

Návrh metodiky pro příslušný odbor Ministerstva kultury vytvořený v rámci projektu DG20P0OVV027 „Prezentace a ochrana 3D digitálních objektů v muzejních sbírkách“

Doporučení pro formáty 3D objektů a odpovídajících metadat za účelem jejich sdílení, prezentace a uchování

Autoři:
Bohuš Získal
Roman Berka
Jiří Frank

Obsah

1	Úvod	3
2	Rámec, zaměření a rozsah aplikovatelnosti metodiky	5
3	Použitá terminologie a zkratky	6
4	Oborový přístup, standardy a koncepty	9
5	Postup vytváření, správy a uchování digitálních 3D objektů	10
6	Způsoby digitální 3D reprezentace objektů	11
6.1	3D reprezentace objektu s ohledem na zdroje dat	12
6.2	Formáty 3D reprezentace s ohledem na jejich přenositelnost	13
6.3	Formáty reprezentace s ohledem na využití 3D objektu	16
7	Volba formátu s ohledem na způsoby vytvoření a správy digitálního objektu	18
8	Identifikace objektů a doprovodné informace (metadata)	22
8.1	Identifikace digitálních objektů	22
8.2	Popisná metadata	23
8.3	Administrativní metadata	25
8.4	Mapování metadat	27
9	Požadavky vyplývající z potřeby dlouhodobého uchování dat	30
10	Správa duševního vlastnictví	32
11	Závěrečná ustanovení	33
12	Použité zdroje	34

1 Úvod

Tato metodika vznikla jako výstup projektu „Prezentace a ochrana 3D digitálních objektů v muzejních sbírkách“ DG20P0OVV027 financovaného z Programu na podporu aplikovaného výzkumu a experimentálního vývoje národní a kulturní identity na léta 2019 až 2022 (NAKI II). Má za cíl popsat nejvhodnější postupy a zásady pro zpracování, správu, sdílení a dlouhodobé uložení digitálních předmětů kulturního dědictví ve formě jejich digitálních 3D reprezentací a navázaných doprovodných informací (metadat). Vychází z potřeby paměťových institucí na národní úrovni a ze situace v České republice a v zahraničí. Sice již existují zavedené technologie pro digitalizaci objektů do podoby 3D reprezentace a odpovídající nástroje na jejich zpřístupnění a dlouhodobé uložení, zároveň však ani v odborných kruzích nepanuje shoda na nejvhodnějších postupech v dané oblasti. Například již v roce 2008 existovalo více než 140 různých formátů dat pro reprezentaci 3D objektů (McHenry a Bajcsy, 2008), z nichž žádný nemá povahu mezinárodně uznávaného standardu pro všechny typy aplikací. Ačkoli se techniky digitalizace zdokonalují a zlevňují, stále se jedná o nákladný a relativně časově náročný proces. Operace s digitálními 3D objekty rovněž vyžadují odpovídající vybavení a znalosti, což se odráží na jejich omezeném rozšíření v oblasti kulturního dědictví, a v důsledku i na ochotě paměťových institucí se této oblasti věnovat.

Cílem této metodiky není detailně popsat samotný proces digitalizace nebo vytváření digitálních 3D objektů, neboť konkrétní postupy se mohou velmi lišit s ohledem na plánované využití výsledků. Pro konkrétní kulturní oblasti je v tomto směru možné vycházet z dostupné literatury (viz např. *Metodika digitalizace, 3D dokumentace a 3D vizualizace jednotlivých typů památek*, Brejcha a kol., 2015). Zvolená metoda digitalizace však výraznou měrou ovlivňuje kvalitu výsledných 3D reprezentací sbírkových předmětů a dokumentace konkrétních kroků je důležitá pro jejich (informační) význam a hodnotu. Z tohoto důvodu obsahuje metodika doporučení i pro tuto oblast, zejména pro volbu a dokumentaci vhodných postupů.

Uživateli této metodiky jsou primárně instituce, které spravují a prezentují předměty kulturního dědictví v podobě jejich 3D digitálních reprezentací, nebo plánují v budoucnu tyto objekty vytvářet či pořizovat, například prostřednictvím digitalizace sbírkových předmětů. Tato metodika byla vyvinuta a ověřena ve spolupráci s Národním muzeem, proto jsou v ní zohledněny požadavky a postupy aplikovatelné zejména v muzeích.

Požadavky na digitální 3D reprezentace objektů se mohou lišit v závislosti na jejich typu, původu a cílech užití, což se promítá zejména do způsobu jejich

vytváření a správy. Díky těmto odlišným požadavkům nelze v dohledné době dojít ke standardizaci napříč všemi obory ani v oblasti péče o kulturní dědictví. Lze však pojmenovat společná východiska a konkrétní specifika, a následně popsat vhodné postupy s ohledem na obecnější potřeby kulturní oblasti. Motivací pro vytváření digitálních objektů bývá kromě nových forem prezentace i ohrožení, poškození nebo dokonce nedostupnost jejich fyzických předloh, což je markantní například v oblasti archeologie. Zde jsou počítačové vizualizace často jedinou možností zpřístupnění původních objektů, a 3D datové objekty vhodnou formou jejich uchování. Problematice zpřístupnění a související postupům se dále věnuje *Metodika pro vybavení expozic technologiemi pro vizualizace 3D digitálních objektů a sdílení obsahu*¹, která popisuje práci s digitálními reprezentacemi sbírkových předmětů v kontextu budování a provozu fyzických expozic. Obecně rozmanitost postupů, formátů a nástrojů způsobuje komplikace při dlouhodobé péči o příslušné datové reprezentace. Proces dlouhodobého uchovávání, kromě zajištění neporušenosti uložených informací, musí umožnit i jejich plnohodnotnou rekonstrukci po v podstatě neomezenou dobu. Úsilí směřující ke standardizaci péče o kulturní obsah v podobě 3D reprezentací samozřejmě není nové, a řada nadnárodních institucí a projektů, například 3D Icons (3D HOP), Europeana (EDM), Smithsonian Institute (X3D BETA), Fraunhofer (X3DOM ON GITHUB), ARIADNE, EU EPOCH nebo V-MUST věnuje těmto oblastem nemalé úsilí. Výstupy těchto aktivit však mají (zatím) charakter návrhů a prototypů, které se promítají do praxe dodavatelů komerčně dostupných řešení jen velmi pomalu. Vzhledem ke skutečnosti, že paměťové instituce digitalizují (nebo si nechávají digitalizovat) některé sbírkové předměty do podoby 3D objektů (zejména pro potřeby prezentace) již i v České republice, je třeba vytvořit sadu doporučení co nejdříve. Bude tak možné digitalizaci sbírkových předmětů, a zejména následné zpracování a uchovávání jejich digitálních 3D reprezentací, provádět takovým způsobem, aby je šlo využít co nejlépe, i jako zálohu při poškození nebo zničení původního předmětu.

1 Plánovaný výstup projektu „Prezentace a ochrana 3D digitálních objektů v muzejních sbírkách“, DG20P0OVV027, který by měl být uplatněn v roce 2022

2 Rámec, zaměření a rozsah aplikovatelnosti metodiky

Cílem metodiky je popsat vhodné postupy v souladu s mezinárodními standardy, ověřenou praxí, platným legislativním rámcem a s ohledem na aplikovatelnost těchto postupů v podmínkách České republiky. Díky různorodosti požadavků na vlastnosti reprezentací digitálních předmětů kulturního dědictví nemohou postupy uvedené v této metodice postihnout potřeby všech specializovaných pracovišť, která je mohou využít. Snahou autorů je tedy identifikovat společná východiska a popsat principy, kterými je třeba se řídit, na dostatečně obecné úrovni. Zároveň však chceme zmínit konkrétní vlastnosti digitálních objektů, kterým je nutné věnovat pozornost ve specifických situacích, například při jejich zpracování pro potřeby prezentace nebo správy na dlouhodobých úložištích. Pro řadu rozhodnutí popsanych v této metodice jsou důležité cíle a poslání konkrétní instituce, a zejména existence strategie péče o předměty kulturního dědictví v digitální podobě. Tato strategie může být definována v podobě samostatného dokumentu, nebo být součástí strategických dokumentů obdobné povahy, jako je například dlouhodobá koncepce sbírkotvorné činnosti. Jelikož digitální reprezentace sbírkových předmětů představují jen jeden z typů dat, se kterými instituce obvykle pracuje, musí být jejich správa rovněž v souladu s širěji pojatým souborem postupů. Tyto postupy mohou být zavedeny pro celou instituci, nebo definovány například v Plánu managementu dat, zpracovaném pro konkrétní (vědecké) projekty. Ve směrnici je věnován velký prostor vysvětlení možných důsledků strategických rozhodnutí především s ohledem na skutečnost, že řada níže popsanych procesů je velmi náročných, klade vysoké nároky na lidské a finanční zdroje a obvykle se neobejde bez přijetí určitých kompromisů.

S ohledem na existenci oborově specifických iniciativ a z nich vycházející postupů, které se poměrně rychle vyvíjejí, bude nutné tuto metodiku pravidelně aktualizovat a v delších časových úsecích pravděpodobně zásadně revidovat. Níže popsané postupy by rovněž měly pomoci institucím při zavádění dlouhodobé péče o kulturní dědictví v digitální podobě, tedy stát se například součástí Pravidel pro uchovávání ve smyslu standardu ISO 16363. Rozsah aplikovatelnosti metodiky pro konkrétní instituci se řídí souborem činností, které daná instituce v souvislosti s digitálními 3D reprezentacemi předmětů kulturního dědictví zajišťuje, metodika tak může sloužit i jako vodítko pro rozšiřování a případně sdílení těchto činností.

3 Použitá terminologie a zkratky

Použitá terminologie je převzata nebo vychází z českých překladů odpovídajících norem (např. ČSN ISO 14721:2014) a navazujících metodik, dále z Terminologické databáze knihovnictví a informační vědy (TDKIV) a z ustáleného užití v relevantních oblastech. Anglické ekvivalenty jsou případně uvedeny v závorkách.

Aditivní informace – v kontextu digitální 3D reprezentace objektu informace používané nástrojem na modelování nebo zpracování 3D objektu pro ukládání specifických konstrukčních parametrů případně historie jeho zpracování.

Archivní informační balíček, AIP (Archival Information Package) – soubor dat určený pro dlouhodobou archivaci.

