FORUM 2026 / roč. XVI / č. 2

PRO KONZERVÁTORY-RESTAURÁTORY
FORUM FOR CONSERVATORS-RESTORERS

2026 / Vol. XVI / No. 2
Peer-reviewed open access journal

Chief editor: Ing. Alena Selucká
Editors: Mgr. Pavla Stöhrová, Mgr. Jana Fricová

Editorial Board:
Ing. Ivo Štěpánek (Head of Editorial Board)
doc. Mgr. art. Jakub Ďoubal, Ph.D.
prof. Dr. Ing. Michal Ďurovič
akad. mal. Igor Fogaš
Ing. Pavel Jirásek
Ing. Jan Josef
doc. akad. soch. Petr Kuthan
Ing. Radka Šefců, Ph.D
Mgr. Pavla Stöhrová (Secretary)

Open acces since 2019 available for free
on https://mck.technicalmuseum.cz/casopis-fkr/
The journal is indexed and abstracted in EBSCO.

Published by:
Technické muzeum v Brně
Purkyňova 105, 612 00 Brno, Czech Republic

Contact for communication:
fricova@tmbrno.cz / stohrova@tmbrno.cz / selucka@tmbrno.cz

© Technické muzeum v Brně, 2026
ISSN (Online) 2571-4384
ISSN (Print) 1805-0050

DOI 10.61574/FKR.2026.2.113

TECHNICKÉ MUZEUM V BRNĚ

METODICKÉ CENTRUM KONZERVACE

VIZUALIZACE SKRYTÝCH RITUÁLNÍCH PRVKŮ V TIBETSKÝCH BUDDHISTICKÝCH SOCHÁCH POMOCÍ NEUTRONOVÝCH ZOBRAZOVACÍCH METOD

Jana Matoušková[1] · Radka Šefců[2] · Lenka Gyaltso[2] Václava Antušková[2] · Emily Anne Frame[1]

[1] České vysoké učení technické v Praze, Fakulta jaderná a fyzikálně inženýrská
[2] Národní galerie v Praze

Ing. Jana Matoušková, Ph.D., je absolventka Fakulty jaderné a fyzikálně inženýrské ČVUT v Praze. Působí na Katedře jaderných reaktorů, kde se věnuje výzkumu v oblasti experimentální neutronové fyziky, především využívání neutronů k zobrazování a studiu vnitřních struktur materiálů. (jana.matouskova@fjfi.cvut.cz)

Studie představuje mezioborový přístup průzkumu dvou tibetských buddhistických soch ze Sbírky umění Asie Národní galerie v Praze, který kombinoval pokročilé metody neutronového zobrazování s optickými a rentgenovými analytickými postupy. Primárním cílem bylo detailně charakterizovat materiálové složení objektů, posoudit jejich radiační vhodnost pro neutronové experimenty a zejména neinvazivně identifikovat případné votivní či rituální artefakty na organické bázi uložené ve vnitřních dutinách kovových soch. Na základě předběžné analýzy pomocí rentgenové fluorescenční spektrometrie byla potvrzena přítomnost mědi a mosazi jako hlavních materiálů, zatímco problematické prvky schopné tvorby radionuklidů s dlouhými poločasy rozpadu (např. kobalt) nebyly detekovány. Výsledky ukázaly na bezpečné použití neutronové radiografie a tomografie. Neutronová tomografie byla realizována na zařízení TRIXIE provozovaném u výzkumného jaderného reaktoru LVR-15 v Řeži. Získaná data umožnila vizualizovat vnitřní uspořádání soch, včetně dutin. U sochy *Amitábhy* byly potvrzeny vložené votivní objekty na bázi organických materiálů, jako jsou svitky papíru, textilie a kuličky z bylin. U sochy *Avalókitéšvary* byla vnitřní výplň výrazně kompaktnější a nízkokontrastní, což komplikovalo segmentaci a identifikaci jednotlivých komponent. Přítomnost organického materiálu byla však patrná. Neutronové zobrazování zde poskytlo unikátní informace nedosažitelné konvenčními rentgenovými metodami, zejména díky vysoké citlivosti neutronů na vodík a jejich dobré prostupnosti kovem.
Klíčová slova: neutronová radiografie, neutronová tomografie, rentgenová fluorescenční analýza, radioanalytické techniky, neinvazivní analýza, buddhistické sochy

VISUALIZATION OF HIDDEN RITUAL OBJECTS IN TIBETAN BUDDHIST SCULPTURES USING NEUTRON IMAGING

The study presents an interdisciplinary approach to the examination of two Tibetan Buddhist sculptures from the Asian Art Collection of the National Gallery Prague, combining advanced neutron imaging techniques with optical and X-ray analytical methods. The primary objective was to characterize the material composition of the objects, assess their radiological suitability for neutron-based experiments, and in particular, non-invasively identify any organic-based votive or ritual artefacts deposited within the internal cavities of the metal sculptures. Preliminary analysis using X-ray fluorescence spectrometry confirmed copper and brass as the predominant materials, while problematic elements capable of forming long-lived radionuclides (e.g., cobalt) were not detected. These findings enabled the safe application of neutron radiography and tomography. Neutron tomography was conducted using the TRIXIE device operating at the LVR-15 nuclear research reactor in Řež. The data obtained enabled detailed visualization of the internal structure of the sculptures, including their cavities. In the sculpture of *Amitabha*, inserted votive objects, organic in nature, such as paper scrolls, textiles, and herbal pills, were identified. In the sculpture of *Avalokiteshvara*, the internal fill was significantly more compact and lower-contrast, thus complicating segmentation and identification of individual components. However, the presence of organic material was evident. In this context, neutron imaging provided unique information unattainable by conventional X-ray-based techniques, primarily due to the high sensitivity of neutrons to hydrogen and their excellent penetration through metals.
Keywords: neutron radiography, neutron tomography, X-ray fluorescence analysis, radioanalytical techniques, non-invasive analysis, Buddhist sculptures

