

Metodika preventivní konzervace vysoce hodnotných archeologických nálezů

Tato metodika vznikla v rámci programu na podporu aplikovaného výzkumu v oblasti národní a kulturní identity (program NAKI III, Ministerstvo kultury ČR) - projekt č. DH23P03OVV021 s názvem "Bořitovský poklad. Mincovnictví a dějiny Moravy počátku 12. věku v nové perspektivě".



Odpovědný řešitel a předkladatel:
PhDr. Jiří Doležel

Tvůrčí a autorský tým metodiky:
Mgr. Matěj Kmošek, DiS., doc. RNDr. Lukáš Richtera, Ph.D., Mgr. Eliška Petřeková

Veškeré fotografie a obrazové přílohy metodiky byly pořízeny členy tvůrčího a autorského týmu.

Archeologický ústav Akademie věd ČR, Brno, v. v. i.

Fotografie na titulní straně: Poklad denárových mincí z počátku 12. století z Bořitova.

Oponentní posudky k metodice zpracovali:

PhDr. Jan Frolík, CSc.; Archeologický ústav Akademie věd ČR, Praha, v. v. i.

Mgr. Martin Tomášek, Ph.D.; Národní památkový ústav, generální ředitelství Praha

Ministerstvo kultury, Maltézské náměstí 1, Praha 1, 118 11, odbor výzkumu a vývoje vydalo
pod č. j. **DOPLNIT** a Sp. zn. **DOPLNIT** Osvědčení č. **DOPLNIT** o uznání uplatnění metodiky.

Obsah

I. Charakteristika a cíle metodiky a cílová skupina uživatelů	3
II. Teoretická a vědecká východiska	4
1. Materiálová charakteristika vysoce hodnotných archeologických nálezů	4
2. Principy preventivní konzervace	6
3. Mezinárodní standardy konzervování archeologických nálezů	8
4. Rizikové faktory pro dlouhodobé uchování	9
5. Analytické postupy dokumentace a vyhodnocení	11
III. Aplikační část – Praktické postupy a návody	15
1. Diagnostika a dokumentace	15
2. Čištění a stabilizace	23
3. Podmínky uložení	28
V. Závěr	33
VI. Seznam použité literatury	34
VII. Seznam zkratek	36

I. Charakteristika a cíle metodiky a cílová skupina uživatelů

Metodika preventivní konzervace vysoce hodnotných archeologických nálezů je odborný postup určený pro laboratorní pracoviště různých institucí, jehož cílem je zlepšit péči, ochranu a zachování movitého kulturního dědictví, zejména v aplikaci na archeologické artefakty z drahých kovů. Metodika se zaměřuje na moderní, šetrné a systematické ošetření cenných archeologických předmětů s důrazem na dlouhodobé uchování, prevenci poškození a ochranu kulturní hodnoty a autenticity nálezů bez nadměrných či nevratných zásahů. Celkově jde o vědecky podložený komplexní a v praxi využitelný návod, který podporuje efektivní ochranu, prevenci, záchranu a prezentaci kulturního dědictví.

Metodika usiluje o představení postupů vedoucích k minimalizaci degradačních procesů působících na artefakty v prostředí depozitářů, výstavních prostor i během transportu, o standardizaci postupů preventivní konzervace s důrazem na kontrolu mikroklimatu. Umožňuje zvolit vhodné obalové a ukládací materiály a minimalizovat riziko poškození při manipulaci či transportu. Skrze propojení vědeckých poznatků a praxe cílí zejména na vhodnou volbu materiálových analýz a využití jejich výsledků pro vyhodnocení stavu nálezů, stanovení optimálních konzervačních podmínek jak omezit či oddálit degradaci bez nutnosti invazivních zásahů, případně na aplikaci vhodných šetrných zásahů. Cílem je taktéž zvýšení odborné kapacity institucí, které spravují vysoce hodnotné předměty kulturního dědictví.

Cílovou skupinou uživatelů jsou především profesionální konzervátoři-restaurátoři specializující se na kovové materiály a drahé kovy, kurátoři a správci sbírek výzkumných archeologických institucí, muzeí a galerií, odborníci na numismatiku, odborní pracovníci památkové péče a státních institucí odpovědných za uchování movitého kulturního dědictví, archeologové a odborníci na materiálové analýzy, kteří poskytují vstupní data o charakteru a stavu nálezů. V neposlední řadě je však metodika určena rovněž pro specializované pracovníky archivů a depozitářů, kteří zajišťují dlouhodobé uložení artefaktů, a případně také pro vzdělávací instituce, využívající metodiku při výuce konzervace a restaurování. Všichni tito uživatelé metodiky mohou dále také kultivovat komunitu neprofesionálních zájemců o archeologii i sběratelů – numismatiků, spolupracujících s odborníky z oprávněných institucí, a přispět tak k efektivnější prevenci i záchraně movitého kulturního dědictví.

Současný stav péče o vysoce hodnotné archeologické nálezy z drahých kovů je charakterizován především důrazem na základní preventivní konzervaci, která se v praxi opírá o obecné standardy pro ukládání a manipulaci s kovovými materiály. Tyto postupy však často nejsou dostatečně specifické pro zvláštní vlastnosti drahých kovů a jejich slitin, které mohou reagovat odlišně než běžné kovy. Řada dnes běžně aplikovaných postupů není pro vysoce hodnotné nálezy vhodná jak z hlediska reverzibility, tak zachování historické hodnoty předmětů a jejich autentického fyzického stavu, umožňujícího aplikaci pokročilých analytických metod. V mnoha institucích se navíc setkáváme s nejednotností v metodách monitoringu mikroklimatu, rozdílnou kvalitou použitých obalových materiálů a omezenými možnostmi systematického využití moderních materiálových analýz pro stanovení optimálních podmínek uložení a postupu konzervátorského zásahu. Aktuální potřeba inovace spočívá především v zavedení jednotného, vědecky podloženého metodického rámce, který by sjednotil přístup k

preventivní konzervaci a umožnil efektivní propojení poznatků z materiálových analýz s praktickými postupy péče.

II. Teoretická a vědecká východiska

1. Materiálová charakteristika vysoce hodnotných archeologických nálezů

Pod pojmem vysoce hodnotné archeologické nálezy jsou v rámci metodiky myšleny takové artefakty, které vynikají svou kulturní, historickou, vědeckou, materiálovou nebo společenskou hodnotou a jejichž ztráta či poškození by znamenaly nenahraditelnou újmu pro kulturní dědictví. Do této kategorie spadají především předměty z drahých kovů, jako je zlato a stříbro a jejich slitiny, případně kombinované s dalšími vzácnými materiály, které mají vysokou finanční i sbírkovou hodnotu. Jako vysoce hodnotné jsou označovány také nálezy s výjimečným uměleckým zpracováním, dokladem technologických dovedností dané epochy nebo s mimořádnou archeologickou vypovídací schopností. Významnou roli zde hraje rovněž archeologický kontext, v němž byly předměty objeveny – ať už jde o nálezy funerální, depotní, sídlištní, či z prostředí vodních sedimentů. Původní uložení těchto artefaktů může zásadně ovlivňovat jejich význam a interpretaci, tak i požadavky na konzervaci. Do skupiny vysoce hodnotných archeologických nálezů tedy patří například unikátní zlaté a stříbrné šperky, rituální a votivní předměty, numismatické soubory, artefakty z hrobových celků elitních jedinců, předměty reprezentující kontakty a obchod na dálku, či objekty s mimořádným stupněm zachování a autenticity. S ohledem na početnost nálezů dnes v popředí stojí především rozsáhlé numismatické soubory, jejichž kvantita a koncentrace poskytují mimořádně cenné informace o ekonomických, mocenských i kulturních vztazích a na jejichž ošetření se mimo jiné zaměřuje předložená metodika. Vzhledem k reálné aplikovatelnosti metodiky je ústřední zájem věnován předmětům z drahých kovů, případně kombinovaným s dalšími vzácnými materiály.

Specifika společná pro drahé kovy a kombinace s dalšími materiály zahrnují nutnost pravidelného monitoringu stavu povrchu a mikroklimatu, používání senzitivních detekčních metod k odhalení polutantů a integraci bezpečnostních opatření vzhledem k vysoké hodnotě těchto artefaktů. S přihlédnutím k jejich komplexnímu charakteru se preventivní konzervace opírá nejen o stabilní prostředí a minimalizaci zásahů, ale i o mezioborovou spolupráci konzervátorů, analytiků a kurátorů.

Zlato a jeho slitiny

Zlato (Au) je mimořádně stabilní a chemicky ušlechtilý kov s vysokou chemickou stabilitou, prakticky netečný vůči většině běžných korozních činidel. Nekoroduje v přítomnosti kyslíku, vody ani většiny kyselin, výjimkou je lučavka královská a některé komplexotvorné roztoky. Čisté zlato má sytě žlutou barvu a vysoký lesk, který si dlouhodobě uchovává. V archeologických nálezech se vyskytuje obvykle ve slitinách se stříbrem a mědí, kde příměsi mohou výrazně ovlivnit jeho barevný tón a korozní stabilitu. Z hlediska koroze dochází v praxi k degradaci méně ušlechtilých příměsí (měď, stříbro), které

mohou být vázány v leguře. Má vysokou tažnost a kujnost – lze je vytáhnout do drátů či rozklepat na extrémně tenké fólie (zlaté plátky). Je měkké, což zvyšuje náchylnost k mechanickému poškození, deformaci a otěru. Problémy se obvykle vztahují spíše k povrchovým nečistotám, sedimentům a krustám vzniklým v archeologickém prostředí. Vzhledem k měkkosti zlata je zásadní šetrná manipulace a volba stabilních ukládacích materiálů, které zamezí deformaci nebo otěru. Žádoucí je čištění pokud možno jen minimální, důsledně v takové míře, aby nebyla narušena autentická povrchová vrstva ani stopy užívání. Uložení vyžaduje stabilní mikroklimatické podmínky, důsledné omezení mechanického namáhání a ochranu proti kontaminaci povrchu.

Stříbro a jeho slitiny

Stříbro (Ag) je oproti zlatu kov značně chemicky reaktivnější, i když v čistém stavu není náchylné k oxidaci kyslíkem. Typickým projevem jeho degradace je zčernání povrchu (tarnishing) způsobené reakcí se sirnými sloučeninami, při níž vzniká sulfid stříbrný (Ag_2S). V půdním prostředí může docházet k mineralizaci povrchu a tvorbě chloridů či karbonátů. Stříbro má nejvyšší elektrickou i tepelnou vodivost ze všech kovů a vysoký optický lesk. Je poměrně měkké a kujné, při dlouhodobém zatížení nebo působení korozních procesů však může křehnout. U archeologických nálezů bývá častá mineralizace povrchu a vnitřní křehnutí materiálu, což zásadně zvyšuje riziko mechanického poškození. Slitiny stříbra s mědí mají vyšší pevnost, ale současně nižší korozní odolnost, protože měď snadno podléhá korozi a iniciuje degradaci celé slitiny. V praxi se mezi archeologickými nálezy téměř nikdy nesetkáváme s vysoce ryzostním stříbrem, ale s jeho slitinou primárně s mědí s příměsí olova, bismutu, rtuti, cínu, zinku apod. Preventivní opatření zahrnují především kontrolu a eliminaci polutantů v prostředí, použití obalových materiálů se schopností vázat korozivní složky (např. aktivní uhlí, Pacific Silvercloth, speciální RP papíry) a zajištění vhodného mikroklimatu s nízkými a stabilními hodnotami relativní vlhkosti (obvykle 30–40 %). Odstraňování černání je posuzováno individuálně a provádí se pouze tehdy, pokud jeho přítomnost představuje riziko pro další degradaci nebo zcela zakrývá povrchové detaily. Vždy se volí šetrné metody, které nepoškozují povrchovou strukturu a nezpůsobují další destabilizaci.

Kombinované materiály

Ve většině archeologických nálezů se drahé kovy vyskytují ve formě slitin, kde příměsi (měď, stříbro, někdy i zinek, cín či olovo) zásadně ovlivňují jak fyzikální vlastnosti, tak i korozní stabilitu. Slitiny se stávají tvrdšími a odolnějšími vůči mechanickému poškození, ale ztrácejí část ušlechtilosti – méně ušlechtilé složky jsou selektivně korodovány, což vede k nehomogenitě, pórovitosti a změně barvy povrchu. Archeologické slitiny proto často vykazují kombinaci stabilních ušlechtilých fází a degradovaných příměsí.