Bitová ochrana dat – zajištění neporušenosti dat až na úroveň jednotlivých bitů, odpovídá logické ochraně dat.

Doprovodné informace – (metadata, v textu se používají oba termíny) informace ukládané a vedené spolu s informačním objektem dovolující jej interpretovat a případně zasadit do kontextu.

Fotogrammetrie – soubor metod (a nástrojů) pro měření rozměrů, určení polohy a rekonstrukci tvaru (ve formě 3D reprezentace) objektu z jeho fotografických snímků.

Informace o neporušenosti (Fixity Information) – informace, která dokumentuje mechanismus zajišťující, že objekt s informačním obsahem nebyl změněn, např. metoda kontrolního součtu pro soubor.

Informace o přístupových právech (Access Rights Information) – informace, zda a jakým skupinám uživatelů je Informační obsah přístupný, tato informace je uložena v PDI.

Informace o uchování, PDI (Preservation Description Information) – informace nezbytná pro adekvátní uchování informačního obsahu.

Informační objekt – v kontextu této metodiky soubor dat spolu se souborem doprovodných informací, které z něj vytvářejí předmět kulturního dědictví s určitou informační a/nebo kulturní hodnotou.

Informační obsah (Content Information) – samotný obsah, který nese primární informace nebo hodnoty určené k uchování, při dlouhodobém uchování je součástí balíčku AIP.

Evidenční systém – systém pro správu popisu předmětů kulturního dědictví obsahující informace pro určení jejich umístění a povahy, v různých typech institucí označovaný i jako muzejní systém nebo systém pro správu sbírky, může být spojen i s katalogizací.

Kontrolní součet (Fixity) – doplňková informace vytvořená z primárního datového objektu, která slouží k ověření, že datový objekt nebyl porušen (např. při přenosu).

Nativně digitální (Born Digital) – (objekt) vytvořený (již) v digitální podobě bez fyzické předlohy.

Metadata – (doprovodné informace v textu se používají oba termíny), které se váží primárnímu (fyzickému nebo digitálnímu datovému) objektu a slouží pro jeho identifikaci, zařazení do kontextu, správu a uchování

Paradata – termín z oblasti vzdělávání nebo zpracování dotazníků, který označuje data o přístupu k danému obsahu a případně o dalších aktivitách uživatelů obsahu.

Plán managementu dat (Data Management Plan, DMP) – dokument popisující zacházení s daty během a po skončení (obvykle výzkumného) projektu, dotýká se postupů při vytváření metadat, zpřístupňování a uchování dat.

Pravidla pro uchování – soubor pravidel zachycující závazky a záměry instituce v oblastech vztahujících se k uchování informačního obsahu (např. bezpečnosti).

Předmět kulturního dědictví – movitý či nemovitý objekt ve fyzické či digitální podobě, který byl vzhledem k době vzniku, obsahu, původu, vnějším znakům a trvalé hodnotě dané historickým, kulturním nebo informačním významem vybrán ve veřejném zájmu za vhodný k uchování, obvykle je uchováván ve sbírce paměťové instituce, v archivu nebo knihovně.

Systém pro správu digitálního obsahu (Digital Asset Management, DAM) – komplexní informační systém, který zajišťuje správu digitálních objektů a metadat včetně jejich identifikace

Virtuální archeologie – využití počítačových vizualizací pro správu a prezentaci objektů archeologického kulturního dědictví.

Virtuální model – v kontextu konceptu Virtuální archeologie reprezentace (ne nezbytně všech) vlastností konkrétní nebo abstraktní entity. Účel tohoto modelu je dovolit lidem porozumět struktuře nebo chování této entity a poskytnutí vhodného nástroje na experimentování s entitou nebo pro predikci efektu působení změn na model (Barceló 2000).

Základní popisné informace (Descriptive Information) – základní soubor popisných informací, který se váže k informačnímu obsahu (např. jeho stručná charakteristika), a který dovoluje daný informační obsah v úložišti nalézt.

4 Oborový přístup, standardy a koncepty

Postupy pro zpracování, správu, sdílení a dlouhodobé uložení digitálních předmětů kulturního dědictví vycházejí jednak z již zavedených a případně standardizovaných metod pro každou z těchto oblastí, dále z iniciativ či konceptů navržených pro jednotlivé typy kulturního dědictví (v rámci určitých oborů či specializací – např. v archeologii) a v neposlední řadě z obecnějších principů práce s digitálními informacemi (např. problematika duševního vlastnictví).

Autorský zákon – zákon č. 121/2000 Sb. v aktuálním znění, o právu autorském a právech souvisejících s právem autorským.

ČSN ISO 14721 – Otevřený archivační informační systém – Referenční model.

ČSN ISO 16363 – Audit a certifikace důvěryhodných digitálních úložišť.

ČSN EN ISO/IEC 27001 Informační technologie – Bezpečnostní techniky – Systémy řízení bezpečnosti informací.

EU MINERVA Thematic network – tematická síť, jejíž součástí je i pracovní skupina pro vytváření standardů využití 3D technologií pro zachytávání a reprezentaci předmětů kulturního dědictví².

FAIR data – principy pro správu vědeckých dat (definice např. Wilkinson, 2016).

London Charter – dokument vzniklý na základě mezinárodního konsenzu v oblasti principů a nevhodnější praxe vizualizace předmětů kulturního dědictví³.

Seville Principles – principy rozšiřující postupy a východiska popsané v London Charter pro oblast virtuální archeologie⁴.

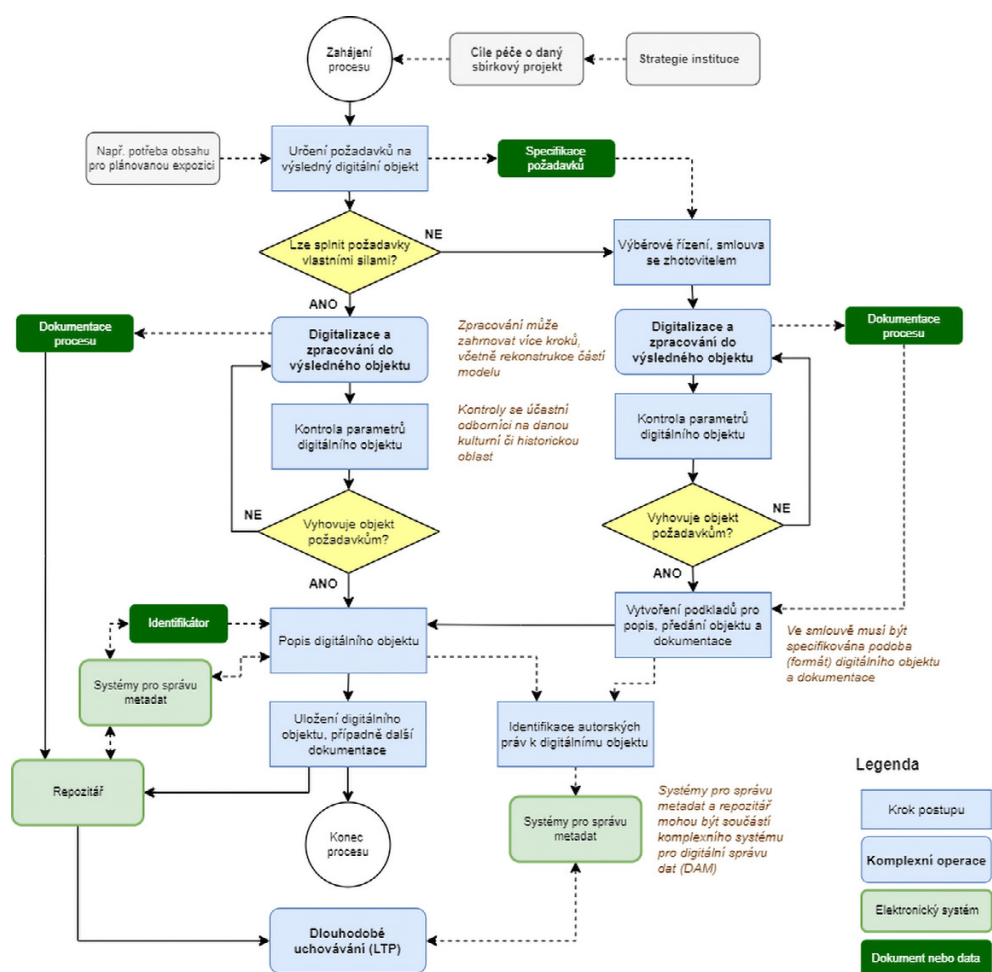
² Stránky iniciativy <https://www.minervaeurope.org/>, navštíveno 2021-05-25

³ Dostupné na <https://www.londoncharter.org/>, navštíveno 2021-08-07

⁴ Dostupné na <http://smartheritage.com/seville-principles/seville-principles>, navštíveno 2021-11-20

5 Postup vytváření, správy a uchování digitálních 3D objektů

Pro snazší orientaci v činnostech spojených vytvářením a péčí o digitální reprezentace sbírkových předmětů zde uvádíme modelový proces, jenž zahrnuje důležité kroky, rozhodnutí a související (doprovodné) informace. Vychází z dobré praxe a jeho konkrétní podoba v dané instituci závisí na cílech, kterých chce tato instituce prostřednictvím digitálních (3D) objektů dosáhnout, například ve spojitosti s budováním expozic (viz *Metodika pro vybavení expozic technologiemi pro vizualizace 3D digitálních objektů a sdílení obsahu*). Na modelový postup navazují následující kapitoly, které vysvětlují prezentované koncepty (např. mapování dat) a detailněji popisují klíčové operace.



Modelový postup zahrnující digitalizaci prováděnou interně či na zakázku

6 Způsoby digitální 3D reprezentace objektů

Pomocí digitální trojrozměrné (3D) reprezentace lze uchovat informaci o tvaru (geometrii) objektu, optických vlastnostech jeho povrchu a případně některých jeho dynamických vlastnostech (např. rozsahu pohybu jeho částí). Tyto informace lze použít pro vizualizaci objektu např. metodou renderingu, který umožní vytvořit snímek nebo sérii snímků objektu za určitého osvětlení, popřípadě v určitém kontextu (ve scéně). Pro různé vizualizační nástroje a metody reprezentace se mohou používat odlišné sady informací (způsoby popisu objektu se strukturou dat v určitém formátu). Například nástroje pro vizualizaci v reálném čase mohou pracovat se specifickou sadou informací, aby bylo možné (v závislosti na výkonu počítače) vytvářet pohledy na objekt dostatečně rychle. Jelikož metody renderingu a zpracování objektů se neustále vyvíjejí, mění se i formáty datové reprezentace objektů používané konkrétními nástroji. Dalším možným použitím dat popisujících objekt je rekonstrukce jeho fyzické podoby (i v jiném měřítku), například metodou 3D tisku.

