

# Průvodní zpráva

---

## Památkový postup (Npam): Technologie optického 3D skenování archeologických nálezů v kontextu virtuálního muzea

Petr Květina, Hana Brzobohatá, Jan Koberec, Markéta Končelová, Radka Šumberová  
(Archeologický ústav AV ČR, Praha, v.v.i.)

Předkládaný památkový postup vznikl za podpory Ministerstva kultury České republiky v rámci Programu aplikovaného výzkumu a vývoje národní a kulturní identity (NAKI), název projektu: „**Archeologické 3D virtuální muzeum. Nové technologie dokumentace a prezentace neolitického sídelního areálu**“, číslo projektu DF12P01OVV032.

Rozvoj digitálních technologií zejména v poslední dekádě se výrazně projevil i v metodách a postupech péče o movité i nemovité památky a posunul možnosti dokumentace, poznávání i prezentace našeho kulturního dědictví na kvalitativně vyšší úroveň. Dostupnost technologií zintenzivnila snahu o jejich všestranné využití i v oborech společenských a humanitních věd. Prezentace výsledků výzkumů na straně jedné a dosažitelnost informací na straně druhé rostou geometrickou řadou. Digitální svět začíná v našem poznávání v některých případech úspěšně suplovat nutnost fyzické přítomnosti studovaných objektů - např. Google Art Project – zpřístupnění uměleckých děl (<http://www.google.com/culturalinstitute/project/art-project?hl=cs>) nebo papírových tisků ([www.nkp.cz/digitalni-knihovna](http://www.nkp.cz/digitalni-knihovna)). Na tuto tendenci se adaptuje i metodologie ochrany a zachování archeologických památek. Jejich digitalizace a zpřístupňování odborné i laické veřejnosti prostřednictvím internetu je nejen významným nástrojem současné prezentace našeho kulturního dědictví, ale především způsobem jeho zhodnocení. Vedle tradičních kamenných muzeí je jejich virtuální podoba s věrnými 3D modely/kopii a prezentacemi téměř plnohodnotnou alternativou poznávání naší minulosti, navíc přístupnou kdekoli to umožní dostupnost internetové sítě, tedy téměř s celosvětovým dosahem.

### I) cíl památkového postupu

Předmětem předkládaného památkového postupu je implementace výsledků specifického aplikovaného výzkumu digitalizace archeologických nálezů pomocí optického 3D skeneru mezi ověřené metody a postupy památkové péče s cílem zajistit trvalé zachování movitých památek v digitální podobě. Výzkum byl zaměřen na archeologické památky, které nejsou primárně ohroženy

jen na místech jejich výskytu, tj. na archeologických nalezištích v důsledku stavební činnosti či neodborných zásahů do původních terénů, ale jsou permanentně v nebezpečí i následně po jejich vyzvednutí ze země, kdy se stávají součástí depozitářů, případně expozic muzeí, kde jsou nezdědky vystaveny působení nevhodných klimatických podmínek, riziku různých živelných katastrof (např. [www.pamatkyapovodne.cz](http://www.pamatkyapovodne.cz)), vandalismu nebo krádeží. Některé typy památek jsou navíc z materiálů podléhajících zkáze nebo dochází ke změnám vzhledu a tvaru v průběhu nutné konzervace. Jedinečnost takových předmětů lze do určité míry suplovat jejich digitálním duplikátem v různých stádiích zpracování, kdy je zachycen i post-exkavační stav. Digitalizace v maximálním možném detailu a důsledné zálohování na datových úložištích na jiných místech než je fyzická přítomnost nálezů a terénní dokumentace je elementárním prostředkem uchování našeho kulturního dědictví (např. <http://www.webarchiv.cz>). Virtualizací se zmírní následky destruktivních zásahů i případné ztráty těchto jedinečných dokladů naší minulosti a možnost jejich zachování dalším generacím alespoň ve virtuální podobě se stane reálnější.

Užitá metodika se vyvíjela v průběhu zpracování více než 900 předmětů z významné neolitické lokality Bylany u Kutné Hory a byla ověřena v průběhu tvorby Virtuálního muzea neolitu ([www.archaeo3d.com](http://www.archaeo3d.com)). Spektrum movitých archeologických nálezů z období neolitu (5700/5600 – 4300/4200 cal BC) v našem prostředí zahrnuje širokou škálu předmětů denní potřeby a artefaktů zřejmě i neutilitárního významu. Jsou to zejména předměty z vypálené hlíny (keramické nádoby, přesleny, tkalcovská závaží, lžice, plastiky, mazanice), kostěné nástroje a šperky, předměty z kamene (sekery, tesly, mlaty, čepelky, nože, škrabadla, otloukače, mlýnky, drtidla, brousky, ale i náramky či amulety). Předměty z organických materiálů jsou v našem prostředí zcela výjimečné. Významná část uvedeného portfolia předmětů ze sídliště v Bylanech u Kutné Hory se stala pilotní sadou předmětů pro vývoj metodiky získání jejich digitální podoby pomocí optického 3D skeneru a bude zveřejněna v rámci virtuálního muzea ([www.archaeo3d.com](http://www.archaeo3d.com)).

## II) vlastní popis

Vlastní památkový postup zahrnuje výběr předmětů, proces manipulace s předměty v rámci skenování, uvedena jsou hlavní úskalí snímání různých typů artefaktů a ukázány způsoby partikulárních technologických řešení. V druhém kroku je prezentována metoda zpracování jednotlivých výsledných skenů („mesh“) v samotný trojrozměrný objekt (3D model) a specifiky různých výstupních formátů. Dalším úkonem v tzv. postprocessingu je jedinečný způsob napojení barevné textury předmětu. Následným krokem této specifické metody získání autentické kopie původního předmětu je optimalizace velikosti, tzv. decimace z hlediska uživatelského komfortu při prohlížení na internetu. Vysvětleny jsou i možnosti zobrazování výsledných trojrozměrných modelů

jako přesných kopií původních artefaktů a jejich využití v odborném sektoru (**Obr. 1**). Vytvořená sbírka prostorových snímků artefaktů z neolitického sídliště v Bylanech u Kutné Hory je součástí virtuálního muzea, trojrozměrné skeny je možno použít i jako primární dokumentaci sbírkových předmětů a jejich decimovanou podobu zahrnout do evidenčních systémů muzejních sbírek (CES, DEMUS, BACH, CASTIS atd.). Přiměřeně upravená a zmenšená forma trojrozměrných modelů může nahradit fotodokumentaci i kresebnou dokumentaci v kvalitativně vyšší úrovni bez nepřiměřeně vysokých nároků na cílová úložiště a bez subjektivního vkladu dokumentátora.

