



národní
úložiště
šedé
literatury

Metodika konzervování-restaurování nízkopálené nestabilní keramiky

Kloužková, Alexandra; Svobodová, Ljuba; Dvořáková, Pavla; Kolářová, Mária; Kohoutková, Martina; Vokáč, Miroslav; Randáková, Simona
2022

Dostupný z <http://www.nusl.cz/ntk/nusl-511519>

Dílo je chráněno podle autorského zákona č. 121/2000 Sb.

Tento dokument byl stažen z Národního úložiště šedé literatury (NUŠL).

Datum stažení: 03.05.2024

Další dokumenty můžete najít prostřednictvím vyhledávacího rozhraní nusl.cz .

Metodika vznikla na základě výzkumného projektu NAKI II „Technologie ošetření a identifikace degradačních procesů keramických nálezů z hradčanských paláců - Metody restaurování a konzervování pórovité i slinuté keramiky a porcelánu“ s identifikačním číslem č. DG18P02OVV028 řešeného v letech 2018-2022. Je výsledkem tohoto projektu, který byl financován Ministerstvem kultury České republiky. Metodiku vytvořil autorský tým ve složení: doc. Ing. Alexandra Kloužková, CSc., Ljuba Svobodová, Ing. Pavla Dvořáková, Ing. Mária Kolářová, Ph.D. Dalšími účastníky dílčích úkolů byli studenti VŠCHT Praha programů Konzervování uměleckořemeslných děl ze skla a keramiky a Technologie konzervování a restaurování jak bakalářského, tak magisterského studia. Spolupracovníci podílející se na specializovaných testech jsou uvedeni u jednotlivých příloh, jsou jimi: Ing. Martina Kohoutková, Ph.D., Ing. Miroslav Vokáč, Ph.D. a Ing. Simona Randáková.

Poděkování

Autorky děkují kolegyním z praxe, restaurátorkám z Muzea města Prahy, Národního muzea a Národního památkového ústavu za podnětné rady a komentáře, poskytnuté na workshopu „Průzkumy archeologických keramických nálezů a figurální keramické plastiky“ a formou následného dotazníku.

Návrh uživatelů

- Restaurátoři a konzervátoři keramiky a další pracovníci sbírkotvorných institucí
- Studenti programů konzervování a restaurování keramiky, popř. obdobných oborů včetně pedagogů škol s tímto zaměřením
- Pracovníci provádějící archeologické výzkumy a následné prvotní ošetření archeologického materiálu (Archeologický ústav AV ČR, Praha, v. v. i., Národní památkový ústav, muzeí, galerií atd.)

Anotace

Metodika je zaměřena na konzervování-restaurování nízkopálené nestabilní keramiky. Podává ucelený přehled o vhodných postupech pro zpracování materiálu tohoto typu. Obsahuje souhrn vhodných metod pro hodnocení stupně poškození, postupy odběru vzorku a doporučené analýzy pro identifikaci chemického a mineralogického složení keramiky. Dále popisuje možnosti čištění, postupy konsolidace, lepení a doplňování chybějících fragmentů a případné retuše. Obsahuje rovněž zásady pro vhodné uložení těchto předmětů a pro pochopení jednotlivých metod jsou uvedeny komentované příklady.

2

Klíčová slova

keramika, nestabilní stěp, pórovitost, degradace, stárnutí keramiky, vlhkostní roztažnost, koeficient teplotní roztažnosti, stabilita, pevnost, restaurátorský průzkum, restaurování keramiky, analýzy, chemické složení, mineralogické složení, vyhledání keramických stěpů, lepení keramiky, pojiva pro keramiku, doplňování keramiky, doplňující materiály, retuše, podmínky uložení

Oponenti

Mgr. Ladislav Čapek, Ph.D.

doc., ak. soch. Jiří Novotný

OBSAH

Anotace	2
Klíčová slova	2
Oponenti	2
1. Cíl metodiky	4
2. Vlastní popis metodiky	5
2. 1. Úvod	5
2. 1. 1. Keramika – suroviny, výroba a povrchové úpravy.....	7
2. 1. 2. Keramika – struktura a vlastnosti nízkopáleného střepu.....	17
2. 1. 3. Stárnutí a degradace nízkopálené keramiky, objekty nestabilní keramiky.....	21
2. 2. Archeologický keramický nález.....	25
2. 2. 1. Exkavace nálezu, nálezové okolnosti, transport.....	25
2. 2. 2. Předávací protokol.....	27
2. 3. Restaurátorský průzkum, odběr vzorků a metody charakterizace nestabilních střepových hmot	27
2. 3. 1. Předběžný restaurátorský průzkum.....	27
2. 3. 2. Odběr vzorků pro analytické metody průzkumu.....	28
2. 3. 3. Charakterizace a parametry střepových hmot (OM, AM, porozimetrie)...	29
2. 3. 4. Identifikace mineralogického složení střepových hmot (OM, XRD, IR, RS, TA atd.).....	31
2. 3. 5. Identifikace chemického složení střepových hmot (XRF, SEM/EDS nebo WDS, AAS, ICP atd.).....	34
2. 3. 6. Barevnost.....	36
2. 4. Konzervování - restaurování nestabilní pórovité keramiky	37
2. 4. 1. Restaurátorský záměr a fotografická dokumentace.....	37
2. 4. 2. Postupy čištění.....	39
2. 4. 3. Konsolidace	44
2. 4. 4. Lepení	48
2. 4. 5. Doplnění ztrát	51
2. 4. 6. Povrchová úprava doplněných ztrát.....	58
2. 4. 7. Zásady pro vhodné depozitární uložení restaurovaných předmětů z keramiky	59
2. 4. 8. Restaurátorská zpráva.....	63
Seznam použité související literatury.....	66
Publikace předcházející metodice.....	75
Příloha 1A,1B – Metodiky konzervování-restaurování nízkopálené nestabilní keramiky.....	77
Příloha 2A, 2B, 2C – Komentované příklady	106

1. Cíl metodiky

Péče a nakládání s kulturními památkami je definována v Zákonu o památkové péči 20/1987 [1] a současný přístup ke konzervování a restaurování vychází z Benátské charty z r. 1964 [2], pro výklad pojmů užívaných v metodice má zásadní význam také evropská i česká norma ČSN EN 15898 [3]. Oba dokumenty [1,2] zdůrazňují nutnost udržování památky v dobrém stavu při zachování její historické hodnoty. Stejný přístup by měl být splněn také pro všechny objekty kulturního dědictví a restaurátorské zásahy by měly vycházet z restaurátorského průzkumu respektující originální materiál. V případě keramických nálezů není prozatím k dispozici ucelený text zabývající se konzervováním-restaurováním keramických objektů různého typu včetně povrchových úprav. Keramika patří obecně svými vlastnostmi mezi relativně stabilní materiály, a proto se někdy provádí zásahy nerespektující stárnutí nízkopálené střepevé hmoty spojené s vysokým stupněm otevřené pórovitosti. Tady pak mohou být použity nevhodné metody nebo materiály (pojivový a výplňový) nerespektující typ a stav střepevé hmoty.

Cílem metodiky je podat ucelený přehled o vhodných postupech pro zpracování archeologických nálezů nízkopálené nestabilní keramiky obsahující:

- informace o příčinách poškození tohoto typu keramiky včetně uvedení metod vhodných pro hodnocení stupně poškození spojených s identifikací typu resp. složení keramiky,
- postupy odběru vzorků možnosti čištění, konsolidace, lepení a doplňování chybějících fragmentů a případné retuše,
- inovované materiály pro restaurátorskou praxi včetně experimentálních zkoušek vhodnosti užití těchto restaurátorských materiálů (především adheziv a výplní), které byly testovány na laboratorně připravených vzorcích, s ověřením jejich stability,
- modelové studie s uplatněním optimalizovaných inovovaných materiálů zaváděných do restaurátorské praxe v rámci konzervování a restaurování keramických nálezů hradčanských paláců a dalších vhodných lokalit,

Metodika rovněž obsahuje zásady pro vhodné uložení těchto předmětů a pro pochopení jednotlivých výsledků jsou uvedeny komentované příklady.

2. Vlastní popis metodiky

Metodika konzervování-restaurování nízkopálené nestabilní keramiky je výstupem projektu s názvem „Technologie ošetření a identifikace degradačních procesů keramických nálezů z hradčanských paláců - Metody restaurování a konzervování pórovité i slinuté keramiky a porcelánu“.

Předložená metodika je souhrnným textem poskytujícím základní přehled o keramických materiálech a příčinách jejich poškození se zaměřením na nestabilní střepevé hmoty. Už samotná definice nestabilního keramického materiálu je poměrně nejednotná a jednotlivé obory posuzují stabilitu keramických předmětů kulturního dědictví různě. Další součástí metodiky je tedy souhrn metod charakterizující střepevé hmoty z hlediska složení a stability, dále uvádí postupy vhodné při exkavaci nálezu a jeho transportu, doporučení postupů při jednotlivých krocích konzervátorsko-restaurátorského zásahu se zapracováním informací o současných pomocných materiálech (pojivových a výplňových) včetně jejich stability v systému pórovitý střepepomocný materiál-pórovitý střepep testovaných na modelových vzorcích nestabilních střepepových hmot různého typu. Závěrečná část obsahuje doporučené optimální podmínky uložení restaurovaných předmětů, komentované restaurátorské zásahy a metodiky zátěžových měření.

2. 1. Úvod

Keramika je nejstarší uměle vytvořený kompozitní materiál, který díky svým poměrně stabilním vlastnostem zůstává dokladem lidské činnosti už od starší doby kamenné (dáno dosud nejstarším keramickým nálezem tj. Věstonickou venuší). V určitých obdobích je stěžejním dokladem lidské činnosti a většina pravěkých kultur nese název spojený s typickou keramickou produkcí (např. kultura zvoncových pohárů, kultura kulovitých amfor apod.) nebo místem nálezů (únětická kultura, bylanská, knovízská atd.). Keramická produkce tohoto období na našem území obsahovala převážně reznou užitkovou a votivní keramiku. Ve středověku přibyly větší keramické výrobky (dlaždice, kachle) a použití povrchových úprav zlepšujících funkční a následně i estetické vlastnosti – engoby a glazury. Obecně vývoj keramiky spočíval v hledání vhodných surovinových zdrojů, nových způsobů vytváření syrových polotovarů a možnostech následného tepelného zpracování. V současné době jsou keramické materiály vyráběny jak z přírodních, tak ze syntetických surovin a pokrývají širokou

škálu výrobků od užitných předmětů (např. hrnčínové mísy, hrnky a džbánky, porcelánové servisy, kameninové formy) přes stavební a technické aplikace (střešní krytina, kachle, velkoformátové obklady, řezné nástroje, piezokeramické aplikace - např. součásti couvacích čidel u aut, výplně neprůstřelných vest, štíty kosmických raket, součásti palivových článků atd.) až po biomateriály (dentální a kloubní náhrady, biosorbovatelné výplně kostí apod.). I v současné době podléhají **tradiční keramické materiály vyrobené z jílových surovin** procesu stárnutí, které lze vhodně zvolenými parametry výroby do jisté míry potlačit. U historické keramiky, zejména archeologických nálezů, je nízká mrazuvzdornost a stárnutí nejčastějším zdrojem degradace, pomineme-li mechanické poškození.

Přístup ke způsobu ošetření a ochrany archeologických keramických nálezů se v průběhu let vyvíjel, i když zpočátku byl spíše v pozadí za materiály vykazujícími výraznější projevy svého poškození (koroze kovů a skel, degradace textilií a dřeva apod.). Postupně se i pro keramické materiály začaly používat termíny jako degradace, stárnutí, koroze a k nim se přidaly konzervace, konsolidace, restaurování atd., tak jak byly tvořeny popisy poškození a definovány podmínky zásahů, které vedou k zachování keramických objektů. V současné době je základním textem pro ošetření a nakládání s předměty kulturního dědictví *Dokument o profesi konzervátora-restaurátora AMG* [4], který je z hlediska keramických materiálů interpretován v dílčích textech zaměřených na jeden typ materiálu [5-8] nebo částečně ve výukových textech [9]. Za základní restaurátorské přístupy ochrany a obnovy objektů kulturního dědictví se považuje konzervace a restaurování, popř. rekonstrukce. Konzervace, restaurování a rekonstrukce jsou tři etapy jediného procesu, majícího za úkol obnovit předmět jako takový a zachovat jej pro budoucí generace [9].

Konzervace (z latinského conservatio) znamená stabilizování a zpomalení procesu stárnutí, zachování dochovaného stavu materiálu. **Konzervování** značí ochranu objektu kulturního dědictví proti vlivům prostředí, udržení původních vlastností a zachování nejenom původní hmoty předmětu, ale především i stop původního zpracování materiálu a použitých technologií s cílem uchovat je pro budoucnost. Zásadním úkolem je zachovat celistvost ošetřovaného artefaktu a minimalizovat jeho narušení. Při práci musí být upřednostňovány nedestruktivní metody, které jsou dostatečně reverzibilní. Výše uvedený Dokument [4] specifikuje dva termíny konzervování dle zásahu do objektu na **preventivní a sanační**: „**Preventivní**

konzervace je soubor nepřímých opatření vedoucích k ochraně předmětů kulturního dědictví systematickou kontrolou a případnou úpravou prostředí tak, aby předměty setrvaly v pokud možno nezměněném stavu. Z těchto důvodů by měla být upřednostňována, nicméně pokud to stav předmětu vyžaduje, je přístupováno k metodám sanační konzervace nebo restaurování. **Sanační konzervace** spočívá v ochraně předmětu kulturního dědictví pomocí systému přímých zásahů s cílem stabilizovat jeho současný fyzický stav při maximálním úsilí o nenarušení komplexní hodnoty předmětu.“ Sanačním konzervováním se střepy zpevňují a připravují pro případnou další manipulaci při restaurování. **Restaurování** (z latinského restauratio) znamená odborné ošetření či opravení poškozeného předmětu bez ztráty jeho historické integrity. Základním záměrem restaurování je obnovit původní, přirozený vzhled a celistvost předmětu v určitém známém stupni jeho vývoje, tak aby se předmět stal srozumitelným.

Tato metodika je zaměřena na převážně keramický nestabilní materiál, proto popsané postupy a zásahy (metody restaurátorského průzkumu, konsolidace, techniky čištění, lepení, doplňování, retuše, včetně uvedení vhodných pomocných materiálů a preventivní konzervace) zahrnují obě oblasti konzervování i restaurování.

2. 1. 1. Keramika - suroviny, výroba a povrchové úpravy

Keramika je obecně definována jako anorganický, nekovový, ve vodě prakticky nerozpustný pevný materiál obsahující vedle amorfni fáze nejméně 30 % krystalické složky [10]. Získává své konečné vlastnosti až tepelným zpracováním většinou při teplotách nad 800 °C (dle současné definice keramiky, avšak u pravěké keramiky lze předpokládat i teploty nižší [11-13]).

Základní schéma výroby tradiční keramiky z přírodních surovin je uvedené na Obr. 1 a obsahuje od prvopočátku keramické výroby tyto základní procesy:

- ✓ **Těžbu, úpravu (drcení, mletí, čištění) a homogenizaci surovin** - zpočátku tuto fázi obstarala příroda a první keramici hlínu příliš neupravovali. Nakopali ji v blízkosti obydli, nechali ji odležet, promrznout, hnětením ji homogenizovali a při odběru z hroudy čistili od nežádoucích příměsí. Později rozšiřovali jednotlivé kroky, přidali čištění plavením a záměrné ostření pískem nebo drcenými horninami, i použití recyklovaných drcených střepů. Těmito ostřicími příměsemi (angl. temper) byly

upravovány tvarovací vlastnosti keramické hmoty a průběh následných tepelných procesů - sušení a výpal.

- ✓ **Vytváření** poloproduktu ze surovinové směsi – vhodně tvárné hmoty pro daný typ výrobku. Vývoj směřoval od ručního vytváření z plátků, válečků nebo volného formování v ruce přes pomalý a následně rychlý hrnčířský kruh s různými variantami použití forem a šablon na zatáčení/obtáčení/vytáčení a vlačování/dusání do kadlubu, lití do sádrových forem až po extruzi na vakuových lisech. U vytvořených předmětů v tzv. „kožovitém stavu“ často následovalo plastické dekorování povrchu.
- ✓ **Sušení** syrového poloproduktu spočívá v bezporuchovém odstranění volné vody z vlhkého nevypáleného pórovitého střepe působením tepla. Postupně výrobci přešli od volno prostorového sušení horkým vzduchem až k vlhkostnímu sušení v uzavřeném prostoru, aby potlačili vznik defektů vyvolaných vnitřním pnutím. Na počátku sušení probíhá odpařování volné vody z povrchu, pak dochází k transportu vody ze středu pórovitého výrobku k povrchu, vlhkost klesá a pevné částice skeletu se dotýkají a dochází k smrštění sušením. Vzniká vlhkostní a teplotní gradient mezi povrchovou vrstvou a vnitřkem tělesa, který vyvolá vnitřní napětí. Pokud toto napětí překročí pevnost materiálu, dochází ke vzniku trhlin a deformaci, která je nevratná. U některých pórovitých materiálů se provádí aplikace povrchové vrstvy hned po vytváření a případně i po vysušení, převažuje však glazování po prvním výpalu (po tzv. přežahu), kdy dojde k uvolnění plynů ze střepe a vzniká méně defektů.
- ✓ **Výpal** může být jen jeden, např. v případě režné keramiky, nebo vícenásobný v případě aplikací dekorací nanášených na již jednou vypálený střepe. Po aplikaci glazur pak dochází k dalšímu výpalu, který vede ke spojení příslušné dekorace se substrátem - keramickým střepe (ve schématu přerušovaná čára). Vývoj různých typů keramiky je spojen nejenom s hledáním nových surovin, ale především i s úpravou zařízení pro výpal. Od překrytých ohnišť s teplotou výpalu až cca 800 °C [11-14] vývoj směřoval přes jednokomorové pece s horizontálním nebo vertikálním uspořádáním k pecím vícekomorovým s řízenými podmínkami výpalu a homogenním tepelným polem v pálicím pásmu. Pro některá období existence zařízení na výpal keramiky nejsou doložená a předpokládá se, že pece byly sezónní

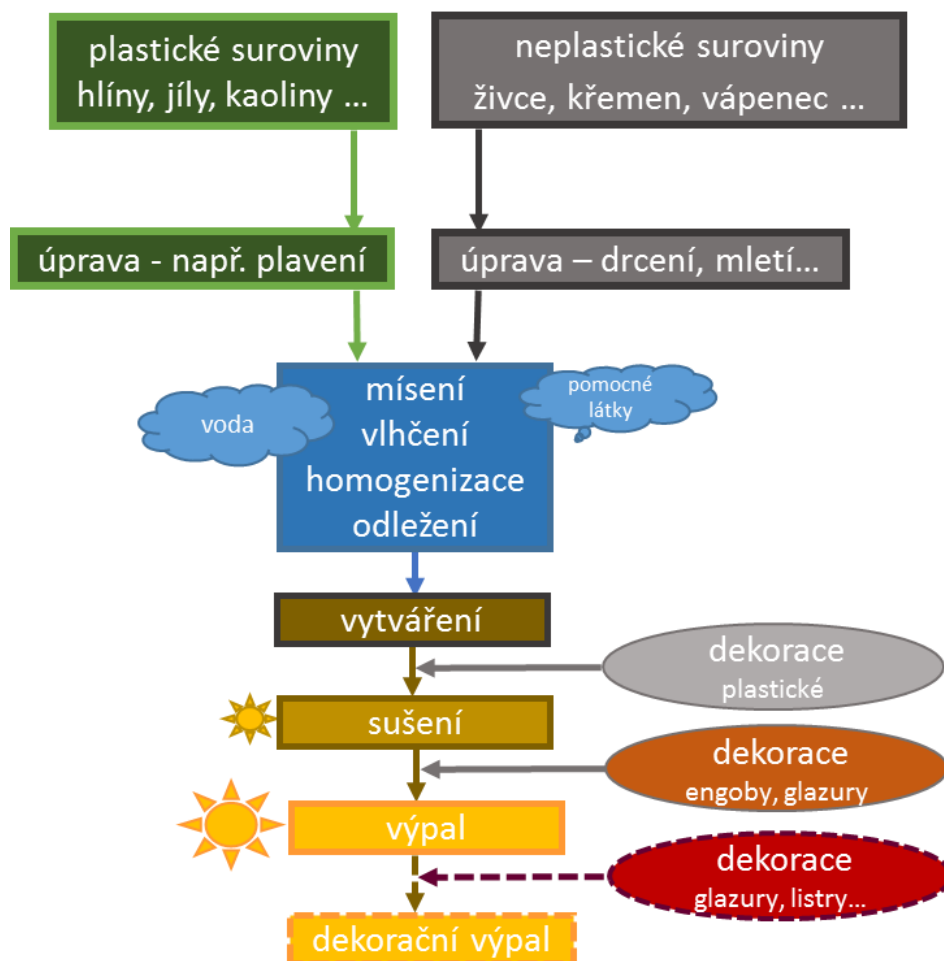
záležitostí popř., že se k výpalu keramiky používala zařízení pro výrobu jiného produktu, např. milíře na přípravu dřevěného uhlí.

Podle teploty výpalu lze rozdělit tradiční keramiky vyrobenou z jílových surovin na:

☀ **nízkopálenou** s teplotou výpalu max. do cca 900-1000 °C, tedy do teploty počátků vzniku spinelové fáze s následnou krystalizací mullitu (tj. od cca 1000 °C, cílená syntéza mullitu se provádí při teplotách nad 1250 °C [10,15]) - pravěká keramika, část středověké a novověké, převážně pórovitá hrnčina, cihly, některá střešní krytina a dlaždice,

☀☀ **středně pálenou** (cca 1000 °C až cca 1200 °C) - pórovina, majolika, fajáns, obkládačky, dlažba, střešní krytina, sanitární keramika aj.,

☀☀☀ **vysoce pálenou** (od cca 1200°C výše) - především kamenina a porcelán.



Obr. 1: Schéma výroby tradiční keramiky

Suroviny

Tradiční keramické materiály vycházejí z přírodních surovin (Tabulka I). Jejich vstupní směsi obsahují jak plastické přírodní zeminy, tak suroviny neplastické tzv. taviva

a ostřiva. Při hodnocení archeologické keramiky je podstatné, zda je příměs přírodní (přirozené ostřivo v přírodní surovině) nebo jde o záměrně přidanou složku při přípravě keramické hmoty (v případě ostřiva se používá pro záměrnou příměs v angl. temper). Podle teploty výpalu se pak příměs do své teploty tání chová jako ostřivo, po překročení jako tavivo (viz taviva Tabulka I).

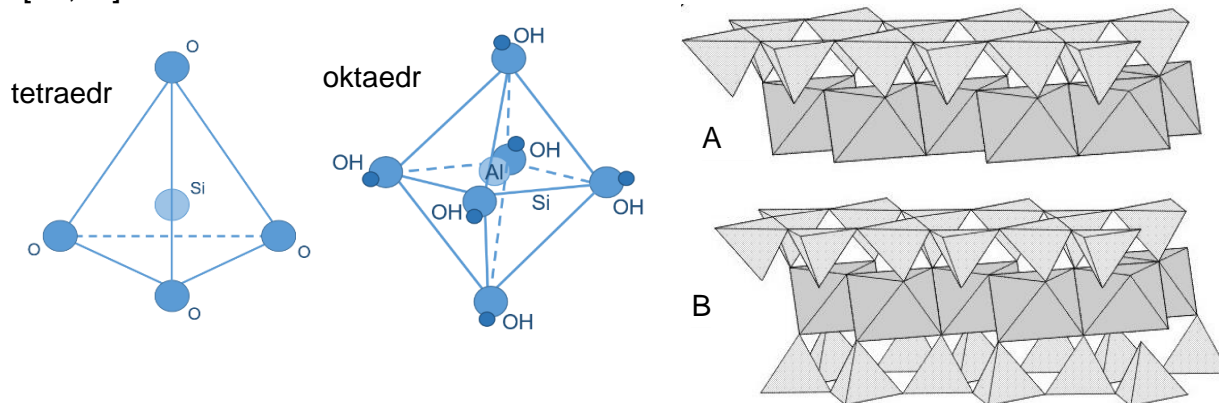
Tabulka I: Přírodní suroviny pro tradiční keramiky [10,16-24]

surovina	plastické suroviny	neplastické suroviny	
		ostřiva	taviva *
základní funkce	umožňují tvarování hmoty tím, že plastifikují keramickou hmotu přidávkem vody	tvorí kostru plastické vytvářecí směsi, snižují smrštění při sušení i při výpalu, výrazně ovlivňují charakter mikrostruktury	po dosažení teploty tání vytváří taveninu, která spojuje krystalické fáze
+	zlepšují tvarovatelnost	snížují smrštění a zvyšují plastickou pevnost a mechanickou pevnost při sušení i při výpalu	snížují smrštění při sušení, zvyšují plastickou pevnost a mechanickou pevnost při sušení
-	zdroj smrštění při sušení i výpalu	zhoršují tvarovatelnost	zhoršují tvarovatelnost
zdroj	plastické zeminy - hlíny, jíly, kaolíny, eolické spraše, sedimenty říčních niv, lupky, slínovce	úlomky hornin, křemenný písek, silně písčité hlíny, vápence *, křemence, písky, uhlíkaté látky (grafit), drcené mušle, přepálené jíly (šamot) drcené keramické střepy	živce **, vápence, dolomity, eutektické směsi
nejčastější minerály	kaolinit $Al_2Si_2O_5(OH)_4$	křemen SiO_2	eutektická směs SiO_2 a $KAlSi_3O_8$
	illit $K_{0,7}Al_2(Si,Al)_4O_{10}(OH)_2$ [22]	kalcit $CaCO_3$	
	halloysit $Al_2Si_2O_5(OH)_4 \cdot H_2O$ [22]	dolomit $CaMg(CO_3)_2$	
	montmorillonit $(1/2Ca,Na)_{0,25-0,6}(Al,Mg)_2Si_4O_{10}(OH)_2 \cdot nH_2O$, popř. Fe typ [22]	sodné živce $NaAlSi_3O_8$	
	mastek $Mg_3Si_4O_{10}(OH)_2$	sodnodraselné živce, anortoklas $(NaK)AlSi_3O_8$	
	chlorit např. klinochlor $(Mg,Fe^{2+},Al)_6(Si,Al)_4O_{10}(OH)_8$ [22]	draselné živce $KAlSi_3O_8$	
		sodnovápenaté živce-plagioklas řada od $NaAlSi_3O_8$ až po $CaAl_2Si_2O_8$	
příměsi	slídy – biotit, muskovit, sloučeniny Fe (oxidy, hydroxidy, sulfidy, uhličitany, aj.), TiO_2 (rutil, anatas), aj. i organické		

* do teploty tání nebo rozkladu jsou ostřiva, *omezené použití do teplot rozkladu, ** použití jako tavivo až nad teplotou tání nebo v eutektické směsi

Základem plastických surovin jsou zejména hlíny, jíly a kaoliny. Jejich základní složkou jsou jílové minerály, které zajišťují plasticitu hmoty. Jílové minerály vznikají především v půdotvorném procesu rozpadem živců [10,16-24], z chemického hlediska obsahují oxidy křemíku, hliníku a vodu (případně oxidy draslíku, sodíku, vápníku, hořčíku, titanu, železa aj). Jejich základními strukturními jednotkami jsou tetraedry a oktaedry (Obr. 2). Ty vytvářejí sítě, které se navzájem propojují sdílením aniontů do vrstev tvořících strukturu minerálu, v případě kaolinitu dvojrůstvou, u illitu a montmorillonitu trojvrůstvou, která umožňuje jejich botnání při kontaktu s vodou. Vysoký obsah plastických surovin může vést k deformování při vytváření a především k velkému smrštění při sušení a výpalu. Čím je surovina plastičtější tím větší je smrštění, které může vést k popraskání popř. až k destrukci výrobku. Proto se do hmot záměrně přidávají ostřiva, kterými jsou nejčastěji křemenný písek a šamot (přepálené jíly), u nízkopálené

historické keramiky byly používány drcené úlomky hornin, vápenců, dolomitů, živcové písky, drcené mušle, grafit, popř. organické složky, které by z dnešního pohledu byly nazvány lehčivý (při výpalu vyhoří a “lehčí” střep), např. plevy, piliny, kousky rostlin. [15,23]



Obr. 2: Schematické znázornění základních strukturálních jednotek tetraedru a oktaedru a jejich pevného propojení v uspořádání A-dvojvrstev, B-trojvrstev fyllosilikátů (Chváta 2011) [19]

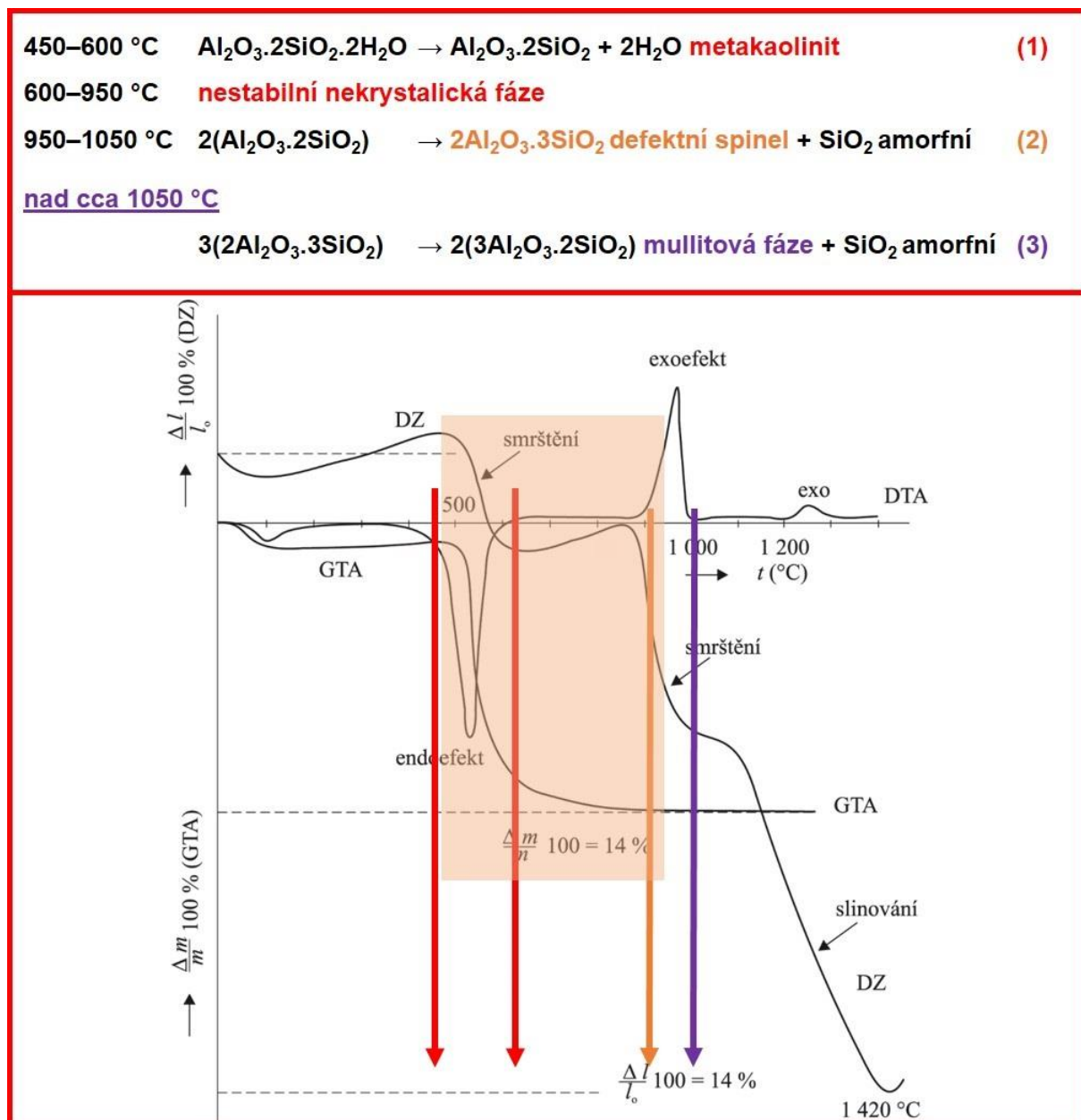
Poměr jednotlivých surovin je dán typem keramického výrobku, např. cihlářské a jim podobné výrobní směsi jsou tvořeny méně plastickými zeminami, které obsahují vedle určitého množství jílových minerálů vyšší podíly přírodních ostřicích příměsí, jako jsou částice křemene, živců a často také vápence a destičky slídy (muskovitu a biotitu či jejich různě hydratovaných forem). Doprovodnými příměsemi jsou často sloučeniny železa (oxidy, hydroxidy, sírany nebo sulfidy apod.). [24]

Procesy při výpalu nízkopálené keramiky

Při výpalu takových směsí do teplot cca 1000 °C jsou nejstabilnějšími krystalickými fázemi křemen a živce. U křemene probíhá pouze reverzibilní modifikační přeměna $\beta \leftrightarrow \alpha$ křemen při teplotě 573 °C doprovázená objemovou změnou, velká křemenná zrna tak mohou popraskat popř. vyvolat trhliny ve svém okolí (primární defekt). Zrna živců jsou stabilní až do počátku svého tavení, což jsou teploty nad 1100 °C, ve směsích se však mohou tavit při eutektických teplotách, tedy při teplotě podstatně nižší než odpovídá jejich teplotě tavení.

Největší změny probíhají u jílových minerálů, při ohřevu uvolňují nejdříve fyzikálně vázanou vodu do cca 300 °C a potom chemicky vázanou vodu v relativně širokém teplotním intervalu 450 až 800 °C a mění zásadně svoji krystalickou strukturu. Proces **dehydroxylace** kaolinitu začíná od teploty cca 450 °C a podle podmínek výpalu probíhá až do cca 650 °C (v případě rychlovýpalu až do cca 1000 °C) [10,24-29].

Ze stabilního krystalického minerálu kaolinitu vzniká nestabilní dehydroxylovaná forma prakticky nekystalického metakaolinitu. Při této reakci se uvolňuje z mřížky kaolinitu 14 hmotn. % vody, která byla původně vázána v jeho struktuře chemickou vazbou ve formě hydroxylových skupin. Při uvedeném procesu dochází ke smrštění vypalovaného tělesa. Teprve nad teplotou cca **950 až 1000 °C** se metastabilní metakaolinit postupně přeměňuje na stabilní krystalické fáze. Poměrně složitým mechanismem vzniká mullit a při vyšších teplotách z uvolněného oxidu křemičitého ještě cristobalit (vysokoteplotní modifikace SiO₂). Průběh uvedených reakcí při výpalu vzorku kaolinitu vystihují jednotlivé křivky termické analýzy (Obr. 3.). [10,24]



Obr. 3: Termické křivky kaolinitu (plavený kaolin Sedlec Ia) a příslušné reakce do teploty cca 1050 °C (Hanykýř 2012, upraveno) [10]

U dalších dvou trojvrstvých jílových minerálů illitu a montmorillonitu probíhá dehydroxylace obdobně. Illit obsahuje mezi jednotlivými strukturálními vrstvami vodu, která se uvolňuje v rozmezí cca 100 do 350 °C. Dehydroxylace OH skupin v illitu probíhá v teplotním intervalu 350 až 600 °C a celkově se při tomto endotermním intervalu 800-850 °C uvolní cca 4-10 hmotn.%. Nová fáze mullit začíná krystalizovat až nad teplotou cca 1050 °C. Uvedený průběh může výrazně ovlivnit vyšší obsah některých reaktivních oxidů v illitu jako např. CaO, SiO₂, MgO nebo FeO. U montmorillonitu probíhá dehydratace do cca 200 °C, pak přechází do dehydroxylace s maximem při cca 700 °C, kdy se rozpadá krystalová struktura a celkové snížení hmotnosti je cca 8-23 hmotn. %. Ke krystalizaci nových fází dochází nad teplotou 950-1000 °C. Často vzniká také určitý podíl taveniny, která vytvoří skelnou fázi. Ve všech třech výše popsanych případech vzniknou dehydroxylací jílových minerálů produkty, které nemají krystalickou strukturu a jsou velmi reaktivní. [10,24]

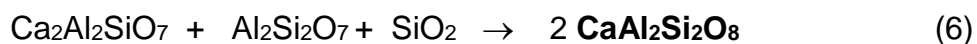
Pokud jsou ve vypalované směsi přítomny i další minerály, které se ve vhodném teplotním intervalu rozloží, a vytvoří také reaktivní složky, může dojít k jejich vzájemné reakci. Typickým představitelem takového procesu je kalcit [24,30-33] obklopený jemnými částicemi produktů dehydroxylace jílových minerálů, ten se pak v oxidačních podmínkách rozkládá již při teplotě od cca 600 °C (velký vliv má velikost částic):



Vzniklý **oxid vápenatý** je velmi reaktivní a s metakaolinitem vytváří (cca 750-900 °C) jako primární produkt relativně nestabilní krystalickou sloučeninu **gehlenit**:



V závislosti na molárním poměru CaO / Al₂Si₂O₇ + SiO₂ je gehlenit pouze přechodnou fází, která dále reaguje s metakaolinitem a oxidem křemičitým v intervalu cca 850 - 950 °C na stabilní krystalickou sloučeninu **anortit**:



nebo na směs **wollastonitu (CaSiO₃)** a anortitu.

Při výpalu v redukčních podmínkách začne rozklad kalcitu až při cca 800 °C a končí při teplotě cca 850 °C. V tomto případě vzniklý CaO ihned reaguje na gehlenit. Podobně může vznikat gehlenit také reakcí CaO s rozkladnými produkty dehydroxylace illitu/montmorillonitu. Pokud je ve směsi dolomit tak vzniklý oxid

vápenatý a oxid hořečnatý (MgO) mohou reagovat s oxidem křemičitým při teplotě nad 800 °C na diopsid ($\text{CaMgSi}_2\text{O}_6$). [24,32-36]

Velmi častou příměsí keramických surovin jsou **sloučeniny železa**, např. ve formě hematitu (Fe_2O_3), který při výpalu v redukčních podmínkách přechází na magnetit (Fe_3O_4) a ten se při teplotách nad 850 °C redukuje na wüstit (FeO). [24]

Dalšími součástmi surovinové směsi jsou relativně stabilní slídy a živce. **Slídy** (muskovit např. $\text{KAl}_3\text{Si}_3\text{O}_{10}(\text{OH})_2$ a biotit např. $\text{K}(\text{MgFe})_3\text{AlSi}_3\text{O}_{10}(\text{OH})_2$) uvolňují během výpalu od teploty cca 800 °C ze své krystalické struktury hydroxylově vázanou vodu. Destičky slíd se rozlístkují a postupně dochází k rozkladu jejich původní krystalické struktury a ve střepech zůstanou jejich pseudomorfózy. Nad teplotou 950 °C vzniká v pseudomorfózách po slídě stabilní krystalická mullitická fáze. [24]

Během výpalu keramiky v teplotním intervalu do 1000 °C probíhají ve střepech významné změny především v jílových minerálech. Ztrácejí svou původní krystalickou strukturu a vytváří určitý podíl nekystalických málo stabilních fází, které jsou schopny zpětně reagovat s vodou. Ve střepech dochází také k rozkladu některých doprovodných minerálů a ke vzniku složek, které reagují se reaktivními pozůstatky po jílových minerálech za vzniku nových stabilních krystalických fází. Ze střepech uniká vodní pára či další plyny, zpravidla dochází ke smršťování objemu střepech a vzniku soustavy otevřených pórů. Smršťování střepech vede k těsnějšímu kontaktu jemně disperzních částic. Vzniká tak základní hmota střepech tzv. **matrix**. Výsledkem výpalu je často heterogenní a pórovitý materiál tvořený jemnozrnnou matrix, v které jsou více či méně homogenně uložena a s různou pevností vázána podstatně větší zrna ostřív a destičky slídy. Póry jsou většinou otevřené. Takovýto střepech obsahuje často také určitý podíl skelné fáze. **Skelná fáze** může ve střepech vznikat z lokální eutektické taveniny při cca 800 až 850 °C (zejména u směsí s relativně vysokým obsahem CaO či velmi jemnými částicemi taviv). U směsí s velmi nízkým obsahem CaO či taviv vznikají lokální eutektické taveniny při 950 až 1000 °C. Teplota tavení jednotlivých **živců** převyšuje 1000 °C, proto lze u nízkopálené keramiky zařadit mezi ostřiva. Ve směsích s oxidem křemičitým jsou jejich teploty tavení nižší, v případě draselného živce vzniká eutektická směs při cca 990 °C. Uvedené procesy jsou shrnuty velmi stručně a schematicky jsou uvedeny v Tabulce II [10,14,24-38].

Tabulka II: Děje výpalu tradiční (jílové) keramiky do teploty výpalu 1000 °C

	vstupní složka/fáze	proces při výpalu	teplotní rozsah [°C]	konečná/nová fáze při T _{vyp} do 1000 °C
plastická složka	jílové minerály illit montmorillonit kaolinit $Al_2O_3 \cdot 2SiO_2 \cdot 2H_2O$	dehydratace dehydroxylace endotermní reakce $Al_2O_3 \cdot 2SiO_2 + 2H_2O$	do cca 200 450-600 700-950 450-600	dehydroxylovaný illit dehydroxylovaný montmorillonit nestabilní fáze metakaolinit 600-950 °C $Al_2O_3 \cdot 2SiO_2$
	metakaolinit	vznik nových krystalických fází exotermní reakce	950-1050 950-1100	defektní spinel mullitové fáze amorfni fáze SiO_2
	dehydroxylovaný illit, dehydr. montmorillonit	vznik nových krystalických fází exotermní reakce	850-950 900-1000*	defektní spinel, případně skelná fáze * teplotní rozsah přeměn řízen přítomností absorbovaných kationtů (Mg ²⁺ , Ca ²⁺ , Na ⁺ , K ⁺ aj.)
neplastická složka	křemen	vratná modifikační přeměna objemová změna	573	křemen, při chlazení délkové změny - lom velkých zm, →praskliny v matrix
	draselný živec	tání inkongruentní	nad cca 1150	draselný živec
	sodný živec - albit	tání kongruentní	nad cca 1120	sodný živec
	vápenatý živec - anortit	tání kongruentní	nad cca 1550	živec
	vápenec rozklad a další reakce	$CaCO_3 \rightarrow CaO + CO_2$	nad 600	podle teploty: CaO, gehlenit, anortit
	směs živců a křemene	eutektické tání	990 ± 20	skelná fáze
	eutektická směs (suroviny, dílčí produkty rozkladů, oxidy kovů)	eutektické tání	od 900	skelná fáze
příměsi	organické látky, a uhlík	oxidace-vyhořívání $2C + O_2 \rightarrow 2CO$ $C + O_2 \rightarrow CO_2$ $2CO + O_2 \rightarrow 2CO_2$ redukce ve spalinách CO (1-4 %) $C + CO_2 \leftrightarrow 2CO$ redukce	400-1000 do 400 400-800 650-750 nad 700	CO CO ₂ vyloučený C na povrchu černá jádra – uzavřený C ve středu střepe, nedošlo k vyhoření
	sloučeniny železa (např. limonit, hematit aj..) soli, uhličitany, sírany	redukce $3Fe_2O_3 \rightarrow 2Fe_3O_4 + 1/2O_2$ $Fe_3O_4 \rightarrow 3FeO + 1/2O_2$ rozklad	nad 800	magnetit
	póry	vznik při: tvarování, sušení, výpalu		póry

Povrchové úpravy

Povrchové úpravy keramických materiálů lze rozdělit na plastické dekorace a na úpravy vyžadující tepelné zpracování – engoby, glazury, emaily, listry, zlacení aj. Nejstarší dekorace (Obr. 4) byly prováděné rytím, rýhováním, prstováním, slámováním, kolkováním, vytvářením vpichů, vlnic, plastických nálepů ještě před vysušením výrobku. Často byl povrch vylepšen hlazením a leštěním, popř. tuhováním (např. halštatské období aj.), aby se zlepšily jeho užitné vlastnosti – potlačila se prosákavost střepe a nálepy umožnily lepší uchopení nádob. Engoby a následně i glazury byly nanášeny na sušený později na vypálený střepe a na ně případně další dekory malbou, tiskem apod. Dodatečným zdobením byly inkrustace vkládáním barevně odlišných výplní do předem připravených rýh např. u zvoncových pohárů (vápenná nebo kaolinová běloba popř. wollastonit) nebo použití bylinných odvarů (např. keramika Burkiny Faso byla vylévána odvarem z jojoby). [39]



Obr. 4: Různé typy povrchových úprav nízko pálené keramiky (zleva) - rytý dekor, tuhování, inkrustace, plastický dekor šňůrové keramiky

Engoby byly připravovány z jemnější frakce surovin, obdobného složení jako vlastní keramické hmoty. Vyrovnávaly povrchové nepřesnosti a vyhlazovaly povrch střepe. Po výpalu vytvořily lehce prosákavou povrchovou vrstvu. Používaly se také nízko pálení se jíly s různým probarvením převážně sloučenin železa, které lépe uzavíraly povrchové póry. Aplikace světlejších engob umožnila překrytí původního zbarvení vlastního střepe. Glazura nanesená na světlou engobu měla po výpalu intenzivnější a homogennější zbarvení, významnou předností byla nižší spotřeba drahé glazury (byly zpočátku těžce dostupnou surovinou). Glazury lze rozdělit podle [10,40]:

- ✓ hlavní složky – olovnaté, borité, živcové, solné, fritové ...,
- ✓ způsobu přípravy – syrové, fritové (předem připravená frita-skleněná drť), solné,

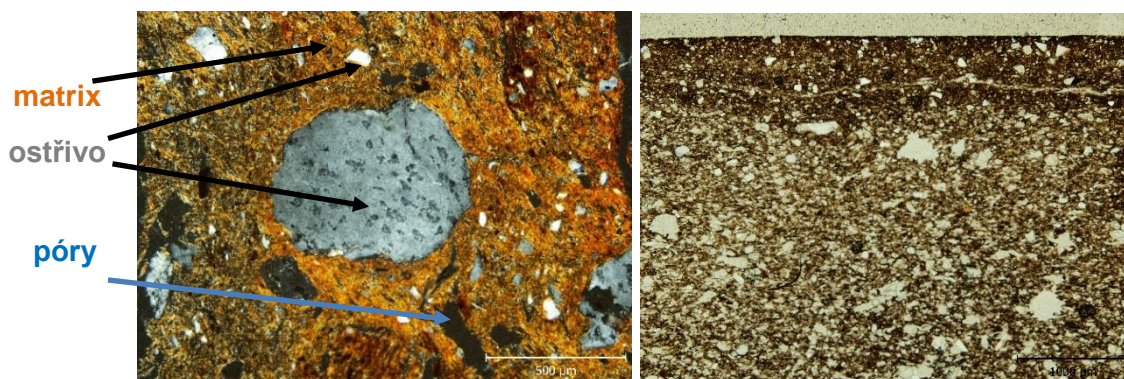
- ✓ užití - kamnářské, pro kameninu, pro porcelán, obkládačky...,
- ✓ stavu povrchu - lesklé, matné, polomatné...,
- ✓ barvy - bezbarvé, barevné např. – zelené, modré, hnědé ...,
- ✓ kryvosti – transparentní, krycí, polokrycí...,
- ✓ teploty výpalu – nízkotavné (pod 1000 °C), středně tavné (1000-1200 °C), vysokotavné (nad 1200 °C),
- ✓ speciální – stékavé, krystalické, solné, crispé aj.

Následnou dekoraci lze popsat podle polohy vůči glazuře na naglazurovou nebo podglazurovou, která se týká především stabilních slinutých materiálů s transparentními glazurami (kameniny a porcelánu). Naglazurní dekorace jsou aplikovány na glazuru a opětovně vypalovány, takže předmět prochází minimálně dvěma a více výpaly, což vyžaduje vyšší stupeň znalostí a nákladů na suroviny resp. pozdější období než je typické pro nízkopálenou nestabilní keramiku. U ní lze uvažovat pouze o nízkotavných glazurách, zde jsou však historické možnosti omezené pouze na glazury olovnaté a i u těch se teplota výpalu pohybovala spíše u vrchní hranice výpalu nízkopálené keramiky (800-1000 °C). Takže archeologické glazované nálezy se řadí převážně mezi střepy stabilní.

2. 1. 2. Keramika – struktura a vlastnosti nízkopáleného střepu

Struktura nízkopálené keramiky vyrobené z přírodních především jílových surovin obsahuje tři základní fáze (Obr. 5):

1. **matrix** - tvořená převážně výpalem plastických surovin s velmi jemným ostřivem, obsahuje amorfní složku ve formě metajílů, velmi jemné krystaly ostřiva a minimální obsah skelné fáze vytvořené eutektickými tavivými,
2. **krystalickou fází** – ve formě výpalem nezměněných primárních surovin (např. ostřiv) a nově vytvořené krystalické fáze, v případě archeologických nálezů nebo v exteriéru umístěných keramických objektů mohou být přítomny také rekrystalizované fáze a sekundárně vnesené krystalické složky z podloží, společně s matrix tvoří pevnou fázi keramického střepu,
3. **póry** - lze je rozdělit na primární, které jsou pozůstatkem po vytváření a dokumentují použitou technologii (typické podélné póry při točení na kruhu apod.) a sekundární vznikající rozkladem vstupních surovin (např. kalcit, dolomit apod.).