Obecně platí, že základem digitální 3D reprezentace objektu je matematická informace o jeho tvaru zaznamenaná jako trojrozměrná geometrie povrchu v podobě polygonů nebo křivek. K tomu je připojena (namapovaná na povrch objektu) informace o optickém chování povrchu, tedy o jeho barvách (způsobu, jakým odráží světlo), případně detailech geometrie povrchu. Popis povrchu (textura) je většinou reprezentován maticí bodů (rastrem) o dostatečné hustotě (rozlišení), respektive informacemi o barvě každého bodu, případně o jeho dalších vlastnostech. Nejmenší míra standardizace panuje v oblasti popisu dynamických vlastností, například u modelů osob nebo zvířat jsou možnosti pohybu svázané s kostrou modelu, která je opět matematickou reprezentací geometrického uspořádání a odpovídá reálné kostře předlohy jen velmi přibližně.

Výše uvedené informace o objektu mohou být uloženy odděleně podle jejich typu (například zvlášť geometrie a zvlášť informace o povrchu objektu). Pro výslednou vizualizaci je nicméně důležitý jejich vzájemný vztah, tedy například způsob, jakým je informace o povrchu namapována na geometrii objektu. Obdobně musí být geometrie objektu spojená s informací o možném pohybu jeho částí. Z tohoto důvodu je výsledný popis obvykle uložen v jednom souboru dat v určitém formátu. Reprezentace dat v souborech může být textová (ASCII) nebo binární a zpravidla se skládá z dílčích způsobů kódování informací, které byly v řadě případů již akceptovány a publikovány jako mezinárodní standardy (Chakravorty, 2019).

6.1 3D reprezentace objektu s ohledem na zdroje dat

Objekt kulturního dědictví může být reálný předmět i abstraktní entita, která je ve sbírce reprezentována pouze souborem informací – např. popis prehistorického sídliště. Pro informační obsah digitální reprezentace sbírkového objektu je důležitý vztah reprezentace k předloze – fyzickému objektu (pokud existuje nebo existoval). Míra dostupnosti a kompletnosti původního fyzického objektu má přímý vliv na důvěryhodnost případné digitální kopie, neboť při jejím vytváření mohou být rekonstruovány poškozené, nebo již neexistující části původního objektu. V extrémním, ale neobvyklém případě může jít o rekonstrukci již nedostupného objektu (např. vyhynulý tvor). Zvláštní případem jsou objekty, které vznikly již v digitální podobě jako nativně digitální, příkladem může být socha vytvořená pro virtuální prostor.

Zdrojem dat pro reprezentaci 3D objektů může být proces digitalizace fyzických objektů, nebo vytváření těchto objektů přímo v digitálním prostředí, alternativně kombinace obou procesů. Výsledná digitální 3D reprezentace objektu je vždy ovlivněna podklady, metodami a konkrétními nástroji použitými při těchto procesech. Tedy i v případě, že digitální objekt vznikl digitalizací fyzického objektu, vzniká nějaký prostor pro interpretaci použitých podkladů, a existuje tak určitá míra nejistoty, nakolik specifická digitální reprezentace odpovídá fyzické realitě. Tuto nejistotu lze kategorizovat (Appolonio 2015), zohlednit ji při procesu digitalizace, a v určité míře ji zahrnout i do výsledné 3D reprezentace, např. rozhodnutím nepoužít detaily povrchu a textur pro rekonstrukce objektů s vysokou mírou nejistoty (Unger, 2019).

Volba konkrétní metody a nástrojů vychází z jejich dostupnosti (některé postupy jsou výrazně náročnější a nákladnější), z charakteru digitalizovaného objektu, a dále ze záměru, jak s ním bude dále disponováno a manipulováno. Metody se liší i z hlediska potřeby manuálních zásahů do digitalizátu a některé parametry objektů zatím přímo digitalizovat nelze, v tomto případě přichází na řadu simulace (např. u velmi členitých povrchů, jako je kožešina). Obecně platí, že je třeba digitalizovat postupem, který zajišťuje co nejuvěrnější zachycení podstatných parametrů daného objektu (např. detaily jeho povrchu) a zároveň je ověřený a financovatelný.

Pro proces digitalizace se používají fyzické technologie snímání (povrchu) objektu spolu se SW nástroji, z nichž řada je specializována na určitou techniku snímání, např. s využitím metod fotogrammetrie (Remondino, 2011). 3D data z digitalizačních přístrojů, např. 3D skeneru (Levoy, 2000) nebo CT (Hughes, 2011), jsou v prvním kroku získána převážně jako mračna bodů (3D point clouds) nebo fotografie řezů (slices). Jejich následné zpracování vede na reprezentace geometrie pomocí polygonálních sítí, které jsou takto uloženy a zobrazovány. Při dalším zpracování se mohou vytvářet objemové modely určené pro specifické procesy dle cílového využití daného digitálního objektu.

Pro tvorbu 3D reprezentací objektů (modelů) přímo v digitálním prostředí jsou široce používané specializované programy, tzv. modeláře (Blender, Maya, SoftImage, 3D Studio Max, AutoCAD, ArchiCAD, Rhinoceros aj.), s jejichž pomocí jsou vytvářeny matematické reprezentace tvaru obvykle v grafickém uživatelském prostředí. V nich model vzniká během postupného procesu za použití sekvence specifických konstrukčních operací. Tato sekvence tvoří tzv. konstrukční historii a její součástí je řada rozhodnutí, které ovlivňují výslednou podobu digitálního objektu.

V oblasti kulturního dědictví dosud nejsou standardizovány žádné oborově specifické postupy, způsoby digitalizace a reprezentace 3D objektů, nástroje, ani datové formáty pro jejich uložení. Existuje pouze řada doporučení, jak zohlednit potřeby dané oblasti, nicméně širšího konsenzu bylo dosaženo jen v oblasti principů pro prezentaci (London Charter, Seville principles)⁵ nebo pro sdílení prostřednictvím nadnárodních portálů (Europeana). V evropském prostředí vznikají doporučení např. v rámci MINERVA Thematic network⁶.

6.2 Formáty 3D reprezentace s ohledem na jejich přenositelnost

Díky velmi širokému použití 3D modelů a tomu odpovídajícímu množství často komerčních nástrojů na jejich vytváření, editaci a prohlížení existuje řada datových formátů a aktuální přehledy těch nejpoužívanějších se objevují na Internetu, často jako neozdrojované a nerecenzované články⁷. Důvěryhodné přehledové analýzy formátů vznikají díky neustále se měnící situaci poměrně zřídka, jako příklad lze uvést již citovanou zprávu National Center for Supercomputing Applications (Mchenry a Bajcsy, 2008). Proto je při volbě vhodného formátu obtížné vycházet z obecného srovnání a kromě praktických vlastností je třeba věnovat pozornost zejména jeho přenositelnosti. Při ukládání 3D reprezentace objektu je nutné zachovat nejen data popisující jeho geometrii, ale i další informace spojené s geometrickými a jinými operacemi, které jsou použité nástroje schopny provádět. Mohou sem patřit informace o texturách a způsobu jejich mapování na geometrii objektu, ale i informace o animacích (částí) modelu nebo jeho zasazení do scény. To je důvod, proč většina nástrojů definuje svůj vlastní, nativní formát pro ukládání

5 Odkazy na tyto principy jsou uvedeny v kapitole 4

6 Viz kapitola 4

7 Příklad relativně dobře zpracovaného přehledu na <https://www.marxentlabs.com/3d-file-formats/>, navštíveno 2021-11-20

3D digitálního obsahu (DWG, 3DS, MA, MB, aj.)⁸. Vlastní 3D formát umožňuje v konkrétním nástroji kdykoliv zasáhnout do konstrukční historie rozpracovaného nebo hotového modelu bez nutnosti ručně přepracovávat zbylou část konstrukční historie. Za tímto účelem nástroj ukládá vlastní aditivní informace k modelu ve struktuře odpovídající vnitřní reprezentaci modelu v daném konkrétním programu. Naopak nevýhodou je pak možná nekompatibilita mezi různými 3D formáty omezující přenositelnost 3D dat mezi různými nástroji.

Teoreticky lze jednotlivé formáty popisu 3D objektů mezi sebou převádět, ovšem mezi některými reprezentacemi neexistuje jednoznačný vztah a převod je komplikovaný. Určité reprezentace navíc neumožňují zaznamenat některé typy informací (např. o vlastnostech povrchu nebo animaci). Pro převod mezi jednotlivými reprezentacemi obvykle existují SW nástroje, nicméně dostupnost příslušné operace převodu nezajišťuje, že budou všechny informace zachovány (např. při převodu z mračna dat na objemovou reprezentaci).

Formát	Kódování	Typy informací	Standard	Použití
E57	ASCII, binární	mračno bodů (geometrie)	ASTM E2807	přenos dat
STL	ASCII, binární	geometrie	proprietární	3D tisk, CAD
OBJ	ASCII, binární	geometrie, textury (zvlášť)	částečně OpenSource	grafika, 3D tisk
FBX	ASCII, binární	geometrie, textury	proprietární	grafika, hry
COLLADA	XML	geometrie, textury, animace, fyzika	ISO/PAS 1750	sdílení dat, zejména pro interaktivní aplikace
3DS	binární	geometrie, textury, animace, scény	proprietární	grafika, hry, architektura
STEP	ASCII	geometrie, textury, materiály	ISO 10303	CAD, CAM, CAE
X3D	XML	geometrie, textury, animace	ISO/IEC-19775-1	virtuální realita, web
glTF	JSON/ASCII, binární	geometrie, textury, animace	OpenSource	univerzální

Příklady souborových formátů pro uložení 3D reprezentace objektů

⁸ Formáty se často označují pouze zkratkou (koncovkou) používanou pro identifikaci odpovídajícího datového souboru, viz v úvodu kapitoly zmíněné přehledy nebo příklady v tabulce

Částečným řešením problému s přenositelností je využití obecných formátů, které většinou vycházejí ze starších nebo velmi rozšířených průmyslových standardů (OBJ, FBX) nebo jsou přímo navrženy pro přenos dat mezi aplikacemi (DXF, IGES, STEP). Tyto formáty jsou běžně používané pro přenosy 3D reprezentací objektů mezi modelovacími nástroji nebo dalšími programy ve zpracovatelských procesech. Nevýhodou tohoto způsobu přenosu je ztráta části informací specifických pro zdrojový formát, například animací. Často je ale také příčinou problémů s přenosem 3D modelu (vedoucím k porušené informaci o geometrii, texturování, apod.) chybná nebo neúplná implementace exportního nebo importního algoritmu v použitých programech. Se špatnými výsledky obvykle souvisí nedostatečná dokumentace, kdy řada proprietárních 3D formátů není obecně standardizována a/nebo popis jejich struktury není (v dostatečné míře) dostupný. Proto je nutné před rozhodnutím o použití konkrétního softwaru nespoléhat jen na deklarace jeho poskytovatelů a raději konverze vyzkoušet na dostatečně reprezentativních úlohách.

