

Univerzita Karlova

Filozofická fakulta

Ústav pro archeologii

Disertační práce

Mgr. Jiří Unger

**Možnosti využití 3D rekonstrukčních počítačových vizualizací
pro archeologii**

The utilization of 3D computer reconstruction visualizations in archaeology

Praha 2019

Vedoucí práce: Doc. PhDr. Luboš Jiráň, CSc.

Prohlášení:

Prohlašuji, že jsem disertační práci vypracoval samostatně, že jsem řádně citoval všechny použité prameny a literaturu a že práce nebyla využita v rámci jiného vysokoškolského studia či k získání jiného nebo stejného titulu.

V Turnově, dne 30. April 2019

Jiří Unger

Klíčová slova (česky)

archeologie; 3D počítačové modelování; rekonstrukce minulosti; vizuální komunikace; virtuální realita

Klíčová slova (anglicky):

archaeology; 3D computer modeling; reconstruction of the past; visual communication; virtual reality

Abstrakt (česky)

Pro zprostředkování informací a jejich interpretaci je v archeologii jedním z hlavních sdělovacích nosičů obrazové vyjádření. Nedávné zavedení digitálních technologií navíc vneslo do archeologických vizualizací zcela novou dimenzi. Ty se tak díky tomu staly trojrozměrnými, multifunkčními, virtuálními a interaktivními. Technologický pokrok neovlivnil pouze způsoby jak získávat a zpracovat data, ale značně rozšířil možnosti hledisek jejich zkoumání, kdy jde především o možnost simulovat různé aspekty ve virtuálním prostředí a vizualizovat je. Hned od počátku byla virtuální archeologie brána jako směr, který do archeologie vnese nové přelomové poznatky. Současná situace je ovšem taková, že 3D počítačové vizualizace jsou spíše brány jako oblíbené téma konferencí než jako standartní nástroj a většina prací o virtuální archeologii má stále potřebu obhajovat výhody 3D vizualizací pro obor.

Disertační práce se proto zabývá teoretickými otázkami přípravy, organizace a analýzy vstupních dat pro tvorbu 3D rekonstrukčních počítačových modelů, řešením vizualizace nejistoty dat a důvěryhodnosti těchto modelů a výslednou formou jejich výstupů a prezentace včetně využití virtuální a rozšířené reality. Tyto aspekty jsou demonstrovány na 3D počítačových rekonstrukcích zhotovených autorem na základě dat historických pramenů (město Slaný v roce 1602), na základě archeologických nedestruktivních metod (hradiště v Libici nad Cidlinou), na základě klasické dokumentace archeologického výzkumu (oppidum Závist u Zbraslavi) a na základě dat laserového skenování (důlní areál v Dippoldiswalde).

Disertační práce navrhuje možnosti řešení problematiky nejistoty v datech jednak prostřednictvím většího využívání a přímé inkorporace metod digitální dokumentace jako je více-snímková fotogrammetrie nebo laserové skenování do procesu tvorby počítačových rekonstrukcí. Zásadním je ovšem plné využití technik vizuální komunikace, kdy autor navrhuje koncipovat výstupy ze 3D rekonstrukčních počítačových modelů jako komplexnější soubor i dalších exaktních dat zprostředkovaných srozumitelnou grafickou formou. Zvolení grafického způsobu vyjádření může zrychlit interpretační proces, který se díky tomu stane snazší, názornější a výstižnější formou komunikace možností 3D počítačových modelů jak v rámci archeologie, tak i směrem k veřejnosti.

Abstract (in English):

The visual presentation is in the field of archaeology one of the main communication media for conveying information and interpreting it. The recent introduction of digital technologies has brought a whole new dimension to archaeological visualisations. As a result of this development, they become three-dimensional, virtual, multifunctional and interactive. Technological development moreover has not only influenced the way how to retrieve and process the data, but greatly expanded as well the ability to simulate and visualize their different aspects in virtual environment. Since the beginning the virtual archaeology has been taken as direction that would bring new groundbreaking knowledge into the archaeology. However, the current situation is that 3D computer visualizations are just popular conference theme than a standard tool of archaeology as a science, and most works on virtual archaeology still needs to advocate the benefits of 3D visualizations.

Therefore, the dissertation thesis try to deal with theoretical issues of preparation, organisation and analysis of input data in the process of creation of 3D reconstruction computer models, then with possible solutions of visualization of uncertainty of data and the credibility of the models and with form of their results and presentations, including the use of virtual and augmented reality. All these aspects are demonstrated on 3D computer reconstructions made by author and based on different type of input data, such as on historical sources (the town Slaný in 1602), non-destructive archaeological survey (fortified site Libice nad Cidlinou), classical archaeological field documentation (oppidum Závist u Zbraslavi) or on the laser scanning data (medieval mine in Dippoldiswalde).

The dissertation thesis proposes for solving the issue of data uncertainty greater use and direct incorporation of digital documentation methods such as multi-image photogrammetry or laser scanning into the process of creating computer reconstructions. However, it is essential to make full use of visual communication techniques, where the author proposes to design the outputs from 3D reconstruction computer models as a more complex set of more exact data presentation mediated in graphic form. Choosing of a graphical way of expression can speed up the interpretation process, makes it easier, more illustrative and concise when communicating the possibilities of 3D computer models both within archaeology and towards to public.

Obsah

1. ÚVOD	10
1.1 VIZUALIZACE JAKO KOMUNIKACE	10
1.2 VÝZNAM VIZUALIZACÍ PŘI FORMOVÁNÍ ARCHEOLOGIE.....	14
1.3 POČÁTKY TROJROZMĚRNÝCH DIGITÁLNÍCH VIZUALIZACÍ V ARCHEOLOGII	19
2. SPECIFIKA POČÍTAČOVÝCH REKONSTRUKČNÍCH VIZUALIZACÍ V ARCHEOLOGII	25
2.1 Obecné principy a zobrazování nejistoty dat	25
2.2 VÝVOJ ZOBRAZOVÁNÍ NEJISTOTY DAT V ARCHEOLOGICKÝCH DIGITÁLNÍCH REKONSTRUKCÍCH	31
2.3 METODY ZOBRAZOVÁNÍ NEJISTOTY DAT V ARCHEOLOGICKÝCH DIGITÁLNÍCH REKONSTRUKCÍCH	36
.....	
2.3.1 Postup tvorby rekonstrukce	37
2.3.2 Vizualizace nejistoty	41
2.3.3 Organizace dat	47
2.3.4 Koncepty	49
3. TROJROZMĚRNÉ MODELOVÁNÍ V ARCHEOLOGII	50
3.1 PŘÍPADOVÉ STUDIE	50
3.2 3D POČÍTAČOVÁ REKONSTRUKCE NA ZÁKLADĚ HISTORICKÝCH PRAMENŮ	50
3.2.1 Úvod – rekonstrukce města Slaný v r. 1602	50
3.2.2 Kontext lokality	51
3.2.3 Postup tvorby počítačové rekonstrukce	53
3.2.4 Nejistota dat rekonstrukce	72
3.2.5 Závěr	86
3.3 3D POČÍTAČOVÁ REKONSTRUKCE PODKLADĚ NEDESTRUKTIVNÍCH METOD.....	87
3.3.1 Úvod – rekonstrukce hradiště v Libici nad Cidlinou	87
3.3.2 Kontext lokality	87
3.3.3 Postup tvorby 3D počítačové rekonstrukce.....	89
3.3.4 Nejistota dat rekonstrukce	107
3.3.5 Analýza dat z počítačového modelu	108
3.3.6 Závěr	115
3.4 3D POČÍTAČOVÁ REKONSTRUKCE DLE KLASICKÉ ANALOGOVÉ DOKUMENTACE.....	115
3.4.1 Úvod – rekonstrukce oppida Závist u Zbraslavi	115
3.4.2 Kontext lokality	116