Obr. 5: Mikrostruktura nízkopáleného střepu, povrchová vrstva s trhlinou OM, vlevo PPL, vpravo XL

Jednotlivé fáze keramiky se hodnotí kombinací různých metod a v případě objektů kulturního dědictví je nutné zvážit nutnost odběru vzorku a upřednostňovat nedestruktivní metody průzkumu. Termín destrukční metoda (DM) specifikuje nutnost odběru vzorku z objektu pro danou analýzu, samotný vzorek při analýze může být spotřebován (analýza je destrukční vzhledem k vzorku DV) nebo může být analýzou neporušen a následně uložen pro další výzkum (NDV). V případě přípravy vzorku výbrusu je destrukční odběr vzorku ze střepu, ale výbrus samotný lze opakovaně použít a lze se k dalšímu pozorování v budoucnu (např. při získání dalších vzorků) vrátit. Identifikace a průzkum jednotlivých fází různými metodami včetně stavu použitého vzorku jsou velmi stručně uvedeny v Tabulce III.

Při analýzách střepové hmoty se většinou hodnotí společně matrix a ostřivo, protože je problematické tyto dvě fáze oddělit. U nestabilní nízkopálené keramiky lze rozdělení fází provést, pokud je k dispozici dostatečné množství vzorku, rozplavením a následným síťováním na hrubou (ostřivo) a jemnou (matrix) složku [27]. Pokud fáze nelze oddělit, provádí se specifikace těchto fází především hodnocením výbrusů pomocí optické mikroskopie, která je proto stále stěžejní metodou hodnocení keramických materiálů vyrobených z jílových surovin. Poskytuje informace o minerálním a horninovém složení ostřiva, o základních mikrostrukturních znacích (velikost, tvar, množství, distribuce a orientace zrn a pórů) a charakteru matrix [14,17,41-42]. Zrnitost se u archeologické keramiky člení na velmi hrubou (nad 2,5 mm), hrubou (1,5-2,5 mm), střední (1,5-0,5 mm) a jemnou (0,5-0,1mm). Z hlediska převažujícího fázového složení na písčitou, slídovou a grafitovou s další specifikací grafitové suroviny. Pórovitost u nízkopálené střepové hmoty téměř vždy přesahuje hranici pro vysoce pórovité materiály 10 %.

Tabulka III: Základní metody hodnocení jednotlivých složek keramického střepu

fáze	informace	hlavní/doplňující metoda	stav vzorku
matrix	• množství amorfni fáze	XRD rentgenová difrakční analýza OM světelná optická mikroskopie	prášek - DM, DV výbrus - DM, NDV
	• typ matrix, orientace hmoty	OM světelná optická mikroskopie SEM elektronový skenovací mikroskop	výbrus - DM, NDV nábrus - DM, NDV
	• chemické složení	XRF-P rentgenová fluorescence, přenosná XRF rentgenová fluorescence SEM/EDS, WDS elektronová mikroskopie s příslušným detektorem	NDM prášek - DM, DV nábrus -
	• mineralogické složení	XRD rentgenová difrakční analýza OM světelná optická mikroskopie DTA diferencní termická analýza RS-P Ramanova spektroskopie, přenosná RS Ramanova spektroskopie	prášek - DM, DV výbrus - DM, NDV prášek - DM, DV NDM prášek - DM, NDV
ostřívo	• chemické složení	XRF-P rentgenová fluorescence, přenosná XRF rentgenová fluorescence SEM/EDS, WDS elektronová mikroskopie s příslušným detektorem	NDM prášek - DM, DV nábrus -
	• mineralogické složení	XRD rentgenová difrakční analýza OM světelná optická mikroskopie DTA diferencní termická analýza RS-P Ramanova spektroskopie, přenosná RS Ramanova spektroskopie, MRS micro-Raman	prášek - DM, DV výbrus - DM, NDV prášek - DM, DV NDM prášek - DM, NDV
	• tvar, velikost orientace zrn	OM světelná optická mikroskopie SEM elektronový skenovací mikroskop	DM - nábrus, výbrus DM - nábrus
póry	• charakter pórovitosti - tvar, velikost a orientace pórů	OM světelná optická mikroskopie	DM - výbrus
	• distribuce pórů	OM + obrazová analýza Hg porozimetrie	DM - výbrus NDV DM - drobné úlomky
	• kritéria hutnosti	Archimedova metoda - AM	NDM - úlomky NDV
	• skutečná pórovitost resp. hustota	pyknometrie (He)	DM - prášek NDV - kompak
povrchová úprava	• identifikace pigmentů	RS Ramanova spektroskopie XRD rentgenová difrakční analýza	DM - prášek nebo z povrchu kompaktu
	• složení korozní vrstvy	SEM/EDS, WDS XRF mikrosonda	převážně DM
	• morfologie povrchu, defekty, otevřené póry	OM světelná optická mikroskopie SEM elektronový skenovací mikroskop	DM neupr. povrch DM neupr. povrch
	• různé nálepy, často organického původu	IČ, RS, XRD rentgenová difrakční analýza IČ - P infračervená spektrometrie, přenosná RS - P Ramanova spektroskopie, přenosná MRS micro-Raman	DM NDM NDM
potraviny	• analýzy potravinových zbytků apod.	GC plynová chromatografie AMS urychlovačová hmotnostní spektrometrie	DM

Vlastnosti keramického materiálu jsou většinou složitou funkcí jeho surovinového, chemického a mineralogického složení a procesů, které probíhají při jednotlivých technologických operacích (Obr. 2). U keramiky jsou vlastnosti závislé na její konečné

strukturu a tak na základě volby vhodných surovin a následných technologických operací lze dosáhnout velmi rozličných vlastností, v případě nízkopálené pórovité je lze definovat následovně:

- ✓ **mechanické** – vysoce pórovité materiály mají velmi nízké hodnoty mechanických vlastností, střepové hmoty jsou velmi křehké a poměrně tvrdé,
- ✓ **chemické** – obecně mají poměrně vysokou odolnost proti působení chemických činidel i při vyšších teplotách,
- ✓ **tepelné** – obecně velmi dobře odolávají vysokým teplotám a do jisté míry jsou odolné i proti teplotnímu šoku, zejména při ohřevu,
- ✓ **elektrické** – mají nízkou elektrickou vodivost, jsou spíše izolanty
- ✓ **optické** – jsou průhledné pouze v tenké vrstvě (cca 20-40 μm) ve formě mikroskopických výbrusů.

Obecně je historická keramika z jílových surovin s teplotou výpalu do 1000 °C neprůhledný materiál s poměrně nízkou mechanickou pevností, relativně vysokou chemickou odolností a velmi nízkou tepelnou a elektrickou vodivostí.

Stabilita keramiky je termín, na který je nahlíženo různě podle zúčastněných profesí, pro současného keramického technologa je stabilita často spojena s technickými materiály ze syntetických surovin s přesně definovanými vlastnostmi, archeolog a historik má často stabilitu spojenou s porcelánem a kameninou a hrnčinu spíše podvědomě řadí k materiálům nestabilním, restaurátor se řídí jednoznačně mechanickou stabilitou střepu, resp. jeho celistvostí a soudržností a i tento pohled může být velmi subjektivní. Obecně platí, že stabilní střepová hmota je pálená na vyšší teplotu. Avšak i keramika vypálená na 1000 °C může vlivem okolních podmínek (především vlhkostí, teplotou a pH), popř. spojených i s mechanickým zatížením, vést k výrazné degradaci způsobující snížení její stability. To se projevuje trhlinkami, popř. změnou barevnosti povrchové vrstvy, případným lístkováním až drobivostí, sníženou kompaktností keramického střepu a u takového materiálu je nutné provést sanační konzervaci před vlastním restaurátorským zásahem.

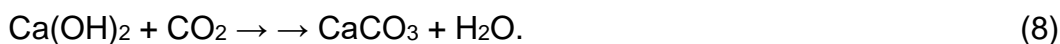
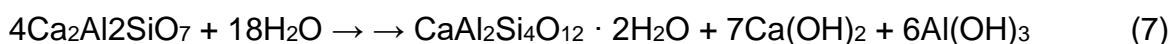
2. 1. 3. Stárnutí a degradace nízkopálené keramiky, objekty nestabilní keramiky

Pórovité keramické střepey vytvořené z přírodních surovin se značným podílem zemin s vysokým obsahem jílových minerálů s výpalem do 1000 °C, jsou méně odolné proti **stárnutí**. Vykazují relativně nízký obsah skelné fáze a mají poměrně vysokou otevřenou pórovitost. K takovým keramickým materiálům patří např. archeologický materiál z produkce pravěkých, středověkých a zčásti i novověkých hrnců.

Stárnutí pórovité keramiky je zpočátku, krátce po výpalu, poměrně rychlý a potom naopak relativně pomalý, ale vždy dlouhodobý a nevratný proces. Způsobuje ne vždy dostatečně výraznou změnu některých původních vlastností páleného keramického střepeu. Nejvíce se projevuje nárůstem objemu pevné fáze střepeu. Jedná se o komplexní proces, charakterizovaný společným chemickým a fyzikálním působením vody na střepe. Při nasáknutí vody do otevřených pórů střepeu dojde obvykle k mírnému zvětšení objemu pevné fáze střepeu. Jedná o vratnou vlhkostní roztažnost, kterou lze odstranit vysušením. Pokud voda zůstane v pórech střepeu delší dobu (měsíce a více), dojde k její reakci s nestabilními fázemi střepevé hmoty. Může docházet k jejich hydrataci/rehydrataci a následně k rehydroxylaci, při které dochází ke zpětnému navázání OH skupin do reaktivního zbytku po jílovém minerálu např. metakaolinitu (obrácený směr rovnice 1) nebo k rozpouštění popř. rekrystalizaci bezvodých minerálů, vzniklých při výpalu ve střepeu, na jejich hydratované formy, případně vyluhování některých složek střepeu, např. nestabilní nehomogenní skelné fáze. Tyto reakce způsobí nežádoucí změny minerálního i chemického složení střepeu apod., které jsou za normální teploty nevratné. Významným vnějším projevem uvedené reakce vody s pórovitým páleným střepeem je zvětšení objemu střepeu, které je pro dané mineralogické složení střepeu do jisté míry úměrné již proběhnuté reakci. Jedná se o tzv. nevratnou vlhkostní roztažnost střepeu. [24-29].

Dalším zdrojem degradace vápenatého nízkopáleného střepeu může být nestabilní vápenatá složka. Při rozkladné reakci kalcitu (dané podmínkami výpalu a velikostí částic) vzniká reaktivní CaO (rovnice 4), který podle teploty a surovinového složení dál reaguje s dalšími složkami (rovnice 5-6), nebo může zůstat ve střepevé hmotě a vést k rekrystalizaci kalcitu. Pokud je výpal veden ke vzniku nových krystalických fází ve formě anortitu, gehlenitu či mullitu ve správném poměru (výpal nad 900 °C), lze získat střepeovou hmotu s nižší hodnotou vlhkostní roztažnosti oproti nevápenatému

střepu při stejném režimu výpalu (téměř o poloviční hodnotu). Pokud se teplota výpalu pohybuje do 900 °C, nebo není dodržen stechiometrický poměr oxidů nutných pro vyvážení veškeré Ca složky, nachází se ve vypálené střepové hmotě velmi reaktivní volný oxid vápenatý, který reaguje se vzdušnou nebo půdní vlhkostí na hydroxid vápenatý. Následně začne pozvolna probíhat jeho reakce s atmosférickým oxidem uhličitým a dochází ke krystalizaci sekundárního (reformovaného) kalcitu. Pokud je archeologická keramika s volným CaO uložena v prostředí bohatém na uhličitánové roztoky (např.; prostředí jímek, pohřebiště) může dojít k tvorbě sekundárního kalcitu (vysrážený kalcit), který se vyskytuje na povrchu nebo částečně či úplně vyplňuje póry a praskliny keramického předmětu. Pokud keramika obsahuje metastabilní gehlenit, může dojít při dlouhodobém působení půdní vlhkosti k jeho přeměně na wairakit (hydratovaný hlinito-křemičitan vápenatý) a hydroxid vápenatý, který následně reakcí s oxidem uhličitým vede ke krystalizaci sekundárního kalcitu [32,43]:






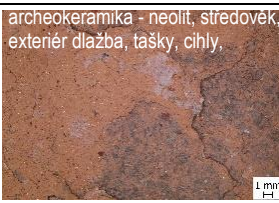


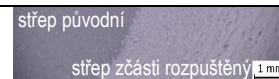
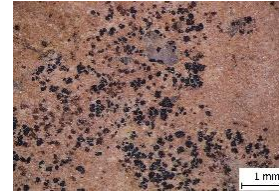

Rekrystalizace je doprovázená objemovou expanzí cca 14 obj. % (k největšímu objemovému nárůstu o 11,8 obj. % [44] dochází během reakce hydroxidu vápenatého s CO₂). Objemový nárůst může vést ke vzniku prasklin ve střepu, popř. až k jeho destrukci, proces rekrystalizace bývá také zdrojem vzniku vápenaté krusty na povrchu střepu.

V případě nestabilního keramického materiálu je převažující příčinou degradace:

- poškození mechanické,
- nízká mrazuvzdornost,
- vlhkostní roztažnost resp. stárnutí střepu,
- a koroze vlivem vnějšího prostředí.

Nejméně odolnou částí keramického výrobku bývá nízkopálená dekorace. V případě degradace nízkopáleného materiálu se pak stává nestabilní celý předmět a příčinou bývá kombinace výše uvedených procesů, případně dalších, jako je kapalinová koroze, biologické poškození, vznik výkvětů. Někdy může dojít k poškození objektu nevhodným konzervátorsko-restaurátorským zásahem např. při čištění nebo při použití nevhodných pomocných materiálů. Různé typy defektů včetně jejich snímků jsou stručně shrnuty v tabulce IV.

Tabulka IV: Typy a zdroje poškození nízkopálené keramiky

název degradace • <i>typ poškození</i>	podmínky vzniku	příčina vzniku	příklad výrobku/foto poškození
primární defekty • <i>trhliny</i>	✓ nevhodné podmínky při výrobě	rychlé sušení, nevhodné podmínky výpalu apod.	 trhliny po rychlém sušení 1 mm
sekundární defekty			
mechanické poškození • <i>ostré trhliny až celková destrukce</i>	✓ nevyzdvižené nálezy v půdě např. zemědělská mechanika ✓ neopatrné zacházení, náraz, pád ✓ nevhodný způsob čištění ✓ nevhodný způsob uložení	vnější mechanické zatížení střepu	
poškození mrazem • <i>trhliny až rozpad předmětu</i>	✓ nevyzdvižené nálezy v půdě působení vody a následný mráz	objemový nárůst při změně skupenství vody v led v pórech střepu	 archeologické střepy, cihly, tašky 1 mm
stárnutí střepové hmoty • <i>jemné trhlinky na povrchu vedoucí až k destrukci</i>	✓ nevyzdvižené nálezy ve vlhké půdě (např. jímky apod.) ✓ vzdušná vlhkost v exteriérovém umístění ✓ vzdušná vlhkost v depozitu	1. vlhkostní roztažnost: rehydratace/rehydroxylace nestabilních fází - expanze 2. reakce živcových zrn s vodou u střepů pálených pod teplotou tání živců	 archeokeramika - neolit, středověk, exteriér dlažba, tašky, cihly 1 mm
výkvěty • <i>skvrny, trhlinky</i>	✓ vlhké prostředí a přítomnost ve vodě rozpustných solí	transport rozpustných solí pórovitým střepem na povrch	 archeologické střepy, cihlářské výrobky, tašky 1 mm
kapalinová koroze • <i>změna barvy, trhlinky, důlky</i>	✓ nevyzdvižené nálezy v půdě: • působení alkalických roztoků • působení organických kyselin • působení anorg. kyselin • působení roztoků solí • vliv korodujícího materiálu v blízkosti nálezu	rozpuštění skelné fáze koroze jiného materiálu v okolí	 převážně glazované povrchy 1 mm
	✓ působení kyseliny fluorovodíkové, fosforečné	rozpuštění střepu, glazur extrémní případ	 střep původní střep zčásti rozpuštěný 1 mm
biologické poškození • <i>změna barvy, trhlinky</i>	✓ nevyzdvižené nálezy v půdě ✓ nevhodné uložení	působení mikrobů	 1 mm
nevhodné restaurátorské zásahy • <i>trhliny, praskliny, rozpad předmětu</i>	✓ nevhodná technologie např. čištění, lepení ... ✓ nevhodný pomocný materiál	mechanické pnutí mezi střepy a pojivy/výplní, biologické poškození přírodních pojiv, kapalinová koroze povrchových vrstev apod.	

Nestabilními keramickými nálezy jsou nejčastěji:

- „nekvalitní“ keramické střepy velmi nízko pálené keramiky, patří sem např. funerální keramika, popř. keramika s defekty vzniklými již při samotné výrobě (nevhodné složení surovinové směsi, rychlé sušení a špatně vedený nehomogenní výpal),
- předměty nízkopálené keramiky – např. zásobnice a užitná hrncina, u nichž došlo během nevhodných dlouhodobých podmínek uložení (pH půdy, střídání vlhkosti, teploty) k jejich degradaci,
- předměty s „choulostivou“ povrchovou úpravou jako je inkrustace, tuhování, povrchové vyčnívající dekorace, různé typy nástřepí (engoby, nátěry, případně velmi nízkotavné glazury), např. se jedná o tuhované nádoby, zvoncové poháry (Obr. 6),
- často se do této skupiny řadí také předměty z nepálené zeminy, jako jsou mazanice, pražnice, vepřovice, hliněná závaží ke tkalcovskému stavu (Obr. 6), přesleny, opotřebované nebo mechanicky poškozené keramické předměty,



Obr. 6: Soubor nestabilních předmětů: nahoře nádoby; dole mazanice, pražnice a v popředí tkalcovské závaží

2. 2. Archeologický keramický nález

„Archeologický nález je definován v odst. 1 § 23 zákona č. 20/1987 jako věc (soubor věcí), která je dokladem nebo pozůstatkem života člověka a jeho činnosti od počátku jeho vývoje do novověku a zachovala se zpravidla pod zemí“. [45]

Věc se stává archeologickým nálezem, když neslouží svému účelu a je dlouhodobě uložena pod zemí (příp. ve vodě nebo v hmotě historické stavby). Stáří předmětu není vymezené, může být z různých období od pravěku až po novověk. Mohou být jak movité, tak nemovité a společně s předmětem patří k archeologickému nálezu i vrstva, v němž byl uložen např. pozůstatky obydlí (valy, násypy a jímky), pohřbívání (hroby, mohylové násypy) atd. Nemovitý archeologický nález zpravidla obsahuje nálezy movité (soubor movitých a nemovitých archeologických nálezů uložený v zemi nebo v zásypech kleneb, stropů či podlah bývá někdy označován jako „archeologická terénní situace“). Pro zachování kulturně historické i vědecké hodnoty archeologického nálezů je zásadní, aby zůstal v nezměněné podobě do doby, než bude odborně prozkoumán, protože i sebemenší zásahy (například vyjímání movitých nálezů ze souvrství) hodnotu archeologického nálezů výrazným způsobem snižují. [9,46]

2. 2. 1. Exkavace nálezů, nálezové okolnosti, transport

Archeologické výzkumy probíhají většinou plošným odkryvem v sektorech, po přirozených vrstvách. Způsob vyjmutí a zacházení s nálezem v době, než se dostane k restaurátorovi k odbornému zpracování, předurčují informace, které lze po odkryvu získat. Přítomnost restaurátora na místě výkopu a jeho spolupráce s archeologem, má zásadní význam pro zabránění případného poškození nálezů při jeho odkrývání i vyjímání z naleziště, výrazně se tím minimalizuje počet budoucích restaurátorských zásahů.

Keramický materiál s otevřenou pórovitostí je po dlouhodobém umístění v místě nálezů v rovnováze s okolním prostředím. Pokud je náhle vystaven novým podmínkám (v exteriéru vliv počasí, v interiéru např. sálání reflektorů) může dojít k jeho poškození (popraskání, lístkování apod.). Proto je vhodné keramický nález vyzdvihnout s obklopující zeminou a zpevnit obalem. Pokud jsou v průběhu vykopávek nalezeny drobné keramické předměty či samostatně ležící zlomky, jsou klasifikovány (lokalizace, dokumentace) a popsány na místě a následně uloženy v sáčcích do kontejneru. Nález musí mít stejné nebo podobné podmínky jako v místě svého

původního uložení (nesmí se hned po vyzdvižení omývat a prudce sušit). Pokud je nalezen celistvý nebo minimálně narušený rozměrnější keramický nálezy, je vhodné jej vyzvednout vcelku a zpevněný okolní zeminou transportovat do laboratoře. Pokud již k destrukci předmětu došlo, usnadní budoucí prostorovou identifikaci jednotlivých částí. Okolní zemina chrání předmět také před prudkými změnami okolních podmínek a může obsahovat důležité stopy a odpadlé části (např. zbytky potravin, výzdoby).

Exkavaci předmětu včetně okolní zeminy je někdy nutné v průběhu odkrývání zpevnit např. fólií nebo bavlněnými nebo sádrovými obvazy, samolepicími pásy, polyuretanovou pěnou (Obr. 7). K balení není vhodné používat vatu, buničinu nebo papírové ubrousky, protože u velmi vlhkých nálezů podporují růst plísní a rychle se rozkládají. Uložení nálezu v přepravním kontejneru musí být stabilní, nesmí docházet k jeho volnému pohybu.



Obr. 7: Příklady fixace keramických nálezů fólií, fixace polyuretanovou pěnou

Všechny obaly exkavovaných artefaktů musí být označeny (lokalita, umístění, hrob/objekt, sonda, sektor, vrstva, čtverec, kvadrant, blok, profil, výkop, typ naleziště ev. jiný kontext, číslo sáčku, druh materiálu, datum vyzvednutí). Pro další výzkum nálezu je nutné zaznamenat do deníku i nálezové okolnosti zejména s ohledem na případné sekundární znečištění, které by mohlo vést k nesprávné interpretaci analýz.

Restaurátor na místě vykopávek sleduje nálezové okolnosti a spolupodílí se na rozhodování o správném způsobu exkavace, odběru vzorků, případně provede dočasnou konsolidaci předmětu v terénu (použit lze např. Cyklododecan nebo IFES OH). Ta umožní jeho hladký **transport do laboratoře** k odbornému zpracování. Vyzdvižené nálezy by měly být před laboratorním zpracováním uchovávány v kontrolovaném prostředí v tzv. **pasivním úložišti** (dočasné ukládání má být co nejkratší, někdy se prodlužuje na několik let). Pokud nelze klimatizací zajistit

podmínky kontrolovaného prostředí (např. různé podmínky pro různé nálezy) je vhodné k udržení vlhkých artefaktů použít uložení v průhledných plastových kontejnerech s lokálním vlhčením a pravidelnou kontrolou parametrů. [47]

2. 2. 2. Předávací protokol

Předávací protokol obsahuje seznam s podrobnou identifikací a počtem předmětů určených k restaurování. Slouží jako podklad pro restaurátorský záměr. V této fázi je vhodné doplnit informace o nálezových okolnostech a definovat zadání následného výzkumu (složení hmoty a povrchové úpravy, technologie výroby, provenience nálezu apod.), aby mohly být zvoleny vhodné vzorky a příp. jejich odběr a metody.

2. 3. Restaurátorský průzkum, odběr vzorků a metody charakterizace nestabilních střeptových hmot

Restaurátorský průzkum exkavovaného předmětu je nedílnou součástí každého restaurátorského zásahu a bez jeho provedení nelze zásahy provést kvalifikovaně. Některé metodiky uvádějí seznam analýz vhodných k charakterizaci anorganických historických materiálů obecně [48-50], některé jsou zaměřeny již na konkrétní materiály např. kámen [51], sklo [52-53], sádro [54] popř. zcela odlišné materiály, např. papír [55] obsahující postupy aplikovatelné na zpracováváný nález. V případě keramiky jsou zatím takové podklady k dispozici ojediněle a zabývají se keramikou obecně bez rozdělení odlišnosti restaurátorského zásahu podle stability střeptových hmot [46].

2. 3. 1. Předběžný restaurátorský průzkum

Předběžný komplexní průzkum exkavovaného předmětu je nedílnou součástí každého restaurátorského zásahu. Na základě jeho výsledků s následným doplněním upřesňujících analýz je navržena vhodná metoda ošetření objektu a optimální konzervační strategie. Většinou se jedná o optické, neinvazivní metody předběžného průzkumu nevyžadující odběr vzorku.

V raných fázích restaurátorské práce probíhá posouzení objektu pouhým okem, dále pomocí lupy, kapesního mikroskopu, případně polarizačního mikroskopu. Hodnotí se stabilita střeptů, stav lomových ploch, poškození povrchových vrstev, míra znečištění, popř. sekundární opravy, provedené v minulosti atp. Sledují se stopy po nástrojích – otisky nástrojů používaných během vytváření plastické výzdoby, hladítek, kartáčů, strun pro odřezávání, textilií, popř. otisky prstů, dlaní a rukou. Velmi

jednoduchou zkouškou stavu slinutí keramických materiálů je testování poklepem. V případě nízkopálené keramiky je střep při poklepu nezvonivý, naopak hutné slinuté střepy při poklepu zvoní. Primární informaci o mechanické pevnosti materiálu, zda se střepová hmota neuvolňuje a je kompaktní, lze získat sondováním (např. vpichem tenkou jehlou). Průzkum rozpustnosti materiálu včetně povrchových vrstev možné provést mokré čištění.

2. 3. 2. Odběr vzorků pro analytické metody průzkumu

K charakterizaci keramických nálezů, zahrnující hodnocení základních fází střepových hmot (matrix, ostřívo a póry) včetně povrchových úprav, lze použít kombinace stanovení různých parametrů a řady analytických metod (Tabulka III), které se používají k hodnocení současných keramických materiálů. Některé publikace uvádějí souhrn používaných metod [14,17,56-57], většina je zaměřena na vybranou metodu např. mikropetrografii keramických výbrusů [41-42]. Velmi důležitým krokem je výběr vhodného vzorku a vhodné metody pro získání požadované informace. Pokud je zvolen nevhodný vzorek nebo je odebrán nesprávným způsobem, popř. špatně připraven, jsou získané informace zkreslené. V případě nízkopálené keramiky se často jedná o velmi heterogenní střepové hmoty s nehomogenním výpalem, proto je dobré zvážit možnost provedení analýz z různých míst objektu (např. u nádoby z okraje, výduti a popř. dna). Jsou preferovány neinvazivní metody, ale v případě možnosti odběru jsou pro jednotlivé analýzy připravovány vzorky ve formě:

práškové - střepová hmota velmi jemně rozetřená, nejčastěji v achátové misce (voleno dle typu keramiky), musí být před většinou analýz vysušena (XRD, XRF, RS, IČ), v případě identifikace korozních produktů je tato vrstva jemně odebrána ze střepové hmoty a následně měřena nebo je analyzována přímo na povrchu střepu (např. SEM+ analyzátor), v rámci stejného projektu, jehož výsledkem je předkládaná metodika, byla vytvořena databáze „Databáze materiálů užívaných v glazurách“ popisující metody použité na práškových vzorcích mj. surovin a střepových hmot [57], **kompaktní** - fragmenty pro stanovení parametrů střepové hmoty (AM) mohou být po analýze zakomponovány do restaurovaného předmětu, úlomky pro přípravu leštěného **nábrusu** (OM) musí být vhodně orientované vzhledem k hlavní ose nádoby, **výbrus** (OM) resp. tenký keramický vzorek (20-50 μm) se získá odříznutím z nábrusu,

pro rentgenové analýzy (XRD a XRF) lze také použít rovné kompaktní vzorky o omezené velikosti a následně je vrátit k souboru restaurovaného materiálu.

2. 3. 3. Charakterizace a parametry střeptových hmot (OM, AM, porozimetry)

Prvním krokem k určení **charakteru střeptových hmot** je stanovení jejich parametrů nazývaných **kritéria hutnosti** (otevřená pórovitost, objemová hmotnost, hmotnostní nasákavost a zdánlivá hustota). Jedná se o nedestruktivní metodu, proto lze vzorky použít k dalším analýzám nebo je vrátit do souboru střeptů určených k restaurování. Jedná se o normovanou metodu (ČSN EN ISO 10545-3 [58] a ČSN 72 5010 [59]), doplňující informací je určení skladovací vlhkosti. Vzorky střeptů zkoumaného objektu se postupně váží v následujících situacích: původní vlhký nevysušený vzorek (m), vzorek vysušený do konstantní hmotnosti při 105 °C (m_s), vzorek nasycený vodou po 2 hodinovém vaření (mírný var se vzorkem umístěným na drátěné síti, aby nedošlo k poškození/otěru během varu) s následným 24 hod. ponorem - vážený ve vodě (m_{w1}) a vážený na vzduchu po otření vlhkou utěrkou (m_w). Ze vzorců uvedených níže jsou pak vypočteny veličiny:

✓ skladovací vlhkost (W)	$W = \frac{m - m_s}{m} \cdot 100 \text{ [hmotn. \%]}$	(9)
✓ nasákavost (E)	$E = \frac{m_w - m_s}{m_s} \cdot 100 \text{ [hmotn. \%]}$	(10)
✓ objemová hmotnost (OH)	$OH = \frac{m_s \cdot d_{H_2O}}{m_w - m_{w1}} \text{ [g/cm}^3\text{]}$	(11) d_{H_2O} = hustota vody při dané teplotě
✓ zdánlivá pórovitost (P_{ap})	$P_{ap} = \frac{(m_w - m_s)}{m_w - m_{w1}} \cdot 100 \text{ [\%]}$	(12)
✓ zdánlivá hustota (d_{ap})	$d_{ap} = \frac{m_s \cdot d_{H_2O}}{m_s - m_{w1}} \text{ [g/cm}^3\text{]}$	(13)
✓ skutečná pórovitost (P)	$P = \frac{(1 - OH)}{d_v} \cdot 100 \text{ [\%]}$	(14) d_v = hustota materiálu

Ke stanovení pórovitosti lze také použít rtuťovou porozimetrii spočívající v měření objemu rtuti vniknuté do pórů vzorku působením vnějšího tlaku (ISO 15901-1:2016) [60]. Výhodou je podstatně menší velikost analyzovaných vzorků, které však nelze dále použít, protože jsou znečištěny rtuťí. Skutečná hustota práškových vzorků se stanovuje pyknometricky (ČSN EN ISO 18753) [61], nejčastěji heliovým pyknometrem (hustota prášku se vypočítá z jeho hmotnosti a objemu, který odpovídá objemu plynu vytlačeného práškem).

Kritéria hutnosti, především nasákavost a pórovitost, jsou důležitá pro charakterizaci stupně slinutí střepe, který je úzce spojen s jeho stabilitou, a také pro následnou volbu vhodného adheziva. Pokud je střepe velmi narušený a není možné ho zatížit varem, pak se tento krok vypouští. V případě obav porušení i při ponoření do vody lze použít např. zpevnění pomocným materiálem (např. parafinem, ČSN EN 1936 Zkušební metody přírodního kamene - Stanovení měrné a objemové hmotnosti a celkové a otevřené pórovitosti [62]) nebo vážení v kapalném dusíku, popř. pokud lze připravit geometricky definovatelný vzorek, tak provést výpočet z jeho rozměrů. Pokud nelze vzorek charakterizovat žádnou z uvedených metod, hodnotí se pórovitost materiálu mikroskopickým pozorováním (OM), popř. spojeným s následnou obrazovou analýzou.

Velikost, tvar a orientaci pórů lze pozorovat při dopadajícím světle na nábrusech, pokud je cílem také petrografické hodnocení materiálu, je nutné připravit mikroskopické výbrusy reprezentující celkový stav nálezů. V případě hodnocení technologie vytváření na základě orientace pórů je vhodné použít výbrusy příčných lomů orientovaných rovnoběžně s hlavní osou předmětu a rovněž výbrusy na ni kolmé. Pokud je cílem hodnocení také stav povrchové úpravy a pozorování korozní vrstvy, nesmí být povrch při přípravě vzorku poškozen. Zcela zásadní je počítat s možností vzniku dodatečných trhlin při přípravě mikroskopických výbrusů nestabilních materiálů (může se stát už při primárním odříznutí, problematickým krokem je leštění tenkých vzorků).



Obr. 8: Ukázka vstupní úpravy (zalití a vakuování) vzorků pórovité keramiky, vlevo dole ukázka nábrusu (vlevo) a výbrusu (vpravo)

Proto je u nízkopálené nestabilní keramiky nutné střep nejdříve napustit vhodným konsolidantem pomocí vakua (Obr. 8). Po zpevnění lze střep odříznout a pak upravit na leštěný nábrus, popř. přilepením na podložní sklo a následným řezem, broušením, leštěním připravit mikroskopický výbrus, který lze po pokovení použít i pro elektronovou mikroskopii a mikroanalýzu. Pouze kvalitně připravený výbrus může poskytnout informace o primárních trhlinách a defektech nestabilní střepové hmoty.

2. 3. 4. Identifikace mineralogického složení střepových hmot (OM, XRD, IR, RS, TA atd.)

Základní metodou pro hodnocení mineralogického složení je vedle optické mikroskopie (OM) v procházejícím světle také rentgenová difrakce (XRD) nejlépe v kombinaci OM, dále STA, IR, RS.

Světelná optická mikroskopie (OM) v procházejícím světle je základem „keramické petrografie“, kdy se některé vlastnosti minerálů (např. štěpnost, reliéf, tvar, stavba a pleochroismus) sledují v lineárně polarizovaném světle (PPL) a ve světle polarizovaném ve dvou rovinách (tzv. zkřížené nikoly XPL) se hodnotí, např. zhášení a interferenční barvy [63-64]. Na základě znalostí optických a tvarových vlastností minerálů jsou pak identifikovány u výbrusů nízkopálené keramiky jednotlivé minerály a při využití petrografie mohou také poskytnout informace o horninovém složení ostřiva a charakteru základní matrix. Mikroskopickým pozorováním lze zachytit ojedinělá zrna minerálů, která budou svým množstvím pod mezí detekce ostatních metod, typickým příkladem jsou destičky slíd. Na základě identifikovaných minerálů, stavu hran zrn, barevnosti a pleochroismu matrix lze orientačně určit teplotu výpalu včetně oxidačně/redukčních podmínek. [17,41-42,56].

Rentgenová difrakční analýza (XRD) je analytická metoda zabývající se studiem interakce vzorků s rentgenovým zářením. Tato metoda umožňuje určit fázové složení vzorků, identifikovat přítomné krystalické fáze, případně i určit jejich strukturu. Při průchodu monochromatického rentgenového záření látkou dochází k pružnému ohybu (difrakci) paprsků. Směr a intenzita difraktujících paprsků závisí na vnitřní struktuře vzorku. V amorfním vzorku jsou atomy rozmístěny nepravidelně a příspěvky k celkové intenzitě difraktovaného záření se vzájemně vyruší. Naopak u vzorku s periodickou strukturou příspěvky k celkové intenzitě difraktovaného záření vzájemně interferují a v určitých směrech, specifických pro konkrétní krystalovou strukturu,

se sčítají. Interferované záření je detekováno a zaznamenáno ve formě difraktogramu. Pro měření difraktogramů bývají používány práškové vzorky pigmentů, surovin a keramických hmot rozetřené v achátové misce, popř. lze použít i plošné vzorky při dodržení rovinnosti vzorku. V případě nízkopálené keramiky lze identifikovat primární (ze surovin) a sekundární minerály (vytvořené při výrobě, resp. výpalu), množství amorfni fáze, krystalické korozní produkty apod. (Tab. II a III).

Infračervená spektrometrie (IČ) je metoda založená na absorpci infračerveného záření při průchodu vzorkem, kdy dochází k přechodům mezi vibračními hladinami základního elektronového stavu, popř. změnám rotačně vibračních energetických stavů molekuly v závislosti na změnách dipólových momentů molekul. Výsledné infračervené spektrum látky představuje závislost propustnosti (transmitance) T , absorbance A , příp. reflektance R na vlnočtu či vlnové délce. Spektrum vzorku lze měřit v transmisním (záření prochází vzorkem) nebo reflexním (záření se odráží od vzorku) módu. Při analýze práškových vzorků se často uplatňují reflexní techniky. Metoda zeslabeného totálního odrazu **ATR** (attenuated total reflection), což je univerzální účinná technika bez nutnosti speciální přípravy vzorku. ATR technika je založena na principu úplného odrazu záření na fázovém rozhraní měřeného vzorku a měřicího krystalu z materiálu s vysokým indexem lomu. Měřený vzorek je pro dostatečný průnik záření ve formě evanescentní vlny v dokonalém kontaktu s krystalem. ATR technika je velmi rychlá a účinná forma infračervené spektroskopie, poskytující kvalitní spektrum podobné spektru v transmisním módu. Spektra se následně zpracují v příslušném programu (např. Omnic 9). Pro techniku ATR se používají práškové vzorky s měřením ve spektrálním rozsahu např. $4000\text{--}400\text{ cm}^{-1}$ s rozlišením 4 cm^{-1} a dobou měření cca 70 s. Speciální technikou pro měření IR spekter práškových i celistvých vzorků s nepravidelným povrchem je difuzní reflexe DRIFT (diffuse reflectance infrared Fourier transform spectroscopy), kdy dochází k fokusaci infračerveného paprsku na pevný vzorek a difuzně rozptýlené záření je vhodným optickým zařízením převedeno na detektor [57]. Tato technika je vhodná pro rozlišení např. minerálů, jejichž transmisní spektra jsou velmi podobná (např. kalcit a aragonit). Lze ji použít např. k identifikaci hydroxylových skupin rehydroxylovaných zbytků po výpalu jílových minerálů a tím získat podpůrnou informaci o přítomnosti „metajílů“ v keramické hmotě [26-27].

Ramanova spektroskopie (RS) je dalším typem metody vibrační molekulové spektroskopie. Základem metody je neelastický optický rozptyl záření (Ramanův rozptyl), jehož podstatou je zářivý dvoufotonový přechod mezi dvěma stacionárními vibračními stavy molekuly vyvolaný interakcí s fotonem dopadajícího záření. Ramanova spektroskopie podobně jako infračervená poskytuje informace o vibračních a rotačních stavech molekul. V Ramanově spektru je intenzita pásů úměrná druhé mocnině změny polarizovatelnosti během vibračního pohybu. Nevýhodou Ramanovy spektroskopie je možné riziko vzniku intenzivních fluorescencí, které překryjí celé spektrum. Ramanova a infračervená spektra mohou u většiny molekul, v závislosti na symetrii molekuly a jednotlivých vibračních pásů, být vzájemně komplementární. Obě metody se uplatňují při studiu a analýze pigmentů, barviv, pojiv, korozních vrstev či surovin, ať už organických či anorganických směsí. Ramanova spektroskopie patří mezi nedestruktivní analýzy a podle typu instrumentace lze Ramanova spektra měřit v makro, mikro i nano měřítku. [65]

Termické analýzy (TA - DTA, DSC, TGA, STA, TMA, DIL) umožňují sledování procesů probíhajících při tepelném zatížení vzorků (Obr. 3). Při jeho ohřevu dochází k vyvolání nebo změně intenzity sledovaného procesu např. dehydratace, dehydroxylace, rozkladné reakce, tání, krystalizace a transformační přeměny (Tabulka II), které mohou být doprovázeny změnou hmotnosti, objemu, uvolňováním nebo spotřebováním energie, změnou vodivosti atd. Podle vlastnosti, jejíž změna je sledována jako funkce teploty se nazývá i příslušná analýza [66]:

- Termogravimetrická analýza (TGA) - měří se hmotnost vzorku v závislosti na teplotě,
- Diferenční termická analýza (DTA) - měří se rozdíl teplot mezi vzorkem a standardem při ohřevu nebo při chladnutí,
- Diferenční skenovací kalorimetrie (DSC) - měří se tepelný tok dodávaný do referenční látky, tak aby teplotní rozdíl mezi vzorkem a standardem byl nulový,
- Termomechanická analýza (TMA) - sleduje se deformace vzorku při zatížení v závislosti na teplotě,
- Simultánní termická analýza (STA)
- Dilatometrie (DIL) - měří délkové změny (DZ) vzorku.

Tepelné zatížení vzorku probíhá podle určitého programu a může být dynamické (zahřívání nebo ochlazování) nebo statické (při konstantní teplotě v závislosti na čase). V současné době existuje řada termoanalytických metod, mezi nejpoužívanější patří TGA, DTA a DSC, které lze označit jako tzv. primární, na ně navazují další, sekundární metody (např. při TGA dojde rozkladem ke změně hmotnosti s uvolněním plynných produktů, které jsou následně detekovány další metodou EGA, Evolved Gas Analysis). Současné měření více vlastností v průběhu jednoho experimentu provádí tzv. simultánní termická analýza (STA) a popisuje se zkratkou použitých metod např. TG/DTA, TG/DTA EGA-MS, TG/EGA-IR (MS-hmotnostní spektrometrie, IR-infračervená spektroskopie). V případě nízkopálené keramiky se termickými analýzami sledují např. procesy dehydratace/dehydroxylace složek střeptové hmoty (zbytky jílových minerálů, slídy), rozkladné reakce uhličitánů, vyhořívání uhlíku apod.

Mezi další případné analýzy patří metody založené na luminiscenci materiálů (fotoluminiscence) a příp. na radioaktivitě (radiouhlíková metoda), na změně magnetické susceptibility vzorku (termomagnetometrie), na změně optické vlastnosti např. index lomu (termooptometrie), na charakteristice zvukových vln po průchodu vzorkem (thermoakustometrie), na záznamu zvuku vydávaného vzorkem při ohřevu (termosonometrie), na změně dalších elektrických vlastností např. vodivosti (termoelektrometrie).

2. 3. 5. Identifikace chemického složení střeptových hmot (XRF, SEM/EDS nebo WDS, AAS, ICP atd.)

Chemické složení keramického vzorku lze stanovit různými metodami, jejich volba je dána požadovanou informací, dostupností zařízení a finanční náročností. Metody jsou seřazeny dle četnosti používání.

Skenovací elektronová mikroskopie (SEM) s detektorem (EDS nebo WDS) tzv. mikroanalýza (mikrosonda) využívá pro zobrazování povrchu ve vysokém rozlišení urychlený svazek elektronů, který se postupně vychyluje systémem elektromagnetických cívek. Obraz se snímá postupně řádek po řádku, odtud název skenovací (rastrovací) elektronová mikroskopie. Tubus i vzorkovací prostor mikroskopu je nutné vakuovat (zamezení srážkám elektronu s částicemi vzduchu a kontaminaci mikroskopu). Umožňuje pozorování topografie povrchu pomocí sekundárních elektronů (SE, secondary electrons), které vznikají při dopadu

primárního svazku elektronů na vzorek jejich vyražením z vnějších slupek atomu. Při pozorování ve zpětně odražených elektronech (BSE, back scattered electrons) dochází ke Coulombovské interakci primárního svazku elektronů s jádrem a jejich návratu s určitou ztrátou energie. Protože interakce je závislá na protonovém čísle, zobrazuje se materiálový kontrast. Pokud mají být detekovány jednotlivé prvky nebo provedena (semi)kvantitativní analýza, lze připojit energiově (EDS) nebo vlnově disperzní (WD) spektrometr. Ten detekuje charakteristické rentgenové záření, které vzniká při dopadu primárního svazku elektronů na vzorek. Pro přesnou mikroanalýzu je nutné povrch keramických vzorků naleštit (leštěný nábrus nebo výbrus) a pokovit (např. uhlíkem nebo zlatem). V současné době se často používá vedle bodové analýzy (stanovení v malém objemu vzorku) také plošná (průměrné složení zvolené plochy) nebo prvková mapa (ukazuje distribuci prvku ve zvolené ploše). Výhodou analýzy je přesné vymezení měřené oblasti, kdy lze hodnotit drobná zrna, vměstky, vznikající fáze i korozní produkty, nevýhodou je nutnost dokonalé přípravy vzorků. V případě nízkopálené keramiky je poměrně problematická heterogenita systému, tudíž i nutnost hodnocení více oblastí vzorku. [57]

Rentgenová fluorescenční analýza (XRF) je často používaná metoda, která poskytnutí informace o prvkovém složení vzorku využívá rentgenové záření. Poskytuje jak kvalitativní, tak kvantitativní prvkovou analýzu dle typu použitého zařízení. Princip je založen na excitaci vnitřních elektronů zkoumaných atomů primárním rentgenovým zářením a následným vyzářením přebytečné energie ve formě fluorescenčního záření. Energie vnitřních elektronových hladin není ovlivněna chemickými vazbami a vlnové délky lze přiřadit emitujícím prvkům. Prvky, které jsou identifikovány na základě přítomnosti charakteristických linií, lze na základě intenzit kvantifikovat. V případě použití plně automatického sekvenčního vlnově-disperzního rentgenového spektrometru lze získat prvkovou analýzu až 83 prvků v rozsahu od ppm do 100 % v relativně krátkém čase. Vzorky se připravují z jemných prášků střepeových hmot lisováním nebo stavením do tablet a po umístění do měřících kazet jsou měřeny ve vakuu a získaná spektra jsou zpracována příslušným programem. Nedestruktivně vůči objektu lze provést měření s určitým omezením (vyšší meze stanovení u stopových množství některých prvků) také ručním XRF spektrometrem). [57]

Atomová spektroskopie (AS) zahrnuje metody, které jsou vhodné pro nízké koncentrace prvků. Mezi nejrozšířenější metody stanovování anorganických prvků

se řadí atomová absorpční spektrometrie (AAS), jejímž principem je absorpce vhodného elektromagnetického záření volnými atomy vzorku v plynném stavu. AAS se využívá ke kvantitativní analýze kovových prvků při nízkých koncentracích až v desetinách $\mu\text{g}\cdot\text{l}^{-1}$. Atomová emisní spektrometrie neboli optická emisní spektrometrie (AES příp. OES) je metoda založená na atomizaci, příp. částečné ionizaci prvků v měřeném vzorku, které při návratu z vyšších elektronových hladin emitují charakteristické čárové spektrum. Pro sledování charakteristických emisí záření se často využívá instrumentace s indukčně vázaným plazmatem (ICP-AES). Obě techniky se velmi dobře aplikují při sledování korozních procesů a detekci možných zdrojů degradace, příp. je lze využít k určení koncentrace hlavních i vedlejších prvků v keramických vzorcích. Další v současnosti velmi oblíbenou laboratorní metodou umožňující stopovou kvantitativní analýzu prvků v různých typech materiálů včetně vstupních surovin, střeptových hmot, glazur nebo korozních produktů je hmotnostní spektrometrie s indukčně vázaným plazmatem (ICP-MS). Hlavní výhodou této metody jsou velmi nízké detekční limity, vysoká citlivost a možnost měření izotopových poměrů iontů. Mnohé publikované provenienční studie rozsáhlých souborů archeologické keramiky dokládají unikátní využitelnost této techniky. [67]

2. 3. 6. Barevnost

Barevnost střeptových hmot souvisí nejen se surovinovým složením, ale také s podmínkami výpalu (oxidace/redukce, teplota, prodleva). Barvu materiálu z pohledu lidského oka nelze vyjádřit fyzikálním hodnocením záření, ale užívá se kolorimetrie [46], což je optická metoda vyjadřující smyslový vjem barvy pomocí trichromatických souřadnic standardních barevných prostorů. K hodnocení barvy byly navrženy různé systémy, které jsou většinou označeny podle jmen autorů (Ostwaldova, Munsellova, Hunterova aj.). Metoda měření barevného prostoru přijatá Mezinárodní komisí pro osvětlování (International Commission on Illumination CIE) definuje barevnou jakost chromatičností a relativní intenzitou světla odraženého nebo vystupujícího z předmětu osvětleného světelným zdrojem D65 s tabelovaným rozložením spektrální energie. K číselnému vyjádření barevnosti se užívá trichromatických souřadnic standardních barevných prostorů (RGB, XYZ, Lab).

Barevnost práškových vzorků ve formě tablet (např. po měření XRF), povrchů rovných fragmentů rezných nebo dekorovaných vzorků také lze vyjádřit pomocí barevného

pravoúhlého systému CIELAB neboli Lab, který je definovaný chromatickými souřadnicemi L^* , a^* a b^* . Barevný prostor Lab byl zaveden jako prostor stejných barevných diferencí a umožňuje posouzení barevných odchylek. Hodnota L^* je označení měrné světlosti (v rozsahu hodnot 0–100 %), souřadnice a^* označovaná jako redness udává vztah mezi červenou ($a > 0$) a zelenou ($a < 0$) barvou a souřadnice b^* nebo yellowness udává vztah mezi žlutou ($b > 0$) a modrou ($b < 0$) barvou.

Nestabilní střepové hmoty vykazují vysoké hodnoty nasákavosti ($E > 10$ hmotn. %) a pórovitosti ($P > 20$ hmotn. %), obsahují minerály typické pro nízkoteplotní výpal např. kalcit a muskovit, popř. i zbytky jílových minerálů (Tabulka II), u kterých lze prokázat přírodní stárnutí resp. rehydroxylaci identifikací hydroxylových skupin (IČ) a uvolňováním vodní páry při tepelné zátěži (TA).

2. 4. Konzervování - restaurování nestabilní pórovité keramiky

2. 4. 1. Restaurátorský záměr a fotografická dokumentace

Restaurátor má dle § 14, odst. 10 zák. č. 20/1987 Sb., a § 10 vyhlášky č. 66/1988 Sb., závaznou povinnost před vlastním restaurováním vypracovat tzv. restaurátorský záměr vycházející z provedeného restaurátorského průzkumu a související s budoucím uplatněním zrestaurovaného předmětu. Předchází mu předběžný restaurátorský průzkum, podrobná vstupní fotodokumentace a laboratorní průzkum. Na základě zjištěných poznatků je následně vytvořen a zadavateli předložen odborný restaurátorský záměr, který je nedílnou součástí restaurátorského zásahu.