## Struktura postupu

### 1) Výběr předmětů

### 2) Postup tvorby 3D modelů artefaktů

- a) Akvizice dat
- b) Postprocessing surových dat v 3D model
- c) Optimalizace formátu 3D modelu pro prezentaci

### 3) Využití 3D modelů

- a) archivace a dokumentace sbírkového předmětu a napojení decimované verze na používané evidenční systémy
- b) výroba přesných kopií jako výstavních exponátů, výukových pomůcek, reprezentačních a prodejních předmětů
- c) podklad pro exaktní výzkum, zaměřený na geometrickou morfometrii, trasologii či analýzy technik výzdoby apod.
- d) softwarová konzole na platformě 3D prohlížečky vybraných artefaktů stažitelná do mobilních telefonů a tabletů, využitelná zejména přes QR kód - virtuální muzeum přímo v terénu.
- e) virtuální muzeum

## III) popis ověření památkového postupu v praxi

Digitální kolekce neolitických artefaktů byla vytvořena za použití **optického skeneru smartSCAN 3D HE** (Breuckmann GmbH, Německo) s kamerou 5 Mpix, čočkami *FOV S-060, M-125 a M-300* pro zorná pole o velikosti 25 až 240 mm s rozlišením 20, 45 resp. 100  $\mu\text{m}$  v ose  $x, y$ , kterým v současnosti disponuje Archeologický ústav AV ČR Praha, v.v.i., konkrétně pracoviště v Kutné Hoře. Naskenováno bylo celkem 902 ks různých artefaktů (380 keramických nádob, 297 ks kamenné broušené industrie,

180 ks kamenné štípané industrie, 19 kamenných drtidel/mlýnků, 9 lžic, 14 přeslenů, 3 ks závaží). Uvedený soubor různorodých předmětů umožnil vytváření skenovacího postupu a postprocessingu dat z několika typů povrchů a odlišných tvarů specifických artefaktů, a jeho postupnou optimalizaci v efektivní celek, který je možno aplikovat na předměty různého stáří, typu i materiálu (viz popis výše).

Archivace polygonálních sítí ve dvou formátech (.stl a .ply) pro uvedený počet 902 ks artefaktů vyžádala diskový prostor přes 50 GB.

Klady a zápory optického skeneru:

Předností optického skeneru je rychlá akvizice dat, velmi vysoká přesnost (20-100  $\mu\text{m}$ ) a škála několika vyměnitelných zorných polí (FOV) umožňující skenovat objekty od velikosti mincí po nádoby zpravidla o průměru cca 50 cm. V projektu jsou využívána FOV 060, 125 a 300 mm, přičemž je optimální skenovat konkrétním objektivem předměty o cca 20% menší než zorné pole FOV.

Limitací optického skeneru jsou vysoké pořizovací náklady cca 70 tis. euro. Další nevýhodou jak u optických, tak i ostatních (laserových) skenerů je nemožnost zobrazení předmětů velmi tmavých nebo velmi lesklých. Tento problém v průmyslových odvětvích řeší použití zmatňujícího postřiku ve formě speciálního pudru Anti-Glare Spray (Helling, GmbH, Německo). K jeho využití na archeologické předměty nebylo přistoupeno z důvodu potencionálního narušení původního povrchu cenných artefaktů. Při zkušebním skenování repliky došlo ke změně zbarvení povrchu objektu. Jako nejproblematičtější se jevílo skenování kamenné industrie z tmavých a lesklých surovin (např. tmavší nástroje z baltského pazourku, břidlice atp.). Prakticky nesnímatelné jsou předměty z obsidiánu (sopečného skla), jejichž množství je ale v archeologických souborech z našeho území zanedbatelné. Pomocí regulace intenzity světla v místnosti se v rámci projektu podařilo naskenovat veškeré plánované i tmavší lesklé kusy neolitické kamenné industrie ze sídliště v Bylanech i recentních broušených seker z Nové Guineje pocházejících ze soukromé etnografické sbírky.

Ačkoli se jedná o jeden z nejrychlejších přístrojů, samotné skenování a postprocessing skenů předmětů se složitější geometrií trvá několik desítek hodin. Jedná se zejména o uzavřené globulární nádoby, kde se obtížně osvětluje a zachycuje vnitřní plocha (konkrétně bombovitě nádoby kultury s lineární keramikou nebo vysoké hruškovité nádoby kultury s vypíchanou keramikou). Vnitřní prostor některých nádob nebylo možné nasnímat vůbec. Nejjednodušší malé předměty typu štípaná industrie byly naskenovány za 30 min.

Výše uvedeným postupem získaná sbírka 3D modelů byla typologicky rozdělena a bude implementována do internetových stránek projektu ([www.archaeo3d.com](http://www.archaeo3d.com)) jako tzv. virtuální muzeum, které představuje interaktivní přístup ke studiu prezentovaných předmětů, období, lokality

a jejich snadnou dosažitelnost. Muzeum bude zpřístupněno po dokončení dalších částí projektu v roce 2015.

Stejný přístroj i postup byl využit například i při dokumentaci post-exkavačního stavu nového archeologického nálezu depotu stříbrných mincí, který byl uložen ve váčku z organického materiálu. Výše uvedeným postupem byl vytvořen 3D model celého předmětu, který byl následně rozebrán z důvodů dalších analýz a konzervace jednotlivých součástí depotu. 3D model tak nejen přesně dokumentuje původní stav nálezu, ale je i podkladem pro další morfometrické analýzy a rekonstrukci použitého organického obalu.

#### IV) Návrh konkrétních uživatelů výsledku

Uvedený postup najde uplatnění ve všech institucích spravujících movité kulturní dědictví a institucích zajišťujících archeologickou památkovou péči (muzea, NPÚ, ÚAPP, ARÚ AV ČR, univerzitní pracoviště s archeologickou licencií nebo neziskové organizace) či jiní vlastníci movitých památek (např. církev). Z uvedených institucí jen některé disponují vhodným zařízením, další organizace by museli zajišťovat tvorbu trojrozměrných modelů smluvně.

#### V) Seznam použité související literatury

Brzobohatá H., Prokop J., Horák M., Jančárek A., Velemínská J. 2012: Accuracy and benefits of 3D bone surface modelling: a comparison of two methods of surface data acquisition reconstructed by laser scanning and computed tomography outputs. *Coll Antropol* 36: 801-806.

Delson E., Ford E., Friess M., Frost SR., Harcourt-Smith W. 2011: Organizing, administering, and sustaining an open-access database, examples learned from PRIMO. [abstract] *Am J Phys Anthropol Suppl* 52: 123.

Friess M. 201: Scratching the surface? The use of surface scanning in physical and paleoanthropology. *J Anthropol Sci* 90: 1-25.