3.4.3 Postup tvorby počítačové rekonstrukce	116
3.4.4 Nejistota dat rekonstrukce	128
3.4.5 Závěr	131
3.5 3D POČÍTAČOVÁ REKONSTRUKCE NA ZÁKLADĚ DAT LASEROVÉHO SKENOVÁNÍ	131
3.5.1 Úvod – rekonstrukce důlního areálu v Dippoldiswalde.....	131
3.5.2 Kontext lokality.....	132
3.5.3 Postup tvorby 3D rekonstrukce	132
3.5.4 Nejistota dat rekonstrukce	138
3.5.5 Závěr	139
4. VYUŽITÍ VIRTUÁLNÍ A ROZŠÍŘENÉ REALITY PRO PREZENTACI POČÍTAČOVÝCH VIZUALIZACÍ.	140
4.1 Virtuální a rozšířená realita	140
4.2 Případové studie využití virtuální a rozšířené reality v archeologii.....	144
4.2.1 Virtuální muzea: Archeologické 3D virtuální muzeum	144
4.2.2 Aplikace pro mobilní telefony: Virtuální průvodce po městském opevnění královského města Slaný	148
4.2.3 Virtuální prostor v muzeích	152
4.3 Důvody využití virtuální a rozšířené reality pro prezentaci archeologie	157
5. MOŽNÁ VÝCHODISKA PRO PRÁCI S 3D POČÍTAČOVÝMI REKONSTRUKCEMI A JEJICH VIZUALIZACEMI.....	162
5.1 Uvedení do problematiky	162
5.2 Zvýšení důvěryhodnosti prostřednictvím dat digitální 3D dokumentace	163
5.2.1 Vícesnímková fotogrammetrie	164
5.2.2 Laserové skenování.....	170
5.3 Vizualizace výstupů ze 3D počítačových rekonstrukcí	173
5.3.1 Tvorba konceptu vizuální komunikace	173
5.3.2 Pochopení vizuální komunikace	175
5.3.3 Obecné principy vizuální komunikace výstupů ze 3D rekonstrukčních modelů	178
5.3.4 Vizualizace děj.....	186
6. ZÁVĚR.....	187
7. SEZNAM LITERATURY	194
8. SEZNAM OBRÁZKŮ	210

9. SEZNAM TABULEK	222
10. PŘÍLOHY.....	223
Příloha č. 1 – The London Charter.....	224
Příloha č. 2 – The Seville Principles	232
Příloha č. 3 – Principles for the recording of monuments, groups of building and sites.....	238
Příloha č. 4 – The Icomos Charter	242

1. ÚVOD

1.1 VIZUALIZACE JAKO KOMUNIKACE

“The past two decades have brought neurologists many marvelous discoveries about the visual brain. Moreover, they have led to a powerful conceptual change in our view of what the visual brain does and how it accomplishes its functions. It is no longer possible to divide the process of seeing from that of understanding, as neurologists once imagined, nor is it possible to separate the acquisition of visual knowledge from consciousness.”¹

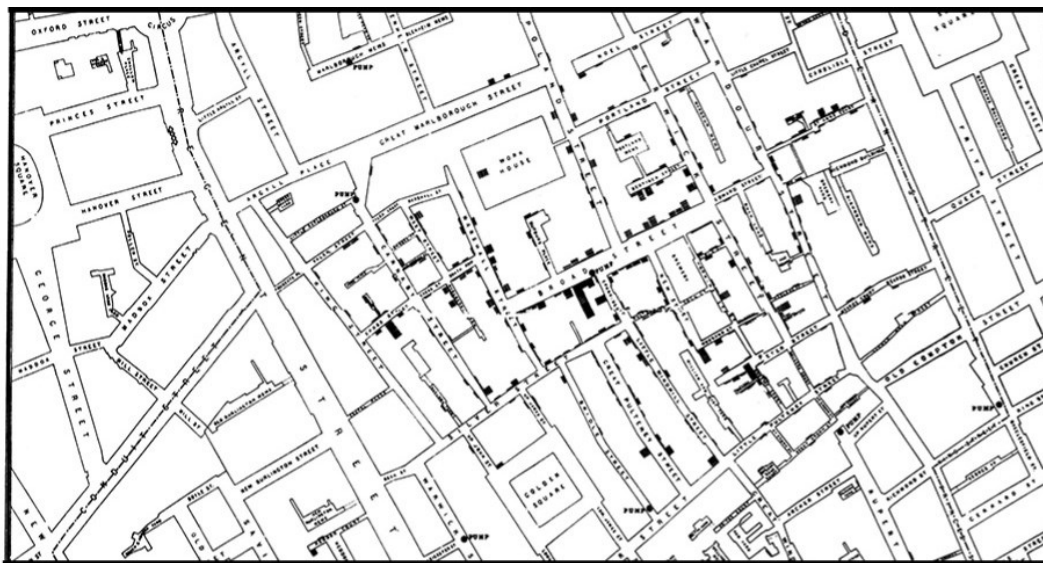
Semir Zeki²

Obraz je symbolický i emotivní prostor, který v divákově mysli nahrazuje fyzické vnímání, je to silný vjem, který překračuje pouhý popis míst, předmětů nebo lidí. Tvorba obrazů patří k možná nejsložitějším lidským činnostem a obraz je zdaleka nejmocnějším komunikačním nástrojem. Dívat se na obraz v sobě nezahrnuje pouze vizuální vjem a vyvolání emočního zážitku, ale spontánně vede i k poznání – nejprve vidíme, pak vnímáme, přemýšlíme a rozhodujeme se. To podstatné se totiž při vizuálním vnímání odehrává až během procesu zpracování informace. Vizuální vnímání tak nepředstavuje pouhé podráždění očního receptoru, ale zahrnuje celou škálu pochodů, neboť zrakový nerv a sítnice jsou spojeny s celým nervovým systémem a ze všech pěti smyslů právě zrak odesílá do mozku naprostou většinu všech smyslových podnětů. Samotná vizualizace je pak vlastně prostředek k zobrazení a předání informace co nejsrozumitelnější grafickou formou. Oproti slovnímu nebo textovému sdělení je vizuální komunikace mnohem efektivnější formou, neboť pracuje rychleji, paralelně a mnohorozměrně (Hrbek 1968, 551). Zvolení grafického způsobu vyjádření tak může zrychlit interpretační proces, který se díky tomu stane snazší, názornější a výstižnější formou komunikace (Tondl 1996, 176). A právě tím, že vizualizace umožňují výrazně urychlit celý proces poznávání, mají velký význam pro využití ve výuce, vědě a její popularizaci. Toto zrychlení kognitivního procesu je velice žádoucí specificky v dnešní době, kdy v přívalu