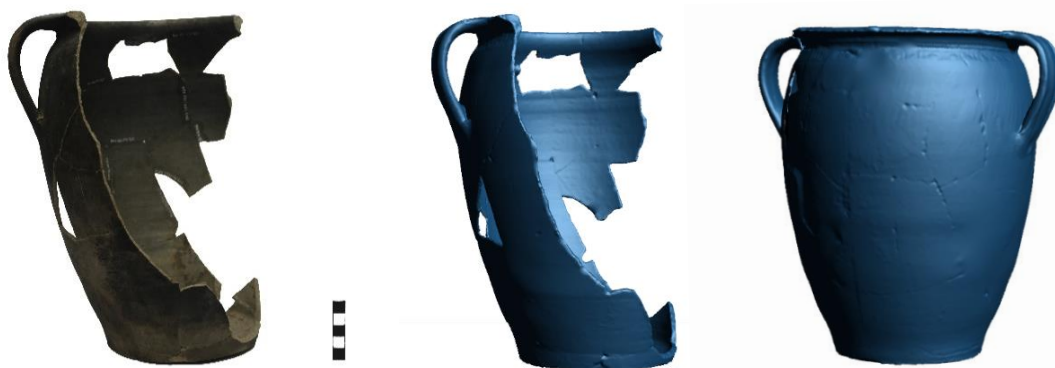
Restaurátorský záměr obsahuje návrh veškerých technických a technologických postupů v potřebném rozsahu a použitých novodobých materiálů, které by měly být plně reverzibilní. Vychází z požadavků zadavatele, který určí, zda se mají keramické artefakty kompletně nebo částečně zrestaurovat, případně uvést do stavu vhodného pro prezentaci, publikační, výzkumnou činnost. Restaurátor musí dodržet etické konzervátorské - restaurátorské principy a respektovat charakter střepového materiálu (tj. minimalistické zákroky, respektovat původní podobu, zpomalit proces stárnutí, zajistit reverzibilitu zásahů i odstranitelnost vnesených materiálů, zachovat maximum informací). Výsledkem je předpokládaný rozsah prací, včetně možných alternativ s uvedením specifikace použitých přístrojů, nástrojů a pomocných materiálů, včetně

jejich charakteristiky (chemické názvy, složení, vlastnosti, výrobní/obchodní označení, výrobce/dodavatel atp.) a s uvedením případných rizik a výhod.

Zadavatel restaurování musí být seznámen s koncepcí pracovního návrhu a technologického rámce restaurování a odsouhlasit jej. Restaurátor se zavazuje pracovat v mezích určených záměrem, součástí dokumentu je i rozpočtová kapitola.

Fotografická dokumentace

Součástí profesionálního restaurování je zajišťování fotografické dokumentace restaurovaného předmětu. Restaurátoři musí zvládnout pravidla fotografické dokumentace, aby mohli zachytit každou fázi své práce i kvůli budoucím zásahům a také jako podklad pro revizi všech učiněných kroků (kontrola/identifikace změn během ošetření exponátů). Fotografie předmětu s měřítkem a barevnou škálou (ideálně ze všech pohledových stran) je základní nástroj dokumentace pro zachycení rozdílného stavu předmětu před, během a po vlastním restaurátorském zásahu. Veškeré fotografie jsou nedílnou součástí restaurátorských karet a zpráv. [68]



Obr. 9: Ukázka využití 3D scanneru, vlevo běžný snímek, uprostřed kopie, vpravo doplnění

V současné době je v rámci možností jednotlivých pracovišť využíván 3D scanner, který umožňuje zachycení stavu předmětu před restaurováním, vizualizaci předpokládaného restaurátorského zásahu a provedení korekce navrženého zásahu. Použitím 3D scanneru lze zachytit velké množství informací (rozměrové proporce, dispozice, struktura) najednou. Lze tak zdokumentovat velmi křehké, degradované předměty bez rizika poškození při přímé manipulaci za účelem vystavování či pro studijní účely. V návaznosti je možné pomocí skenů vytvořit kopie (Obr. 9 uprostřed), či dále skeny upravovat a zrekonstruovat původní vzhled předmětů (Obr. 9 vpravo). V současné době se i přistupuje k tisku výplní pro doplnění

archeologických nálezů z důvodu zpevnění. Pomocí tisku je možné vytvořit i vnitřní podpurnou strukturu, která je vytvořena přesně pro vybraný předmět. [69-71]

2. 4. 2. Postupy čištění

Rozhodujícím kritériem **volby metody čištění** je stabilita střepového materiálu. Ta se hodnotí v rámci restaurátorského průzkumu a podle typu keramického materiálu a stupně degradace lze restaurovaný materiál velmi zjednodušeně rozdělit na stabilní (nedegradovanou nízkopálenou, středně a vysokopálenou keramiku, kameninu, porcelán, viz kap. 2. 1. 2) a **nestabilní** (velmi nízkopálenou nebo degradovanou nízkopálenou keramiku, popř. hliněné předměty).

Pro zvolení správné **metody čištění nestabilních keramických objektů** je třeba charakterizovat stav střepové hmoty a typ a stav případné povrchové úpravy v rámci restaurátorského průzkumu (Tabulka III). Jedná se o předměty vykazující vysokou otevřenou pórovitost spojenou s nízkou mechanickou pevností a velmi často poškozené degradačními procesy (Tabulka IV, kap. 2. 1. 3. Stárnutí a degradace nízkopálené keramiky, objekty nestabilní keramiky).

Péče o nestabilní střepy je jednou z nejsložitějších prací v keramické konzervátorské praxi a hledání kompromisního postupu a míry očištění je bezpodmínečnou nutností. Celý proces čištění musí probíhat velmi opatrně, aby nedošlo k poškození jak vlastního materiálu, tak zbytků povrchových úprav (může dojít ke snížení celistvosti, čitelnosti a výpovědní hodnoty). Někdy je materiál natolik nestabilní, že nelze provést celkové čištění bez předchozí konsolidace (viz kap. 2. 4. 3. Konsolidace).

Ruční mechanické čištění za sucha je časově náročný proces, kterým dojde k zpřístupnění povrchu nestabilního materiálu pro konsolidační účely a zvýšení paropropustnosti povrchu keramiky. Cílem je velmi opatrně jemným oprašováním nebo kartáčováním odstranit nečistoty sekundárního původu (zeminu, písek, omítkoviny, prach, zbytky rostlin apod.). Je vhodné používat chirurgické rukavice, aby nedošlo k znečištění povrchu. Kontrola stavu během čištění se provádí pod binokulární lupou, mohou být odhaleny jemné detaily, otisky prstů, kolky, stopy opracování nářadím, popř. i zbytky textilu, pozůstatky nestabilní povrchové dekorace apod. Nástroje jsou voleny tak, aby jejich tvrdost byla menší než tvrdost čištěného střepu a jejich tvar a velikost byly vhodné pro zpracováváný materiál. Jedná se o širokou škálu různých

nástrojů:

- dřevěné např. týkové nástroje, modelovací špachtle různých typů, tvarů a velikostí,
- silikonové štětce s velmi jemnými pracovními ploškami (0–2 pro detailnější práce),
- zubní dřevěná párátka a zubní štětečky,
- čisticí nástroje z vhodných umělých hmot,
- jemné dočišťovací štětce, štětečky, tyčinky a suché bavlněné tampony,
- ProTouch Micro Paint Brush – jemné čisticí tyčinky s absorbujícím vláknem, s rukojetí ohebnou do různých úhlů umožňující zamíření do těžko přístupných míst.

Suché čištění tlakovým vzduchem lze použít pro vyfouknutí nečistot, uvízlých v ryté výzdobě. Při jeho aplikaci je nutné postupovat opatrně, aby proud vzduchu nepoškodil povrchovou vrstvu. Alternativou kompresoru může být ofukovací balonek, rozprašovací lahev, popř. fén nebo muzejní vysavač.

Někdy mohou být nečistoty velmi přilnuté k povrchu a vykazovat vyšší pevnost než vlastní ošetřovaný materiál a při suchém čištění pak může dojít k narušení nestabilního keramického materiálu (např. se hliněná krusta odloupne i s otiskem střepu). V tomto případě je možné aplikovat **lokální mokré čištění** a vrstvy nečistot nejprve zvlhčit a poté jemně dočistit a odstranit z povrchu:

- **jemným tupováním** vlhkou mořskou houbou (nutné proplachovat ve vodě k odstranění zachycených abrazivních nečistot, aby nedošlo k vytvoření skvrn),
- **kapkovou metodou** aplikovanou samonamáčecím štětcem z nylonového vlákna „Water Brush“ (popř. jemným štětcem, pipetou, kapátkem, tampónem), po rozrušení a oddělení hliněné krusty dočištění tampóny.

Před započítím mokrého čištění se musí nejprve provést testy rozpustnosti jednotlivých vrstev. Pokud by došlo k přílišnému zvlhčení, mohla by se na povrchu vytvořit „kaše“ a došlo by k nenávratnému poškození povrchu a ztrátě informací.



Obr. 10: Čištění povrchu parním skalpelem

Přístrojové čištění se používá, pokud ruční čištění není dostatečné. Řízené lokální čištění se provádí pomocí vhodných přístrojů např. parním skalpelem (Obr. 10), který usměrněným proudem páry šetrně rozruší krusty na povrchu střepů, nebo tlakovou

pistolí. Opět je nutné postupovat opatrně, aby nedošlo ke vzniku trhlin nebo k roztržení střepe.

Čištění pomocí rozpouštědel se používá v případech, kdy prokazatelně není možné použít vodní metody čištění, protože by došlo k degradaci střepe. Po předchozích zkouškách rozpustnosti se používají k čištění rozpouštědla nanesená např. štětci nebo prostřednictvím obkladu. Použité prostředky musí působit pouze lokálně na znečištění a k ošetřovanému materiálu musí být inertní. Odborná literatura nejvíce preferuje ethanol. Použít lze i aceton, lakový benzín, případně jejich směsi. [72-73]

Čištění pomocí gelů představuje pro nestabilní keramiky nové moderní možnosti snímání nečistot z povrchů. Nanáší se tupováním štětcem, působí jako houba a absorbují povrchové nečistoty. Na ošetřovaném povrchu vytvoří vrstvu zabraňující pronikání nečistot dovnitř střepe. Používají se např. agarový gel [74] s dobou působení 20 minut (pláty z agaru jsou systematicky přikládány a odnímány z povrchu) nebo xanthanová gelová směs připravená rozpuštěním prášku ve vodě [75]. Znečištěný gel se odstraňuje deionizovanou vodou tampóny, gázou apod.

Čištění dekorací je poměrně náročným zásahem u nestabilních povrchových úprav s velmi nízkou odolností proti mechanickému působení s možností jejich otěru při odstraňování nečistot z povrchu (dekorace nanášené za studena např. inkrustace vápencem nebo vypálené při velmi nízkých teplotách např. tuhování apod.) (Obr. 11).



Obr. 11: Příklady nestabilní povrchové úpravy zvoncových pohárů (inkrustace vápencem, hematitová engoba), rozpustné soli na povrchu šňůrové keramiky

Čištění dekorační vrstvy je v první fázi jemné mechanické za sucha bez poškození detailů výzdobných prvků. Lze použít jemný vlasový štětec, štětec, tupý skalpel a rovněž **chirurgické odsávací zařízení s regulací výkonu**. Aby nedošlo k nežádoucímu odsátí křehkých a uvolněných částí povrchu, je vhodné čištěný povrch **chránit pevnou síťovinou** (např. lze použít krepelínu) nebo na odsávací hlavici

umístit odsávačku se sítkem. V případě nedostatečného výsledku lze přistoupit k mokrému nebo chemickému čištění s předcházejícím testem rozpustnosti jednotlivých barevných vrstev a zkouškou citlivosti na zamýšlené médium (demineralizovaná voda, ethanol, aceton, aceton ředěný lakovým benzínem v poměru 1:1 nebo směs acetonu, alkoholu a vody v poměru 1: 1: 1, syntetické sliny používané v restaurátorské praxi pro jiné typy materiálů). Z praxe nejlépe vychází samotný ethanol (nebo 60 obj.% roztok ethanolu v deionizované vodě), protože chrání citlivé pigmenty v průběhu promývání a rychleji vysychá [47]. Jemné čištění nestabilních dekorů lze provést lehce navlhčenými tampony. Lze použít i velmi opatrné parní čištění. Na závěr je vhodné provést zpevnění dekorativních povrchových vrstev konsolidací (viz kap. 2. 4. 3. Konsolidace).

Čištění spojené s konsolidací se používá, pokud je materiál natolik nestabilní, že nevydrží žádné čištění. Proto vyžaduje nejprve konsolidaci (více viz kap. 2. 4. 3. Konsolidace) a potom je možné šetrné omytí přímo v konsolidačním roztoku (nutný vstupní test, aby nedošlo k rozplavení střeptů).

Odstraňování rozpustných solí

Přítomnost rozpustných solí (Obr. 10) je zdrojem výkvětů a může vést k trhlínkování popř. až k delaminaci keramických objektů (Tabulka IV). V případě kontaminace ve vodě rozpustnými solemi (nejčastěji chloridy, sírany, fosforečnany, dusičnany popř. hydrogenuhličitan) se nejdříve aplikuje suché mechanické čištění skalpelem, zubolékařskými nástroji, popř. ultrazvukovou tužkou, mikrobruskou s kontrolou pod binokulární lupou, popř. stereomikroskopem. Pokud není suchý způsob dostatečně účinný, následuje tampónování nebo zábalový obklad s demineralizovanou vodou. Pokud jsou střepty příliš křehké, je nutné povrch konsolidovat 5–10% roztokem Paraloidu B72® v acetonu [76-77].

Ošetření nálezů *in situ*

V konzervátorské terminologii se jedná o artefakt přenesený bez rozebrání s přiměřeným množstvím okolní zeminy z původního místa nálezu (Obr. 12). Střepty vyzvednuté tzv. „*in situ*“ jsou obaleny hlinou a obsahují výplň. Před vlastním zásahem je vhodné zjistit pomocí zobrazovací analýzy (např. rentgenografie a výpočetní tomografie) umístění vnitřních předmětů. Tomograf také odhalí stav nálezu, skryté defekty, lokalizuje praskliny a přináší informace i o samotné technologii zhotovení

předmětu. V rámci průzkumů nádob s výplněmi je největším přínosem této metody podrobná inspekce materiálu a trvalá postprocesní dokumentace nálezové situace uvnitř, případně vně uložených artefaktů, která se následně při rozebírání předmětu v rámci restaurování ztratí.



Obr. 12: Typický nálezový stav nádoby in situ

Konzervátorsko-restaurátorský zásah lze rozložit na tři úkony:

Postupné uvolnění bloku probíhá odběrem půdních vrstev a vybráním výplně. Odstranění přilnutého obalu či výplně lze provést špachtlí po jemném navlhčení vodou, v případě tvrdého obalu dojde k oddělení po cca 30 min zabalení celého navlhčeného bloku do fólie. Jednotlivé střepy lze dobře uvolnit z jílového lůžka průběžným rosením vodou např. použitím **ústní sprchy** (Obr. 13) Pulsující proud vody s regulovatelným tlakem pronikne s šetrností tam, kam se běžnými prostředky nelze dostat a paprsek vody cíleně proplachuje potřebné prostory a odstraňuje nečistoty. Problematické střepy lze od hliněného lůžka velmi šetrně uvolnit parovým skalpelem. [47].



Obr 13.: Použití ústní sprchy při preparaci střepů z výplňového lůžka a částečném čištění, přechodné zpevnění keramiky Cyklododecanem

Prekonsolidaci resp. přechodnou fixaci nestabilního povrchu před transportem nebo před čištěním lze provést fixační látkou Cyklododecan (CDD) – $C_{12}H_{24}O_2$, která po aplikaci v řádech dnů až týdnů při pokojové teplotě vysublimuje, např. 1 mm vrstvy za 30 dní (Obr. 12, vpravo). Během této doby lze provádět mechanicky namáhané úkony bez poškození materiálu. Po precizním očištění vnějšího povrchu střepů lze provést jejich stabilizaci penetrací konzervačním roztokem (viz kap. 2. 4. 3.). Po zpevnění se nádoba zafixuje (bandáží), mechanicky se odstraní výplň a po očištění se vnitřní plochy také napenetrují.

Čištění vypreparovaných střepů probíhá podle jejich stability.

Výplň je tvořena splavenou kulturní vrstvou nebo nasýpanou, nahrnutou okolní zeminou. Po vyjmutí a vysušení při laboratorní teplotě se zváží, prozkoumá a umístí do označeného sáčku a přiloží k danému předmětu. Uchovává se jako součást dokumentace, často je zdrojem různých informací - může obsahovat pozůstatky archeobotanického rostlinného materiálu, uhlíků, dřev, fragmenty kostí, drobné korálky, kamenné nástroje a kovové předměty. Analýzy obsahů nádob mohou vést k informaci o použití nádob.

2. 4. 3. Konsolidace

Cílem konsolidace je zpevnění nestabilního keramického materiálu, aby mohl být uvolněn a zpracován konzervačně restaurátorskými postupy. Odběr vzorků pro restaurátorský průzkum musí být proveden před konsolidací. [47]. Keramika se konsoliduje v suchém stavu (ve smyslu běžného prostředí), vysoušení vlhkého nálezu musí být velmi pomalé, pokud i přesto dochází k drobení, je nezbytné použít konsolidační roztok ještě na vlhký materiál. [72] Před konsolidací musí být povrch očištěn a obecně je účinnější aplikovat několik tenkých vrstev konsolidantu, než jednu tlustou [72]. Ke zpevnění dochází až po vytěkání veškerého rozpouštědla, proto je nutné po aplikaci konsolidantu počkat dostatečnou dobu, jinak hrozí poškození předmětu [78].

Konsolidant může být aplikován lokálně ručně (kapátkem, injekční stříkačkou) do trhlin nebo štětcem přímo na povrch popř. přes jemnou látku či papír (Obr. 14).



Obr. 14: Konsolidace injekční stříkačkou nebo štětcem, pomůcky pro konsolidaci

V případě nutnosti zpevnění celého objemu hmoty se provádí **plošná konsolidace**:

- tupováním mořskou houbou - dochází k současnému pronikání roztoku do materiálu a k odstraňování zbytků případných nečistot [47],

- ústní fixírkou nebo ruční rozprašovací lahví (rozprašovač s pumpičkou),
- kompresorovým airbrushovým setem (Obr. 15) nebo retušerskou stříkácí pistolí,
- ponorem za normálního nebo sníženého tlaku – po odstranění vzduchu z pórů dojde k jejich zaplnění konsolidantem (jako při přípravě mikroskopických vzorků, Obr. 8).



Obr. 15: Konsolidace postříkem airbrushem a ponorem

Konsolidanty

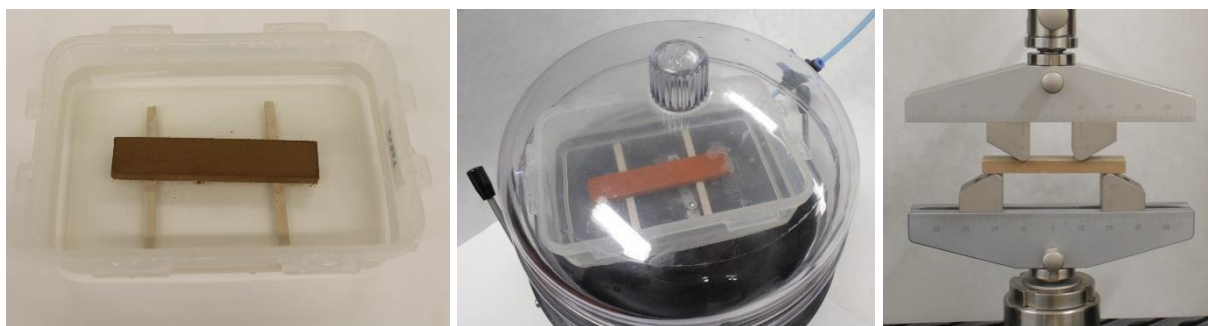
Koncentrace roztoků/disperzí se volí podle stupně zachování materiálu a podle místa aplikace. Vyšší koncentrace může vést ke vzniku lesklého filmu na povrchu střepe, ke snížení pórovitosti a paropropustnosti - může vést až ke vzniku neporézního systému. Velmi nízká koncentrace může mít nedostatečný konsolidační účinek. Za standard lze považovat 10 obj. % roztok naředěný deionizovanou vodou [47], před aplikací je vhodné vyzkoušet několik různých koncentrací. Pro konsolidaci lze použít následující materiály:

- **Polyvinylacetáty (PVAC)** - v praxi se velmi osvědčily konsolidační roztoky připravené z adheziv např. Dispercol D3, Hercules, Duvilax BD-20. [47,76]. V současné době je však často diskutována jejich vhodnost pro vápenaté střepe a také kvůli případnému uvolňování VOC v depozitech, proto jsou často preferovány akryláty.
- **Akryláty** - konsolidanty z akrylátových disperzí jsou doporučované pro zpevnění jak vlhkých, tak i suchých nestabilních keramických nálezů [79]. Jako příklady lze uvést Primal AC35, Plextol D498 resp. B500, Dispersion K 498, Lascaux Acrylic emulsion D 498M, Lascaux Hydrogrund 750. Ke konsolidaci zcela suchého keramického materiálu lze použít i roztoková akrylátová adheziva. Paraloid B72[®] je vhodným víceúčelovým akrylátovým konsolidantem, který dosahuje dobré penetrace, a pokud je aplikován vhodným způsobem, neměl by změnit vzhled materiálu [80]. Obvykle se začíná

s nízkou koncentrací (3-4 hmotn. %) pro prvních několik vrstev, pak se koncentrace zvyšuje na 7-10 hmotn.%. Vhodnými rozpouštědly jsou dle odborné literatury ethanol, aceton či jejich kombinace. Velmi pomalu se odpařující rozpouštědla, jako je toluen nebo xylen, by neměla být použita ze dvou důvodů: jedná se o vysoce toxické látky (nutné ochranné pracovní prostředky a práce v digestoři) a mají výrazně vyšší viskozitu [81]. Další příklady akrylátových polymerů jsou Paraloid B44[®], Paraloid B64[®], Paraloid B66[®], Paraloid B67[®].

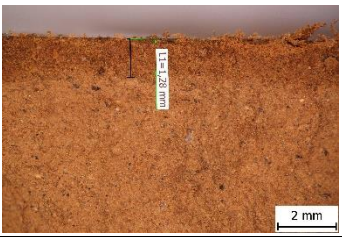
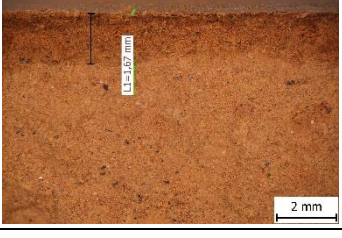
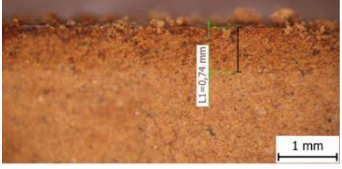

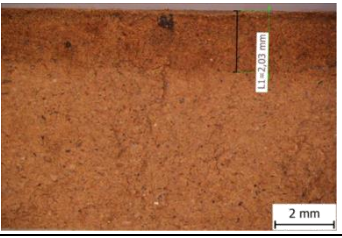
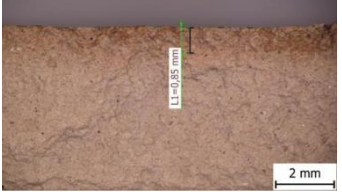
- **Organokřemičité sloučeniny** - např. IFEST OH je difuzní hluboko pronikající nehydrofobní zpevňovač kamene a zvětralých povrchů, vhodný pro restaurování přírodního kamene, štuky, fresek, cihel, terakoty a na ostatní minerální savé stavební materiály. Jedná se o přípravek na bázi ethylesteru kyseliny křemičité. V ošetřené hmotě vzniká během 2 týdnů pevný křemičitý gel, chránící a zpevňující povrch. Velmi dobré výsledky z hlediska konsolidování nestabilní keramiky jsou dosahovány 50% roztokem v ethanolu. POROSIL ZTS plus je koloidní oxid křemičitý s přídavkem akrylátové mikroemulze pro vápenné malty a omítky, v praxi se nejčastěji používá 10% roztok v deionizované vodě.

Hloubka penetrace jednotlivých konsolidantů je dána jejich vlastnostmi (velikost částic, viskozita, pH, hydrofobicita, úhel smáčení atd.), koncentrací a charakterem střepevé hmoty (Obr. 16). Měření zpevnění modelových vzorků (připravených nízkoteplotním výpalem při 500 °C, tak aby měly obdobné parametry jako archeologický nestabilní materiál tj. 15% hmotnostní nasákavost a 30% pórovitost) bylo provedeno metodou čtyřbodého ohybu (při rychlosti měření 1 mm/min, Příloha 1). Test proběhl 24 hod po penetraci (ponorem za normálního - 10 s nebo sníženého tlaku - 24 min) při uložení vzorků v prostředí simulující depozit (50% vlhkost, 20 °C).



Obr. 16: Konsolidace modelových vzorků ponorem, měření pevnosti

Tabulka V.: Příklady použití vybraných konsolidantů na modelových vzorcích

typ konsolidantu/ představitel-název	aplikace, stav povrchu/ rychlost schnutí/ stupeň zpevnění (%)	hloubka penetrace binokulární lupa OLYMPUS SZX 9 s použitím programu QuickPHOTO INDUSTRIAL
Polyvinylacetát / Duvilax BD-20 10% hmotn. roztok v d. Vodě	vysoká viskozita roztoku, po nanesení lepkavý povrch, vznik nerovnoměrné vrstvy na povrchu vzorku, po zaschnutí povrch lesklý s viditelnými známkami tahů vzniklých při odstraňování přebytku konsolidantu, po několika týdnech povrch matný bez lesku poměrně rychlé schnutí, zvýšení pevnosti o cca 50 %	
Akrylát / Disperze K498 10% hmotn. roztok v d. Vodě	po zaschnutí mírně lesklý povrch vzorku, vznik drobných ploch odlišné barvy, celý povrch mírně tmavší oproti původnímu střepu, poměrně rychlé schnutí, zvýšení pevnosti o cca 15 %	
Akryláty / Lascaux Hydro-Grund roztok 1:4 v d. vodě	vysoký lesk po zaschnutí, nesouvislá vrstva s místy odlišné barevnosti, mírně tmavší odstín střepu oproti původnímu střepu, po několika týdnech povrch matný bez lesku rychlé schnutí zvýšení pevnosti o cca 15 %	
Akrylát / Paraloid B 72® (5, 10, 15%) 5% a 10% hmotn. roztok v acetonu, 15% roztok v ethylacetátu	povrch vzorku bez lesku, po zaschnutí mírně tmavší 5% roztok zpevnění cca 5% s podtlakem 30%, 10% roztok zpevnění cca 25% 15% roztok - velmi lesklý povrch barevně nerovnoměrný a výrazně oproti původnímu, po zaschnutí mírně lepí, zvýšení pevnosti o cca 45 %	velmi rychlé odpaření, pořízení fotografie nebylo možné
Organokřemičité sloučeniny / IFEST OH 50% hmotn. roztok v ethanolu	nízká viskozita roztoku, dobré nanášení, barevnost střepu nezměněna poměrně rychlé schnutí	
Organokřemičité sloučeniny / POROSIL ZTS plus 10% hmotn. roztok v d. vodě	bez barevných změn, bez lesku pomalé schnutí zvýšení pevnosti o cca 25 %	
Organokřemičité sloučeniny / POROSIL ZTS plus 10% hmotn. roztok v d. vodě vápenatý střep	bez barevných změn, bez lesku pomalé schnutí	

Reverzibilita konsolidantů je těžko splnitelný požadavek, protože se jedná o trvalou intervenci. Navíc je třeba položit si otázku, proč by se měl konsolidant, mající ochranný účinek a zajišťující stabilitu předmětu, odstraňovat. Kdyby měl být konsolidant odstraněn, například přikládáním mokrých nebo acetonových obkladů, zcela určitě by došlo k nevratnému poškození nestabilního materiálu, lze očekávat, že se konsolidant nepodaří z pórů nestabilního materiálu kompletně odstranit. [78,81,82]

2. 4. 4. Lepení

Lepení je zásadní restaurátorský zásah, který vyžaduje zručnost, trpělivost a orientaci v problematice správného výběru adheziv.

Vyhledávání fragmentů

Vyhledáváním se určuje pozice každého střepu. Systematické ukládání střepů již při čištění mnohonásobně ulehčuje vyhledávání pro následnou fyzickou rekonstrukci. Je praktické střepy třídit podle polohy v těle předmětu – okraje, dna, ucha atd. Dalším kritériem je sledování charakteristických střepových znaků, kterými jsou barva střepového fondu, vnitřní/vnější zbarvení střepového pláště, plastická výzdoba, charakter povrchové úpravy, dekor, tvar, velikost a vzhled hran. Dále specifikace lomů podle tvaru, velikosti, vzhledu, délky, zakřivení, barvy (čerstvé lomy mají sytou barvu, starší lomy vybledlou (Obr. 17 vlevo). Na vnitřní straně střepů se hledají stopy po vyhlazení, vyleštění horizontálními, event. vertikálními tahy úzkých nástrojů za sucha, otisky hladítek, šablon, žlábků modelace, soustředné kruhy po točení. Stopy po výpalu, typ atmosféry v peci, ve které probíhalo pálení (např. redukce, oxidace). Velmi složité je vyhledávání střepů, na které působily rozdílné podmínky dlouhodobého uložení. Střepy z jedné nádoby pak mohou vykazovat různý vzhled, např. barvu (Obr. 17 uprostřed).



Obr. 17: Dole původní lom, nahoře čerstvý, odlišně zbarvené střepy dna, pořadí lepení střepů

Postup lepení

U střepů s vysokou hodnotou otevřené pórovitosti je vhodné vytvořit **separační vrstvu**, zabraňující vsáknutí adheziva dovnitř střepe. V odborné literatuře je nejčastěji doporučován 5–20 hmotn. % roztok Paraloidu B72® v acetonu dle charakteru střepe. [83- 84]. Podle dochovanosti objektu probíhá lepení fragmentů ode dna nebo okraje. Vyhledané střepe jsou postupně lepeny spirálovitě směrem vzhůru k hornímu okraji tak, aby se nevytvořil zámek, znemožňující vložení a vlepení dalšího příslušného střepe (Obr. 17 vpravo, 18).



Obr. 18: Postupné lepení koflíku

Přiměřené množství adheziva se nanáší na očištěné lomové plochy, celoplošně nebo bodově, tak aby nevznikaly přetoky okolo lepeného spoje. Čerstvě slepené střepe se umísťují do nádob s vhodnou velikostí a náplní (balotina, rýže apod.), aby došlo k bezporuchovému slepení požadované části. Posunu lepených částí ve spoji (vlastní hmotností střepe) se brání zafixováním spoje pomocí např. dřevěných kolíčků, fotografických svorek, minisvěrek a klipsů (Obr. 19). [47]



Obr. 19: Příklady fixování střepe během lepení

Používaná adheziva

V současné době je na trhu velké množství adheziv a při posuzování jejich vhodnosti pro lepení archeologických keramických nálezů je sledována především jejich reverzibilita, stabilita (chemická i fyzikální), pevnost a adheze ke keramickému střepe. Mezi další hlediska patří: estetický vzhled, bezbarevnost, inertnost vůči

restaurovanému materiálu, odolnost vůči stárnutí (za definovaných podmínek působení tepla a světla) a stabilita optických vlastností. Adheziva lze rozdělovat podle různých kritérií: původu (přírodní, syntetické), chemické struktury nebo podle mechanismu vytvrzování. V starší české literatuře se lze setkat především s dělením podle mechanismu vytvrzování na adheziva vsáknutím a vytékáním kapalné fáze, zchladnutím (tavná adheziva), nebo chemickou reakcí (např. epoxidy). [85-87]. V současné době, především v zahraniční literatuře, se jednotlivá adheziva dělí podle chemického složení [88]:

- **polyvinylacetáty (PVAC)** - polyvinylacetátová adheziva se řadí do skupiny disperzních adheziv. V disperzních systémech je polymer přítomen ve formě velmi malých částic (0,1 až 1 μm), které jsou rozptýleny ve vodném prostředí. Aby nedocházelo k jejich koagulaci, používají se k jejich dispergaci povrchově aktivní látky a ochranné koloidy (například polyvinylalkohol). Součástí disperzí jsou i další látky – aditiva, která například upravují hodnotu pH a další uživatelské vlastnosti. PVAC je ve vodě nerozpustný, ale dochází k botnání. Rozpouští se v benzenu, toluenu, esterech, ketonech a chlorovaných uhlovodících. Výhodou tohoto typu pojiv je stálost na světle, elasticita, velmi dobrá přilnavost k povrchu a aplikovatelnost. [79, 85]. Z polyvinylacetátových komerčně dostupných adheziv se nejčastěji používají například Dispercoll D2 (D3), Duvilax BD-20, Pattex WOOD, Mowilith DMC 2, Rhodopas, Vinamul. [79,89-92]. Stále řešenou problematikou je uvolňování těkavých látek (VOC) z některých PVAC adheziv v souvislosti s chemickou nestabilitou restaurovaných nebo pomocných materiálů.
- **polyvinylalkoholy (PVAL)** - adheziva na bázi polyvinylalkoholu jsou rozpustná ve vodě a tvoří čiré, bezbarvé roztoky. Vytvořený film adheziva je velmi stabilní při působení ultrafialového záření (oxidace). [86,91]. Mezi nejčastěji používaná PVAL adheziva v restaurování keramiky patří Gelvatol, Rhodoviol, Mowiol, Polyviol. [79,91]
- **polyvinylbutyraly (PVB)** - pro většinu aplikací bývají změkčovány (dibutylftalát, dioktylftalát, trikresylfosfát atd.), jsou aplikovány ve formě disperzí. PVB jsou odolné vůči působení slunečního záření, kyslíku i ozonu. Mezi hlavní zástupce PVB adheziv patří například Butvar B98, Mowital B30H, Rhovinal [91].
- **akryláty** - obsahují jako hlavní kopolymerační složku estery kyseliny akrylové (zvyšuje adhezi k řadě materiálů) a methakrylové. Výběrem monomerů lze ovlivnit

pružnost a pevnost výsledných kopolymerů. Mezi nejčastěji používaná komerčně dostupná adheziva disperzního typu patří Lascaux 498HV, K498, Cleotoo, Plextol, Primal, v případě roztokových lepidel je to Paraloid B72® v acetonu, popř. toluenu nebo xylenu, a dále Paraloid B67® a další např. Technovit 4004. [87,91,93-97]

Další specifickou skupinou lepidel využívaných při restaurování keramiky (např. k lepení dočasných spojů, které se následovně odstraní nebo k lepení pórovitého střepu tlustostěnných nádob) jsou tavná adheziva, která se na lepený spoj nanáší ve formě taveniny. Jedná se o termoplastické polymery, u kterých dochází k vytvoření spoje jejich ochlazením. Většina komerčně dostupných tavných adheziv jsou nejčastěji kopolymery ethylen-vinylacetátu, polyamidy, termoplastické polyestery s přídavkem dalších aditiv (plniva, změkčovadla, stabilizátory), která upravují aplikační vlastnosti. Jejich velkou výhodou je, že tuhnou velmi rychle, což může být pro lepení některých keramických artefaktů žádoucí. [87,89;98-99]

Pro restaurátorskou praxi je zásadní, aby pevnost spoje nepřesáhla pevnost keramiky a při mechanickém zatížení nedošlo k poškození ve střepu. Hodnocení pevností spojů keramický střep-pojivo-keramický střep je však poměrně problematické. V rámci předložené metodiky byl zpracován návrh postup hodnocení pevnosti spojů systému nestabilní pórovitá keramika-pojivo-destabilní pórovitá keramika, který svým provedením simuluje restaurátorský zásah a následnou manipulaci s předmětem po zásahu (Příloha1).

2. 4. 5. Doplnění ztrát

Doplnění ztrát v současnosti vychází z míry zachování originálu. Pro rekonstrukci celých předmětů jsou třeba nejméně cca 2/3 dochovaného pláště předmětu, na jehož základě se bude moci „doklonováním“ doplnit zbytek těla. V tomto objemovém množství musí být ideálně zastoupen celý profil, tj. celá výška a průřez ošetřovaného předmětu. V místech, kde není možné jasně identifikovat původní tvarosloví, nesmí být tvar doplňován. Mezinárodní standardy jsou ještě přísnější a povolují doplňování pouze v nezbytných případech, například pro zajištění stability celého objektu, kdy lze k původnímu artefaktu doplnit nejvýše pět procent chybějících částí. Doplněné části musí být snadno rozlišitelné. [68,100]

Nejčastějšími výplňovými materiály bývají sádry (příloha 2B), samotvrdnoucí hmoty (příloha 2C), popř. lze použít také plněná pojiva (příloha 2A).

Základní postup při doplňování ztrát

Testováním v rámci předložené metodiky bylo potvrzeno, že před doplňováním ztrát u nestabilní keramiky s výraznou otevřenou pórovitostí je vhodné provést **separaci lomových ploch střepů** (Obr. 20). Důvody této **dlouhodobé separace** jsou především:

- ✓ uzavření otevřených pórů, aby do nich nepronikl výplňový materiál a nedošlo ke kontaminaci střepové hmoty (Obr. 20, vpravo),
- ✓ snížení „nevhodně vysoké“ pevnosti spojů nestabilních pórovitých střepů a výplňových materiálů,
- ✓ snazší reverzibilita výplňového materiálu.

Separční vrstva se nanáší na lomové hrany střepů štětcem. Nejpoužívanější jsou bezvodé rozpouštědlové systémy Paraloid B72® v acetonu, 5–20 % pevné složky v roztoku. [84,93] Pro nerovnoměrně nasákavé podklady je vhodnější použít nižší koncentrace a aplikaci separačního roztoku opakovat. Na ošetřeném povrchu nesmí zůstat nevsáknutý roztok, který by po vyschnutí vytvořil hladká místa.



Obr. 20: Aplikace dlouhodobé separace (10% roztok Paraloidu B72® v acetonu) na lomy střepů před doplňováním ztrát, postupné nanášení dočasné separace (Lukopren® S) před sádrováním, stav povrchu nízkopálené modelové keramiky po odebrání sádrové výplně bez předchozí separace lomové plochy

Krátkodobá, preventivní separace

Chrání střep před znečištěním a kontaminací během vlastního doplňování ztrát a usnadňuje i odstraňování stop po doplňování reprodukčním materiálem. Zpracovávaný předmět se z obou stran natře ochranným separačním nátěrem - oddělovacím médiem, po ukončení doplňování a následných mechanických korekcí se separační nátěr snadno odstraní vlhkou houbičkou [92]. K separování se nejčastěji

používají průmyslově vyráběné separátory (např. vodný Lukopren® S, Obr. 20 uprostřed), jednosložkové latexy např. LASTIX, Humbrol Maskol), detergenty, např. Syntapon L, Altapon EPA, Spolapon AOS 146 nebo „tekuté rukavice“ např. Dermaguard.

Metody doplňování ztrát

V keramické restaurátorské praxi se ztráty doplňují různými technikami [92]:

- **ručním modelováním ztrát přímo na ošetřovaném objektu** bez nebo s pomocí šablony (listová šablona z polypropylenu, kartonu, překližky), kopírující celý vnější profil restaurovaného tvarově souměrného předmětu,
- **ručním modelováním ztrát mimo ošetřovaný objekt**, kdy se vymodelovaný doplněk po retuši přilepí k základně,
- **tmelením ztrát přímo na ošetřovaném objektu**, kdy se menší plošné defekty zejména u nestabilního materiálu (trhliny, štěrby, spáry, malé ztráty, drobné ztráty v místech lomu apod.) vyplní tmelem plochým koncem špachtle a tím opticky předmět sjednotí,
- **odléváním ztrát do forem mimo ošetřovaný objekt**,
- **lokálním odléváním vhodné licí suspenze na podkladovou formu** (otevřenou, uzavřenou) přímo na ošetřovaném exponátu.

Formy pro doplňování ztrát (Obr. 21) [92]

- **Otevřená forma** - nejrozšířenější dolévání ztrát, tzv. na hladinu, jednostranně naformátovaná podložka se používá zejména na doplňování plošných ztrát nádob.



Obr. 21: Otevřená forma z formely (vpravo), uzavřená forma z dentálního vosku otištěná, zajištěná vykrývací páskou proti vytečení sádrové suspenze, sádrový odlitek po odformování

• **Uzavřená forma** - doplňování do uzavřené formy naformátované podle předlohy z obou stran se používá zejména u artefaktů se stejnou tloušťkou střepe na okrajích. Používají se dentální ploténkové vosky Ceradent® nebo EW extra®. Oboustranně identický otisk musí mít správně vytvořenou vtokovou soustavu, tj. malý nalévací a odvzdušňovací otvor (Obr. 21).

Současná materiálová báze vhodná pro doplňování

Nejčastěji se používají sádrové kaše s různými míchacími poměry, jemností částic, dobou tuhnutí a smrštěním po ztuhnutí. V rámci předložené metodiky bylo provedeno porovnání vhodnosti jednotlivých typů výplňových materiálů pro modelové vzorky simulující nízkopálené střepevé hmoty. Byly hodnoceny pevnosti spojů, barevnost, zpracovatelnost a schopnost vytvoření požadovaného reliéfu. Bylo prokázáno, že pevnost některých sáder je větší než samotných nestabilních střepeových hmot, kdy při lomu docházelo k porušení ve střepe, což je z hlediska restaurátorské praxe nevhodné. Proto bylo přistoupeno i k testování spojů se separační vrstvou mezi střepe a sádrou. To vedlo ke snížení pevnosti spojů a zlepšení reverzibility zásahu (Příloha 1B). Z tohoto hlediska jsou vhodnější sádry dentální (např. Alabaster Plaster, Velox, Alamo S) oproti uměleckým (Artestone a Resin Plaster), popř. hmota Kefkoker.

Doplňování ztrát sádrováním

Při míchání sádrových suspenzí je vhodné dodržet návod výrobce (pro zachování správné doby tuhnutí a optimálních vlastností je třeba dodržet správný poměr vody a sádry) a až po získání experimentální zručnosti rozdělovat sádru dle zkušeností. Sádru lze barvit přidáním pigmentu do prášku, provést homogenizaci a následně rozdělat standardním způsobem sypáním do vody. Je vhodné udělat několik barevných zkoušek a počkat na dokonalé vysušení testovaného vzorku. Důležité je odplynění sádrové suspenze, nejjednodušší je bubliny po rozmíchání uvolnit poklepem o dno.

Sádrová modelace

Po odlití do otevřených forem se ztráty dotvarují pomocí hladítek a před ztuhnutím sádry se provádí hlavní povrchová retuš uhlazením navlhčenými prsty, sádrařskými noži, popř. zubolékařskými nástroji, tak, aby doplněná místa výškově ladila s okolím.

Pokud je korekce náročná a neproběhne do vhodné kvality za mokra, nechají se nahrubo opracované sádrové výplně uschnout a v retuši se pokračuje za sucha.

Sádrování „pod úrovní“

Na některých pracovištích nedolévají sádrovou suspenzi až na výšku střepu, ale doplňování provádí pod tvarem (Obr. 22). Výplň je o 0,5–1 mm pod úrovní původního keramického povrchu, aby byly na první pohled jasné hranice mezi originálem a doplňkem.



Obr. 22: Sádrování pod úrovní střepu, Museo Arqueológico de Sevilla

Odstranitelnost sádrových výplní

Sádra je reverzibilní materiál, sádrové výplně lze snadno sejmout. Lze je odstranit mechanicky za sucha nebo po přiložení mokrého obkladu, kontrolovaně za mokra. Problematické zůstává znečištění materiálu s vysokým stupněm otevřené pórovitosti (Obr. 20), kterému lze zabránit výše uvedenou separací (Příloha 2).

Doplňování ztrát výplněmi z celulózových vláken

Doplňování celulózovými vlákny je praktický a šetrný postup doplňování menších ztrát u křehké, nestabilní, nízkopálené keramiky. Tyto výplně mohou obdobně jako doposud široce používaná sádra „vytzužit“ konstrukci z lepených střepů: Výhodou je:

- ✓ nižší náročnost na vybavení,
- ✓ před doplněním ztrát není nutná krátkodobá plošná separace, protože nedochází k masivnímu znečištění okolního prostředí.
- ✓ po vytvoření doplňků odpadá nutnost mechanického čištění za mokra, tzn. nízkopálený střep není atakován vodou,
- ✓ plomby z celulózových vláken jsou reversibilní.

Pro přípravu kompozitů pro nestabilní nízkopálenou keramiku se nejvíce osvědčila celulózová vlákna Arbocel® BC 1000 (přírodní, čištěná, mechanicky rozmělněná vlákna na bázi celulózy a lignocelulózy s širokým spektrem aplikací) smíchaná s disperzí K 498, v hmotnostním poměru 1:4, více viz Komentovaný příklad, Metodika konzervování I., Tismice 2019 (Obr. 23).



Obr. 23: Postupné nanášení celulóзовého kompozitu

Výplně z celulózy je možné obarvit již při přípravě kompozitu vhodným práškovým pigmentem, nebo po zaschnutí natřením vhodným odstínem (temperové, akrylátové barvy). Dekompozici lze provést procesem suchého i mokrého ručního čištění (popř. obkladovým bandážováním). Hrany střeplů lze dočistit zubolékařskou instrumentací.

Fixace slepených střeplů záplatováním výztužnou vrstvou

Ztráty u nestabilních keramických artefaktů se nemusí fyzicky doplňovat reprodukčním materiálem, ale je možné nahradit je plošným záplatováním. Jedná se o bezvodý proces, po ukončení práce odpadají retuše za sucha i mokra a čištění exponátu, který není trvale namáhán fixními výplněmi. Velmi dobrých výsledků dosahuje přímá fixace skelnou tkaninou (VERTEX). Na míru vystřižená záplata se vlepí za okraje střeplů rozpouštědlovým systémem (20–40hmotn.% roztok Paraloidu B72® v acetonu). Výplň lze šetrně odstranit pomocí nakapání rozpouštědla na spoje, následně dojde k jeho uvolnění bez poškození originálního materiálu.

Skeletování

Skeletování znamená, že se vytvoří kostra (skelet) z pomocného materiálu, na kterou se umístí z vnějšku střeplů. Ke skeletování se přistupuje zejména v případech, kdy je celoplošné doplňování klasickým sádrováním nemožné (stav nízkopálené keramiky, nenavazující fragmenty, hrozí rozpadnutí lepených spojů, nedostatek střeplového materiálu atp.). Praktickou a rychlou metodu skeletování (i armování) představuje přímé vlepování teplem tvarovatelné bavlněné síťoviny s obchodním názvem Varaform [47]. Za studena je tuhá jako drátěné pletivo, po zahřátí (v horké vodě nebo horkým vzduchem) změkne a lze jej vytvarovat do požadovaného vzhledu, v tomto stavu je samolepící. Po vychlazení tuhne a tvoří pevnou konstrukci (Obr. 24). Oka sítě

mohou být vyplněna sádrou nebo epoxidovou pryskyřicí. Samotný Varaform se může barevně přizpůsobovat všemi běžnými typy barev. Je snadno odstranitelný, horkým vzduchem rychle změkne a lze ho od střepů odlepit.



57

Obr. 24: Nahřívání „záplaty“ tvarovatelné textilie Varaform v horké vodě, nádoba Varaformem

Prezentovat nekompletní keramické nálezy umožňuje skeletování na polystyrenový kadlub. Pro vlastní kadlub se jako materiál nejlépe osvědčil snadno tvarovatelný polystyrén (Polystyren EPS 70, bílý, pěnový, v gramáži 14 kg/m³). Model se vytváří podle dochovaného vnitřního profilu nádoby (Obr. 25), lze ho vytvořit pomocí 3D scanneru a následné 3D projekce nebo použít přímo 3D tisk. Střepy lze na kadlub přilepit vhodným adhezivem dle materiálu kadlubu (adheziva na polystyren zn. Distyk, jednosložkové adhezivum na bázi akrylátové disperze). Odstranitelnost: střepy lze odloupnout od modelu a lepidlo mechanicky za sucha očistit.



Obr. 25: Kresebná dokumentace a polystyrenový kadlub, nainstalované střepy na kadlubu

3D tisk se testuje především pro doplňování ztrát skleněných předmětů. U keramiky je zásadním požadavkem dokonalé zvládnutí „keramických past“ a následný výpál, proto se k doplňování používají i polymerní materiály nebo se 3D tiskem vytváří jen podpurná konstrukce a na ní se instalují střepy (jako na polystyrenový kadlub).

2. 4. 6. Povrchová úprava doplněných ztrát

Barevná retuš

Cílem barevné retuše je na nově přidaných doplňcích napodobit barevnost původních keramických střepů, ale zároveň je zřetelně rozpoznat od originální keramiky, což je v souladu s mezinárodně uznávanými etickým kodexy (od tzv. Benátské charty [2] až po Code of Ethics ICOM [100-101]).

Dobarvení ztrát umožňuje divákovi vnímat doplněný předmět v jeho harmonické celistvosti. Etický přístup dovoluje na doplňky nanášet barvy o jeden stupeň světlejšího odstínu, aby v detailním pohledu zblízka zůstaly čitelné. Před samotnou barevnou retuší se provádí zkoušky vhodných typů barev a barevnosti namíchaných odstínů.

Nejvhodnější kombinace se navrhuje do restaurátorského záměru. Zkoušky se provádí na sádrových vzorcích nebo průsvitné fólii, která se přikládá k ošetřovanému objektu (Obr. 26). Po zaschnutí a zkontrolování se přistupuje k zabarvení výplně. Namíchaná barva musí mít přiměřenou hustotu, aby nestékala, ale ani se příliš nevpijela.