Artefakty z drahých kovů kombinovaných s dalšími vzácnými materiály (například šperky osazené drahými kameny, emailové práce, předměty se slonovinou, sklem či organickými komponenty) představují specifickou skupinu, kde je nutné zohlednit rozdílné fyzikálně-chemické vlastnosti jednotlivých složek. Drahé kameny a sklo jsou citlivé na prudké změny teploty a mechanické namáhání,

zatímco organické materiály (dřevo, textil, kůže, slonovina) reagují na vlhkost a mohou být zdrojem solí či kyselin po degradaci. Preventivní konzervace proto musí být vždy kompromisem, kdy se parametry prostředí nastavují podle nejcitlivější složky předmětu. Zásadní je zajištění stabilního mikroklimatu bez prudkých výkyvů vlhkosti a teploty, šetrná fixace a ukládání, které zamezí kontaktu mezi materiály s rozdílnými fyzikálními vlastnostmi, a použití inertních obalových materiálů.

2. Principy preventivní konzervace

Preventivní vs. sanační konzervace

Preventivní konzervace představuje soubor opatření, jejichž cílem je předejít poškození či degradaci předmětů a zajistit jejich dlouhodobé uchování v co nejpůvodnějším stavu (Kolektiv autorů 2011, kap. 1.2.3). Zahrnuje kontrolu a stabilizaci prostředí (mikroklima, světlo, stálá teplota, polutanty), vhodné ukládání a obalové materiály, minimalizaci manipulace, bezpečnostní opatření či pravidelný monitoring stavu sbírkových předmětů. Klíčovým principem je neinvazivnost – preventivní konzervace nepůsobí přímo na strukturu nebo povrch artefaktu, ale vytváří podmínky, které zpomalují či zastavují degradační procesy.

Sanační konzervace, někdy označovaná také jako zásahová nebo aktivní konzervace, se uplatňuje v situacích, kdy již k poškození předmětu došlo, nebo probíhají degradační procesy, které ohrožují jeho další existenci (Kolektiv autorů 2011, kap. 1.2.4). Zahrnuje cílené, obvykle invazivnější zásahy, jejichž účelem je stabilizace materiálu, odstranění či zpomalení aktivních korozních procesů a v krajním případě i částečná obnova vzhledu. Typickými příklady jsou čištění povrchových vrstev, konsolidace křehkých struktur, aplikace ochranných povlaků nebo neutralizace korozních produktů.

Rozdíl mezi oběma přístupy spočívá tedy v charakteru a načasování zásahů: preventivní konzervace působí nepřímě a snaží se degradaci předejít, zatímco sanační konzervace reaguje na již probíhající či existující poškození a vyžaduje přímý zásah do samotného artefaktu. V případě archeologických nálezů následuje po objevu artefaktu primárně sanační konzervace zaměřující se na odstranění povrchových nečistot, nesoudržných korozních produktů a obecně konsolidaci předmětů. Až následně je po dokumentaci, analýzách a vědeckém zpracování nálezů předmět uložen a aplikována konzervace preventivní. V mnohých případech je v praxi však primární zájem věnován na sanační konzervaci a preventivní konzervace je zásadně upozaděna, což vede k postupné degradaci nálezů a opakování sanační konzervace. K zlepšení této situace má přispět právě předložená metodika.

Obecné zásady preventivní konzervace

Princip minimální intervence. Základním pravidlem preventivní konzervace je zásada, že s kulturním předmětem se zasahuje pouze tehdy, pokud je to nezbytně nutné k jeho ochraně, a v rozsahu, který je co nejmenší. Preventivní opatření mají přednost před zásahy sanačními – cílem je především zajistit stabilní prostředí a minimalizovat rizika, aby nebylo nutné do samotné struktury nebo povrchu artefaktu zasahovat.

Reverzibilita a stabilita použitých materiálů. Veškeré materiály používané pro ukládání, balení a vystavování musí být chemicky stabilní, inertní a pokud možno reverzibilní, tedy snadno odstranitelné bez poškození artefaktu. Je nutné volit konzervační materiály s doloženými vlastnostmi, které nevylučují kyseliny, plastifikátory ani těkavé látky, jež by mohly iniciovat korozní procesy.

Dokumentace. Každý krok preventivního konzervačního procesu musí být podrobně zdokumentován, a to včetně počátečního stavu předmětu, popisu použitých materiálů, postupů i výsledků. Dokumentace představuje nedílnou součást odborné péče, zajišťuje transparentnost postupů a umožňuje budoucí odborné zhodnocení i případnou revizi zásahů.

Bezpečnost a ochrana zdraví při práci. Preventivní konzervace zahrnuje i aspekty ochrany pracovníků. Při práci s chemikáliemi, používání sorpčních materiálů či při manipulaci s těžkými nebo křehkými artefakty je nutné dodržovat bezpečnostní protokoly a chránit zdraví konzervátorů. Správné pracovní postupy a ergonomické pomůcky jsou součástí standardní praxe.

Etické aspekty. Konzervátor musí respektovat autenticitu a integritu předmětu. Původní povrchové vrstvy (například ušlechtilá patina) mají kulturní a historickou hodnotu a nesmí být odstraňovány, pokud nepředstavují přímé ohrožení stability artefaktu. Rozlišování mezi přirozenou patinou a destruktivní korozí je klíčové pro správné rozhodování. Zásahy by měly vždy směřovat k zachování informační hodnoty předmětu, nikoli pouze k estetickému účinku.

Kontrola a stabilizace prostředí. Jedním z pilířů preventivní konzervace je zajištění stabilního a vhodného mikroklimatu, regulace relativní vlhkosti, teploty, světelných podmínek a eliminace polutantů. Stabilní prostředí zpomaluje degradaci a umožňuje dlouhodobé uchování bez nutnosti invazivních zásahů.

Minimalizace manipulace a transportu. Každý fyzický zásah představuje riziko poškození, proto se doporučuje omezit manipulaci s předměty na nezbytné minimum. Pokud je transport nutný, je třeba zajistit stabilní uchycení, ochranu před otřesy a kontrolované podmínky prostředí během přepravy.

Mezioborová spolupráce. Preventivní konzervace vyžaduje součinnost konzervátorů, kurátorů, archeologů, analytiků a techniků. Společné rozhodování a sdílení informací zajišťuje komplexní ochranu předmětů a omezuje riziko nevratných chyb.

Pravidelný monitoring a kontrola. Průběžné sledování stavu artefaktů a prostředí (vlhkost, teplota, přítomnost polutantů, výskyt biologické aktivity) umožňuje včasné odhalení potenciálních problémů a rychlou reakci. Monitoring představuje základní nástroj dlouhodobé preventivní ochrany.

3. Mezinárodní standardy konzervování archeologických nálezů

Mezinárodní rámec pro péči o archeologické nálezy je tvořen souborem doporučení, zásad a technických norem, které sjednocují postupy konzervace a správy kulturního dědictví na globální úrovni. Tyto standardy jsou formulovány a prosazovány zejména prostřednictvím tří hlavních institucí:

ICCROM (International Centre for the Study of the Preservation and Restoration of Cultural Property) se zaměřuje na výzkum, vzdělávání a šíření osvědčených postupů v oblasti konzervace. Publikuje metodiky a manuály pro preventivní i sanační konzervaci, klade důraz na šetrnost zásahů, minimalizaci rizik spojených s manipulací a uchováním a na mezinárodní spolupráci a výměnu znalostí. Pro archeologické nálezy stanovuje zásady odpovědného nakládání s autenticitou a důraz na preventivní přístup. Pro obecnou informaci o ICCROM srov. <https://www.iccrom.org/>, z konkrétních odkazů k problematice preventivní konzervace viz kupř. <https://www.iccrom.org/publication/standards-preventive-conservation-meanings-and-applications>.

ICOM (International Council of Museums: <https://icom.museum/en/>) prostřednictvím svého výboru ICOM-CC (Committee for Conservation: <https://www.icom-cc.org/>) vydává doporučení pro správu a uchovávání sbírek, která zahrnují i archeologické materiály. Směrnice ICOM zdůrazňují etické aspekty konzervátorské praxe, zásadu reverzibility zásahů, dokumentace každého kroku a význam preventivní konzervace jako prioritního nástroje dlouhodobé ochrany. V rámci výboru ICOM-CC je možné upozornit kupříkladu na pracovní skupinu Preventive Conservation (<https://www.icom-cc.org/en/working-groups/preventive-conservation>), vydávající periodikum Preventive Conservation Newsletter i další materiály k problematice preventivní konzervace.

ISO (International Organization for Standardization: <https://www.iso.org/home.html>) vytváří technické normy, které mají přímý dopad na prostředí a podmínky, v nichž jsou kulturní objekty uchovávány. Relevance pro archeologické nálezy se týká především standardů pro kontrolu klimatu v depozitářích a výstavních prostorách (např. ISO 11799:2024 pro uložení archivních a knihovních dokumentů: <https://www.iso.org/standard/82306.html>; ISO 16893:2016 pro desky na bázi dřeva, dále normy týkající se světla, polutantů a balicích materiálů: <https://www.iso.org/standard/60033.html>). Tyto normy poskytují kvantitativní parametry pro teplotu, relativní vlhkost, čistotu prostředí a bezpečné balicí materiály, čímž doplňují doporučení ICCROM a ICOM o praktické technické směrnice.

Společným jmenovatelem mezinárodních standardů je důraz na preventivní konzervaci, interdisciplinární přístup, respekt k autenticitě a dokumentovanosti zásahů, a snaha o harmonizaci postupů mezi jednotlivými institucemi a státy. Dodržování těchto zásad zajišťuje, že konzervace archeologických nálezů je v souladu s globálně uznávanými principy a umožňuje jejich srovnatelné uchovávání pro budoucí generace.

4. Rizikové faktory pro dlouhodobé uchování

Klimatické a mikroklimatické podmínky

Stabilita teploty a relativní vlhkosti patří k nejvýznamnějším faktorům ovlivňujícím dlouhodobé uchování archeologických nálezů z drahých kovů a jejich kombinací s dalšími materiály (Kolektiv autorů 2018). Kolísání těchto parametrů může vést k mechanickému namáhání, vzniku trhlin nebo ke zrychlení korozních procesů méně ušlechtilých příměsí. Zvláště citlivé je stříbro a jeho slitiny, kde zvýšená vlhkost a přítomnost polutantů podporuje zčernání povrchu (tarnishing) a tvorbu korozních produktů.

Vystavení v expozicích v mikroklimatických hermetických vitrínách se stabilizovanou vlhkostí a filtračními materiály proti polutantům se doporučuje zejména u stříbra, případně u kombinace stříbra s organickými materiály nebo u předmětů, kde hrozí migrace vlhkosti a solí mezi jednotlivými složkami. Tyto vitríny zajišťují kontrolované prostředí, které výrazně omezuje riziko chemické degradace.

Monitorování podmínek musí být systematické – pravidelné sledování stavu povrchu a mikroklimatu je nezbytné pro včasné odhalení změn. U stříbra je vhodné využívat i senzory pro detekci polutantů, zejména sloučenin síry. Dlouhodobý záznam umožňuje identifikovat i pomalé trendy, které by jinak zůstaly nepozorovány.

Znečištění, světlo a manipulace

Vnější polutanty, prach a plyny (např. oxidy síry nebo dusíku) představují významné riziko pro korozní procesy. Je proto nezbytné volit inertní obalové a konstrukční materiály, pravidelně čistit prostředí depozitářů a zabránit přímému styku s látkami, které mohou uvolňovat těkavé organické složky nebo kyseliny.

Světelné záření, zejména ultrafialové, urychluje degradaci organických složek a může nepříznivě působit na povrchové vrstvy kovů i přidružených materiálů (email, textil, dřevo). Intenzita osvětlení při vystavování by měla být regulována v souladu s mezinárodními normami, s využitím filtrů a časového omezení expozice.

Manipulace s artefakty musí být vždy minimalizována a prováděna za podpory vhodných (inertních, měkkých a bezprašných) podložek a fixačních systémů, aby nedošlo k narušení spojů mezi jednotlivými materiály. Stabilní fixace předmětů a minimalizace vibrací a otřesů jsou klíčové při transportu i při dlouhodobém uložení. Každý přesun předmětu by měl být plánován a prováděn za účasti kvalifikovaného personálu.

Skladování

Dlouhodobé uložení vyžaduje použití materiálů s doloženou chemickou inertností (archivní papír, bavlněné textilie, polyetylen, polypropylen, polyesterové fólie). Kovové artefakty by měly být uloženy odděleně od materiálů s rizikem uvolňování kyselin či sirných sloučenin. Vhodné je použití uzavřených kontejnerů s regulací vlhkosti a absorbéry polutantů. Důležité je rovněž označení a přehledná evidence, která omezuje nadbytečnou manipulaci.

