesis/700

PONCE, Aldo et al. Elucidation of the Fe(III) Gallate Structure in Historical Iron Gall Ink. *Analytical Chemistry*. American Chemical Society (ACS), 2016, roč. 88, č. 10, s. 5152–5158. ISSN 0003-2700, 1520-6882. Dostupné z: <https://doi.org/10.1021/acs.analchem.6b00088>

PRAJAKTA, Harne, Mishra MUNISH K a Sodhi G.S. Examination of Invisible Writing Liquid Composition and Their Decoders. *Journal of Forensic Chemistry and Toxicology*. 2018, roč. 4, č. 2, s. 77–81. ISSN 24549363, 24558311. Dostupné z: <https://doi.org/10.21088/jfct.2454.9363.4218.1>

RAGGETTI, Lucia. *Traces of ink: experiences of philology and replication* [online]. Boston: Brill, 2021. ISBN 978-90-04-42111-0. Dostupné z: <https://www.jstor.org/stable/10.1163/j.ctv1sr6hgk>

REISSLAND, Birgit. *Visible progress of paper degradation caused by iron gall inks*. Newcastle upon Tyne: Postprints, University of Northumbria, 2000.

REISLAND, Birgit a Margaret W. COWAN. THE LIGHT SENSITIVITY OF IRON GALL INKS. *Studies in Conservation*. Informa UK Limited, 2002, roč. 47, č. 3, s. 180–184. ISSN 0039-3630, 2047-0584. Dostupné z: <https://doi.org/10.1179/sic.2002.47.s3.037>

RETKO, Klara et al. Exploring the properties and degradation of iron gall inks and logwood ink and their mixtures on various paper supports. *npj Heritage Science*. 2025, roč. 13, č. 139. ISSN 3059-3220. Dostupné z: <https://doi.org/10.1038/s40494-025-01732-9>

ROUCHON, V. a S. BERNARD. Mapping iron gall ink penetration within paper fibres using scanning transmission X-ray microscopy. *Journal of Analytical Atomic Spectrometry*. Royal Society of Chemistry (RSC), 2015, roč. 30, č. 3, s. 635–641. ISSN 0267-9477. Dostupné z: <https://doi.org/10.1039/c4ja00358f>

ROUCHON, Véronique et al. Room-Temperature Study of Iron Gall Ink Impregnated Paper Degradation under Various Oxygen and Humidity Conditions: Time-Dependent Monitoring by Viscosity and X-ray Absorption Near-Edge Spectrometry Measurements. *Analytical Chemistry*. American Chemical Society (ACS), 2011, roč. 83, č. 7, s. 2589–2597. ISSN 0003-2700. Dostupné z: <https://doi.org/10.1021/ac1029242>

SEDLÁČEK, August. *Paměti a doklady o staročeských mírách a váhách* [online]. Praha: Česká akademie věd a umění, 1923. Dostupné z: <https://digi.law.muni.cz/handle/digilaw/1271>

ŠICHMANOVÁ, Zuzana. *Alchymie a alchymisté v zemích českých a moravských*. 2007, Diplomová práce, Masarykova univerzita. Dostupné z: <https://is.muni.cz/th/i7lnx/>

TEIXEIRA, Natércia et al. Impact of Fe³⁺/Polyphenol Ratio in Iron-gall Ink on Superoxide Formation: Rationalizing Historic Recipes from a Kinetic Study. *ChemPhysChem*. 2025, roč. 26, č. 1, s. e202400859. ISSN 1439-4235. Dostupné z: <https://doi.org/10.1002/cphc.202400859>

TEIXEIRA, Natércia et al. In-depth phenolic characterization of iron gall inks by deconstructing representative Iberian recipes. *Scientific Reports*. Springer Science and Business Media LLC, 2021, roč. 11, č. 1. ISSN 2045-2322. Dostupné z: <https://doi.org/10.1038/s41598-021-87969-3>

ÚSTAV PRO JAZYK ČESKÝ (AKADEMIE VĚD ČR). Etymologická procházka po škole. *Naše řeč* [online]. 1944, roč. 28, č. 2, s. 21–34. ISSN 0027-8203. Dostupné z: <https://kramerius.lib.cas.cz/uuid/uuid:3c498518-4c3e-11e1-1331-001143e3f55c>