Obr. 26: Kontrola vhodných odstínů na průsvitné fólii

Požadavky na barvicí prostředky se neliší od ostatních kritérií, kladených na novodobé vnesené materiály, resp. musí splňovat možnost snadného, šetrného a kompletního odstranění. Musí být stálé na světle, snadno míchatelné, rychleschnoucí, prodyšné, odolné proti oděru atd. Měly by přilnout k povrchu a nesmí po zaschnutí vytvářet defekty (puchýře, trhliny apod.). Musí být uživatelsky příjemné, zdravotně nezávadné a přátelské k životnímu prostředí. Pro eliminaci vzniku map se jako základ často používá latexová barva, např. LATEX V 2011, Prolux®. Osvědčila se i jako dobrý nosič barvicích prostředků, zabraňující průniku barvy do sádrového doplňku a chránící jej před mechanickým poškozením. Vytváří poměrně tenkou, ale nosnou vrstvu, kterou lze v případě potřeby přetřít nebo setřít navlhčenou houbičkou. Poměr nosiče a příslušné barvy je většinou 5 : 1. Na keramických předmětech se vyskytuje mnoho odstínů barev, ale jeden odstín je vždy dominantní →

základní barva (Obr. 27). Jako tónovací prostředky pro namíchání adekvátních odstínů se nejčastěji používají temperové, akrylátové, akvarelové a hlinkové (práškové) barvy, rozpuštěné např. v ethanolu.



Obr. 27: Hrniec před a po barevné retuši dosádrovaných ploch

Barevnou retuš lze provádět i minerálními práškovými pigmenty (např. Kremer Pigmente) vhodné barevnosti, smíchanými s akrylátovými disperzemi jako je např. Dispersion K498, Primal AC 35. Dokonale rozmíchaná směs se nanáší štětcem, houbičkou apod.. Pojivem minerálních pigmentů může být i 10hmotn.% roztok Paraloidu B72[®], rozpuštěného v acetonu.

Techniky barvení zahrnují nejrůznější malířské techniky: podmalby, promývání barev, lavírování (tahem štětce se vytvoří různé odstíny a sytost barev i v jednom tónu), barevné tónování, prolínání barev tmavých a světlých barev na povrchu, nanášení dalších barev a jejich kombinování, valéry (jemné přechody). Věrohodné barevné výsledky jsou dosahovány „Pollock“ technikou, kdy se barva nabere plochým štětcem a nepravidelné skvrny na podkladu se vytvoří rozstříkáním štětce na základní barvenou plochu. Kombinace více štětců s několika odstíny barev vytváří dojem autentického keramického povrchu. Často se požadované efekty vytváří **tupováním** houbou. **Patinování sádrových výplní** se ještě v nedávné minulosti provádělo nanesením roztoku šelaku v ethanolu (10hmotn.% roztok) ve 3–4 vrstvách, který po zaschnutí a přešetření polosuchým štětcem vytvořil hladký, matně lesklý povlak. Také je možné na vrstvu šelaku nanést vodou ředitelné barvy, doladit práškovými pigmenty, zafixovat fixativem (viz konsolidační roztoky z dostupných disperzních adheziv, kap. 2. 4. 3. Konsolidace) a povrch ošetřit voskovou patinou, rozpuštěnou v benzínu. Jednotlivé kroky lze podle potřeby i vhodně kombinovat.

2. 4. 7. Zásady pro vhodné depozitární uložení restaurovaných předmětů z keramiky

Posledním úkonem, týkajícím se následné péče o keramické předměty po konzervátorsko-restaurátorském zásahu, vyplývající i z Dokumentu o profesi konzervátora-restaurátora AMG, je poskytnout vlastníkově informace o ochranném

režimu památky. [4] Restaurátor navrhuje vhodný deponitární režim a základní metodiku péče o předmět po ošetření, pravidla pro prezentaci, transport atp.

Relativní vlhkost (RV)

Aby byl proces stárnutí zrestaurovaných keramických předmětů, ale i použitých pomocných materiálů, co nejpomalejší, je nutné je uložit v prostředí s optimálními, stabilními klimatickými podmínkami. Především nesmí docházet k náhlým změnám teploty a vlhkosti. Většina muzeí v Evropě a Spojených státech přijala úroveň 50 ± 5 % relativní vlhkosti vzduchu [102], což koresponduje s doporučenými hodnotami pro deponování sbírkových předmětů v České republice [103]. Při překročení doporučených hodnot např. při > 60 % RV nastává zvýšené riziko pro růst plísní. Při vysoké vlhkosti dochází ke zvýšenému stárnutí střeptových hmot doprovázenému vlhkostní roztažností a snížením mechanické pevnosti, což může vést např. k poškození lepených spojů, popř. až k deformaci objektů. Vlhkost vzduchu se koriguje v deponitární místnosti za použití odvlhčovačů nebo naopak zvlhčovačů.

Teplota

Teplotní podmínky by měly být v rozmezí $15\text{--}25$ °C, ideálem je 20 °C s maximálním kolísáním v rozmezí ± 5 °C za 24 hodin [90,104-105]. Kolísání teploty může být problematické především pro pomocné materiály (adheziva, pojiva, pigmenty apod.).

Polutanty

Mezi **pevné polutanty** se řadí prachové mikročástice, popílek, dehtové látky, saze, fragmenty lidské kůže, textilní vlákna. Lze sem také zařadit spóry a mycelia plísní, bakterie a produkty jejich metabolismu. Limit pevných polutantů, tolerovaných v deponitárních prostorách, je maximálně $75 \mu\text{g}/\text{m}^3$, ideálem je koncentrace do $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$. [104] Na reliéfním keramickém povrchu se prachové částice snadno zachytí, následně absorbují vzdušnou vlhkost a vytváří tzv. prachové skvrny.

Prach musí být odstraňován z povrchu objektů nasucho opatrným oprašováním měkkými vlasovými štětci z přírodních vláken.

Mezi **plynné polutanty** se řadí vzdušné plyny a škodliviny z vnějšího prostředí. V oblasti kulturního dědictví jsou hlavním zdrojem anorganických plyných polutantů oxidy (např. SO_2 , NO_x , CO_x), NH_3 , O_3 a sulfidové sloučeniny (H_2S , COS , CS_2) a jejich reakce se vzdušnou vlhkostí. Hlavními korozními plynými médii pro muzejní objekty

jsou však organické těkavé látky (VOCs), které obsahují karbonylovou skupinu (např. HCHO, CH₃CHO s příslušnými kyselinami mravenčí a octovou). Limit plynných polutantů tolerovaných v depozitárních prostorách je 5–10 ppb. [105-106]

Koroze vyvolaná zvýšenou přítomností plynných polutantů organických kyselin byla zachycena v několika muzejních sbírkových depozitech [107-109] a u mnoha typů muzejních předmětů (byla pozorována tvorba výkvětů hydratovaných solí organických kyselin). Organické sloučeniny se mohou uvolňovat z dřevěných úložných systémů, jiných sbírkových předmětů (např. maleb) či podlah. Parametry a čistota vzduchu se monitoruje v depozitních i výstavních prostorách klimatizačními jednotkami a pro uložení předmětů je vhodná volba monomateriálových vitrín a depozitářů.

Světelné podmínky

V depozitářích, ale i v dlouhodobých expozicích, by se měly minimalizovat účinky světla, protože poškození světlem je kumulativní a nevratné. Mezi negativní změny způsobené účinkem světla patří degradace barviv, pigmentů doprovázená barevnou změnou. UV záření způsobuje chemickou degradaci některých pomocných materiálů zejména adheziv. Standardní úroveň intenzity světelného záření by se měla pohybovat v rozsahu 50–250 luxů [90,103], dlouhodobě by neměla přesáhnout úroveň 300 luxů [105], celková roční expozice pak 100 000 lx.h/rok. Množství UV záření má být co nejnižší (pod 30 μW/lm), v žádném případě by ale nemělo přesáhnout hodnotu 75 μW/lm. [104] Ochranu proti účinkům vnějšího světla zajišťují mechanické zábrany na oknech, jako jsou okenice, žaluzie, závěsy, UV fólie, atp. K osvětlení depozitáře je pak vhodné osvětlovací zařízení o nízké intenzitě s odfiltrovanou UV složkou, jako jsou např. světelné LED diody a pásy, optická vlákna atp.

Specifika uložení keramiky v depozitáři

Podmínky dlouhodobého uložení mají podstatný vliv na stabilitu zrestaurovaných keramických předmětů. Keramické předměty jsou křehké, citlivé na otřesy, pády, vibrace a náročné na opatrnou manipulaci. Základní uložení jednotlivých artefaktů musí být provedeno tak, aby nedošlo k jejich poškození nebo pádu; v prostředí, kde je nutné provádět pravidelnou údržbu, aby se snížilo riziko jejich poškození prachem, vlhkostí, plísněmi a napadení škůdci. Menší předměty a samostatné fragmenty je nutné ukládat do sáčků nebo krabiček (z neagresivních materiálů), běžně se užívají papírové sáčky. Celé keramické předměty je vhodné ukládat do ochranných,

na míru zhotovených, pouzder [45] a prokládat/ obalovat je např. nekyselým hedvábným papírem s 3 % alkalickou rezervou CaCO₃, (pH 8,5), bublinkovou fólií, PE fólií, ev. textilií DuPont™ Tyvek® pro transport a skladování uměleckých předmětů. V depozitáři by měly být keramické předměty uloženy v uzavřených prachotěsných skříních nebo obalech. V dlouhodobých expozicích by měly být instalovány do vitrín, splňujících podmínky dlouhodobého depozitárního uložení (prachotěsnost a minimální výkyvy teploty a relativní vlhkosti).

Manipulace s exponáty

S restaurovanými keramickými předměty by měli manipulovat pouze profesionálové z řad konzervátorů, restaurátorů či poučený personál. Jakákoliv manipulace představuje pro keramiku velké riziko, může dojít k poškrábání, otlučení až rozbití exponátu. Při přenášení na větší vzdálenosti přenášet předmět zásadně uložený ve vystlaném pevném kontejneru z neagresivních obalů. Veškerá manipulace s keramickými předměty by měla probíhat nad pracovní plochou s měkkou podložkou a v bavlněných rukavicích.

Transport by měl být zorganizován jedním dopravním prostředkem přímo na místo určení. Při převozu exponátu se musí dbát na bezpečnou manipulaci a na kvalitní zabalení. Předmět by měl být dokonale samostatně obalen jemným hedvábným, nekyselým papírem, event. zaizolován do fólie, polyethylenové (PE) pěny tlumící nárazy. Dno krabice je třeba odizolovat proti vibracím např. blokovým pěnovým polystyrenem, PE fólií s bublinkami apod. Volné prostory v přepravním boxu by měly být vyplněny měkkým pružícím materiálem (vzduchové polštářky, polystyrénová drť). Je třeba označit správnou orientaci a opatřit bezpečnostními nápisy.

Péče o zrestaurované keramické předměty - čištění

Exponát je nutné pravidelně čistit od prachu pouze suchou cestou, v žádném případě nepoužívat vodu nebo chemické prostředky a případně se obrátit na odbornou konzultaci s restaurátorem.

Kontrola stavu zrestaurovaných předmětů

Stav zrestaurovaných artefaktů, které jsou již nějakou dobu uloženy v depozitáři, je nutné pravidelně kontrolovat. Obecně se doporučuje minimálně jednou za dva roky provést revizi stavu předmětu s případnými rekonzervačními zásahy drobného

charakteru tak, aby se jeho životnost neustále prodlužovala a nedocházelo ke snižování jeho komplexní hodnoty. Velmi praktické je, když poslední strana Konzervátorské zprávy (viz kap. 2. 4. 9.) obsahuje tabulku (Tab. VI), do které odborný pracovník vyplňuje informace o provedené revizi.

Tab. VI: Tabulka o provedených revizních zákrocích

Datum revize	Kdo revidoval	Shledaný stav	Provedené zásahy	Doporučené datum příští revize
15. 09. 2021				

Výstavní režim

I klimatické parametry ve výstavních prostorách musí být po celou dobu výstavy udržovány konstantní, tj. bez velkých výkyvů. Relativní vlhkost vzduchu ve výstavních sálech se doporučuje udržovat na hodnotě 50 % s maximálními výkyvy ± 5 %, teplota by měla být v rozmezí $20 \pm 2^\circ \text{C}$.

Dále je třeba provést takové zajištění restaurovaných předmětů, aby byly eliminovány další negativní vlivy, jako jsou časté dotýkání se povrchu předmětů, náhodné nárazy, potřísnění nápoji apod.. Výjimečným případem bývá i cílený vandalismus.

2. 4. 8. Restaurátorská zpráva

Dle Zákona o státní památkové péči č. 20 Sb. ze dne 30. března 1987, ve znění zákona 242/92 Sb., je povinností vypracovat ke každému ošetřenému předmětu konzervačně-restaurátorskou zprávu, jejíž nedílnou součástí jsou textové informace, fotografická dokumentace a případně kresebná dokumentace.

Restaurátorská zpráva je připojována k ošetřenému předmětu po dokončení prací, ale nejpozději při předání zrestaurovaného díla, aby bylo možné podle použitých metod, pomocných materiálů a chemikálií korigovat jeho následné uložení, veřejné prezentace, rekonzervační zákroky apod. [100,110]

V současnosti neexistuje standardizace restaurátorských zpráv, pouze metodické pokyny Národního památkového ústavu [110]. Každá instituce si vytváří vlastní strukturu zpráv, v kterých by měly být informace uvedené v tabulce VII.

Tabulka VII: Informace obsažené v restaurátorské zprávě

<p>1 - Identifikace předmětu</p> <p>Název předmětu.</p> <p>Lokalita - místo nálezu, bližší určení místa, katastr, kraj, okres, obec, objekt, umístění v objektu, budova - jednoznačná lokace nebo zaměření, adresa: ulice, číslo popisné, číslo parcely.</p> <p>Rok výzkumu. Číslo výzkumu. Datum vykopání.</p> <p>Vedoucí archeologického výzkumu, archeolog, autor náleзовé zprávy.</p>	<p>Nálezové okolnosti:</p> <p>Typ naleziště, např.: sídlištní objekty, sídliště, hrobový kontext, žárové pohřebiště, kulturní vrstva, pohřebiště.</p> <p>Číslo objektu/kontextu. Vrstva. Číslo bedny, číslo sáčku.</p> <p>Vlastnické vztahy: Majitel, vlastník. Investor, zadavatel včetně kontaktu. Projekt.</p> <p>Přidělená signatura předmětu.</p>	<p>Datum převzetí materiálu ke zpracování.</p> <p>Odpovědný restaurátor, ev. úplný seznam fyzických osob zúčastněných na restaurování. Konzervátorské pracoviště – adresa, místo realizace restaurátorských prací.</p> <p>Datum zahájení ošetření.</p> <p>Fotodokumentace (fotograf, pracoviště).</p> <p>Datum ukončení ošetření. Adresa uložení předmětu po restaurování.</p>
<p>2 - Popis předmětu</p> <p>Druh materiálu. Typologický popis předmětu. Funkce předmětu.</p> <p>Přibližné datování, časové zařazení nálezu, kultura, základní historické zařazení, století.</p> <p>Vše, co se podaří zjistit o způsobu výroby, technologiích, vzniku předmětu, o základních výrobních surovinách, použitých technikách vytváření, výzdobě, povrchové úpravě, typu povrchu, režimu výpalu apod. Případně údaje o dílně, kde byl předmět vyroben, o umělci apod. Značky, koly</p>	<p>Základní údaje o zpracovávaném předmětu</p> <p>Kvalita, charakter materiálu, druh střepu.</p> <p>Tloušťka střepu [mm].</p> <p>Rozměry: výška předmětu [mm], průměr okraje [mm], dna [mm].</p> <p>Další vhodné rozměry. Počet dochovaných fragmentů [ks].</p> <p>Hmotnost předmětu [g].</p> <p>Barva střepového materiálu (např. podle barevné vzorkovnice MUNSSELL® Soil Color Charts).</p>	<p>3 - Konzervátorský a restaurátorský záměr</p> <p>Koncepce restaurátorského záměru, více viz kap. 2. 4. 1.</p> <p>4 - Komplexní vyhodnocení průzkumných a výzkumných prací a učiněných zjištění</p> <p>Předběžný restaurátorský průzkum - konzervátorské zkoušky – zkoumání vizuální, mechanické</p> <p>Restaurátorský průzkum- odběr vzorků a metody charakterizace nestabilních střepových hmot více viz kap. 2. 3.</p>

<p>5 – Nálezový stav předmětu před zásahem</p> <p>Stav, v jakém se předmět dostal do restaurátorské laboratoře. Popis poškození, degradace. Popisuje se každý jev viditelný na objektu: defekty, trhliny, praskliny a příčiny poškození. Usazeniny nahromaděné na povrchu, výkvěty, biokoroze.</p> <p>Deformace, rozsah mechanických poškození, ztráty povrchového materiálu, v případě potřeby se provede nákres.</p> <p>Popis chybějících částí. Identifikují se předchozí restaurátorské zásahy.</p>	<p>6 – Kompletní postup a průběh konzervačně-restaurátorských prací</p> <p>V této kapitole je třeba podrobně, ale srozumitelně, zachytit způsob ošetření, sled postupů a popis jednotlivých zásahů, včetně použitých materiálů, pomůcek, zařízení atp. Popsat obtíže a omyly v diagnóze a v průběhu prací.</p> <p>7 – Stav a popis předmětu po ošetření</p> <p>Popisuje se celkový stav předmětu po zásahu. Vyhodnocují se nové poznatky z průběhu restaurování. Informuje se o zbylých fragmentech, a jak s nimi bylo naloženo.</p>	<p>8 a – Seznam použitých technologických prostředků, chemikálií a pomocných materiálů</p> <p>Přehled aplikovaných materiálů (včetně popisu, složení, vlastností), koncentrace, použita rozpouštědla. U všech materiálů je přínosné uvádět výrobní, obchodní označení, výrobce, dodavatele. U chemikálií uvádět i chemické názvy, šarže. Stručné zdůvodnění jejich volby. Přidat i bezpečnostní a technické listy.</p> <p>Komerční výrobky mění své názvy a složení, některé typy tmelů se mohou přestat vyrábět a pak zpětně není možné zjistit jejich složení. [53]</p> <p>Uvést zde, jakým způsobem jsou vnesené pomocné materiály odstranitelné</p>
<p>8 b – Seznam použitých laboratorních nástrojů, pomůcek a zařízení použitých při konzervaci, restaurování.</p> <p>9 – Doporučené klimatické podmínky a způsob uložení. Kontrola stavu předmětu. Více viz kap. 2. 4. 1.</p>	<p>10 – Dokumentace</p> <p>Kresebná dokumentace schematicky znázorňuje rozsah různých typů a druhů poškození, ztrát, degradace původního materiálu, rozsah starých, ale i nových doplňků. Pro snazší představu se zakresluje rozsah oblastí, které byly podrobeny různým typům konzervačního nebo restaurátorského zásahu, např. konsolidace, doplnění ztrát apod. Zákresy mohou informovat i o rozsahu použití různých druhů materiálů a technologií.</p>	<p>Další dokumentace a přílohy podle povahy věci:</p> <p>Obrazová část restaurátorské zprávy může obsahovat i speciální fotodokumentaci: IR snímky, luminiscenční snímky, fotografie mikrořezů, mikroskopické fotografie, makrofotografie, RTG snímky, tomografie apod. U digitální fotografie se uvádí typ přístroje a formát, v němž jsou fotografické snímky pořízeny (např. formát JPEG, TIFF).</p> <p>Restaurátorské zprávy o předešlých zásazích, historické písemné a obrazové prameny, odborné posudky, publikace o restaurovaném předmětu apod.</p>

Kompletní dokumentace musí být vedena jako trvalý záznam. Restaurátorské zprávy se ukládají v archivech veřejných institucí a jsou k dispozici badatelům, ale i široké veřejnosti ve smyslu zákona ČNR č. 106/1999 Sb., o svobodném přístupu k informacím („Zákon o informacích“). Restaurátorské zprávy si lze prezenčně prohlédnout a nastudovat, ale s vědomím, že se na ně vztahuje autorský zákon.

Seznam použité související literatury:

- [1] Zákon o památkové péči 20/1987, [online]. [cit. 5. 9. 2021]. Dostupné z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/1987-20>
- [2] Benátská charta z r. 1964, [online]. [cit. 5. 9. 2021]. Dostupné z: <https://www.icomos.cz/images/dokumenty/benatska-charta.pdf>
- [3] ČSN EN 15898 (961509), 2020. Ochrana kulturního dědictví - Základní obecné termíny a definice. Praha: Český normalizační institut.
- [4] Dokument o profesi konzervátora-restaurovatele, [online]. [cit. 5. 9. 2021]. Dostupné z: <https://www.cz-museums.cz/web/amg/zakladni-dokumenty-amg/dokument-o-profesi-konzervatora-restaurovatele>
- [5] Kutmanová, L., Cyprisová, L., Kloužková, A. Vývěsní štít cechu hrnčářů, čištění a průzkum keramického reliéfu. Fórum pro konzervátory – restaurátory. Brno: Technické muzeum v Brně, 2015, 100-104. ISSN 1805-0050.
- [6] Hajmanová, D., Kloužková, A., Svobodová, L. Restaurování novověké keramiky z domu 95 „U Mecenáše“. Fórum pro konzervátory – restaurátory. Brno: Technické muzeum v Brně, 2015, 95-99. ISSN 1805-0050.
- [7] Kloužková, A., Svobodová, L., Zemenová, P. Zpracování keramického středověkého souboru z Lažan u Skutče. Sklář a keramik – restaurování. Vydavatelství České sklářské společnosti, 2012, 13-14(62), 362-367. ISSN 0037-637X.
- [8] Ohlidalová, M., Kněžů Knížová, M., Míčková, M., Fořt, M., Vykouková, J., Kocanda, L., Skoupá, A. Příprava výstavy „Afghánistán: Zachráněné poklady buddhismu“ z pohledu restaurátorů. Fórum pro konzervátory – restaurátory. Brno: Technické muzeum v Brně, 2016, 91-96. ISSN 1805-0050.
- [9] Hanykýř, V., Kloužková, A., Svobodová, L. Keramika - Restaurování historických keramických materiálů. Plzeň: Silikátový svaz, 2011. 237-250. ISBN 978-80-86821-63-4.
- [10] Hanykýř, V., Kutzendörfer, J., 2008. Technologie keramiky. 2. vydání, Praha: Silikátový svaz. ISBN 80-903113-1-8.
- [11] Bareš, M., Lička, M., Růžičková, M. K technologii neolitické keramiky. Sborník Praha: Národního muzea v Praze A 35, 1981, 137–228.

- [12] Jiráň, L. (2008). Archeologie pravěkých Čech – Svazek 5: Doba bronzová. Archeologický ústav AV ČR, Praha, ISBN: 978-80-86124-78-0.
- [13] Thér, R., Mangel, T. Inovace a specializace v hrnčářském řemesle v době laténské: model vývoje forem organizace výroby. Archeologické rozhledy. Praha: Archeologický ústav AV ČR, 2014, 66(1), 3-39. ISSN 0323-1267.
- [14] Čapek, L., Těsnohlídková, K., Slavíček, K., Všianský, D., Pracný, P., 2018. Technologie výroby a archeometrické studium středověké keramiky. Plzeň: Západočeská univerzita. ISBN 978-80-261-0811-5. (Brno: Masarykova Univerzita. ISBN 978-80-210-9050-7.)
- [15] Schneider, H., Komarneni, S., 2005. Mullite. Mörlenbach: Strauss GmbH. ISBN 978-3-527-30974-0.
- [16] Herainová, M., 2002. Keramické suroviny a jejich úprava. Praha: Silikátový svaz, ISBN 80-903113-2-67.
- [17] Gregerová, M., Čopjaková, R., Beránková, V., Bibr, P., Goš, V., Hanuláková, D., Hložek, M., Holubová Závodná, B., Kristová, L., Kuljovská, Z., Macháček, J., Mazuch, M., Procházka, R., Škoda, R., Všianský, D., 2010. Petroarcheologie keramiky v historické minulosti Moravy a Slezska. 1. vydání. Brno: Masarykova univerzita. ISBN 978-80-210-5168-3.
- [18] Weiss, Z., Kužvart, M., 2005. Jílové minerály, jejich nanostruktura a využití. Praha: Karolinum. ISBN 80-246-0868-5.
- [19] Chváta, M., 2011. Základy geologie. Základy mineralogie keramických surovin. Edit. Hanykýř, V. Plzeň: Silikátový svaz, 237-250. ISBN 978-80-86821-63-4.
- [20] Konta, J., 1982. Keramické a sklářské suroviny. 1. Vydání. Praha: Univerzita Karlova. ISBN 60-023-82.
- [21] Petrželka, J., Hanus, V., 2019. Těžba a úprava silikátových surovin. 2. vydání. Praha: Silikátový svaz, ISBN 978-80-86821-71-9.
- [22] Melka, K., Šťastný, M., 2014. Encyklopedický přehled jílových a příbuzných minerálů. Praha: ACADEMIA. ISBN 978-80-200-2369-8.
- [23] Petránek, J., Březina, J., Břízová, E., Cháb, J., Loun, J., Zelenka, P., 2016. Encyklopedie geologie. 1. Vydání. Praha: Česká geologická služba. ISBN 978-80-7075-901-1.
- [24] Hanykýř, V., Kloužková, A., Bouška, P., Vokáč, M. Stárnutí pórovitého keramického střepu. Sborník ze semináře Objemové změny pórovité keramiky. Hevlín: Silikátový svaz, 2009, 33–43. ISBN 978-80-86821-54-2.

- [25] Kloužková, A., Hanykýř, V., Vokáč, M., Bouška, P. Stárnutí historické keramiky. Sborník ze semináře Objemové změny pórovité keramiky. Hevlín: Silikátový svaz, 2009, 56–68. ISBN: 978-80-86821-54-2.
- [26] Kloužková, A., Zemenová, P., Kohoutková, M., Kloužek, J. Hydrothermal rehydroxylation of kaolinite studied by thermal analysis. *Ceramics-Silikáty*. 2013, 57(4), 342-347. ISSN 0862-5468.
- [27] Kloužková, A., Zemenová, Z., Kohoutková, M. Ageing of fired-clay ceramics: Comparative study of rehydroxylation processes in a kaolinitic raw material and moon-shaped ceramic idol from the Bronze Age. *Applied Clay Science*. 2016, 119(2), 358–364. ISSN 0169-1317.
- [28] Zemenová, P., Kloužková, A., Kohoutková, M., Král, R. Investigation of the first and second dehydroxylation of kaolinite. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*. 2014, 116(2), 633-639. ISSN 1388-6150.
- [29] Wilson, M. A., Clelland, S., Carter, M. A., Ince, C., Hall, C., A. Hamilton, A., Batt, C. M. Rehydroxylation of fired-clay ceramics: factors affecting early-stage mass gain in dating experiments. *Archaeometry*. 2014, 56(4), 689-702. ISSN 0003-813X.
- [30] Escardino, A., García-Ten, J., Saburit, A., Feliu, C., Pilar Gómez Tena, M. Calcium carbonate decomposition in white-body tiles during firing in the presence of carbon dioxide. *Ceramics International*. 2013, 39(6), 6379-6390. ISSN: 0272-8842.
- [31] Siqueira, F. B., Holanda, J. N. F. Application of grifts waste as a renewable carbonate material in manufacturing tiles. *Ceramics International*. 2018, 44(16), 19576-19582. ISSN: 0272-8842.
- [32] Fabbri, B., Gualtieri, S., Shoval, S. The presence of calcite in archeological ceramics. *Journal of the European Ceramic Society*. 2014, 34 (7), 1899-1911. ISSN 0955-2219.
- [33] Heimann, R. B., Maggetti, M. The struggle between thermodynamics and kinetics. Phase evolution of ancient and historical ceramics. *EMU in Mineralogy*. 2019, 20 (6), 233-281. ISSN 0026 4601.
- [34] Traoré, K. T., Siméon, K., Blanchart, P. Gehlenite and anorthite crystallisation from kaolinite and calcite mix. *Ceramic International*. 2003, 29(4), 377-383. ISSN 0272-8842.
- [35] Taylor, J. R., Bull, A. C., 1986. *Ceramics Glaze Technology*. Oxford: Institute of Ceramics. ISBN 0080334660.
- [36] Riccardi, M. P., Messiga, B., Duminuco, P. An approach to the dynamics of clay firing. *Applied Clay Science*. 1999, 15, 393-409. ISSN 0169-1317.
- [37] Blažek, A., 1972. *Termická analýza*. 1. Vydání. Praha: SNTL.

- [38] Földvári, M., 2011. Handbook of thermogravimetric system of minerals and its use in geological practice. Budapest: Geological Institute of Hungary. ISBN 978-963-671-288-4.
- [39] Weiss, G., 2007. Keramika-umění z hlíny. Praha: Grada. ISBN 978-80-1954-2.
- [40] Herainová, M., 2002. Glazury, keramické barvy a dekorační techniky. Praha: Silikátový svaz. ISBN 80-903113-1-8.
- [41] Quinn, P. S., 2013. Ceramic petrography: The interpretation of archaeological pottery & related artefacts in thin section. Oxford: Archaeopress. ISBN 978-1-905-73959-2.
- [42] Reedy, C. L., 2008. Thin-section petrography of Stone and Ceramic Cultural Materials. London: Archetype Publications Ltd. ISBN 978-1-9049 8233-3.
- [43] Liou, J. G. Synthesis and stability relations of wairakite, $\text{Ca}_2\text{Al}_2\text{Si}_4\text{O}_{12}\cdot 2\text{H}_2\text{O}$. Contrib Mineral Petrology. 1970, 27, 259-282. ISSN 0010-7999.
- [44] Moorehead, D. R. Cementation by the carbonation of hydrated lime. Cement and Concrete Research. 1986, 16, 700-708. ISSN 0008-8846.
- [45] Archeologický ústav AV ČR. Co je archeologický nález [online]. [cit. 5. 9. 2021]. Dostupné z: <https://www.arup.cas.cz/co-je-archeologicky-nalez/>
- [46] Šefcová, P., Kadeřábková, J., Polák, L., Valach, J., Vavřík, D. Metodika uchování, konzervování a restaurování předmětů kulturního dědictví na bázi keramického materiálu (pálená/nepálená hlína). 2020. Metodika projektu MK ČR programu NAKI, id. č. DG16P02M022, „Analýza, popis a archivace souborných informací o vlastnostech předmětů kulturního dědictví a využití těchto informací v restaurátorské, konzervátorské a badatelské praxi“. Dostupné z: <http://www.nusl.cz/ntk/nusl-432138>
- [47] Svobodová, 2014. Konzervování a restaurování nestabilních keramických nálezů. Ročenka 2013. Olomouc: Archeologické centrum Olomouc, 260–275. ISBN 978-80-86989-26-6.
- [48] Machačko, L. Metodika pro výběr vhodného restaurátorského zásahu. 2016. Metodika projektu MK ČR programu NAKI, id. č. DF12P01OVV018, „Podmínky a požadavky kompatibilní péče o historické anorganické porézní materiály“. Dostupné z: <http://www.nusl.cz/ntk/nusl-261492>
- [49] Slížková, Z., Frankeová, D., Tišlová, R. Metodika pro určení rozhodných materiálových charakteristik historických stavebních materiálů pro plánovaný restaurátorský zásah. 2016. Metodika projektu MK ČR programu NAKI, id. č. DF12P01OVV018, „Podmínky a požadavky kompatibilní péče o anorganické porézní materiály“. Dostupné z: <http://www.nusl.cz/ntk/nusl-261490>
- [50] Tišlová, R. Slížková, Z., Novotná, A., Frankeová, D., Kuneš, P., Ďoubal, J. Metodika pro určení mezí a intervalů významných materiálových charakteristik opravných materiálů a technologií pro kompatibilní zásah. 2016. Metodika projektu MK ČR

programu NAKI, id. č. DF12P01OVV018, „Podmínky a požadavky kompatibilní péče o historické anorganické porézní materiály“. Dostupné z: <http://www.nusl.cz/ntk/nusl-261491>

- [51] Příkryl, R., Weishauptová, Z., Příkrylová, J. Metodika určování provenience přírodního kamene – pískovce – exaktními laboratorními metodami. 2016. Metodika projektu MK ČR programu NAKI, id. č. DF13P01OVV008, „Přírodní kámen v sochařství a architektuře zemí koruny České - komplexní znalostní systém o zdrojích, vlastnostech, využití, trvanlivosti, historie využití, kompatibilitě a vzájemné zaměnitelnosti“. Dostupné z: <http://www.nusl.cz/ntk/nusl-261491>
- [52] Kučerová, I., Zlámalová Cílová, Z., Novák, M., Holubová, B., Knotek, V., Kněžů Knížová, M. Metodika monitoringu a technologie údržby skleněných exteriérových mozaik. 2015. Metodika projektu MK ČR programu NAKI, id. č. DF12P01OVV017, „Technologie údržby a konzervace mozaiky Posledního soudu a metody restaurování-konzervování středověkého a archeologického skla“. Dostupné z: <http://www.nusl.cz/ntk/nusl-204166>
- [53] Zlámalová Cílová, Z., Kněžů Křížová, M., Kučerová, I. Metodika konzervování-restaurování objektů ze skla s nízkou chemickou odolností. 2015. Metodika projektu MK ČR programu NAKI, id. č. DF12P01OVV017, „Technologie údržby a konzervace mozaiky Posledního soudu a metody restaurování-konzervování středověkého a archeologického skla“. Dostupné z:
- [54] Ďoubal, J., Zítková, P., Tišlová, R., Kulhánek, M., Rejman, P., Glombová, B. Péče o sádrové odlitky. 2020. Metodika projektu MK ČR programu NAKI, id. č. DG16P02B052, „STOPY TVORBY Dědictví velkých sochařů první poloviny 20. století - Restaurování a péče o sochařské památky ze sádry“. Dostupné z: <http://www.nusl.cz/ntk/nusl-410803>
- [55] Lehovec, O., 2013. Metodika výroby a využití adhezivních skeletizačních fólií z japonského papíru na bázi etherů celulózy. [online]. [cit. 5. 9. 2021]. Dostupné z: http://aleph.nkp.cz/F?func=service&doc_library=KKL01&local_base=KKL&doc_number=000084000&sequence=000001&line_number=0001&func_code=WEB-FULL&service_type=MEDIA
- [56] Hunt, A., 2016. The Oxford Handbook of ARCHAEOLOGICAL CERAMIC ANALYSIS. Oxford: Oxford university press. ISBN 987-0-19-968153-2.
- [57] Kloužková, A., Kolářová, M., Šefců, R., Koteňová, P., Bajoux Kmoníčková, Kohoutková, M., M., Randáková, S., Dvořáková, P., Hricková, K., Antošková, V., 2020. Databáze materiálů užívaných v glazurách. Praha: Vysoká škola chemicko-technologická v Praze. ISBN 978-80-7592-082-9.
- [58] ČSN EN ISO 10545-3, 2018. Keramické obkladové prvky - Část 3: Stanovení nasákavosti, zdánlivé pórovitosti, zdánlivé hustoty a objemové hmotnosti. Plzeň: Technický a zkušební ústav stavební Praha.
- [59] ČSN 72 5010 (725010), 1989. Stanovení nasákavosti, zdánlivé pórovitosti, pórovitosti, objemové hmotnosti a zdánlivé hustoty vypálených keramických směsí a výrobků.

- [60] ISO 15901-1:2016, 2016. Vyhodnocení distribuce velikosti pórů a porosity pevných materiálů rtuťovou porosimetrií a adsorpcí plynu — Část 1: Rtuťová porosimetrie.
- [61] ČSN EN ISO 18753 (727593), 2006. Jemná keramika (speciální keramika, speciální technická keramika) - Pyknometrické stanovení hustoty keramických prášků. Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví.
- [62] ČSN EN 1936 (721143), 2007. Zkušební metody přírodního kamene - Stanovení měrné a objemové hmotnosti a celkové a otevřené pórovitosti. Praha: Český normalizační institut.
- [63] MacKenzie, W., Adams, A. E., 2011. Rocks and minerals in thin section - A colour atlas. 11. vydání. London: Manson publishing. ISBN 978-1-8745-14-0.
- [64] Gregerová, M., Fojt, B., Vávra, V., 2002. Mikroskopie horninotvorných a technických minerálů. 1 vydání. Brno: Moravské zemské muzeum. ISBN 80-7028-195-2.
- [65] Howell, M. G., Chapter 5 - Raman Spectroscopy in Art and Archaeology: A New Light on Historical Mysteries, In: Laane, Jaan. Frontiers of Molecular Spectroscopy. Amsterdam: Elsevier, 2009, 133-173. ISBN 978-0-444-53175-9.
- [66] Kloužková, A., Zemenová, P., Kloužek, J., Pabst, W., 2012. Termická analýza, Studijní materiály 2012. „Zřízení laboratoře pro praktickou výuku termické analýzy se zaměřením na anorganické nekovové materiály“.
- [67] Klesner, C. E., MacDonald, B. L., Dussubieux, L., Akymbek, Y., Vandiver, P. B. Local production and long-distance trade of Islamic glazed ceramics in Central Asia: A compositional analysis of ceramics from Southern Kazakhstan by NAA and LA-ICP-MS. Journal of Archaeological Science: Reports. 2019, 26. ISSN 2352409X.
- [68] Blažková, G., Svobodová, L. Poznávání vývoje restaurátorských technik keramiky na základě studia nálezových deníků z výzkumů na Pražském hradě. Archaeologia historica. 2020, 4(2), 889–905. ISSN 0231-5823.
- [69] Stergios Fragkos, S., Tzimtzimis, E., Tzetzis, D., Dodun, O., Kyratsis, P. 3D laser scanning and digital restoration of an archaeological find. MATEC Web of Conferences. 2018, 178 (4). ISSN 2261-236X.
- [70] Brejcha, M., Brůna, V., Marek, Z., Větrovská, B., 2015. Metodika digitalizace, 3D dokumentace a 3D vizualizace jednotlivých typů památek. 1. vydání. Ústí nad Labem: NPÚ. ISBN: 978-80-7414-954-2.
- [71] Lerones, P. M., Llamas, J. M., Gómez-García-Bermejo, J., Zalama, E., Oli, J. C. Using 3D digital models for the virtual restoration of polychrome in interesting cultural sites. Journal of Cultural Heritage. 2014, 15(2). ISSN 1296-2074.
- [72] Cronyn, J. M., Robinson, W. S., 1990. The Elements of Archaeological Conservation. 1. vydání. London: Routledge. ISBN 0-415-01207-4.

- [73] Sease, C., 1994. A Conservation Manual for the Field Archaeologist. 3. vydání. Los Angeles: University of California. ISBN 0-917956-82-6.
- [74] Dworoková, D. Vodní metody pro snímání nečistot a laků z uměleckých malířských děl. Praha, 2014. Diplomová práce. Akademie výtvarných umění v Praze, Ateliér restaurování malířských děl a polychromovaných plastik. Vedoucí práce Prof. Karel Stret.
- [75] Gleeson, M., 2021. Laser training for our monumental projects team. In: Artifact Lab: Conservation in Action. [online]. [cit. 5. 9. 2021]. Dostupné z: <https://www.penn.museum/sites/artifactlab/>
- [76] Hamilton, D. L., 1999. Methods for Conserving Archaeological Material from Underwater Sites [online]. Texas: Texas A&M University. [cit. 5. 9. 2021] Dostupné z: <https://nautarch.tamu.edu/CRL/conservationmanual/ConservationManual.pdf>
- [77] Nel, P., Jones-Amin, H., Jamieson, A., Sloggett, R., Sagona, A., 2010. New Conservation Education and Research Roles for a Cypriot Pottery Collection [online]. In: Museums Australia National Conference. 129-135. [cit. 5. 9. 2021] Dostupné z: https://www.amaga.org.au/sites/default/files/uploaded-content/website-content/Conferences/2010/ma2010_conference_papers.pdf
- [78] Meyer, N., Relier, C., 1987. Conservation des dites et du mobilier archéologiques principes et méthodes [online]. In: Études et documents sur le patrimoine culturel. Journées archéologiques » organisées le 13 juin 1987 par les Directions régionales des antiquités, la Maîtrise des sciences et techniques, « Conservation et restauration des biens culturels » de l'Université de Paris I et l'Unité d'archéologie de la ville de Saint-Denis.[cit. 5. 9. 2021]. Dostupné z: <http://unesdoc.unesco.org/images/0007/000796/079600fb.pdf>
- [79] Horie, V., 2010. Materials for Conservation – Organic consolidants, adhesives and coatings. 2. vydání. Oxford: Routledge. ISBN 978-0-75-066905-4.
- [80] Koob, S., 2014. Adhesives for Ceramics and Glass. In: Present and Prospect on Ceramics & Glass Conservation, National Palace Museum of Korea, Seoul, Korea, National Research Institute of Cultural Heritage (NRICH), Cultural Heritage Administration. 193–202.
- [81] Arcak, C., 2009. The Conservation of Seventeenth Century Archaeological Glass. 2009. Diplomová práce. Texas A&M University, Vedoucí práce Dr. C. Wayne Smith.
- [82] Oakley, V. I., Jain, K. K., 2002. Essentials in the Care and Conservation of Historical Ceramic Objects. London: Archetype Publications Ltd. ISBN 1-873132-73-5.
- [83] Heidingsfeld, V., Zelinger, J., 1985. Vodné disperze polymerů. Sborník Vysoké školy chemicko-technologické v Praze. 1. vydání. ISBN 80-7080-111-5.
- [84] Sigel, T., Koob S. P., 1997. Conservation and Restoration under Field Conditions: Ceramics Treatment at Sardis, Turkey. The American Institute for Conservation of

- Historic & Artistic Works. 1997, 5, 98–115. Dostupné z: <http://resources.culturalheritage.org/wp-content/uploads/sites/8/2015/02/osg005-06.pdf>
- [85] Klouda, P., 2002. Fyzikální chemie. 2. vydání. Ostrava: Pavel Klouda. ISBN 80-86369-06-4.
- [86] Zelinger, J., Heidingsfeld, V., Kotlík, P., Šimůnková, E., 1987. Chemie v práci konzervátora a restaurátora. Praha: Academia Praha.
- [87] Heidingsfeld, V. Lepení a lepidla. Sborník přednášek z odborného semináře STOP. 2010, 12, 6–13. ISSN 1212-4168.
- [88] Dvořáková, P., Kloužková, A., Kolářová, M., Vokáč, M., Svobodová, L., Kučerová, I. Hodnocení pevnosti systémů pórovitá keramika-pojivo pro aplikace v restaurátorské praxi. Fórum pro konzervátory-restaurátory. 2021, 11, 122–133. ISBN 987-80-87896-98-3.
- [89] Briš, P., Kuběna, J., Štrkaň, J., 2017. Lepení v praxi. 1. vydání. Praha: Grada. ISBN 978-80-271-0247-1.
- [90] Buys, S., Oakley, V., 2011. The Conservation and Restoration of Ceramics. London: Routledge, Taylor & Francis Group. ISBN 978-0-7506-3219-5.
- [91] Down, J. L., MacDonald, M. A., Tétreault, J., Williams, S. R. Adhesive testing at the Canadian Conservation Institute – an evaluation of selected poly(vinylacetate) and acrylic adhesives. Studies in Conservation. 1996, 41(1), 19–44. ISSN 0039-3630.
- [92] Svobodová, L., Samsamová, N., Kloužková, A. Metody doplňování ztrát u fajánsového zboží z hradčanských paláců. Fórum pro konzervátory-restaurátory 2020. Brno: Metodické centrum konzervace/Technické muzeum v Brně, 2020, 87-90. ISBN 978-80-87896-81-5.
- [93] Down, J. L., 2015. Adhesive Compendium for Conservation. Ottawa: Canadian Conservation Institute. ISBN 978-0-660-20319-5.
- [94] Acton, L., Smith, N., 2003. Practical Ceramic Conservation. 1. vydání. Marlborough: Crowood Press. ISBN 1-86126-483-6.
- [95] Tennent, N. H., 1999. The Conservation of Glass and Ceramics. London: James & James (Science Publishers). ISBN 1-873936-18-4.
- [96] Pereira, M. A. S., Pugliesi, R. Penetration of the consolidant Paraloid® B-72 in Macuxi indigenous ceramic vessels investigated by neutron tomography. Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section. 2018, A 889, 118-121. ISSN 0168-9002.
- [97] Moutinho, S., Costo, C., Cerqueira, Â., Rocha, R., Velosa, A. Geopolymers and polymers in the conservation of tile facades. Construction and Building Materials. 2018, 197, 175-184. ISSN 09500618.

- [98] Kubička, R., Zelinger, J., 2004. Výkladový slovník malířství, grafika, restaurátorství. Praha: Grada. ISBN 80-247-9046-7.
- [99] Svobodová, L. Restaurování archeologických keramických nádob z polykulturního pohřebního areálu Vliněves 1999–2007. Sborník z Konference konzervátorů-restaurátorů. Uherské Hradiště. Brno: Metodické centrum konzervace/Technické muzeum v Brně. 2010, 47-54. ISBN 978-86413-72-3.
- [100] Svobodová, L., Kloužková, A. Proměny restaurování keramických nálezů v čase. Fórum pro konzervátory-restaurátory. Brno: Metodické centrum konzervace/Technické muzeum v Brně. 2016, 110-115. ISSN 1805-0050.
- [101] Code of Ethics. ICOM. [online]. [cit. 5. 9. 2021] Dostupné z: <https://icom.museum/en/resources/standards-guidelines/code-of-ethics/>
- [102] Safeguarding our Documentary Heritage = Conservation préventive du patrimoine documentaire [CD-ROM]. Paris: UNESCO. 2000, 10 s.
- [103] Kopecká, I. a kol., 2002. Preventivní péče o historické objekty a sbírky v nich uložené. Praha: Laurus press servis. ISBN 80-86234-28-2.
- [104] Štefcová, P., 2001. Preventivní ochrana sbírkových předmětů. 2. vydání. Praha: Národní muzeum. ISBN 80-7036-129-8.
- [105] Josef, J., 2010. Úvod do preventivní konzervace. In: Úvod do muzejní praxe. Učební texty základního kurzu Školy muzejní propedeutiky. Praha: Asociace muzeí a galerií České republiky. 177–183. ISBN 978-80-86611-40-2.
- [106] Grzywacz, C. M., 2006. Monitoring for Gaseous Pollutants in Museum Environments. Los Angeles: Getty Publications. ISBN 978-0-89236-851-8.
- [107] Gibson, L. T., WATT, C. M. Acetic and formic acids emitted from wood samples and their effect on selected materials in museum environments. Corrosion Science. 2010, 52(1), 172-178. ISSN 0010-938X.
- [108] Robinet, L., Hall, C., Eremin, K., Fearn, S., Tate, J. Alteration of soda silicate glasses by organic pollutants in museums: Mechanisms and kinetics. Journal of Non-Crystalline Solids. 2009, 355(28-30), 1479-1488. ISSN 0022-3093.
- [109] Robinet, L., Eremin, K., COUPRY, C., Hall, C., Lacombe, N. Effect of organic acid vapors on the alteration of soda silicate glass. Journal of Non-Crystalline Solids. 2007, 353(16-17), 1546-1559. ISSN 0022-3093.
- [110] Metodický pokyn (list) Národního památkového ústavu č. 4/2006, ze dne 4. 9. 2006, čj. NPÚ 302/6662/2006. Národní památkový ústav, ústřední pracoviště, Valdštejnské náměstí 3, 118 01 Praha 1– Malá Strana; prováděcí předpisy s komentářem). [online]. [cit. 5. 9. 2021]. Dostupné z: www.npu.cz

Publikace předcházející metodice:

- Kloužková, A., Kavanová, M., Šefců, R., Randáková, S., Kohoutková, M., Msallamová, Š., Blažková, B. Charakterizace povrchových úprav kachlů a reliéfů z hradčanských paláců a identifikace zdrojů poškození glazur. Fórum pro konzervátory-restaurátory. 2019, 9(2), 89-93. ISSN 1805-0050.
- Kloužková, A., Kavanová, M. Identification of defects of surface ceramic finishing. Preparation of ceramic materials, Jahodná, 2019, 13(1), 115-128. ISBN 978-80-553-3314-4. Dostupné z: http://web.tuke.sk/seminar_PKM/TEXT/2019/Proceedings_PKM_2019.pdf
- Kavanová, M., Kloužková, A., Dvořáková, P., Šefců, R. Characterization of pigments and dyes of surface finishing using Raman spectroscopy. Jahodná. 2019, 13(1), 99-102. ISBN 978-80-553-3314-4. Dostupné z: http://web.tuke.sk/seminar_PKM/TEXT/2019/Proceedings_PKM_2019.pdf
- Kloužková, A., Dvořáková, P., Bednářová, Z. Vliv vápenaté složky na vlhkostní roztažnost střepové hmoty. Sborník příspěvků 21. ročníku: Konference o speciálních anorganických pigmentech a práškových materiálech. 2019. ISBN 978-80-7560-222-0.
- Dvořáková, P., 2019. Hodnocení stability systému keramika-pojivo-keramika. Praha. Diplomová práce. Vysoká škola chemicko-technologická v Praze. Vedoucí práce doc. Alexandra Kloužková.
- Náhunková, P., 2020. Hodnocení stability systému keramika-pojivo-keramika. Praha. Diplomová práce. Vysoká škola chemicko-technologická v Praze. Vedoucí práce doc. Alexandra Kloužková.
- Svobodová, L., Samsamová, N., Kloužková, A. Metody doplňování ztrát u fajánsového zboží z hradčanských paláců. Fórum pro konzervátory-restaurátory 2020. Brno: Metodické centrum konzervace/Technické muzeum v Brně, 2020, 87-90. ISBN 978-80-87896-81-5.
- Blažková, G., Svobodová, L., 2020. Poznávání vývoje restaurátorských technik keramiky na základě studia nálezových deníků z výzkumů na Pražském hradě. Archaeologia historica. 2020, 45(2), 889–905. ISSN 0231-5823.
- Kloužková, A., Kolářová, M., Šefců, R., Koteňová, P., Bajoux Kmoníčková, Kohoutková, M., M., Randáková, S., Dvořáková, P., Hricková, K., Antošková, V., 2020. Databáze materiálů užívaných v glazurách. Praha: Vysoká škola chemicko-technologická v Praze. ISBN 978-80-7592-082-9
- Dvořáková, P., Kloužková, A., Kolářová, M., Vokáč, M., Svobodová, L., Kučerová, I. Hodnocení pevnosti systémů pórovitá keramika-pojivo pro aplikace v restaurátorské praxi. Fórum pro konzervátory-restaurátory. 2021, 11, 122–133. ISBN 987-80-87896-98-3.