Biologická rizika

I když samotné drahé kovy nejsou živným prostředím pro mikroorganismy, jejich kombinace s organickými materiály (dřevo, textil, kůže, pergamen, slonovina) vytváří vhodné podmínky pro růst plísní či bakterií, zejména při zvýšené vlhkosti. Biologická aktivita může vést k uvolňování kyselin a solí, které následně ovlivňují i kovové části předmětu. Preventivní opatření zahrnují udržování nízké a stabilní relativní vlhkosti, čisté prostředí bez prachu a pravidelnou inspekci sbírek.

Havarijní situace

Požár, povodeň, havárie klimatizace nebo strukturální poškození budovy představují zásadní ohrožení. Vysoké teploty mohou deformovat a poškodit kovy i doprovodné materiály, voda vyvolává okamžitou korozi méně ušlechtilých složek a podporuje biologický růst. Součástí preventivní konzervace musí být proto i krizové plány evakuace, havarijní protokoly pro sbírky a školení personálu v rychlém a šetrném zásahu. Důležité je rovněž technické zabezpečení objektu – detekce kouře a požáru, zábrany proti vodě a pravidelná kontrola technických instalací.

Bezpečnostní aspekty

Vzhledem k vysoké finanční a kulturní hodnotě předmětů je nezbytná integrace bezpečnostních opatření proti krádeži, vandalismu či poškození (Kolektiv autorů 2018). To zahrnuje technické zabezpečení prostor (kamerové systémy, alarmy, trezory, trezorové vitríny), kontrolu přístupu, ale i krizové plány pro mimořádné situace.

Přehled rizikových faktorů a preventivních opatření

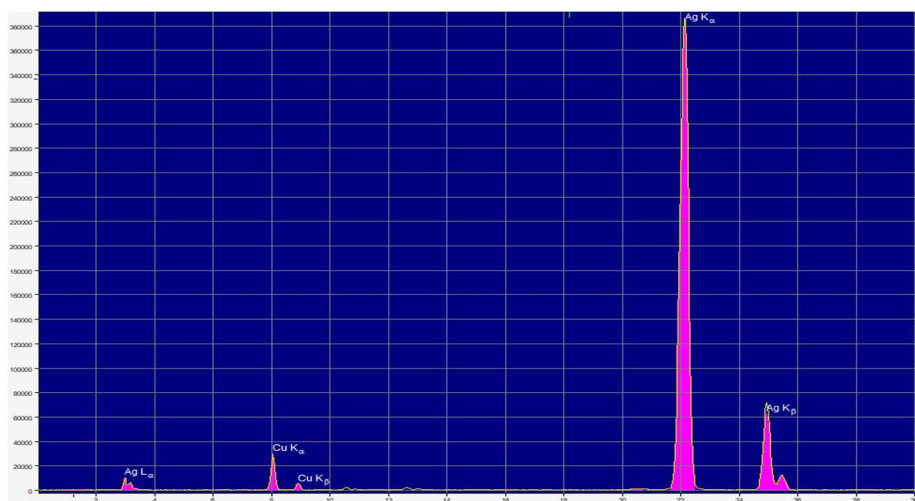
Tento systémový výčet shrnuje hlavní rizikové faktory, které mohou ohrozit dlouhodobé uchování archeologických nálezů z drahých kovů a jejich kombinací s dalšími materiály. Slouží jako praktický nástroj pro pracovníky muzeí, depozitářů a konzervátorských pracovišť, kteří potřebují rychle identifikovat potenciální hrozby a přijmout vhodná preventivní opatření. Přehled zároveň umožňuje sjednotit postupy v praxi a usnadňuje plánování péče o sbírky tak, aby byla minimalizována potřeba zásahové (sanační) konzervace.

5. Analytické postupy dokumentace a vyhodnocení

Analytické postupy představují základní nástroj pro poznání materiálového složení, technologického provedení a stavu dochování vysoce hodnotných archeologických nálezů. Jsou nezbytným podkladem nejen pro určení vhodné strategie preventivní konzervace, ale i pro dlouhodobé sledování změn a vyhodnocování účinnosti přijatých opatření. V rámci metodiky se klade důraz na nedestruktivní a minimálně invazivní metody, které respektují jedinečnost a vysokou hodnotu zkoumaných artefaktů. Pro zjištění informací nezkreslených především korozním poškozením předmětů je třeba nedestruktivní analýzy vhodně kombinovat s analýzami semidestruktivními, či destruktivními. Použití těchto metod je přípustné pouze tehdy, pokud přínos pro vědecké poznání či konzervaci výrazně převyšuje riziko zásahu, a vždy musí mít důsledně naplánovanou vzorkovací strategii a výzkumné otázky a musí být řádně zdokumentováno a eticky odůvodněno. Při dokumentaci a analýze stavu vysoce hodnotných archeologických nálezů je vhodné postupovat od méně invazivních a plošně aplikovatelných metod k metodám detailním a případně vzorkovacím (Hrubý et al. 2023; Drábková 2025, 25).

Materiálová analýza a identifikace slitin

Klíčovým krokem je stanovení chemického složení drahých kovů a jejich slitin, které ovlivňuje jak mechanické vlastnosti, tak i odolnost vůči korozním procesům. Využívají se zejména metody nedestruktivní rentgenové fluorescenční spektrometrie (XRF; obr. 1), případně doplněné o elektronovou mikroanalýzu (SEM-EDS), která umožňuje sledovat i mikroskopické heterogenity. Tyto výsledky jsou zásadní pro posouzení rizik degradace (např. vyšší obsah mědi ve zlatých a stříbrných slitinách) a pro následné stanovení konzervačních opatření. Pro určení charakteru použité slitiny (v praxi především pro slitiny stříbra a mědi) je možné využít zcela nedestruktivní hydrostatické stanovení ryzosti. V některých případech může být výhodné využití práškové rentgenové difrakce (XRD, resp. PXRD) nebo mikrodifrakce (mikro XRD), tyto techniky dovolují v případě krystalického materiálu spolehlivou identifikaci korozních produktů, anebo mohou napomoci k odhalení technologických postupů využitých při výrobě zkoumaného předmětu.



Obr. 1: Spektrum z XRF měření stříbrného předmětu s příměsí mědi.

Semidestruktivní a destruktivní analýzy

Semidestruktivní metody vyžadují pouze drobný odběr materiálu, který neovlivní vizuální ani funkční integritu předmětu. Umožňují detailní poznání složení a struktury kovu (Hložek 2008; Kmošek 2017). Typické příklady: metalografie leštěných výbrusů, mikrovrtvy pro stanovení stopových prvků, LA-ICP-MS (Laser Ablation Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry), XPS (X-ray photoelectron spectroscopy, známé též pod zkratkou ESCA – elektronová spektroskopie pro chemickou analýzu). Některé z těchto postupů (měření laserovou ablací) ovšem předpokládají nutnou vhodnou úpravu vzorku. Destruktivní metody znamenají naproti tomu odběr většího množství materiálu a trvalý zásah do artefaktu. Používají se pouze ve výjimečných případech, např. při studiu provenience kovu nebo izotopového složení. Příklady: AAS (Atomic Absorption Spectroscopy), ICP-MS (Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry), NAA (Neutron Activation Analysis).

Určení obsahu drahého kovu v jeho slitině (tj. určení ryzosti) nemusí být zdaleka tak triviální problematikou, jak by se mohlo na první pohled jevit. Díky technologickým postupům při výrobě předmětů, povrchovým úpravám anebo vlivem korozních procesů může kovový předmět vykazovat nehomogenitu v distribuci jednotlivých prvků. V takovém případě nedestruktivní analýzy obvykle selhávají a neposkytují relevantní informace o původním nebo celkovém složení slitiny. Důvodem je často povrchovost nedestruktivních technik, které jsou schopny analyzovat zkoumaný předmět do omezené hloubky (obvykle se jedná o pouze nepatrné zlomky milimetru). V případě, že je materiál jen povrchově upraven, lze za určitých zjednodušujících předpokladů k určení složení slitiny využít hydrostatické stanovení hustoty (tzv. hydrostatickou zkoušku). Pokud je ale materiál zkoumaného předmětu zasažen korozí, což je obvykle spojeno i se ztrátou méně ušlechtilého kovu, nelze běžnými analytickými technikami jeho původní složení určit. Pokud je možné využít destruktivní analýzy, může být původní složení slitiny odhaleno s využitím obrazové analýzy mikrostruktury metalografického výbrusu.

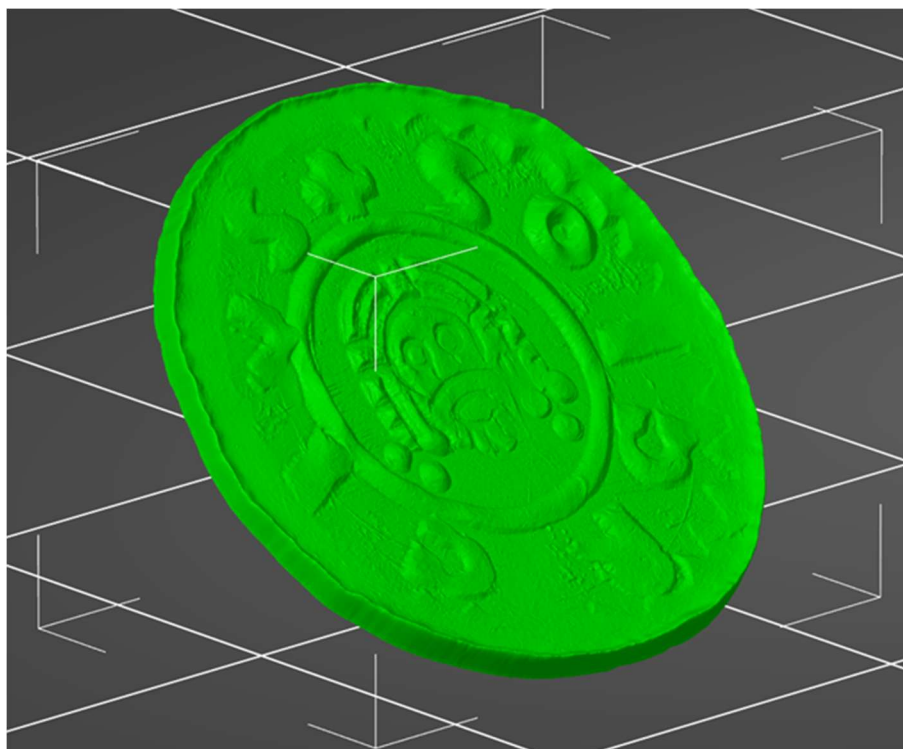
Stratigrafie a povrchové vrstvy

Dokumentace povrchových úprav, korozních vrstev a patiny poskytuje informace o výrobní technologii (u mincí např. bělení), užívání i o postdepozičních procesech. Používají se optické a elektronové mikroskopy, případně metody FTIR nebo Ramanovy spektroskopie pro určení složení korozních produktů a organických zbytků. Tyto údaje napomáhají rozhodnout, zda je povrchová vrstva stabilní a má být zachována, nebo zda představuje riziko pro integritu předmětu.

Dokumentace stavu předmětu

Fotografická a 3D dokumentace patří mezi základní postupy. Standardní barevná fotografie doplněná o makrofotografii detailů poskytuje přehledný vizuální záznam. Digitální 3D modely (obr. 2; fotogrammetrie, laserové skenování) slouží nejen k dokumentaci, ale i k monitorování změn v čase. Každý předmět by měl být zdokumentován ve svém aktuálním stavu před uložením, vystavením či transportem, přičemž záznam je uchováván v digitální databázi. Kvalitní dokumentace se ukazuje jako

zcela zásadní právě v případě preventivní konzervace, která vyžaduje systematické sledování. Vyhodnocování zahrnuje porovnání dokumentace v časových intervalech a posouzení, zda nedochází k progresi korozních procesů nebo mechanickým změnám.



Obr. 2: Trojrozměrný model mince naskenované pomocí digitálního mikroskopu sloužící jako detailní dokumentace předmětu.

Nedestruktivní zobrazovací techniky (RTG, CT)

Rentgenové snímkování (RTG) a počítačová tomografie (CT) patří mezi klíčové nedestruktivní metody pro dokumentaci a analýzu archeologických nálezů z drahých kovů. RTG umožňuje rychle odhalit vnitřní trhliny, dutiny, pájecí spoje či zkorodovaná jádra a poskytuje cenné informace o technologii výroby i stavu zachování (obr. 3). CT vytváří detailní 3D rekonstrukce vnitřní struktury, umožňuje vizualizovat vrstvení, porozitu a skryté detaily i u kombinovaných materiálů a výsledná data lze využít pro digitální archivaci či modelování. Obě techniky jsou neinvazivní a významně přispívají k dlouhodobé ochraně a poznání artefaktů.