VASSIOU, Ermioni et al. Iron gall ink from historical recipes on organic substrates and their study before and after accelerated ageing with μ -RAMAN Spectroscopy and SEM-EDS. *Journal of Cultural Heritage*. 2024, roč. 66, s. 584–592. ISSN 12962074. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.culher.2024.01.006>

WEISSOVÁ, Vendula. *Biologická aktivita metabolitů hálkotvorných organismů*. 2018, Bakalářská práce, Univerzita Palackého v Olomouci. Dostupné z: https://library.upol.cz/arl-upol/cs/detail-upol_us_cat-0252191-Biologicka-aktivita-metabolitu-halkotvornych-organismu/

WILL, Jan. Technologické Recepty Českých Alchymistů. [online]. Dostupné z: <https://www.scribd.com/document/522253696/Technologicke-Recepty-%C4%8Cesk%C3%BDch-Alchymist%C5%AF>

XU, Zhi, Qiwen WANG a Huiming FAN. Changes in color and iron ions of commercial iron gall inks after artificial aging. *Heritage Science*. Springer Science and Business Media LLC, 2023, roč. 11, č. 96. ISSN 2050-7445. Dostupné z: <https://doi.org/10.1186/s40494-023-00943-2>

ZELINGER, Jiří. *Chemie v práci konzervátora a restaurátora*. Praha: Academia, 1987.

Cyrilice [online]. Dostupné z: <https://encyklopedieknihy.cz/index.php?title=Cyrilice>

Daniel Adam z Veleslavína [online]. Dostupné z: https://www.encyklopedieknihy.cz/index.php?title=Daniel_Adam_z_Veleslav%C3%ADna

Duběnky – dubové hálky [online]. 2019. Dostupné z: <https://mudr-alena-hamplova.cz/dubenky-dubove-halky/>

Iron gall ink - Manufacture of ink [online]. Dostupné z: <https://irongallink.org/iron-gall-ink-manufacture-of-ink.html>

Staré české měrné jednotky [online]. Dostupné z: http://www.geneze.info/pojmy/subdir/stare_ceske_jednotky.htm

11 SEZNAM REPRODUKČÍ

Obr. 1 Příklad interpretace Filónovy receptury, převzato z NEHRING, Grzegorz et al. Looking for the missing link in the evolution of black inks. *Archaeological and Anthropological Sciences*. 2021, roč. 13, č. 71. ISSN 1866-9557, 1866-9565. Dostupné z: <https://doi.org/10.1007/s12520-021-01320-5>

Obr. 2 Příklad interpretace Theophilovy receptury, převzato z: HŘEBÍČKOVÁ, Barbora A., ed. *Recepty starých mistrů aneb Malířské postupy středověku*. Vyd. 1. Brno: Computer Press, 2006. ISBN 978-80-251-1025-6.

Obr. 3 Strukturální vzorce vybraných polyfenolických látek podílejících se na tvorbě komplexů s kationty železa, převzato z: TEIXEIRA, Natércia et al. In-depth phenolic characterization of iron gall inks by deconstructing representative Iberian recipes. *Scientific Reports*. Springer Science and Business Media LLC, 2021, roč. 11, č. 1. ISSN 2045-2322. Dostupné z: <https://doi.org/10.1038/s41598-021-87969-3>

Obr. 4 Schéma prostorové sítě koordinačního polymeru $\text{Fe}(\text{C}_7\text{O}_5\text{H}_3) \cdot \chi\text{H}_2\text{O}$ (bez molekul vody), převzato z: PONCE, Aldo et al. Elucidation of the Fe(III) Gallate Structure in Historical Iron Gall Ink. *Analytical Chemistry*. American Chemical Society (ACS), 2016, roč. 88, č. 10, s. 5152–5158. ISSN 0003-2700, 1520-6882. Dostupné z: <https://doi.org/10.1021/acs.analchem.6b00088>

Obr. 5 Receptury vybraných inkoustů z Česká Alchymie ze XVI. století 1/2 (výřez z původního formátu), převzato z: *Česká alchymie* [online]. Praha, 1510–1520. signatura: I G 22. fol. 299v. Knihovna Národního muzea, Praha. Dostupné z: https://new.manuscriptorium.com/apis/resolver-api/cs/catalog/default/detail/manuscriptorium%7CKNM___-NMP___I_G_22_____0MWHWF4-cs