- Dvořáková, P., Kloužková, A., Špotová, E. Hodnocení systémů plněná adheziva-pórovitá keramika pro aplikaci v restaurátorské praxi. Sborník příspěvků 23. ročníku: Konference o speciálních anorganických pigmentech a práškových materiálech. 2021. ISBN 978-80-7560-222-0.
- Pelikánová, M., 2021. Separace systémů keramika – výplňový materiál. Praha. Bakalářská práce. Vysoká škola chemicko-technologická v Praze. Vedoucí práce doc. Alexandra Kloužková.
- Kloužková, A., Svobodová, L., Dvořáková, P., Kolářová, M., 2021. Konzervování-restaurování keramických artefaktů. Výukový text, Praha: Vysoká škola chemicko-technologická v Praze. ISBN 978-80-7592-107-9

Příloha 1 Metodiky konzervování-restaurování nízkopálené nestabilní keramiky

Modelová studie experimentálních měření užití pomocných materiálů (adheziv a výplní) na modelových systémech simulující restaurátorské zásahy

1A - Hodnocení pevnosti systémů nestabilní pórovitá keramika-pojivo- nestabilní pórovitá keramika pro aplikace v restaurátorské praxi

1B- Hodnocení výplňových materiálů a systémů nestabilní pórovitá keramika-výplň- nestabilní pórovitá keramika pro aplikace v restaurátorské praxi

77

Program Národní kulturní identity (NAKI II)

projekt s identifikačním číslem č. DG18P02OVV028 řešeného v letech 2018-2022. „Technologie ošetření a identifikace degradačních procesů keramických nálezů z hradčanských paláců - Metody restaurování a konzervování pórovité i slinuté keramiky a porcelánu“

A-Hodnocení pevnosti systémů nestabilní pórovitá keramika-pojivo- nestabilní pórovitá keramika pro aplikace v restaurátorské praxi

Na řešení této části metodiky se podíleli: Alexandra Kloužková¹, Pavla Dvořáková¹, Mária Kolářová¹, Miroslav Vokáč² a Ljuba Svobodová³

¹ Vysoká škola chemicko-technologická v Praze, Technická 5, 166 28 Praha 6

² České vysoké učení technické v Praze - Kloknerův ústav, Šolínova 1903/7, 160 00 Praha

³ Archeologický ústav AV ČR, Praha, v. v. i., Letenská 123/4, 118 00 Praha 1

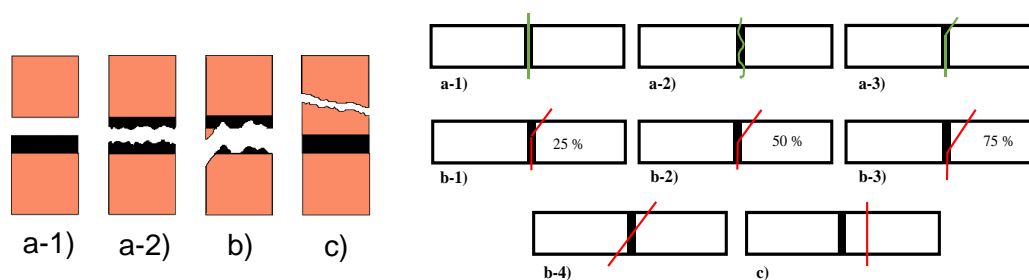
ÚVOD

Jedním ze stěžejních kroků konzervátorsko-restaurátorského zásahu u nestabilních keramických materiálů je po očištění, vyhledání a konsolidaci, lepení. V současné době je na trhu mnoho adheziv a výběr vhodného pojiva souvisí především se stabilitou keramického materiálu a s podmínkami reverzibility restaurátorského zásahu. Pro nestabilní artefakty lze pak použít pojiva umožňující ve zředěné formě i konzervování střepů. Od vybraného adheziva je pak požadováno vytvoření spoje, jehož pevnost nepřesahuje pevnost restaurovaného materiálu, aby při jeho mechanickém namáhání nedošlo k poškození střepevé hmoty, ale primárně k rozlomení spoje. Současně musí být spoj dostatečně pevný, aby udržel celý exponát

i v případě velkých těžkých předmětů. Hodnocení takových spojů bývá poměrně subjektivní záležitostí.

Cílem testování bylo především vytvořit postup hodnocení pevnosti spojů nízko pálené pórovité keramiky a vybraných pojiv, tak aby mohl být použit k hodnocení vhodnosti pojiv pro restaurátorskou praxi. [88,111-112]

Princip lepení spočívá v působení sil mezi lepeným materiálem-adherentem a pojivem-adhezivem. Souhrnně jsou tyto síly označovány jako adheze a koheze. Mezi parametry ovlivňující pevnost samotného lepeného spoje patří: přilnavost adheziva k lepenému povrchu (adheze), vnitřní pevnost adheziva (koheze), smáčivost lepeného povrchu kapalným adhezivem, chemické složení, struktura a čistota lepeného povrchu, teplota a vlhkost prostředí i lepeného materiálu, použitý tlak a doba zatížení lepeného spoje, geometrie uspořádání spoje a pevnost lepeného materiálu.



Obr. 1A-1. Schématické znázornění čtyř základních variant lomů systému adherent (oranžová barva)-adhezivum (černá barva)-adherent: a-1) čistý adhezní lom, tzv. nepravý spoj; a-2) čistý kohezní lom v adhezivu; b) smíšený lom; c) čistý kohezní lom v adherentu), včetně znázornění různých variant lomů systému adherent-adhezivum-adherent [88]

Pro vznik pevného spoje je nezbytné, aby adhezivum v kapalné formě co nejlépe smáčelo povrch adherentu a jeho smáčecí úhel byl menší než 90° . Úhel smáčení závisí na struktuře a čistotě povrchu adherentu, a také na chemickém složení adheziva a adherentu a viskozitě adheziva. [79,88,93] Pevnost lepeného spoje ovlivňuje i uspořádání a směr namáhání spoje. Proto je nutná správná volba geometrického uspořádání spoje, aby spoj dokázal co nejefektivněji odolávat namáhání. Většinou je největší namáhání soustředěno do místa spoje, což vede například k lokálnímu či celkovému poškození adheziva nebo adherentu. Při zatížení spoje může dojít až k jeho destrukci (Obr. 1A-1), z restaurátorského hlediska je žádoucí, aby typ porušení odpovídal čistému adheznímu lomu (a-1) nebo čistému koheznímu lomu v adhezivu (a-2).

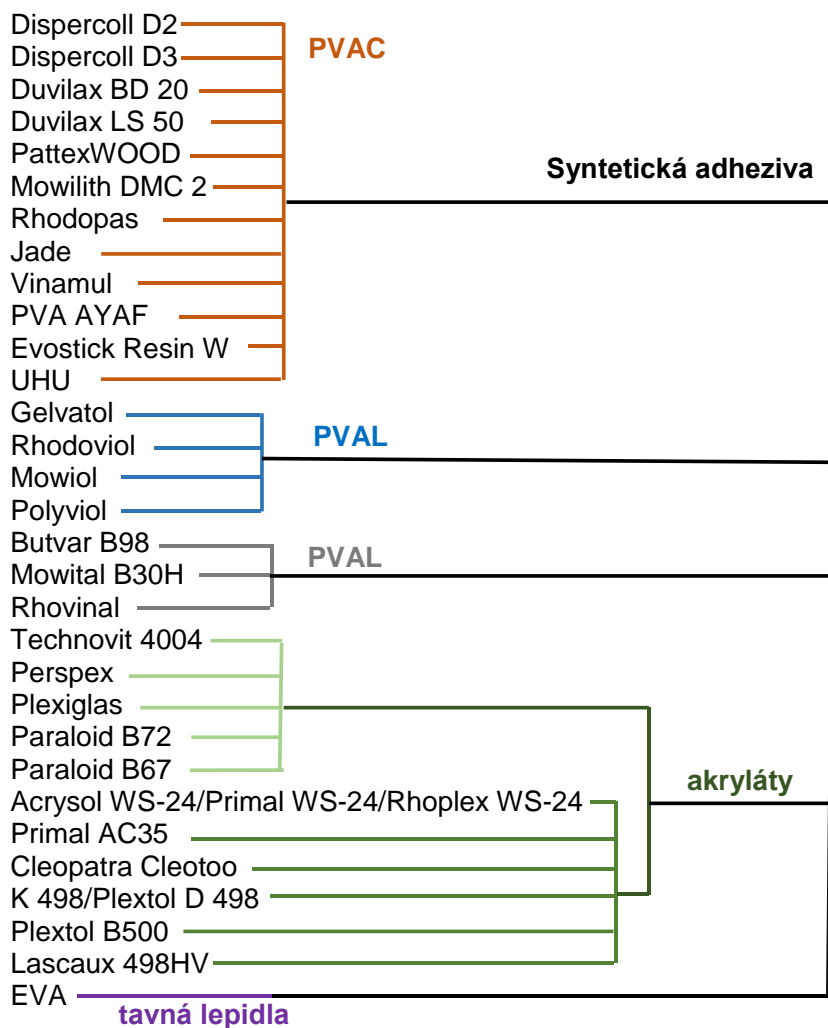
Adheziva používaná k restaurování pórovité keramiky

U adheziv pro restaurování jsou sledovány především: reverzibilita, stabilita (chemická i fyzikální) a vhodná pevnost a adheze k podkladu. Mezi další požadavky patří estetický vzhled případně bezbarevnost, dále musí být šetrné vůči restaurovanému materiálu a odolné vůči stárnutí (za definovaných podmínek působení tepla a světla) včetně stability optických vlastností. Stále řešenou problematikou je uvolňování těkavých látek (VOC) z některých PVAC adheziv v souvislosti s případnou chemickou nestabilitou restaurovaných nebo pomocných materiálů.

Mezi historická adheziva, s kterými se lze setkat při rekonzervaci keramiky patří: polysacharidy (škroby, dextryny), proteiny (kliš, želatina, kasein) a přírodní pryskyřice (šelak).

V současné době se používaná syntetická adheziva dělí především podle chemického složení (Kap. 2. 4. 4. Lepení). Ke konzervátorsko-restaurátorskému zásahu na keramických nálezech vykazující nízkou stabilitu se používají především (Obr. 1A-2): polyvinylacetáty (PVAC), polyvinylalkoholy (PVAL), polyvinylbutyraly (PVB) a akryláty [79,88,93,95,97-98,111]. Další specifickou skupinou lepidel využívaných při restaurování keramiky (např. k lepení dočasných spojů, které se následovně odstraní nebo k lepení pórovitého střepe tlustostěnných nádob) jsou tavná adheziva [89,94,99].

Pro hodnocení pevností spojů keramický střepe-pojivo-keramický střepe je poměrně problematické zvolit vhodné zatížení a uspořádání. Keramické materiály bývají testovány především ohybem, v případě pojiv to bývají zkoušky tahové a smykové. Pro restaurátorskou praxi je zásadní, aby pevnost spoje nepřesáhla pevnost keramiky a při mechanickém zatížení nedošlo k poškození ve střepe. Proto je důležité zabývat se hodnocením pojiv pro definované modelové systémy keramika-pojivo s provedením simulujícím restaurátorský zásah příslušného typu keramiky a zvolit takové provedení, které bude v souladu s předpokládaným následným zatížením a současně umožní porovnání získaných pevností. [88]



Obr. 1A-2. Histogram adheziv používaných k lepení pórovité keramiky [88]

EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST

Cílem této práce bylo vytvoření metodiky pro měření pevnosti lepeného spoje keramika-pojivo-keramika, která by umožnila hodnocení vhodnosti navržených pojiv pro lepení stěpů pórovité keramiky z hlediska mechanických vlastností spoje a v souladu s restaurátorskou etikou.

Charakterizace vybraných adheziv

Adheziva pro hodnocení stability spojů byla vybrána na základě literární rešerše a konzultace s odborníky z restaurátorské praxe v rámci projektu pořádaného Workshopu 2020 na VŠCHT (pojivový systém Lascaux 498HV a Lascaux 303HV v poměru 3:1 byl vytvořen na základě doporučení kolegyň z restaurátorské laboratoře

Muzea města Prahy). Jejich parametry deklarované výrobcí v technických listech jsou stručně shrnuty v následující tabulce (Tab.1A-I).

Tab. 1A-I. Základní parametry vybraných adheziv [113-122]

	Dispercoll D3	Duvilax BD-20	Pattex WOOD	Paraloid B72	Lascaux 498HV/303HV	K 498	Cleotoo	Plextol B500	Tavné lepidlo EVA
složení	polyvinyl acetátová disperze	polyvinyl acetátová disperze	polyvinyl acetátová disperze	akrylátová pryskyřice na bázi kopolymeru	butylmetha krylátová disperze, zahuštěná	vodná disperze termoplastických o akrylového	polymer akrylátová emulze	vodná disperze neiontového stabilizovaného termoplastických o akrylového	kopolymer stabilizovaného termoplastických o ethylenu – vinylacetátu
množství tvrdidla [obj. %]	-	-	-	-	-	-	-	-	-
sušina [%]	52	min. 53,5	-	-	-	-	-	50	-
spotřeba [g/m ²]	150–300	-	150	200–1500	-	-	-	-	-
MFT * [°C]	5	2	5	-	5 / 0	5–35	15	7	-
hustota [g/cm ³]	-	-	1,1	-	1,0	0,9 – 1,1	-	1,07	0,97
Viskozita [dPa.s]	20	30–80	-	-	50–100	> 5	-	25	170 při 180 °C
pH	3	3–6	3	-	8–9 / 8-9	9	-	9,5	-
otevřená doba [min]	7	-	max. 12	-	-	-	-	-	0,25
doba zasychání [s]	-	-	-	-	-	-	-	-	25
doba vytvrzení [hod]	3 ruční 24 strojní	-	24	-	-	-	2	-	-
zatížení (tlak) [kPa]	0,5	-	2- 200	-	-	-	-	-	-
doba zatížení [min]	-	-	15–20	-	-	-	-	-	-
šířka spoje [mm]	-	-	max. 0,25	-	-	-	-	-	-
Tg [°C]	-	-	30	40	13 / -31	-	-	-	-

*MFT - minimální filmotvorná teplota

Pro simulaci restaurátorských spojů byla vybrána tři v restaurátorské praxi nejčastěji používaná PVAC disperzní adheziva (Dispercoll D3, Duvilax BD-20, Pattex WOOD). Dále byla použita velmi často používaná adheziva: roztok 50 hmotn. % Paraloidu B72 (kopolymer ethylmethakrylátu s methylakrylátem 70:30) v acetonu a akrylátové disperze Lascaux 498HV, Lascaux 303HV, K498, Cleotoo a Plextol B500. Tavné lepidlo EVA bylo vybráno s ohledem na restaurátorskou praxi, kdy bývá používáno k lepení pórovitého střepu tlustostěnných nádob nebo dočasných spojů.

Metody a přístroje použité pro hodnocení vybraných adheziv

U vybraných adheziv byly hodnoceny následující parametry:

Obsah sušiny - stanovení obsahu sušiny v adhezivech probíhalo podle normy (ČSN EN 827 – Stanovení obsahu sušiny za smluvních podmínek a do konstantní hmotnosti). [123]

Viskozita - viskozita disperzních lepidel (Dispercoll D3, Duvilax BD-20, Pattex WOOD) a Paraloidu B72 (20 hmotn. % v acetonu) byla měřena pomocí vibračního viskozimetru

Vibro Viscometr SV-10 (AND Company, Japonsko). Toto měření je založeno na studiu šíření nízkofrekvenčního vlnění s poměrně vysokou amplitudou v kapalině. Dynamická viskozita past byla měřena na přístroji HAAKE MARS III s použitím systému deska-deska.

pH - orientační stanovení pH adheziv bylo provedeno pomocí indikátorových papírků (univerzální indikátorové papírky pH 0–12, Lach-Ner, s. r. o.). Podle normy ČSN EN 1245 bylo pH adheziv měřeno pomocí pH metru inoLab pH 720. [124] Dále bylo měřeno pH adheziv pomocí titrační metody s použitím vhodných indikátorů z důvodu různorodosti jednotlivých adheziv. Indikátory testované pro měření hodnoty pH disperzních adheziv (Tab. 1A-II), byly vybrány na základě nejprůkaznější změny barevnosti během zkušebních měření (měřeno 3x). Vodné roztoky disperzních adheziv byly titrovány roztokem NaOH ($c = 0,01 \text{ mol/dm}^3$).

Tab. 1A-II. Souhrn testovaných indikátorů pro měření pH

indikátor	indikované rozmezí pH	barevná změna
methylová oranž	3,2 – 4,4	červená – žlutá
bromkresolová zeleň	3,8 – 5,4	žlutá – modrá
methylová červeně	4,8 – 6,0	žlutá – červená
bromthymolová modř	6,0 – 7,6	žlutá – modrá
fenolová červeně	6,8 – 8,4	žlutá – červená
thymolová modř	8,0 – 9,6	žlutá – modrá
fenolftalein	8,2 – 10,0	bezbarvé – růžová

Kontaktní úhel - měření kontaktních úhlů systému keramika-adhezivum probíhalo dle obecné metodiky v rovnovážném stavu. Kapka adheziva byla vytvořena samovolným odkápnutím ze skleněné tyčinky na vzorek pórovitého keramického střepu. K měření byly použity střepové hmoty modelových směsí (stabilní i nestabilní barevný střep a stabilní s podílem vápenaté složky). Vybraný keramický vzorek byl umístěn na temperované kovové desce ($23 \pm 0,5 \text{ }^\circ\text{C}$), která byla vyhřívána pomocí cirkulačního termostatu HL F32 (Julabo, Německo). Snímek kontaktního úhlu byl získán digitálním fotoaparátem propojeným s mikroskopem SZ51 (Olympus, Japonsko). K vyhodnocení výsledků byl použit program QuickPhoto INDUSTRIAL 3.0.

Výběr a příprava pórovitých střepových hmot

Na základě hodnocení střepových hmot archeologických nálezů byly vytvořeny dva typy modelových střepových hmot: barevná (typ červené hmoty) a vápenatá (Tab. 1A-III). Vzorky těchto modelových hmot byly následně vypáleny na teplotu $500 \text{ }^\circ\text{C}$, aby co nejlépe simulovaly pórovitý střep nestabilní barevný a nestabilní vápenatý. Příprava

střepových hmot, jejich mletí, homogenizace, lisování, sušení a výpal probíhaly reprodukovatelně standardní cestou přípravy tradičních keramických výrobků. Ze střepových hmot byly připraveny přesně definované vzorky s mikrostrukturou obsahující velké množství otevřených pórů. Rozměry vzorků byly pro barevný pórovitý střep 10 x 2 x 1 cm a pro vápenatou hmotu 10 x 2 x 0,6 cm.

Metody a přístroje použité pro hodnocení vzorků střepových hmot a modelových systémů

U připravených modelových vzorků nízkopálených střepových hmot a různě kombinovaných systémů střep-pojivo byly hodnoceny různé parametry a vlastnosti pomocí níže uvedených metod:

Stanovení základních parametrů keramických střepových hmot - hodnoty jednotlivých parametrů (objemová hmotnost OH, hmotnostní nasákavost E, zdánlivá pórovitost P_{ap} , zdánlivá hustota d_{ap}) byly stanoveny pomocí Archimedovy metody a měření probíhalo podle evropské normy EN ISO 10545-3 (Kap. 2. 3. 3). [58]

Rentgenová fluorescenční analýza (XRF) - ke stanovení prvkového složení ve formě oxidů archeologických i modelových vzorků byl použit plně automatický sekvenční XRF spektrometr ARL 9400 XP (Thermo ARL, Švýcarsko). Všechny vzorky byly analyzovány ve formě prášků. Tímto zařízením lze analyzovat i pevné materiály, tenké vrstvy a kapaliny. Přístroj je vybaven Rh lampou, 4kW generátorem, 4 kolimátory, 6 krystaly (AX 20, TLAP, PET, Ge 111, LiF 200, LiF 220) plně automatickým goniometrem a dvěma detektory (proporcionální a scintilační). Získané údaje byly vyhodnoceny pomocí softwaru Winxrf.

Rentgenová difrakční analýza (XRD) - mineralogické složení archeologických i modelových vzorků v práškové formě bylo identifikováno pomocí XRD difraktometru PANalytical X'Pert PRO (PANalytical, Nizozemí) s Cu rentgenovou lampou a 1D detektorem XCellerator s variabilní divergenční a detekovanou clonou. Pro vyhodnocení difraktogramů byl použit program X'Pert HighScore Plus 3.0 a databáze referenčních vzorků. Kvantitativní složení vzorků bylo určeno pomocí metody vnitřního standardu (ZnO).

Měření pevnosti (σ) - měření pevností spojů bylo prováděno na zařízení FPZ 100/1 s řízenou počítačovou kontrolní jednotkou s digitalizovaným záznamem.

Optická mikroskopie (OM) - k popisu struktury povrchu keramických materiálů a následných lomů byla použita metoda optické mikroskopie. K pozorování byl použit stereomikroskop Olympus SZX9 s fotoaparátem Canon EOS 1100D a jako vyhodnocovací program byl použit QuickPhoto INDUSTRIAL 3.0.

Infračervená spektrometrie (ATR) - k analýze vybraných adheziv byla použita metoda infračervené spektrometrie s reflexní technikou ATR. K měření byl použit spektrometr FTIR Nicolet iS50 s víceodrazovým diamantovým krystalem (rozlišení 4, počet skenů 64).

Postup hodnocení měření pevnosti lepeného spoje keramika-pojivo-keramika

Metody vyvinuté k hodnocení technických materiálů bývají s různými úpravami aplikovány na rozdílné typy historických materiálů. V případě měření pevnosti lepeného spoje v ohybu byla jako nejvhodnější metoda vybrána metoda čtyřbodého ohybu. Nejlépe simuluje tahové pnutí, ke kterému dochází ve střepové hmotě historické keramiky při uložení v depozitářích.

Příprava modelových vzorků - příprava střepových hmot je popsána v předchozí části. Vzorky systémů keramika-pojivo-keramika byly připraveny slepením dvou půlek (předem zlomeného) keramického trámečku vybraným pojivem.

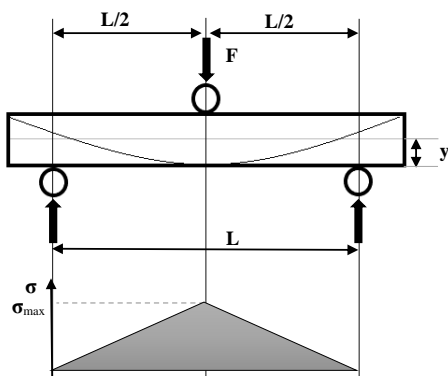
Optimalizace rychlosti zatěžování - v prvním kroku bylo nutné zjistit vhodnou rychlost zatěžování lepeného spoje. Byly vybrány čtyři rychlosti zatěžování (0,1; 0,5; 1; a 2 mm/min). Vzorky použité pro tento test byly zhotoveny slepením dvou půlek téhož trámečku polyvinylacetátovou disperzí – Dispercoll D3. Plocha lepeného spoje byla vytvořena řezem na pile CUTLAM 1. 1. LAM PLAN s diamantovým kotoučem, resp. přeříznutím vypáleného výlisku tak, aby se jednalo o rovný spoj s přesně definovanou plochou. Na základě vyhodnocených výsledků byla vybrána vhodná zatěžovací rychlost pro měření pevnosti lepeného spoje.

Kontrola vybrané rychlosti a proměření pevnosti lepidel - pro kontrolu správnosti vybrané rychlosti zatěžování byla touto rychlostí proměřena všechna adheziva a opět byly použity modelové vzorky zhotovené z pórovitého stabilního střepu s přesně definovaným průřezem lomu – rovné plochy spoje.

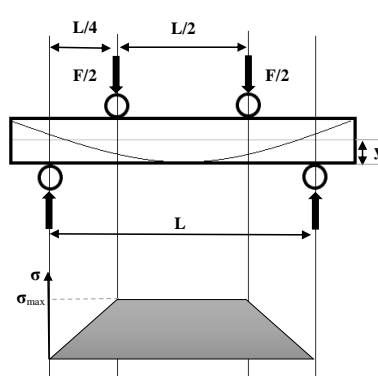
Měření pevností vzorků s reálným lomem - měření pevnosti spojů probíhalo na modelových vzorcích se spoji vytvořenými lepením simulovaných reálných lomů. Ty byly vyvolané pomocí tříbodého ohybu (Obr. 1A-3, vlevo). Spoje keramických modelových vzorků a adheziv byly zatíženy čtyřbodým ohybem (Obr. 1A-3, vpravo).



$$\sigma = \frac{3 \cdot F \cdot L}{2 \cdot b \cdot h^2}$$



$$\sigma = \frac{3 \cdot F \cdot L}{4 \cdot b \cdot h^2}$$



Obr. 1A-3: Schéma zatížení vzorků: vlevo - tříbodý ohyb, vpravo - čtyřbodý ohyb (kde F je odečtená zatěžující síla (lomová síla) při destrukci vzorku [N], L vzdálenost podpěr [mm], b je šířka tělíska [mm] a h je výška tělíska [mm])

Pevnost keramiky je často vyjadřována Weibullovým rozdělením, které pracuje s nezápornými náhodnými veličinami a patří mezi rozdělení extrémních hodnot [125]. Weibullovo rozdělení se používá při posuzování spolehlivosti a je dáno normou ČSN EN 843-5. Hodnoty získané v experimentu byly seřazeny vzestupně a byla stanovena jejich pravděpodobnost porušení dle vzorce:

$$P_{fi} = \frac{i-0,5}{N},$$

kde i je pořadí hodnot od nejnižší k nejvyšší, N je počet hodnot.

Interval spolehlivosti byl zvolen 90 %. Ve Weibullově diagramu byly hodnoty napětí vyneseny na ose x v logaritmované formě ($x = \ln \sigma_{fi}$; σ_{fi} – naměřená pevnost). Na ose y byla vynesena pravděpodobnost ($y = \ln[\ln(1/(1 - P_{fi}))]$). Parametry statistiky byly získány pomocí metody maxima pravděpodobnosti dle zmíněné normy.

VÝSLEDKY

Charakterizace modelových pórovitých střepových hmot

Na základě chemických (XRF) a mineralogických analýz (XRD) střepových hmot archeologických nálezů byly vytvořeny dva typy modelových velmi pórovitých střepových hmot (vápenatá a nevápenatá) s teplotou výpalu 500 °C simulující nestabilní keramický materiál. Hlavními krystalickými fázemi keramických nálezů s velmi nízkou teplotou výpalu bývá ostřivo ve formě křemene, neprotavených živců a popř. slídy, stejně tak je tomu u modelových barevných vzorků S500 (Tab. 1A-III). U nestabilních střepů vypálených do teplot dehydroxylace jílových minerálů pak bývají identifikovány tyto jílové minerály ještě v primární formě (tj. vnesené surovinou), proto byl vzorek S500 připraven tak, aby obsahoval zbytky (2 hmotn. %) kaolinitu a muskovit (12 hmotn. %). Vedle krystalických fází je v každém vzorku přítomna i fáze amorfni obsahující amorfni fáze surovin (např. hydratované formy oxidů železa, hliníku, křemíku) nebo produkty počínající dehydroxylace.

Tab. 1A-III. Mineralogické složení střepových hmot [hmotn. %]

vzorek	křemen	K-živec	Na-živec	kaolinit	muskovit	kalcit	amorf
S500	51	2	9	2	12	-	24
Ca500	47	-	-	2	17	8	16

Charakterizace střepových hmot pomocí základních parametrů prokázala parametry typické pro tento typ keramiky (Tab. 1A-IV). Vysoká hodnota pórovitosti je spojena se vznikem pórů v důsledku vyhořívání organických zbytků ze surovin. Také při tak nízké teplotě ještě nedochází k reakcím v pevné fázi slinování. Vápenatá složka je stále přítomna ve formě primárního kalcitu.

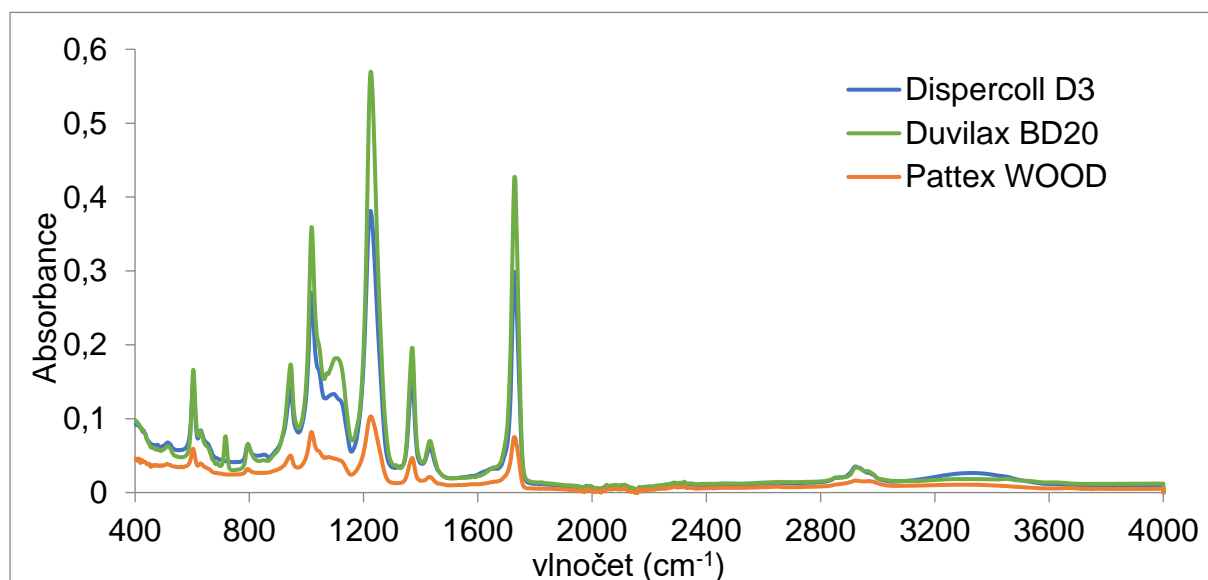
Tab. 1A-IV. Charakterizace střepových hmot - hmotnostní nasákavost E, objemová hmotnost OH, zdánlivá pórovitost P_{ap} , a zdánlivá hustota d_{ap} a skutečné pórovitosti P_s

vzorek	E [hmotn. %]	OH [$g \cdot cm^{-3}$]	P_{ap} [%]	d_v [$g \cdot cm^{-3}$]	P_s [%]
S500	12,12	2,02	24,49	2,67	30,57
Ca500	14,62	1,91	27,93	2,65	34,21

Charakterizace adheziv

K analýze adheziv byla použita infračervená spektrometrie. Při vyhodnocení naměřených spekter byl u PVAC disperzí identifikován polyvinylacetát, polyvinylalkohol a voda (Obr. 1A-4). Žádné další složky nebyly identifikovány, výrobci

Duvilaxu BD-20 a Pattexu WOOD uvádí další složky (např. emulgátory), jejichž obsahy jsou pravděpodobně pod mezí detekce přístroje. U vybraného PVAC pojiva - Duvilaxu BD-20 bylo provedeno sledování uvolňování VOC. Do expoziční cely s kondicionovaným silikagelem ($V = 10 \text{ dm}^3$, $t = 23,0 \pm 0,5$, $RH = 25,0 \pm 5 \%$) byla umístěna miska s 2 g pojiva. Pasivní detekční sonda indikující kyselinu octovou prokázala přítomnost jejích par během vysychání (tj. v intervalu 0-2 hodiny od nanesení) o koncentraci 4 ppm v parách cely. V týdenním intervalu (tj. 0-7 dní) byla celková koncentrace VOC v cele 4,9 ppm. Okamžitá koncentrace 7. den (přenesení vzorku po 7 dnech do nové cely) byla 0 ppm. Lze tedy předpokládat, že pokud je předmět z restaurátorské laboratoře přenesen do depozitáře nejméně týden po lepení, že uvolnění VOC z PVAC pojiv je minimální.



Obr. 1A-4. Naměřené IR spektrum polyvinylacetátových (PVAC) disperzí

Stanovení obsahu sušiny je zásadním parametrem kapalných adheziv (Tab. 1A-V), u disperzních adheziv obsahuje nejmenší podíl sušiny Duvilax BD-20 a K498, naopak nejvíce sušiny má Cleotoo a Dispercoll D3. U disperzí zahrnuje stanovený podíl sušiny jak samotný polymer, tak i všechna aditiva. Oproti tomu u roztoků Paraloidu B72 naměřená hodnota sušiny udává podíl samotného polymeru v roztoku.

Při měření viskozity pomocí vibračního viskozimetru SV-10 vykazoval Dispercoll D3 největší viskozitu z polyvinylacetátových disperzních adheziv, což souvisí s výše uvedeným nejvyšším podílem sušiny ve hmotě. Naopak nejmenší viskozitu vykazovalo adhezivum Duvilax BD-20. U akrylátových disperzí byla naměřena největší viskozita u adheziva Cleotoo, která má opět nejvyšší podíl sušiny ve hmotě. U roztoku Paraloidu

B72 o vyšších koncentracích než 20 hmotn. % nebylo možné touto metodou viskozitu změřit. Totéž platí o adhezivech Lascaux 498HV a Lascaux 303HV, která jsou vyráběna ve formě lepících past. Následně byla měřena dynamická viskozita na přístroji HAAKE MARS III s použitím systému deska-deska. Všechna vybraná adheziva se chovají jako neneutonské kapaliny (pseudoplastické kapaliny), u polyvinylacetátových disperzí Dispercoll D3 a Pattex WOOD je viditelné výrazné reopektické chování, adhezivum Lascaux HV498 vykazuje chování tixotropní.

Tab. 1A-V. Stanovení sušiny, dynamické viskozity a pH adheziv

adhezivum	S _{sušina} [%]	viskozita η [mPa·s]	hodnota pH		
			(pH papírky)	(pH metr)	titrace
Dispercoll D3	50	2620	4–5	4,00	4,24 ± 0,04
Duvilax BD-20	44	146	5–6	4,15	3,89 ± 0,03
Pattex WOOD	50	1945	4	2,49	3,47 ± 0,10
Paraloid B72 (20 hmotn. % roztok v acetonu)	26	3675	-	-	-
Paraloid B72 (50 hmotn. % roztok v acetonu)	55	-	-	-	-
Lascaux 498HV*	42	-	6–7	9,23	9,79 ± 0,04
K498	41	623	6–7	8,71	8,98 ± 0,06
Cleotoo	51	4300	5–6	7,99	8,23 ± 0,09
Plextol B500	49	146	6–7	9,11	9,86 ± 0,07




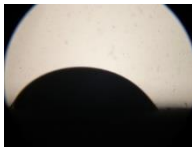


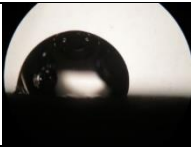
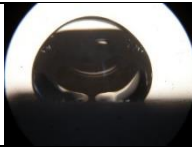
*T_g=13

Z výsledků měření pH různými metodami vyplývá, že všechny polyvinylacetátové disperze mají nízké pH, nejnižší má disperze Pattex WOOD, jejíž hodnota pH se pohybovala v rozmezí 2,5–3,5 podle metody měření. Oproti tomu u akrylátové disperze Lascaux 498HV byla naměřena hodnota pH 9,8, která se výrazněji liší od hodnoty uvedené v technickém listu (pH 8,5). Rozdíly naměřených a uvedených hodnot pH v technických listech mohou být způsobeny jinou metodou měření či nehomogenitou jednotlivých adheziv po dlouhodobém uskladnění.

Měření kontaktních úhlů systému keramika-adhezivum probíhalo dle obecné metodiky v rovnovážném stavu a pořízení snímku pro následné vyhodnocení smáčecího úhlu (Tab. 1A-VI) proběhlo, až po ustálení rovnováhy tzn., že snímky byly pořízeny v delším časovém intervalu v závislosti na adhezivech. U disperzí byl pořizovací čas stejný, proto bylo možné hodnoty kontaktních úhlů mezi sebou porovnávat. V případě Paraloidu B72 (20 hmotn. % roztok v acetonu) docházelo k vytvoření velkého množství bublin uvnitř kapky, z tohoto důvodu trvalo delší dobu, než došlo k ustálení rovnováhy.

Odchyly v naměřených hodnotách byly způsobeny časovou prodlevou, strukturou povrchu a vysokou pórovitostí jednotlivých střepevých hmot i odparem rozpouštědla. U adheziv Lascaux 498HV a Paraloid B72 (50 hmotn. % roztok v acetonu) nebylo možné změřit úhel smáčení z důvodu vysoké viskozity. Výsledky měření jasně ukázaly, že standardní metodika měření úhlu smáčení, tedy měření po ustálení rovnováhy, není pro pórovitý keramický materiál zcela vhodná. Nicméně i přesto tyto výsledky dávají v souvislosti s dalším měření informaci o chování adheziv na povrchu keramického střepu

Tab. 1A-VI. Naměřené úhly smáčení u systému keramika-pojivo-keramika

adhezivum	S500		Ca500	
	úhel smáčení [°]	obrazová dokumentace	úhel smáčení [°]	obrazová dokumentace
Dispercoll D3	138,0 ± 12,1		145,14 ± 8,4	
Duvilax BD-20	51,7 ± 3,1		41,49 ± 15,2	
Pattex WOOD	141,8 ± 11,5		144,56 ± 2,9	
Paraloid B72 20 hmotn. % roztok v acetonu	104,7 ± 12,2		115,61 ± 3,2	

Hodnocení pevnosti lepeného spoje keramika-pojivo-keramika

Při vytváření metody pro měření pevnosti lepeného spoje byla nejdříve určena vhodná rychlost zatěžování tohoto systému. Pro modelové systémy tvořené lepením vzorků s rovnými přesně definovanými plochami PVAC disperzí – Dispercoll D3 byly vybrány čtyři rychlosti zatěžování (0,1; 0,5; 1; a 2 mm/min). Na základě vyhodnocených výsledků (Tab. 1A-VII) byla vybrána vhodná zatěžovací rychlost 1 mm/min (vhodné průběhy zatěžování a nejnižší odchylka).

Tab. 1A-VII. Naměřené pevnosti lepeného spoje pomocí čtyřbodého ohybu při různých rychlostech zatěžování s rovnou plochou

rychlost [mm/min]	pevnost [MPa]	odchylka [MPa]
0,1	1,71	0,24
0,5	2,34	0,78
1	2,43	0,31
2	2,75	0,49

Pro ověření vhodnosti vybrané rychlosti zatěžování 1 mm/min byla proměřena všechna testovaná adheziva. Opět pro možnost objektivního porovnání byly k vytvoření modelových systémů použity vzorky s přesně definovaným průřezem lomu - rovné plochy spoje (Tab. 1A-VIII).

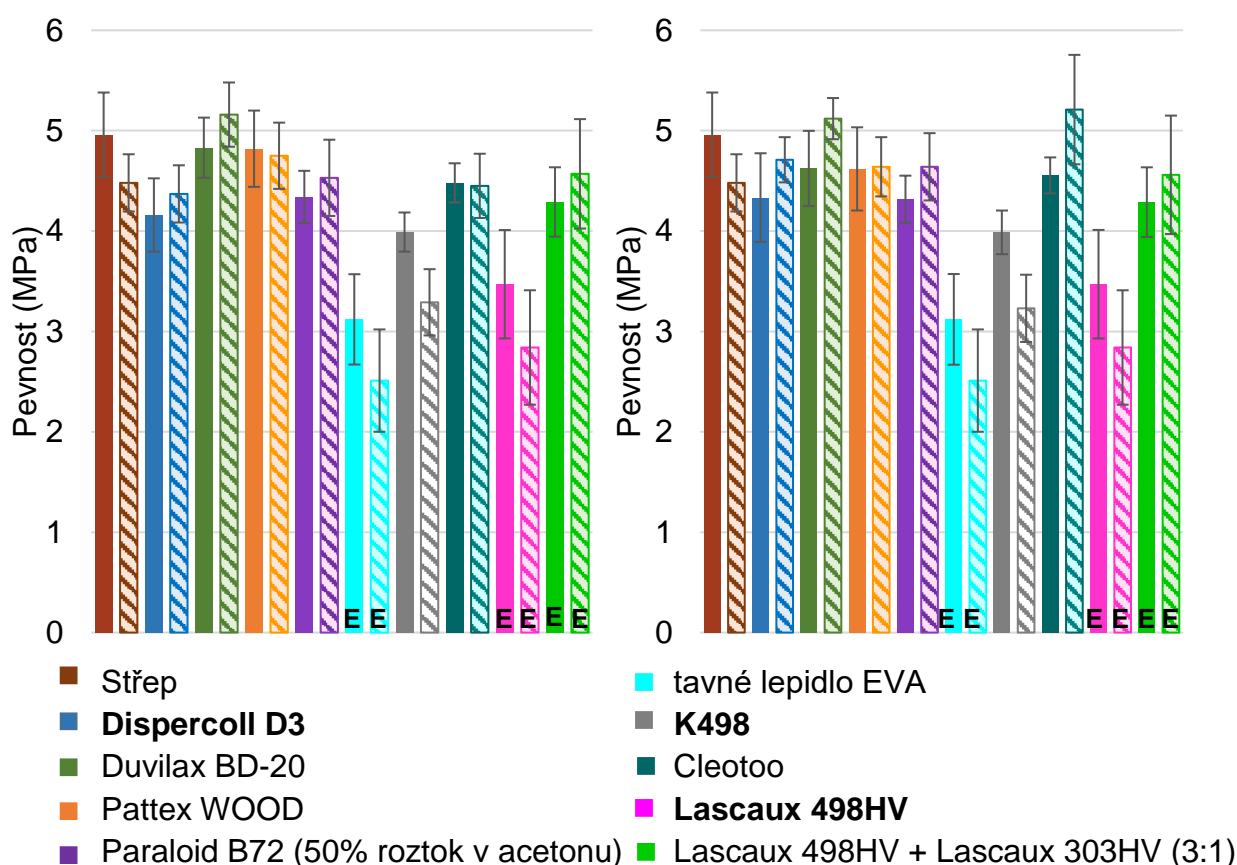
Tab. 1A-VIII: Hodnoty pevností střepových hmot a systému stabilní střep S500 s definovaným průřezem a všech vybraných adheziv s rychlostí měření 1 mm/min metodou čtyřbodého ohybu

samotná keramická část		pevnost σ [MPa]	odchylka [MPa]
střepová hmota	S500	4,96	0,80
systém pojivo-střepová hmota S500			
typ pojiva	Dispercoll D3	2,37	0,75
	Duvilax BD-20	1,56	0,34
	Pattex WOOD	2,59	0,61
	Paraloid B72	3,25	0,43
	Tavné lepidlo EVA	0,97	0,57

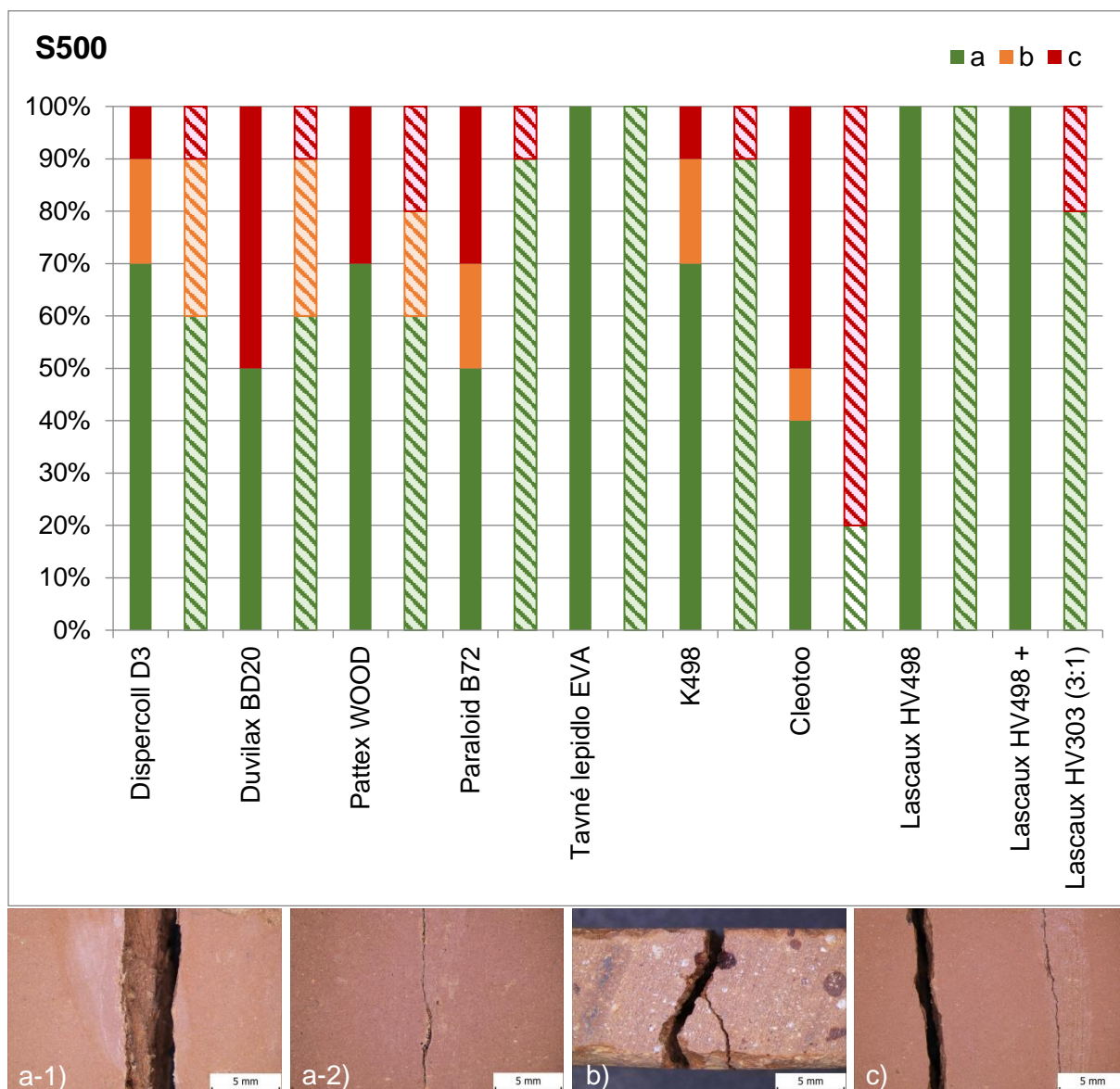
Následné měření už probíhalo na vzorcích se spoji, simulující slepení reálného lomu vyvolaného zatížením vzorku třibodým ohybem. Vzorky byly slepeny vybranými adhezivy a spoje byly zatíženy pomocí čtyřbodého ohybu. Všechny systémy s různými kombinacemi keramiky nevápenaté S500 a vápenaté Ca500 a pojiva byly lámány 7 dnů po slepení a druhá sada vzorků po 120denním uložení v klimaboxu ($55 \pm 3 \% RH$ a $21 \pm 2 ^\circ C$). Vypočtené hodnoty pevností lepených spojů jsou uvedeny ve sloupcovém grafu (Obr. 1A-5 pro S500 resp. Obr. 1A-7 pro Ca500), první sada má sloupce plné, druhá (měřená po 120 dnech) šrafované. Zvýšené hodnoty pevností druhé sady vzorků lze vysvětlit v určitých mezích interdifúzí řetězců adheziva a adherentu, případně i odtěkáním zadržené vody nebo rozpouštědla. Následně byly vyloučeny hodnoty pevností vzorků s lomy mimo lepenou plochu spoje (jednalo se o čistý kohezní lom v adherentu) a smíšené lomy také. Hodnoty pevností bez vyloučených vzorků jsou uvedeny v dalších částech příslušných grafů (pro S500 Obr. 1A-5, vlevo resp. Obr. 1A-7., vlevo pro Ca500). Označení E na patě sloupů značí elastické chování spoje, kdy nedošlo v systému ke křehkému lomu, ale pouze

k průhybu modelového vzorku ve spoji. Další graf (Obr. 1A-6 pro S500 resp. Obr. 1A-8 pro Ca500) znázorňuje vyhodnocení typologie lomů včetně vybraných snímků lomových ploch. Postup hodnocení vhodnosti pojiva pro příslušný typ střepu probíhal v těchto krocích:

- 1) hodnocení lomů resp. vyloučení všech „nesprávných“ lomů dle Obr. 1A-1 (Obr. 1A-6 resp. Obr. 1A-8),
- 2) výpočet průměrné pevnosti ze všech vzorků (Obr. 1A-5, vlevo resp. Obr. 1A-7, vlevo),
- 3) výpočet průměrné pevnosti s vyloučením vzorků dle prvního bodu (Obr. 1A-5, vpravo resp. Obr. 1A-7, vpravo).