¹ Poslední dvě desetiletí přinesla v neurologii mnoho úžasných objevů o vizuálních funkcích mozku. To vedlo k výrazné koncepční změně našeho pohledu na to, co vizuální centra v mozku dělají a jak plní své funkce. Už není déle možné oddělovat procesy vidění a porozumění, jak si neurologové mysleli, a ani už není možné oddělovat získávání vizuálního poznání od vědomí. (překlad autor)

² Zeki 1992, 76

velkého množství informací, dochází k limitaci lidských schopností tato kvanta smysluplně třídit a organizovat (Nevěřilová 2004, 4).

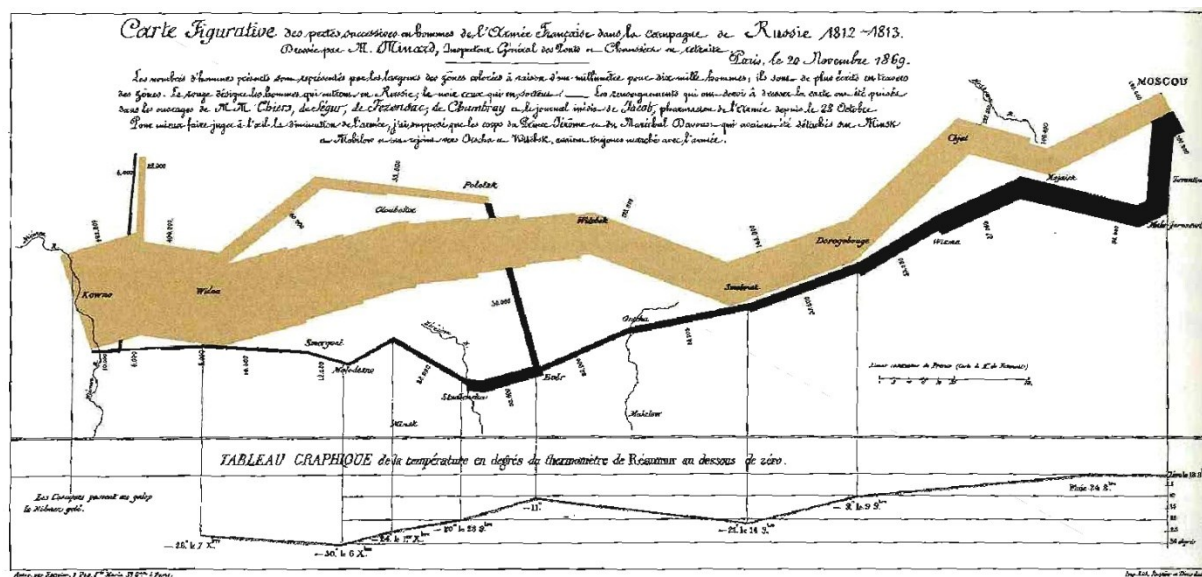


Obr. 1: Jak najít epidemiologické riziko, poprvé vizualizoval John Snow v roce 1854 při epidemii cholery v Londýně (Tuft 1997, 30).

Zkrácení doby interpretace tím, že oproti tradičním textovým formám, lze pomocí vhodné vizualizace rychle získat celkový obraz dané problematiky je pro vědu velice důležitým aspektem. Grafické formy vizualizace dat dovolují přímý vhled do obsahu jako celku a umožňují příjemci sdělení volit vlastní postup interpretace a zvýšit jeho aktivní podíl na získání požadované informace. Příjemce tak může rychle prohlédnout celý graf, plán nebo model, vytvořit si komplexní vjem a od tohoto globálního obrazu teprve přecházet k důležitým detailům dalšího sdělení (Tondl 1996, 173). Vizualizace dat ve vědě je prostředkem k poznávání a pochopení dosud neznámých skutečností, čímž se odlišuje od obvyklé prezentační grafiky, která zobrazuje již známé informace a je pouhým prostředkem usnadňujícím komunikaci. Vizualizace vědeckých dat je oproti tomu nástrojem usnadňujícím jejich syntézu, analýzu i interpretaci a metodu zkoumání (Sochor a kol. 1997).

Jako příklad ilustrující schopnosti vizuální stránky komunikovat data, lze např. uvést mapu epidemie cholery v Londýně v roce 1854, kam John Snow vyznačil případy nakažení a která tak odráží přesné numerické hodnoty ve vzájemných prostorových vztazích. Právě vizualizování koncentrace jednotlivých nakažení umožnilo určit jako pravděpodobnou příčinu šíření kontaminaci vody v jedné z veřejných pump. Po odstranění kliky u této pumpy pak epidemie rychle skončila (obr. 1; Tuft 1997, 27 – 37). Excelentním příkladem analytické

vizualizace je Minardova mapa na které je zobrazeno tažení Napoleonovy armády do Ruska a ztráty na životech, které armáda v jejím průběhu utrpěla. Charles Minard byl inženýr, který uměl mimořádně dobře kreslit, dívat se a počítat a proto jeho mapa obsahuje veškeré potřebné informace - přesné údaje, měřítko, vysvětlení příčin (klesající teplota), má vnitřní integritu a multivariační analýzu. Mimořádně silný dojem, který mapa komunikuje je tak zapříčiněn propracovaným grafickým pojetím, které nechává vyniknout nesmyslnost války (obr. 2; Kraak 2014, Tufte 2006, 138).