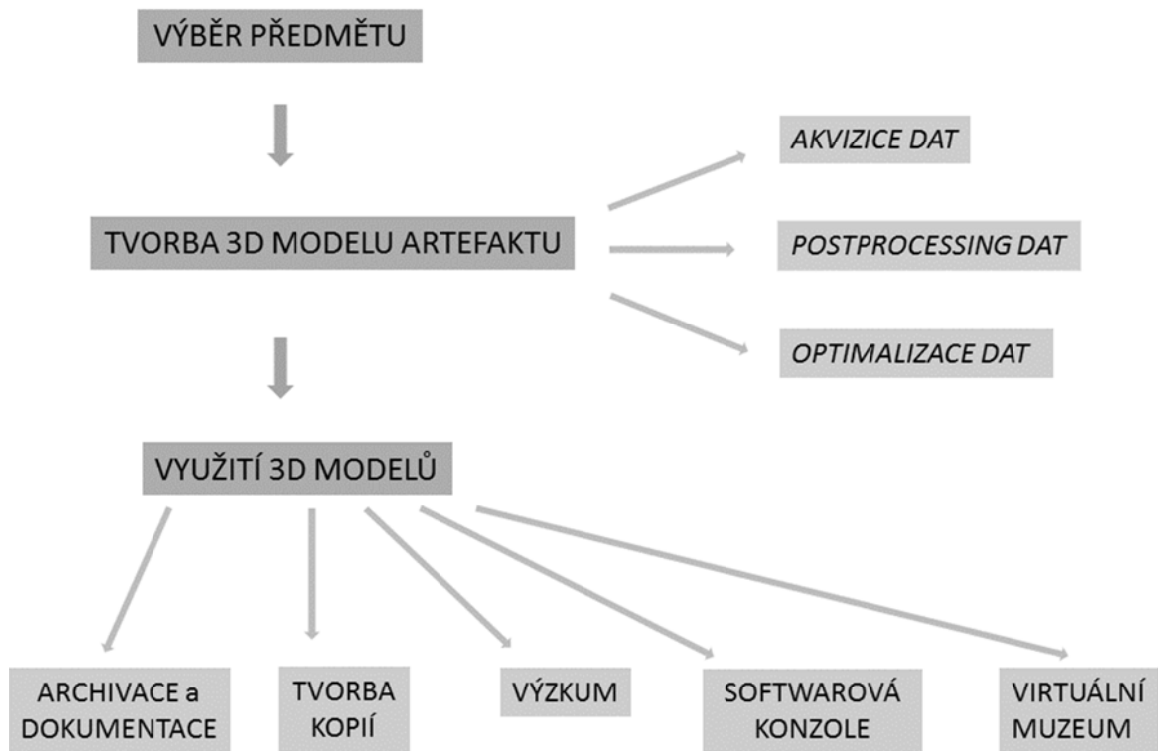
Gunz P., Mitteroecker P., Bookstein F., Weber GW. 2004: Computer aided reconstruction of incomplete human crania using statistical and geometrical estimation methods. *Enter the past: Computer applications and quantitative methods in archaeology. BAR International Series 1227. Oxford: Archaeopress, 92-94.*

Grosman, L. – Smikt, O. – Smilansky, U. (2008): On the application of 3-D scanning technology for the documentation and typology of lithic artifacts. *Journal of Archaeological Science* 35: 3101 – 3110.

- Pavlů I., Zápotocká M. 2007: Archeologie pravěkých Čech 3. Neolit., Archeologický ústav AV ČR, Praha, v.v.i., Praha.
- Recheis W., Weber G., Schäfer K., Prossinger H., Knapp R., Seidler H., zur Nedden D. 1999a: New methods and techniques in anthropology. *Coll Antropol* 23: 495-509.
- Recheis W., Weber G., Schäfer K., Knapp R., Seidler H., zur Nedden D. 1999b: Virtual reality and anthropology. *Eur J Radiol* 31: 88-96.
- Saragusti, I. - Karasik, A. - Sharon, I. - Smilansky, U. (2005): Quantitative analysis of shape attributes based on contours and section profiles in archaeological research. *Journal of Archaeological Science* 32: 841 – 853.
- Subsol G., Mafart B., De Lumley MA., Silvestre A. 2002: 3D image processing for the study of the evolution of the shape of the human skull: presentation of the tools and preliminary results. In: Mafart B., Delingette H., and Subsol G., editors. *Three-dimensional imaging in paleoanthropology and prehistoric archaeology*. Liege, Belgium: BAR International Series 1049. 37-45.
- Urbanová, P. 2010: Využití metod geometrické morfometrie v biologii člověka a přidružených oborech. Habilitační práce, Masarykova Univerzita, Přírodovědecká fakulta.
- Weber G. 2001: Virtual anthropology (VA): a call for glasnost in paleoanthropology. *Anat Rec* 265: 193-201.
- Zollikofer CP., Ponce de León MS., Lieberman DE., Guy F., Pilbeam D., Likius A., Mackaye HT., Vignaud P., Brunet M. 2005: Virtual reconstruction of Sahelanthropus tchadensis. *Nature* 434: 755-759.

## VI) seznam publikací předcházející památkovému postupu

- Květina P., Končelová M., Brzobohatá H., Šumberová R., Řídký J., Pavlů I. 2012: Neolithic settlement in Bylany: taking a new look at old digs. *International Journal of Heritage in the Digital Era* 1, Supplement 1, 61-64.
- Květina P., Končelová M. 2013: From Punch Cards to Virtual Space: Changing the Concept of Archaeological Heritage Management in the Digital Age. In: Biehl P.F., Prescott C. (ed.): *Heritage in the Context of Globalization: Europe and the Americas*, Springer, New York, 95-101.
- Květina, P., and M. Končelová. 2014. The Neolithic Site of Bylany (Czech Republic): Past, Present and near Future of a long-term archaeological Project. In *Quo vadis? Status and Future Perspectives of Long-Term Excavations in Europe*. *Schriften des Archäologischen Landesmuseums. Ergänzungsreihe. Band 10*, ed. C. von Carnap-Bornheim, 27-40. Neumünster/Hamburg: Wachholtz Verlag - Murmann-Publishers.



Obr. 1: Grafické znázornění základních kroků památkového postupu digitalizace archeologických nálezů pomocí optického 3D skeneru.

## Památkový postup (Npam): Technologie optického 3D skenování archeologických nálezů v kontextu virtuálního muzea

Petr Květina, Hana Brzobohatá, Jan Komberec, Markéta Končelová, Radka Šumberová  
(Archeologický ústav AV ČR, Praha, v.v.i.)

Předkládaný památkový postup vznikl za podpory Ministerstva kultury České republiky v rámci Programu aplikovaného výzkumu a vývoje národní a kulturní identity (NAKI), název projektu: „**Archeologické 3D virtuální muzeum. Nové technologie dokumentace a prezentace neolitického sídelního areálu**“, číslo projektu DF12P01OVV032.

Předmětem předkládaného památkového postupu je implementace výsledků specifického aplikovaného výzkumu digitalizace archeologických nálezů pomocí optického 3D skeneru mezi ověřené metody a postupy památkové péče s cílem zajistit trvalé zachování movitých památek v digitální podobě.

### 1) Výběr předmětů

Trojrozměrná vizualizace movitých nálezů patří k nejmodernějším metodám v archeologii. Pomáhá s dokumentací, formálním popisem tvarově i velikostně variabilních artefaktů a zcela eliminuje subjektivní vklad dokumentátora. Výběr předmětů pro skenování ovlivňují především účely využití výstupů a technické parametry užitého přístroje. Vzhledem k časové a finanční náročnosti postupu pro účely dokumentace vybíráme předměty jedinečné, mimořádné hodnoty a předměty, jejichž tvar může být v čase pozměněn nebo narušen při nutné konzervaci či destruktivním výzkumem. Při tvorbě virtuálních muzeí pak výběr odráží cíle daného projektu, minimálně by měly být zastoupeny všechny důležité kategorie dané sbírky. Technicky ovlivňuje možnost skenování velikost artefaktu (postup byl ověřen pro předměty s rozměry 5 – 700 mm) a použitý materiál (nevhodné jsou předměty transparentní, vláknité, u lesklých předmětů jsou třeba úpravy povrchu před snímáním). Do určité míry je kvalita výstupu ovlivněna i tvarem předmětu (např. u nádob s úzkým hrdlem je problematické zobrazování vnitřního povrchu).