Průzkumy uměleckých děl představují nejen významný zdroj nových vědeckých poznatků, ale mají také ryze praktický význam. Kombinace pokročilých zobrazovacích technik s detailními materiálově analytickými metodami umožňuje komplexní porozumění struktuře, technologii a celkové materiálové podstatě díla. V některých případech napomáhá odhalovat další významové vrstvy, které mohou být nositeli duchovních, rituálních či společenských obsahů [Bunce, 1994; Von Schroeder, 2001].

Radiografické zobrazovací metody jsou v současnosti plně etablovanými nástroji při průzkumu objektů kulturního dědictví. Běžně umožňují vizualizovat skryté vrstvy a vnitřní struktury výtvarných objektů, prohloubit znalosti o konstrukčních a technologických aspektech ukazujících na původ, autorské či dílenské postupy a jsou významným korektivem při posuzování integrity originálu [Bradley – Creagh, 2006; Chlumská a kol., 2022; Nagar a kol., 2023; Šefců a kol., 2023].

Radiografii, výpočetní tomografii nebo rentgenovou fluorescenční spektroskopii využívající rentgenové záření [Trojek a kol., 2017; Vavřík a kol., 2023] v posledních letech doplňují také metody založené na neutronovém záření. Mezi ně patří zobrazovací metody – neutronová radiografie poskytující dvourozměrný obraz a neutronová tomografie, jejímž výsledkem je prostorový model zobrazovaného artefaktu [Lehmann, 2010, 2022, 2024; Kardjilov – Festa, 2017; Matoušková a kol., 2024]. Analýzu chemického složení umožňuje neutronová aktivační analýza, jejíž detekční limit se pohybuje až na úrovni 0,00001–0,1 ppm [Artioli, 2010]. Toto široké rozmezí odráží skutečnost, že metoda nevykazuje jednotnou citlivost pro všechny prvky. Detekční limit je významně ovlivněn jadernými charakteristikami daného prvku, dále energií a intenzitou emitovaného gama záření, jakož i experimentálními podmínkami a složením

analyzovaného vzorku. Strukturu, mikrostrukturu a fázové složení lze studovat pomocí neutronové difrakce, která využívá vlnovou povahu neutronů a jejich interakci s krystalovou mřížkou materiálu [Kardjilov – Festa, 2017]. Zobrazovací metody neutronové radiografie a tomografie mají nezastupitelnou roli především při neinvazivním průzkumu kovových artefaktů [Kardjilov – Festa, 2017; Maróti a kol., 2017; Schillinger a kol., 2018; Matoušková a kol., 2023; Li a kol., 2024]. Míra útlumu záření při průchodu objektem je v principu určena intenzitou záření, geometrií zkoumaného objektu (tloušťkou), hustotou a složením daného materiálu. Neutrony a rentgenové záření vykazují rozdílnou interakci s různými materiály. Rentgenové záření je oproti neutronovému silně tlumeno materiály s vysokým atomovým číslem (Z) – kovy. Neutrony kovem snadno prostupují a zároveň velmi výrazně interagují s materiály bohatými na vodík, tzn. že organické materiály vytvářejí v neutronovém zobrazení silný kontrast.

Těchto vlastností neutronové radiografie a tomografie bylo využito při průzkumu tibetských buddhistických soch ze Sbírky umění Asie Národní galerie v Praze (NGP). Rozsáhlé průzkumy uměleckých děl zahrnující díla z keramiky, skla, dřeva, a především kovů byly provedeny v letech 2022 až 2024 v rámci přípravy stálé expozice Sbírky umění Asie. Na 12 drobných buddhistických sochách, které byly kovové, zdobené zlatnickými technikami, drahými kameny a polychromií, byla realizována analýza metodami optické mikroskopie a mobilní rentgenové fluorescenční spektrometrie (XRF). Průzkum byl veden nejen v návaznosti na probíhající restaurátorské zásahy, ale i s ohledem na prohloubení znalostí materiálové podstaty kovových artefaktů nebo způsoby užití technologií používaných pro povrchové úpravy. Akcentováno bylo i vyhodnocení vhodnosti konkrétních děl pro zobrazování pomocí neutronové tomografie při prozkoumání vnitřních prostor soch, kde byla předpokládána přítomnost pozůstatků votivních předmětů na bázi organických materiálů.

Metodou XRF bylo nezbytné zmapovat u vybraných soch prvkové složení na všech částech a vyloučit přítomnost prvků, u nichž by neutronová aktivace vedla ke vzniku radionuklidů s dlouhými poločasy rozpadu, jak je tomu například u kobaltu. K neutronové aktivaci dochází, pokud při průchodu neutronového záření materiálem stabilní jádra pohltí neutrony a přemění se na radioaktivní izotopy. Působením neutronů se například ze stabilního izotopu ^{59}C o vytváří izotop ^{60}Co, který je silným gama zářičem s poločasem rozpadu 1925,28(14) dne, tj. přibližně 5,27 roku. Naopak u dalších potenciálně přítomných prvků, jako je například zlato, má vzniklý izotop ^{198}Au poločas rozpadu 2,695 dne a izotop mědi ^{64}Cu se rozpadá s poločasem 12,7 hodiny. Poločas rozpadu radionuklidů poskytuje zásadní informaci o tom, jak dlouho musí sledovaný objekt zůstat v chráněném prostředí, aby došlo k bezpečnému poklesu aktivity – tedy k jeho tzv. „vyzáření". Vzhledem k tomu, že se jedná o výzkum sbírkových předmětů podléhajících přísnému systému ochrany, je nezbytné tento parametr pečlivě zohlednit. Dalším limitujícím faktorem byla i samotná velikost sošek, s ohledem na velikost používaného detektoru pro neutronovou radiografii.