Obr. 6 Receptury vybraných inkoustů z Česká Alchymie ze XVI. století 2/2 (výřez z původního formátu), převzato z: *Česká alchymie* [online]. Praha, 1510–1520. signatura: I G 22. fol. 300r. Knihovna Národního muzea, Praha. Dostupné z: https://new.manuscriptorium.com/apis/resolver-api/cs/catalog/default/detail/manuscriptorium%7CKNM___-NMP___I_G_22_____0MWHWF4-cs

Obr. 7 Receptura z Mattioliho herbáře (výřez z původního formátu), převzato z: MATTIOLI, Pietro Andrea. *Herbář aneb Bylinář Wysoce včeného a wznesseného P. Doktora Petra Ondřege Mathiola* [online]. Praha, 1596. signatura: K-16903. fol. 64v. Vlastivědné muzeum v Olomouci. Dostupné z: https://new.manuscriptorium.com/hub/catalog/default/detail/single/manuscriptorium%7CVMO___-VMO___K_16903_____2QA14G1-cs?lang=cs

Obr. 8 Receptura z Boltzova Illuminierbuch (výřezy z původního formátu), převzato z: BOLTZ, Valentin. *Illuminierbuch künstlich alle Farben zumachen vnd zu bereiten: Allen Brieffmalern, sampt anderen solcher Künsten liebhabern nützlich vnd gut zu wissen; Vorhin im truck nie außgangen* [online]. Frankfurt nad Mohanem, Německo. 1562. signatura: VD16 B 6520. Univerzitní knihovna, Heidelberg. Dostupné z: <https://doi.org/10.11588/diglit.7142#0128>

12 SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

aj.	a jiné
apod.	a podobně
atd.	a tak dále
cca	cirka, přibližně
cm	centimetry
č.	číslo
ČSN	česká technická norma
et al.	a kolektiv
fol.	folio
FTIR	infračervená spektroskopie s Fourierovou transformací
g	gram
ibid.	tamtéž
ISO	mezinárodní organizace pro normalizaci
kap.	kapitola
kys.	kyselina
m	metry
ml	mililitry
mm	milimetry
MMMK	metoxymagnesiummetylkarbonát
n. l.	našeho letopočtu
např.	například
obr.	obrázek
př. n. l.	před naším letopočtem
roč.	ročník
RV	relativní vlhkost

s	síla
s.	strana
sign.	signatura
š	šířka
tab.	tabulka
text. p.	textová příloha
tj.	to je
tzv.	tak zvané
v	výška
vyd.	vydání
XRF	rentgenová fluorescenční spektrometrie

13 SEZNAM TABULEK

Tabulka 1 Základní hodnoty historických měr používané v rámci diplomové práce	38
Tabulka 2 Přehled surovin a jejich množství – Inkoust 1 (voda), Inkoust 2 (voda+var)	41
Tabulka 3 Přehled surovin a jejich množství – Inkoust 3 (víno), Inkoust 4 (víno+var)	42
Tabulka 4 Přehled surovin a jejich množství – Inkoust 5 (pevný).....	44
Tabulka 5 Přehled surovin a jejich množství – Inkoust 6 (víno+sůl).....	47
Tabulka 6 Přehled surovin a jejich množství – Inkoust 7 (voda+ocet)	49
Tabulka 7 shrnutí poznatků z hodnocení inkoustů během přípravy	58
Tabulka 8 Přehled vzorků zhotovených pro účely experimentu	61
Tabulka 9 Výsledky zkoušek umělého stárnutí – Inkoust 1 (voda)	66
Tabulka 10 Výsledky zkoušek umělého stárnutí – Inkoust 2 (voda+var)	67
Tabulka 11 Výsledky zkoušek umělého stárnutí – Inkoust 3 (víno).....	68
Tabulka 12 Výsledky zkoušek umělého stárnutí – Inkoust 4 (víno+var).....	69
Tabulka 13 Výsledky zkoušek umělého stárnutí – Inkoust 5 (pevný)	70
Tabulka 14 Výsledky zkoušek umělého stárnutí – Inkoust 6 (víno+sůl)	71
Tabulka 15 Výsledky zkoušek umělého stárnutí – Inkoust 7 (voda+ocet).....	72
Tabulka 16 Výsledky bathofenantrolinového testu	79
Tabulka 17 Výsledky ověřovacího bathofenantrolinového testu na recyklovaných stárnutých vzorcích ručního papíru	81
Tabulka 18 Výsledky měření pH roztoků	82
Tabulka 19 Výsledky povrchového měření pH	83
Tabulka 20 Výsledky dodatečného měření povrchového pH na recyklovaných stárnutých vzorcích ručního papíru.....	83
Tabulka 21 Výsledky zkoušek stability inkoustových nánosů	85
Tabulka 22 Výsledky zkoušek tržného zatížení ručního papíru	88
Tabulka 23 Výsledky zkoušek tržného zatížení strojního papíru	89
Tabulka 24 Výsledky zkoušek tržného zatížení pergamentu	90
Tabulka 25 Výsledky zkoušek odolnosti v přehýbání z ručního papíru.....	93
Tabulka 26 Výsledky zkoušek odolnosti v přehýbání strojního papíru	94