Obr. 3: Rentgenografický snímek mince s viditelným průmětem reliéfu na aversu i reversu mince.

Vyhodnocení a integrace výsledků

Analytické údaje musí být propojeny s konzervátorskou praxí. Zjištěné složení slitiny, charakter povrchových vrstev nebo výsledky monitoringu prostředí slouží jako podklad pro doporučení konkrétních opatření. Vyhodnocení má interdisciplinární charakter a probíhá ve spolupráci konzervátorů, archeologů, kurátorů a odborníků na materiálovou analýzu.

III. Aplikační část – Praktické postupy a návody

1. Diagnostika a dokumentace

Pro řádné posouzení podmínek preventivní konzervace je nutné provést důkladnou diagnostiku nálezů a dokumentaci jejich stavu včetně provedení relevantních analýz (viz kapitola II.5). V případě nevhodného stavu nálezů je mnohdy třeba před samotným uložením uskutečnit čištění a/nebo stabilizaci, která při správné volbě postupů zajišťuje větší efektivitu preventivní konzervace a menší pravděpodobnost sekundární koroze.

Vliv koroze na stav předmětů

Korozní procesy mají na stav předmětů z drahých kovů zásadní vliv, přestože se tyto materiály obecně vyznačují vyšší chemickou stabilitou než běžné kovy. Detailní zhodnocení hledisek poškození kovového materiálu koroze, a stejně tak i dopady okolního prostředí (Kolektiv autorů 2011, kap. 3), přesahují rámec tohoto pojednání, přesto je účelné zmínit alespoň zásadní aspekty. Čisté zlato je prakticky nekorozně, avšak slitiny zlata s mědí nebo stříbrem mohou podléhat výrazným změnám – typicky jde o tmavnutí povrchu nebo vznik červených a hnědých skvrn v důsledku přítomnosti korozních produktů mědi. Stříbro je naopak vysoce náchylné k sulfidické korozi, při níž se vytváří vrstvy stříbrného sulfidu. V agresivním prostředí (s obsahem chloridů) dochází i ke vzniku stříbrného chloridu, který může předmět oslabit a vést k odlupování povrchových vrstev. U slitin stříbra a mědi (např. u mincí) je běžná dezintegrace povrchové vrstvy: měď koroduje rychleji, vznikají póry a předmět křehne či se drolí.

Koroze tedy způsobuje ztrátu povrchových detailů (ražba, rytiny, dekorativní prvky), mechanické oslabení materiálu (křehkost, lámavost, rozpad celého předmětu), změnu barevnosti a lesku (černání, skvrny, matný povrch), delaminaci vrstev u pokovených či povrchově upravených artefaktů (obr. 4; např. falza, bělené mince) a má za následek nespolehlivost čistě povrchových analýz, neboť korozní produkty mění složení povrchové vrstvy a mohou zkreslit výsledky nedestruktivních analýz. Z hlediska preventivní konzervace je proto zásadní korozi nejen zpomalit (kontrolou prostředí, vhodným uložením), ale především neodstraňovat necitlivě její produkty, protože právě ony nesou důležité informace o původním složení a technologii.



Obr. 4: Fotografie stříbrné mince se zjevnou delaminací povrchu s korozními produkty mědi pod povrchovou vrstvou bohatou na stříbro.

Vliv na rychlost, rozsah, ale i typ koroze může mít mikrostruktura materiálu. To jinými slovy znamená, že jeden a tentýž kov či slitina téhož složení může vykazovat odlišný rozsah poškození za stejných okolních podmínek jen díky velikosti krystalů nebo fázi, případně i díky deformacím způsobených odlišnými technologickými postupy. Tyto rozdíly mohou být dány rychlostí tuhnutí taveniny kovu nebo slitiny a rovněž jejím mechanickým zpracováním, a to jak v průběhu tuhnutí, resp. chladnutí, nebo až po jejím ztuhnutí. Takové rozdíly v chování lze typicky zaznamenat např. u mincí z vysoce kvalitního stříbra. Střížky starověkých antických nebo keltských mincí byly často odlévány nebo staveny z odváženého množství kovu a následně ještě zahorka raženy, případně před ražbou zahřáty. Dnes není výjimkou, že se tyto mince často i po poměrně malém nárazu rozbijí na několik kusů.

Podobné chování u středověkých mincí se stejným obsahem stříbra nepozorujeme. Důvodem je právě odlišná mikrostruktura kovu a její odolnost vůči korozi. U starověkých mincí mohlo dojít ke korozi podél hran zrn (krystalů) a tím ke zvýšení křehkosti střížku. Středověké mince byly naopak raženy na střížky nikoliv lité, ale vyrobené z vytepaného plechu. Ke korozi u nich proto dochází primárně na

povrchu, velmi často na hraně, která je vůči vstupu agresivních látek nejméně odolná anebo koroze primárně napadá místs defektů.

Podobně, jako vykazuje jistá specifika materiál kovového předmětu, je z hlediska koroze významné i prostředí, v němž byl předmět uložen a proměny, jimiž toto prostředí v průběhu času prošlo. Pro většinu kovových předmětů je obecně nepříznivé uložení v půdě s vysokou salinitou a proměnlivou vlhkostí, pro artefakty z vysoce kvalitního stříbra nebo pro předměty, které mají na povrchu vrstvu téměř ryzího stříbra, je často fatální vyšší obsah chloridových iontů (resp. halogenidových iontů obecně). V přímořských oblastech se s poškozením stříbrných mincí chloridovou a bromidovou korozí setkáváme naprosto běžně. Podobně nepříznivé následky mají i půdy ovlivněné především v posledním století antropogenní činností, zejména intenzivním využíváním umělých průmyslových hnojiv v zemědělství. Uvedené změny, pokud již nezasáhnou předmět v celém objemu, zásadně promění alespoň složení povrchové vrstvy.

Nedestruktivní analýza materiálového složení

K dostatečné identifikaci většiny korozních produktů či povrchových kontaminantů lze využít dnes již obecně velmi dobře dostupnou XRF analýzu. I s přenosnými přístroji je možná snadná identifikace v korozních produktech nejběžněji se vyskytujících lehčích prvků jakými jsou fosfor, síra a chlor, zjistit lze dobře i brom. V případě síry samozřejmě nelze rozlišit mezi sulfidy a sírany (sírany jsou ale obecně lépe rozpustnější ve vodě než sulfidy). Kyslík a uhlík pomocí XRF zjišťovat nelze, na jejich přítomnost lze ale obvykle usuzovat z absence ostatních prvků. V případě, že je žádoucí detekovat i uhlík, lze využít EDS analýzu; byť se jedná v porovnání s XRF o analýzu instrumentálně náročnější a dražší, je v dnešní době již poměrně dobře dostupná.

XRF spektrometry (především jejich přenosné alternativy) nabízejí možnost levné, snadno dostupné a rychlé analýzy materiálu ještě před samotným konzervátorským zásahem a umožňují tak optimalizovat často ne zcela vhodné a rutinně zavedené postupy. Volba šetrnějších postupů a jejich optimalizace na základě výsledků analýz vede především v případě artefaktů s nízkou ryzostí k výrazně lepším výsledkům jak po stránce vizuální, tak i materiálové. Časově náročnější, ale v některých případech opodstatněnou a výhodnou alternativu představuje μ XRF, které nabízí detailní mapování vybrané oblasti (nebo i celého předmětu) a poskytne tak přesnější informaci o distribuci jednotlivých prvků na povrchu a díky tomu umožní exaktnější přístup k interpretaci rozložení korozních produktů na povrchu nebo charakteru pokovení.

Podobnou výhodu nabízí i již zmíněná EDS analýza, v případě potřeby mapování větší části povrchu je ale důležité volit vhodné nastavení, neboť přístrojový čas této techniky je výrazně dražší. Jistou nevýhodu EDS oproti XRF představuje obvykle i výrazně menší energetický rozsah, který nedovoluje pro identifikaci těžkých kovů (cín, antimon, rtuť, olovo) využít spolehlivější a překryvy méně ovlivněné spektrální linie či série (tj. v uvedených případech K linie cínu a antimonu či kompletní L série v případě rtuti a olova). Interpretace pomocí L linií (v případě cínu a antimonu) anebo pomocí M linií (v případě rtuti a olova) může být značně komplikovaná díky četným překryvům s liniemi řady prvků, které se na

mincích běžně vyskytují (v případě olova dochází k částečnému překryvu se signály síry, série stříbra se prolíná se sérií cínu apod.). Další nevýhodou EDS je samozřejmě výrazně nižší citlivost i průnik, výsledky měření jsou proto často negativně ovlivněny nečistotami na povrchu. Pro primární inspekci materiálu před čištěním je proto EDS analýza obecně technikou méně vhodnou (může však být přínosná pro identifikaci lehčích prvků). Dobré porovnání výhod a limitů XRF a EDS nabízí pro lepší pochopení studie věnovaná analýze falza pražského groše (Richtera et al. 2022).

V případě, že je nutné posoudit oxidační stav vybraného prvku, může být cenným nástrojem XPS analýza. Jedná se však o analýzu striktně povrchovou, a pokud mají mít získané výsledky alespoň nějakou vypovídající hodnotu, je třeba provést očištění zkoumané oblasti pomocí laserové ablace. Techniku proto nelze v pravém slova smyslu označit za nedestruktivní, zkoumaná oblast je však obvykle mikroskopická a místo očištěné ablací není vizuálně patrné. V případě, že jsou zkoumány korozní produkty, u nichž existuje záměr je odstranit, nepředstavuje tento zásah žádný problém (Richtera 2012a; 2012b; 2021; Richtera – Hradil 2017).

Naprosto nezastupitelnou roli má XRF analýza pro identifikaci například dobových falz mincí. Přesto, že se s těmito mincemi nesetkáváme v mincovních depotech a nálezech příliš často, byly zaznamenány případy, kdy nevhodný postup při čištění mincí měl za následek jejich poškození a ztrátu cenných informací o technologii jejich pokovení (Kolář 1983). Lze s jistotou očekávat, že podobných neúspěchů bylo v minulosti ve skutečnosti mnohem více, ale nebyly přiznány anebo správně rozpoznány (falza byla považována za běžné mince, ale silně zkorodované). Je třeba mít na paměti, že některá falza mají v náleзовém stavu ještě poměrně dobře dochované pokovení či jeho zbytky a při šetrném způsobu ošetření lze alespoň zbytky tohoto pokovení zachovat a provést potřebné průkazné analýzy a dokumentaci. Spíše ve výjimečných případech se lze setkat i s nerozpoznanými falzy v muzejních sbírkách, což se obvykle týká depotů uložených v suchém neagresivním prostředí a tedy případů, kdy nebylo nutné nalezené mince čistit agresivnějším způsobem. Tyto vzácné případy jsou však dobrým dokladem skutečnosti, že rozpoznání po technologické stránce kvalitně provedených dobových falz v oběhu nebylo vůbec triviální. K nejčastěji zastoupeným dobovým falzům patří falza stříbrných mincí.

Hydrostatika

Mezi cenné nedestruktivní postupy, které nepodávají pouze povrchové informace, ale umožňují posoudit minci v celém jejím objemu, patří hydrostatická zkouška. Z hlediska potřebného vybavení jde o poměrně jednoduchou a technicky nenáročnou metodu, dostupnou většině odborných pracovišť (obr. 5). Její širší uplatnění ovšem často limitují vysoké nároky na přesnost měření i časovou investici. Tato technika umožňuje spolehlivě rozpoznat mince zasažené korozními procesy a v příznivých případech dokonce odhadnout množství mědi, které bylo z materiálu v důsledku degradace ztraceno. U kusů nezasažených korozi lze pak s vysokou mírou přesnosti určit nejen celkový obsah stříbra, ale také jejich ryzost, a to bez ohledu na složení povrchové vrstvy. Hydrostatická zkouška je však metodou čistě fyzikální, a proto neposkytuje údaje o chemickém složení slitiny; z toho důvodu je nezbytné kombinovat ji s dalšími analytickými metodami, například XRF. Omezením této metody je také nutnost

provést před vlastním měřením důkladné očištění mince, tedy odstranění ulpělé zeminy, korozních produktů i případných povrchových nátěrů, vosků či laků.



Obr. 5: Fotografie aparatury pro hydrostatické stanovení ryzosti.