### 2) Postup tvorby 3D modelů artefaktů

#### a) Akvizice dat

Digitalizace artefaktu skenerem spočívá v převedení prostorové informace o morfologii objektu do podoby trojrozměrného počítačového modelu. Tento postup předpokládá pro získání povrchových modelů artefaktů použití **optického skeneru smartSCAN 3D HE** (Breuckmann GmbH, Německo) s kamerou 5 Mpix, čočkami *FOV S-060, M-125 a M-300* pro zorná pole o velikosti 25 až 240



mm s rozlišením 20, 45 resp. 100  $\mu\text{m}$  v ose  $x$ ,  $y$ . Uvedený topometrický systém pracuje na bázi strukturovaného světla a je vybaven otočným stolcem pro umístění snímaného předmětu. Vlastní digitalizace probíhá jako projekce série různých vertikálně pruhovaných vzorů z projektoru na digitalizovaný předmět a snímání jejich deformací oběma kamerami přístroje. Vzniklé linie na předmětu poté reprezentují křivky povrchu a při znalosti polohy kamery vůči zdroji projekce je lze přepočítat na prostorový obraz předmětu (Obr. 1). Průběžně se zobrazení přepočítává na zobrazení naskenované plochy, kdy je každý sken barevně odlišen (jednotlivé skeny se musí vzájemně překrývat, Obr. 2). Uplatněný postup nemá na snímaný předmět žádný negativní vliv.

Kompletní digitalizace artefaktu je možná jen snímáním z více úhlů pohledu, minimálně dvou u objektů s jednodušší geometrií. Pro zachycení detailů je proto artefakt třeba umístit na rotující stolec a postupně fixovat v nádobě s pískem ve dvou či více různých polohách. V každé z poloh je pak postupným otáčením rotačního stolku sejmuto 8 – 16 skenů (větší počet kroků se volí např. u nádob s výzdobou provedenou vpichy), které jsou následně sloučeny v jeden sken zobrazující ozářenou plochu otáčejícího se objektu v dané poloze.

### b) Postprocessing surových dat v 3D model

Jednotlivé a vzájemně se překrývající skeny částí objektu jsou manuálně sloučeny (Obr. 3) a k výslednému produktu připojeny skeny zobrazující problematické partie (jako např. ucha nádob, vnitřní partie nádob, vývrty broušené industrie apod.).

Koordinaci snímání, zarovnání a slučování získaných dat do finálního datového objektu zajišťuje **software Optocat 2010** (Breuckmann GmbH, Německo). Mrak bodů (point cloud) je renderován do podoby viditelného/měřitelného objektu a konvertován do sítě složené z polygonů v počtu 80 000 – 8 900 000 (v závislosti na velikosti objektu a členitosti jeho reliéfu).

Výsledný model (Obr. 4) se exportuje a archivuje ve formátu:

.stl – stereolitography, formát 3D tiskáren, polygonální optimalizovaná síť, neobsahuje informaci o zbarvení, nevhodný pro prezentaci věrných kopií (cca 2-200 MB dle velikosti artefaktu)

.ply – polygonální síť včetně barvy povrchu (cca 1-100 MB dle velikosti artefaktu)

.ctr – nativní formát optického skeneru, umožní kdykoli návrat k rozpracovanému projektu (1-290 MB dle velikosti artefaktu)

### c) Optimalizace formátu 3D modelu pro prezentaci

Možnosti 3D spočívají v interaktivitě objektů jako je rotace, posun, zvětšení, změna osvětlení či projekce atd. Pro uživatelsky komfortní prezentaci předmětu v podobě 3D modelu je ale nutné zmenšení velikosti nasnímaného artefaktu a jeho konverze do formátu, který uživatel otevře i na počítačích nižšího výkonu a bez nutnosti placeného softwaru. Vzhledem k masivnímu rozšíření

produktů firmy Adobe je zvolen formát „**3D PDF**“, jenž vyžaduje pouze instalaci volně dostupného programu Adobe (Acrobat) Reader ve verzi 8 a vyšší (<http://get.adobe.com/cz/reader/>), která je dnes základní součástí domácích i kancelářských počítačů.

Prvním krokem úpravy jednotlivých souborů 3D skenů (ve formátu .ply) pro výslednou prezentaci je optimalizace jejich kvality a komfortu při otevírání koncovým uživatelem. Po testování jsme stanovili zmenšení, tzv. **decimaci** původní polygonální sítě na maximální počet 500 000 polygonů (tento krok lze provést v SW **Optocat** nebo ve volně dostupném SW **Meshlab** nástrojem: „Filters/Remeshing/Quadric Edge Collapse Decimation“. Razantnější decimace vede k nežádoucímu zkreslení výzdoby nádob (např. vpichy, ryté linie) a jiných detailů objektu, naopak vyšší rozlišení může zapříčinit obtíže při otevírání souboru, manipulace s objektem a navyšuje i nároky na úložný prostor úložného serveru či internetového připojení koncového uživatele.

Takto upravený (decimovaný) sken (3D model) je pro prezentaci dále nutné převést do formátu 3D PDF. K tomu lze použít SW Rhinoceros (verze 5) s modulem (**Simlab 3D PDF Exporter**). Při konverzi výsledných skenů z formátu .ply obsahující ve své podstatě barevnou texturu dochází během převodu do 3D PDF ke ztrátě této informace a je nutný následující mezikrok. Soubor ve formátu .ply je po decimaci konvertován v SW Geomagic na soubor .obj, přičemž je zároveň oddělena jeho textura ve formě bitmapy (z jednoho souboru .ply vzniknou soubory tři: .obj, .bmp a .mtl). Teprve po oddělení textury je možná úspěšná konverze souboru .obj do 3D PDF, import do prostředí SW Rhinoceros, zmenšit či zvětšit předměty v pracovním okně a natočit je do polohy, která se uživateli objeví jako výchozí. Vlastní export pak probíhá v modulu Simlab/Export. Ve stejném modulu je možno pro různé kategorie artefaktů zvolit **různé formy osvětlení**, tak aby podoba výsledného modelu co nejvíce odpovídala skutečnosti (modul Simlab, nástroj Settings/3D – Bright lights, Headlamps a další). V žádném případě nelze aplikovat jediný mód osvětlení na všechny kategorie předmětů (např. drtidla či nádoby z keramiky se pak jeví jako příliš lesklé).

### 3) Využití 3 D modelů

Digitalizace v maximálním možném detailu a důsledné zálohování na datových uložkách na jiných místech než je fyzická přítomnost archeologických nálezů a terénní dokumentace je elementárním prostředkem uchování našeho kulturního dědictví. Virtualizací se zmírní následky destruktivních zásahů i případné ztráty těchto často jedinečných dokladů naší minulosti. Některé typy památek jsou navíc z materiálů podléhajících zkáze nebo dochází ke změnám vzhledu a tvaru v průběhu nezbytné konzervace. Zhotovení digitálního duplikátu v různých stádiích exkavace, konzervace a analýz je v současnosti nejlepším způsobem dokumentace a zachování podstatných

informací o vybraných předmětech pro budoucí využití a pro prezentaci moderním všeobecně přístupným způsobem.