Po provedené XRF analýze byly pro průzkum metodou neutronové radiografie a tomografie vybrány dvě tibetské sochy – *Amitábha* a *Avalókitéšvara* (obr. 1). *Amitábha* (15.–16. století, v = 15 cm, NGP, inv. č. Vp 2642), znázorňuje buddhu „Nezměrného světla či jasu", patřícího do skupiny pěti transcendentních buddhů,

Obr. 1 *Amitábha (Vp 2642) a Avalókitéšvara (Vp 479). Fotografie © Národní galerie v Praze, 2026 / Amitabha (Vp 2642) and Avalokiteshvara (Vp 479). Photo © National Gallery Prague, 2026*

kteří jsou věční a vymykají se přírodním zákonům. Jsou spojováni s jednotlivými světovými stranami a ráji, kterým vládnou. Pro *Amitábhu* je typická západní strana a tmavě červená barva těla. V této pětici je nejstarší a jeho kult sahá v indické tradici až do 1. století n. l. Existuje několik způsobů jeho zobrazení, např. s dlaněmi složenými v klíně nebo s miskou na almužnu, která je naplněná ovocem. Soška z NGP drží v ruce nádobu *kalaša*, která se podobá té, jež je typická pro *Amitája*, buddhu „Nekonečného života". *Amitájus* bývá však zdoben šperky a má světle červenou barvu těla [Gyaltso, 2021].

Avalókitéšvara, bódhisattva soucitu, (15.–16. století, v = 19 cm, NGP, inv. č. Vp 479) v podobě *Šadakšarí Lókéšvary* představuje „pána šesti slabik", tedy nejpoužívanější tibetské modlitby *Óm, mani padme húm* (překládána jako *Óm*, klenote v lotosu, *húm*). Tato mantra je doložena již od 1. století n. l. Bódhisattva sedící v lotosovém sedu na lotosovém květu drží v jedné ruce lotosový květ a v druhé *málu*, buddhistický růženec se 108 kuličkami. Ve spojených dlaních pak svírá klenot *čintámani* splňující přání [Gyaltso, 2024]. Existuje velké množství podob *Avalókitéšvary*, v mahájánovém buddhismu se zmiňuje 108 – určitým způsobem také symbolicky, neboť 108 je posvátným buddhistickým číslem. Sošky *Avalókitéšvary* (Vp 479) a *Amitábhy* (Vp 2642) patří k nejstarším ukázkám tibetského sochařství ve Sbírce umění Asie NGP. Jejich odlišné ztvárnění vychází z místa vzniku, neboť *Avalókitéšvara* pravděpodobně pochází ze západní části Tibetu, kde se v umělecké tradici více projevoval indický a nepálský vliv. Obě sošky mají na spodní soklové části víčko spojené trvalým spojem (obr. 2). To byl významný předpoklad pro uchování votivních předmětů ve vnitřních prostorách s dutinou. U obou sošek proběhla kompletní neutronová radiografie a tomografie.

EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST

Mikroskopická fotodokumentace

Mikroskopická fotografická dokumentace povrchu byla provedena pomocí USB mikroskopu Dino-Lite Premier AM4113ZT-FV2W při zvětšeních 50× a 200×, s využitím polarizovaného viditelného světla (VIS) a ultrafialového záření (UV, λ = 375 nm). Získané snímky byly zpracovány v programech Dino-Capture 2.0 a Adobe Photoshop.

Rentgenová fluorescenční analýza (XRF)

Prvková analýza byla provedena metodou rentgenové fluorescenční spektrometrie pomocí přenosného spektrometru NITON XL3t GOLDD+ firmy Thermo Scientific. Zdrojem záření je minirentgenka s Ag anodou o maximálním napětí 50 kV. Přístroj je vybaven velkoplošným SDD+ detektorem. Měření probíhalo bezkontaktně ze vzdálenosti přibližně do 0,5 cm, přičemž průměr analyzované plochy činil přibližně 0,3–0,5 cm. Doba jednoho měření byla 120 s. Analyzovaná oblast byla současně snímána pomocí integrované CCD kamery.