Identifikace pokovení (postříbření, pocínování)

Nejběžnějším způsobem imitace stříbrného vzhledu bylo pokrytí jádra z obecného kovu (typicky měď, méně často bronz nebo mosaz) tenkou vrstvou stříbra nebo cínu. V prvním případě je obecně nejvíce preferovaným technologickým postupem amalgamační postříbření. Tímto způsobem pokovené předměty nesou značně tenkou vrstvičku drahého kovu, která obvykle snadno delaminuje i při velmi opatrném ošetřování. Pomocí XRF lze amalgamačně pokovené předměty velmi snadno odhalit díky

přítomnosti neobvykle vysoké koncentrace rtuti (stopy rtuti naopak o ničem zásadním nevypovídají, lze se s nimi setkat poměrně běžně). Exmplář, u něhož je podezření, že se jedná o případ amalgamačně postříbřeného jádra z obecného kovu, je třeba s ohledem na stav ošetřovat odlišnými a výrazně šetrnějšími postupy, než jaké se běžně na předměty v nálezových stavech aplikují.

Rovněž pocínování (Ottenwelter – Leroux – Děd 2008) lze pomocí XRF analýzy rychle a spolehlivě odhalit, obvykle je cín provázen i antimonem a někdy stříbrem (zastoupení těchto prvků je značně variabilní). Spíše ve výjimečných případech se lze setkat s amalgamačním cínováním (při XRF analýze je zjištěno i významné množství rtuti; Richtera 2013), mnohem běžněji bylo využíváno technologie žárového cínování. Tímto způsobem vytvořená vrstva pokovení je výrazně silnější než vrstva vytvořená amalgamačně, na podkladovém kovu drží obvykle lépe a nepodléhá tak rychlému otěru.

V případě pocínovaných nebo postříbřených předmětů je naprosto nezbytné provést maximum dostupných analýz již před zahájením čištění. Během i poměrně opatrného čištění hrozí reálné riziko kompletní ztráty zbytků pokovení a v případě, že předměty nejsou čištěny každý zvlášť a nejsou uchovávány roztoky po čištění, jsou šance na odhalení technologie pokovení mizivé. Včasné provedené analýzy zajistí individuální přístup k čištění pokovených předmětů a dokonce i v případě, kdy dojde ke ztrátě informací v průběhu čištění, je možné se o tyto analýzy opřít stejně, jako o analýzy roztoků po čištění.



Obr. 6: Fotografie dobového padělku mince zhotoveného pocínováním měděného střížku.

Cínování je především zásadní pro problematiku falz mincí (obr. 6). Na rozdíl od dřívějšího všeobecného názoru, tj. že falza byla v podstatě výhradně vyráběna amalgamačním postříbřováním měděných střížků je dnes z množství identifikovaných falz již zřejmé, že technologie žárového cínování byla pro výrobu falz využívána velmi běžně a možná i častěji než technologie amalgamační. Důvodem

je skutečnost, že žárové cínování bylo poměrně dobře známé a navíc nebylo třeba využívat dražší stříbro a získávat rtuť. Přesto, že je vrstva cínu na pocínovaném měděném střížku silnější a nepodléhá tak snadno otěru, nese s sebou žárové cínování z pohledu dlouhodobé životnosti falz mincí nevýhodu spočívající v relativně malé odolnosti vůči korozním procesům. Při žárovém pokovení dochází k difuzi cínu do mědi a vzniku tzv. intermetalické fáze. Tato fáze je chemicky poměrně odolná a zůstává zachována (obvykle se jeví jako popelavě šedá). Ke korozi dochází až pod touto fází, na jejím rozhraní s mědí či její slitinou a pokud dosáhne koroze masivnějšího rozsahu, dochází k delaminaci vrstvičky a tím k rozsáhlé ztrátě detailů ražby.

Stejně jako u falz vyrobených amalgamačním postupem, i v případě falz vyrobených žárovým cínováním vyžadují proto tato falza extrémně šetrné ošetření (tj. ideálně bez aplikace chemických látek) a provedení potřebných analýz ideálně ještě před konzervátorským zásahem. Bohužel o reálném rozsahu oběhu falešných mincí a o technologických postupech při výrobě falešných mincí máme stále poměrně málo informací, dílem právě z důvodu, že tato falza nejsou před čištěním včas rozpoznána a následně jsou natolik poškozena, že jejich analýzou nelze získat dostatek relevantních informací. Dalším chybným krokem je neuchovávaní roztoků po čištění mincí, neboť alespoň dílčí informace by bylo možné zpětně z takového roztoku získat.

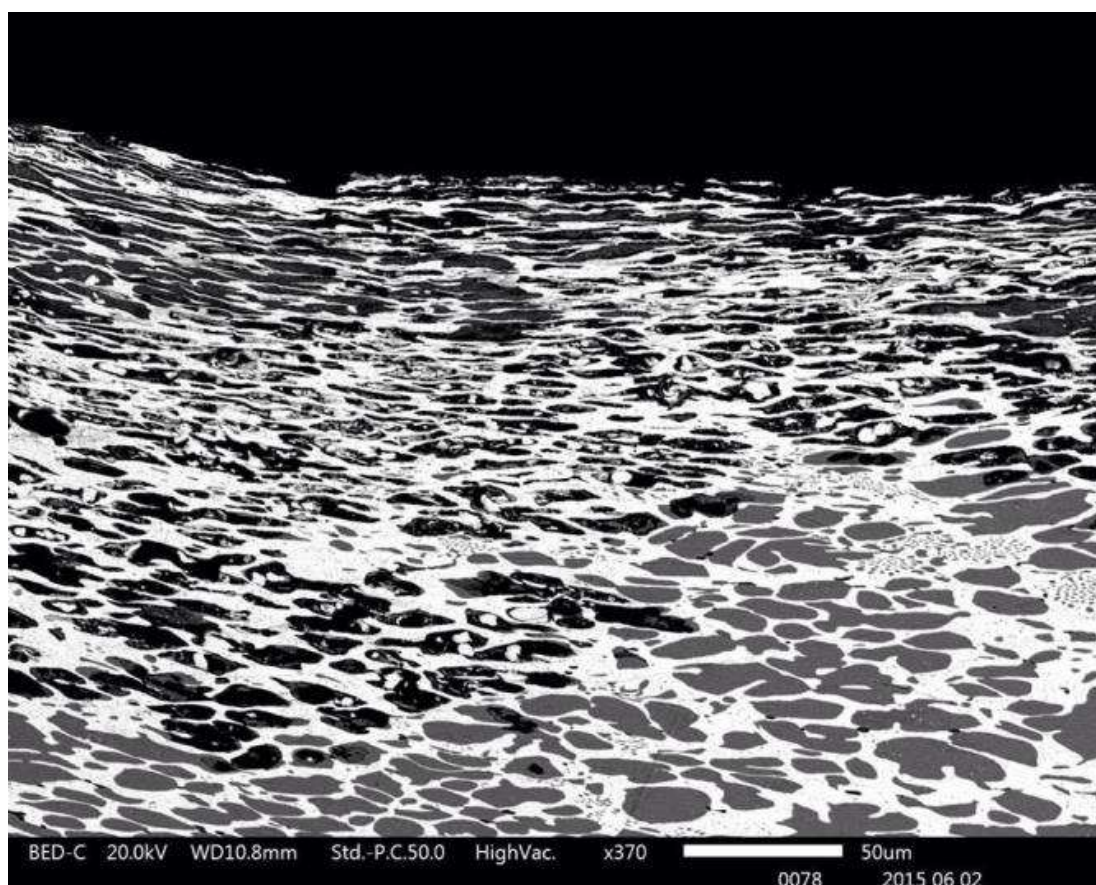
I v případě mincí, které naopak falzy nejsou, ale jsou často za dobová falza mylně považovány, může provedení XRF analýzy pomoci k odhalení pravého stavu věci a volbě optimálního konzervátorského zásahu. Ražbu stříbrné mince provází opakovaná období vzestupu kvality a následného poklesu obsahu stříbra až po období, kdy jsou často vyráběny mince v podstatě měděné, pouze pokryté tenkou vrstvou stříbra na povrchu. Tuto periodicitu lze zaznamenat již v antickém mincovnictví, opakovaně pak v rámci středověku. Tenká vrstva téměř ryzího stříbra na povrchu může snadno desintegrovat a může se odlupovat. Takové mince svým vzhledem mohou evokovat falza (Richtera 2011). I pokud je tato vrstva zachována a nedošlo k jejímu otěru již při oběhu mince, díky korozi mědi pod touto vrstvičkou dochází snadno k delaminaci této vrstvy při neopatrném čištění. Je-li tato vrstva zachována, je důležité zajistit její zdokumentování ještě před zahájením čištění a během čištění shromažďovat veškeré roztoky za účelem zjištění množství stříbra. Znalost těchto historických aspektů je při posuzování kvality mincí a volby vhodného postupu při jejich čištění nespornou výhodou. Vzhledem k tomu, že mince vykazují mnohá specifika stran materiálového složení, mělo by být čištění mincí vždy konzultováno s numismatikem specializujícím se na dané období i z hlediska materiálového složení mincí a technologie jejich výroby.

Nehomogenita složení předmětů

Na nehomogenitě složení archeologických nálezů z drahých kovů se podílejí jak fyzikální vlastnosti slitin (např. omezená mísitelnost mědi a stříbra), tak původní technologické postupy výroby, a stejně tak i dlouhodobé působení korozních procesů v prostředí. Vzniká tak situace, kdy se povrchová vrstva předmětu chemicky liší od jádra, typicky jde například o mince ražené z nízkoroznostních slitin stříbra, u nichž technologický proces bělení vytvořil na povrchu tenkou vrstvu téměř ryzího stříbra, zatímco vnitřek obsahoval výrazně více mědi. Korozní procesy pak tuto nehomogenitu ještě prohlubují, neboť

měď se selektivně ztrácí a dochází k relativnímu obohacení povrchu stříbrem či zlatem (obr. 7). Důsledkem je zvýšená pórovitost a křehkost materiálu, snadná delaminace povrchové vrstvy, ale také zásadní komplikace při interpretaci analytických dat – povrchové metody, jako je XRF nebo EDS, mohou poskytovat zkreslené hodnoty, které nereprezentují původní složení. Pro analýzu to znamená nutnost kombinovat více metod (např. hydrostatiku, metalografické výbrusy či obrazovou analýzu), které umožní lépe rekonstruovat původní materiálové složení.

Jak zaznělo výše, nehomogenita struktur nesouvisí jen s korozními procesy, ale také s inherentními vlastnostmi samotných slitin. Například stříbro a měď (ale i měď a olovo apod.) se totiž vzájemně rozpouštějí jen v omezené míře – po ztuhnutí zůstává v mědi rozpuštěno jen malé množství stříbra a naopak ve stříbře jen malý podíl mědi (obr. 7). Výsledkem je, že pevná fáze vznikající při krystalizaci taveniny má často odlišné složení než samotná tavenina. Během chladnutí proto dochází k částečnému oddělování obou kovů, což vede ke vzniku složité mikrostruktury. Její charakter pak není určen pouze poměrem kovů, ale také podmínkami tuhnutí, zejména rychlostí ochlazování, která může výrazně ovlivnit výsledné fyzikální i mechanické vlastnosti mince (Richtera – Zmrzlý 2013, 20–28).



Obr. 7: SEM snímek metalografického výbrusu mince ze slitiny stříbra a mědi s viditelně nehomogenním složením (bílá – stříbrná fáze; šedá ve spodní části snímku – měďná fáze v jádře mince; černá v prostřední části snímku – vykorodovaná fáze mědi při povrchu mince).

Rentgenografie

V případě, že jsou před konzervátorským zásahem předměty, u nichž je zvýšené riziko fragmentarizace (typicky díky rozsáhlé korozi), může být výhodné provést rentgenografické snímkování. V závislosti na konkrétní instrumentaci lze provést obvykle snímkování většího počtu kusů předmětů najednou, a tak provedení této spíše dokumentační než analytické techniky nemusí nutně představovat významnější časovou a finanční zátěž. Získaná data mohou posloužit nejen ke zjištění nehomogenit a defektů v celém objemu předmětu, ale například u mincí také k určení vzájemné pozice averzu a reverzu – a to jak z hlediska jejich otočení, tak i případného posunu. Tyto informace jsou cenné při pozdější interpretaci ražebních nedokonalostí (např. výdutí) a mohou výrazně přispět k objasnění sporných motivů.