#### **a) archivace a dokumentace sbírkových předmětů**

Trojrozměrné modely vybraných předmětů ze sbírkových fondů ve formátu .ply se mohou stát součástí muzejní i jiné dokumentace, decimované verze modelů se napojí na používané evidenční systémy náhradou nebo jako doplnění fotografické dokumentace.

#### **b) tvorba kopií**

Při využití 3D tiskáren lze model ve formátu .stl použít pro produkci přesných kopií vybraných předmětů využitelných jako výstavní exponáty, výukové pomůcky, reprezentační či prodejní předměty.

#### **c) podklad pro exaktní výzkum**

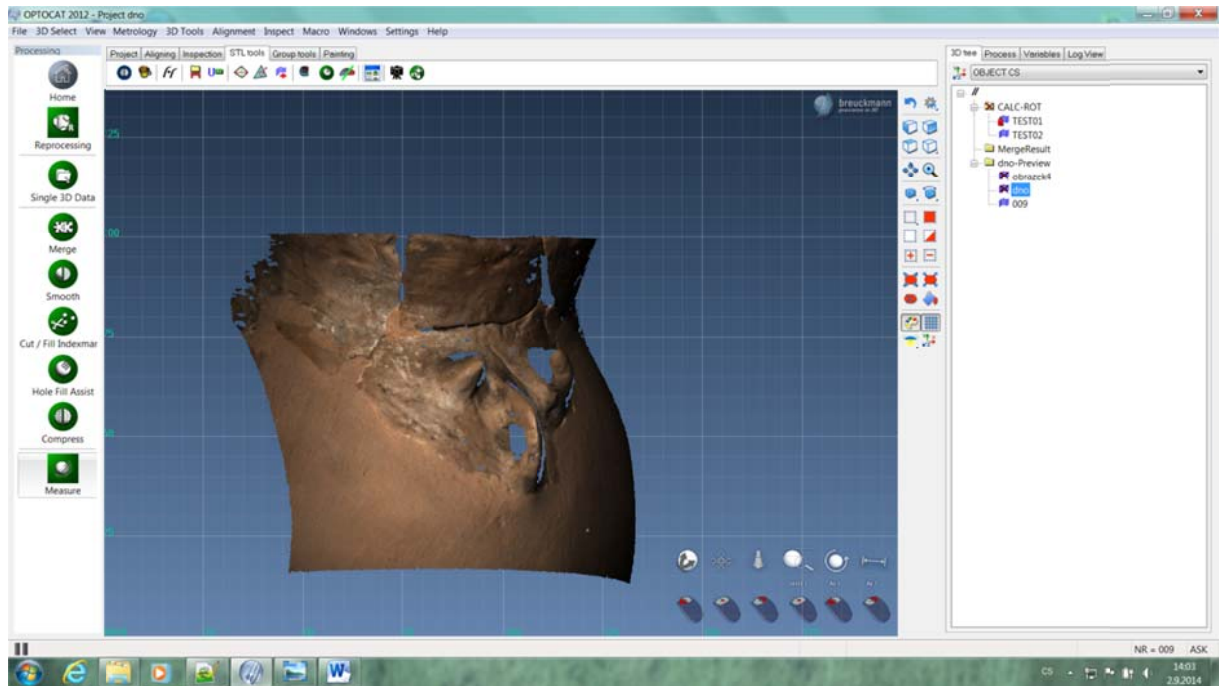
Informační potenciál trojrozměrných modelů je možné vytěžit pomocí geometrické morfometrie, kdy srovnání podobnosti tvarů je založeno buď na vzájemném porovnání dvojice artefaktů (superpozice) nebo náročnější metodě kvantitativních analýz tvaru. Morfometrické metody lze aplikovat i při analýzách pracovních stop či technik výzdoby.

#### **d) softwarová konzole na platformě 3D prohlížečky**

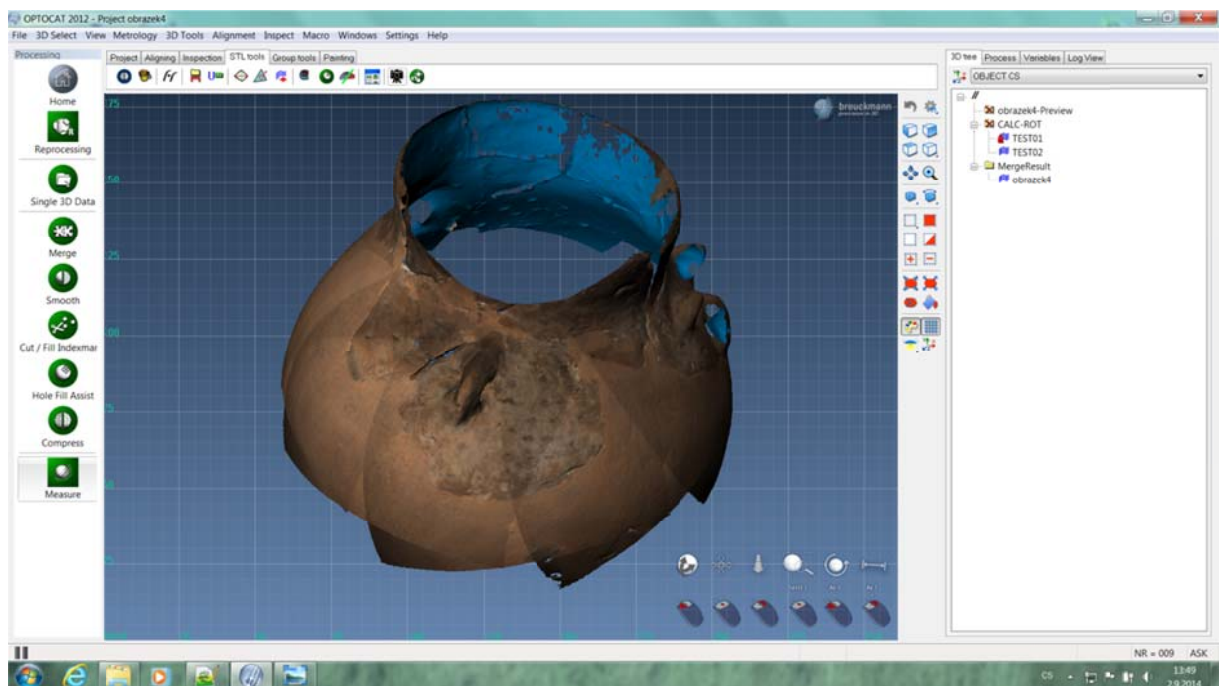
Soubor 3D PDF vybraných artefaktů v podobě softwarové konzole lze stáhnout do mobilních telefonů a tabletů a je využitelný zejména přes qr kód, umístěný například na informačních tabulích. Díky tomu jsou virtuální modely přístupné přímo v terénu – například na místě nálezů.