14 SEZNAM OBRAZOVÝCH PŘÍLOH

Obrázek 1 Příklad interpretace Filónovy receptury, převzato z: Looking for the missing link in the evolution of black inks	16
Obrázek 2 Příklad interpretace Theophilovy receptury, převzato z: Recepty starých mistrů aneb Malířské postupy středověku.....	16
Obrázek 3 Strukturální vzorce vybraných polyfenolických látek podílejících se na tvorbě komplexů s kationty železa, převzato z: In-depth phenolic characterization of iron gall inks by deconstructing representative Iberian recipes	26
Obrázek 4 Schéma prostorové sítě koordinačního polymeru $\text{Fe}(\text{C}_7\text{O}_5\text{H}_3) \cdot \chi\text{H}_2\text{O}$ (bez molekul vody), převzato z: Elucidation of the Fe(III) Gallate Structure in Historical Iron Gall Ink	26
Obrázek 5 Receptury vybraných inkoustů z Česká Alchymie ze XVI. století (výřez z původního formátu, převzato z: Manuscriptorium)	34
Obrázek 6 Receptura z Mattioliho herbáře (výřez z původního formátu, převzato z: Manuscriptorium)	35
Obrázek 7 Receptura z Boltzova Illuminierbuch (výřezy z původního formátu, převzato:).....	36
Obrázek 8 Některé z použitých surovin k přípravě inkoustů (zleva: zelená skalice Forestina, kvasný ocet Bzenecký ocet, Himálajská sůl růžová BioNebio	39
Obrázek 9 Duběnky v různých fázích přípravy.....	40
Obrázek 10 Arabská guma v různých fázích přípravy	40
Obrázek 11 Zelená skalice v různých fázích přípravy.....	40
Obrázek 12 Příprava Inkoustu 1 (voda) a Inkoustu 2 (voda+var) – znázornění množství surovin.....	42
Obrázek 13 Příprava Inkoustu 3 (víno) a Inkoustu 4 (víno+var) – znázornění množství surovin	43
Obrázek 14 Příprava Inkoustu 3 (víno) – míchání	43
Obrázek 15 Příprava Inkoustu 4 (víno+var) –vaření.....	43
Obrázek 16 Příprava Inkoustu 3 (víno) a Inkoustu 4 (víno+var) – znázornění množství surovin	45
Obrázek 17 Příprava Inkoustu 5 (pevný) – vaření.....	45
Obrázek 18 Příprava Inkoustu 5 (pevný) – slítí extraktu.....	45
Obrázek 19 Příprava Inkoustu 5 (pevný) – výsledek extrakce	46
Obrázek 20 Příprava Inkoustu 5 (pevný) – redukce	46
Obrázek 21 Příprava Inkoustu 5 (pevný) – míchání.....	46
Obrázek 22 Příprava Inkoustu 5 (pevný) – plnění forem	47
Obrázek 23 Příprava Inkoustu 6 (víno+sůl) – znázornění množství surovin	48
Obrázek 24 Příprava Inkoustu 6 (víno+sůl) – míchání.....	48