Z omezení daného formátu vyplývá, že se často pro účely dalšího zpracování nebo ukládání 3D modelu do dalšího procesu předává již jen finální 3D geometrie s materiály povrchů bez dalších informací (tj. se ztrátou konstrukční historie). V případě potřeby přenosu nebo uložení dalších informací (např. animace) se obvykle využívají specifické proprietární aplikace pro další zpracování bez možnosti zachování univerzality 3D obsahu (tj. možnosti zpracování v obecném 3D modelovacím softwaru).

S ohledem na výše uvedené se jako nejvhodnější řešení jeví využití formátu zachovávajícího popis geometrie, vzhled povrchu, popis/definice animací, případně vstupních bodů pro interakci standardizovaného nezávislou nekomerční institucí. Takovým formátem je X3D, který je XML verzí jazyka VRML a je definován jako standard ISO (ISO/IEC 19775–1). Bohužel jde o standard vytvořený v 90. letech a jeho struktura nevyhovuje potřebám dnešních modelovacích nástrojů, proto není jeho podpora v komunitě profesionálů na potřebné úrovni.

V době vzniku tohoto textu (2022) se pro přenos a uchování 3D obsahu ukazuje jako velmi nadějný relativně nový formát glTF – Graphics Language Transmission Format (glTF 2.0, 2017), (Robinet, 2014). Jde o otevřený standard spravovaný neziskovou organizací – konzorciem Khronos Group, které rovněž spravuje programátory široce používanou grafickou knihovnu OpenGL, podporovanou prakticky všemi 3D modelovacími nástroji. Standard glTF vznikl v roce 2012 a od r. 2017 je podporovaný řadou významných producentů 3D softwaru (Autodesk, Epic Games, Adobe, Microsoft, Oculus, aj.) nebo autorů Open source nástrojů jako je

Blender. Formát glTF je založen na obecnějším jazyce pro popis dat (JSON⁹) a podporuje ukládání 3D geometrie, textur, animací a dalších doprovodných informací včetně částí kódu používaných knihovnou OpenGL při zobrazování. Formát glTF je nativně podporovaný knihovnou WebGL¹⁰ vytvořenou stejným konzorciem. To umožňuje využívat formát glTF pro prezentaci obsahu pomocí této knihovny přímo prostřednictvím webového rozhraní (Lee, 2019). Pro formát glTF byla vytvořena i řada konverzních programových nástrojů umožňujících import do dalších 3D prostředí jako je Unity 3D (UnityGLTF, 2017) a další.

Z hlediska univerzality, otevřenosti a nezávislosti je tak glTF v současné době pravděpodobně jediným formátem splňujícím výše uvedená kritéria pro ukládání a zejména přenos 3D reprezentací objektů za účelem jejich vizualizace imersivními technologiemi.

6.3 Formáty reprezentace s ohledem na využití 3D objektu

3D modelovací nástroje lze obecně rozdělit do dvou základních skupin podle způsobu využití výsledného modelu. První skupinu tvoří software pro tvorbu modelů v rámci počítačem řízených návrhů (tzv. CAD programy – Computer Aided Design, např. AutoCAD, ArchiCAD) pro převážně strojní a stavební konstrukční modelování využívající asociativní a parametrické nástroje (Salehi, 2011). Zde jsou modely vytvářeny za účelem vytváření dokumentace, 3D tisku, případně jako data pro simulaci, analýzu a pro výrobu pomocí automatických NC systémů. Druhou skupinu tvoří software pro tvorbu modelů určených pro oblast kulturního a kreativního odvětví – vizualizaci a počítačovou animaci. Tyto programy se převážně využívají ve filmové produkci, reklamě, VR aplikacích a v řadě dalších aplikací, kde jsou 3D data primárně určena pro vizuální výstup.

V obou skupinách se postup tvorby modelu a jeho konstrukční historie může lišit a výsledný formát pak obsahuje jiné informace. Z charakteru zaměření obou skupin plyne, že modely vytvářené pro CAD aplikace jsou kalibrované pro přesně dané měřítko a jejich způsob konstrukce a definice dat odpovídá výrobním postupům, zatímco u druhé skupiny tomu tak být nemusí. Proto jsou CAD modely obvykle transformovatelné do reprezentací používaných druhou, „kreativní“ skupinou modelářů např. pro účely vizualizace na úrovni polygonální sítě (3D mesh).

9 Specifikace viz <https://www.json.org/json-en.html>, navštíveno 2022-02-08

10 Specifikace viz <https://www.khronos.org/webgl/>, navštíveno 2021-10-18

Opačný směr konverze z důvodu ztráty konstrukční historie nedává příliš smysl. Seznamy a určení formátů podporovaných některými programovými produkty lze nalézt např. v jejich dokumentaci dostupné v elektronické podobě (Autodesk, Maya, 2020), (Autodesk, Netfabb, 2021).

Nejčastější metoda zpřístupnění digitální 3D reprezentace objektu spočívá ve vizualizaci objektu; realističnost jeho zobrazení závisí na kvalitě (ve smyslu zachycení parametrů předlohy) modelu a konkrétním způsobu výpočtu. Nicméně platí, že nástroje pro vizualizaci v reálném čase dokáží zpracovat pouze omezené množství informací o objektu v závislosti na dostupném výpočetním výkonu a použitých algoritmech, a proto se například pro zobrazení ve virtuální realitě stále pracuje s redukovanými modely. Při vytváření 3D modelů se často cílový způsob reprezentace zohledňuje, přičemž fotorealističnosti zobrazení lze dosáhnout i s velmi redukovanými daty pomocí triků založených na nedokonalosti lidského vnímání. Dále platí, že pro specifický účel, např. pro potřeby animace, je třeba digitální reprezentaci 3D objektu doplnit o další informace. Ve zmíněném případě se může jednat o kostru, jejíž parametry a chování nemusí zcela odpovídat fyzické předloze (kostře živočicha). Podkladem pro vysoce působivou vizualizaci (např. průchod virtuální budovou) proto nemusí být věrohodná digitální 3D reprezentace původního fyzického objektu. Redukce informací obvykle není důsledkem použití specifického datového formátu pro zpřístupnění, ale rozhodnutím autorů spojeným s cílovým využitím digitálního objektu. Může k ní tedy dojít až na závěr digitalizačního procesu, kdy je 3D model vkládán do cílového vizualizačního nástroje, a původní neredukované informace získané v procesu digitalizace lze zachovat v podobě dílčího výstupu (podrobněji následující kapitola). Pro vizualizaci digitální 3D reprezentace objektu je rovněž důležité, na jakém zařízení je realizována a v jakém kontextu, například v podobě exponátu v rámci fyzické expozice. Touto formou prezentací se zabývá v úvodu zmíněná *Metodika pro vybavení expozic technologiemi pro vizualizace 3D digitálních objektů a sdílení obsahu*.

7 Volba formátu s ohledem na způsoby vytvoření a správy digitálního objektu

V ideální situaci má paměťová instituce vlastní 3D digitalizační pracoviště, které disponuje technologiemi a odborníky zohledňujícími sbírkovou strategii instituce, aktuální možnosti prezentace a zejména parametry vyplývající z charakteru konkrétních sbírkových předmětů a potřeb jejich uchovávání. V České republice však existuje jen minimum kulturních institucí, které by budovaly dostatečně vybavená pracoviště tohoto typu a s ohledem na možnosti financování je i málo pravděpodobné, že tato pracoviště budou ve větší míře vznikat. Za výjimku lze považovat situaci, kdy je vytváření 3D modelů přímo součástí vědecké práce, například jako rekonstrukce již neexistujících historických objektů. Obvykle většinu digitalizačních činností zajišťují pro paměťovou instituci externí dodavatelé – specializovaná studia, nebo datové objekty vznikají v rámci partnerství několika institucí obvykle na projektové bázi. Konkrétní výstupy tak často vycházejí z již zavedených postupů a k jejich vytváření se využívají technologie používané například pro tvorbu počítačových her, filmových triků nebo architektonických vizualizací. Zde je třeba opět zmínit zásadní vliv, jaký má proces digitalizace a rekonstrukce na podobu výsledné 3D reprezentace objektu. V řadě případů probíhá digitalizace pro potřeby konkrétní prezentace a kvalita výstupu je hodnocena například z hlediska atraktivity jeho vizualizace. Výsledkem může být velmi efektní a/nebo didakticky hodnotná prezentace, která však obsahuje řadu interpretačních vlastností původního objektu s vysokou mírou nejistoty. Takto vytvořená 3D reprezentace objektu tak může obsahovat řadu nepřesností například ve smyslu historické věrohornosti. Tento problém je v odborných kruzích často diskutován zejména ve spojitosti s prezentací archeologických památek. Konkrétní principy zodpovědného přístupu k prezentaci digitálních modelů jsou uvedeny např. v již zmíněných London Charter nebo Seville Principles a lze je zohlednit již při digitalizaci a/nebo rekonstrukci objektů. Virtuální modely mohou být pro instituci velmi důležité pro zpřístupňování sbírek, a jejich vytváření může být relevantní součástí strategie instituce, pokud je jejich účel a kulturní význam jasně definován.