Neutronové zobrazování – tomografie, radiografie

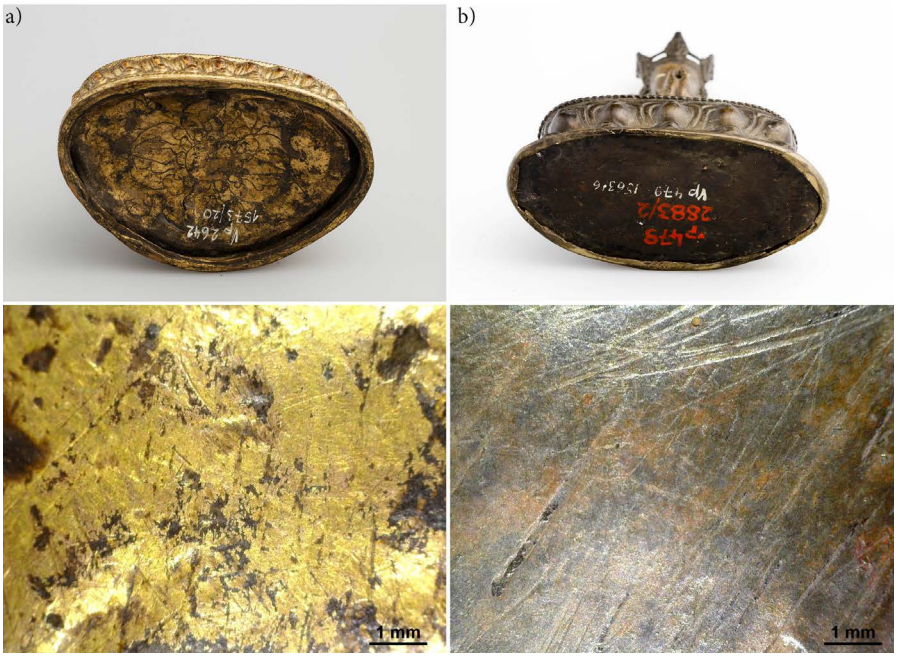
Měření neutronového zobrazování bylo provedeno na nově vybudovaném zařízení TRIXIE, které je umístěno ve výzkumném jaderném reaktoru LVR-15 v Řeži u Prahy. Detekční systém zařízení kombinuje CMOS kameru se scintilační deskou. Detektor využívá kameru ZWO ASI294MM Pro s 14bitovou digitalizací, rozlišením 8288 × 5644 pixelů a velikostí pixelu 4,64 µm. Kamera je osazena objektivem o ohniskové vzdálenosti 35 mm s C-mount závitem. Použitá scintilační deska je typu ^{6}LiF/ZnS:Cu s tloušťkou 100 µm. Detektor pokrýval zorné pole 15 × 15 cm^2. Kolimační poměr neutronového svazku byl L/D = 250, což spolu s neutronovým tokem v pozici vzorku 2·10^6 neutronů/(cm^2·s) umožnilo dosažení prostorového rozlišení 100 µm.

Sochy byly před měřením umístěny do hliníkových boxů přesně přizpůsobených rozměrům zkoumaných objektů. Boxy měly dvojí účel – chránit sochy před mechanickým poškozením a zabránit jejich pohybu na otočném stolku během měření. Boxy byly pevně uchyceny k otočnému stolku, což umožnilo provedení neutronové tomografie. Tomografie byla pořízena ve 923 projekcích, přičemž expoziční doba na jednu projekci byla 20 s.

Získaná data byla poté nejprve zpracována v softwaru MuhRec, který slouží k rekonstrukci tomografických řezů z jednotlivých projekcí a optimalizaci kvality obrazu. Následně byla data importována do VGStudio, kde proběhla vizualizace a analýza 3D modelu, včetně průzkumu vnitřní struktury soch a identifikace jednotlivých částí votivních prvků.

VÝSLEDKY A DISKUSE

U drobných tibetských soch se často v minulosti uvádělo, že byly zhotoveny z bronzu, slitiny mědi a cínu. Průzkum metodou XRF identifikoval na figuře a na podstavci sochy *Avalókitéšvary* jako základní materiál slitinu mědi se zinkem, mosaz. Zastoupení mědi a zinku je cca 75 hm. % Cu a kolem 23 hm. % Zn, ostatní tvoří příměsi – antimon, cín, olovo, nikl a železo, pohybující se do 1 hm. %. Soška *Amitábhy* je provedena z mědi jen s malým přídavkem ostatních prvků – antimon, cín, olovo, zinek a železo



Obr. 2 *Spodní strana soch a makrofotografie povrchu: a) Amitábha, zlacený povrch; b) Avalókitéšvara, měděný povrch. Fotografie © Národní galerie v Praze, 2026 / Underside of the sculptures and photomicrographs of the surface: a) Amitabha, gilded surface; b) Avalokiteshvara, copper surface. Photo © National Gallery Prague, 2026*

Tab. 1 *Výsledky prvkové analýzy metodou XRF (hm. %) / Results of elemental analysis by the XRF method (wt. %)*