Obrázek 25 Příprava Inkoustu 6 (víno+sůl) – zalití	48
Obrázek 26 Příprava Inkoustu 7 (voda+ocet) – znázornění množství surovin.....	50
Obrázek 27 Příprava Inkoustu 7 (voda+ocet) – macerace	51
Obrázek 28 Příprava Inkoustu 7 (voda+ocet) – tepelná úprava.....	51
Obrázek 29 Příprava Inkoustu 7 (voda+ocet) – filtrace	51
Obrázek 30 Příprava Inkoustu 7 (voda+ocet) – míchání	51
Obrázek 31 Předběžný vzorek Inkoustu 1 (voda) z 23.12.2024 (před filtrací) – vlevo líc (pravá část vzorku vystavená slunci), vpravo rub (levá část vzorku vystavená slunci).....	54
Obrázek 32 Předběžný vzorek Inkoustu 1 (voda) z 12.1.2025 (po filtraci) – vlevo líc (pravá část vzorku vystavená slunci), vpravo rub (levá část vzorku vystavená slunci).....	54
Obrázek 33 Předběžný vzorek Inkoustu 3 (víno) z 2.1.2025 – vlevo líc (pravá část vzorku vystavená slunci), vpravo rub (levá část vzorku vystavená slunci)	55
Obrázek 34 Předběžný vzorek Inkoustu 5 (pevný) z 13.12.2024 – vlevo líc (pravá část vzorku vystavená slunci), vpravo rub (lev část vzorku vystavená slunci)	55
Obrázek 35 Předběžný vzorek Inkoustu 6 (víno+sůl) z 23.12.2024 – vlevo líc (pravá část vzorku vystavená slunci), vpravo rub (levá část vzorku vystavená slunci)	56
Obrázek 36 Předběžný vzorek Inkoustu 6 (víno+sůl) z 2.1.2025 – vlevo líc (pravá část vzorku vystavená slunci), vpravo rub (levá část vzorku vystavená slunci)	56
Obrázek 37 Předběžný vzorek Inkoustu 6 (víno+sůl) z 12.1.2025 – vlevo líc (pravá část vzorku vystavená slunci), vpravo rub (levá část vzorku vystavená slunci)	57
Obrázek 38 srovnání poměrového zastoupení pevných surovin v recepturách (sůl kvůli přehlednosti nezahrnuta)	57
Obrázek 39 Schéma hlavních vzorků experimentu (podoba, rozměry), A – základní analýzy, B – zkoušky tržného zatížení, C – zkoušky odolnosti v přehýbání	60
Obrázek 40 Aplikace železagalových inkoustů na podložku ptačím brkem	62
Obrázek 41 Příprava Inkoustu 5 (pevný) před aplikací na podložku	63
Obrázek 42 Ukázky inkoustových nánosů na všech vybraných podložkách – vlevo Inkoust 1 (voda), vpravo Inkoust 2 (voda+var)	63
Obrázek 43 Ukázky inkoustových nánosů na všech vybraných podložkách – vlevo Inkoust 3 (víno), vpravo Inkoust 4 (víno+var).....	64
Obrázek 44 Ukázky inkoustových nánosů na všech vybraných podložkách – vlevo Inkoust 5 (pevný), vpravo Inkoust 6 (víno+sůl)	64
Obrázek 45 Ukázky inkoustových nánosů na všech vybraných podložkách – Inkoust 7 (voda+ocet)	65