Zde je vhodné zmínit také ekonomické hledisko. U digitalizace stále platí, že dosažení vysoké kvality výstupu, ať již to znamená přesnost geometrie, věrohodnost reprezentace povrchu, nebo zachycení dalších podstatných vlastností fyzického objektu, s sebou obvykle stále nese vysoké náklady, spojené nejen s výdaji na technologie, ale zejména s odbornou prací. V tomto směru je výsledek vždy kompromisem a pro dosažení jen o něco lepších výsledků může být potřeba aplikovat výrazně

nákladnější a časově náročnější postupy. Kvalitnější výstupy také obvykle představují výrazně větší objem dat, což zvyšuje náklady na jejich správu a uchovávání. Paměťové instituce však obvykle nedisponují neomezenými zdroji a digitalizační projekty vždy musejí vyvažovat kvalitu digitalizace a kvantitu zpracovaných objektů. Pokud je tedy pro digitalizaci třeba poptat služby externího dodavatele, jak finanční omezení, tak i kvalitativní požadavky se odráží v zadávací dokumentaci výběrového řízení. Otázka vhodných postupů při pořádání výběrových řízení je v kontextu realizace expozic s využitím multimediálního obsahu popsána v již zmíněné *Metodice pro vybavení expozic technologiemi pro vizualizace 3D digitálních objektů a sdílení obsahu*. Řadu v tomto dokumentu uvedených doporučení lze aplikovat i při poptávce samotné digitalizace sbírkových předmětů.

Z výše uvedených důvodů je pro paměťovou instituci zásadní, aby Strategie péče o sbírkové objekty v digitální podobě zahrnovala i východiska pro práci s jejich 3D reprezentacemi. V souladu s touto strategií (a/nebo s konkrétním Plánem managementu dat) by tak postupy digitalizace měly zohledňovat plánované využití 3D objektů, tedy například odpovědi na následující otázky:

- Je cílem digitalizace vytvořit plnohodnotný informační objekt, který se stane součástí fondu, sbírek či projektové dokumentace a bude dlouhodobě uchováván?
- Jedná se o digitalizaci ohroženého nebo obtížně digitalizovatelného objektu?
- Může digitalizovaný objekt obohatit informace o původním fyzickém objektu (např. lze objekt lépe zkoumat/měřit v jeho digitální podobě)?
- Je součástí digitalizačního procesu digitální restaurování/rekonstrukce, vyžadující vytvoření 3D reprezentace již neexistujících nebo poškozených částí objektu?
- Je digitalizace součástí vědeckého projektu, kdy je třeba aplikovat dostatečně odůvodněné a zdokumentované kroky vedoucí k vytvoření věrohodné datové reprezentace?

Odpovědi na tyto otázky umožňují kvalifikovaně posoudit vhodnost dostupných metod digitalizace a potřebu uchovávat výstupy jednotlivých kroků. Konkrétně vytváření digitálních objektů jako součástí sbírek (fondů) vyžaduje zapojení jejich správců (kurátorů) do procesu digitalizace takovým způsobem, aby výsledný digitální objekt zachoval maximum parametrů určujících (informační) hodnotu fyzického objektu. Tento přístup rovněž vede k uchovávání i dílčích výstupů digitalizace, neboť mohou nést informace interpretovatelné později díky novým nástrojům na jejich zpracování. Obdobně se vyhodnocuje případ, kdy se jedná o ohrožený a/nebo obtížně digitalizovatelný objekt, u něž nemusí být opětovná

digitalizace možná. V tomto případě navíc vyvstává potřeba zachycení co nejvíce parametrů původního objektu, a to co možná nejkvalitněji. Před započítím digitálního restaurování/rekonstrukce je třeba vyhodnotit cíle digitalizace a ohroženost fyzické předlohy, zde může být zásadní dlouhodobá ochrana digitální reprezentace aktuálně dochované podoby objektu. Pro rozhodování, které z dílčích výstupů uchovávat, je důležitá přenositelnost jednotlivých formátů (viz kapitola 6.2) a míra úprav (zjednodušení) při vytváření výsledné reprezentace 3D objektu. Jednotlivé kroky se samozřejmě mohou lišit dle charakteru digitalizovaného objektu a použité technologie.

Dalším kritériem pro rozhodování o uchovávání dílčích výstupů digitalizace může být srovnání nákladů na jejich uchovávání ve srovnání s náklady na opětovnou digitalizaci. V případě digitalizace jako součásti vědeckého projektu se mohou stát její dílčí výstupy nedílnou součástí publikovaných výstupů, zde je dokumentace postupu nezbytná pro zdůvodnění použitých metod. Kromě zajištění, aby byly příslušné datové výstupy zohledněny v příslušném Plánu managementu dat, je vhodné zvážit i použití nástrojů na systematickou dokumentaci výzkumu, například elektronických zápisníků (ELN¹¹).

Označení	Příklad formátu	Popis	Význam
Digitalizát geometrie	E57	Výstup ze zařízení snímající geometrii tělesa, např. lidarů nebo laserového scanneru.	Data před převodem na matematickou reprezentaci geometrie (např. polygony).
Digitalizát povrchu	TIFF	Výstupy ze snímání vlastností povrchu.	Podklady pro vytvoření povrchu tělesa před jejich zpracováním pro konkrétní popis objektu.
Digitalizát před rekonstrukcí	3DS	Objekt před digitálním restaurováním chybějících nebo poškozených částí.	Následující rekonstrukce probíhá na základě dostupných podkladů, v budoucnu mohou být k dispozici nové podklady.
Výstup pro zpřístupnění	FBX	Verze pro konkrétní formu zpřístupnění.	Verze redukováná nebo obohacená o data pro konkrétní formu zpřístupnění (např. import do VR engine).

Příklady výstupů procesu digitalizace a jejich možný význam pro uchovávání

11 Viz například článek v časopisu Nature <https://www.nature.com/articles/d41586-018-05895-3>, navštíveno 2022-03-20

Některé formáty 3D reprezentací je obtížné zobrazit běžně dostupnými nástroji, a proto může být jejich správa komplikovaná. Proto je důležité již od počátku pracovat s doprovodnými informacemi a dokumentací postupů (viz. následující kapitoly), ze kterých bude zřejmý informační obsah konkrétního souboru dat a rovněž jeho účel. Z výše uvedených důvodů je také třeba věnovat pozornost volbě komponent celého systému pro správu digitálního obsahu, a také možným omezením plynoucím z volby konkrétního postupu.

8 Identifikace objektů a doprovodné informace (metadata)

8.1 Identifikace digitálních objektů

Pro správu datových objektů je zásadní jejich jednoznačná identifikace, zde platí stejné zásady, jako pro identifikaci obecných digitálních souborů dat. Identifikátor by tak měl být unikátní, perzistentní a jednoznačně svázaný s identifikovanými daty. Tyto požadavky například nesplňuje identifikace pomocí umístění souboru v adresářích, neboť adresáře lze přejmenovat a jejich spojení se souborem je implicitně zajištěno jen na úrovni správy souborů (souborového systému). U souborů 3D dat v této souvislosti platí, že nemusí být možné rozlišit některé verze reprezentací (např. u obsahu upraveného pro určité prezentační technologie) bez doprovodných informací o jejich vzniku. Při procesu digitalizace také mohou vznikat mezivýstupy (viz předchozí kapitola) vztahující se k jednomu fyzickému objektu, ale s různým obsahem (např. geometrie modelu a informace o jeho povrchu – textury). Jednoznačně identifikovat je tedy třeba nejen samotný informační obsah (o jaký objekt kulturního dědictví se jedná), ale i konkrétní datový soubor (typ reprezentace, verzi zpracování). Pokud se pro oba typy identifikací používají jiné formáty a konvence, je třeba zajistit jejich provázanost ať již na úrovni samotného digitálního objektu (např. uložením identifikace informačního obsahu do hlavičky příslušného datového souboru), nebo pomocí externího přiřazení (např. v databázi, v nástroji na správu digitálního obsahu). U výsledné 3D reprezentace tedy nepostačuje odkaz na původní digitalizovaný fyzický objekt, neboť z odkazu nevyplývá vztah obou objektů (digitalizát, rekonstrukce, kontext). Způsob identifikace obvykle vychází ze způsobu, jakým daná instituce spravuje digitální objekty, a nástrojů použitých pro správu digitálních objektů. Proces identifikace může být i nově navržen ve spojitosti s konkrétním Plánem managementu dat.

Při přiřazování identifikátoru digitálním objektům při procesu digitalizace je důležité následující:

- navázání systému vytváření identifikátorů na systém evidence fyzických objektů, aby bylo vždy zajištěno správné přiřazení identifikátoru fyzického objektu k jeho digitální reprezentaci, a pokud dojde ke změně u původního objektu, aby se tato změna promítla i do informací k jeho digitální reprezentaci
- přiřazení identifikátoru již v okamžiku vzniku digitálního objektu
- spojení správy identifikátorů se systémem správy digitálních objektů, aby bylo možné jasně identifikovat kopie a v instituci se nevyskytovaly digitální objekty špatně nebo nedostatečně identifikované

- spojení správy identifikátorů se systémem správy metadat navázaných na identifikovaný obsah, aby bylo možné identifikované objekty vyhledávat na základě jejich popisu

Identifikátor digitálního objektu by měl splňovat požadavky na perzistenci a alespoň lokální (v rámci instituce) unikátnost, pro zajištění globální unikátnosti lze použít některý ze standardů, např. DOI (ISO 26324). Pro generování identifikátoru je možné využít systém pro správu digitálního obsahu (DAM) a návaznost na evidenční systém (např. do identifikátoru zahrnout identifikaci původních fyzického objektu). Instituce musí uchovávat informaci o použitém standardu nebo konvenci použité pro generování identifikátoru a zároveň dokumentaci o způsobu přiřazování identifikátoru digitálního objektu a jeho provázání s fyzickým objektem.

