3D tisk při doplňování archeologického skla
PRŮZKUM POUŽITELNOSTI

Doubravka Novotná – Anežka Hřebíčková

ZÁMĚR PROJEKTU

- průzkum možností využití 3D tisku pro rekonstrukci chybějících částí výjimečného archeologického skleněného nálezu
- návrh a ověření efektivního postupu umožňujícího šetrné doplnění restaurovaného předmětu s důrazem na rychlost, čistotu a jednoduchost

Místo nálezu: Praha 1-Staré Město, dvůr domu čp. 509 v Havelské ulici
Počet zlomků: 32
Předpokládané místo původu: Murano u italských Benátek, 2. pol. 13.–poč. 14. století
Datum nálezu: jaro a léto 2022

Při odstranění nánosů hlíny a čištění se začaly korozní vrstvy spolu s emaily masivně odlupovat v důsledku jejich špatné soudržnosti s povrchem skla.

Zlomky číše malované emaily po konzervaci připravené ke slepení.

RESTAUROVÁNÍ

- transport do laboratoře ihned po nálezu fragmentů
- základní chemické (demi voda, 50% roztok ethanolu a demi vody) a mechanické očištění (štětec, akupunkturní jehla)
- důkladné očištění spojené s konzervací povrchu zlomků (3% roztok Paraloidu B-72 v acetonu, štětec, vata na špejli, aceton)
- průzkum střepů a odběr vzorků (optická mikroskopie, XRF, SEM/EDS, Ramanův spektrometr – **sodnovápenaté sklo,** identifikovány **pigmenty v emailech**)
- závěrečná konzervace (5% roztok Paraloidu B-72 v acetonu)
- sestavení zlomků do původního tvaru pomocí fixace lepicí páskou (Scotch invisible)
- výsledné slepení 40% roztokem Paraloidu B-72 v toluenu

POSTUP

zkoušky zmatňujících sprejů

↓

zkoušky různých resinů pro 3D tisk – barevnost, opracovatelnost, výsledný vzhled

↓

3D sken povrchu předmětu na VŠCHT

↓

měření chybějících částí posuvným měřítkem

↓

vytvoření zkušebních 3D tisků týmem PrusaLab (1 chybějící část a celá nádoba)

↓

zjištění použitelnosti a možnosti následné úpravy zkušebních vzorků – broušení, řezání, zahřívání a ohyb

↓

3D sken firmou Elvira spol. s r. o. za účelem detailnějšího výsledku

↓

vytvoření voskových doplňků pro případný další 3D sken (Ceradent)

PRŮZKUM MOŽNOSTÍ DOPLNĚNÍ 3D TISKEM

- využity zkušenosti Doubravky Novotné (2015) získané při zpracování semestrální práce na VŠCHT v oboru konzervování-restaurování skla a keramiky pod vedením Ing. Zuzany Zlámalové Cílové, Ph.D., ve spolupráci s ČVUT

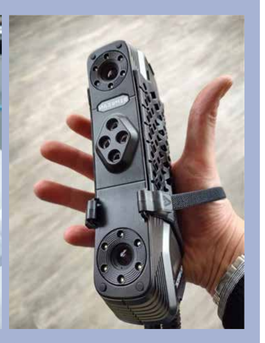
3D TISK A MODELACE:

- PrusaLab – prototypová dílna Josefa Průši (tiskárna **Original Prusa SL1S SPEED** založená na technologii MSLA)

3D SKEN:

- Ústav skla a keramiky na VŠCHT (skener **Creaform GoSCAN 20**)
- Elvira, spol. s. r. o. (skener **Scantech SIMSCAN42**)

3D tiskárna Original Prusa SL1S SPEED



3D skener společnosti Elvira a jeho použití v praxi

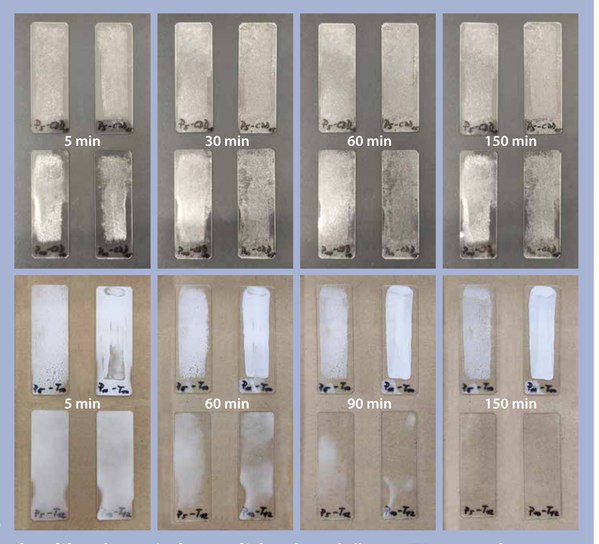
ZKOUŠKY ZMATŇUJÍCÍCH SPREJŮ

- skenování skla je stále problematické – odraz a lom světla, průsvitnost
- archeologické sklo má další specifika – křehkost, fragmentárnost, povrchové úpravy, konzervátorské zásahy
- možným řešení jsou zmatňující spreje na bázi organických sloučenin – vytvoří tenkou opakní vrstvu, která následně sublimuje

Cyklododekan (CDD)
- koncentrace 10 % (vlevo) a 15 % (vpravo) v toluenu
- nátěr roztokem Paraloidu B-72 v acetonu o koncentracích 5 % (nahoře) a 10 % (dole)