2. Čištění a stabilizace

V kontextu preventivní konzervace je třeba rozlišovat mezi čištěním pro stabilizaci a čitelnost a estetickým čištěním. V prvním případě jde o odstranění agresivních korozních produktů, které ohrožují další existenci předmětu, nebo o zajištění jeho čitelnosti pro dokumentaci a výzkum. Naopak estetické čištění, jehož cílem je dosažení atraktivního vzhledu je v kontextu preventivní konzervace nevhodné a často vede k nenahraditelné ztrátě informací. Mezi největší rizika nevhodného čištění patří mechanická abraze, ztráta detailů reliéfu, odstranění technologických stop a úplná destrukce povrchových vrstev, které mohou obsahovat cenné informace o původním složení slitiny či způsobu výroby. Správně vedené čištění proto musí být vždy podřízeno zásadám minimalizace zásahu, dokumentace každého kroku a s ohledem na možnost budoucích analýz. V rámci současné konzervace, a to jak preventivní, tak sanační, je kladen důraz na získání a zachování co největšího množství informací v kontextu předmětu (Drábková et al. 2025; Kolektiv autorů 2011, kap. 7.5). Z toho důvodu je zcela legitimní a naopak kýžené zachovat na předmětech korozní produkty, které neohrožují stabilitu předmětu a čitelnost jeho povrchu. Tímto způsobem je zajištěno zachování stop výroby, používání i postdepozice předmětu, čímž je uchráněna autenticita a historická hodnota, což by měl být cílem moderní konzervátorské praxe.

Čištění

Čištění je jedním z nejkritičtějších kroků při práci s kovovými archeologickými nálezy. Každý zásah musí být zvažován individuálně s ohledem na složení předmětu, stav koroze a jeho archeologickou a historickou hodnotu. Mechanické čištění (mikronástroje, skalpely, kartáčky z měkkých štětín, mikroabrazivní metody) je preferováno tam, kde lze bezpečně odstranit povrchové usazeniny bez rizika zásadního zásahu do původní struktury. Chemické čištění (chelatační činidla, slabé organické kyseliny, elektrochemické metody) je vysoce rizikové a má být aplikováno jen v odůvodněných případech, podložených analýzou korozních produktů. Vždy je nutné zvážit i možnost nezasahovat vůbec, zejména pokud je koroze stabilní a její odstranění by vedlo k destrukci důkazů o původní technologii či používání předmětu. Při aplikaci chemického čištění je žádoucí shromažďovat veškeré

roztoky používaných kyselin. Z roztoků je totiž možné identifikovat množství odstraněného kovu (stříbro, měď, olovo apod.) a tím zjišťovat invazivnost čištění, ale i například zpřesňovat určení ryzosti mincí. Dalším zásadním indikátorem k posouzení vlivu čištění na zkoumané předměty je provedení identifikace hmotnostního úbytku, čehož lze dosáhnout porovnáním měření hmotnosti mincí před a po čištění, což by mělo být základní součástí konzervátorského zásahu na předmětech z drahých kovů. Samozřejmostí je pořizování fotografické dokumentace minimálně před a po čištění předmětu (obr. 8), případně i v jeho průběhu, pokud se v průběhu čištění vyskytnou neočekávané jevy.



Obr. 8: Fotografická dokumentace stříbrné mince před (vlevo) a po čištění (vpravo).

V průběhu čištění kovových artefaktů dochází v drtivé většině případů k odstranění původního materiálu ve formě korozních produktů. Míra poškození a rozsahu koroze je dána řadou faktorů, jejichž váhu nelze jednoduše obecně kvantifikovat, neboť je běžné, že se případ od případu může významně lišit. Jedinou výjimkou jsou v tomto ohledu snad jen předměty z téměř ryzího zlata. Primárními faktory, které mohou průběh koroze ovlivnit, mají svůj původ jednak v materiálu samotném, tak i v okolí, v němž se předmět z daného materiálu nachází. Sekundární faktory zahrnují nevhodné způsoby vyzdvižení a dočasného uložení nalezeného předmětu, v horším případě pak i následky předchozích nevhodných konzervátorských zásahů.

Stav předmětu, jeho stabilita, charakter povrchových vrstev, průběh koroze apod. je i u předmětů z drahých kovů velmi odlišný. Přesto není tato skutečnost při konzervátorských zásazích dostatečně zohledňována a v mnoha případech se lze setkat s univerzálními konzervátorskými postupy, které se snaží aplikovat na čištění všech předmětů z drahých kovů bez ohledu na jejich stav, stabilitu a ryzost. Před zahájením čištění mincí s využitím chemických látek je důležité zvolit vhodný postup a rozhodnout, zda je využití konkrétních reagentů v daném případě adekvátní. Např. nálezy ze slitiny mědi a stříbra mohou být dle svého původního složení a podmínek, v nichž se nacházely, postiženy korozí různého charakteru. Odlišná chemická podstata korozních produktů vyžaduje volbu často diametrálně odlišných postupů. V běžné praxi často dochází k tomu, že stav předmětů a povaha korozních produktů jsou posuzovány pouze vizuálně a návrh konzervátorského postupu není podpořen exaktními analýzami. Korozní produkty na bázi mědi nelze v některých případech snadno rozlišit vizuálně, např. krusty s vyšším obsahem oxidu měďného (kuprit) lze poměrně snadno zaměnit s oxidem železitým, který se na stříbrných předmětech může vyskytnout v případě, že byly v kontaktu s železným předmětem (nebo se může jednat o část materiálu z raznice: Richtera 2012a; 2021).

Pro čištění předmětů ze slitin zlata i stříbra s příměsí dalších kovů je zcela zásadní kvalitní posouzení charakteru a stavu povrchové vrstvy a to především v případě mincovních nálezů. V případě stříbrných mincí se můžeme setkat jak s mincemi raženými v podstatě z ryzího stříbra, tak i s mincemi s nezanedbatelným obsahem mědi v řádu desítek procent a v krajním, nikoliv však výjimečném případě i s mincemi v podstatě měďnými, nesoucí často jen zbytky tenké stříbrné vrstvy na povrchu. S ohledem na odlišnou ušlechtilost mědi a stříbra není proto překvapivé, že každý z těchto kovů vykazuje odlišnou odolnost vůči korozi, podléhá korozi za jiných podmínek a tvoří odlišné typy korozních produktů. Přes tuto obecně známou skutečnost se však v praxi běžně setkáváme s poměrně nelogickými postupy čištění stříbrných mincí, které uvedená fakta zcela ignorují. Typickou ukázkou takového přístupu je využívání roztoku chelatonu nebo roztoku kyseliny citronové na čištění stříbrných mincí zjevně zasažených korozí na bázi chloridu nebo sulfidu stříbrného. Aplikace uvedených roztoků je za daných podmínek nejenže neúčinná, ale může vést i k nevratnému poškození povrchu nebo i poškození vnitřního objemu mince. S ohledem na velmi často se opakující chybné postupy je zcela na místě doporučit méně zkušeným konzervátorům před zahájením čištění provést pomocí XRF analýzu korozních produktů a adekvátně jejich složení pak zvolit optimální postup čištění.

Odlišné složení povrchové vrstvy může být výsledkem vědomé a cílené snahy (např. pokovení nebo odleptání), může však být i výsledkem nezamýšleným nebo náhodným (kupř. postupné tuhnutí slitiny) anebo může být i dokladem způsobu používání daného předmětu (lze zmínit působení potravin nebo koroze vlivem prostředí). Doprovodným jevem uvedených změn jsou vizuální transformace povrchu mince a nutnost rozhodnout, jaký způsob čištění a následné konzervace je adekvátní s ohledem na dosažení pokud možno co nejvěrnějšího vzhledu (s ohledem na původní tvářnost) na straně jedné a stabilizaci předmětu na straně druhé. Tyto aspekty se obvykle příliš dobře nepřekrývají a velmi často vedou i k protichůdným závěrům. Nelze např. dost dobře obnovit původní vzhled žárově pocínovaného předmětu, aniž by nedošlo k značně necitlivému a v podstatě zcela zbytečnému zásahu vůči zachovanému materiálu. V takovém případě je jednoznačně zodpovědnějším přístupem šetrné

ošetření stávajícího stavu a ponechání zbytků intermetalické fáze (a v některých případech i pod ní se nacházejících korozních produktů), než snahy tuto intermetalickou fázi přivést k "původnímu" lesku nebo odstraněním korozních produktů pod intermetalickou fází způsobit delaminaci posledních zbytků pokovení a tím jak výrazně zhoršit čitelnost původních detailů na povrchu, tak i odstranit doklad o původní povrchové úpravě. U předmětů s odlišným složením povrchové vrstvy a vnitřní části by mělo být primární snahou zachování stávajícího stavu a zastavení nežádoucích procesů, než snaha obnovit původní (atraktivnější) vzhled. Pokud existuje potřeba demonstrovat původní vzhled předmětu, měla by k tomuto účelu posloužit jeho replika a nikoliv originál. Přesto se velmi často setkáváme, typicky v případě mincí, se snahou navrátit jim původní (navíc často jen domnělý) vzhled.

Samotné čištění pokovených falz by mělo probíhat odlišným způsobem, než čištění jejich oficiálních stříbrných nebo zlatých předloh. Primární volbou by mělo vždy být čištění pouze čistou vodou, nutné je dostatečně často sledovat případnou ztrátu integrity pokovení a zastavení procesu čištění v případě, že dochází ke ztrátě vrstvy reprezentující pokovení nebo jeho zbytky. Důvodem, proč tak často dochází k rozsáhlé delaminaci původního pokovení či jeho zbytků je skutečnost, že samotné pokovení či jeho zbytky představují vůči korozi chemicky odolnější vrstvu, než představuje pokovený podkladový materiál (obvykle měď nebo mosaz). Díky tomu dochází ke korozi na rozhraní pokovovaného materiálu a ušlechtilého kovu nebo intermetalické fáze, dojde k narušení spojení pokovení a jeho podkladu a tím k masivnímu oddělování pokovení či jeho zbytků. U falz postižených tímto typem koroze je nereálné provést kompletní odstranění korozních produktů a záměrem by mělo být pouze odstranění zeminy a případných dalších nečistot na povrchu falza a následné uložení falza za podmínek, při nichž nebude docházet k další korozi. Zároveň by nemělo docházet k dalším povrchovým úpravám (typicky k lakování) znemožňujícím či komplikujícím další analýzy nebo v budoucnu z důvodu degradace způsobujícím odtrhávání vrstvy reprezentující pokovení či jeho zbytky, případně představujících konvenčními způsoby obtížně odstranitelnou úpravu.

Stabilizace

V případě konzervace drahých kovů se stabilizace zaměřuje především na zastavení nebo zpomalení korozních procesů, nikoliv na navrácení předmětu do původního stavu. Proto se aplikují šetrné a kontrolovatelné postupy, které respektují zásadu minimální intervence a reverzibility. V praxi se používá primárně desalinace předmětů (odstranění chloridových iontů), pasivace povrchu pomocí inhibitorů koroze a stabilizace nanesením obranné bariéry na povrch předmětů. Zásadní je také zajistit následně vhodné uložení předmětů do prostředí se sorbenty polutantů a s vhodně regulovaným mikroklimatem (viz níže).

U předmětů obsahujících měď či stříbro a jeho slitiny je nutné odstranit chloridy a jiné rozpustné soli, které urychlují korozi. Provádí se opakovaným promýváním výhradně v destilované nebo deionizované vodě. Nikdy, ani v improvizovaných podmínkách nelze používat neupravenou vodu z vodovodu, protože ta obsahuje nežádoucí ionty chloru, vápníku či hořčíku. Celý proces probíhá při pokojové teplotě a předměty musí být před zahájením desalinace očištěny od volné zeminy a nečistot, případně

zbaveny korozních produktů. Pokud byly předměty podrobeny chemickému čištění, je desalinace naprosto nezbytná k odstranění zbytků činidel.

Samotný postup spočívá v ponoření předmětů do nádoby s destilovanou vodou (ideálně jednotlivě) tak, aby byly zcela zakryty hladinou. Nádoba se přikrývá, aby nedocházelo k usazování prachu a vypařování vody. Voda se mění zpočátku velmi často, zpravidla denně nebo obden, protože uvolňování solí je v počáteční fázi intenzivní. Později je možné interval výměny prodloužit na tři až sedm dní. Kontrola účinnosti se provádí testem na přítomnost chloridových iontů (reakce dusičnanu stříbrného, analýza selektivní elektrodou), případně měření vodivosti konduktometrem. Promývání pokračuje tak dlouho, dokud test nevykazuje přítomnost chloridů. Celková doba desalinace se liší podle míry zasolení, u méně postižených předmětů trvá několik týdnů, u silně zasolených i několik měsíců. Po ukončení promývání se předměty osušují inertními materiály, například netkanou textilií bez kyselin, a dosušují se v prostředí se stabilní relativní vlhkostí okolo 35–40 %. Intenzivní sušení horkým vzduchem je nevhodné, protože může vyvolat praskání a vnitřní napětí v materiálu.