8.2 Popisná metadata

Z hlediska využití lze metadata rozdělit na popisná a administrativní, někdy bývá zmiňována i kategorie technická metadata. Toto rozdělení má význam i pro jejich plnění, kdy může velmi záležet na konkrétních pravidlech a návrhu příslušného uživatelského rozhraní. Pro volbu vhodné struktury popisných metadat digitálního objektu je rozhodující, zda již existuje evidence/katalogizace jeho fyzické předlohy. Obecně obsah a struktura popisných metadat u fyzických objektů vycházejí z potřeb a cílů dané instituce, čemuž obvykle odpovídá i používaný standard, např. MARC21 pro knihovny nebo CIDOC-CRM pro muzea. Použitá konvence pro popisná metadata obvykle definuje nejen jednotlivá metadatová pole, ale i způsob jejich plnění a minimální podobu příslušného záznamu (povinná popisná pole). Pokud se zavádí nový systém pro digitální objekty bez návaznosti na existující evidenci/katalogizaci, mělo by být zajištěno vytváření alespoň minimálního souboru doprovodných informací potřebných k jednoznačné identifikaci informačního objektu (viz např. Základní popisné informace). Konkrétní struktura metadat obvykle vyplývá z datového modelu, který může reflektovat ontologii díla. V případě autorského díla ontologie dovoluje vhodně definovat vztahy mezi jednotlivými informačními objekty, manifestací díla a dílem jako abstraktním konceptem. Pokud v existujícím evidenčním systému vycházela struktura popisných metadat z ontologie, která nezahrnovala digitální reprezentaci díla, je vhodné příslušný datový model aktualizovat, zejména v souladu se Strategií správy předmětů kulturního dědictví v digitální podobě. Bude tak možné správně odlišit jednotlivé verze digitálních objektů (např. soubor doplněný o rekonstruovaná data) ve vztahu k původnímu fyzickému objektu. Původní struktura také nemusí dovolit zohlednění některých specifických

situací, například verzi digitálního objektu určenou pro vytvoření fyzického modelu (výstup technologie CAD pro 3D tisk).

Po případné revizi struktury, obsahu a způsobu plnění existujících evidenčních záznamů o fyzických (sbírkových) objektech lze tyto záznamy doplnit jen o identifikátory odpovídajících digitálních objektů pouze za předpokladu, že administrativní data k jejich datové reprezentaci jsou vedena samostatně, buď jako součást daného souboru dat spolu s 3D reprezentací objektu, nebo v samostatné databázi. Výše uvedený způsob je vhodné doplnit exportem Základních popisných informací do databáze administrativních metadat vázících se k digitálním reprezentacím, a dále tyto informace vložit i do samotného souboru dat digitální reprezentace objektu, pokud to použitý formát umožňuje. Způsob provázání popisných metadat k fyzickému objektu s jeho digitálními reprezentacemi musí zajistit jasnou identifikaci jejich vztahu (např. datový objekt vzniklý digitalizací konkrétního fyzického objektu) a v lepším případě rozlišit i verze digitálních reprezentací. Při správném vedení administrativních metadat k digitálním objektům je rozlišení jednotlivých verzí digitální reprezentace vždy možné, kopírování popisných metadat však může urychlit vyhledávání konkrétního objektu. Při vedení shodných souborů popisných metadat ve více databázích nebo zároveň jako součást samotných digitálních objektů je vždy třeba zajistit jejich případné sjednocení při potřebě jejich úpravy. Nedoporučuje se do katalogu fyzických objektů přidávat jen odkazy na cestu k digitální reprezentaci (link), neboť tato cesta se může měnit spolu se změnami struktury úložišť.

Ve specifických případech, například při vytváření 3D reprezentací nemovitých předmětů kulturního dědictví, nemusí být k dispozici katalogový záznam pro fyzický objekt a popisné informace je třeba zkompletovat z různých zdrojů. Tato situace je typická pro oblast archeologie, kde 3D rekonstrukce obvykle vycházejí z podkladů shromažďovaných v rámci konkrétních projektů zpracovávajících informace například z nalezišť. Zde je vhodné použít vhodné schéma (dle oborového standardu) s ohledem na potřeby dané instituce, které dovoluje zpracovat a uchovávat kompletní sadu metadat včetně administrativních. Při výběru vhodného schématu je třeba brát zřetel na proveditelnost mapování na schémata používaná v oborových databázích (viz kapitola 8.4. Mapování metadat), a také na konkrétní Strategii péče o předměty kulturního dědictví v digitální podobě nebo Plánu managementu dat, na základě kterých lze například zohlednit potřeby dlouhodobého uchovávání digitálních objektů.

Obecné standardy pro metadatový popis nemusí definovat formální pravidla pro zápis do jednotlivých polí, ani typ (formát) vkládaného obsahu. Stanovení těchto pravidel je však pro správné vkládání a správu metadat zásadní, neboť dovoluje udržet formální jednotu zápisů, i když mají více autorů. Jedná se například o určení, která pole jsou povinná a kdy je třeba hodnotu vybírat z předem

definovaného seznamu (řízeného slovníku, číselníku). Pokud instituce pro evidenci nepoužívá elektronický systém a/nebo pravidla systematicky definovaná pro všechna metadatová pole, je důležité systém i s pravidly zavést ještě před započítáním správy digitálních objektů. S tím obvykle souvisí i nutnost provést revizi dosavadního způsobu evidence alespoň u těch sbírkových předmětů, které mají sloužit jako podklad pro digitalizaci. Obvyklým problémem bývá například nedostatečně formalizovaný zápis názvu předmětu, který zároveň slouží jako jeho hlavní identifikátor, či nejednoznačnost zápisu autorit (v knihovních systémech obvykle navázaného na jejich centrální správu), kdy nelze rozlišit jméno a příjmení osoby (Ivan David).

Zavedení nového elektronického systému je vhodnou příležitostí pro implementaci pravidel do formulářů pro vkládání a editaci dat, kde bude probíhat automatická kontrola formátu a (pokud je to možné) i obsahu metadat. Při procesu migrace dat z původního do nového evidenčního (nebo sbírkového) systému obvykle lze některé nekonzistence v datech opravit pomocí skriptů. Určité nedostatky je však třeba korigovat ručně a náročnost tohoto procesu je přímo úměrná množství chybných či nekonzistentních záznamů. Obecně i v sebe lépe formalizovaném systému mohou existovat položky popisu objektu, jejichž vytvoření vyžaduje odborné znalosti (například historickou interpretaci), a na jejichž obsah mohou panovat rozdílné názory i mezi jednotlivými správci sbírky. Tento nevyhnutelně subjektivní aspekt je vhodné řešit s pomocí elektronického systému pro správu metadat, který spolu s vkládanými údaji uchovává i informaci o autorovi a datu zápisu/změny záznamu. Tato informace se potom může stát součástí administrativních metadat.

8.3 Administrativní metadata

V rámci administrativních doprovodných informací se někdy rozlišují technická metadata, vztahující se k technickým parametrům (datového) objektu, a paradata, která odkazují na historii využití objektu. Jedná se většinou o pomocné informace, které umožňují efektivnější správu obsahu. Do administrativních metadat lze zahrnout i informace potřebné pro dlouhodobé uchovávání digitálního objektu. Do příslušné struktury navázané na daný digitální objekt je vhodné ukládat například informace o:

- stavu původního fyzického objektu, který byl podkladem pro digitalizaci,
- formátu a technických parametrech digitálního objektu,
- poskytovatelích a původu digitálního objektu (provenience),
- procesu zpracování digitálního objektu,

- intelektuálním vlastnictví (navázaných právech k užití),
- dosavadním způsobu užití digitálního objektu (paradata).

S ohledem na různé varianty procesu digitalizace (viz kapitoly 6.1 a 7), které mohou velmi ovlivnit výslednou podobu 3D reprezentace objektu, je velmi důležité zachovat informace o tomto procesu včetně odkazu na použité podklady a metodu jejich výběru. Je to další z prostředků, který kromě způsobu zpracování 3D modelu umožňuje dokumentovat míru nejistoty při jeho rekonstrukci (viz kapitola 7 a Unger, 2019). V oblasti archeologie byla v souvislost s tímto využitím paradat publikována řada prací a tato problematika byla zmíněna i v London Charter (část 2.1) a The Seville Principles (princip 7.3). Do popisu procesu digitalizace je proto vhodné zahrnout např. vlastnosti a nastavení použitých technologií, použité metody a parametry výstupů při zpracování. Zamezí se tak situaci, kdy je 3D objekt primárně vytvořen za účelem konkrétní prezentace, při jeho vytváření jsou například vypuštěny, upraveny nebo uměle vytvořeny některé informace a tento postup není dokumentován a uložen spolu s objektem. Výsledná 3D reprezentace potom může být s časovým odstupem mylně považována za důvěryhodnou kopii původního fyzického objektu (zvláště, pokud je tento obtížně dostupný) a použita například pro další výzkum nebo dlouhodobé uchovávání.

Kategorie	Příklady typu konkrétních údajů
Geografické informace	Informace o archeologické lokalitě, výzkumném projektu.
Technické informace 3D modelu	Formát souboru, velikost souboru, počet vrcholů, počet voxelů, textura, typ geometrie.
Parametry technologií použitých při digitalizaci	Typ fotoaparátu, objektiv, ohnisková vzdálenost, čas expozice, vzdálenost objektu.
Aktivity spojené s vytvořením objektu	Způsob snímání, proces fotogrammetrického zpracování, provedené úpravy.

Příklad administrativních metadat používaných ve schématu STARC

Podobně jako pro popisná metadata, je u administrativních metadat potřeba zvolit vhodnou strukturu a formální pravidla jejich zápisu umožňující jednoznačně identifikovat obsah doprovodných informací, a také vždy určit, k čemu se vztahují. Například technické parametry se mohou vztahovat k původnímu fyzickému objektu, k výstupům digitalizace, nebo i k použitým technologiím. V případě, že je třeba spolu s digitálním objektem uchovávat komplexnější dokumentaci například o procesu jeho vzniku, nemusí být možné nebo vhodné tuto dokumentaci převést do strukturované podoby odpovídající zvolenému uspořádání metadat. V tomto případě je nezbytné tuto dokumentaci vést samostatně jako soubor dat opatřený vhodným identifikátorem

a zajistit jeho perzistentní provázání s příslušným digitálním objektem. I tento způsob dokumentace je vhodné formalizovat z hlediska jeho obsahu i formátu.

Na rozdíl od u popisných (oborově specifických) metadat nejsou v oblasti administrativních metadat rozšířené samostatné standardy pro jejich strukturování a plnění. Výjimkou mohou být situace, kdy je část administrativních metadat zahrnuta v evidenčních/katalogizačních standardech, nebo jsou definována jako parametry konkrétních typů objektů (technická metadata, např. standard EXIF). To platí i pro paradata, zejména s ohledem na variabilitu procesu digitalizace a obtížnost jeho formalizace existují zatím jen návrhy pro konkrétní případové studie (např. Apollonio, Giovannini, 2015).