Obrázek 46 Schéma dvou možných mechanismů vybarvovací reakce bathofenantrolinu	74
Obrázek 47 Schéma vzorků pro ověřovací bathofenantrolinový test.....	74
Obrázek 48 Přístroj L&W Alwetron TH1	76
Obrázek 49 Pohled na vzorek uchycený v klemách přístroje L&W Alwetron TH1	77
Obrázek 50 Přístroj Frank-PTI Twin Folding Tester	77
Obrázek 51 Pohled na vzorek uchycený v klemách přístroje Frank-PTI Twin Folding Tester	78
Obrázek 52 Ukázky ztráty sytosti inkoustových nánosů v důsledku vyplavování, shora: Inkoust 3 (víno), 4 (víno+var) a 6 (víno+sůl)	84
Obrázek 53 Vzorky po zkouškách tržného zatížení	87
Obrázek 54 Schéma tržného zatížení ručního papíru	91
Obrázek 55 Schéma tržného zatížení strojního papíru	91
Obrázek 56 Vzorky po zkouškách odolnosti v přehýbání	92
Obrázek 57 Schéma odolnosti v přehýbání ručního papíru	95
Obrázek 58 Schéma odolnosti v přehýbání strojního papíru	95
Obrázek 59 Pohled na nejméně poškozený fixační hřebík dolní spony z vnější strany desky (detail)	117
Obrázek 60 Pohled na horní hlavici knihy (detail).....	117
Obrázek 61 Pohled na horní roh přední desky z vnitřní strany (detail)	118
Obrázek 62 Pohled na papírové štítky nalepené na vnější straně pokryvu přední desky (detail)	118
Obrázek 63 Pohled na otvory pro vedení nitě kapitálků u hlavy přední desky z vnitřní strany (detail)	118
Obrázek 64 Pohled na oddělenou knižní vazbu z vnitřní strany	118
Obrázek 65 Pohled na razítko na papírovém štítku nalepeném na předním předsádkovém listu (detail)	119
Obrázek 66 Pohled na rozpité razítko na zadním předsádkového listu (detail).....	119
Obrázek 67 Příklad dobových vysprávek nacházejících se listu O9 recto (detail).....	119
Obrázek 68 Příklad obtisku železagalového inkoustu a červeného média na protilehlou stranu (vlevo list L13 verso, vpravo list M1 recto, detail).....	119
Obrázek 69 Příklad projevu koroze železagalového inkoustu na listu N1 – prorážení skrze papírovou podložku (vlevo recto, vpravo verso, detail).....	120
Obrázek 70 Příklad projevu koroze železagalového inkoustu na listu N1 – praskání podložky v místě inkoustového nánosu (foceno v průsvitu, detail)	120
Obrázek 71 Příklad projevů koroze objevující se u červených písmen na listu A1 – tmavnutí, migrace do okolí a prorážení (vpravo recto, vlevo verso, detail)	120

Obrázek 72 Příklad rozmazání červené média na listu Q1 recto (detail)	121
Obrázek 73 Příklad rozmazání černého média se silnou stopou na listu C4 recto (detail)	121
Obrázek 74 Schéma rozmístění dochovaných kovových prvků.....	121
Obrázek 75 Schéma uchycení záložek pokryvu dřevěnými kolíčky	121
Obrázek 76 Schéma vedení nitě kapitálků	122
Obrázek 77 Schéma otvorů v deskách	122
Obrázek 78 Schéma šití bloku	123
Obrázek 79 Ukázka skladby složek v knize.....	123
Obrázek 80 Schéma původní struktury knihy	123
Obrázek 81 Příklad červených iniciál (vlevo list I6 verso, vpravo list I7 recto, detail)	125
Obrázek 82 Příklad ornamentů ukončující dvě z kapitol rukopisu (vlevo list L9 recto, vpravo list O6 verso, detail)	125
Obrázek 83 Příklad rukopisné poznámky nacházející se v knižním bloku (list F7 recto, detail)	125
Obrázek 84 Příklad stylizované kresby nacházející se v knižním bloku (list G5 verso, detail)..	125
Obrázek 85 Ukázky bathofenantrolinového test, zleva: testované místo, indikační filtrační papírek před zásahem a po zásahu	131
Obrázek 86 Měření pH papírové podložky	131
Obrázek 87 Sejmутí papírového přelepu z předešlé desky pomocí ultrazvukového zvlhčovače s párovým skalpelem.....	131
Obrázek 88 Suché čištění papírové podložky	131
Obrázek 89 Dočasná fixace razítka taveninou cyklohexanu před mokrým čištěním	131
Obrázek 90 Mokrý čištění papírové podložky a snímání dobové vysrávky	132
Obrázek 91 Doklizení papírové podložky po mokrém čištění	132
Obrázek 92 Dolévání záplat papírovou suspenzí pro doplnění materiálových ztrát papírové podložky	132
Obrázek 93 Lepení záplat z papírové suspenze k listům bloku	132
Obrázek 94 Vyspravení trhlin papírové podložky japonským papírem	132
Obrázek 95 Zpevnění středu dvojlistů knižního bloku japonským papírem	132
Obrázek 96 Demontovaný knižní blok před zásahem	133
Obrázek 97 Demontovaný knižní blok po zásahu	133
Obrázek 98 Opětovné ušití knižního bloku.....	134
Obrázek 99 Nasazení nových lipových desek na zrestaurovaný knižní blok	134
Obrázek 100 Schéma struktury knihy po zásahu.....	135