Z hlediska inhibitorů koroze se na předměty ze slitin mědi či stříbra nejčastěji používá Benzotriazol (BTA). Jde o běžně používaný inhibitor koroze, který na povrchu vytváří tenkou, průhlednou vrstvu zpomalující působení kyslíku a zejména sirných sloučenin způsobujících černání. Aplikuje se obvykle formou roztoku v ethanolu nebo vodě, do něhož se předem očištěný předmět ponoří či ošetří štětcem; po aplikaci je nutné důkladné vysušení. Výhodou je účinná ochrana i v pórech a trhlinách a nenápadný vzhled, nevýhodou časem klesající stabilita vrstvy a obtížnější reverzibilita, která může komplikovat pozdější analýzy. V praxi preventivní konzervace se BTA využívá zejména u exponátů vystavených zvýšenému riziku působení polutantů, zatímco u unikátních kusů je vhodné zvážit alternativní metody ochrany, jako je kontrolované mikroklima a/nebo sorbenty.

Stejně jako v případě BTA je poněkud problematická pasivace povrchu nanesením vrstvy mikrokryсталických vosků, tenkých polymerních vrstev (např. Paraloid B-72) nebo speciálních konzervačních laků. Tyto vrstvy vytvářejí ochrannou bariéru proti přístupu vlhkosti a polutantů. Musí být reverzibilní, tedy později odstranitelné bez poškození povrchu, což je právě problematický bod jejich aplikace. V současnosti je pro pasivací lakováním zřejmě nejvíce využívaným prostředkem Paraloid. Důvodem používání laků je zdánlivě logická snaha o stabilizaci a konzervaci předmětů. Zatímco v některých případech může být lakování prospěšné a skutečně přispět ke zpevnění a stabilizaci určitých artefaktů, existují i situace, v nichž je použití Paraloidu naopak zcela chybným řešením – především u mincí.

Aplikace laků na mince znemožňuje nebo komplikuje provedení některých analýz, např. EDS nebo SEM, proveditelná není ani hydrostatická zkouška. Především v případě mincí zasažených ve větší míře korozí dochází k průniku laku hluboko do dutin a často deklarované snadné odstranění Paraloidu se stává značně komplikovanou výzvou. Při hydrostatické zkoušce Paraloid díky nízké hustotě mincí nadnáší a zásadním způsobem zkresluje získané výsledky do té míry, že provedení hydrostatické zkoušky zcela znemožňuje. Jsou-li pro stanovení hustoty využívány jiné referenční kapaliny než voda, dochází, v případě že tyto kapaliny mohou sloužit jako solventy Paraloidu, k jejich znečišťování díky

postupnému uvolňování a rozpouštění Paraloidu z dutin. Byl proveden experiment, při němž byla zjišťována možnost provedení hydrostatické zkoušky na zhruba dvou desítkách vídeňských feniků, které byly ošetřeny Paraloidem. Před provedením hydrostatické zkoušky byl Paraloid dle doporučení odstraněn pomocí acetonu. Opakované provádění hydrostatické zkoušky však jednoznačně prokázalo, že přes deklarované snadné odstranění Paraloidu docházelo k jeho uvolňování během několika opakovaných zkoušek a jednotlivá měření se od sebe výrazně lišila (srov. Richtera et al. 2018).

Poměrně zásadní otázkou je, proč je vlastně lakování mincí s takovou oblibou konzervátory využíváno. Nejčastěji udávaným důvodem je, že díky ošetření povrchu mincí lakem se zamezí nežádoucím barevným změnám na povrchu, k nimž dochází u čerstvě vyčištěných stříbrných mincí. Ve skutečnosti je však lakování mincí nutné provádět proto, že mince nejsou dostatečně desalinovány a obsahují ve svých dutinách značné množství zbytků korozních produktů a chemických činidel, které byly použity pro čištění (např. kyselina citronová nebo chelaton). Pokud by byla tato činidla používána s větší rozvahou a mince správně desalinovány, nebude k nežádoucím barevným změnám na povrchu stříbra docházet.

Je důležité si uvědomit, že použití Paraloidu k ošetření mincí nepředstavuje trvalé řešení. Dnes již existují studie zabývající se potřebou Paraloid z ošetřených předmětů odstranit, což však v některých případech (barevné předměty ze dřeva) je řešitelné obtížně. Stejně jako jiné, dříve používané laky, i Paraloid je látkou organické povahy, která v průběhu několika desetiletí značně zdegraduje a svým rozkladem bude ošetřený předmět negativně ovlivňovat. Na straně druhé běžný stříbrný předmět, ať už z ryzího stříbra nebo jeho slitiny s mědí, není-li vystaven skutečně agresivnímu prostředí, nežádoucím změnám nepodléhá ani po staletích (dokladem tohoto tvrzení jsou např. nálezy stříbrných mincí, které, pokud byly uloženy v neagresivním prostředí, si i po celém tisíciletí zachovávají přirozený vzhled).

Pokud jsou drahé kovy spojeny s organickými materiály (dřevo, textil, kůže), musí být stabilizace řešena komplexně, například oddělením citlivých složek nebo použitím inertních bariér, aby nedocházelo k migraci vlhkosti a solí. V těchto případech je například lokální použití laku zcela legitimním řešením. Někdy je však neefektivnější stabilizací uložení v prostředí s regulovanou vlhkostí a ochranou proti polutantům.

3. Podmínky uložení

Tato kapitola dává konkrétní, provozně použitelné parametry a postupy pro uchovávání artefaktů z drahých kovů (zlato, stříbro, platina) a jejich kombinací (emaily, drahé kameny, organika). Cílem je stabilita prostředí s minimalizací potenciálu vzniku sekundární koroze a mechanického poškození (Kolektiv autorů 2017; 2018).

Optimální parametry

Stabilní teplota a vlhkost jsou klíčové pro dlouhodobé uchování drahých kovů i kombinovaných předmětů. Teplota by měla být udržována v rozmezí 18–22 °C s denními výkyvy do 2 °C a týdenními do 5 °C. Relativní vlhkost se doporučuje pro stříbro a jeho slitiny 30–40 %, pro zlato a jeho slitiny 35–50 %, u kombinovaných předmětů s organickými materiály 45–55 %. Zásadní je pravidlo, že z hlediska vlhkosti je nutné se řídit nejcitlivější složkou v rámci předmětu. Z hlediska uchovávání je třeba dbát především na stabilitu hodnot teploty a relativní vlhkosti, nikoliv dosažení přesné hodnoty. V případě reálného uložení předmětů v depozitářích je často využíváno nevhodných prostor (suterénů nebo podkrovní prostory), kde se už z principu velmi komplikovaně dosahují, natož udržují stabilní hodnoty teploty a relativní vlhkosti, nehledě na dlouhodobé výkyvy v důsledku změn ročních období. Prostor pro uložení by měl být dostatečně zaizolován a vybaven prostředky na dlouhodobé temperování (topení a klimatizace) a vysoušení. Osvětlení je nutné minimalizovat, u výhradně kovových předmětů postačí limit 200 lx (maximálně 300 lx krátkodobě), u kombinovaných předmětů 50–150 lx. UV záření musí být zcela vyloučeno, infračervenou složku je třeba minimalizovat. V případě depozitárního uložení jsou tyto hodnoty často jednoduše dosažitelné. V případě vystavení předmětů je jich možné dosáhnout zastíněním přirozeného zdroje světla a použitím LED zdrojů mimo vitríny.

Doporučení pro vitríny, obaly a balicí materiály

Vitríny určené pro uchovávání a prezentaci předmětů musí být těsné, vybavené UV a IR filtrem a umožňující regulaci vlhkosti a filtraci polutantů. Základem je důkladná těsnost vitríny, aby se omezila výměna vzduchu a nečistot s okolím a pronikání polutantů. V praxi je vhodné postupovat tak, že vitrína je pojmána jako uzavřený mikroprostor, který lze řízeně stabilizovat. Vibrace, které mohou vznikat pohybem osob nebo blízkou dopravou, je možné tlumit pomocí stabilních podstavců a antivibračních prvků. Pro udržení mikroklimatu se osvědčuje kondicionovaný silikagel v perforovaných kazetách, které se pravidelně regenerují.

Pro stříbrné předměty je nezbytné doplnit výbavu o kazety se sorbenty proti sirným sloučeninám (H₂S, organické sulfidy), které způsobují černání povrchu. V praxi se používají různé typy sorbentů a filtračních materiálů, které je možné a vhodné kombinovat: aktivní uhlí (univerzální sorbent), Pacific Silvercloth (speciální textilie napuštěná částicemi stříbra), Intercept fólie a pěny (polymerní materiály obsahující měď), absorpční papíry s inhibitory koroze (např. RP systém; speciální archivní papíry nebo kartony napuštěné chemickými inhibitory, které vážou škodlivé plyny) nebo speciální sorpční směsi (kombinace aktivního uhlí, zeolitů a oxidů kovů, které jsou určeny pro dlouhodobé použití ve filtračních kazetách vitrín). V praxi se doporučuje kombinovat více typů sorbentů – například aktivní uhlí jako univerzální filtr a k tomu Intercept fólie nebo Pacific Silvercloth v přímém kontaktu s obalem, aby byla zajištěna víceúrovňová ochrana.

Při konstrukci vitrín je nutné vyloučit materiály emitující těkavé organické látky nebo sloučeniny podporující korozi. Sem patří zejména dřevo a dřevotřískové desky (MDF, OSB, překližky), z nichž se uvolňují organické kyseliny a formaldehyd, urychlující korozi stříbra a mědi. Problematické mohou být

i lakované a barvené povrchy, protože některé nátěry emitují těkavé organické látky a mohou reagovat se sorbenty nebo přímo s povrchem předmětů. Nevhodné jsou rovněž textilie z přírodních vláken, jako je vlna nebo plst, které obsahují síru a dusíkaté látky a tím podporují černání stříbra. PVC je dalším rizikovým materiálem, neboť uvolňuje chlorovodík a změkčovadla, zanechávající lepkavý povlak. Naopak vhodné jsou materiály inertní a stabilní. Základem je sklo, ideálně bezpečnostní laminované nebo tvrzené, opatřené UV filtrem, které zajišťuje stabilitu prostředí a ochranu před světlem. Velmi dobře se uplatňují také kovy s kvalitním práškovým lakem, zejména hliník a nerezová ocel s epoxidovými či polyesterovými povrchovými úpravami. V případě plastů se doporučuje využívat pouze inertní varianty, jako je polyetylen (PE), polypropylen (PP), polyethylentereftalát (PET, známý jako Mylar), polymethylmethakrylát (PMMA, „plexisklo“) nebo polykarbonát (PC). Pro výstelky a fixační systémy jsou vhodné archivní pěny, zejména Plastazote, Mirelon nebo Ethafoam, které neobsahují změkčovadla. Doplnkově lze použít archivní kartony a papíry bez ligninu a s neutrálním či mírně alkalickým pH. Vhodnou volbou jsou i povrchové úpravy s nízkými emisemi VOC, například epoxidové práškové barvy certifikované pro muzejní účely.

Obaly a balicí materiály pro krátkodobé i dlouhodobé uložení musí být inertní a archivní kvality – vhodné jsou sáčky z polyethylenu či polyesteru, archivní papír bez ligninu či krabice s neutrálním pH. Velmi vhodné je uložení předmětů do vzduchotěsných boxů (např. Lock & Lock) s pěnovým lůžkem (např. Mirelon, Plastazote; obr. 9) vytvořeným na míru dle velikosti předmětu včetně otvorů pro bezpečné vyjmutí s vloženou kazetou se silikagelem a v případě slitin stříbra i sorbentem absorbujícím sirné sloučeniny. Box je vhodné doplnit také indikátorem vlhkosti a polutantů.



Obr. 9: Uložení souboru mincí v lůžkách v plátech z Plastazote včetně evidenčních čísel.

Poněkud technicky náročnější variantou, avšak z hlediska preventivní konzervace velmi účinnou, je uložení předmětů v boxech s upravenou atmosférou. Jednou z možností je uložení v částečném nebo úplném vakuu, což prakticky eliminuje přítomnost kyslíku a vlhkosti, a tím zastavuje korozní procesy. V praxi se však vakuum obtížně dlouhodobě udržuje, protože boxy musejí být dokonale těsné a dlouhodobě kontrolované z hlediska udržení vakua. Častější je vytvoření atmosféry bez kyslíku nahrazením vzduchu inertním plynem. Nejčastěji se používá dusík, protože je cenově dostupný a netoxický, případně argon, který je účinnější v blokaci chemických reakcí, ale nákladnější. Helium se používá jen zřídka kvůli ceně a vyšší propustnosti přes těsnění. Předmět je uložen v hermeticky uzavřeném boxu (např. z inertních plastů, hliníku nebo skla) a prostor je propláchnut inertním plynem, případně vybaven kapslemi s kyslíkovými absorbéry. Tento způsob prakticky zastavuje korozi stříbra a mědi a chrání také kombinované materiály.