Obr. 1A-5. Grafy vypočtených pevností systému nízkoteplotně pálené barevné střepové hmoty (S500) se všemi testovanými adhezivy, kde šrafované sloupce značí vzorky po 120denním uložení v klimaboxu. Vlevo jsou uvedeny výpočty pevností pro všechny vzorky bez ohledu na typ lomu, v pravém grafu byly do výpočtu pevností zahrnuty pouze vzorky s čistým lomen viz typologie lomu. Označení E na patě sloupů značí elastické chování spoje, kdy nedošlo v systému ke křehkému lomu, ale pouze k průhybu modelového vzorku ve spoji

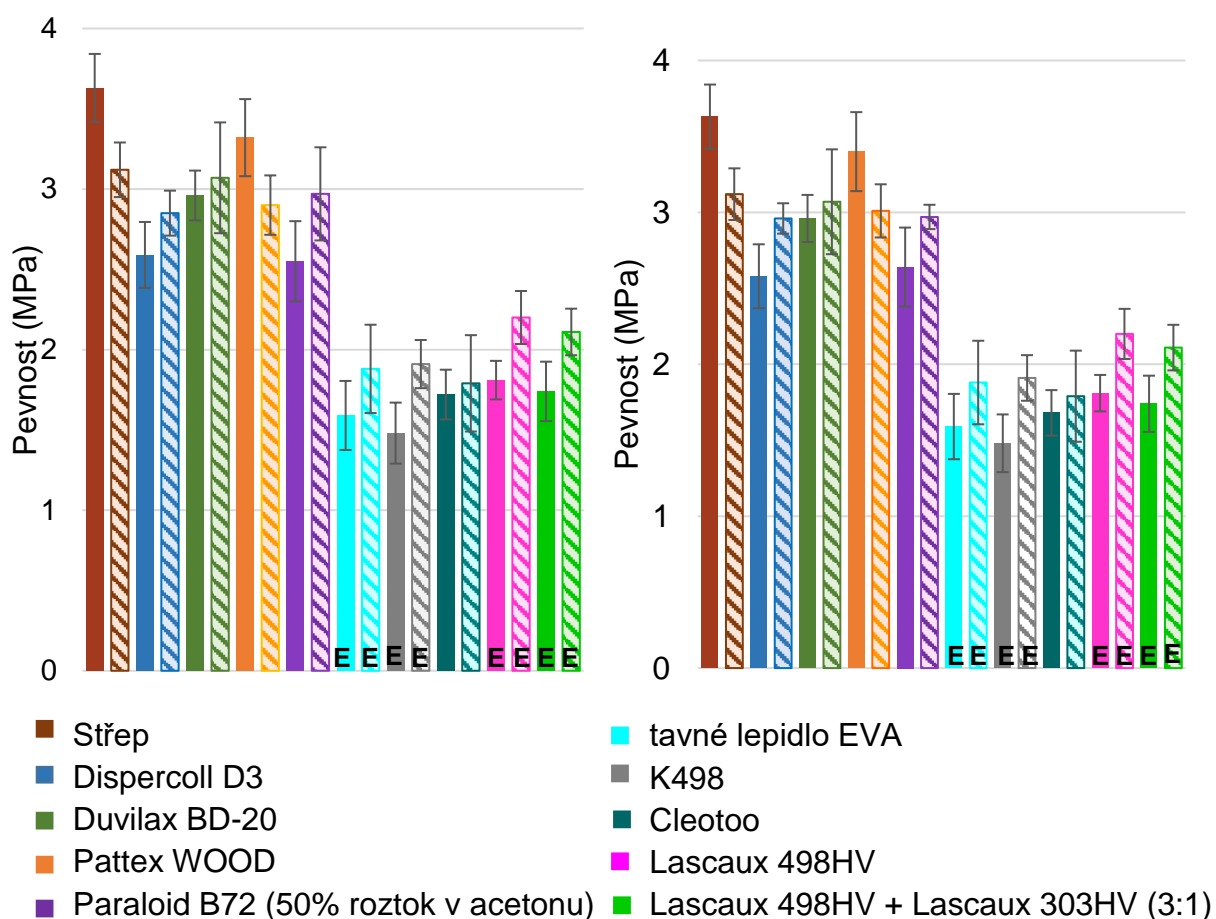


Obr. 1A-6. Graf srovnání zastoupení typů lomů systému pórovitý nízkoteplotně pálený barevný střep (S500 bez stabilizace) - testovaná adheziva (stárnuté vzorky jsou šrafovány). Ve spodní liště jsou znázorněny jednotlivé typy lomů na modelových vzorcích dle schématu na obr. 1A-1, tj.: a-1) čistý adhezní lom, tzv. nepravý spoj; a-2) čistý kohezní lom v adhezivu; b) smíšený lom; c) čistý kohezní lom v adherentu

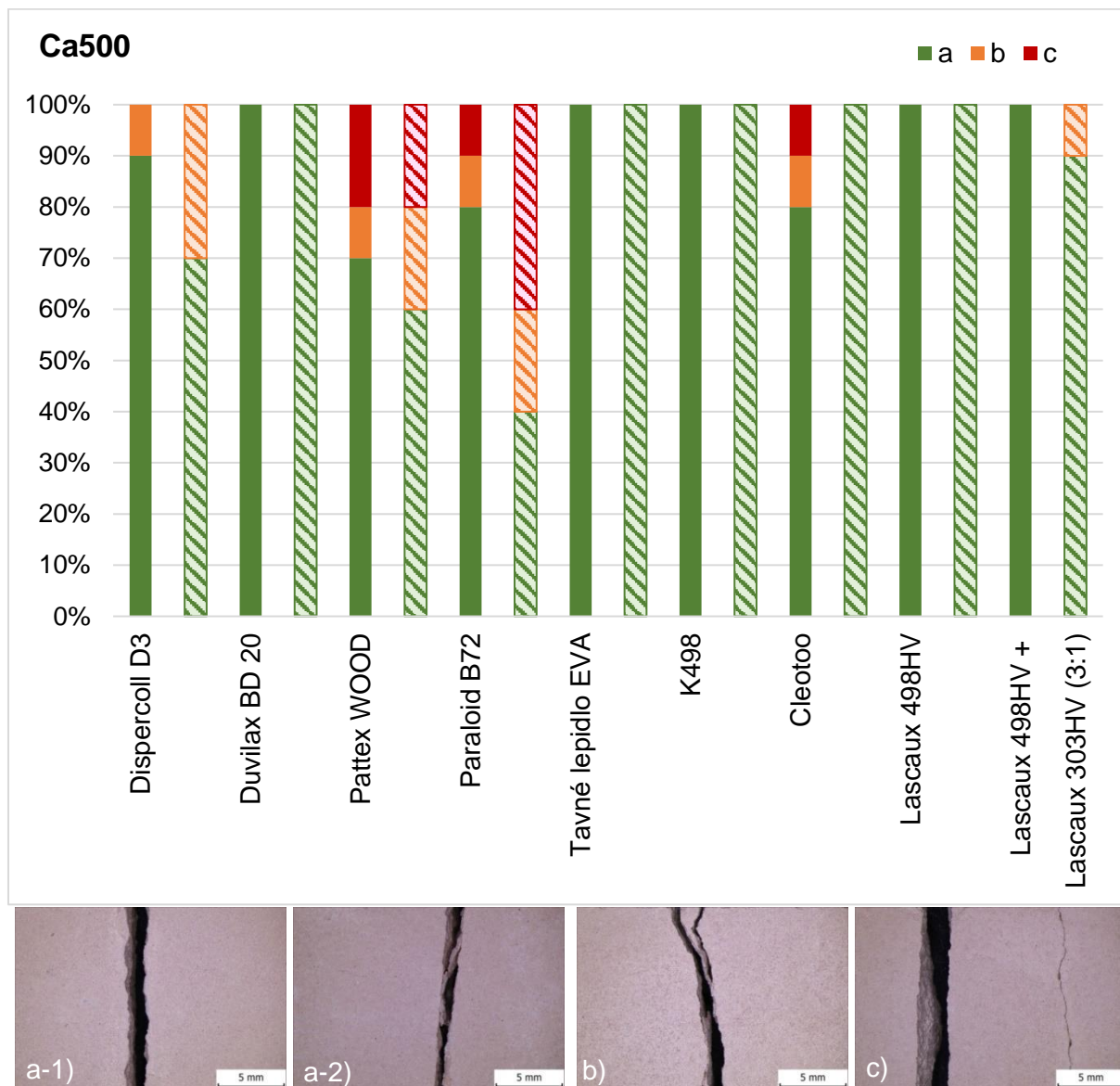
Jako vhodná pojiva pro daný typ střepové hmoty byla navržena ta, která vytváří spoje chovající se „správně“ z restaurátorského hlediska tzn., že pevnost spoje nepřesahuje pevnost střepové hmoty a porušení spojů probíhá správným způsobem. Z naměřených dat a lomových ploch vyplývá, že nejvhodnější adheziva pro lepení nestabilního střepové hmoty z hlediska pevností spoje jsou adheziva K498 a Lascaux 498HV (akrylátové disperze). Pevnosti spojů dalších adheziv (Dispercoll D3, Pattex WOOD, Paraloid B72 - 50hmotn. % v acetonu a kombinace Lascaux 498HV + Lascaux 303HV

jsou obdobné jako pevnost samotné střepevé hmoty, proto nejsou zcela vhodné pro lepení tohoto typu střepe (resp. pro střepevou hmotu s parametry a složením a mikrostrukturou jako modelové vzorky).

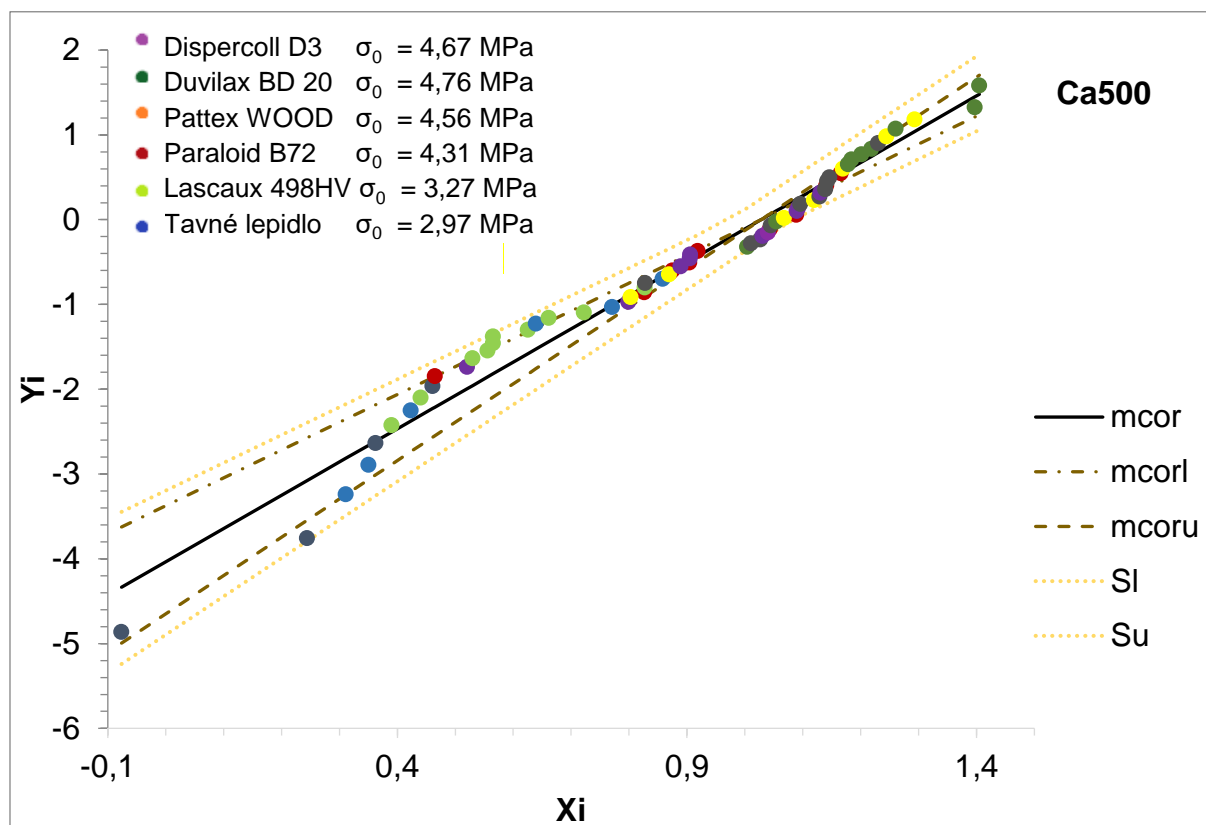
Jiná situace nastane, pokud jsou nestabilní střepe před slepením konsolidovány. Konsolidací zředěnými adhezivy lze zvýšit pevnost keramického nestabilního stárnutého střepe o několik desítek procent (u modelových vzorků došlo ke zpevnění v rozmezí od 15 % pro Lascaux HydroGrund až po 45 % pro materiály s vysokým úhlem smáčení např. Duvilax BD-20 (Kap. 2. 4. 3). Tímto konsolidačním zásahem se pevnost 120dnů rehydroxylovaného střepe zvýšila minimálně na původní hodnotu pevnosti vzorku hned po výpalu a pro slepení by tak mohla být použita pojiva, která vytvářejí pevnější spoje (Kap. 2. 4. 3, Obr. 16).



Obr. 1A-7. Grafy vypočtených pevností systému nízkoteplotně pálené vápenaté střepevé hmoty (Ca500) se všemi testovanými adhezivy, kde šrafované sloupce značí vzorky po 120denním uložení v klimaboxu. Vlevo jsou uvedeny výpočty pevností pro všechny vzorky bez ohledu na typ lomu, v pravém grafu byly do výpočtu pevností zahrnuty pouze vzorky s čistým lomen viz typologie lomu. Označení E na patě sloupů značí elastické chování spoje, kdy nedošlo v systému ke křehkému lomu, ale pouze k průhybu modelového vzorku ve spoji



Obr. 1A-8. Graf srovnání zastoupení typů lomů systému pórovitý nízkoteplotně pálený vápenatý střepek (Ca500 bez stabilizace) - testovaná adheziva (120denní vzorky jsou šrafované). Ve spodní liště jsou znázorněny jednotlivé typy lomů na modelových vzorcích dle schématu na obr. 1A-1, tj.: a-1) čistý adhezní lom, tzv. nepravý spoj; a-2) čistý kohezní lom v adhezivu; b) smíšený lom; c) čistý kohezní lom v adherentu



Obr. 1A-9. Weibullovo rozdělení – nestárnuté vzorky stabilní středně-pálené vápenaté hmoty

Hodnoty pevností pro všechny pojené systémy byly také vyhodnoceny Weibullovou statistikou. Pro názorné zjednodušení je zde uveden (Obr. 1A-9) společný diagram zobrazující rozdělení hodnot pevnosti 7denních spojů vzorků Ca500. Je patrné, že nejnižší míru spolehlivosti pro tento typ střepů vykazovaly vzorky s tavným lepidlem a Lascaux 498HV, také u ostatních systémů barevné pórovité keramiky S500 a S900 vykazovala tato dvě lepidla nejnižší míru spolehlivosti.

Aplikace vybraných pojiv byla následně provedena na keramických archeologických nálezech (Obr. 1A-10), které jsou uvedené v komentovaných příkladech:

1. adhezivum K498 bylo aplikováno na nestabilní keramický nález (lokalita Tismice, mladší doba kamenná, cca 6000–4000 př. n. l.) ,
2. adhezivum Lascaux 498HV bylo aplikováno na nestabilní střepovou hmotu (lokalita Slaný).



Obr. 1A-10. Restaurované předměty z nestabilních pórovitých střeptových hmot: vlevo nádoba z Tismic [137], vpravo nádoba ze Slaného



ZÁVĚR

Byl navržen postup hodnocení pevnosti spojů systému nestabilní pórovitá keramika-pojivo-destabilní pórovitá keramika, který je ze dvou částí: specifické přípravy modelových vzorků (s přesně definovanými parametry střeptové hmoty a mineralogickým složením) a měření pevností se sledováním charakteru lomu spoje. Prvním krokem byl výběr typu keramického střeptu, který simuloval restaurovaný materiál. Volbou surovin a následným zpracováním byly připraveny dva typy pórovitých střeptových hmot: S500 - nestabilní barevná a Ca500 nestabilní vápenatá s teplotou výpalu 500 °C. Simulace poškození keramických střeptů byla provedena tříbodým ohybem vzorků připravených ve tvaru trámečků. Vzájemnou kombinací tří střeptových hmot a 10 adheziv (zástupci disperzí PVAC, PVB, akrylátů a tavných lepidel) byly vytvořeny modelové systémy, které byly namáhány tahem za ohybu ve čtyřbodém uspořádání.

Zhodnocení výsledků měření pevnosti a charakteru lomů prokázalo vhodnost určitých pojiv pro velmi nestabilní střepty. Ve většině případů byly spoje nestabilní střeptové hmoty typu S500 příliš pevné a při zátěži docházelo k lomu v keramické části. Pokud jsou však tyto střepty před lepením konsolidovány, je spektrum vhodných pojiv širší. Obecně jsou u pórovitých nestabilních stabilních materiálů vhodnější systémy s elastickým chováním spojů, kdy při mechanickém zatížení nedojde k destrukci celého předmětu. Tato pojiva však vytvářejí spoje méně pevné a problematická bývá u některých z nich i jejich aplikovatelnost. Vybraná pojiva (K498, Lascaux 498HV) byla následně aplikována v restaurátorské praxi při pojení archeologických keramických nálezů s nestabilní střeptovou hmotou (komentované příklady – příloha 2A-C).

1B Hodnocení výplňových materiálů a systémů nestabilní pórovitá keramika-výplň-nestabilní pórovitá keramika pro aplikace v restaurátorské praxi

Na řešení metodiky se podílely: Alexandra Kloužková¹, Pavla Dvořáková¹, Mária Kolářová¹, Ljuba Svobodová², Eliška Špotová¹, Pavla Náhunková¹ a Marie Pelikánová¹

¹ Vysoká škola chemicko-technologická v Praze, Technická 5, 166 28 Praha 6

² Archeologický ústav AV ČR, Praha, v. v. i., Letenská 123/4, 118 00 Praha 1

ÚVOD

Doplňování ztrát představuje jeden z možných kroků restaurátorského zásahu, které na doporučení restaurátora schvaluje zadavatel. K doplňování mohou být použity různé materiály, a jejich volba je dána především stavem archeologického nálezů a zvážením stability spoje mezi keramikou a výplní. Doplňující materiály jsou voleny na základě průzkumu předmětu a hlavní požadavky na tyto materiály jsou [84,90,126]:

- **reverzibilita** - možnost odstranění přidaných materiálů a obnovení původního stavu, aniž by došlo k poškození předmětu,
- „**vhodná**“ **pevnost spoje** – výplň musí vykazovat nižší pevnost než střeptavá hmota, aby k mechanickému porušení došlo přednostně uvnitř samotné výplně,
- **zpracovatelnost** – dobrá opracovatelnost a tvorba reliéfu,
- **vhodná přilnavost** - adheze ke spojovanému materiálu a také koheze (soudržnost) v rámci vlastní hmoty výplně,
- **stabilita** – odolnost proti působení tepla, UV, vlhkosti, chemická stálost,
- **nezávadnost** – fyziologicky nezávadné, nehořlavé.

Souhrnně, doplňující materiál nesmí narušovat střeptavou hmotu, vnášet do ní nevhodné látky a způsobit tak poškození předmětu. Vhodný výplňový materiál má stárnout společně s historickým objektem s minimální změnou svých vlastností. [87] Existuje mnoho druhů výplní, pro použití v restaurátorské praxi jsou však vhodná jen některá. K doplňování nízkopálených nestabilních střeptů bývají používány:

1. sádry (viz Příloha 2B),
2. systémy obsahující adhezivum a výplň (viz Příloha 2A)
3. samotvrdnouce tmely / hmoty (viz Příloha 2C).

Sádrové výplně

V rámci projektu byla hodnocena vhodnost použití sádrových doplňků z produktů nabízených na trhu (Tab. 1B-I) pro použití v restaurátorské praxi [127-129]. Už měření pevností samotných složek systému naznačilo, že pevnosti sádrových doplňků (Obr.1B-1) mohou přesáhnout pevnost nízkopálené střeptové hmoty S500 (Obr. 1B-2). Sádrové kaše byly připraveny s vodním součinitelem doporučeným výrobcem (Tab. 1B-I). Vzhledem k tomu, že Alabaster Plaster má jako jediná z dentálních sáder vyšší vodní součinitel, byly v tomto případě připraveny také kaše o vodním součiniteli 0,5 pro srovnání vlastností. Celkem byly stanovovány vlastnosti 7sádrových kaší, především stanovení počátku a doby tuhnutí (pro stavební sádry provádí na Vicatově zařízení s normovaným kuželem, v případě dentálních sáder se používá jehla, proto se stanovené hodnoty mohou lišit). Další testovanou „sádrovou hmotou“ byl Efkoaker, výrobce uvádí, že se jedná o keramicko-laminátovou modelářskou hmotu. Reliéf nejlépe kopíruje Resin Plaster, Alamo S, Velox, hůře Alabaster Plaster, Non Plus Ultra a nejhorší je vzhledem k obsahu skleněných vláken Efkoaker.

Tab. 1B-I. Vlastnosti sádrových kaší [130-133]

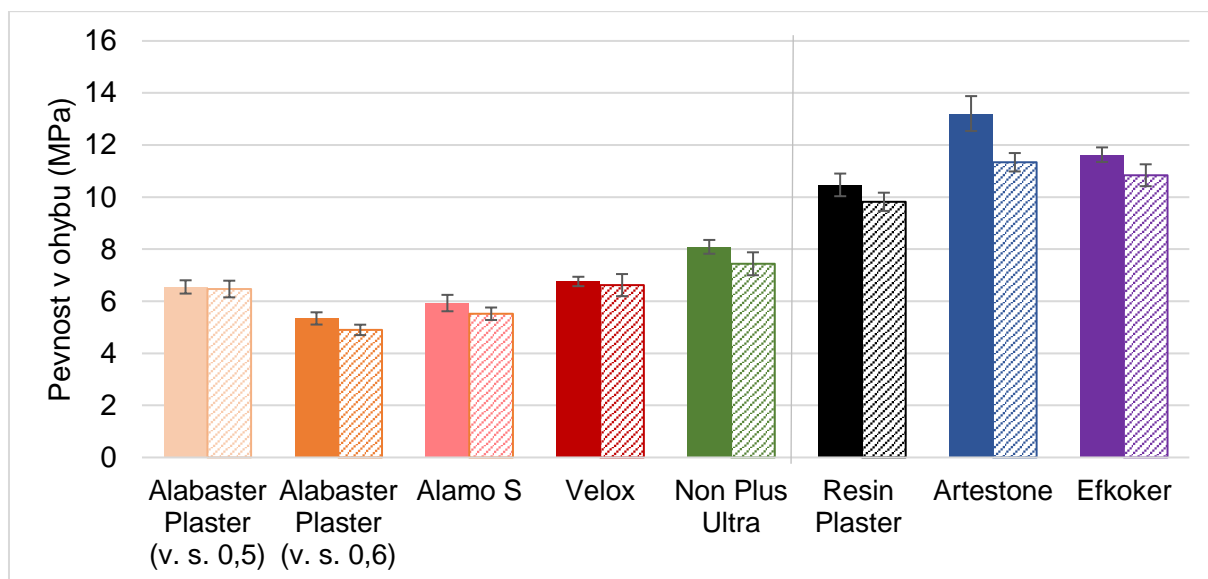
Název	Výrobce	Doporučený vodní součinitel	Doba zpracovatelnosti [min]	Doba tuhnutí /experiment [min]	Pevnost v tlaku [MPa]
Alabaster Plaster *	SpofaDental	0,60	-	5-15/4-5,5	min. 5,4
Alamo S *	Ernst Hinrichs	0,50	5-6	12-14/6-9	17
Velox *	Ernst Hinrichs	0,50	5-6	10-12/8-12,5	20
Non Plus Ultra *	Ernst Hinrichs	0,50	10-12	18-22/10,5-14	17
Resin Plaster	Gédéo	0,35	-	8-15/33-44,5	-
Artestone	Creartec	0,25	8-10	8-10/12,5-16,5	50**
Efkoaker	Efkoart	0,25	40-100	120-150	-

* podle EN ISO 6873 Dentistry – Gypsum products

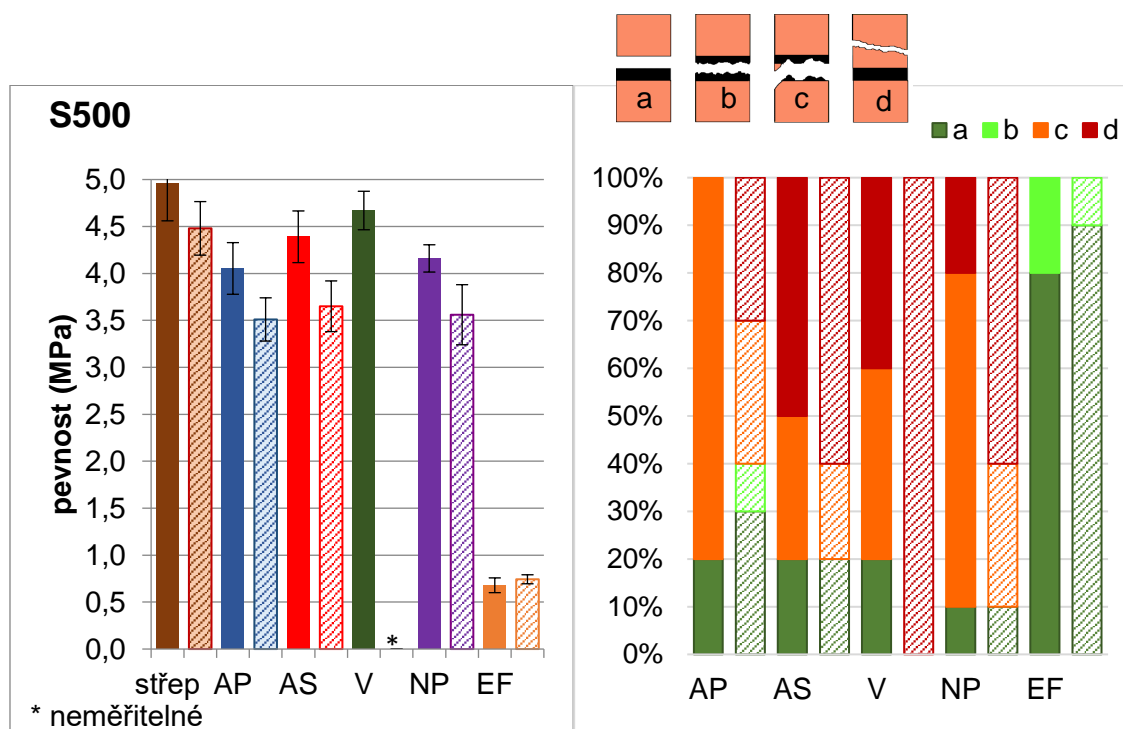
** podle DIN EN 13 279 Gipsbinder und Gips-Trockenmörtel – Teil 2: Prüfverfahren

Měření pevností systémů nízkopálená střeptová hmota S500-sádrová výplň byla provedena stejně jako u systémů s pojivy. Měření prokázala, že u těchto systémů se sádrovými výplněmi vzhledem k nízké pevnosti střeptu simulující nízkopálené nestabilní keramické střepty dochází převážně ke smíšenému nebo přímo ke koheznímu lomu v keramické části (Obr. 1B-2 vpravo). Pevnosti spojů výrazně klesly při použití separační vrstvy 20hmotn. % Paraloidu B72 v acetonu mezi střeptovou

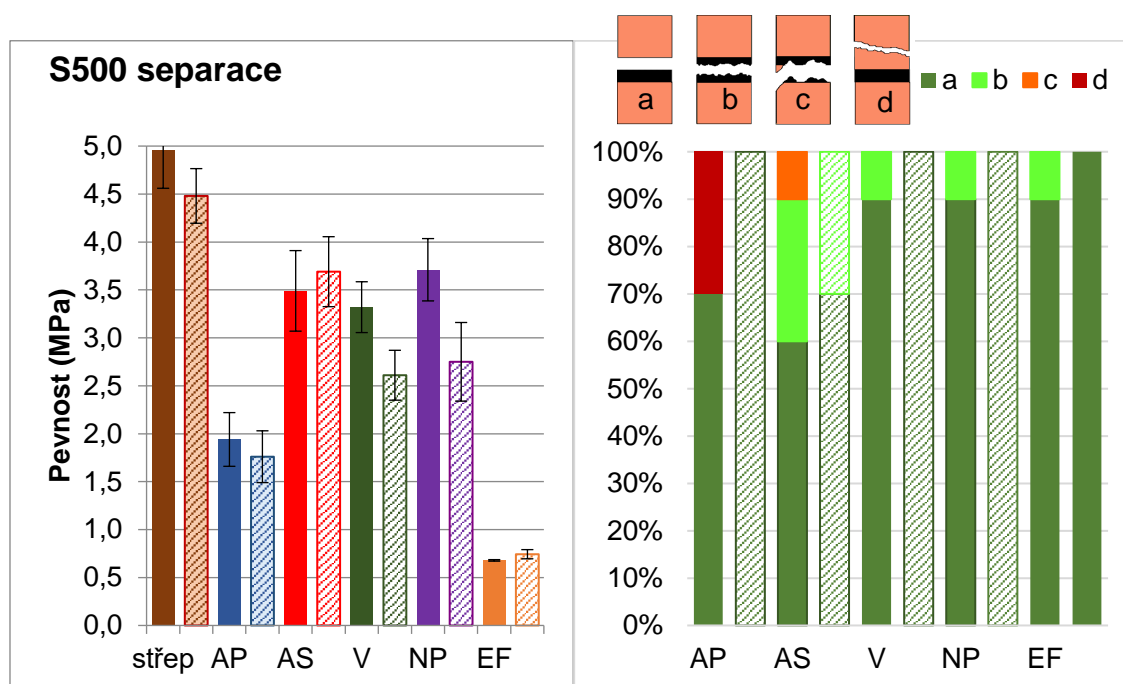
hmotu a sádru. Současně docházelo k jejich porušení vhodným způsobem, převážně čistým adhezním lomem (Obr. 1-B3).



Obr. 1B-1: Pevnost v třibodém ohybu sáder, 7 a 150 dní, v. s. – vodní součinitel, zkušební těleso 100 × 20 × 20 mm



Obr. 1B-2: Graf pevností a zastoupení typů lomů systému pórovitý nízkoteplotně pálený barevný střep (S500 bez separace střepové hmoty) – testované sádkové výplně (120denní vzorky jsou šrafované). Ve vrchní části jsou označeny jednotlivé typy lomů na modelových vzorcích dle schématu, tj.: a) čistý adhezní lom, tzv. nepravý spoj; b) čistý kohezní lom v sádře; c) smíšený lom; d) čistý kohezní lom v adherentu.



Obr. 1B-3: Graf srovnání zastoupení typů lomů systému pórovitý nízkoteplotně pálený barevný střep (S500 se separace střepové hmoty 20hmotn. % Paraloidem B72) – testované sádrové výplně (120denní vzorky jsou šrafované). Ve vrchní části jsou označeny jednotlivé typy lomů na modelových vzorcích dle schématu, tj.: a) čistý adhezní lom, tzv. nepravý spoj; b) čistý kohezní lom v sádře; c) smíšený lom; d) čistý kohezní lom v adherentu

Výplňové hmoty z pojiv a plniva

Nestabilní střepové hmoty s vysokou otevřenou pórovitostí a nesoudržným povrchem jsou poměrně křehkým a snadno dochází k jeho porušení a ztrátě materiálu. Pro doplňování tohoto typu keramiky se běžně používá sádra, která však může být pevnější než samotný střep. Vedle možnosti separace výplně od střepové hmoty byly navrženy systémy obsahující adhezivum a plnivo (anorganické nebo organické). Výhodou je použití adheziva, kterým byl předmět slepen. V důsledku přidavku plniva k adhezivu dochází ke změně vlastností vytvořené směsi oproti samotnému adhezivu. Je dosaženo vyšší viskozity a odporu proti tečení – tyto vlastnosti činí z výsledné směsi hmotu vhodnou pro doplňování. Zásadní podmínkou je homogenní dispergace částice plniva v adhezivu. Mezi anorganická plniva patří např. mramorová moučka, kaolin, pigmenty, mikrobaloitina či křída. [79] Organická plniva (např. různé deriváty celulózy) se používají převážně pro doplňování dřevěných předmětů, protože citlivěji reagují na změny RV, výrazně dilatují a vyrovnávají pnutí mezi materiálem a výplní. [134-136] Cílem této části bylo vytvoření výplňového systému vhodného k použití pro velmi nestabilní keramický materiál, který bude vhodný pro použití v restaurátorské praxi [137].

EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST

Pro vytváření systémů nestabilní střepl-výplň byla použita modelová barevná střeplová hmota C500 (viz str. 89). Pro přípravu výplní byla vybrána tři různá adheziva: K498 (Kremer Pigmente, GmbH & Co. KG, Německo), Lascaux 498HV (Artprotect spol. s.r.o., Česká republika) a Duvilax BD-20 (Duslo, a.s., Slovenská republika). Specifikace vybraných adheziv je uvedena v předchozí části (Tab. 1A-V.). V rámci projektu bylo navrženo a ověřeno šest anorganických a čtyři organická plniva (Tab. 1B-II). Byla charakterizována pomocí instrumentálních analýz: chemického a mineralogického složení pomocí rentgenových analýz (XRD, XRF) a infračervené spektroskopie (FTIR) na spektrometru Nicolet iS50 metodou ATR s diamantovým krystalem.

Tab. 1B-II: Charakterizace a značení plniv

anorganická plniva		organická plniva	
MM	mramorová moučka	• celulózová vlákna	
Al₂O₃	oxid hlinitý	A1	Arbocell BC 1000
Z	K – živec (75K20)	A2	Arbocell BC 200
K	křemičitý písek - Korest silikat	• deriváty celulózy - metylhydroxyetylcelulóza	
GP	skleněné vločky - Glasplättchen fein	T3	Tylose MH 300
G	sodnohlinitá glazura G0806	T6	Tylose MH 6000

Vybraná adheziva a plniva byla míchána v různém poměru, u výplňových směsí byly hodnoceny:

- ✓ mechanické vlastnosti – čtyřbodým ohybem na trhacím stroji MTS Exceed model E43 (MTS Systems Corporation, USA),
- ✓ zpracovatelnost, smrštění a barevnost.

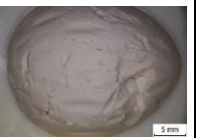
VÝSLEDKY A DISKUSE

Hodnocení vlastností výplňových směsí bylo rozděleno do dvou fází. V první byly hodnoceny výplně samostatně. Byla hodnocena jejich celková konzistence, zpracovatelnost, lepivost, tvarovatelnost. Po proschnutí bylo měřeno smrštění výplní, změna barevnosti a schopnosti kopírovat reliéf (Tab. 1B-III).

Největší smrštění vykazovaly kombinace organických plniv s adhezivy (40-50 obj. %) a to především vzorky s tylosou. U anorganických výplní docházelo k smrštění o 30-35 obj. %. Z hlediska změny barevnosti vykazovaly největší rozdíly vzorky adheziv

s tylosou. Při hodnocení schopnosti kopírovat reliéf od 1 (nejlepší) do 6 (nejhorší) byla anorganická plniva zařazena do kategorie 1-3 (Tab. 1B-III). Adheziva plněná organickými plnivými byla zařazena převážně do kategorií 4 až 6.

Tab. 1B-III: Rozdělení výplní na základě schopnosti kopírovat reliéf

Kategorie					
1	2	3	4	5	6
čistý otisk reliéfu, < 5 defektů, drobné defekty	čistý otisk reliéfu, > 5 defektů nebo více výrazné defekty	čistý otisk reliéfu poškození vzniklé při vyjmutím z formy	méně čitelný otisk reliéfu, < 5 defektů nebo drobné defekty	méně čitelný otisk reliéfu, > 5 defektů nebo více výrazné defekty	nečitelný otisk reliéfu
					

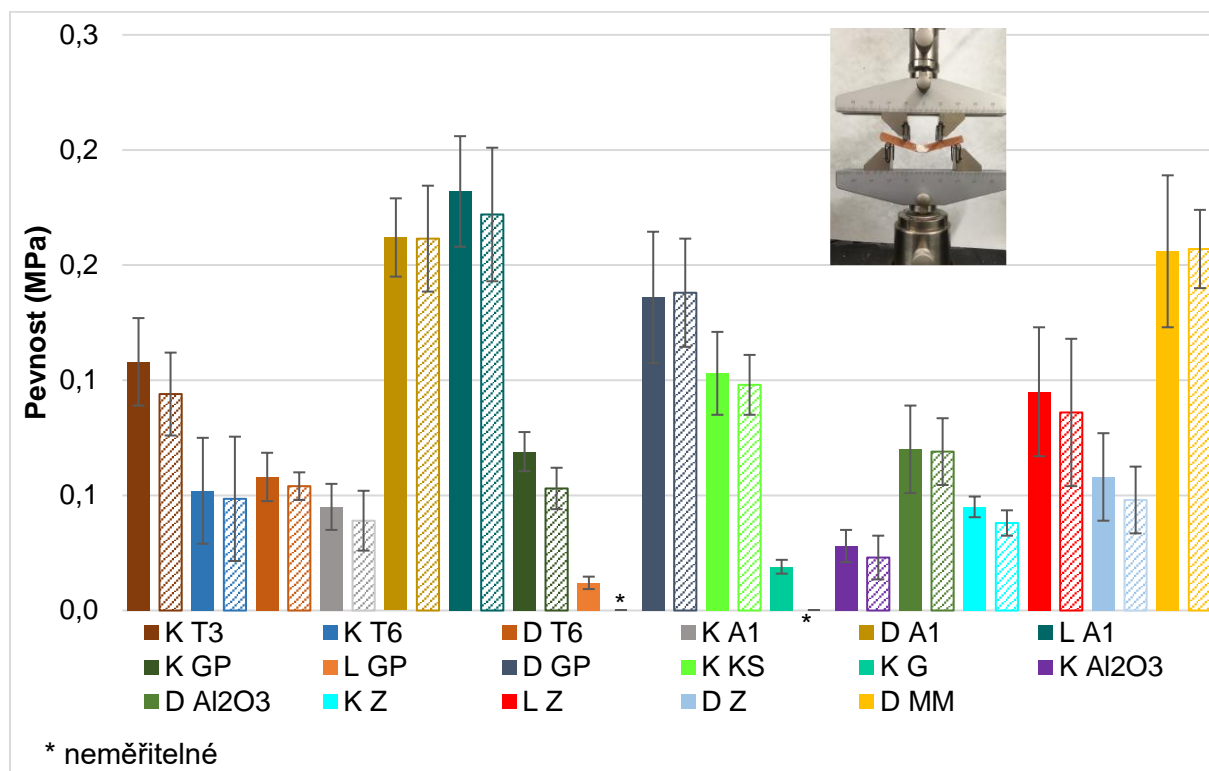
Po vyhodnocení všech výše zmíněných kritérií, byly vybrány vyhovující kombinace adheziv a plniv (Tab. 1B-IV).

Tab. 1B-IV: Vybrané koncentrace plniv pro přípravu výplní v hmotn. %

plnivo	K498 (K)	Lascaux HV498 (L)	Duvilax BD 20 (D)
mramorová moučka (MM)	-	-	65 %
oxid hlinitý (Al ₂ O ₃)	45 %	52 %	52 %
korest Silikat (KS)	66 %	-	-
skleněné vločky (GP)	75 %	75 %	64 %
glazura (G)	65 %	-	-
živec (Z)	75 %	75 %	72 %
Arbocel 1000 (A1)	20 %	14 %	24 %
Tylose MH 300 (T3)	12 %	-	-
Tylose MH 6000 (T6)	12 %	-	16 %

V druhé fázi byla měřena pevnost systému pórovitá keramika-výplň. Byly vytvořeny modelové vzorky o rozměrech 90 x 20 x 10 mm. K simulaci reálného lomu keramických střepeů byla opět použita metoda tříbodého ohybu. Následně byla pomocí forem vytvořena výplň o délce 10 mm. Pevnost systému pórovitá keramiky-výplň byla měřena čtyřbodým ohybem. Naměřené hodnoty jsou zpracovány graficky (Obr. 1B-4).

Nejvyšší hodnoty pevností byly naměřeny u vzorků s výplní L A1, D A1, K T3 (organická plniva) a D MM, L GL, K KS, D Al₂O₃ (anorganická plniva). U všech vzorků došlo k lomu na rozhraní mezi výplní a střepeovou hmotou, což je nutná podmínka pro použití v restaurátorské praxi.



Obr. 1B-4: Pevnosti systémů experimentálních výplní a střepové hmoty S500

ZÁVĚR

Předložená práce hodnotí výplně pro aplikaci při konzervování- restaurování nestabilní keramiky. K vytvoření výplní byly použity sádrové kaše a disperzní adheziva s anorganickými i organickými plnivy. Při použití sádry pro tento typ modelové střepové hmoty byla prokázána vhodnost aplikace separace mezi sádrou a střepem, aby v případě tenkého až středně tlustého střepu nedošlo k vytvoření příliš pevného spoje, který se poruší v keramické části. Při případné rekonzervaci je problematické rozpojení takového spoje, protože dochází k vytrhování zrn (Obr. 20). Vhodnou alternativou je použití hmoty Efkoker. Vzorky doplňků s anorganickými plnivy vykazovaly vhodné výsledky jak v oblasti zpracovatelnosti a smrštění, tak i ve schopnosti kopírovat reliéf. Při hodnocení mechanických vlastností vyplněného spoje vykazovaly vhodné pevnosti a charaktery lomů adheziva plněná arbocelem BC 1000, mramorovou moučkou a skleněnými vločkami.

Seznam použité související literatury:

- [111] Dvořáková, P., 2019. Hodnocení stability systému keramika-pojivo-keramika. Praha. Diplomová práce. Vysoká škola chemicko-technologická v Praze. Vedoucí práce doc. Alexandra Kloužková.

- [112] Růžička, J., 2020. Hodnocení stability systému slinutá keramika-pojivo. Praha. Laboratorní projekt I. Vysoká škola chemicko-technologická v Praze. Vedoucí práce doc. Alexandra Kloužková.
- [113] Technický list Dispercoll D3. [online]. [cit. 5. 9. 2021]. Dostupný z <https://www.druchema.cz/z145-dispercoll-d3-s-aplikatorem>.
- [114] Technický list Duvilax. [online]. [cit. 5. 9. 2021]. Dostupný z <https://www.denbraven.cz/download/duvilax-bd-20-technicky-list/?wpdmdl=18771&refresh=5cd5624d010b31557488205>.
- [115] Technický list Pattex WOOD. [online]. [cit. 5. 9. 2021]. Dostupný z http://www.pattex.cz/content/uac/pattex-responsive/czech-republic/www/cs/products/wood/wood-waterproof/_jcr_content/par/productdetails/step_by_step/par/download_fc3e/file.res/tl-pattex-wood-super-3.pdf
- [116] Technický list Paraloid B72. [online]. [cit. 5. 9. 2021]. Dostupný z http://www.krustashop.cz/fotky27369/fotov/_ps_1598Technicky-list---Paraloid-B72.pdf.
- [117] Technický list Lascaux 498HV. [online]. [cit. 5. 9. 2021]. Dostupný z <https://shop.kremerpigments.com/media/pdf/81002e.pdf>
- [118] Technický list tavné lepidlo Lascaux 303HV. [online]. [cit. 5. 9. 2021]. Dostupný z <https://www.kremer-pigmente.com/en/shop/mediums-binders-glues/81000-lascaux-acrylic-glue-303-hv.html>
- [119] Technický list tavné lepidlo EVA. [online]. [cit. 5. 9. 2021]. Dostupný z https://sklep.semicon.com.pl/shop2/klej-a22075-300-eva-termotopliwy-w-sztyfcie-%C3%B812mm-dlugosc-20cm-przezroczysty-o-krotkim-czasie-wiazania,p3317,c1005?lang_id=3
- [120] Technický list K498. [online]. [cit. 5. 9. 2021]. Dostupný z <https://shop.kremerpigments.com/us/shop/mediums-binders-glues/76000-dispersion-k-498.html>
- [121] Technický list Cleotool. [online]. [cit. 5. 9. 2021]. Dostupný z <http://www.colles-cleopatre.com/en/212-cleotool-500-gr.html>
- [122] Technický list Plectol B500. [online]. [cit. 5. 9. 2021]. Dostupný z [https://www.synthomer.com/fileadmin/files/tds/PLEXTOL%20B%20500%20\(Coatings\).pdf](https://www.synthomer.com/fileadmin/files/tds/PLEXTOL%20B%20500%20(Coatings).pdf)
- [123] ČSN EN 827. Lepidla – Stanovení obsahu sušiny za smluvních podmínek a do konstantní hmotnosti. Praha: Český normalizační institut, 2006. 8 s.
- [124] ČSN EN 1245. Lepidla – Stanovení pH. Praha: Český normalizační institut, 2011. 12 s.
- [125] ČSN EN 843-5: Speciální technická keramika – Mechanické vlastnosti monolitické keramiky při pokojové teplotě – Část 5: Statistická analýza. Praha: Český normalizační institut, 2007. 40 s

- [126] Svobodová, L. Zásady restaurování slinuté keramiky - Rekonzervační zákroky. Zpravodaj STOP. 2010, 12(4). ISSN 1212-4168.
- [127] Náhunková, P., 2020. Hodnocení stability systému keramika-pojivo-keramika. Praha. Diplomová práce. Vysoká škola chemicko-technologická v Praze. Vedoucí práce doc. Alexandra Kloužková.
- [128] Pelikánová, M., 2021. Separace systémů keramika – výplňový materiál. Praha. Bakalářská práce. Vysoká škola chemicko-technologická v Praze. Vedoucí práce doc. Alexandra Kloužková.
- [129] Špotová, E., 2020. Plněná adheziva pro doplňování nestabilní keramiky. Praha. Laboratorní projekt I. Vysoká škola chemicko-technologická v Praze. Vedoucí práce doc. Alexandra Kloužková.
- [130] Technický list Alabastrová sádra – specifikace výrobku. [online]. Praha: Spofadental, [cit. 5. 9. 2021]. Dostupné z: https://embed.widencdn.net/download/kavokerr/mvsfou5nu0/SPC_Alabastrova_sadra_11052018_04_cz.docx?u=18sth1.
- [131] Dentální sádry firmy Hinrichs. [online]. Praha: PKZM, [cit. 5. 9. 2021]. Dostupné z: https://issuu.com/agnestolak/docs/hinrichs_tszech.
- [132] Technický list Gedeo Plasters. [online]. Gedeo, [cit. 5. 9. 2021]. Dostupné z: [http://en.pebeo.com/content/download/88737/1288753/file/\(eng\)#763_Fiche_Produit_Platres_Divers%2017-07-2017_spa_eng_rus_deu.pdf](http://en.pebeo.com/content/download/88737/1288753/file/(eng)#763_Fiche_Produit_Platres_Divers%2017-07-2017_spa_eng_rus_deu.pdf).
- [133] Technický list Artestone Figurengießmasse (Artestone figure casting compound). [online]. Creartec. [cit. 5. 9. 2021]. Dostupné z: <https://www.selva.de/media/security-data-sheets/337573-sicherheitsdatenblatt.DE.pdf>
- [134] Fulcher, K. An investigation of the use of cellulose-based materials to gap-fill wooden objects. Studies in Conservation. 2017, 62(4). ISSN 2047-0584.
- [135] Fox, M. Searching for the filler of my dreams - and Odyssey in gaps and glues. [online] Dostupné z: <http://preparation.paleo.amnh.org/assets/Fox-gapfillerpaper.pdf>
- [136] Ackroyd P., Hibberd R., Gritt S. The Mechanical Behaviour of Adhesives and Gap Fillers for re-joining Panel Paintings, National Gallery Technical Bulletin. 2002, 23. [online] Dostupné z: https://www.nationalgallery.org.uk/technical-bulletin/young_ackroyd_hibberd_gritt2002
- [137] Nohejlová, T. 2020. Restaurování zásobnice převzaté "in situ" Praha. Semestrální práce V. Vysoká škola chemicko-technologická v Praze. Vedoucí práce doc. Alexandra Kloužková.