#### **e) virtuální muzeum**

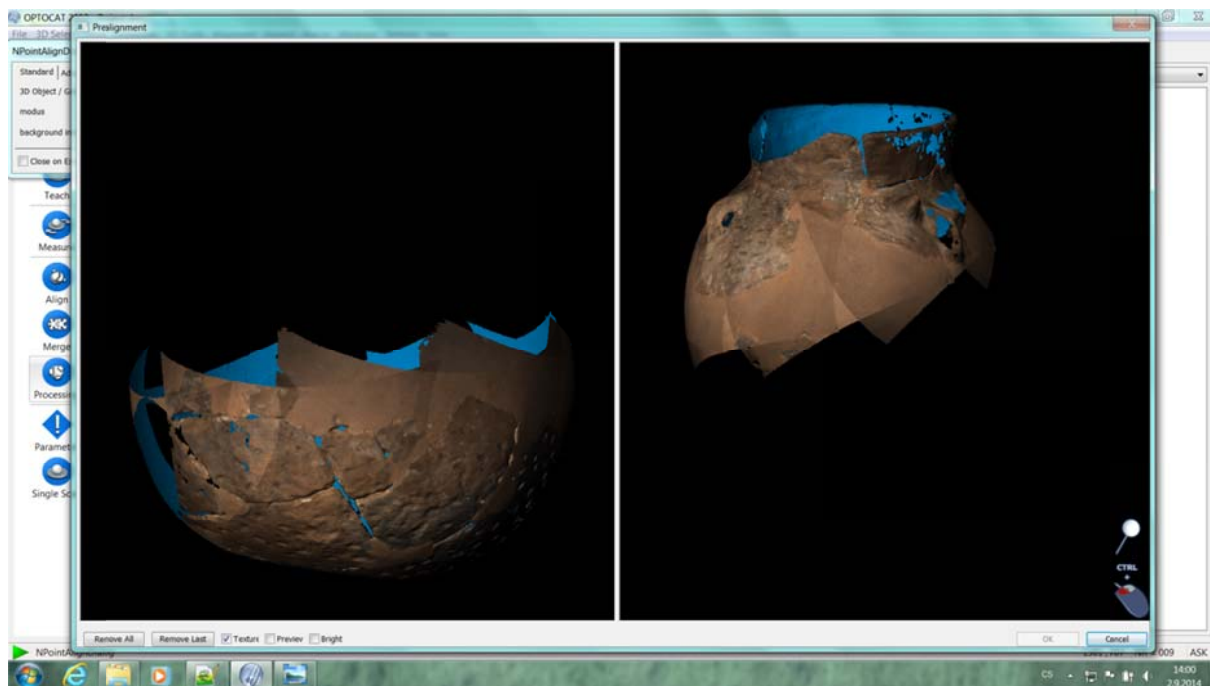
Virtuální muzeum s přesnými 3D modely artefaktů, virtuálními rekonstrukcemi a prezentacemi je téměř plnohodnotnou alternativou poznávání naší minulosti, navíc přístupnou kdekoli to umožní dostupnost internetové sítě, tedy téměř s celosvětovým dosahem, a bez prostorového omezení kamenného muzea - modelový příklad virtuálního muzea na základě nálezů z neolitického sídliště Bylany – Virtuální muzeum neolitu ([www.archaeo3d.com](http://www.archaeo3d.com)).



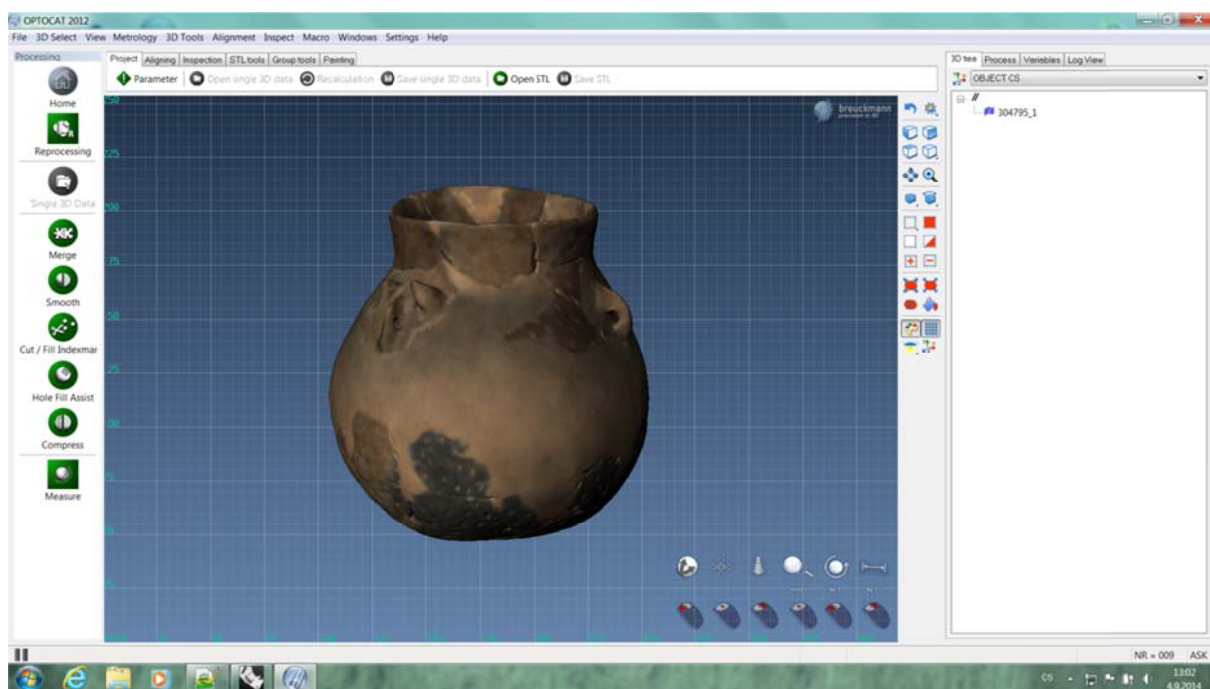
Obr. 1: Výsledek snímání z jednoho úhlu pohledu (tzv. mesh) v pracovním prostředí Optocat 2012.