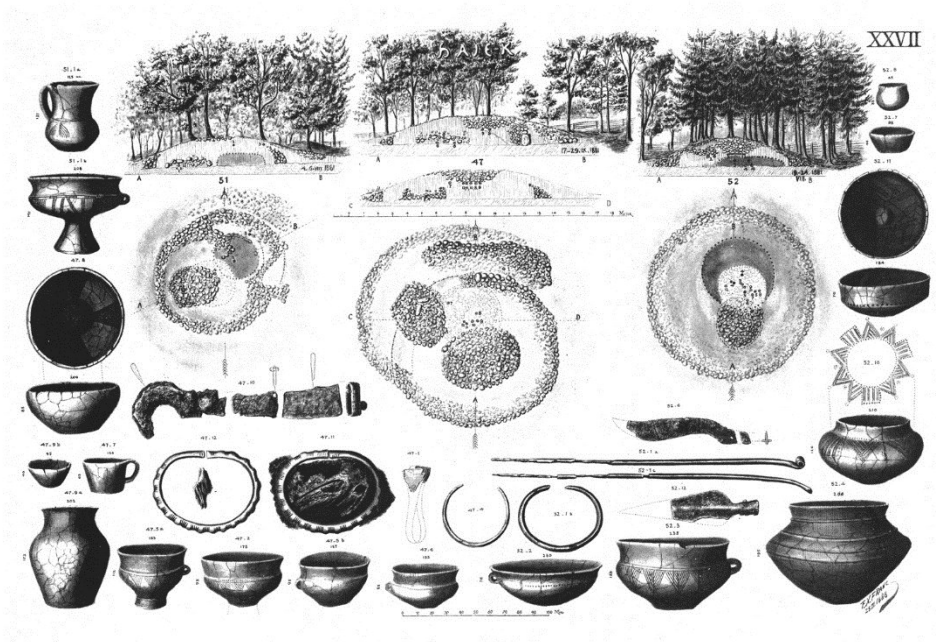


Obr. 2: Mapa Napoleonova tažení na Moskvu 1812-1813 od Charlese Minarda (Tufte 2006, 124)..

V oblasti informačních technologií je vizualizace metodou užívanou pro přetváření symbolů do geometrického rozměru, který umožňuje provádět další simulace a výpočty. Vizualizace je tak formou, která umožňuje spatřit neviditelné a nabízet nové, nečekané pohledy ve vědeckých procesech (McCormick et al., 1987). Pokud navíc operujeme s objekty, které jsou příliš složité, neuchopitelné nebo existují pouze v naší mysli, je mimořádně žádoucí vytvářet jejich vizuální modely, které slouží k lepšímu pochopení jejich konstrukce, organizace či proměn. Modelováním tak vznikají analogie k reáliím, které skutečnou vizuální podobu nemají, což se týká především vícerozměrných neexistujících struktur nebo v čase se proměňujících objektů (Nevěčilová 2004).

Asi lze prohlásit, že archeologie je ve své podstatě z větší části vizuální disciplína. Jednou ze základních charakteristik archeologických pramenů, je ta, že na nich můžeme primárně pozorovat pouze vlastnosti formální, jako je tvar, materiál, barva, povrch, výzdoba, rozměry a

prostorové vlastnosti (Neustupný 2002, 142; Spaulding 1960). A pro zprostředkování těchto informací a jejich interpretace je v archeologii jedním z hlavních sdělovacích nosičů právě obrazové vyjádření (viz obr. 3). Nedávné zavedení digitálních technologií navíc vneslo do archeologických vizualizací zcela novou dimenzi. Ty se díky tomu staly trojrozměrnými, multifunkčními, virtuálními a interaktivními. Technologický pokrok tak neovlivnil pouze způsoby jak získávat a zpracovat data, ale značně rozšířil možnosti hledisek jejich zkoumání, kdy jde především o možnost simulovat různé aspekty ve virtuálním prostředí a vizualizovat je.



Obr. 3: Příklad na svou dobu bezchybné vizualizace základních vlastností archeologických dat z mohylníku ve Štáhlavech od F. X. France (zdroj Wikimedia Commons).

Oblast virtuální archeologie je sice často prezentována jako rychle se rozvíjející směr, to se ale týká spíše nových digitálních dokumentačních technologií než celkového pokroku a nové přístupy v počítačových vizualizacích tak mají spíše tendenci hluboce ovlivňovat systém sběru a prezentace digitálních dat, než nastolovat a řešit širší teoretické otázky a východiska celého oboru. Současným stavem jsou tak nenaplněná očekávání v tom, jaký potenciál by vlastně měly trojrozměrné počítačové rekonstrukce a jejich vizualizace komunikovat a splňovat. Digitální rekonstrukční modelování a vizualizace ovšem mohou fungovat jako katalyzátor nejen interpretace, ale i způsobu vedení výzkumu, neboť při jejich tvorbě vzniká unikátní sada otázek, které by jinak nebyly explicitně patrné. Právě možnosti vytváření počítačových rekonstrukcí a renderování neomezeného počtu variant, v podstatě skic, různých situací, může fungovat jako velice dynamický nástroj integrovatelný přímo do procesu analýzy a interpretace

archeologických dat. A zásadním aspektem jsou i možnosti vizuální komunikace, které počítačová grafika poskytuje pro prezentaci a popularizaci oboru.

1.2 VÝZNAM VIZUALIZACÍ PŘI FORMOVÁNÍ ARCHEOLOGIE

*“A Verbal Description, however exact and particular it may be, can never give us such a clear Idea of some things, as the Image and Picture of those things themselves, drawn from life. . . No Narrative, however plain and full, can teach us what one Glance of the Eye will; Images copied from Monuments produce the same Effect almost, as being upon the very Spot.”*³

Bernard de Montfaucon⁴

Je s podivem, že oproti historikům umění, kteří mapují vliv ilustrací starých děl a předmětů v 17. a 18. století na vznik oboru dějiny umění, tak role ilustrací na utváření archeologie jako vědecké disciplíny, není moc brána v potaz (Fejfer et al., 2003). Ranné tradice zobrazování starožitností byly úzce spjaty s vývojem vědecké ilustrace přírodních věd, grafické zpracování sledovalo obdobné řešení a kresby starožitníků v 16. a pol. 17. století, kterými dokumentovali své sbírky, již definují archeologické artefakty dle jejich primárních charakteristik. Právě zvýrazňování předních atributů těchto artefaktů přesahovalo pouhý kresebný záznam a započalo s interpretací jejich významu, což ve své podstatě mohlo představovat zásadní krok při utváření samotné archeologie. Vytvoření vizuálního systému pro dokumentaci artefaktů se totiž stalo základem pro zavedení typologie a jejich přeměnou z pouhých starožitností klasických textů na objekty, které lze dále zkoumat a vznášet nové otázky ohledně jejich původu a účelu. Společně s organizováním muzejních sbírek, kde byly artefakty označeny a kategorizovány, tak jejich kresebná dokumentace při které byly definovány, organizovány a umístěovány do skupin, pomohla vzniku archeologie jako vědecké disciplíny založené na interpretaci hmotné kultury minulosti (Moser 2014, 59). Koneckonců hned v prvním zápisu londýnské Starožitnické společnosti v roce 1717, její předseda William Stukley konstatuje, že „bez kreseb, plánů a nákrešů by studium starožitností ale i jakákoliv jiná věda byla neúplná a nepřesvědčivá“ (Piggot 1978, 7).