Obrázek 101 Rozstřížení nití dolního kapitálku pro umožnění výjmutí mezivazného pergamenového přelepu	135
Obrázek 102 Přilepení rozstřížených nití kapitálku k proužku japonského papíru	135
Obrázek 103 Čištění pergamenových mezivazných přelepů – vlevo stav před zásahem, vpravo po zásahu (detail).....	135
Obrázek 104 Čištění kovových prvků – vlevo stav před zásahem, vpravo po zásahu (detail)....	136
Obrázek 105 Zrestaurovaný objekt s Phase-boxem a adjustovanými fragmenty	136
Obrázek 106 Tříčtvrteční pohled na přední desku, hřbet a dolní ořízku před zásahem	137
Obrázek 107 Tříčtvrteční pohled na přední desku, hřbet a dolní ořízku po zásahu.....	137
Obrázek 108 Tříčtvrteční pohled na zadní desku, přední a dolní ořízku před zásahem	138
Obrázek 109 Tříčtvrteční pohled na zadní desku, přední a dolní ořízku po zásahu	138
Obrázek 110 Přímý pohled na horní ořízku před zásahem	139
Obrázek 111 Přímý pohled na horní ořízku po zásahu	139
Obrázek 112 Přímý pohled na přední ořízku před zásahem	140
Obrázek 113 Přímý pohled na přední ořízku po zásahu	140
Obrázek 114 Přímý pohled na dolní ořízku před zásahem	141
Obrázek 115 Přímý pohled na dolní ořízku před zásahem	141
Obrázek 116 Přímý pohled na hřbet před zásahem	142
Obrázek 117 Přímý pohled na hřbet po zásahu	142
Obrázek 118 Pohled na příděští přední desky knihy před zásahem	143
Obrázek 119 P Pohled na příděští přední desky knihy po zásahu.....	143
Obrázek 120 Pohled na list Q7 verso a Q8 recto před zásahem	144
Obrázek 121 Pohled na list Q7 verso a Q8 recto po zásahu	144
Obrázek 122 Pohled na příděští zadní desky knihy před zásahem.....	145
Obrázek 123 Pohled na příděští zadní desky knihy po zásahu zásahem	145

15 SEZNAM TEXTOVÝCH PŘÍLOH

Text. p 1 Technický list pH neutrálního papíru 90 g/m ² (100% bavlna, Ceiba s.r.o).....	99
Text. p 2 Mikroskopické studium vybraných vzorků, s. 1/14	100
Text. p 3 Mikroskopické studium vybraných vzorků, s. 2/14	101
Text. p 4 Mikroskopické studium vybraných vzorků, s. 3/14	102
Text. p 5 Mikroskopické studium vybraných vzorků, s. 4/14	103
Text. p 6 Mikroskopické studium vybraných vzorků, s. 5/14	104
Text. p 7 Mikroskopické studium vybraných vzorků, s. 6/14	105
Text. p 8 Mikroskopické studium vybraných vzorků, s. 7/14	106
Text. p 9 Mikroskopické studium vybraných vzorků, s. 8/14	107
Text. p 10 Mikroskopické studium vybraných vzorků, s. 9/14	108
Text. p 11 Mikroskopické studium vybraných vzorků, s. 10/14.....	109
Text. p 12 Mikroskopické studium vybraných vzorků, s. 11/14.....	110
Text. p 13 Mikroskopické studium vybraných vzorků, s. 12/14.....	111
Text. p 14 Mikroskopické studium vybraných vzorků, s. 13/14.....	112
Text. p 15 Mikroskopické studium vybraných vzorků, s. 14/14.....	113