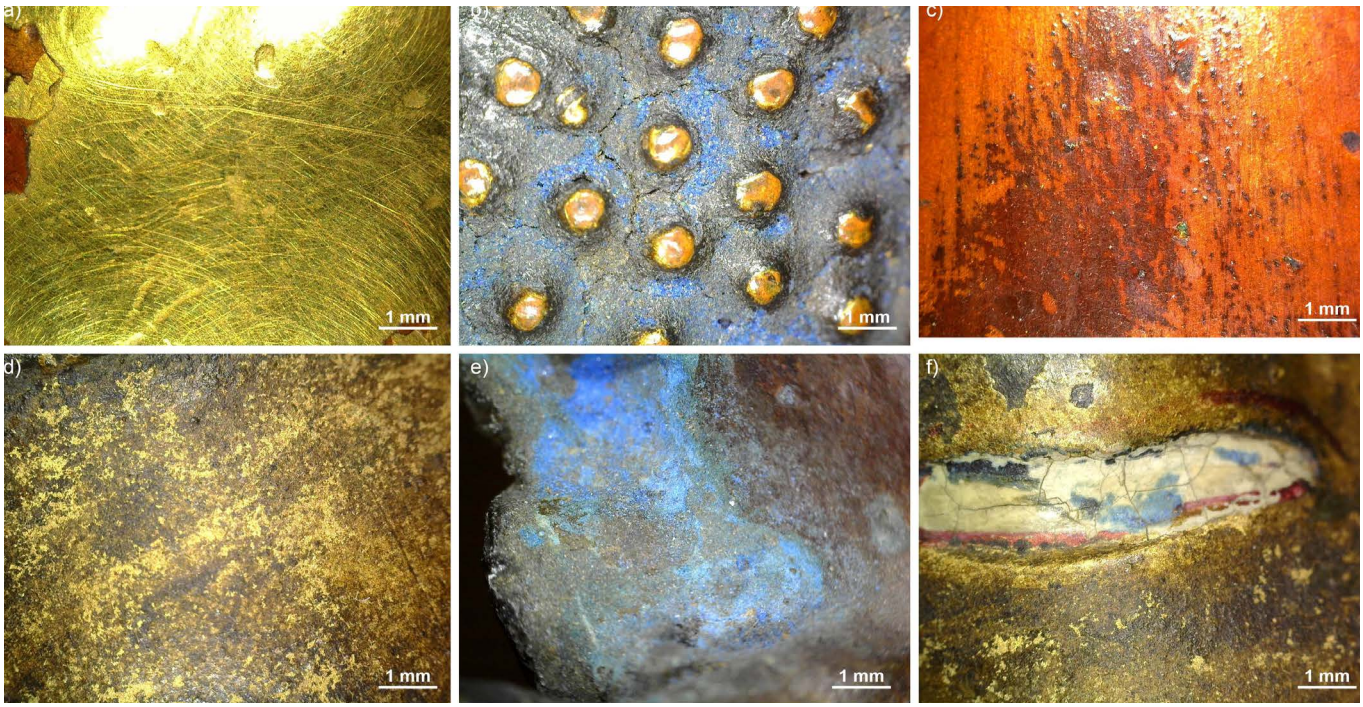
Měřené místo	Sb	Sn	Ag	Au	Pb	Zn	Cu	Ni	Fe	Total
***Amitábha* (Vp 2642)**										
spodní strana	0,2	–	–	30,3	0,3	0,1	67,8	–	0,2	98,9
spodní strana, poškozené zlacení	0,2	–	–	30,5	0,3	0,1	68,7	–	0,1	99,9
soklová část	–	–	–	91,4	0,6	0,8	5,5	–	1,1	99,4
zadní strana, rameno	0,1	0,1	–	97,6	0,4	0,4	1,1	–	–	99,7
figura v rukách	–	0,4	–	89,0	0,2	0,9	8,3	–	0,4	99,3
***Avalókitéšvara* (Vp 479)**										
spodní strana	–	–	–	–	–	–	99,3	0,2	–	99,4
soklová část	0,1	0,1	–	–	0,4	23,3	71,7	0,4	0,4	96,4
zadní strana, záda	0,1	0,3	–	–	1,2	22,4	75,1	0,3	0,4	99,9
ruce	0,1	0,2	0,6	17,5	0,6	19,5	58,7	0,3	0,4	97,8

(tab. 1). Analýzy prokázaly, že zinek i cín jsou ve slitině zastoupeny pouze ve stopových až minoritních množstvích. Celý povrch sochy je opatřen vrstvou zlacení.

Spodní krycí destičky (poklopy či víčka) jsou u obou exemplářů zhotoveny z mědi, přičemž u sochy *Amitábhy* je pozlacena. Použité kovy odpovídají dosavadním poznatkům o tibetském sochařském materiálu, podle nichž byly v tibetském kulturním okruhu téměř výhradně používány měď a mosaz, zatímco pravý bronz (Cu–Sn) se objevuje jen zcela výjimečně [Lo Bue, 1991; Nagar a kol., 2023]. Tento fakt je v souladu i s geologickými podmínkami regionu, protože měděné i zinkové rudy byly v Tibetu a Nepálu dobře dostupné; naopak cínové rudy se zde prakticky nevyskytují.

Mosaz vyráběná do 15. století obsahovala maximálně 28 % zinku, což odpovídá možnostem tehdejší metalurgie. Kalamínový cementační proces, založený na zahřívání mědi se zinkovou rudou – zejména kalamínem (smithsonit, $ZnCO_3$) či sfaleritem (ZnS) – umožňoval vznik mosazi pouze v tomto nízkém až středním rozmezí obsahu zinku. Z těchto rud nebylo možné získat kovový zinek, a tedy ani vyrobit mosaz s vyšším podílem zinku. Složení mosazí použitých na tibetských sochách vyráběných tímto tradičním procesem proto svědčí o starší produkci, obvykle před zavedením technologií umožňujících izolaci kovového zinku. Mosaz s vyšším podílem zinku (okolo 30 % a více) se objevuje až v pozdějších obdobích, kdy se do regionu importovaly čistší materiály a šířily pokročilejší metalurgické postupy. Lo Bue (1991) uvádí typické chemické složení mosazi u tibetských soch datovaných přibližně od 11. do 18. století, které vykazují obdobné charakteristické hodnoty obsahu mědi, zinku a případně stopových prvků.

U sošky *Amitábhy* je na povrchu provedeno zlacení (obr. 3) na červenou vrstvu polychromie. V červené vrstvě byla potvrzena rtuť v kombinaci se sírou, což ukazuje na přítomnost rumělky (HgS).