³ Slovní popis, jakkoliv přesný a konkrétní, nám nikdy nemůže dát tak jasnou představu o věcech, jako obraz nebo ilustrace těchto věcí samotných, obnažených ve své skutečnosti... Žádné vyprávění, jakkoliv jasné a kompletní, nás nemůže naučit to co jeden rychlý pohled; obrazy zachycující památky vytvoří stejný efekt, jako bychom byli přímo na místě. (překlad autor)

⁴ Montfaucon 1721-22, 2

Je zřejmé, že ilustrace starožitností, ať už celých monumentů nebo drobných předmětů, se v průběhu staletí měnily v důsledku různých požadavků na přesnost kresby a určité byly ovlivněny tehdejšími společenskými konvencemi v umění a vědě. Vizualní podoba tak především záležela na stupni dosaženého porozumění a zkušenosti v pozorování autora ilustrace. Tento vývoj lze dobře demonstrovat na pokusech o kresebné zachycení jedné z nedůležitějších archeologických památek, britského Stonehenge (obr. 4), kde máme k dispozici jeho první ilustrace už ze 14. století. První ilustrace je v manuskriptu, kde je vyobrazení Stonehenge jako součásti legendy o Merlinovi a druhá ilustrace je v manuskriptu Corpus Christi College. U obou kreseb lze předpokládat, že byly zhotoveny pouze na základě slovního sdělení a jsou zcela poplatné tehdejšímu ikonickému stylu. V 16. století již můžeme vidět stylizovanou kresbu z nadhledu, aby mohly být zobrazeny i různé detaily, což může souviset s tehdejším rozvojem topografie. Na další kresbě z první edice Britannia je již Stonehenge zachycen v axonometrické projekci. A v 17. století je Stonehenge kreslen vždy z pohledu ze země v úrovni lidského oka, jako je plán Johna Aubreyho z r. 1666 nebo Davida Logana z konce století. Tyto proměny vize kresebného zachycení Stonehenge od 14. do 18. století dobře ilustruje vývoj různých přístupů v dokumentaci archeologických památek, který kulminoval během renesance. V této době se vyvinuly dva hlavní směry archeologické ilustrace, první, ve kterém se střetával vědecký a umělecký přístup, studoval minulost prostřednictvím architektury a umění a druhý přístup byl zaměřen na dokumentaci drobných starožitností (Piggot 1978, 10 - 13).



Obr. 4: Vývoj kresebné dokumentace na příkladu Stonehenge (Piggot 1978).

Starožitníci kresebně zaznamenávali objekty ze svých sbírek a další překreslovali ze starších rukopisů, čímž vznikaly obrazové kolekce, které se staly ústředním komunikačním nástrojem stále rostoucího počtu starožitnických spolků, jež se snažily pochopit rozsah archeologických nálezů v Evropě. Je zde tak zcela zřejmý význam, které tyto ilustrace představovaly pro odbornou interpretaci archeologických artefaktů. Z historie vědeckých ilustrací je navíc zřejmé, že když se zavádějí nové typy odborných obrazů, stanou se pevně zakořeněnými ve sdíleném paradigma, které je nedílnou součástí vědecké praxe a podvědomí (Lüthy – Smets 2009, 438 – 439). Tuto tezi proměny ilustrací artefaktů z pouhých nákresů kuriozit na nedocenitelný analytický nástroj, lze demonstrovat na pionýrských dílech 16. až 18. století od Cassiana dal Pozza, Filippa Bonaniho, Bernarda de Montfaucon nebo Comta de Caylus (Piggot 1978, 22).⁵

Zatímco renesanční umělci, jako např. Leonardo da Vinci vytvořili základy moderní vědecké ilustrace s detailním a technicky přesným vyobrazením rostlin, zvířat nebo lidského těla, konvence zaváděné v nových způsobech vědecké kresby byly navrženy s ohledem na umožnění systematického porovnávání souborů zobrazovaných objektů. Ilustrace se tak zjednodušovaly, byly vynechávány detaily nebo vlastnosti, které nebyly považovány za užitečné pro jejich klasifikaci a hlavní myšlenka vizuální prezentace požadovala spíše selektivní pohled a interpretaci primárních vlastností artefaktů. Je zde tak znatelný posun od vytváření realistických komplexních kreseb se zachycením všech fyzických detailů ke kresbě s výběrem klíčových rysů na úkor ostatních, která lépe sdělovala podstatu a obecné vlastnosti daného objektu (Smith 2004). Tyto nové konvence byly během 16. století zaváděny především díky přírodovědcům, kteří namísto naturalistických výkresů rostlin započali s idealizovaným zobrazením obsahujícím všechny části rostliny (kořeny, listy, květy, plody atd.) v jediném obrázku (obr. 4). Průkopníkem tohoto typu kresebných konvencí byl německý lékař Leonhart Fuchs (1501 – 1566), který prostřednictvím nové perspektivy vytvořil vizuální strategii s velmi přesným stanovením funkce obrázků a položil základy tradice vizuální vědecké prezentace, kterou lze shrnout jako „skutečná podstata – technická objektivita – kvalifikované posouzení“ (Daston – Galison 1992).⁶

Vývoj ilustrací starožitností v 17. století představuje nové metody pro studium minulosti a představuje fundamentální posun z literárních pramenů na vizuální zaznamenávání hmotné

⁵ Casiano dal Pozzo: „Paper Museum“ (pol. 16 st.), Filippo Bonnani: „Musaeum Kircherianum“ (1709), Bernard de Montfaucon: *L'Antiquité expliquée et représentée en figures* (1719 – 1724), Comte de Caylus: *Recueil d'antiquités égyptiennes, étrusques, grecques, romaines et gauloises* (1752 – 1757)

⁶ „truth to nature – mechanical objectivity – trained judgment“

kultury a nová generace starožitníků začala používat obrazovou dokumentaci ke svému odlišení od badatelů studujících nápisy a texty (Piggot 1978, 22). Výkresy archeologických artefaktů tak již nebyly pouhou ilustrací textů, ale začal být vnímán jejich potenciál vyprávět nové příběhy historie a staly se novým nezávislým zdrojem znalostí o minulosti. Stejně jako u přírodních věd, nebyla v počátečních fázích ilustrací zřejmá typologická schémata, ale do poloviny 17. století se již začala rýsovat metodika kreslení archeologických artefaktů (Moser 2014, 64).