Příloha 2 Metodiky konzervování-restaurování nízkopálené nestabilní keramiky

Komentované příklady restaurátorských zásahů s použitím inovativních pomocných materiálů

2A - Doplnování ztrát nízkopálené nestabilní keramické zásobnici převzaté „*in situ*“ celulóзовými vlákny zn. Arbocel® BC 1000

2B - Doplnování ztrát u silnostěnné nízkopálené nestabilní keramiky hmotou Efkoer a povrchová retuš suspenzí Resin plaster

2C - Restaurování koflíku převzatého „*in situ*“ s použitím výplňového samotvrdnouceho tmelu

Program Národní kulturní identity (NAKI II)

projekt s identifikačním číslem č. DG18P02OVV028 řešeného v letech 2018-2022. „Technologie ošetření a identifikace degradačních procesů keramických nálezů z hradčanských paláců - Metody restaurování a konzervování pórovité i slinuté keramiky a porcelánu“

2A - Doplnování ztrát nízkopálené nestabilní keramické zásobnici převzaté „*in situ*“ celulóзовými vlákny zn. Arbocel® BC 1000

Na řešení této části metodiky - restaurátorském průzkumu se podílely:

Alexandra Kloužková¹, Pavla Dvořáková¹, Mária Kolářová¹, Martina Kohoutková¹, Simona Randáková¹

¹ Vysoká škola chemicko-technologická v Praze, Technická 5, 166 28 Praha 6

restaurátorský zásah - Ljuba Svobodová² (restaurátorka s licencií MK), Tereza Nohejlová (studentka)¹[137]

² Archeologický ústav AV ČR, Praha, v. v. i., Letenská 123/4, 118 00 Praha 1

Předběžný restaurátorský průzkum

Ke zpracování byl převzat archeologický střepový materiál v bloku *in situ*, zabalený ve fólii (Obr. 2A-1). Nádobu držela pohromadě jílovitá zemina, silně znečištěné střepy byly přilepeny na hliněném „kopytu“. Část střepů z okrajů torza vyčnívala kolmo do prostoru. Stylově jednotné střepy byly rozlámané a nepravidelně rozložené ve výplni. Tři oble lomené střepy jsou opatřeny plnými pupky. Lomy byly drobné a velmi degradované, některé byly čerstvé. Stopy po mikrobiologické korozi ani sekundární precipitáty a povrchové kontaminanty nebyly zaznamenány. Situační tvar dával tušit, že půjde o hrnec v rozpadlém stavu. Z vizuálního průzkumu vyplynulo, že střepový materiál není kompletní a má výrazné úbytky hmoty (Obr. 2A-1). Ke zpracování byly

dále převzaty volně ložené střepy (35 ks), vybrané z bezprostředního okolí nálezu, uložené v papírovém sáčku. Střepy byly oboustranně znečištěny nánosy zeminy.



Obr. 2A-1: Stav keramického střepového materiálu při převzetí ke zpracování

Restaurátorský průzkum

V rámci restaurátorského průzkumu bylo provedeno hodnocení stability střepových hmot kombinací metod (kap. 2. 3. Restaurátorský průzkum, str. 27).

- **Parametry střepových hmot** (kap. 2. 3. 3. Charakterizace a parametry střepových hmot, str. 29) byly hodnoceny na 4 vzorcích, po měření byly vráceny do souboru.

Tabulka 2A-I: Parametry střepových hmot

skladovací vlhkost W [hmotn.%]	nasákavost E [hmotn.%]	objemová hmotnost OH [gcm ⁻³]	zdánlivá hustota d _{ap} [gcm ⁻³]	zdánlivá pórovitost P _{ap} [hmotn.%]
3,97 ± 0,03	17,98 ± 0,90	1,86 ± 0,01	2,69 ± 0,01	32,62 ± 1,21

- **Chemické složení** bylo identifikováno metodou rentgenové fluorescenční analýzy (kap. 2. 3. 5. str. 34) spektrometrem ARL 9400.

Výsledky jsou uvedeny ve formě protokolu měření (Obr. 2A-2) a tabulky hlavních oxidů (Tab. 2A-II).

Tabulka 2A-II: Základní oxidy ve střepové hmotě odebraného vzorku [hmotn. %]

SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	MgO	TiO ₂	Na ₂ O
67	18	7	2,1	1,9	1,6	1,1	0,7	0,2

Obr. 2A-2: Protokol měření XRF

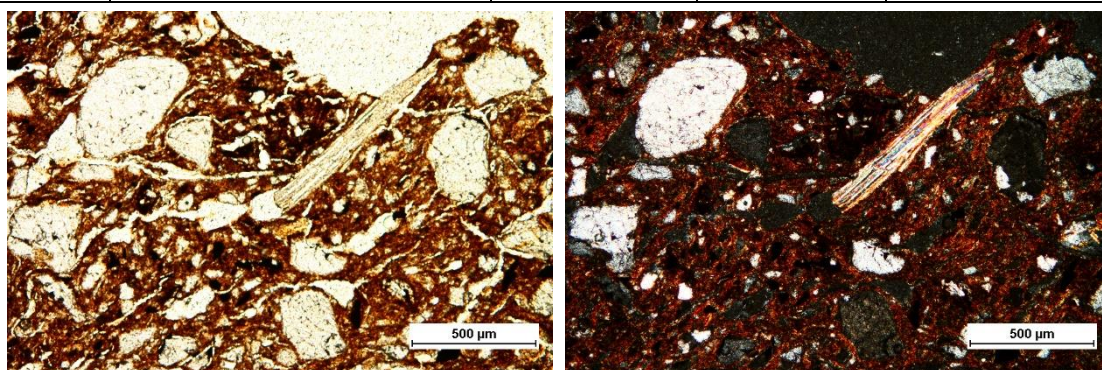
- **Mineralogické složení** bylo stanoveno rentgenovou difrakční analýzou (kap. 2. 3. 4. Identifikace mineralogického složení, str. 31)

Z	wt%	StdErr	Z	wt%	StdErr
11-Na2O	0.224	0.024	29-CuO	0.0096	0.0048
12-MgO	1.07	0.05	30-ZnO	0.0202	0.0071
13-Al2O3	18.09	0.19	31-Ga2O3	<	<
14-SiO2	66.86	0.24	32-GeO2	<	<
15-P	<	<	33-As2O3	<	<
15-P2O5	2.12	0.07	34-SeO2	<	<
16-SO3	<	<	35-Br	<	<
17-Cl	<	<	37-Rb2O	<2e	0.0026
18-Ar	<	<	38-SrO	0.0130	0.0057
19-K2O	1.93	0.07	39-Y2O3	0.0057	0.0028
20-CaO	1.61	0.06	40-ZrO2	0.041	0.010
21-Sc2O3	<	<	41-Nb2O5	0.0053	0.0026
22-TiO2	0.688	0.041	42-MoO3	<	<
23-V2O5	0.0207	0.0072	44-RuO4	<	<
24-Cr2O3	0.0159	0.0063	45-Rh2O3	<	<
25-MnO	0.0101	0.0050	46-PdO	<	<
26-Fe2O3	7.15	0.13	47-Ag2O	<	<
27-Co3O4	0.0057	0.0028	48-CdO	<	<
28-NiO	<2e	0.0029	49-In2O3	<	<
			50-SnO2	<	<
			51-Sb2O3	<	<
			52-TeO2	<	<
			53-I	<	<
			55-Cs2O	<	<
			56-BaO	0.102	0.016
			SumLa..Lu	0.008	0.024
			72-HfO2	<	<
			73-Ta2O5	<	<
			74-WO3	<	<
			75-Re2O7	<	<
			76-OsO4	<	<
			77-IrO2	<	<
			78-PtO2	<	<
			79-Au	<	<
			80-HgO	<	<
			81-Tl2O3	<	<
			82-PbO	<2e	0.0044
			83-Bi2O3	<	<
			90-ThO2	<	<
			92-U3O8	<	<
			94-Pu2O3	<	<
			95-Am2O3	<	<

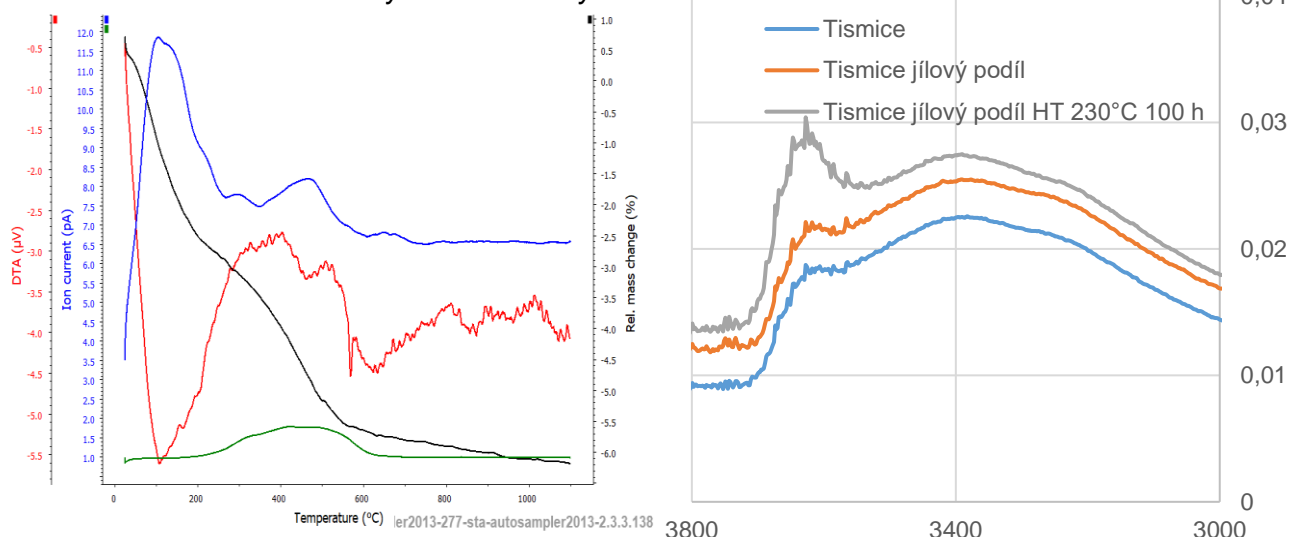
difraktometrem PANanalytical XPERT-3 (záření CuK α v rozsahu 5 – 80 °2 Theta (ADS 20)) na vzorcích: **celkové střepevé hmoty** (rozetřený vzorek střepu), který byl měřen i metodou vnitřního standardu se ZnO, aby bylo určeno také množství amorfu, dále **jemný podíl** (rozplavením malých neumístitelných střepů byla oddělena jemná matriční fáze od ostřiva). Výsledná data byla vyhodnocena pomocí softwaru X'Pert HighScore Plus a databáze referenčních vzorků (Tab. 2A - III).

Tabulka 2A - III: Mineralogické složení vzorku Tismice

Minerál	Vzorec	Semikvantita [hmotn. %]		Kvantita [hmotn. %]
		celkový vzorek	jemný podíl	celkový vzorek
Křemen	SiO ₂	66	37	74
Albit	(Na, Ca)Al(Si,Al) ₃ O ₈	7	3	1
Ortoklas	KAlSi ₃ O ₈	17	5	2
Muskovit	KAl _{2,2} (Si ₃ Al) _{0,975} O ₁₀ ((OH) _{1,72} O _{0,28})	10	55	5
amorfní fáze	-	-	-	18



Obr. 2A-3: Snímek mikrostruktury keramického výbrusu



Obr. 2A-4: Termické křivky vzorku jemného podílu vlevo (černá křivka TGA, červená křivka DTA, modrá křivka - vodní pára, zelená křivka CO₂), vpravo je část IČ spektra charakterizující OH skupiny

Pozorováním OM byla identifikována písčítá zrna křemene o střední velikosti cca 500 µm a ojedinelá ostrohranná zrna živců o maximální velikosti 1300 µm. Slídová matrix s jemnozrnným ostřivem v intervalu 10-40 µm obsahovala převážně podélné póry.

Doplňující informace o přítomnosti hydroxylových skupin v prášcích před a po hydrotermálním zatížení při teplotě 230°C/100 hod byly získány metodami TA (Obr. 2A-4 vlevo) a IČ-ATR (Obr. 2A-4 vpravo).

Restaurátorský průzkum prokázal, že střepová hmota archeologického nálezu vykazuje vysoký objem pórů komunikujících s povrchem, zabírají téměř třetinu z celkového objemu vzorku. S tím souvisí také velmi vysoká hodnota hmotnostní nasákavosti. Póry dosahují širokého rozmezí a byly zdrojem nízké mechanické pevnosti a vedly k poškození mrazem. Stárnutí resp. rehydroxylace byla prokázána u slídových minerálů, kdy XRD, TA i IČ potvrdily jejich přítomnost v částečně dehydroxylované formě. IČ také prokázala možnost dodatečné rehydroxylace jemného podílu matrix resp. možnost dalšího stárnutí střepu.

Konzervátorský a restaurátorský záměr

Požadavek zadavatele byl nádobu kompletně zrestaurovat v závislosti na etice restaurování a v souladu s péčí o archeologický střepový materiál. Vzhledem k charakteru a vlastnostem archeologického keramického materiálu byl navržen následující rozsah restaurátorských zákroků a použité pomocné materiálové báze:

1. Fotografická dokumentace. V průběhu celého konzervátorsko-restaurátorského zásahu pořizovat fotodokumentaci každého provedeného kroku, která poslouží pro celkové vyhodnocení restaurátorského zásahu a bude součástí restaurátorské zprávy.

2. Restaurátorský průzkum zaměřit na zjištění stupně degradace, znečištění, rozsah a lokalizace poškození, definování defektů, změn a ztrát. Při průzkumu použít převážně nedestruktivní metody (v případě odběru hmoty využít střepy neumístěné).

3. Vypreparovat střepový materiál in situ. Použít následující nástroje: týkové modelovací špachtle různých typů, tvarů a velikostí. K odběru hlíny použít plastovou lžici. Výplň odebírat do dvojitých plastových sáčků.

4. Zbavit střepy nečistot. Podle výsledků restaurátorského průzkumu zvolit nejvhodnější metodiku čištění. Použít pomůcky: mořská houba, jemné zubní kartáčky, jednosvazkový tzv. singl kartáček, kartáčky na ruce s měkkými štětiniemi.

5. Vyhledat střepové fragmenty.

6. Provést hmotovou rekonstrukci nádoby. Slepit fragmenty do originálního tvaru reverzibilním akrylátovým adhezivem zn. K 498. Akrylátové disperzní adhezivum

bylo zvoleno vzhledem k typu zpracovávaného materiálu na základě průzkumů. Diskutována byla velikost nádoby, aby mohlo být s předmětem bez rizik manipulováno, aby spoje vydržely i případné větší namáhání při balení, transportu a při čištění prováděném v rámci preventivní péče a i s ohledem na případné vystavení exponátu.

7. Doplnit ztráty do požadovaných tvarů tak, aby byla nádoba kompaktní. Vzhledem k charakteru střepe a na základě průzkumů byl zvolen jako reprodukční materiál arbocelový kompozit v poměru: 20 hmotn. % Arbocell® BC 1000 a 80 hmotn. % K 498, tedy v hmotnostním poměru 1:4. Výhodou při použití arbocelového kompozitu je, že exponát nemusí být před doplněním ztrát separován. Zadavatel si přál ztráty nebarvit.

8. V souvislosti se stavem střepevého materiálu a s materiály použitými při restaurování navrhnout **doporučené klimatické podmínky uložení** a vhodný způsob manipulace s restaurovaným artefaktem.

9. Vypracovat restaurátorskou zprávu dle § 14 a odst. 4 písm. b) zákona č. 20/1987 Sb., o státní památkové péči, v platném znění.

Objednavatel byl s tímto záměrem seznámen, souhlasí s navrženou technologií restaurování i s návrhem materiálové báze. Odsouhlasený postup restaurování lze modifikovat podle nových výsledků, zjištěných během prováděných zásahů.

Postup konzervačně-restaurátorských prací

1/ Fotodokumentace (viz kap. 2. 4. 1., str. 39) - zachycení stavu materiálu před, v průběhu a po restaurátorském zásahu.

2/ Vypreparování střepe - materiál po vybalení z fólie (Obr. 2A-5) byl postupně odpreparován od výplně dřevěnou špachtlí po jemném navlhčení (Obr. 2A-6).



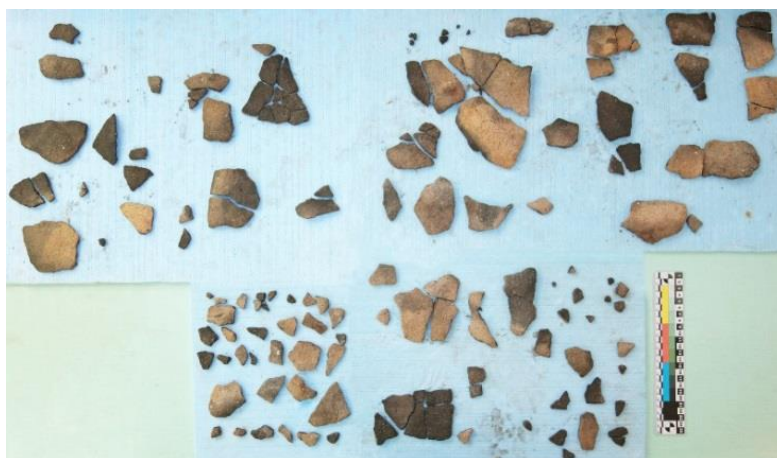
Obr. 2A-5: Nálezový stav keramického materiálu po vybalení, celkový pohled



Obr. 2A-6: Vyjímání keramického střepového materiálu z hliněného lůžka

Postupným opatrným odebráním zeminy docházelo k obnažování keramických střepů. Pomocí týkové modelářské špachtle byly střepy systematicky odpreparovány z bloku zeminy a kladeny na podložku tak, aby byla zachována jejich vzájemná poloha, což zjednoduší vyhledávání při lepení. Výplň byla prohledávána a tříděna.

3/ Mechanické čištění keramických střepů za mokra. Vstupním restaurátorským průzkumem bylo zjištěno, že vypreparované střepy mohou absolvovat základní mokré očištění pod tekoucí vlažnou vodou (o teplotě cca 37 °C). Střepy byly s maximální opatrností vodní cestou zbaveny nečistot jemným kartáčkem, jednosvazkovým kartáčkem byla čištěna těžko přístupná a profilovaná místa, bylo provedeno dokonalé očištění lomových ploch (Obr. 2A-7).



Obr. 2A-7: Keramický materiál z bloku in situ po mokrému očištění celkový pohled

4/ Vyhledávání. Očištěné, při laboratorní teplotě volnoprostorově a samovolně usušené střepy, byly vyhledány podle anatomie tvarosloví předmětu a charakteristických střepových znaků (Obr. 2A-8). Vyhledávání bylo vzhledem k rozsáhlému souboru malých fragmentů časově velice náročné, protože bylo snahou umístit pokud možno všechny.



Obr. 2A-8: Stav keramického materiálu po vyhledání - plošně rozložený plášť

5/ Lepení. Vyhledané střepy byly postupně slepeny tenkou vrstvou akrylátového disperzního adheziva K 498. Nádoba byla lepena na etapy, postupně ode dna, spirálovitě směrem k hornímu okraji tak, aby se nevytvořil zámek znemožňující vložení a vlepení dalšího příslušného střepu (Obr. 2A-9).



Obr. 2A-9: Stav nádoby během postupného lepení vyhledaných fragmentů

Lepení značně komplikovaly degradované lomové plochy jednotlivých střepů. Z preventivních důvodů byly uvnitř nádoby ponechány fixační lepicí pásky zn. Scotch® magic invisible. Lepení bylo vzhledem k rozsáhlému souboru malých fragmentů časově náročné. Po dolepení všech střepů byl zjištěn definitivní rozsah chybějících částí (Obr. 2A-10).



Obr. 2A-10: Stav nádoby po slepení vyhledaných fragmentů, celkový pohled

6/ Injektáže trhlin, prasklin. Adhezivum bylo injekčně aplikováno do hlubokých rozestoupených prasklin, odštípaných lomových ploch, spár a nerovností, aby nedošlo k olamování okrajů trhlin a k postupnému zvětšování defektů.

7/ Doplnění původního tvaru „celulózováním“. Ztráty, velké spáry a nerovnosti byly doplněny „celulózováním“ arbocelovým kompozitem.

7a/ Příprava arbocelového kompozitu. Na základě průzkumů (Příloha 1B, str. 100) byl zvolen jako výplňový materiál arbocelový kompozit v poměru: 20 hmotn. % Arbocel® BC 1000 a 80 hmotn. % K498. Po smíchání a homogenizaci se vlákna stejnoměrně rozptýlí v celém objemu výplňové hmoty.

7b/ Doplnění plošných ztrát. Způsob doplnění chybějících částí byl proveden s maximálním respektováním předmětu a jeho autentické hmoty. Na každou ztrátu byla individuálně připravená jednorázová otevřená forma z dentálního vosku zn. Ceradent®, vytvořená otiskem z neporušených oblastí předmětu, umožňující přesnou reprodukci původního tvaru restaurovaného předmětu. Nahřátá, rozměrově odpovídající vosková deska byla opatrně vložena a vtlačena do originální části a vhlazena tak, aby dokonale okopírovala tvar i s okrajem. Po ztuhnutí byla vosková deska odloupena a vložena do prázdného místa. Připravená směs byla nanášena špachtlí zvenčí nádoby do prostoru jednotlivých ztrát. Tvar doplňku byl vytvořen postupným přidáváním materiálu až do roviny s okolními střepey. V případě nutnosti byla ztráta ještě doladěna doplněním arbocelovou směsí jak z vnější, tak z vnitřní strany. Chybějící části nádoby byly postupně doplňovány ode dna výše a ve směru hodinových ručiček (Obr. 2A-11).



Obr. 2A-11: Postupné doplňování ztrát tmelením arbocelovým kompozitem

7c/ Tmelení spár. Velké spáry, obklopující lepené spoje, a drobné spáry byly tmeleny arbocelovým kompozitem přímo na předmětu. Mírným tlakem se kompozitem vyplnila a zahladila poškozená místa.

8/ Mechanické retušování za sucha. Po zaschnutí směsi bylo přistoupeno k jeho finální oboustranné tvarové korekci mechanickým seříznutím přesahů skalpelem.

9/ Zpracování výplně. Výplň byla částečně rozplavená při hledání střepeů. Byla zvážena, 2× prozkoumána a zasáčkována do zdvojených PE sáčků.

10/ Vypracování restaurátorské zprávy. Po dokončení restaurátorských prací byla vyhotovena restaurátorská zpráva s fotografickou dokumentací ve smyslu vyhlášky MK ČR č. 66/1988 Sb. Ve zprávě jsou navrženy vhodné podmínky uložení a manipulace s předmětem. Kopie restaurátorské zprávy je v souladu se zákonem ČNR č. 106/1999 Sb., o svobodném přístupu k informacím, umístěna v Archeologickém ústavu AV ČR, Praha, v. v. i., Letenská 123/4, 118 01 Praha 1 – Malá Strana, v Oddělení informačních zdrojů - Archivu nálezových zpráv.

Stav předmětu po konzervování a restaurování

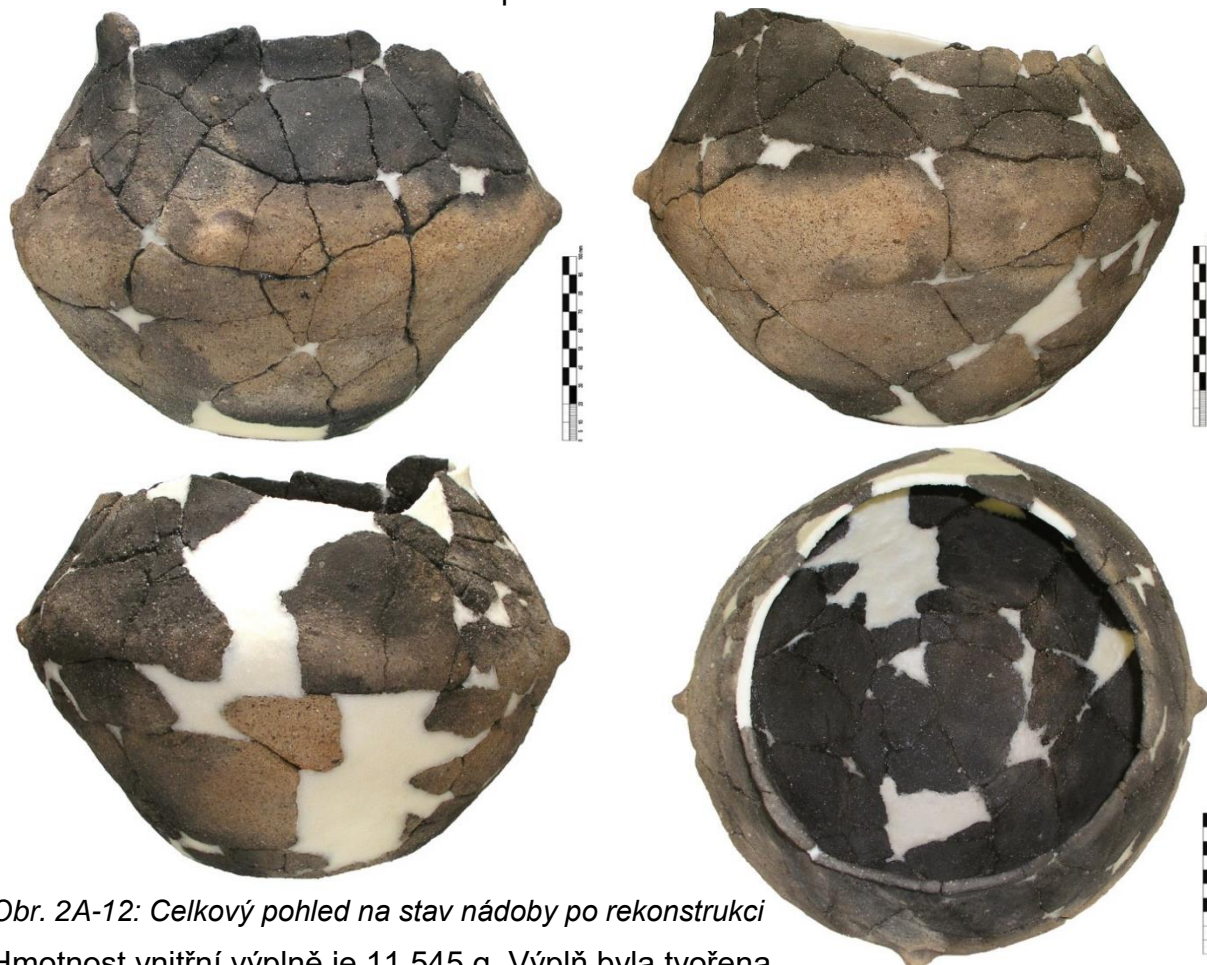
Přibližné hlavní rozměry: dochovaná výška nádoby: 235 mm, \emptyset okraje: 210 mm, \emptyset dna: 110 mm. Tloušťka střepeů: v rozmezí $\sim 5 \text{ mm} \pm 2 \text{ mm}$ (středně silná keramika).

Hmotnost nádoby po slepení: 2 065 g. Hmotnost nádoby po doplnění ztrát: 2 138 g.

Cílem restaurátorského záměru a zásahu byla kompletní rekonstrukce dvojkonického hrnce z Tismic¹, což bylo splněno (Obr. 2A-12). Nádoba je slepená ze 160 střepeů a umístěny byly všechny střepy. Lepené spoje jsou viditelné, lomy jsou přesně ohraničené. Nádoba není kompletní. Chybí zakončení okraje a ztráty v rámci celého plášťového materiálu. Dno je až na jeden trojúhelníkový střepe kompletní. Povrch střepeového materiálu je zrnitý, pokrytý systémem drobných výmolů, proláclin, trhlin i vlásečnicových, nepravidelných trhlinek. Tvar nádoby byl dobře čitelný. Dochovalo se dostatečné množství původního materiálu a ideální profil nádoby → proto se daly veškeré ztráty lokálně doplnit „naklonováním“ dle zachovalých částí. Tento postup je v souladu s etickým kodexem restaurování, protože se zachovala předloha a jasné superpozice chybějících ploch. Pro zvýšení stability byly chybějící střepy nahrazeny 33 doplňky z arbocelového kompozitu. V případě nutnosti se dají snadno, kompletně a šetrně z původního keramického střepe odstranit. Arbocelový kompozit je velmi výhodný pro doplňování ztrát u nestabilního střepeového materiálu, protože se jedná

¹ Přesná lokalizace výzkumu je Na Hradišřanech, Tismice, okres Kolín. Hrnc byl vykopán v roce 2019. Přibližná datace nálezů: Jordanovská kultura (epilengyel), mladší doba kamenná, cca 6000–4000 př. n. l.

o šetrný bezvodý proces, zacílený na konkrétní oblast ošetření. Odpadá nutnost provádět krátkodobou ochrannou separaci a mechanické čištění.



115

Obr. 2A-12: Celkový pohled na stav nádoby po rekonstrukci
Hmotnost vnitřní výplně je 11 545 g. Výplň byla tvořena převážně zeminou, charakterizující místo nálezu nádoby, byla vložena do tří označených PE sáčků, jako součást dokumentace.



Obr. 2A-13: Zajištěná vnitřní výplň

Seznam použitých materiálů a dodavatelů

Čištění: vlažná voda o teplotě 37 °C (vodovodní řád Letenská 123/4, 118 01 Praha 1 – Malá Strana, ČR, www.arup.cas.cz)

Lepení, injektáže prasklin: K498, výrobce a dodavatel: Kremer Pigmente GmbH & Co. KG, Hauptstr. 41–47, 88317 Aichstetten, Germany, www.kremer-pigmente.com.

Reverzibilita spoje:

1) po nahřátí zdrojem teplého vzduchu pružný je spoj rozebíratelný - po oddělení střepeů jemným tahem se lepidlo odstraní mechanicky pomocí vhodné instrumentace (dentální nástroje), 2) provlhčením spoje - v teplé vodě se oddělí jeho jednotlivé části a adhezivum se z hran jemně mechanicky dočistí, 3) film je dobře rozpustný v acetonu (ev. ethanolu) - injekční stříkačkou lze injektovat spoj a mírným tahem oddálit fragmenty od sebe.

Doplnění ztrát celulósováním

Podkladová forma: dentální vosk značky Ceradent®, rozměry destičky: 170 x 90 x 1,2 – 1,4 mm. Výrobce: SpofaDental a.s., Markova 238, 506 46 Jičín, ČR. Dodavatel: Hu-Fa DENTAL a.s., Moravní 909, 765 02 Otrokovice, ČR, www.hufa.cz.

Výplňový materiál: Arbocel/K498 (4:1)

Plnivo: Arbocel® BC 1000 - prášková, mikrokrytalická, přírodní, vysoce čistá celulósová vlákna. Průměrná délka bílého vlákna: 700 μ, průměrná tloušťka 20 μm, objemová hustota 45–55 kg/m³. Výrobce: J. Rettenmaier & Sons GmbH + Co KG, 73479 Rosenberg, D, www.jrs.de. Dodavatel: P. H. BLIK, ul. Sobieskiego 48, 87-100 Toruň, www.art-konserwacja.pl.

Pojivo: K498.

Ověřená odstranitelnost ztuhlé směsi: 1) lze sloupnout, 2) za sucha mechanicky, 3) kombinovanými procesy mechanického a mokrého ručního čištění (účinnější a rychlejší je teplá voda nanesená lokálně obkládovým bandážováním, hrany střepů se dočistí od stop po výplni za pomoci vhodné chirurgické, zubolékařské instrumentace, na odstraňovanou výplň lze použít i páru, vyvíjenou pod nízkým tlakem ve „steameru“ (1–4 atm) nebo 4) acetonem při použití exikátoru (dovnitř položit Petriho misku s acetonem a exponát), po cca 24 hodin páry acetonu střepy rozlepí, na lomových plochách mohou zůstat drobné zbytky celulózy, které lze odstranit mechanicky.

Doporučené klimatické parametry a kontrola stavu předmětu (kap. 2. 4. 7. str. 59)

Podmínky pro dlouhodobé uložení:

- ✓ stabilní klimatické podmínky: RH 50 ± 5 %, teplota 20 ± 2 °C; bez prudkých výkyvů,
- ✓ omezené působení záření: 50–250 lux, UV 30–75 μw/lumen,
- ✓ zamezení přístupu prachových a plyných polutantů (SO₂, H₂S, CO₂, NO_x, O₃),
- ✓ uložení v uzavřených protiprachových skříních s polyethylenovou podložkou, z materiálu bez těkavých látek v plastových nebo papírových krabicích,
- ✓ zamezit pádu a poškození, umístit v bezpečné vzdálenosti od jiných exponátů,
- ✓ při manipulaci používat bavlněné či latexové rukavice, pravidelně provádět kontrolu objektu, podle potřeby nádobu jemně oprášit - povrch předmětu je citlivý na abrazi.

Podmínky pro krátkodobé expozice:

- ✓ teplota 18–25 °C, kolísání teploty nesmí přesáhnout 1 °C/24 hodin,
- ✓ relativní vlhkost 45–55 %, kolísání relativní vlhkosti nesmí přesáhnout 5 %/24 hod,
- ✓ max. osvětlení 300 lx, UV záření maximálně 75 μW/lm,
- ✓ při úpravách teploty a relativní vlhkosti je nutné sledovat nasycenost vzduchu vodní párou, aby nedocházelo ke kondenzaci vody na chladných částech interiéru.

2B - Doplnění ztrát silnostěnné nízkopálené nestabilní keramiky hmotou Efkoker a povrchová retuš suspenzí Resin plaster

Na řešení této části metodiky - restaurátorském průzkumu se podílely:

Alexandra Kloužková¹, Pavla Dvořáková¹, Mária Kolářová¹, Martina Kohoutková¹, Simona Randáková¹

¹ Vysoká škola chemicko-technologická v Praze, Technická 5, 166 28 Praha 6

restaurátorský zásah - Ljuba Svobodová² (restaurátorka s licencií MK),

² Archeologický ústav AV ČR, Praha, v. v. i., Letenská 123/4, 118 00 Praha 1

Restaurátorský průzkum

V rámci předběžného restaurátorského průzkumu byl zjištěn stav předmětu (viz kap. 2. 3. 1., str. 27) před konzervováním a restaurováním (Obr. 2B-1). Ke zpracování byl převzat umytý archeologický střepový materiál, který obsahoval stylově jednotné silnostěnné, hladké střepy různých velikostí. Vykazovaly původní tloušťku materiálu, tuhovaný povrch byl místy setřený, drobný, popraskaný, často s lysinami a kráterky. Fragmenty měly kromě původních starých lomů i čerstvé, lomy byly čisté, dobře do sebe zapadající. Materiál nevykazoval výrazné poškození, byl pevný, soudržný. Při manipulaci se střepy nerozpadaly a ve vodě se nerozplavovaly. Nebyly zaznamenány stopy po mikrobiologickém napadení, ani sekundární precipitáty, nebyly nalezeny žádné povrchové kontaminanty. Situační tvar dával tušit, že půjde o rozměrnou zásobnici. Z vizuálního průzkumu nešlo na začátku zásahu určit, zda střepový materiál odpovídá kompletnímu plášti nádoby a zda utrpěl výrazné ztráty.



Obr. 2B-1: Stav keramického střepového materiálu při převzetí ke zpracování, celkový pohled

V rámci restaurátorského průzkumu bylo provedeno hodnocení stability střepových hmot kombinací metod (kap. 2. 3., str. 27):

- **Parametry střepových hmot** (kap. 2. 3. 3., str. 29) byly hodnoceny na 3 vzorcích (Tab. 2B-I), které byly po měření vráceny do souboru.

Tabulka 2B-I: Parametry střepových hmot

skladovací vlhkost W [hmotn.%]	nasákavost E [hmotn.%]	objemová hmotnost OH [g.cm ⁻³]	zdánlivá hustota d _{ap} [g.cm ⁻³]	zdánlivá pórovitost P _{ap} [hmotn.%]
5,28 ± 0,24	23,48 ± 1,03	1,63 ± 0,02	2,63 ± 0,02	38,24 ± 1,20

- **Chemické složení** bylo identifikováno metodou rentgenové fluorescenční analýzy (kap. 2. 3. 5. str. 34) spektrometrem ARL 9400. Výsledky jsou uvedeny ve formě protokolu měření (Obr. 2B-2) a tabulky hlavních oxidů (Tab. 2B-II)

PFX-280 Rh 60kV LIF200 LIF220 Ge111 AX03		Measured on : 11/02/2021 14:23:54	
Method : X_UQ_29 mm		X-ray Path : Vacuum	
Kappa List : AnySample		Film Type : PP 4mu	
Shapes & ImpFc : SiO2		Collimator Mask : 29 mm	
Calculated as : Oxides		Viewed Diameter = 29.00 mm	
Case Number : 0 = All known		Viewed Area = 680.52 mm2	
		Viewed Mass = 599.54 mg	
		Sample Height = 0.80 mm	

+ means part of 100% sum			< means wt% < 50		
Z	Wt%	Est.Err.	Z	Wt%	Est.Err.
4	BeO	<	46	PdO	<
5	B2O3	<	47	Ag2O	<
6	CO2	<	48	CdO	<
7	N	<	49	In2O3	<
8	O	<	50	SnO2	<
9	F	<	51	Sb2O3	<
11	Na2O	0.139 0.0070	52	TeO2	<
12	MgO	1.35 0.06	53	I	<
13	Al2O3	19.46 0.20	55	Cs2O	<
14	SiO2	68.43 0.52	56	BaO	0.0648 0.0032
15	P	0.148 0.0074	57	La2O3	<
16	S	<	58	CeO2	<
16	S	0.0318 0.0016	59	Pr6O11	<
16	S	<	60	Nd2O3	<
17	Cl	0.0097 0.0010	62	Sm2O3	<
18	Ar	<	63	Eu2O3	<
19	ZnO	1.54 0.06	64	Gd2O3	<
20	CaO	1.70 0.10	65	Tb2O3	<
21	Sc2O3	<	66	Dy2O3	<
22	TiO2	0.669 0.033	67	Ho2O3	<
23	V2O5	0.0185 0.0009	68	Er2O3	<
24	Cr2O3	0.0127 0.0011	69	Tm2O3	<
25	MnO	0.0169 0.0008	70	Yb2O3	<
26	Fe2O3	6.28 0.16	71	Lu2O3	<
27	Co3O4	<	72	HfO2	<
28	NiO	0.0092 0.0005	73	Ta2O5	<
29	CuO	0.0187 0.0009	74	WO3	<
30	ZnO	0.0101 0.0005	75	Re2O7	<
31	Ga2O3	<	76	OsO4	<
32	GeO2	<	77	IrO2	<
33	As2O3	<	78	PtO2	<
34	SeO2	<	79	Au	<
35	Br	<	80	HgO	<
37	Rb2O	0.0150 0.0007	81	Tl2O3	<
38	SrO	0.0148 0.0007	82	PbO	<
39	Y2O3	<	83	Bi2O3	<
40	ZrO2	<	90	ThO2	<
40	ZrO2	0.0385 0.0043	92	U3O8	<
41	Nb2O5	<	94	PuO2	<
42	MoO3	<	95	Am2O3	<
44	RuO4	<			
45	Rh2O3	<			

Tabulka 2B-II: Základní oxidy ve střepevé hmotě odebraného vzorku [hmotn. %]

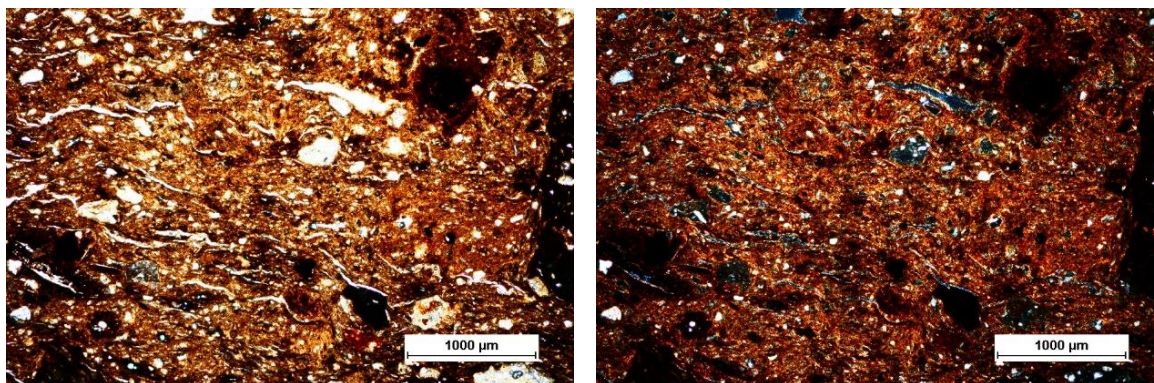
SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	MgO	TiO ₂	Na ₂ O
68	19	6	0,15	1,5	1,7	1,4	0,7	0,1

Obr. 2B-2: Protokol měření XRF

- **Mineralogické složení** bylo stanoveno rentgenovou difrakční analýzou (kap. 2. 3. 4. str. 31) difraktometrem PANanalytical XPERT-3 (záření CuK α v rozsahu 5 – 80 °2 Theta (ADS 20)) na vzorcích: **celkové střepevé hmoty** (rozetřený vzorek střepe), který byl měřen i metodou vnitřního standardu se ZnO, aby bylo určeno také množství amorfů, dále **jemný podíl - jp** (rozplavením malých neumístitelných střepe bylo odděleno ostřivo od jemné matriční fáze) a **hydrotermálně zatížený jemný podíl označený hjp** (tento vzorek byl glykolován a měřen při nízkých úhlech). Výsledná data byla vyhodnocena pomocí softwaru X'Pert HighScore Plus a databáze referenčních vzorků (Tab. 2B - III).

Tabulka 2B - III: Mineralogické složení vzorku Slaný

Minerál	Vzorec	Semikvantita [hmotn. %]			Kvantita [hmotn. %]
		celek	jp	hjt	celek
Křemen	SiO ₂	50	50	silně	25
Albit	(Na, Ca)Al(Si,Al) ₃ O ₈	stopy	stopy	stopy	1
Mikroklin	KAlSi ₃ O ₈	stopy	stopy	stopy	1
Muskovit	KA ₂ .20(Si ₃ Al) _{0.975} O ₁₀ ((OH) _{1.72} O _{0.28})	50	50	silně	20
Montmorilonit	(Ca,Na) _{0.3} Al ₂ (Si,Al) ₄ O ₁₀ (OH) _{2-x} H ₂ O	-	-	slabě	-
Anatas	TiO ₂	stopy	stopy	stopy	<1
amorf.	-	-	-	-	52



Obr. 2B-3: Snímek mikrostruktury keramického výbrusu

Restaurátorský průzkum prokázal, že střepová hmota archeologického nálezu vykazuje vysoký objem pórů komunikujících s povrchem (podélných i kulatých, viz Obr.2B-3), zabírají více jak třetinu z celkového objemu vzorku. S tím souvisí také velmi vysoká hodnota hmotnostní nasákavosti. Póry dosahují širokého rozmezí a byly zdrojem nízké mechanické pevnosti a poškození střepu mrazem.

Konzervátorský a restaurátorský záměr

Požadavek zadavatele byl nádobu kompletně zrestaurovat ve hmotě v závislosti na etice restaurování a v souladu s péčí o archeologický střepový materiál. Vzhledem k charakteru a vlastnostem archeologického keramického materiálu byl navržen následující předpokládaný rozsah restaurátorských zákroků a pomocných materiálů:

1. Fotografická dokumentace – zaznamenávat proces restaurování každého provedeného kroku pro celkové vyhodnocení restaurátorského zásahu. Bude součástí restaurátorské zprávy.

2. Restaurátorský průzkum zaměřit na zjištění stupně degradace, znečištění, rozsah a lokalizace poškození, definování defektů, změn a ztrát. K průzkumu použít neumístěné střepy, preferovat nedestruktivní metody výzkumu.

3. Vyhledat střepové fragmenty.

4. Provést hmotovou rekonstrukci nádoby. K lepení do původního tvaru bylo na základě výsledků provedených průzkumů a experimentálního hodnocení pojiv pro nízkopálený střep (viz příloha 1A) zvoleno reverzibilní akrylátové, vodou ředitelné adhezivum Lascaux 498HV.

5. Doplnit chybějící části. Nově dodané výplně budou nahrazovat nedochované plochy, a tím přispívat k integritě celku. Případné ztráty doplnit do požadovaných tvarů vhodným kompenzačním materiálem. Vzhledem k rozměrově náročným a těžkým nádobě

je třeba zvolit výplňový materiál, který nádobu staticky vyztuží a unese střepy bez pozvolného uvolňování. Proto je navrženo vytvořit mechanickou oporu slepených střepů dolitím hmoty Efkoer, která je vhodná pro doplňování rozsáhlých ztrát u rozměrově náročnějších objektů se silnostěnným pórovitým střepem. Za plastického stavu je snadno zpracovatelná a po vytvrzení mechanicky opracovatelná pomocí jemného broušení. Ztráty doplnit pomocí lití a stěrkování do otevřených forem (Formela značky Münchner Künstler Plastilin) a dotvarovat pomocí hladítek a špachtlí za mokra. Po vysušení ztráty upravit mechanickou retuší do finálního stavu flexibilním brusivem (zn. Siasoft, zrnitost P120 až P400). Veškeré stopy po doplňování ztrát očistit vlažnou vodou za pomoci jemných kartáčků a mořských houbiček. Dodržet rozpoznatelnost nově doplněných částí.

6. Provést barevnou retuš doplněných částí. Předpokládá se, že nádoba bude vystavena v expozici, proto dobarvit doplněné ztráty, za účelem dotvoření celistvosti pláště předmětu, barvami za studena (Vnitřní Latex V 2011, Mistrovské tempery Umton® odpovídající barevnosti). Barvy nanášet štětcí s přírodním chlupem různých velikostí. Při detailním pohledu z blízka musí být zřejmé, co je nově přidáno.

7. Navrhnout doporučené klimatické podmínky uložení a vhodný způsob manipulace s restaurovaným artefaktem v souvislosti se stavem střepového materiálu a s materiály použitými při restaurování.

8. Vypracovat restaurátorskou zprávu podle doporučení k vypracování dokumentace restaurování (podle § 14 a odst. 4 písm. b) zákona č. 20/1987 Sb., o státní památkové péči, v platném znění)

Objednavatel byl s tímto záměrem seznámen, souhlasí s navrženou technologií restaurování i s návrhem materiálové báze. Odsouhlasený postup restaurování může být modifikován podle nových výsledků, zjištěných během prováděných zásahů.

Postup konzervačně-restaurátorských prací

1/ Fotodokumentace. Zachycení stavu materiálu před restaurátorským zásahem, v jeho průběhu a po něm.

2/ Vyhledávání. Střepy byly vyhledány podle anatomie tvarosloví předmětu a charakteristických střepových znaků. Všechny dochované střepy se podařilo shledat a umístit do originálního tvaru (Obr. 2B-4). Vyhledávání bylo vzhledem k rozsáhlému souboru velkých a těžkých střepových jedinců časově i prostorově náročné. Během

vyhledávání byly drobné střepek, tvořící uzavřené celky, slepeny k sobě, což usnadnilo manipulaci a vyhledání jejich pozice v plášti nádoby.



121

Obr. 2B-4: Stav keramického materiálu po vyhledání - plošně rozložený plášť, celkový pohled

5/ Lepení. Před zahájením lepení bylo v rámci průzkumu zjištěno, že se jedná o pórovitý, středně hrubý střepek, s tupou linií lomových ploch. Průměrná velikost částic je relativně masivní, v lomu je patrné ostřívo. Vyhledané střepek byly proto postupně slepeny tenkou vrstvou disperzního adheziva (Lascaux 498HV) a následně slícovány do původního tvaru nádoby (Obr. 2B-5).



Obr. 2B-5: Stav nádoby během postupného lepení vyhledaných fragmentů

Nádoba byla lepena ode dna směrem vzhůru. Spleené dno s rovnou základnou a větší tloušťkou, vytvořilo výchozí bod pro umístování dalších střepů. Nádoba byla lepena na etapy, postupně ode dna, spirálovitě směrem k hornímu okraji. Lepení komplikovaly velké a těžké střepy, proto byly problematické partie plece, hrozící sesunutím vlastní vahou, lepeny a zároveň tmeleny tavným adhezivem EVA za vzniku tzv. adhezivních oporných „můstků“. Pro spleení pláště zásobnice byla vytvořena podpurná konstrukce z kartónového válce, z kterého vycházel „deštník“ z balzových podpěr. Další podporu tvořily balzové trámy, vyplňující prostor mezi dochovanými plochami (Obr. 2B-6). Po dolepení všech střepů byl zjištěn rozsah chybějících částí.



Obr. 2B-6: Stav nádoby po spleení vyhledaných fragmentů, celkový pohled

4/ Injektáže trhlin, prasklin. Disperzní adhezivum (Lascaux 498 HV) bylo stěrkováním aplikováno do hlubokých rozestoupených prasklin, odštípaných lomových ploch, spár a nerovností, aby nedošlo k olamování okrajů trhlin a k postupnému zvětšování defektů. Do rozestoupených prasklin bylo aplikováno tavné adhezivum (EVA).

5/ Doplnění původního tvaru sádrováním. Ztráty, velké spáry a nerovnosti byly doplněny sendvičovým sádrováním. (viz kap. 2. 4. 5., str. 51)

5a/ Krátkodobá separace dochovaného střepového materiálu. Před vlastním sádrováním byly hranice doplňovaných keramických ploch oboustranně natřeny vrstvou separátoru (zn. Lukopren®) (viz kap. 2. 4. 5., str. 52).

5b/ Doplnování ztrát v ploše → lití na hladinu. Způsob doplnění všech chybějících částí byl proveden s respektováním předmětu a autentické hmoty. Chybějící části nádoby byly postupně doplňovány od spodní části výše a ve směru od leva doprava. Veškeré ztráty ve hmotě byly v první vrstvě dolity standardním způsobem suspenzí Efkoer (viz kap. 2. 4. ř., str. 53 a příloha 1B, str. 97), nanesenou a vlitou do otevřených forem z formely. Přiměřeně velký plát formely byl přiložen a přitlačen k vnitřní existující části těla originálu, a tak jej okopíroval. Tato forma byla upevněna z vnitřní strany

originálu v doplňované oblasti a na ni byla nanesena suspenze, která byla tvarována do požadovaného tvaru pomocí hladítek a špachtlí. Modeláž a korekce hranic a povrchu doplňovaných míst byly provedeny před úplným ztvrdnutím hmoty v době, kdy je plastická. Na povrchu doplňků z modelářské hmoty se nacházela okem viditelná vlákna laminátových odřezků (Obr. 2B-7), působících rušivě v okolí hladkého střepevého materiálu. *Obr. 2B-7: Detail povrchu z hmoty Efko*



5c/ Vyhlazení podkladové vrstvy.