Obr. 3 *Makrofotografie povrchu, Amitábha: a) zlacený povrch; b) modrá vrstva v partiích hlavy; c) červená vrstva s lazurou; Avalókitéšvara: d) zlacení na ruce; e) modrá vrstva v partiích hlavy; f) barevné vrstvy v partiích oka. Fotografie © Národní galerie v Praze, 2026 / Photomicrographs of the surface, Amitabha: a) gilded surface; b) blue layer in the head area; c) red layer with red lake pigment; Avalokiteshvara: d) gilding on the hand; e) blue layer in the head area; f) color layers in the eye area. Photo © National Gallery Prague, 2026*

Obr. 4 *Amitábha, snímky z neutronové radiografie, viditelné uložení rituálních předmětů / Amitabha, Neutron imaging revealing the placement of ritual objects*

Obr. 5 *Avalókitéšvara, snímky z neutronové radiografie zachycující výplň dutin sochy, bez možnosti rozlišení jednotlivých vložených předmětů / Avalokiteshvara, Neutron imaging documenting the infill of the sculpture's internal cavities, in which individual inserted objects cannot be distinguished*

Na hlavě v modré polychromii tradičně ztvárněných vlasů byly identifikovány lehké prvky odpovídající ultramarínu ($Na_{8-10}(AlSiO_4)_6S_{2-4}$). Na povrchu je lokálně užita i lazura z červeného barviva, což je tradiční barevné ztvárnění těla.

U sochy *Avalókitéšvary* bylo zlacení provedeno v partiích obličeje, na sepjatých rukách a je užito i na rozevřených rukách a na spodních partiích nohou. V plochách zlacení nebyla metodou XRF prokázána přítomnost rtuti, která by jednoznačně potvrzovala technologii amalgámového zlacení. Barevná polychromie zdůrazňuje oči, rty a drobné zdobné detaily . Na hlavě je též použit modrý pigment, zřejmě ultramarín. V barevných vrstvách ani v materiálu soch nebyl potvrzen žádný prvek, který by neúměrně prodlužoval dobu vyzáření po provedené neutronové tomografii.

Průzkum neutronovou radiografií zobrazil vnitřní dutiny sochy *Amitábhy* a *Avalókitéšvary* jak v soklové části, tak ve vlastní figuře. Kvůli rozměrům a tvaru bylo měření obou sošek provedeno ve dvou částech, které byly během zpracování dat následně spojeny dohromady, aby vznikl kompletní obraz každé sochy. Takto získaná data umožnila vytvoření souvislého 3D modelu, ve kterém byly patrné hlavní vnější i vnitřní prostory i případné votivní výplně, aniž by bylo nutné artefakty jakkoli mechanicky narušovat.

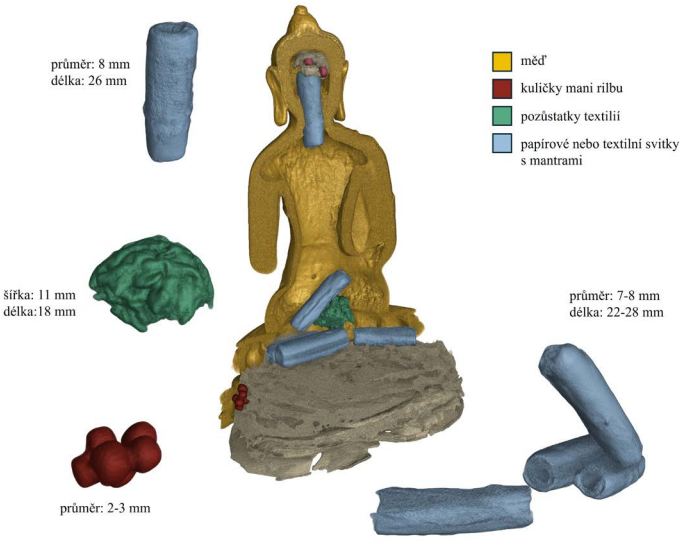
Votivní či rituální drobné předměty byly na anorganické nebo organické bázi. Mohlo jít o svitky s modlitbami čili mantrami, kusy látky, dřevo, obiloviny, též i drahé kameny či polodrahokamy, léčivé byliny nebo kuličky *mani rilbu,* které z bylin tradičně ručně vyráběli mniši [Beer, 1999; Lehmann, 2010, 2024]. Votivní předměty se kladly do sošek, aby byla zajištěna jejich rituální správnost a mohly být tedy použity při určitých obřadech. Pro přesně daná božstva či zobrazení buddhistických učitelů byly využívány konkrétní mantry, které se tiskly na papír či textilii, plátno. Nasadily se na dřevěnou tyčku, která se umístila dovnitř sošky – byla většinou dostatečně dlouhá, aby vedla od dutiny v prostoru hlavy až do spodní části soklu. Ostatní prostor dutiny se vyplnil dalšími drobnými předměty, které byly posvěcené. Cennější materiály se shromažďovaly v oblasti dutiny hlavy sošky. Jako výplň zbývajícího volného prostoru se používaly textilie, zejména lněné, bavlněné, případně hedvábné. Po naplnění se soška zavřela kovovým víčkem, které se připevnilo a dokončil se obřad posvěcení.

Vnitřní prostory jsou znázorněny na neutronových snímcích na obr. 4 a 5. U sošky *Amitábhy* byly potvrzeny votivní předměty různých druhů, rozmístěné ve všech částech její vnitřní dutiny (obr. 6). S největší pravděpodobností se jednalo o svitky papíru s mantrami, posvátné kuličky *mani rilbu* a malé kusy textilu (obr. 7). Částice kulovitého charakteru o průměru 2 až 3 mm byly lokalizovány v části hlavy a jde zřejmě právě o posvátné *mani rilbu.* Morfologicky obdobné kuličky stejné velikosti se nacházejí ve spodní části podstavce, kam se však *mani rilbu* obvykle neukládaly.