První známky tohoto vývoje lze pozorovat v knize „Paper Museums“ od Cassiana del Pozza, který se roku 1602 usadil v Římě a byl nadšeným sběratelem starožitností, kterých získal přes 7000 a vytvořil velký vizuální archiv jak originálních, tak převzatých kreseb artefaktů. V těchto kompilacích je zřetelná snaha o standardizaci způsobů zobrazování historických předmětů umístěním kreseb podobných artefaktů do skupin na jednu stránku a hledání rozdílů v jejich tvaru a formě. Tyto skupinové ilustrace tak reprezentují nové významné pravidlo, kdy je klasifikační systém založen na vizuálním výrazivu.⁷ V 17. století je zřetelný i vývoj v dokumentaci nemovitých archeologických památek a tento progres je spojený především se jménem John Aubrey, který v kresbě kladl důraz na kombinaci stylů používaných v architektuře a přírodních vědách, pozorné sledování detailů a možnou provázanost s písemnými prameny (Piggot 1978, 38).

Vývoj kresebné dokumentace starožitností byl dále posunut v rámci publikací evropských muzejních sbírek, kde byly společně zobrazovány jak objekty lidské historie (artificialia), tak i historie přírody (naturalia) a které se staly hlavním katalyzátorem vědeckého studia minulosti (Findlen 1994). Důležitým příkladem tohoto typu je katalog sbírky jezuita Athanasiuse Kirchera a tento katalog nazvaný Musaeum Kircherianum, vydaný v roce 1709, obsahoval více než 100 celostránkových ilustrací, z nichž většina byly archeologické artefakty (Moser 2014, 76). Organizace kreseb je už automaticky skupinová a starožitnosti jsou rozděleny i do tříd dle specifických typů. Je zde navíc zřetelná standardizace způsobu zobrazování, kdy jsou předměty kresleny ze stejného úhlu pohledu, jsou jasně vykresleny pevnými liniemi a křížovým

⁷ Hlavní přínos spočíval především ve vytvoření klasifikačního systému obrazového archívu, který obsahoval více než 4200 ilustrací zahrnujících architektonické reliky, sochy, fresky, nápisy, keramiku, skleněné a kovové artefakty. Právě snaha o zajištění fungování archívu jako metodologického nástroje ho vedla k zavedení jednotného stylu zobrazování předmětů, které tak sdílely stejný vizuální jazyk. Navíc do té doby nebylo zvykem zaznamenávat starožitnosti v tak obrovském množství a do jejich kompilací zahrnovat i „obyčejné“ předměty (Moser 2014, 65 - 66).

šrafováním, jsou přehledně uspořádány v řadách a okamžitě tak v podstatě didakticky informují o typologických souvislostech (Findlen 2002).

V první polovině 18. století dochází k dalšímu vylepšení základních standardů zobrazování archeologických objektů. Hlavní iniciativu v tomto směru převzalo monumentální dílo *L'Antiquite* se svými 15ti svazky a 1120ti celostránkovými ilustracemi s rytinami starožitností od Bernarda de Montfaucon, vydaného v letech 1719 až 1724 (Montfaucon 1721 – 1722). Autor kladl důraz na reprodukci co největšího počtu artefaktů, cíleně žádné artefakty nevyřazoval a každý artefakt doprovodil informacemi o původu a detailním textovým popisem. Šíře záběru umožnila sledování kulturních změn materiálů v průběhu času a edice se stala nepostradatelným zdrojem informací a hlavní referenční prací evropských starožitníků. V textu jsou odkazy na jednotlivé ilustrace, což představuje výrazný posun v chápání ilustrací, které se nyní stávají stěžejní součástí procesu pozorování i záznamu. V grafickém zpracování je kladen důraz na srozumitelnost a kvalitu a kresby tak působí formálněji a standardizovaněji než předchozí díla. (Moser 2014, 82 - 87).

O necelých 30 let později bylo publikováno další zásadní dílo mající vliv na formování archeologie, *Recueil d'Antiquite's E'gyptiennes, E'trusques, Grecques, Romaines et Gauloises* (1752–1757) od francouzského starožitníka Anne Claude Philippe, comte de Caylus (Effros 2011, 139 – 140). Celkem 7 svazků obsahovalo stovky detailních celostránkových ilustrací artefaktů a bylo široce distribuováno mezi evropskými učenými. Je zde evidentní rozvoj didaktického potenciálu pro zobrazování, kdy zde jsou prezentovány nejen drobné nálezy, ale i nekompletní části či úlomky artefaktů a zahrnuty jsou pouze předměty, které Caylus osobně prozkoumal. Došlo k řadě invencí a výkresy obsahují alternativní řezy objekty, aby byl znatelný celkový tvar, vnitřek a tloušťka stěn, objevují se profily stěn u keramických nádob, náhledy z horního pohledu, rekonstrukce chybějících částí, vícenásobné pohledy na artefakt z různých úhlů a nechybí ani měřítko (viz obr. 5, Moser 2014, 90 - 91).

Zavedení pravidel pro vizuální zachycení historických předmětů během 17. a 18. století se stalo klíčovým bodem pro komunikaci mezi tehdejšími učenými společnostmi a umožnily jim použít analytických srovnávacích metod pro velké kolekce starožitností zakládáné po celé Evropě. Nové konvence představily celou řadu vizuálních pomůcek, které instruovaly diváka, jak číst obsah obrázku a chápat zprostředkovaná data. Díky vytvoření vizuálního jazyka tak bylo možné poprvé komplexně zkoumat, jak se mění keramické formy a dekorace, jaký byl při výrobě artefaktů použitý materiál a technika a jak konkrétní třídy různých skupin objektů souvisí

nástrojem majícím za účel nejenom prezentovat, ale pomáhat s určením délek, šířek a tloušťek, s identifikací nezbytných prvků k realizaci celé struktury a s nalezením zdrojů pro financování stavby. V 16. století se fyzické modely celých měst používaly jako vizualizační nástroj pomáhající naplánovat obranu nebo útok na opevnění (viz obr. 6; Halin et al., 2015). Modelování, ať už digitální nebo fyzické, umožňuje totiž vytvořené modely dynamicky prozkoumávat a manipulovat s nimi v reálném čase způsobem, který dokáže odhalovat i ne zcela zjevné skutečnosti a získávat nová data. Je zřejmé, že s příchodem digitální revoluce v polovině 20. století, tak začala archeologie hledat možnosti, jak s trojrozměrnými daty pracovat i ve virtuálním prostředí.



Obr. 6: Model Le Château-d'Oléron od Vaubana z roku 1703 (zdroj Wikimedia Commons).