Podkladová vrstva byla kompletně po celé zásobnici překryta druhou vrstvou sádrové suspenze Resin Plaster. Byla nanášena modelářskou špachtlí a sádrový povrch byl okamžitě dohlazen do požadovaného tvaru zubolékařskou špachtlí a hladítky (Obr. 2B-8). Sádra Resin Plaster byla zvolena proto, že je vhodná pro výrobu doplňků pro silnostěnnou, těžkou keramiku, je lehce opracovatelná a doplněná místa opticky odpovídají charakteru povrchu a struktuře keramiky (viz příloha 1B, str. 97).



Obr. 2B-8: Postupné doplňování ztrát doléváním kompenzačních materiálů ve dvou vrstvách

5d/ Tmelení spár. Velké spáry, obklopující lepené, spoje a drobné spáry byly tmeleny sádrováním Resin Plaster přímo na předmětu. Mírným tlakem se sádrovou kaší vyplnila a zahladila poškozená místa.

6a/ Mechanické retušování za sucha. Po zaschnutí sádry byla odstraněna vnitřní podpurná konstrukce a bylo přistoupeno k finální oboustranné tvarové korekci doplněné sádrové plochy mechanickým zabroušením jemným flexibilním brusivem (zn. Siasoft, zrnitost P120 až P400) a brusným rounem (fialové, firmy Sia Abrasives Industries, Switzerland) do ideálního vzhledu nádoby tak, aby co nejvíce odpovídala zdrojovému materiálu. K odstranění všech zbytků po sádrování, i sádrového prachu

zaneseného v pórech keramického povrchu, byly použity zubolékařské nástroje, jehly a dočišťovací tužka se skleněným vláknem.

6b/ Mechanické retušování za mokra. Mokřím čištěním byl předmět postupně zbaven veškerých stop po sádrování (sádrového prachu) a separátoru (Obr. 2B-9). Byly postupně odstraňovány ručním mechanickým čištěním deionizovanou vodou, krouživým stíravým pohybem mořské houbičky, mulových kompresů jemným štětkem.



124

Obr. 2B-9: Stav po plastické rekonstrukci chybějících částí, celkový pohled

7/ Barevná retuš doplněných míst. Před barvením byly analyzovány barevné složky, odstíny, tóny, intenzity barev, valéry, nacházející se na povrchu originálu. Před aplikací barvy na sádrové doplňky bylo namícháno několik zkušebních vzorků, které byly po zaschnutí opticky porovnávány s restaurovaným předmětem. Barevná retuš byla provedena tak, aby byl zákrok v souladu s etikou restaurování, tj. co nejméně viditelný, při pohledu zblízka ale čitelný a splňující žádané estetické vlastnosti. Záměrem retuše byl průnik barvy do sádrového střeptu tak, aby při drobném otluku jeho povrchu nedošlo k vizuálně nevhodnému odkrytí bílé sádry. Jemným štětečkem byla individuálně tak,



Obr. 2B-10: Detail vrstvení barevné retuše na doplněné ztráty

aby nedošlo k průniku barvy mimo sádrové plomby, tedy k zasažení originálu (Obr. 2B-10).

10/ Vypracování restaurátorské zprávy. Po dokončení restaurátorských prací byla vyhotovena restaurátorská zpráva s fotografickou dokumentací ve smyslu vyhlášky MK ČR č. 66/1988 Sb. Ve zprávě jsou navrženy vhodné podmínky uložení a manipulace s předmětem. Kopie restaurátorské zprávy je v souladu se zákonem ČNR č. 106/1999 Sb., o svobodném přístupu k informacím, umístěna v Archeologickém ústavu AV ČR, Praha, v. v. i., Letenská 123/4, 118 01 Praha 1 – Malá Strana, v Oddělení informačních zdrojů - Archivu nálezových zpráv.

Stav předmětu po konzervování a restaurování (Obr. 2B-11)

Přibližné rozměry: výška nádoby: 720 mm, \varnothing okraje: 400 mm, \varnothing dna: 240 mm.

Tloušťka střeplů: cca 10 mm \pm 2 mm (silnostěnná keramika). Hmotnost: 19 280 g.

Cílem restaurátorského záměru a zásahu byla kompletní rekonstrukce rozměrově výrazné zásobnice ze Slaného², což bylo splněno. Nádoba je slepená ze 153 střeplů. Lepené spoje jsou viditelné. Lomy jsou přesně ohraničené. Nádoba není kompletní. Největší ztráty jsou převážně v oblasti maximální výdutě (2/3). Dále chybí cca 1/2 okraje, trojúhelníkovitý střepl z plece a drobné ztráty v rámci celého plášťového materiálu. Dno je kompletní. Povrch střeplového materiálu je zrnitý, pokrytý výmolky, trhlinami, vlásečnicovými nepravidelnými trhlinkami atd. Tvarová deformace, nacházející se lokálně v okolí plece a spodku zásobnice, byla způsobena tlakem velkého objemu zeminy v místě dlouhodobého uložení dnes zrestaurovaného předmětu. Zakřivené fragmenty (druhotně poškozené střepl) nelze přesně sloučit do původního tvaru, protože k sobě přesně „nepasují“. Vzhledem k nepřítomnosti spojovacích a navazujících střeplů k nádobě se nepodařilo umístit dva střepl z okraje a pět střeplů z těla. Tyto střepl byly zasáčkované, označeny a přiloženy k exponátu. Chybějící části narušovaly fyzickou stabilitu nádoby, proto byla doplněna vhodným kompenzačním materiálem. Pro zvýšení stability byly chybějící střepl nahrazeny sádrovými vložkami. Tvar zásobnice byl dobře čitelný, dochovalo se dostatečné množství původního materiálu a ideální profil, proto se daly ztráty lokálně doplnit „naklonováním“ dle zachovalých částí. Spáry byly také dosádrovány. Ztráty jsou dolity

² Přesná lokalizace výzkumu je Slaný – Velvary. Katastr Dolín, okres Kladno. Zásobnice byla vykopána 16. 11. 2018. Přibližná datace nálezů: Starší halštat Ha C – D1, cca 800-600 př. n. l., bylanská kultura.

ze sádrových suspenzí Efkoer a Resin Plaster (*kap. Seznam použitých materiálů a dodavatelů*). Zadavatelka práce si nepřála doplnit okraj. Vtvořené doplňky byly na vnějších plochách dobarveny lokální retuší, která svým jasně identifikovatelným koloritem identifikuje ztráty ve hmotě originálu. Použité postupy, nástroje a nově vnesené materiály podle dostupných informací nepoškozují keramický materiál.



Obr. 2B-11: Celkový pohled na stav nádoby po rekonstrukci

Seznam použitých materiálů a dodavatelů

Lepení, injektáže prasklin: Lascaux 498HV, výrobce: Lascaux Farbenfabrik Zürichstrasse 42, CH-8306 Brüttsellen, Swiss, www.lascaux.ch. Dodavatel: Deffner & Johann spol. s r.o. Absolonova 73, 624 00 Brno, ČR, www.web.iol.cz/deffner-johan/.

Reverzibilita (dle zkušeností autorky restaurátorského zásahu): 1) lepený spoj je po nahřátí zdrojem teplého vzduchu pružný a rozebíratelný, po oddělení střepů jemným tahem se lepidlo odstraní mechanicky pomocí vhodné instrumentace, 2) provlhčením spoje v teplé vodě dojde k oddělení jednotlivých částí lepeného spoje, pak se z hran střepů adhezivum jemně mechanicky dočistí, 3) film je dobře rozpustný v acetonu ev. etanolu, injekční stříkačkou lze injektovat spoj a mírným tahem oddalovat fragmenty od sebe.

Tavné, termoplastické, transparentní adhezivum EVA (etylen-vinylacetát) s obchodním názvem Bühnen – A22075.1-300. Výrobce: Bühnen GmbH & Co. KG, Hintern Sielhof 25, 288277 Bremen, Germany, www.buehnen.de.

Reverzibilita: termoplasticita umožňuje spoj lokálním nahřáním snadno opětovně uvolnit, popř. korigovat prostorové nepřesnosti. Vrstva tavného lepidla se z lomových ploch oddělených střepů po vychladnutí lehce sloupne a dočistí jemnými zubolékařskými nástroji mechanicky za sucha. „Zatuhlé“ přetoky lze odstranit žiletkou či skalpelem. Za tepla nahřátou kovovou restaurátorskou špachtlí či horkovzdušnou pistolí. Po nahřátí velmi jemně, mírným tlakem proti sobě se lepené kusy odpojí a případné stopy lepidla se z lomových ploch dočistí mechanicky nebo ethanolem. Ztuhlé tavné adhezivum jde dokonale odstranit ethanolem. Etanol navzlíná do spoje a po 30 sekundách působení lze tavné lepidlo odloupnout.

Doplnění ztrát sádrováním

Krátkodobá separace dochovaného střepevého materiálu: **Separátor neředěný PND 47–325–96 Lukopren®**. Vodou ředitelný separační přípravek, který vytváří po odpaření vody mechanicky odolný film, jenž lze po odseparování omýt vodou. Výrobce: Lučební závody a.s. Kolín, Pražská 54, 280 24 Kolín, ČR, www.lucebni.cz.

Podkladová forma: Formela značky Münchner Künstler Plastilin. Výrobce: Franz KOLB Nacht, Mnichov, D. Dodavatel: Výtvarné potřeby Zlatá Loď s. r. o., Národní 37 – Platýz, 110 00 Praha 1, ČR, www.zlatalod.cz.

Reprodukční materiál: **Modelářská hmota Efkoer**, dodavatel: EFKO ART, s.r.o., Fügnerova 1, 67801 Blansko, ČR, www.efkoart.cz.

Odstranitelnost: 1) suché mechanické čištění - v případě nutnosti se dají výplně snadno odstranit mechanicky za sucha, 2) vodní procesy čištění - voda je postačující prostředek, hrany střepů se dočistí od stop po tmelu za pomoci vhodné chirurgické, zubolékařské instrumentace, 3) lze použít i rozpouštědla např. etanol nebo aceton.

Resin Plaster, výrobce: PÉBEO, 305, Avenue du Pic de Bertagne, 13420 Gemenos, France, www.pebeo.com.

Odstranitelnost: 1) suché mechanické čištění - sádrové výplně lze snadno sejmut a odstranit mechanicky za sucha, 2) vodní procesy čištění - event. přikládání mokrých obkladů, lomové plochy střepů lze podle potřeby mechanicky dočistit od stop po sádrové výplni za pomoci vhodné chirurgické, zubolékařské instrumentace.

Barevná retuš

Nosič barvicích prostředků: **Vnitřní Latex V 2011**, bílý, matný (Kap. 2. 4. 6. Povrchová úprava doplněných ztrát), výrobce: HET, spol. s r.o., výrobní závod, 417 65, Ohnič u Teplic, ČR, www.het.cz.

Odstranitelnost: 1) okamžitě po nanesení se nanesená barva dá odstranit navlhčenou houbičkou, 2) po zaschnutí se barevná vrstva dá sloupnout nebo mokrou houbičkou změkčit a dočistit pomoci vhodné chirurgické, zubolékařské instrumentace.

Mistrovské tempery Umton® (ČR). Výrobce: Umton Barvy, Slovanská 34, 405 02 Děčín 6, ČR, www.umton.cz: Čerň kostní, Neapolská žlut, Okr zlatý, Okr střední, Siena pálená, Siena přírodní, Umbra přírodní, Van Dyckova hněd, Kaselská hněd, Běloba titanová.

Odstranitelnost: 1) okamžitě po nanesení se nanesená barva dá odstranit navlhčenou houbičkou, 2) po zaschnutí se barevná vrstva dá sloupnout nebo mokrou houbičkou změkčit a dočistit pomoci vhodné chirurgické, zubolékařské instrumentace.

Doporučené klimatické parametry a kontrola stavu předmětu (kap. 2. 4. 7. str. 59)

Podmínky pro dlouhodobé uložení:

- Stabilní klimatické podmínky: RH 50 ± 5 %, teplota 20 ± 2 °C; bez prudkých výkyvů.
- Omezené působení záření: 50–250 lux, UV 30–75 $\mu\text{W/lumen}$.
- Zamezení přístupu prachových a plynných polutantů (SO_2 , H_2S , CO_2 , NO_x , O_3).
- Uložení v uzavřených protiprachových skříních s polyethylenovou podložkou, z materiálu bez těkavých látek.
- Zamezit pádu a poškození. Umístit v bezpečné vzdálenosti od jiných exponátů.
- Při manipulaci používat bavlněné či latexové rukavice. Pravidelně provádět kontrolu objektu. Podle potřeby nádobu jemně oprášit. Povrch předmětu je citlivý na abrazi.

Podmínky pro krátkodobé expozice

Pro výstavní účely byly navrženy podmínky ochranného režimu:

- Teplota 18–25 °C, kolísání teploty nesmí přesáhnout 1 °C/24 hodin,
- Relativní vlhkost 45–55 %, kolísání relativní vlhkosti nesmí přesáhnout 5 %/24 hodin,
- Max. osvětlení 300 lx, UV záření maximálně 75 $\mu\text{W/lm}$,
- Při úpravách teploty a relativní vlhkosti je nutné sledovat nasycenost vzduchu vodní párou, aby nedocházelo ke kondenzaci vody na chladných částech interiéru.

2C - Restaurování koflíku převzatého „in situ“ s použitím výplňového samotvrdnouceho tmelu

Na řešení této části metodiky - restaurátorském průzkumu se podílely:

Alexandra Kloužková¹, Pavla Dvořáková¹, Mária Kolářová¹, Martina Kohoutková¹, Simona Randáková¹

¹ Vysoká škola chemicko-technologická v Praze, Technická 5, 166 28 Praha 6

restaurátorský zásah - Ljuba Svobodová² (restaurátorka s licencií MK)

² Archeologický ústav AV ČR, Praha, v. v. i., Letenská 123/4, 118 00 Praha 1

Předběžný restaurátorský průzkum

Ke zpracování byl převzat archeologický střepový materiál v bloku *in situ* (kap. 2. 4. 2, str. 43), zabalený ve fólii. Rozbitá nádoba si zachovala pozici signalizující typicky koflíkovitý tvar, byla však zborcena tlakem hlinitopísčité zeminy, která ji současně fixovala. Na povrchu leželo pár střepů, různých velikostí, uvolněných zejména z horní části nádoby. Střepey z okrajů torza vyčnívaly do prostoru. Stylově jednotné střepey byly oboustranně masivně znečištěny nánosy zeminy z archeologického naleziště. Toto znečištění však nenarušuje materiálovou podstatu předmětu, protože je pouze povrchové. Přilnuté nečistoty výrazně znesnadňují barevnou typologii. Střepey vykazovaly různé typy poškození: okolí lomových ploch je degradované a lomy střepů jsou drolivé. Stopy po mikrobiologické korozi ani sekundární precipitáty nebyly zaznamenány.

Z vizuálního průzkumu nelze na začátku pracovního řetězce s jistotou určit, zda střepový materiál odpovídá kompletnímu plášti nádoby nebo část chybí, viz Fotografická dokumentace.



Obr. 2C-1: Stav keramického střepového materiálu při převzetí ke zpracování, celkový pohled

V rámci restaurátorského průzkumu bylo provedeno hodnocení stability střepových hmot pomocí kombinací metod (kap. 2. 3., str. 27).

- **Parametry střepových hmot** (kap. 2. 3. 3., str. 29) byly hodnoceny na 3 vzorcích (Tab. 2C-I), které byly po měření vráceny do souboru.

Tabulka 2C-I: Parametry střepových hmot

skladovací vlhkost W [hmotn.%]	nasákavost E [hmotn.%]	objemová hmotnost OH [gcm ⁻³]	zdánlivá hustota d _{ap} [gcm ⁻³]	zdánlivá pórovitost P _{ap} [hmotn.%]
5,79 ± 1,24	22,54 ± 0,85	1,65 ± 0,02	2,62 ± 0,03	37,15 ± 1,08

- **Chemické složení** bylo identifikováno metodou rentgenové fluorescenční analýzy (kap. 2. 3. 5., str. 34) spektrometrem ARL 9400. Výsledky jsou uvedeny ve formě protokolu měření (Obr. 2C-2) a tabulky hlavních oxidů (Tab. 2C-II)

+ means part of 100% sum			< means wt% < 50			< e means wt% <			Est Err.			
Z	Wt%	Est Err.	Z	Wt%	Est Err.	Z	Wt%	Est Err.	Z	Wt%	Est Err.	
4	BeO	<	46	EdO	<	47	Ag2O	<	48	CdO	<	
5	B2O3	<	49	In2O3	<	50	SnO2	<	51	Sb2O3	<	
6	CO2	<	52	TeO2	<	53	I	<	54	CeO2	<	
7	N	<	55	Pr6O11	<	56	BaO	0.109	57	La2O3	<	
8	O	<	58	CeO2	<	59	FeO	<	60	Mn2O3	<	
9	F	<	61	CoO	<	62	Sm2O3	<	63	Eu2O3	<	
11	Na2O	0.854	0.042	64	Gd2O3	<	65	Tb4O7	<	66	Dy2O3	<
12	HgO	2.49	0.08	67	Ho2O3	<	68	Er2O3	<	69	Tm2O3	<
13	Al2O3	19.35	0.20	70	Tb2O3	<	71	Lu2O3	<	72	HfO2	<
14	SiO2	60.35	0.54	73	Ta2O5	<	74	W2O5	<	75	Re2O7	<
15	P2O5	1.12	0.05	76	OsO4	<	77	IrO2	<	78	PtO2	<
16	S	<	79	Au	<	80	HgO	<	81	Ti2O3	<	
17	Cl	<	82	PbO	<	83	Bi2O3	<	84	Nb2O5	<	
18	Ar	<	85	Bi2O3	<	86	TbO2	<	87	ThO2	<	
19	K2O	2.25	0.07	88	UO2	<	89	PuO2	<	90	Am2O3	<
20	CaO	5.11	0.16	91	Am2O3	<	92	Am2O3	<	93	Am2O3	<
21	Sc2O3	<	94	Am2O3	<	95	Am2O3	<	96	Am2O3	<	
22	TiO2	0.934	0.046	97	Am2O3	<	98	Am2O3	<	99	Am2O3	<
23	V2O5	0.0261	0.0013	99	Am2O3	<	100	Am2O3	<	101	Am2O3	<
24	Cr2O3	0.0194	0.0017	102	Am2O3	<	103	Am2O3	<	104	Am2O3	<
25	MnO	0.0779	0.0039	105	Am2O3	<	106	Am2O3	<	107	Am2O3	<
26	Fe2O3	7.11	0.17	108	Am2O3	<	109	Am2O3	<	110	Am2O3	<
27	Co3O4	<	111	Am2O3	<	112	Am2O3	<	113	Am2O3	<	
28	NiO	<	114	Am2O3	<	115	Am2O3	<	116	Am2O3	<	
29	CuO	<	117	Am2O3	<	118	Am2O3	<	119	Am2O3	<	
30	ZnO	<	120	Am2O3	<	121	Am2O3	<	122	Am2O3	<	
31	Ga2O3	<	123	Am2O3	<	124	Am2O3	<	125	Am2O3	<	
32	GeO2	<	126	Am2O3	<	127	Am2O3	<	128	Am2O3	<	
33	As2O3	<	129	Am2O3	<	130	Am2O3	<	131	Am2O3	<	
34	SeO2	<	132	Am2O3	<	133	Am2O3	<	134	Am2O3	<	
35	Br	<	135	Am2O3	<	136	Am2O3	<	137	Am2O3	<	
37	Rb2O	0.0107	0.0005	138	Am2O3	<	139	Am2O3	<	140	Am2O3	<
38	SrO	0.0496	0.0009	141	Am2O3	<	142	Am2O3	<	143	Am2O3	<
39	Y2O3	0.0067	0.0008	144	Am2O3	<	145	Am2O3	<	146	Am2O3	<
40	ZrO2	0.0428	0.0047	147	Am2O3	<	148	Am2O3	<	149	Am2O3	<
41	Nb2O5	<	150	Am2O3	<	151	Am2O3	<	152	Am2O3	<	
42	MoO3	<	153	Am2O3	<	154	Am2O3	<	155	Am2O3	<	
44	RuO4	<	156	Am2O3	<	157	Am2O3	<	158	Am2O3	<	
45	Rh2O3	<	159	Am2O3	<	160	Am2O3	<	161	Am2O3	<	

Tabulka 2C-II: Základní oxidy ve střepové hmotě [hmotn.%]

SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	MgO	TiO ₂	Na ₂ O
60	19	7	1,1	2,3	5	2,5	0,9	0,9

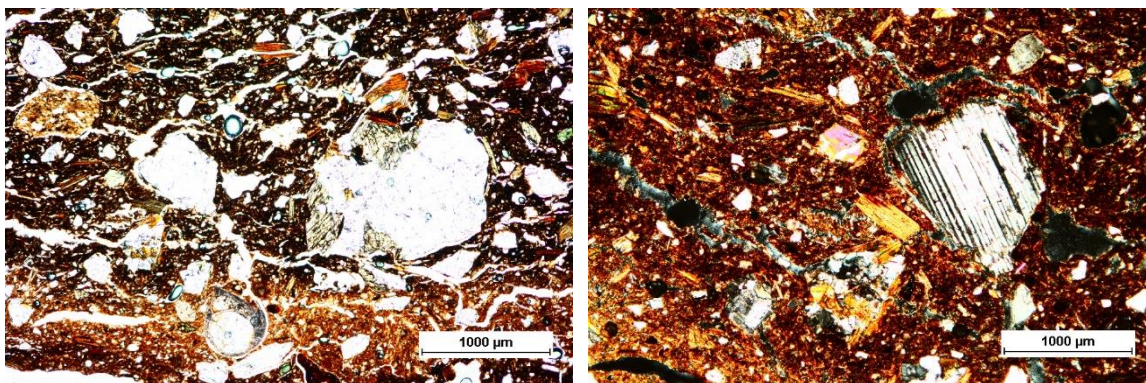
Obr. 2C-2: Protokol měření XRF

- **Mineralogické složení** bylo stanoveno rentgenovou difrakční analýzou (kap. 2. 3. 4. str. 31) difraktometrem PANanalytical XPERT-3 (záření CuK α v rozsahu 5 – 80 °2 Theta (ADS 20)) na vzorcích: **celkové střepové hmoty** (rozetřený vzorek střepu), který byl měřen i metodou vnitřního standardu se ZnO, aby bylo určeno také množství amorfu, dále **jemný podíl - jp** (rozplavením malých neumístitelných střepů bylo odděleno ostřívo od jemné matriční fáze) a **hydrotermálně zatížený jemný podíl označený hjp** (tento vzorek byl glykolován a měřen při nízkých úhlech). Výsledná data byla vyhodnocena pomocí softwaru X'Pert HighScore Plus a databáze referenčních vzorků (Tab. 2C - III).

Tabulka 2C - III: Mineralogické složení vzorku Vestec

Minerál	Vzorec	Semikvantita [hmotn. %]			Kvantita [hmotn. %]
		celkový vzorek	jp	hjp	celkový zorek
Křemen	SiO ₂	60	60	Silně	32
Albit	NaAlSi ₃ O ₈	stopy	stopy	stopy	-
Mikroklin	KAlSi ₃ O ₈	< 5	< 5	velmi slabě	5
Muskovit	KAl _{2,2} (Si ₃ Al) _{0,975} O ₁₀ ((OH) _{1,72} O _{0,28})	40	40	slabě	10
Anatas	TiO ₂	stopy	stopy	stopy	-
Monmorilonit	(Ca,Na) _{0,3} Al ₂ (Si,Al) ₄ O ₁₀ (OH) _{2-x} H ₂ O	-	-	slabě	-
Plagioklas	(Ca _{0,64} Na _{0,32})(Al _{1,775} Si _{2,275} O ₈)	-	-	-	20
Amorfni fáze	-	-	-	-	33

Pomocí mikroskopie byla identifikována jílovitá matrix s jemnozrnnou slídou a další příměsi např. amfiboly a zbytky schránek (Obr. 2C-3).



Obr. 2C-3: Snímky mikrostruktury keramického výbrusu, vlevo PPL, vpravo XPL

Restaurátorský průzkum prokázal, že střepová hmota vykazuje vysoký objem pórů komunikujících s povrchem, které zabírají více jak třetinu z celkového objemu vzorku. S tím souvisí také velmi vysoká hodnota hmotnostní nasákovatosti a nízké pevnosti. Zdrojem degradace byla kombinace procesu stárnutí nízkopálené keramiky a nízké mrazuvzdornosti s možností mechanického poškození při užívání nebo až při uložení.

Konzervátorský a restaurátorský záměr

Požadavek zadavatele byl nádobu kompletně zrestaurovat v souladu s etikou restaurování, byl navržen předpokládaný rozsah restaurátorských zákroků a nástin použité pomocné materiálové báze:

1. Fotografická dokumentace celého procesu bude součástí restaurátorské zprávy.

2. Restaurátorský průzkum - zaměřit na zjištění stupně degradace, znečištění, rozsah a lokalizace poškození apod. Při průzkumu použít převážně nedestruktivní metody, v případě odběru hmoty využít neumístěné střepy.

3. Vypreparovat střepový materiál in situ a použít nástroje: týkové modelovací špachtle různých typů, základních tvarů a velikostí. Nejprve vybrat uvolněné volně ložené střepy, pak teprve odstranit výplň a umístit do dvojitého plastového sáčku.

4. Odstranit znečišťující depozity. Podle výsledků předběžného restaurátorského průzkumu zvolit nejlepší metodiku čištění. Použít následující nástroje: mořskou houbu, klasické zubní kartáčky, jednosvazkový tzv. singl kartáček, kartáčky na ruce s měkkými štětinami. Narušený materiál zbavit nečistot pouze mechanicky za sucha pomocí týkových špachtlí, retušovacích štětců a dočišťovacích štěteček vhodných velikostí a tvarů. Před konsolidováním odstranit co největší množství nečistot.

5. U narušeného střepového materiálu provést konsolidaci. Střepy nakonsolidovat disperzním konsolidačním systémem na bázi akrylátů, který byl testován v rámci

experimentálního hodnocení konsolidace na modelových vzorcích (kap. 2. 4. 3., str. 47) tj. disperze K498, 10hmotn. % roztok v deionizované vodě nanesený v jedné vrstvě. Roztok nanášet dle situace ponorem nebo štětcem.

6. Vyhledat střepové fragmenty.

7. Provést hmotovou rekonstrukci nádoby. Středně silné střepy slepit do originálního tvaru emulzí akrylátového polymeru Primal® B-60A.

8. Doplnit chybějící části. Případné ztráty doplnit do požadovaných tvarů vhodným kompenzačním materiálem. Pro mechanickou oporu slepených střepů je navrženo dotmelení z modelářské hmoty Modostuc® Putty Filler, odstín Walnut Nogal. Má vyhovující konzistenci a nabírá se přímo z nádoby od výrobce. Snadno se nanáší, po vytvrzení nepraská a lehce se mechanicky opracovává pomocí jemného broušení do ideálního tvaru. Výhodou je, že ošetřovaný se povrch se nemusí krátkodobě separovat. Ztráty doplnit ručním tmelením do otevřených forem z dentálního vosku (zn. Cerdent®) a ručně dotvarovat. Po vysušení ztráty upravit mechanickou retuší za sucha do finálního stavu flexibilním brusivem (zn. Siasoft, zrnitost P120 až P400, P800) a dodržet rozpoznatelnost nově doplněných částí.

9. Doplnit identifikaci objektu bílou tuží na dno dle požadavku zadavatele.

10. V souvislosti se stavem střepového materiálu a s materiály použitými při restaurování **navrhnout doporučené klimatické podmínky uložení** a vhodný způsob manipulace s restaurovaným artefaktem.

11. Podle doporučení k vypracování dokumentace zásahu (dle § 14 a odst. 4 písm. b) zákona č. 20/1987 Sb., v platném znění [1]) **vypracovat restaurátorskou zprávu.**

Objednavatel byl s tímto záměrem seznámen, souhlasí s navrženou technologií restaurování i s návrhem návrhu materiálové báze. Odsouhlasený postup restaurování lze modifikovat podle nových výsledků, zjištěných během prováděných zásahů.

Postup konzervačně-restaurátorských prací

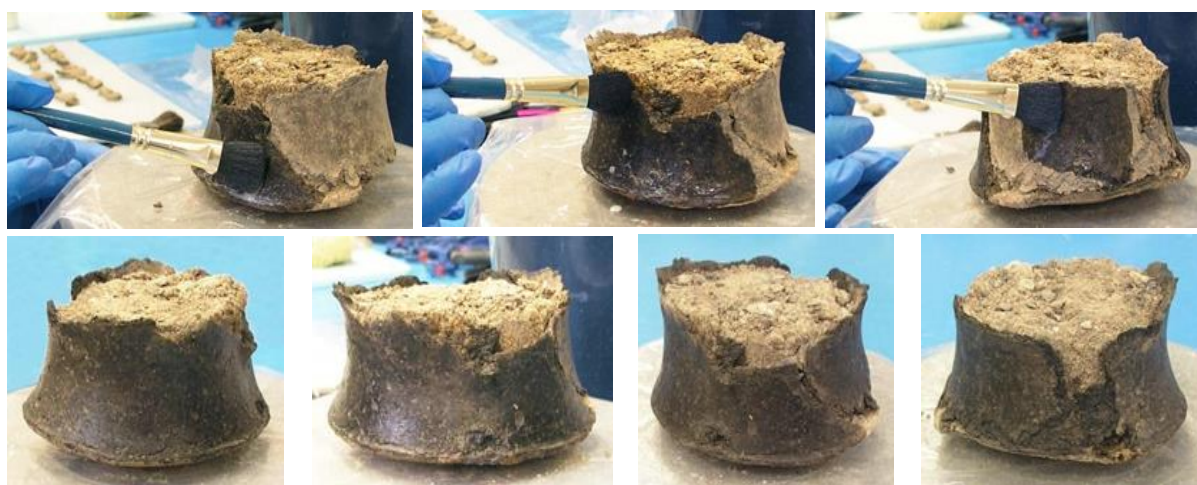
1. Fotodokumentace. Zachycení stavu materiálu před restaurátorským zásahem, v jeho průběhu a po něm.

2/ Vypreparování střepů. Po vybalení z PE fólie bylo kompaktní torzo odděleno od volně ložených střepů (Obr. 2C-4), které byly ručně vybírány z hliněné vrstvy.

3/ Mechanické odstranění nečistot z keramických střepů za sucha Vzhledem k vysoké nestabilitě materiálu bylo provedeno pouze suché, mechanické očištění povrchu střepů od pozůstatků zeminy z místa exkavace. V rámci mechanického čištění za sucha byly nejprve volně ložené střepy i koflík na lůžku velice precizně, kontrolovaně, milimetr po milimetru, oprašovány od zeminy. Následně pokračovalo opatrné ruční čištění jak pláště koflíku, tak uvolněných volně ložených střepů týkovými špachtlemi různých tvarů a dočišťovacími štětečky po jemném suchém kartáčování retušovacími štětci. Čištění probíhalo velmi jemně, aby s nečistotami nedocházelo k odstraňování originálního povrchu. Na mechanické čištění lomových hran drobných střepů bylo rezignováno vzhledem k riziku poškození původního materiálu a z toho vyplývající nemožnosti dohledatelnosti a následné fyzické rekonstrukce lepením.



Obr. 2C-4: Centrální torzo koflíku po vybalení, volně ložené střepy uvolněné z koflíku



Obr. 2C-5: Stav keramického pláště během konsolidaci nátěrem na lůžku z výplně (nahore), stav horních částí keramického pláště po konsolidaci nátěrem na lůžku z výplně (dole)

4a/ Strukturální i povrchová konsolidace střepového pláště v bloku in situ.

Z vnější strany byl mechanicky očištěný střepový plášť nakonsolidován disperzním stabilizačním roztokem (10% roztok K498, ředěný deionizovanou vodou), nátěrem jemným sobolím štětcem, aby bylo možné po zaschnutí konsolidantu střep co nejbezpečněji oddělit od vnitřní výplně. Nejprve byly natřeny horní plochy koflíku (Obr. C2-5, nahoře). Tvar koflíku umožňoval kombinovat čištění ploch a jejich postupnou konsolidaci. Po zaschnutí (Obr. C2-5, dole) byl koflík obrácen a po mechanickém očištění plochy dna (Obr. C2-6, vlevo) byla provedena jeho konsolidace (Obr. C2-6, uprostřed a vpravo). Po zaschnutí celoplošného konsolidačního nátěru (Obr. 2C-7, vlevo) bylo střepové torzo bez problémů vyjmuto z výplně (Obr. 2C-7, uprostřed). Nazávěr byl nakonsolidován, po lehkém mechanickém očištění za sucha, i vnitřní prostor koflíku (Obr. 2C-7, vpravo).



Obr. C2-6: Stav dna pláště před a po mechanickém čištění za sucha na lůžku z výplně (1. a 2. zleva), konsolidace nátěrem na lůžku z výplně (uprostřed a vpravo)



Obr. C2-7: Stav dna pláště po konsolidaci nátěrem na lůžku z výplně (vlevo), stav keramického pláště po vyjmutí z lůžka výplně (střed), stav vnitřních ploch pláště po konsolidaci (vpravo)

4b/ Strukturální i povrchová konsolidace volně ložených 27střepů byla provedena

celoplošným ponorem do konsolidačního roztoku za normálního tlaku (Obr.C2-8, vlevo). Střepy pak byly kladeny na potravinářskou fólii (Obr. 2C-8, vpravo) a během kontrolovaného zasychání byly štětcem odsávány nevsáknuté kapky roztoku.



Obr.C2-8: Konsolidace ponorem (vpravo), volně ložené střepy po konsolidaci (vlevo)

5/ Vyhledávání. Nakonsolidované střepy byly vyhledány zejména podle původní polohy na předmětu. Velmi snadno byly identifikovány střepy patřící k okraji a podle charakteristické profilace také střepy patřící k tělu koflíku. Vyhledávání značně stěžovaly silně degradované lomové plochy jednotlivých střepů.

6/ Lepení. Vyhledané střepy byly postupně slepeny tenkou vrstvou disperzního adheziva (Primal® B-60A) a následně slícovány do původního tvaru nádoby. Nádobka byla lepena na etapy, zvlášť okraj, resp. horní část koflíku (Obr.C2-9, vlevo) a zvlášť střepy patřící ke spodní části koflíku (Obr.C2-9, uprostřed a vpravo).

135



Obr.C2-9: Stav nádoby během postupného lepení vyhledaných fragmentů, celkový pohled

Po dolepení všech střepů byl zjištěn rozsah chybějících částí koflíku (Obr. C2-10).



Obr.2C-10: Stav nádoby po slepení vyhledaných fragmentů, celkový pohled

7/ Injektáže trhlin, prasklin. Disperzní adhezivum (Primal® B-60A) bylo injektováno do rozestoupených prasklin, spár a nerovností (Obr. 2C-11).

Obr. 2C-11: Keramický materiál po zaschnutí injektovaného adheziva v prasklině, detailní pohled

8/ Doplnění původního tvaru tmelením výplňovou hmotou. Způsob doplnění všech chybějících částí byl proveden s maximálním respektováním předmětu a autentické hmoty. Plastický otisk z neporušených oblastí předmětu umožnil přesnou reprodukci původního tvaru restaurovaného předmětu. Doplnky byly vytvořeny modifikovaným tmelem Modostuc® Putty Filler, odstín Walnut Nogal.



8a/ Dlouhodobá separace styčných ploch dochovaného střepového materiálu.

Před vlastním doplňováním ztrát byly plochy lomů keramických střepů natřeny jemným štětečkem, v jedné vrstvě, 10hmotn.% Paraloidem B72® v acetonu (Obr. 2C-12-13) z důvodů zajištění snadného odstranění reprodukčního materiálu z nakonsolidovaných střepů v budoucnosti (kap. 2. 4. 4., str. 51).



Obr. 2C-12: Střepový materiál během vlastní dlouhodobé separace



Obr. 2C-13: Střepový materiál po dlouhodobé separaci



Obr. 2C-14: Otevřené formy z dentálního vosku, připravené k nanášení tmelu

8b/ Doplnování ztrát v ploše → ruční tmelení. Na každou ztrátu v ploše byla individuálně připravená jednorázová, otevřená forma z dentálního vosku (zn. Ceradent®), která po přiložení na vnitřní plochu originální nádoby šablonu kopírující původní tvar chybějícího místa (kap. 2. 4. 5., str. 53). Na podkladovou formu (Obr. 2C-14) byla ručně nanášena samotuhnoucí modelovací hmota, přiměřené hustoty, až do jejího úplného vyplnění. V případě předčasného tuhnutí byla hmota upravena pár kapkami deionizované vody na hustotu vhodnou k ručnímu nanášení. Namodelovaný povrch byl okamžitě vyhlazen (bez použití vody) do požadovaného okolního tvaru

pomocí hladítek a zubolékařských špachtlí. Modelace a korekce hranic a povrchu doplňovaných míst byly provedeny před ztvrdnutím hmoty. Takto se postupovalo během celého procesu doplňování plošných ztrát tmelením přímo na exponátu (Obr. 2C-15). Formy byly připraveny najednou, ale doplňování tmelením bylo prováděno postupně, aby nedošlo k poškození čerstvých doplňků (zpevnění nastalo do 24 hod).



137

Obr. 2C-15: Postupné ruční tmelení ztrát na otevřené formy z dentálního vosku

9a/ Mechanické retušování dotmelených doplňků za sucha. Po zaschnutí hmoty a odloupení forem bylo přistoupeno k finální oboustranné tvarové korekci doplněné plochy mechanickým zabroušením jemným flexibilním brusivem (zn. Siasoft, zrnitost P120 až P400, P800) a brusným roumem (fialové, firmy Sia Abrasives Industries, Switzerland) do vzhledu nádoby tak, aby co nejvíce odpovídala zdrojovému materiálu. K odstranění všech zbytků po modelování byly použity zubolékařské nástroje, jehly a dočišťovací tužka se skleněným vláknem.

9b/ Mechanické dočištění povrchů po tmelení. Po suchém čištění následovalo mokré dočištění tamponem namočeným v ethanolu tak, aby se z originálního povrchu odstranily veškeré stopy po tmelení na vzduchu samotvrdnoucí hmoty (mapy v bezprostředním okolí ztrát), (Obr. 2C-16). Voda nebyla použita, aby nedošlo k poškození nakonsolidovaného, ale stále citlivého keramického materiálu.



Obr. 2C-16: Stav po doplnění chybějících částí koflíku, celkový pohled

10/ Optické doladění doplněných ploch. Oříškový odstín výplňové hmoty byl z obou stran zapráškován kombinací šedivého a černého pigmentu zn. Kremer Pigmente na štětci i vatové tyčince s velkou hlavičkou, simulující barevnost povrchu originální keramické hmoty. Pro zvýšení životnosti barevné retuše byl rozmazaný pigment nanášen na nátěr akrylátové disperze K 498 (Obr. 2C-17).

11/Popsání. Nádobka byla dle požadavků zadavatele na dnu popsána identifikačním číslem: V II.13/5935. Popisek byl zalakován (Obr. 2C-17).



138

Obr. 2C-17: Pracovní místo barevného retušování výplně, zalakovaný popisek na dnu koflíku

12/ Zpracování výplně. Výplň byla zvážena, 2× prozkoumána a zasáčkováána do označeného, zdvojeného PE sáčku.

13/ Vypracování restaurátorské zprávy. Po dokončení restaurátorských prací byla vyhotovena restaurátorská zpráva s fotografickou dokumentací ve smyslu vyhlášky MK ČR č. 66/1988 Sb. Kopie restaurátorské zprávy je v souladu se zákonem ČNR č. 106/1999 Sb., o svobodném přístupu k informacím, umístěna v Archeologickém ústavu AV ČR, Praha, v. v. i., Letenská 123/4, 118 01 Praha 1 – Malá Strana, v Oddělení informačních zdrojů - Archivu nálezových zpráv.

Stav předmětu po konzervování a restaurování

Přibližné hlavní rozměry: výška nádoby: 80 mm, \varnothing okraje: nezměřitelný, \varnothing dna: 35 mm. Tloušťka střepů: 5 mm \pm 2 mm. Hmotnost nádoby: 280 g

Cílem restaurátorského záměru a zásahu byla rekonstrukce únětického koflíku z Vestce a byl splněn. Nádobka je slepená z 9 střepů. Stav nestabilního materiálu, který se týká i únětického koflíku, je často na hranici restaurovatelnosti. Restaurátor musí být během celého pracovního řetězce velmi opatrný, aby nedošlo k ještě větší destrukci materiálu. Nestabilní materiál vyžaduje více péče, ale po napenetrování konsolidačním roztokem je následující pracovní postup stejný jako u stabilní keramiky. Lepené spoje koflíku jsou viditelné a lomy jsou přesně ohraničené. Nádobka po slepení umístitelných střepů není kompletní. Mechanická poškození spojená se ztrátami keramické hmoty originálu jsou patrná především v oblasti horní části, kde chybí skoro celý okraj. Zachoval se pouze náznak. Díky tvaru nádoby jsou střepy v oblasti těla

zakřivené a tím i více náchylné ke ztrátě soudržnosti, spojené s materiálovými ztrátami. Dno se dochovalo celé. Původně bylo na koflíku ucho, z kterého se dochoval se pouze 1 střep. Dále se nepodařilo se umístit 1 slepek okraje složený ze tří střepů, 8 drobných fragmentů a 10kusů rozlískované drobenky, bez návaznosti k mateřské základně. Tyto střepy byly zasáčkované, označeny a přiloženy k exponátu jako doplněk. Protože se jedná o nakonzervované střepy, je třeba zvážit jejich využití pro doplňující analýzy. Chybějící části ohrožovaly fyzickou stabilitu nádoby, proto byly nahrazeny kompenzačním materiálem. Tvar nádoby byl dobře čitelný. Dochovalo se dostatečné množství původního materiálu a ideální profil, proto se daly ztráty lokálně doplnit dotmelením dle zachovalých částí. Tento postup je v souladu s etickým kodexem restaurování, protože se zachovala předloha a jasné superpozice chybějících ploch. S ohledem na charakter archeologického materiálu bylo doplnění ztrát provedeno pouze v nejnutnějších, stabilizačních případech, a to k zajištění okraje, profilu těla a spodku. Ztráty jsou dotmeleny z bezvodé modelářské hmoty zn. Modostuc® Putty Filler, odstín Walnut Nogal, což umožnilo neatakování nálezu vodou. V případě nutnosti se dají výplně snadno, kompletně a šetrně z původního keramického střepu odstranit. Byla provedena trvalá separace styčných ploch dochovaného střepového materiálu – tenkou vrstvou 10hmotn.% Paraloidu B72® v acetonu. Dotmelené „implantáty“ byly z obou stran barevně přizpůsobeny bezprostřednímu okolí defektu práškovými pigmenty, zafixovanými proti otěru řádkou akrylátovou disperzí zn. K498. Vizuální doladění včetně matného vzhledu přesně identifikuje ztráty ve hmotě originálu (Obr. 2C-18).



Obr. 2C-18: Celkový pohled na stav nádoby po rekonstrukci

Na povrchu střepového materiálu se nacházejí defekty (zlomy, spáry apod.), v oblasti spodku koflíku se nachází linie vlásečnicových prasklin. Tvarová deformace koflíku

byla pravděpodobně způsobena v místě dlouhodobého uložení. Hmotnost vnitřní výplně je 604 g. Výplň představuje relevantní historický pramen, a proto byla uložena v označeném PE sáčku jako součást dokumentace a zdroj pro další případné analýzy. Použité postupy, nástroje a nově vnesené materiály podle dostupných informací nepoškozují keramický materiál.

Seznam použitých materiálů a dodavatelů

Konsolidace střepové hmoty

10% roztok K498, ředěný demineralizovanou vodou, výrobce a dodavatel: Kremer Pigmente GmbH & Co. KG, Hauptstr. 41–47, 88317 Aichstetten, Germany, www.kremer-pigmente.com, demi voda z demineralizační jednotky AQUAL® 29 S, keramická laboratoř ArÚ AV ČR, Praha, v. v. i. Hodnota vodivosti pod 1,1 µS/cm.

Lepení, injektáže prasklin

Primal® B-60A, výrobce: Rohm & Haas Company, USA, www.rohmhaas.com

Reverzibilita spoje: 1) po nahřátí zdrojem teplého vzduchu pružný, rozebíratelný - po oddělení střepů jemným tahem se lepidlo odstraní mechanicky pomocí vhodné instrumentace (dentální nástroje), 2) film je dobře rozpustný v acetonu (ev. etanolu, toluenu, nitro ředidlu apod.) - injekční stříkačkou lze injektovat spoj a mírným tahem oddálit fragmenty od sebe.

Doplnění ztrát tmelením

Dlouhodobá separace styčných ploch: **Paraloid B72® v acetonu** (10 hmotn. % v roztoku), výrobce: Rohm & Haas, GmbH, Aceton čistý (C₃H₆O), dodavatel: MERCI s.r.o., Hviezdoslavova 55 b, 627 00 Brno, www.merci.cz.

Podkladová forma otevřená: Dentální vosk značky Ceradent®, rozměry destičky: 170 x 90 x 1,2 – 1,4 mm. Výrobce: SpofaDental a.s., Markova 238, 506 46 Jičín, ČR.

Výplňový materiál

Modostuc® Putty Filler, odstín Walnut Nogal (vlašský ořech). Modifikovaný sádrový tmel (složení: uhličitán vápenatý, síran vápenatý, kaolin, celulóza, akrylová kyselina, PVAc pojivo, voda. Výrobce: Plasveroi SpA, Via Camussone 38, Franzione Governenzano, Vellezzo Bellini, PV, Itálie, 390 382, www.modostuc.com.

Odstranitelnost vytvrzené směsi: 1) za sucha mechanicky, 2) vodní procesy čištění, hrany střepů lze dočistit od stop po tmelu za pomoci vhodné chirurgické, zubolékařské instrumentace, 3) pomocí rozpouštědel (ethanol, aceton).

Mechanické dočištění povrchu po tmelení: Ethanol, p.a. (C₂H₅OH), dodavatel: VWR s.r.o., Pražská 442, 281 67 Stříbrná Skalice, ČR, <https://cz.vwr.com>.

Barevná retuše Práškové pigmenty: 47510 Mangangrau, 12000 Elfenbeinschwarz, echt., výrobce: Kremer Pigmente GmbH & Co. KG, Hauptstr. 41–47, 88317 Aichstetten, D, www.kremer-pigmente.de.

7052 Čerň kostní. Výrobce: Umton Barvy, Slovanská 34, 405 02 Děčín 6, ČR, www.umton.cz.
Fixatium: Disperze K 9. Čistá akrylátová disperze s vysokou vazebnou kapacitou. Vynikající stabilita. Obsah pevných látek: 49,5–50,5 %; pH: 8–9. Hustota: 1,0–1,2 g/cm³. Dynamická viskozita (Brookfield LV vřeteno 360 ot./min.): 300–600 mPas., výrobce: Kremer Pigmente GmbH & Co. KG, Hauptstr. 41–47, 88317 Aichstetten, D, www.kremer-pigmente.de.

Odstranitelnost: 1) okamžitě po nanesení se dá odstranit ve vodě navlhčeným bavlněným tamponem, 2) po zaschnutí se dá sloupnout pomocí vhodné chirurgické, zubolékařské instrumentace nebo naměkčit v ethanolu namočeným tamponem a dočistit pomocí vhodné chirurgické, zubolékařské instrumentace.

Popsání: Bílá tuš značky Rotring®. Výrobce: Sanford GmbH, D – 22510 Hamburg, Germany, www.sanfordcorp.com. Zalakování popisku: Paraloid B72 v acetonu (10 hmotn. % pevné složky v roztoku), výrobce: Rohm & Haas, GmbH, D. Dodavatel: ARTPROTECT® ex Deffner & Johann, Absolonova 73, 624 00 Brno 24, ČR, www.art-protect.cz.

Aceton čistý (C₃H₆O), dodavatel: Merci s.r.o., Hviezdoslavova 55 b, 627 00 Brno, www.merci.cz.

Reverzibilita: 1) suché mechanické čištění, 2) chemické čištění → tlakovou lokální tamponádou použitým rozpouštědlem, tj. acetonem.

Doporučené klimatické parametry a kontrola stavu předmětu (kap. 2. 4. 7., str. 59)

Podmínky pro dlouhodobé uložení:

- Stabilní klimatické podmínky: RH 50 ± 5 %, teplota 20 ± 2 °C; bez prudkých výkyvů.
- Omezené působení záření: 50–250 lux, UV 30–75 μw/lumen.
- Zamezení přístupu prachových a plyných polutantů (SO₂, H₂S, CO₂, NO_x, O₃).
- Uložení v uzavřených protiprachových skříních s polyethylenovou podložkou, z materiálu bez těkavých látek.
- Zamezit pádu a poškození. Umístit v bezpečné vzdálenosti od jiných exponátů.
- Při manipulaci používat bavlněné či latexové rukavice. Pravidelně provádět kontrolu objektu. Podle potřeby nádobu jemně oprášit. Povrch předmětu je citlivý na abrazi.

Podmínky pro krátkodobé expozice

Pro výstavní účely byly navrženy podmínky ochranného režimu:

- Teplota 18–25 °C, kolísání teploty nesmí přesáhnout 1 °C/24 hodin,
- Relativní vlhkost 45–55 %, kolísání relativní vlhkosti nesmí přesáhnout 5 %/24 hodin,
- Max. osvětlení 300 lx, UV záření maximálně 75 μW/lm,
- Při úpravách teploty a relativní vlhkosti je nutné sledovat nasycenost vzduchu vodní párou, aby nedocházelo ke kondenzaci vody na chladných částech interiéru.