Pro volbu vhodné struktury administrativních metadat jsou určující potřeby dané instituce vyplývající ze Strategie péče o předměty kulturního dědictví v digitální podobě či Plánu managementu dat, které jsou zohledněny v příslušném procesu správy digitálních objektů. Pro digitální objekty je obvykle vhodné zavést již zmíněný systém pro správu digitálního obsahu (DAM), v němž lze efektivně zajistit identifikaci digitálních objektů, provádět a dokumentovat kontrolu jejich obsahu, sledovat a zaznamenávat pohyb a manipulace s objekty a popisnými informacemi, zajistit formálně správnou strukturu nebo formáty metadat, a také provazovat objekty s doprovodnými informacemi z jiných systémů (např. pro evidenci). Tyto systémy se obvykle vyznačují vysokou mírou konfigurovatelnosti pro potřeby konkrétní instituce a umožňují zohlednění různých způsobů vedení administrativních metadat. Z tohoto důvodu je při výběru konkrétního systému důležité vyhodnotit dostupné možnosti exportu metadat v definované struktuře umožňující mapování na standardy pro jejich sdílení nebo uchovávání, viz následující kapitoly.

8.4 Mapování metadat

Metadata k digitálním objektům mohou být v institucích vedena v různých systémech a strukturách, často odděleně podle typu a způsobu užití (např. popisná a administrativní). Pro potřeby sdílení, zpřístupnění a dlouhodobé uchovávání digitálních předmětů kulturního dědictví je obvykle třeba mapovat metadata z různých schémat do jednotné struktury (souboru), která je dovoluje předat nebo uchovávat spolu s digitálním objektem takovým způsobem, aby byl jejich význam a vztah k danému objektu vždy zřejmý. Problém mapování metadat z různých schémat na jednotnou strukturu řeší zejména agregační portály, např. Europeana, pro kterou byl vyvinut Europeana Data Model (EDM). Pro správné mapování je třeba věnovat pozornost nejen struktuře dat, ale i obsahu a typu (formátu) jednotlivých polí. Jelikož se jedná o častý problém, existuje v tomto směru již několik standardů.

Pro 3D reprezentace předmětů kulturního dědictví je zřejmě aktuálně nejrozšířenější schéma CARARE, jehož popis je volně dostupný¹², a které je také vhodné pro předávání metadat do portálu Europeana. Pro samotný proces mapování platí obdobná doporučení jako pro migraci dat zmíněnou v kapitole 6.2. Pokud vzniká potřeba mapování opakovaně, může být vhodné revidovat dosavadní způsob strukturování a plnění doprovodných informací. Při migraci lze opět identifikovat nekonzistence a chyby v datech a opravit řadu z nich pomocí skriptů. V první řadě je však nutné zajistit opravy i ve zdrojových datech, což nemusí být s ohledem na možnosti konkrétního evidenčního systému jednoduché. Opět platí, že určité nedostatky je nutné korigovat ručně a náročnost tohoto procesu je přímo úměrná množství a nekonzistenci původních katalogových záznamů.

Další oblastí, kde je třeba pracovat s metadaty ve formě strukturovaného souboru dat, je dlouhodobé uchovávání digitálního obsahu – viz kapitola 9. Pro vytvoření archivního informačního balíčku (AIP) je nutné metadata k dané reprezentaci sbírkového objektu vyexportovat ze systémů (databází) pro jejich primární správu a uložit je ve vhodné struktuře opět podobným způsobem, jako v případě jejich sdílení. Oblast dlouhodobého uchovávání je náročnější v tom směru, že je třeba ukládat i metadata, která nemusejí být pro sdílení a prezentaci digitálních objektů relevantní, ale jsou důležitá pro péči o kulturní obsah v dané instituci. Příkladem mohou být informace o autorech a datech příslušných (metadatových) záznamů. Pro mapování metadat do archivačního schématu platí totéž, co pro export do sdílených portálů, ovšem zde se jedná obvykle o komplexnější proces a případné chyby v datech mohou být odhaleny až po velmi dlouhé době. Při mapování je rovněž důležité zohlednit provázanost s dalšími dokumenty a použitý systém identifikace, kde identifikátory nemusí být unikátní mimo systém pro správu digitálních objektů. Vhodným schématem pro digitální reprezentace předmětů kulturního dědictví je například PREMIS (nyní ve verzi 3.0¹³), nicméně konkrétní doporučení pro jeho aplikaci pro 3D reprezentace nejsou dosud k dispozici. Pokud se instituce zabývá dlouhodobým uchováváním, stanou se procesy exportu, mapování a verifikace obsahu součástí archivačního řetězce a provádí se vždy při vytváření archivních balíčků.

Metadatová schémata pro sdílení a uchovávání digitálních reprezentací jsou obvykle implementována pomocí člověkem čitelné datové struktury nejčastěji ve formě XML, případně JSON, specifikace kódování této struktury bývá obvykle součástí

12 Viz <https://pro.carare.eu/>, navštíveno 2021-05-25

13 Dostupný <https://www.loc.gov/standards/premis/>, navštíveno 2022-03-25

příslušného standardu (CARARE, PREMIS) a v některých případech ji lze přímo propojit s popisovaným datovým objektem (viz výše zmíněný formát glTF).

Pokud instituce nemá definované požadavky na administrativní (a případně i pro popisná) metadata k 3D reprezentaci předmětů kulturního dědictví, mohou výše zmíněná schémata (datové modely) sloužit jako východisko pro určení, jaké doprovodné informace vést, a k výběru jejich nejvhodnější struktury, opět v souladu s přijatou Strategii péče o předměty kulturního dědictví v digitální podobě.

9 Požadavky vyplývající z potřeby dlouhodobého uchování dat

Pro postupy dlouhodobého uchování digitálních 3D reprezentací sbírkových předmětů platí obdobné principy jako pro uchování všech digitální informačních objektů. Při zavádění těchto postupů je třeba vycházet z normy ČSN ISO 14721 – Otevřený archivační informační systém – Referenční model OAIS. Dodržování těchto principů lze potom ověřit dle normy ČSN ISO 16363 – Audit a certifikace důvěryhodných digitálních úložišť. Tyto principy jsou však pro většinu institucí v ČR velmi obtížně aplikovatelné, neboť obvykle nemají na uspokojivé úrovni vyřešené strategické řízení a správu Informačních technologií obecně, a tak není dosažen soulad dílčích postupů správy dat s obecnou strategií instituce (např. ve smyslu standardů TOGAF nebo COBIT). Přínosem tedy může být i maximální úsilí naplnit alespoň některé principy v souladu s dobrou praxí. Níže popsané požadavky je tedy nutné chápat jako popis cílového stavu, se kterým musí být vedení instituce alespoň obeznámeno, aby mu mohlo přizpůsobit strategická rozhodnutí.

Pro dlouhodobé uchování je důležitá již několikrát zmíněná Strategie péče o předměty kulturního dědictví v digitální podobě, která umožňuje správně definovat postupy správy digitálních objektů již od okamžiku jejich akvizice nebo vytvoření. V souladu s touto strategií je třeba vytvořit a dodržovat i odpovídající Pravidla pro uchování. Zde je nutné zdůraznit, že pro dlouhodobé uchování digitálních informačních objektů musí být systém jejich správy opravdu dobře navržen a aplikován v návaznosti na relevantní aktivity celé instituce, aby bylo možné například zabránit ztrátě informací vlivem nesprávné manipulace s daty (konverze) nebo záměně datových souborů. Pokud dojde při manipulaci s datovým objektem k chybě a data se dlouhodobě uloží poškozená nebo s jiným informačním obsahem například na páskové médium (LTO), může být tento problém odhalen až s velkým časovým odstupem, kdy již nemusí existovat fyzická předloha nebo plnohodnotné zdrojové informace.

Z výše uvedených norem vyplývá, že datové objekty musejí být doplněny o vysvětlující informaci, která dovoluje interpretaci jejich obsahu, tj. například o způsob kódování příslušného informačního obsahu. Pokud se pro kódování konkrétního

souboru dat¹⁴ používá určitý standard (např. ASCII pro kódování textu), dokumentace tohoto standardu musí být dlouhodobě dostupná. Pro 3D reprezentace se jedná o komplikovaný požadavek, neboť většina používaných formátů dat je proprietárních (viz kapitoly 6.1 a 6.2) a jejich podpora včetně dokumentace často závisí na komerčních subjektech. Z tohoto důvodu je třeba věnovat volbě formátu zvýšenou pozornost, v dané oblasti již existují konkrétní doporučení, např. datové objekty a metadata vhodná pro dlouhodobé uložení výstupů z procesu fotogrammetrie na stránkách Library of Congress. V souladu s kapitolou 8 je dále třeba každý datový objekt uložit spolu s kompletní sadou doprovodných informací (výše uvedené standardy pro dlouhodobé uchování nepoužívají termín metadata). Pro potřeby dlouhodobého uchování se k administrativním metadatům přidávají i informace o procesu uchování digitálního objektu, například informace o neporušenosti. Všechny výše uvedené doprovodné informace se uchovávají spolu s konkrétními typy digitálních datových objektů ve vhodné datové struktuře, například s použitím formátu XML dle standardů METS a MODS. Jak vyplývá z předchozích kapitol, pokud je součástí strategie dané instituce proces dlouhodobého uchování digitálního obsahu, je třeba tuto skutečnost zohlednit ve všech strategických rozhodnutích spojených s vytvářením, správou a dokumentací digitálních objektů. V případě, že je dlouhodobé úložiště budováno dodatečně, znamená to revizi všech procesů včetně vytváření a správy metadat. Jedná se o velmi náročný a nákladný proces a paměťové instituce mají tendenci jej redukovat na zálohování uložených dat. Tento krok je samozřejmě chvályhodný, avšak je třeba si s odkazem na Referenční model OAIIS uvědomit, že ani optimální verze zálohování, tedy zajištění bitové ochrany uchovaných dat, z dlouhodobého hlediska nestačí.