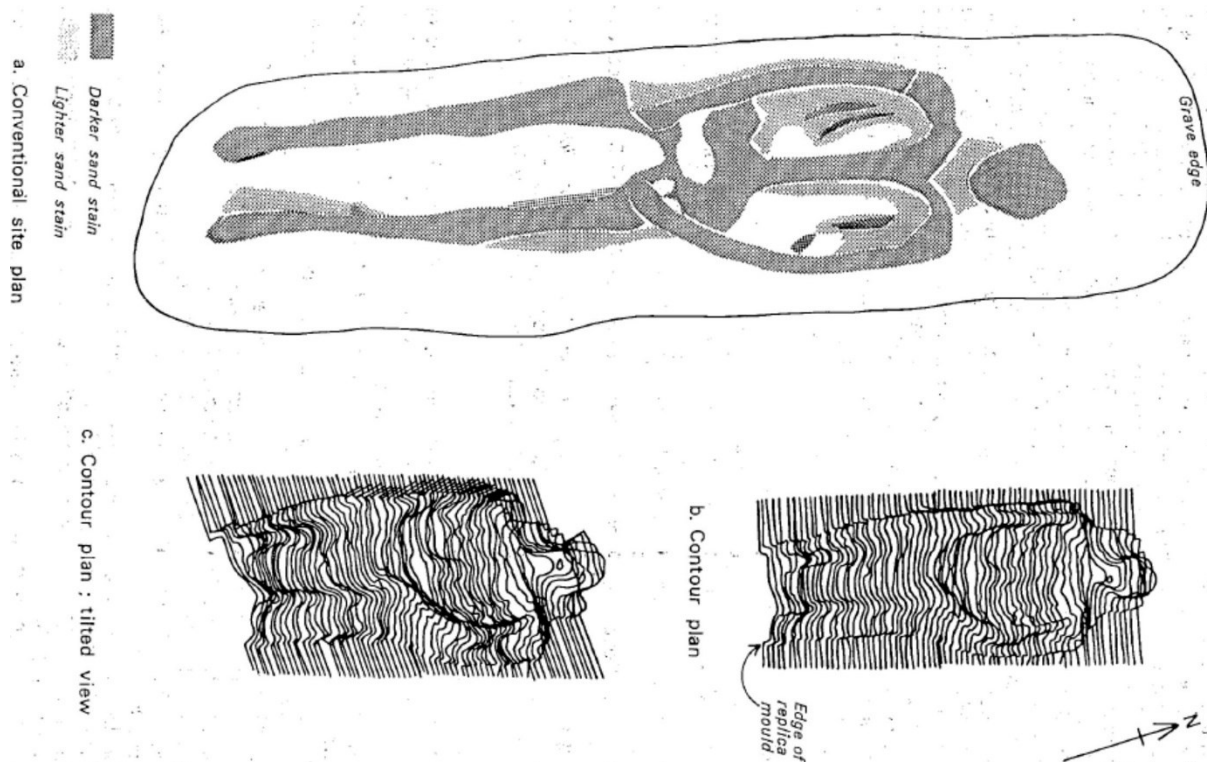
Počítače, jako základní element moderních informačních technologií se objevují v polovině 20. století a jejich vliv na moderní archeologii může být přirovnán k vlivu, jaký měl na formování vědy vynález knihtisku (Reilly – Rahtz 1992, 1). Od 60. let 20. století, kdy v archeologii začala probíhat diskuse o teoretickém rámci celé disciplíny, se na pozadí této debaty začíná projevovat první vzestup digitálních technologií. Potenciál počítačů je nahlížen jako aktivní prostředek pro myšlení a symbiotický vztah mezi vývojem digitálních technologií a archeologické teorie, které obě zahrnují trend směrem ke konceptu vzrůstajícího kontextualismu, komplexnosti a prostředí velkých dat (Lock 2003, 1).

Pravděpodobně první zpracování digitálních dat provedl Peter Ihm a Jean-Claude Gardin v letech 1958/1959 a od té doby využívání počítačů v archeologii stále vzrůstá, především od příchodu osobních počítačů v 80. letech (Hugget 2012, 91). Na první konferenci CAA (Computer Applications and Quantitative Methods in Archaeology) v roce 1973 J. D. Wilcock předpověděl 4 hlavní okruhy pro práci s počítači – databanky a vyhledávání informací,

statistické analýzy, dokumentace terénních výzkumů a vytváření grafů; jako pátou možnou kategorií pak zmínil počítačovou rekonstrukci památek (Wilcock 1973, 18, 20). V následujících 12ti letech se většina prezentovaných příspěvků na CAA již zabývala tématy z prvních třech okruhů a v roce 1985 zde byl znatelný posun od multivariačních statistických zpracování dat k digitálním systémům sběru dat v terénu a databázových struktur (Webb 1985, iii). V tomto roce zazněl první zásadní příspěvek na uvedení trojrozměrného prostoru do archeologie, který pojednával o aplikaci digitálních panoramatických fotografií při dokumentaci terénních výzkumů (Biek 1985). Počítačové 3D manuální modelování pak bylo do archeologie uvedeno o 4 roky později (viz obr. 7; Arnold – Huggett – Reilly – Springham 1989). Od začátku 90. let se začíná etablovat 3D počítačová grafika (Baribeau – Godin – Cournoyer – Rioux 1996) a v roce 1997 už existuje několik desítek počítačových rekonstrukcí archeologických lokalit po celém světě (Forte – Siliotti 1997).

Tato desetiletí stále složitějšího využívání potenciálu IT, by se dala charakterizovat tak, že šedesátá léta byl věk prozkoumávání možností využití výpočetní techniky pro archeologii, sedmdesátá léta jako věk zavádění těchto technik, osmdesátá léta jako věk jejich zužitkování a v devadesátých letech se pak výzkum konečně přesouvá k nově etablovaným novým technologiím počítačové grafiky, umělé inteligence a digitálním dokumentačním technikám (Reilly – Rahtz 1992, 2). První počítačové trojrozměrné modely plnily především účel ilustrací a doprovodné texty pojednávaly o metodách a technologii jejich vytváření. C. Renfrew definoval účel virtuální archeologie jako využití výpočetního potenciálu počítačů pro znovu vytváření a vizualizování toho, co archeologové vykopali (Forte – Silotti 1997, 7). Téměř všechny počítačové modely v již zmíněném prvním shrnutí virtuální archeologie (Virtual Archaeology: Re-creating Ancient Worlds, Forte – Silotti 1997) byly ovšem vytvořeny profesionálními soukromými společnostmi, která na ně držela veškerá práva. Změna nastala až na konci 90. let především v souvislosti s poklesem nákladů a dostupnějšími softwarovými nástroji, kdy mnoho archeologů zahájilo své vlastní projekty 3D počítačových vizualizací, většina byla prezentována v roce 1998 na CAA v Barceloně (Frischer 2008, vii).

Od konce 90. let byla pozornost upřena nejen na pouhé vytváření 3D počítačových modelů, ale i na vývoj a budování postupů a je zde zřetelná snaha, aby počítačové modely poskytovaly dostatečné vědecké informace, vznikl jasný vizuální jazyk, který divákům umožní jednoduše rozeznat mezi ověřenými a hypotetickými částmi počítačových rekonstrukcí a důraz je kladen i na tvorbu standardů metadat počítačových modelů (Frischer - Stinson 2007).