Reflecon Tarnish 10 MC (nahoře)

Reflecon Tarnish 12 HC (dole)
- nátěr roztokem Paraloidu B-72 v acetonu o koncentracích 5 % (vlevo) a 10 % (vpravo)



- praktický test na archeologickém skle (povrch před aplikací spreje konsolidován nátěrem 5% roztokem Par. B-72 v acetonu) – nepoužitelné (rezidua i u slibného Reflecton Tarnish 12 HC)

PODPŮRNÉ ZKUŠEBNÍ POSTUPY PRO SKENOVÁNÍ

měření vnitřních rozměrů chybějících částí za účelem získání dat pro jejich tisk

zkušební 3D tisk firmy PrusaLab

tvorba šablon pomocí voskových destiček Cereadent

vyříznuté voskové šablony

ZKOUŠKY CHEMICKÝCH A MECHANICKÝCH VLASTNOSTÍ RESINŮ

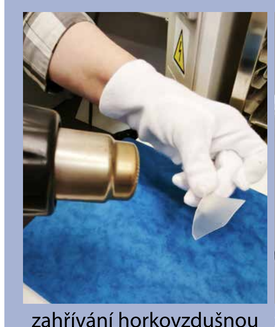
3DM Tough Clear
- ethanol – bez reakce (čištění?)
- aceton – bez reakce
- toluen – naleptání povrchu (odstranění tiskové stopy, lehké zmatnění)

Prima Creator Clear
- ethanol – bez reakce (čištění?)
- aceton – bez reakce
- toluen – naleptání povrchu (odstranění tiskové stopy, lehké zmatnění)

Prusament Resin model transparent Clear
- po zahřátí žloutne, křehne a láme se)

Vzorky poskytnuté pro testování

- mechanické vlastnosti (broušení, odřezávání)
- tepelná odolnost (ohyb po zahřátí)
- tónování (nanesení imitující iridiscentní korozní vrstvy)
- vizuální porovnání



zahřívání horkovzdušnou pistolí

změna barevnosti a křehkosti resinu po zahřátí

vizuální porovnání upraveného resinu s restaurovanou číší

broušení brusnými houbičkami a následné doleštění pomocí lešticí pasty

VYHODNOCENÍ MOŽNOSTÍ 3D TISKU

PODAŘILO SE:
- **na základě zkoušek se podařilo vybrat z nabídky firmy PrusaLab vhodný resin 3DM Tough Clear, který splňuje nároky na výrobu a následnou úpravu chybějících doplňků restaurované číše**

NEPODAŘILO SE:
- **najít bezpečný a reverzibilní způsob zmatnění archeologického skla vyhovující přísným konzervátorským standardům**
- **získat kvalitní 3D sken číše, který by prototypová dílna PrusaLab mohla použít jako podklad pro přesný tisk na svých strojích**

POUŽITÉ ZDROJE A LITERATURA

Hajmanová, D. 2015: Restaurování skleněné misky. Archeologický výzkum Malostranské náměstí – Tržiště 2014, Praha. Semestrální práce III, Praha. VŠCHT v Praze, Fakulta chemicko technologická, Ústav skla a keramiky.

Kopecká, I. a kol. 2002: Preventivní péče o historické objekty a sbírky v nich uložené. Praha: Státní ústav památkové péče, Laurus press servis. (= Odborné a metodické publikace, sv. 25). ISBN 80-86234-28-2

Koob, S. P. 2006: Conservation and care of Glass Objects. New York: Archetype Publications. ISBN 1-904982-08-5

Mlsnová, K 2020: Možnosti 3D technologií pro dokumentaci a restaurování skla. Diplomová práce, Praha. VŠCHT v Praze, Fakulta chemické technologie, Ústav skla a keramiky.

Novotná, D. 2025: 3D tisk při doplňování archeologického skla – průzkum použitelnosti (prezentace na pracovním kolokviu Odborné skupiny pro dějiny skla ČAS ve dnech 8.–9. října 2025 v Praze).

Průša Lab: <https://www.prusa3d.com/cs/?utm_source=google&utm_medium=cpc&utm_campaign=CS-CZ_Search_Text_Brand&utm_id=14828734546&gad_source=1&gad_campaignid=14828734546&gclid=EAIaIQobChMI4Yvl8s-slgMVc8pEBx0wASbXEAAYASAAEgKTpvD_BwE>

Podliska, J. — Černá, E. — Zlámalová-Cílová, Z. — Kozáková, R. (eds) 2021: Sklo z archeologických výzkumů: archeologie, technologie a metody průzkumu, konzervace a restaurování. Brno: Technické muzeum v Brně. ISBN: 978-80-7685-001-9

KONTAKTY NA AUTORY

© Doubravka Novotná
NPÚ ÚOP v Praze, restaurátorka
novotna.doubravka@npu.cz

© Anežka Hřebíčková, DiS.
NPÚ ÚOP v Praze, konzervátorka
hrebickova.anezka@npu.cz

PODĚKOVÁNÍ

Ing. Zuzaně Zlámalové Cílové, Ph.D.
Prusa Research a. s
Elvira, spol. s r. o.

GRAFIKA Stanislava Babušková

NÁRODNÍ PAMÁTKOVÝ ÚSTAV | ÚZEMNÍ ODBORNÉ PRACOVIŠTĚ V PRAZE