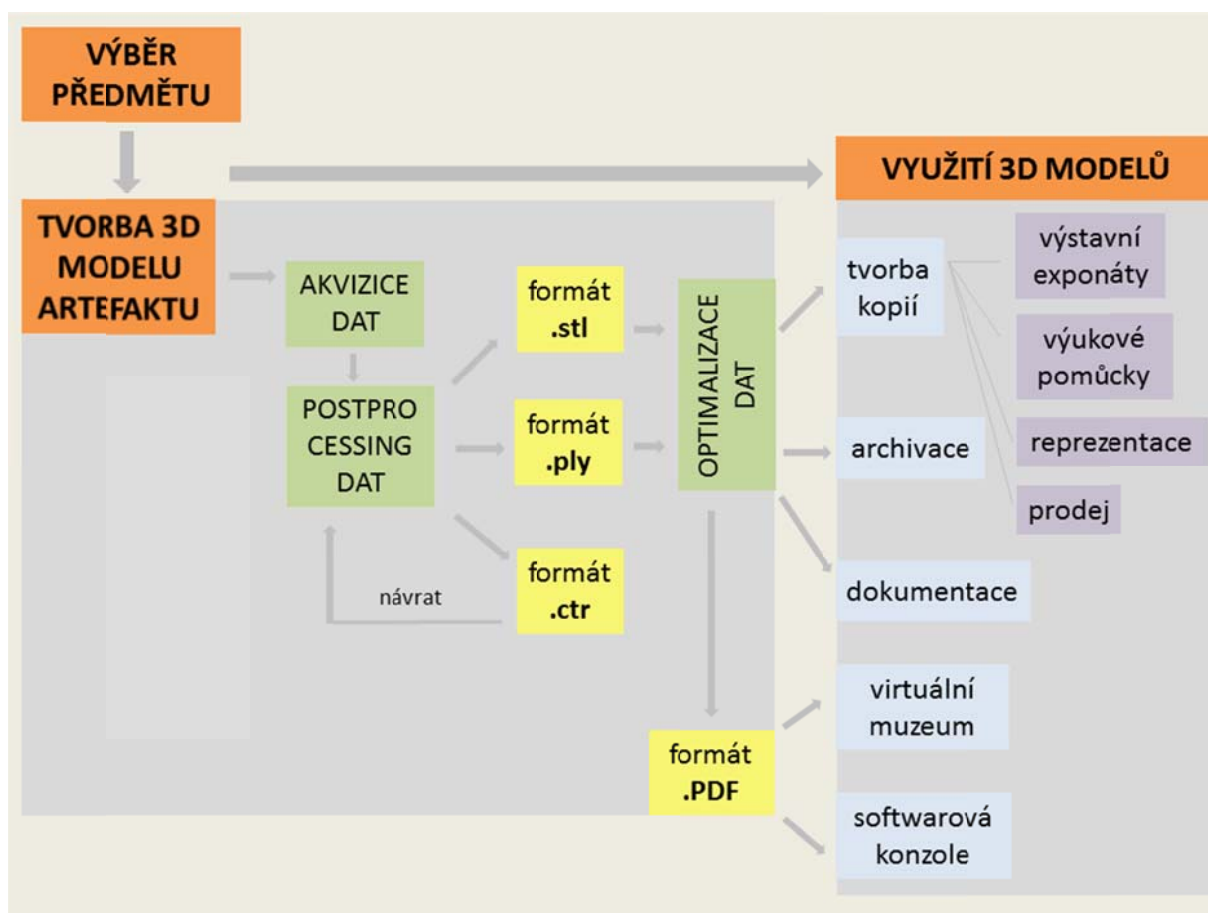
Obr. 2: Skenování horní části nádoby v osmi krocích s patrným překrýváním.



Obr. 3: Spojování jednotlivých částí (horní a dolní části nádoby).



Obr. 4: Výsledný trojrozměrný model.



Obr. 5: Schéma památkového postupu.



# Protokol o ověření památkového postupu v praxi

---

**Název památkového postupu:** Technologie optického 3D skenování archeologických nálezů v kontextu virtuálního muzea.

**Instituce, kde byl postup ověřen:** Archeologický ústav AV ČR, Praha, v.v.i.

**Doba ověřování:** 2012 – 2014

**Osoby podílející se na tvorbě a ověřování památkového postupu:** Mgr. Petr Květina, Ph.D., Mgr. Hana Brzobohatá, Jan Komberec, Mgr. Markéta Končelová, Ph.D., PhDr. Radka Šumberová, Ph.D.


**Přístrojové vybavení:** optický skener smartSCAN 3D HE (Breuckmann GmbH, Německo) s kamerou 5 Mpix, čočkami *FOV S-060, M-125 a M-300* pro zorná pole o velikosti 25 až 240 mm s rozlišením 20, 45 resp. 100  $\mu$ m v ose x, y.


**Software:** Optocat 2010, Adobe (Acrobat) Reader ve verzi 8 a vyšší, Meshlab, Rhinoceros (verze 5) s modulem (Simlab 3D PDF Exporter), Geomagic.

**Soubor použitý k ověření postupu:** 902 ks různých artefaktů (380 keramických nádob, 297 ks kamenné broušené industrie, 180 ks kamenné štípané industrie, 19 kamenných drtidel/mlýnků, 9 lžic, 14 přeslenů, 3 ks závaží) z neolitické lokality Bylany u Kutné Hory

**Výstupy:** soubor 902 3D skenů  
ve formátech stl., ply. (pro dokumentaci a výrobu 3D kopií),  
ctr. (pro další vědecké zpracování),  
pdf. (pro prezentace, 3D prohlížečky a virtuální muzeum)  
[www.archaeo3d.com](http://www.archaeo3d.com)

V Praze dne ..... 08 -09- 2014

  
.....  
Mgr. Petr Květina, Ph.D.  
řešitel projektu

  
.....  
Doc. PhDr. Luboš Jiráň, CSc.  
ředitel Archeologického ústavu AV ČR, Praha, v.v.i.

OPONENTNÍ POSUDEK**Památkový postup:**

(název Památkového postupu) Npam - Technologie optického 3D skenování archeologických nálezů v kontextu virtuálního muzea

(Autor a předkládající organizace) Petr Květina, Hana Brzobohatá, Jan Komberec, Markéta Končelová, Radka Šumberová (Archeologický ústav AV ČR, Praha, v.v.i.)

**1. Splňuje Památkový postup požadavky na strukturu certifikovaného Památkového postupu?**

I) Cíl památkového postupu **ano**

Cíl oponovaného projektu splňuje požadavky na strukturu certifikovaného Památkového postupu a je ve shodě s touto strukturou. Optimálním způsobem řeší implementaci výsledků aplikovaného výzkumu do digitalizace archeologických nálezů pomocí optického 3D skeneru. Zabezpečuje tak tolik potřebné dlouhodobé zachování movitých památek v digitální podobě.

II) Vlastní popis Památkového postupu **ano**

Výzkum je zaměřen na moderní dokumentaci předmětů hmotné kultury, které zatím nejsou primárně ohrožené, avšak potencionálně ohroženy mohou být mnoha faktory (uložení v nevhodných podmínkách, živelné katastrofy, odcizení, vandalismus aj.). Vlastní postup sestává z několika logicky návazných kroků: výběr předmětů a jejich příprava na skenování; metoda vyhotovování a zpracovávání skenů; aplikace barevné textury předmětů; získání autentických kopií artefaktů a jejich využití ve vědecké, populární a prezentační praxi.

III) Popis ověření Památkového postupu v praxi **ano**

Památkový postup byl podrobně ověřen v praxi. Takto byla dokumentována část movitého archeologického materiálu ze systematického výzkumu agrární osady z mladší doby kamenné v Bylanech, okres Kutná Hora. Jednalo se o statisticky průkazný a signifikantní materiál. Bylo naskenováno 902 různých artefaktů (keramika a kamenná industrie).

**Komentář:**

IV) Protokol (potvrzení) o ověření v praxi **ano**

Protokol o ověření památkového postupu v praxi ze dne 8. září 2014 podepsaný řešitelem projektu (P. Květina) a ředitelem Archeologického ústavu AV ČR (L. Jiráň) existuje (viz příloha návrhu projektu).

V) Seznam použité související literatury **ano**

Seznam použité související literatury obsahuje 13 relevantních publikačních jednotek jak českých, tak i zahraničních autorů zveřejněných převážně v angličtině.