Ze snímku není možné jednoznačně určit, zda se jedná o shodný materiál či o materiál odlišného původu. Nepodařilo se též identifikovat dřevěnou tyčku, tradičně vkládanou do dutiny, na které mohly být jednotlivé svitky papíru umístěny ve vertikální pozici.

U sošky *Avalókitéšvary* byla identifikace jednotlivých částí obtížná, protože objekt je výrazně vyplněn materiálem, který omezuje průnik neutronů a snižuje kontrast mezi vnějšími a vnitřními strukturami. Analýza naznačuje, že vnitřek sošky byl pravděpodobně vyplněn látkou nebo papírem. Hlavním problémem je především husté uspořádání materiálu, které ztěžuje rozlišení a extrakci jednotlivých prvků; proto jsou na obr. 8 uvedeny pouze 2D průřezové řezy rekonstruované sochy z 3D rekonstrukce a nikoli samotná 3D rekonstrukce neutronové tomografie (obr. 8).

Obr. 6 *Amitábha, snímky z neutronové tomografie s rekonstrukcí uložených rituálních předmětů / Amitabha, Neutron tomography images with a reconstruction of the deposited ritual objects*



Obr. 7 *Neutronová tomografie, vizualizace uložených rituálních předmětů uvnitř sošky / Neutron tomography visualizing the reconstructed arrangement of the deposited ritual objects inside the sculpture*

Obr. 8 *Avalókitéšvara, 2D průřezy získané z tomografické rekonstruce sochy / Avalokiteshvara, 2D cross-sections from the tomographic reconstruction of the sculpture*

ZÁVĚR

Komplexní průzkum tibetských buddhistických soch ze Sbírky umění Asie NGP prokázal, že kombinace tradičních neinvazivních analytických metod s pokročilými neutronovými zobrazovacími technikami představuje mimořádně efektivní přístup ke studiu materiálové skladby, technologických postupů a zejména skrytých rituálních prvků uvnitř kovových artefaktů. Rentgenová fluorescenční analýza jednoznačně ukázala, že zkoumané sochy z mosazi nebo z téměř čisté mědi odpovídají tradičním tibetským metalurgickým postupům. Zjištěné složení tak podporuje datace soch i jejich kulturní provenienci. Povrchové vrstvy dále potvrdily bohatou výzdobnou praxi. Zlacení a polychromie – včetně použití rumělky či ultramarínu – dokládají tradiční provedení zohledňující lokální dostupnost materiálů. Neutronová radiografie a tomografie se ukázaly klíčové pro průzkum vnitřních dutin s rituálními předměty, jež hrají zásadní roli v rituální praxi tibetského buddhismu. Tomografický průzkum odhalil rozdílný charakter výplní dvou soch, u nichž byla tato metoda použita. U sochy *Amitábhy* byly identifikovány votivní předměty organického původu. S největší pravděpodobností a s ohledem na tradice jde o svitky papíru, posvátné kuličky *mani rilbu* a fragmenty textilu. Tyto nálezy poskytují přímé důkazy o rituálním naplnění sochy, které je tradičně spojováno s jejím duchovním charakterem. Užití a předpokládané rozmístění těchto artefaktů ve všech částech dutiny naznačuje systematický a vysoce symbolický postup plnění. U sochy *Avalókitéšvary* byla identifikace votivních předmětů komplikována hustým a rovnoměrným materiálem, který výrazně absorboval neutronové záření a ztěžoval rozlišení jednotlivých vrstev a objektů. Přesto lze z výsledků usuzovat, že dutina byla pravděpodobně celoplošně vyplněna organickým materiálem, snad textilem nebo papírem.
Studie potvrzuje perspektivní směr neutronových zobrazovacích metod pro neinvazivní výzkum kovových artefaktů kulturního dědictví. Ve srovnání s konvenčními radiografickými technikami umožňují neutrony lépe detekovat organické materiály a komplexní vnitřní výplně, které jsou běžnými součástmi buddhistické rituální praxe. Tento výzkum zároveň ukazuje potenciál neutronového zobrazování pro širší využití v oblasti kulturního dědictví.

PODĚKOVÁNÍ

Autoři děkují Markétě Hánové, Dušanovi Perlíkovi, Marii Radové, Kristýně Rendlové, Janě Ryndové, Pavlu Sasovi, kolegyním a kolegům z fotografického oddělení Národní galerie v Praze za jejich podporu a spolupráci. Zvláštní poděkování patří také Ľubomíru Sklenkovi z Fakulty jaderné a fyzikálně inženýrské ČVUT v Praze. Příspěvek vznikl za finanční podpory Ministerstva kultury ČR v rámci Institucionální podpory na dlouhodobý koncepční rozvoj výzkumné organizace Národní galerie v Praze v roce 2026. Měření neutronového zobrazování bylo provedeno s využitím infrastruktury Českého mezinárodního centra výzkumných reaktorů, které je finančně podpořeno Ministerstvem školství, mládeže a tělovýchovy (projekt LM2023041).