14 Příklad doporučených standardů souborů viz <https://www.loc.gov/preservation/resources/rfs/design3D.html>, navštíveno 2022-04-10

10 Správa duševního vlastnictví

Otázku správy duševního vlastnictví spojeného s digitální 3D reprezentací předmětu kulturního dědictví lze rozdělit na dvě oblasti. První je spojená s právy autorů samotného předmětu kulturního dědictví. Pokud byl 3D objekt vytvořen jako nativně digitální (neexistuje k němu fyzická předloha), potom je předmětem ochrany stejně jako kterékoliv dílo, které je výsledkem jedinečné tvůrčí činnosti a v České republice je ochrana příslušných práv autora upravena Autorským zákonem (zákon číslo 121/2000 Sb. v aktuálním znění). Podle převažujících výkladů autorského práva je i samotný proces digitalizace zásahem do autorských práv, a tudíž by neměl být prováděn bez souhlasu autora, respektive bez vlastnictví příslušných práv k fyzickému objektu. Z výše uvedeného vyplývá, že informaci o příslušných autorských právech, případně o jejich konkrétním vypořádání (např. vyplývající ze smlouvy s autorem) je vhodné vést jako součást administrativních metadat jak u fyzického, tak i digitálního objektu. V případě dlouhodobého uložení je potom nutné tato metadata ukládat spolu s informačním objektem jako součást archivního balíčku. Tyto informace jsou zásadní pro zpřístupnění informačního objektu a promítají se do informace o přístupových právech, například jako údaj, zda a jakým skupinám uživatelů je informační obsah přístupný.

Stále více diskutovanou oblastí zasahující do autorských práv je potom 3D tisk, kdy lze prostřednictvím digitalizované 3D reprezentace vytvořit (více či méně věrnou) kopii původního fyzického objektu. S ohledem na relativní novost této technologie nelze předpokládat, že starší smlouvy (vypořádání autorských práv) s autory zahrnují i tuto oblast užití díla, a proto je třeba této otázce věnovat pozornost. Pokud je to pro charakter objektu relevantní, příslušná administrativní metadata by měla obsahovat informaci o možných způsobech užití jeho digitální 3D reprezentace.

Specifickou oblastí pro vznik nového intelektuálního vlastnictví může být samotný proces digitalizace zejména v situaci, kdy vytvoření 3D reprezentace původního objektu vyžaduje vyšší míru kreativního výkonu nad rámec použití automatizovaných nástrojů. Tato situace může nastat v případě, kdy jsou podklady k původnímu objektu neúplné a některé části 3D reprezentace je potřeba rekonstruovat nebo nově vytvořit (viz. kapitoly 6.1 a 8.3). Zde mohou vznikat autorská práva vážící se jen k digitální 3D reprezentaci objektu a je opět vhodné s autory digitalizace smluvně ošetřit užití jejich díla (pokud není upraveno zaměstnaneckým vztahem), a následně uvést jejich jména spolu se sjednaným poskytnutím práv v příslušných administrativních metadatech. Tento aspekt může být důležitý pro budoucí zpřístupnění digitální 3D reprezentace objektu např. na agregačních portálech nebo pro její dlouhodobé uchování.

11 Závěrečná ustanovení

V řadě ohledů platí pro péči o digitální 3D reprezentace objektů kulturního dědictví stejná pravidla jako pro jiné datové objekty. Je tedy třeba věnovat pozornost, jakým způsobem je řešen, zabezpečen a dokumentován jejich:

- Původ, pro zajištění, aby digitální reprezentace odpovídala fyzickému objektu nebo původnímu dílu.
- Identifikace, zajišťující unikátní a perzistentní označení informačního obsahu a souboru dat.
- Doprovodné informace (metadata), dovolující interpretovat obsah dat a další relevantní kontext, dále potom popsat proces správy objektu a zajistit ochranu autorských práv.
- Formát, pomocí kterého jsou data kódována a strukturována.

V případě digitální 3D reprezentace, která obvykle zahrnuje komplexní informace o povaze fyzického objektu (ať již tento existuje nebo ne), nabývá na důležitosti zejména proces, jakým tato reprezentace vznikla a dále způsob, jakým jsou fyzické parametry objektů popsány v (přeneseny do) jejich digitální reprezentaci, viz např. vzorový postup uvedený v kapitole 5. Jelikož nástroje pro digitalizaci, způsoby vytváření a možnosti prezentace digitálních 3D objektů se neustále vyvíjejí a zdokonalují, nelze v této oblasti definovat jednoznačné kroky a identifikovat nejvhodnější technologie, a s nimi spojené formáty pro uložení. Digitalizace, prezentace a péče o digitální 3D objekty je velmi náročná na lidské a finanční zdroje a vyžaduje přijímání kompromisních řešení s ohledem na jejich aktuální dostupnost. Díky nutně omezeným rozpočtům je tak třeba zvažovat priority například při vyvažování kvality výstupů digitalizace a kvantity zpracovaných objektů. Tato metodika proto zdůrazňuje důležitost porozumění dané problematice a důsledkům jednotlivých rozhodnutí, a zejména potřebu jasné Strategie péče o sbírkové objekty, která dovolí vytvářet příslušné postupy a činit klíčová rozhodnutí v souladu s cíli dané instituce, v rámci poznanych možností a s vědomím jejich možných dlouhodobých dopadů.

12 Použité zdroje

AUTODESK, MAYA 2020. *Supported data export formats*. Kapitola v manuálu. Autodesk 2021. <https://help.autodesk.com/view/MAYAUL/2020/ENU/?guid=GUID-864BD203-C437-4481-8BFC-3A6C1D2C824C>, navštíveno 2021-04-07.

AUTODESK, NETFABB 2021. *File format reference*. Kapitola v manuálu. Autodesk 2021. <https://help.autodesk.com/view/NETF/2021/ENU/?guid=GUID-096C44F2-0C79-4E5F-8DDF-10F4CD380F56>, navštíveno 2021-04-07.

APOLLONIO, F. I. 2015. *Classification schemes and model validation of 3D digital reconstruction process*. In Proceedings of the 20th International Conference on Cultural Heritage and New Technologies. New York: AMC Press. (dostupné i online: http://www.chnt.at/wp-content/uploads/eBook_CHNT20_Apollonio_2015.pdf, navštíveno 2021-06-12)

APOLLONIO, F. I., GIOVANNINI, E. C. 2015. *A paradata documentation methodology for the Uncertainty Visualization in digital reconstruction of CH artifacts*, SClentific RESearch and Information Technology Ricerca Scientifica e Tecnologie dell'Informazione Vol 5, Issue 1 (2015), 1-24DOI:10.2423/i22394303v5n1p1

BARCELÓ, J. A. 2000. *Visualizing what might be. An Introduction to Virtual Reality in Archaeology*, In Barceló, J.A.; Forte, M.; Sanders, D. eds. *Virtual Reality in Archaeology*. Oxford: Archaeopress., p. 9-36. (British Archaeological Reports S843)

BREJCHA, M., BRŮNA, V., MAREK, Z. a VĚTROVSKÁ, B. 2015. *Metodika digitalizace, 3D dokumentace a 3D vizualizace jednotlivých typů památek*. Praha: Národní památkový ústav. ISBN 978-80-7414-954-2.

HUGHES, S. 2011. *CT scanning in archaeology*. *Computed Tomography-Special Applications*/Ed. L. Saba. InTech Europe, 2011, 57-70.

CHAMPION, E. 2008. *Explorative shadow realms of uncertain histories, New heritage: New media and cultural heritage*. Routledge, Oxfordshire UK, pp. 185-206.

CHAKRAVORTY, D. 2019. *The Most Common 3D File Formats*, All3DP – 3D Printing Magazine for Beginners and Professionals. August 2019, <https://all3dp.com/3d-file-format-3d-files-3d-printer-3d-cad-vrml-stl-obj/>, navštíveno 2021-04-07.

glTF 2.0, *Specification*, Khronos Group, 2017-06-09, <https://github.com/KhronosGroup/glTF/tree/master/specification/2.0>, navštíveno 2021-03-20.

LEE, G., CHOI, P., NAM, J., HAN, H., LEE, S., KWON, S. 2019. "A Study on the Performance Comparison of 3D File Formats on the Web." *International Journal of Advanced Smart Convergence* 8, no. 1 (March 31, 2019): 65–74. doi:10.7236/IJASC.2019.8.1.65.

MCHENRY, K., BAJCSY, P. 2008. *An overview of 3d data content, file formats and viewers*, National Center for Supercomputing Applications 1205.

LEVOY, M., PULLI, K., CURLESS, B., RUSINKIEWICZ, S., GINSBERG, J., SHADE, J., FULK, A., D. 2000. *The digital Michelangelo project: 3D scanning of large statues*. In *Proceedings of the 27th annual conference on Computer graphics and interactive techniques (SIGGRAPH'00)*. ACM Press/Addison-Wesley Publishing Co., USA, 131–144. DOI: 10.1145/344779.344849

REMONDINO, F. 2011. *Heritage recording and 3D modeling with photogrammetry and 3D scanning*. *Remote sensing*, 2011, 3.6: 1104–1138.

ROBINET, F., et al. 2014. *glTF: Designing an open-standard runtime asset format*. *GPU Pro*, 2014, 5: 375–392.

SALEHI, V., MCMAHON, C. 2011. *Development and application of an integrated approach for parametric associative CAD design in an industrial context*. *Computer-Aided Design and Applications*, 2011, 8.2: 225–236.

STONE, R., OJIKI, T. 2000. *Virtual Heritage: What Next?*. *IEEE MultiMedia*. 7. 73–74. DOI: 10.1109/93.848434.

UNGER, J. 2019. *Možnosti využití 3D rekonstrukčních počítačových vizualizací pro archeologii*. *Disertační práce*, Ústav pro archeologii, Filozofická fakulta, Univerzita Karlova

UnityGLTF: Runtime GLTF Loader for Unity3D, The Khronos Group, 2020-09-26, <https://github.com/KhronosGroup/UnityGLTF>, navštíveno 2020-09-26.

WILKINSON, M. D Michel Dumontier; IJsbrand Jan Aalbersberg; et al. 2016. *“The FAIR Guiding Principles for scientific data management and stewardship”*. Scientific Data. 3 (1): 160018. doi:10.1038/SDATA.2016.18

Poděkování

Autoři metodiky děkují Josefu Součkovi z Národního muzea a zejména Davidu Novákovi z Archeologického ústavu AV ČR za konzultace a připomínky k textu metodiky. Poděkování patří i Jiřímu Ungerovi z Archeologického ústavu AV ČR za cenné informace a poskytnutí disertační práce.

Oponenti

doc. Mgr. Petr Květina, Ph.D.
Archeologický ústav AV ČR

PhDr. Zdeněk Kuchyňka
Sládečkovo vlastivědné muzeum v Kladně