Monitoring a kontrola prostředí

Preventivní konzervace je účinná pouze tehdy, je-li prostředí dlouhodobě monitorováno. Teplota a vlhkost se sledují pomocí dataloggerů v krátkých intervalech, např. každých 15 až 60 minut, což umožňuje zachytit i krátkodobé změny (např. při otevření dveří depozitáře nebo výpadku klimatizace). Pro dlouhodobý monitoring sledující trendy vývoje hodnot dostačuje záznam po 1–2 hodinách. Data by měla být kontrolována minimálně jednou týdně, u exponátů nebo prostor s vyšším rizikem (např. sezónní kolísání vlhkosti, problematické prostory) i častěji. Pro dlouhodobé vyhodnocování se doporučuje měsíční a roční analýza trendů, která ukáže případné sezónní výkyvy nebo nefunkčnost technických zařízení. Data by měla být zároveň dlouhodobě archivována pro možnost zpětné revize.

Přítomnost polutantů lze odhalit pomocí testovacích kovových kuponů, které změnou povrchu signalizují zhoršení podmínek. Na rozdíl od dataloggerů nesledují přímo teplotu či vlhkost, ale signalizují reálné korozní působení prostředí na kovy. V praxi se doporučuje kombinace dataloggerů a kuponů, protože dataloggery dávají okamžitá data, zatímco kupony poskytují kumulativní obraz o skutečném korozním působení prostředí. Kovové kupony ve formě malých vzorků (často standardizované plechové destičky) o známém složení odpovídají běžným citlivým materiálům ve sbírkách. Nejčastěji jde o stříbro (indikace přítomnosti sirných sloučenin), měď (citlivá na vlhkost, organické kyseliny a oxidy síry), olovo (extrémně citlivé na kyseliny, zejména octovou a mravenčí, čímž detekuje kyselé výpary z nevhodných obalů a vitrín), někdy také železo (obecný indikátor vlhkosti a oxidantů). Kupony se umístí přímo do prostředí (depozitář, vitrína, obal) a v pravidelných intervalech (měsíc až rok dle stability prostředí) se vizuálně nebo instrumentálně vyhodnotí míra změny povrchu. Osvětlení v expozicích se kontroluje luxmetry a UV-metry, zejména při dlouhodobém vystavení. V případě odchylek je nutné nejprve prověřit spolehlivost měření, následně zkontrolovat stav těsnění vitrín a sorbentů.

Zabezpečení proti krádeži a živelným pohromám

Vysoká finanční i kulturní hodnota drahých kovů vyžaduje nadstandardní zabezpečení jak při dlouhodobém uložení, tak transportu a expozici. Vitríny a transportní boxy musí být vybaveny zámky,

alarmovými systémy a senzory pohybu. Ve výstavních prostorách je nutná přítomnost kamerového systému a fyzické ostrahy a zajištění mechanismů pro rychlou reakci na případnou krádež. Pro dlouhodobé uložení vysoce hodnotných nálezů je ideálním řešením zřízení speciální trezorové místnosti s vysokým stupněm zabezpečení, regulovanou teplotou a vlhkostí v celém prostoru místnosti a omezeným přístupem osob a důsledně vedenou knihou zápůjček.

Kromě krádeží je třeba počítat i s rizikem živelných pohrom – zejména požáru a záplav. Předměty by proto měly být uloženy v prostorech minimalizujících možnost požáru, s funkční požární signalizací, vhodným hasicím systémem a s minimalizovaným rizikem zatopení, což je z hlediska reálného umístění depozitářů archeologických nálezů vysoce podceňovaná otázka.

Bezpečná manipulace

Z hlediska manipulace je vždy nutné minimalizovat přímý kontakt s povrchem předmětu. Doporučuje se používat čisté bavlněné nebo nitrilové rukavice, které zabraňují přenosu mastnoty, potu a solí. Rukavice je třeba pravidelně měnit, aby nedošlo k přenosu nečistot. Při přenášení větších předmětů je vhodné využívat měkké podložky a fixační pomůcky, aby nedošlo k mechanickému poškození nebo uvolnění citlivých spojů.

Při transportu je nezbytné zajistit ochranu před mechanickými otřesy, změnami teploty a vlhkosti i před znečištěním. K tomu slouží transportní obaly z inertních materiálů, jako jsou polyethylenové či polypropylenové boxy s vnitřní měkkou vložkou. Pro menší předměty lze použít uzavíratelné mikroboxy se stabilizovanou atmosférou (viz výše). Vždy musí být zpracován transportní protokol, který zahrnuje identifikaci předmětu, popis jeho stavu před transportem, použitý obal a podmínky transportu. Tento protokol je nutné aktualizovat po každém převozu, aby byla zajištěna sledovatelnost a dokumentace případných změn stavu.

V. Závěr

Předkládaná metodika představuje komplexní a prakticky zaměřený nástroj pro systematickou preventivní konzervaci archeologických nálezů z drahých kovů. Metodika je prakticky využitelná jak v konzervátorské, tak analytické praxi především z hlediska analýz a čištění. Poskytuje kritéria pro rozhodování o nutnosti zásahu. Rozlišuje mezi situacemi, kdy je nezbytné provést stabilizační čištění (např. při aktivní chloridové korozi), a kdy naopak zvolit neinvazivní monitoring a preventivní opatření. Tím zajišťuje, že každé rozhodnutí je podloženo dokumentací a je opakovatelné i v jiných institucích. Z hlediska depozitářů i výstavní činnosti metodika poskytuje návod jak nastavit a dlouhodobě udržovat optimální podmínky pro uchovávání drahých kovů, od regulace vlhkosti a teploty, přes volbu inertních obalových materiálů, až po využití sorbentů proti polutantům. Praktickým výsledkem je snížení rizika korozních procesů, zamezení degradace a prodloužení životnosti předmětů bez nutnosti nákladných sanačních zásahů. Součástí jsou i doporučení k bezpečnostním opatřením, která chrání předměty především před degradací, ale i například před mechanickým poškozením při manipulaci nebo před krádeží.

Metodika zdůrazňuje princip minimální intervence a poskytuje jasná vodítka k rozhodování, kdy a jak zasáhnout, a kdy naopak zvolit šetrné preventivní postupy. Využívá přitom moderní analytické a monitorovací techniky, jejichž cílem není nahrazovat konzervátorský zásah, ale umožnit jeho přesnější cílení a minimalizaci ztráty informací. Praktické postupy popsané v metodice zahrnují celý proces ošetření nálezů od diagnostiky a dokumentace, přes čištění, stabilizaci až po stanovení optimálních podmínek uchovávání a nakládání s vysoce hodnotnými nálezy. Zvláštní důraz je kladen na reverzibilitu a stabilitu použitých materiálů, etické aspekty zásahů, ale i na otázky bezpečnosti a ochrany kulturního dědictví před riziky prostředí i lidskými zásahy.

VI. Seznam použité literatury

Drábková, K. et al. 2025: *Konzervování archeologických nálezů*. Praha: VŠCHT.

Hložek, M. 2008: *Encyklopedie moderních metod v archeologii: Archeometrie*. Praha: Libri.

Hrubý, P. et al. 2023: *Metodika nové metodologie výzkumu artefaktů pomocí pokročilých metod*. Brno: Filozofická fakulta Masarykovy univerzity, certifikovaná metodika.

Kmošek, M. 2017: Přírodovědný průzkum archeologických předmětů z mědi a slitin mědi. *Zprávy České archeologické společnosti*, Supplément 104. Praha: Česká archeologická společnost.

Kolář, O. 1983: Nález mincí z Ochozu u Zbonína, o. Písek. *Numismatický sborník* 16, 132–134.

Kolektiv autorů 2011: *Konzervování a restaurování kovů*. Brno: Technické muzeum v Brně.

Kolektiv autorů 2017: *Preventivní péče o předměty kulturní povahy v expozicích, depozitářích a zpřístupněných autentických interiérech*. Brno: Technické muzeum v Brně, certifikovaná metodika.

Kolektiv autorů 2018: *Metodika uchovávání předmětů kulturní povahy*. Brno: Technické muzeum v Brně, certifikovaná metodika.

Ottenwelter, E. – Leroux, M. – Děd, J. 2008: Archeologické nálezy pocínovaných železných předmětů. In: *Sborník z konference konzervátorů a restaurátorů*. Příbram, 68–82.

Richtera, L. 2011: Moravské denáry fenikového typu Přemysla Otakara II. z nálezů Třebíč-Borovina (II) a jejich analýza. *Folia Numismatica* 25, 1, 3–17.

Richtera, L. 2012a: Červené skvrny na zlatých mincích a možnost jejich alternativního šetrného čištění. *Numismatické listy* LXVII 3, 99–107.

Richtera, L. 2012b: XPS analýza dobového falza uherského denáru Rudolfa II. *Folia Numismatica* 26, 2, 117–125.

Richtera, L. 2013: Dobové falzum míšeňského groše a jeho analýza. *Folia Numismatica* 27, 1, 127–138.

Richtera, L. 2021: “Gold Corrosion”: An Alternative Source of Red Stains on Gold Coins. *Materialia* 15, 1–8.

Richtera, L. – Hradil, F. 2017: Olomoucká medaile k předání vlády Františku Josefovi I. roku 1848: Několik poznámek k současnému stavu zlatého odražku. *Numismatické listy* LXXII, 3–4, 171–183.

Richtera, L. – Zmrzlý, M. 2013: Identifikace způsobů pokovení mincovních falz a možnosti jejich citlivého ošetření. In: *Ochrana mincí a medailí v muzejních sbírkách*. Brno, 7–58.

Richtera, L. et al. 2018: Determination of the Fineness of Medieval Coins—Evaluation of Methods in a Case Study of a Medieval Pfennig. *Archaeometry* 60, 2, 325–341.

Richtera, L. et al. 2022: Nález dobového falza pražského groše Vladislava II. Jagellonského z k. ú. Prostějov (okr. Prostějov). *Numismatický sborník* 36, 1–2, 113–130.

VII. Seznam zkratek

3D – Three-dimensional – Trojdimenzionální

AAS – Atomic Absorption Spectroscopy – Atomová absorpční spektrometrie

BTA – Benzotriazole – Benzotriazol

CT – Computed Tomography – Počítačová tomografie

EDS – Energy Dispersive Spectroscopy – Energiově disperzní spektroskopie

ESCA – Electron Spectroscopy for Chemical Analysis – Elektronová spektroskopie pro chemickou analýzu (synonymum pro XPS)

FTIR – Fourier Transform Infrared Spectroscopy – Infračervená spektroskopie s Fourierovou transformací

ICP-MS – Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry – Hmotnostní spektrometrie s indukčně vázaným plazmatem

ICCROM – International Centre for the Study of the Preservation and Restoration of Cultural Property – Mezinárodní centrum pro studium ochrany a restaurování kulturního dědictví

ICOM – International Council of Museums – Mezinárodní rada muzeí

ICP-MS – Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry – Hmotnostní spektrometrie s indukčně vázaným plazmatem

IR – Infrared Radiation – Infračervené záření

ISO – International Organization for Standardization – Mezinárodní organizace pro normalizaci

LA-ICP-MS – Laser Ablation ICP-MS – Hmotnostní spektrometrie s laserovou ablací

LED – light-emitting diode – svítivá dioda

MDF – Medium Density Fibreboard – Dřevovláknitá deska střední hustoty

NAA – Neutron Activation Analysis – Neutronová aktivační analýza

OSB - Oriented Strand Board – Orientovaná třísková deska

PC – Polycarbonate – Polykarbonát

PE – Polyethylene – Polyetylen

PET – Polyethylene Terephthalate – Polyethylentereftalát

PMMA – Polymethylmethacrylate – Polymethylmethakrylát („plexisklo“)

PP – Polypropylene – Polypropylen

PXRD – Powder X-ray Diffraction – Prášková rentgenová difrakce

PVC – Polyvinylchloride – Polyvinylchlorid

RP – Reactive Papers – Speciální papíry pohlcující polutanty, používané při ukládání stříbra

RTG – Radioisotope Thermoelectric Generator – Rentgenové snímkování

SEM – Scanning Electron Microscopy – Skenovací elektronová mikroskopie

UV – Ultraviolet – Ultrafialové záření

VIS – Visible light – Viditelné světlo

VOC – Volatile Organic Compounds – Těkavé organické látky, škodlivé pro konzervaci

XPS – X-ray Photoelectron Spectroscopy – Rentgenová fotoelektronová spektroskopie

XRD – X-ray diffraction – Rentgenová difrakce

XRF – X-ray Fluorescence – Rentgenová fluorescenční spektrometrie

μXRF – Micro X-ray Fluorescence – Mikro-rentgenová fluorescenční spektrometrie