LITERATURA

- ARTIOLI, Gilberto. *Scientific Methods and Cultural Heritage: An introduction to the application of materials science to archaeometry and conservation science*. Oxford: Oxford University Press, 2010. ISBN 9780199548262.
- BEER, Robert. *The Encyclopedia of Tibetan Symbols and Motifs*. Boston: Shambhala Publications, 1999. ISBN 157062416X.
- BRADLEY, David a CREAGH, Dudley Cecil (eds.). *Physical Techniques in the Study of Art, Archaeology and Cultural Heritage*. Amsterdam: Elsevier, 2006. ISBN 9780080461861.
- BUE, Erberto Lo. Statuary Metals in Tibet and the Himalayas: History, Tradition and Modern Use. *Bulletin of Tibetology*, 1991, roč. 27, č. 1–3, s. 7–41.
- BUNCE, Fredrick W. *An Encyclopaedia of Buddhist Deities, Demigods, Godlings, Saints and Demons*, vol. 1. New Delhi: D. K. Printworld (P) Ltd., 1994. ISBN 812460018X.
- GYALTSO, Lenka. Buddha Amitábha. In: HÁNOVÁ, Markéta a KLIMTOVÁ, Zdenka (eds.). *Buddha zblízka*. Praha: Národní galerie v Praze, 2021, s. 185–186. ISBN 978-80-7035-784-2.
- GYALTSO, Lenka. Umění tibetského buddhismu. In: HÁNOVÁ, Markéta (ed.) *Umění Asie napříč prostorem a časem*. Praha: Národní galerie v Praze, 2024, s. 210–215.
- CHLUMSKÁ, Štěpánka; ŠEFCŮ, Radka a ANTUŠKOVÁ, Václava (eds.). *V hloubce a po povrchu / In Depth and on the Surface*. Praha: Národní galerie v Praze, 2022. ISBN 978-80-7035-810-8.
- KARDJILOV, Nikolay a FESTA, Giulia (ed.). *Neutron Methods for Archaeology and Cultural Heritage*. Cham: Springer, 2017. ISBN 978-3-319-33161-4.
- LEHMANN, Eberhard; HARTMANN, Stefan a SPEIDEL, Marcus O. Investigation of the Content of Ancient Tibetan Metallic Buddha Statues by Means of Neutron Imaging Methods. *Archaeometry*, 2010, roč. 52, č. 3, s. 416–428.
- LEHMANN, Eberhard H.; MANNES, David; HENSS, M. a SPEIDEL, Markus. Ancient Buddhist Metal Statues Using Neutron Tomography. In: D'AMICO, Sebastiano a VENUTI, Valentina (eds.). *Handbook of Cultural Heritage Analysis.* Cham: Springer International Publishing, 2022. ISBN 978-3-030-60015-0.
- LEHMANN, Eberhard; MANNES, David a SPEIDEL, Marcus O. Neutron Tomography of Buddhist Bronze Sculptures. *Applied Physics. Materials, Science and Processing*, 2024, roč. 130, č. 884.
- LI, Yueer; CREANGE, Sara; ZHOU, Zhou; SOUTHWORTH, William; PAPPOT, Arie a EIJCK, Lambert van. Exploiting activation radiation from neutron tomography reveals the hidden elemental composition of 3D art objects for free. *Scientific Reports*, 2024, roč. 14, 28982.
- MATOUŠKOVÁ, Jana; SCHILLINGER, Burkhard a SKLENKA, Lubomir. New Neutron Imaging Facility NIFFLER at Very Low Power Reactor VR-1. *Journal of Imaging*, 2023, roč. 9, č. 1, s. 1–15.
- MATOUŠKOVÁ, Jana; SKLENKA, Lubomir a SCHILLINGER, Burkhard. Investigation of Buddhist and Bon votive statues at the Very low power reactor VR-1. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A*, 2024, roč. 1060, č. 169043.
- NAGAR, Aditi; BISHT, Dhruvika a PANDEY, Chetan R. *Conservation of the gilded repoussé surfaces at Seto Machindranath Temple in Kathmandu, Nepal. Working Towards a Sustainable Past*. ICOM-CC 20th Triennial Conference Preprints, 2023.
- SCHILLINGER, Burkhard; BEAUDET, Amélie; FEDRIGO, Anna; GRAZZI, Francesco; KULLMER, Ottmar; LAAß, Michael; MAKOWSKA, Malgorzata; WERNEBURG, Ingmar a ZANOLLI, Clément. Neutron Imaging in Cultural Heritage Research at the FRM II Reactor of the Heinz Maier-Leibnitz Center. *Journal of Imaging*, 2018, roč. 4, č. 1, s. 1–22.
- ŠEFCŮ, Radka; CHLUMSKÁ, Štěpánka; ANTUŠKOVÁ, Václava; VAVŘÍK, Daniel; KUMPOVÁ, Ivana a PITTHARD, Václav. A Multianalytical Approach for the Characterisation of Materials on Selected Artworks by Monogrammist IP. *Materials*, 2023, roč. 16, č. 331.
- TROJEK, Tomáš; PROKEŠ, Radek; ŠEFCŮ, Radka; BILAVČÍKOVÁ, Hana a ČECHÁK, Tomáš. Confocal X-ray fluorescence spectrometer for in-situ analyses of paintings. *Radiation Physics and Chemistry*, 2017, roč. 137, s. 238–242.
- VAVŘÍK, Daniel; ANTUŠKOVÁ, Václava; CHLUMSKÁ, Štěpánka; KUMPOVÁ, Ivana; ŠEFCŮ, Radka a VOPÁLENSKÝ, Michal. Non-destructive exploration of late Gothic panel painting using X-ray tomography and flattening of the reconstructed data. *European Physical Journal Plus*, 2023, roč. 138, č. 618.
- VON SCHROEDER, Ulrich. *Buddhist sculptures in Tibet*, Vols. 1 and 2. Hong Kong: Visual Dharma Publications, 2001. ISBN 9627049077.