VI) Seznam publikací, které předcházely **ano**

V seznamu publikací, které předcházely oponovanému projektu, jsou uvedeny tři originální práce, v nichž byl vždy jako první autor uváděn Mgr. Petr Květina, Ph.D., řešitel projektu. Při této příležitosti podotýkám, že v roce 2011 podal P. Květina projekt „Archeologické 3D virtuální muzeum“.

V současnosti podávaný projekt vlastně rozšiřuje nahoře zmíněný projekt.

**2. Dedikace = uvedení odkazu na příslušný projekt VaV, výzkumný záměr nebo dotační program (ano)**

Výsledky předloženého projektu budou nepochybně jedním z prostředků zachování našeho archeologického kulturního dědictví. Zejména poslouží k dokumentaci a archivaci sbírkových fondů. Umožní tvorbu identických kopií některých předmětů následně využitelných jako výstavní artefakty, výukové pomůcky, prezentační a prodejní předměty i jako suvenýry.



Vytvořené předměty budou i podkladem pro exaktní vědecký výzkum a v neposlední řadě mohou sloužit pro účely virtuálního muzea.

**3. Souhrnné vyjádření** (odpovídá požadavkům na Certifikovaný památkový postup  
(ano)

Jak je patrné z předcházejících dílčích komentářů, tak projekt je excelentní a jednoznačně odpovídá požadavkům kladených na Certifikovaný památkový postup. **Projekt jednoznačně a bez připomínek doporučuji k přijetí.**

**POSUDEK ZPRACOVAL:**

Titul, jméno, příjmení, titul: Dr. h. c. prof. PhDr. Václav Furmánek, DrSc.

Pracoviště: Archeologický ústav SAV

Ulice: Akademická 2

PSC, obec: SK-949 21 Nitra

Telefon: 00421 0907043085

E-mail: nraufurm@savba.sk

Prohlašuji, že nejsem v zaměstnaneckém či obdobném vztahu k subjektům, které předložily Památkový postup, nemám osobní ani obdobný vztah k žádnému z předkladatelů a není mi známa žádná skutečnost, která by mohla ovlivnit moji nepodjatost.

Datum: 26. 11. 2014.....

.....

Podpis:



## OPONENTNÍ POSUDEK

### Památkový postup:

(název Památkového postupu) Npam - Technologie optického 3D skenování archeologických nálezů v kontextu virtuálního muzea

(Autor a předkládající organizace) Petr Květina, Hana Brzobohatá, Jan Komberec, Markéta Končelová, Radka Šumberová (Archeologický ústav AV ČR, Praha, v.v.i.)

### **1. Splňuje Památkový postup požadavky na strukturu certifikovaného Památkového postupu?**

- I) Cíl památkového postupu **ano/ne\***  
 Ano, technologie je jednoznačně vhodná pro uchování archeologických situací i artefaktů. Objektivní rizika k jejich uchování, či k uchování jejich dokumentace existují. To ověřil bohužel i sám Archeologický ústav AV ČR při povodních v roce 2002 v Praze. Nemusí však jít pouze o přírodní katastrofy, ale lidskou nedbalost.
- II) Vlastní popis Památkového postupu **ano/ne\***  
 Postup byl popsán srozumitelným způsobem, celý řetězec postupu logicky navazuje.
- III) Popis ověření Památkového postupu v praxi **ano/ne\***

### Komentář:

- IV) Protokol (potvrzení) o ověření v praxi **ano/ne\***  
 Potvrzení od ředitele ARUP je rozhodně adekvátním dokladem.
- V) Seznam použité související literatury **ano/ne\***  
 Soupis literatury dokládá adekvátnost řešení daného tématu.
- VI) Seznam publikací, které předcházely **ano/ne\***  
 Památkovému postupu/Výstupy  
 z originální práce  
 Dr. Petr Květina patří k průkopníkům aplikace IT v archeologii u nás. A to v pedagogickém i odborném smyslu. Seznam jeho (či týmových) prací to jednoznačně dokládá. Díky tomu vzniklo prostředí adekvátní pro řešení daného úkolu.

### **2. Dedikace = uvedení odkazu na příslušný projekt VaV, výzkumný záměr nebo dotační program** **(ano/ne)**

(komentář)

Projekt "Archeologické 3D virtuální muzeum. Nové technologie dokumentace a prezentace neolitického sídelního areálu"

(číslo projektu: DF12P01OVV032) realizovaný v rámci „Programu aplikovaného výzkumu a rozvoje národní a kulturní identity“ poskytovatele Ministerstva kultury ČR

### **3. Souhrnné vyjádření (odpovídá požadavkům na Certifikovaný památkový postup**

**(ano/ne\*)**

Projekt archeologického 3D virtuálního muzea je rozhodně progresivní alternativou dokumentace a prezentace archeologických památek. Osobně sice upřednostňuji v jejich prezentaci 3D „hmotnou realitu“, ale považuji za podstatné, aby naše republika disponovala pracovištěm s 3D virtuálními zkušenostmi. Virtuální realita má pro archivaci i úskalí (značné náklady na inovaci technologií), pro prezentaci archeologického dědictví pak její masivní nasazení představuje rizika pro odliv návštěvnosti muzeí a jim podobných zařízení, i narušení osobního kontaktu návštěvníka s hmotnou památkou. Těmto rizikům jsme však v našich podmínkách zatím daleko.

Autoři projektu připravili zajímavé ukázky využití 3D virtuálního zobrazení od dokumentace artefaktu a archeologické situace, až po 3D rekonstrukce objektu a osídlení v krajině. Jím se nedá upřít jedinečný přínos pro vytváření představy návštěvníka/uživatele o nejstarších dějinách našeho území. Jako podstatné spatřuji to, že u ideového zrodu stál archeolog disponující představou o možných detailech 3D vizualizací. Předností byl i důsledný postup založený na rekonstrukci skutečných nálezových situací.

Přes veškeré nepopíratelné úspěchy zvolených technologií bude zřejmě podoba 3D virtuálního muzea jen jednou z částí mozaiky úplné představy o podobě reálií pravěkého světa. Autory uvedený vznik 3D virtuálního muzea v roce 2015 rozhodně vítám. Zajisté poslouží dobře příznivcům/uživatelům nejnovějších komunikačních technologií, a je jistě dobře, že i naše archeologie dokáže oslovit i tyto cílové skupiny.

Závěrem chci ocenit organizační úsilí nutné k realizaci projektu i evidentní pracnost a časovou náročnost nutnou k dosažení uvedených cílů.

\*Při vyjádření NE – komentář

**POSUDEK ZPRACOVAL:**

Titul, jméno, příjmení, titul: Doc. PhDr. Radomír Tichý, Ph.D.

Pracoviště: Katedra archeologie Filozofická fakulta Univerzita Hradec Králové

Ulice: Rokitanského 62


PSČ, obec: 500 03 Hradec Králové

Telefon: 602944612

E-mail: tichy.radomir@seznam.cz

Prohlašuji, že nejsem v zaměstnaneckém či obdobném vztahu k subjektům, které předložily Památkový postup, nemám osobní ani obdobný vztah k žádnému z předkladatelů a není mi známa žádná skutečnost, která by mohla ovlivnit moji nepodjatost.

Datum: 10.11.2014

Podpis:  .....