Obr. 7: Uvedení třetího rozměru do archeologie - model ze Sutton Hoo (Reilly et al. 1988, 27).

Z archeologického úhlu pohledu technologie tvorby 3D modelů byla úplnou novinkou na konci 70. let a první poloviny 80. let, kdy se objevují první 3D rekonstrukce, které ovšem v té době vyžadovaly počítače v hodnotě desítek milionů korun a prvním archeologem, který publikoval své úvahy na toto téma byl Leo Biek (1974, 1976, 1978). Už v té době referoval o možnosti vyvinutí plně integrovaného, interaktivního a vizuálního systému, který by byl využíván pro dokumentaci a analýzu archeologických dat a pokrýval témata, jako je fotogrammetrie, animace nebo vizuální výukové systémy a jeho inovativní myšlenky se zabývaly dokonce i možností holografie (Biek 1978, 53). A o něco později už prezentoval skutečné příklady 3D vizualizací v archeologii. V roce 1982 byly prezentovány trojrozměrné digitální modely keramických zlomků (Angell – Main 1983). Ale opravdové 3D počítačové modelování začalo až v polovině 80. let, kdy projekty jako digitální rekonstrukce římského chrámu (Roman temple of Bath – Reilly 1991), získaly masivní mediální ohlas. Na základě těchto úspěchů Paul Reilly (1991) uvedl do oboru novou formu, kterou nazval jako „virtuální archeologie“.

Hned od počátku byla virtuální archeologie brána jako směr, který do archeologie vnese nové přelomové poznatky. Na začátku 21. století ovšem slyšíme náрек Mauria Forte, jednoho z předních archeologů zabývajících se virtuální archeologií, že „bilance 20 let aplikování třetího

rozměru jako výzkumného nástroje je poměrně depresivní“ (Forte 2008), který navíc vyšel ve sborníku věnovaném možnostem, jak se dostat z pouhé ilustrace a který se snažil shromáždit průkopnické snahy v této oblasti (Frischer - Dakouri 2008). A v roce 2014 můžeme stále slyšet, že virtuální archeologie nevedla k žádné revoluci, jak se všeobecně očekávalo (Forte 2014, 115). 3D vizualizace v archeologii jsou tak spíše brány jako oblíbené téma konferencí než jako standartní nástroj a většina prací o virtuální archeologii má stále potřebu obhajovat výhody 3D vizualizací pro obor (Hermon – Fabian 2002; Earl – Wheatley 2001).

Už v roce 1995 upozorňoval Paul Miller a Julian Richards ve svém přímočaře nazvaném příspěvku “The good, the bad and the downright misleading: archaeological adoption of computer visualization”, že katalyzátorem vytváření trojrozměrných počítačových vizualizací v archeologii nebylo hledání nových technik pro objevování nových znalostí, ale spíše zlepšování způsobů prezentace stávajících znalostí veřejnosti (Miller – Richards 1995, 19). Podle nich se z vytvářených modelů nebylo možné naučit nic nového, ale navíc už tehdy cítili, že high-tech počítačové modely jsou vysoce zavádějící, neboť jsou širokou veřejností vnímány jako směřodonné. Přesnost modelů naznačuje větší jistotu, než jakou lze objektivně dosáhnout a v praxi modely zobrazují pouze jednu korektní verzi místo několika možných interpretací. Tato kritika zazněla už v roce 1991, kdy Reilly (1991) varoval, aby se počítačové vizualizace nestaly jen „hezkými fotografiemi“. Tento strach delegující 3D vizualizace na pouhé umělecké obrázky stále přetrvává (Sims 1997; Barceló 2001; Sanders 2014). Barceló proto zdůrazňuje, že virtuální model by nikdy neměl být koncipován jako konečný produkt a považován za autentickou verzi minulosti.

Toto rozčarování z vývoje virtuální archeologie může spočívat v neexistenci rovnováhy mezi aplikací 3D modelování k zodpovězení vědeckých otázek a jeho využitím pro atraktivní prezentaci archeologických rekonstrukcí veřejnosti. V analýze použití virtuální archeologie od Pujol-Tost (2008) tato nerovnováha vyznívá ještě jasněji a autorka navrhuje typologii čtyř rozdílných přístupů:

1. tradiční přístup, kdy je počítačová vizualizace použita jako názorná a popisná ilustrace.
2. přístup vycházející z kombinace romantického vnímání archeologie a ekonomického využití, který je používán pro zážitková rozhraní prezentace významných památek.

3. empirický přístup, který považuje virtuální archeologii za experimentální nástroj pro analýzu a ověření údajů a hypotéz.
4. postmoderní přístup, který bere virtuální archeologii jako sémantický a symbolický zdroj určený k rozvinutí strukturovaného narativu.

Dle autorky se většina aplikací opírá o přístup 1 a 2, zatímco 3 a 4 nejsou v podstatě zastoupeny vůbec a právě z tohoto důvodu je u většiny pokusů o vědecké využití 3D počítačových modelů věnována část práce obhajobě použité metody, aby nedošlo k zaměnění se „šarlatánskými tvůrci hezkých obrazů“ (Pujol-Tost 2008, 106).

Je zřejmé, že implementace virtuální archeologie do širší archeologické praxe a teoretických diskurzů se vyvíjela pomaleji, než bylo očekáváno. Další z průkopníků virtuální archeologie Donald Sanders (2014, 41) to připisuje obecnému konzervatismu při zavádění nových technologií, což ilustruje opožděným přijetím fotografie v archeologické dokumentaci koncem 19. století, kdy se skeptici domnívali, že nemůže být použita pro objektivní vědeckou dokumentaci. Jean-Claude Golvin (2012) tento jev generalizuje ještě více a spojuje nedostatek nedůvěry ve vizuální vědeckou komunikaci k ikonofobii, která postihuje velkou část vědecké komunity upřednostňující psaný text.

2. SPECIFIKA POČÍTAČOVÝCH REKONSTRUKČNÍCH VIZUALIZACÍ V ARCHEOLOGII

2.1 Obecné principy a zobrazování nejistoty dat

"Solum certum nihil esse certi et homine nihil miserius aut superbius"⁹

Plinius¹⁰

Archeologické prameny určitě nejsou jednoduchým odrazem lidské minulosti, neboť informace, které o minulých kulturách podávají, jsou velice silně zkreslené jak po stránce kvalitativní, tak i kvantitativní (Neustupný 1986, 528). Archeologické artefakty jsou mrtvé předměty, které nelze pozorovat v jejich původním pohybu a kauzálních souvislostech, neboť oddělením od svého dynamického činitele ztratily svůj účel a navíc jsou velice silně redukováné a dezintegrováné (Neustupný 2007, 14). V důsledku zánikové transformace tak u archeologických pramenů došlo k nárůstu entropie a obrovské ztrátě informací (Neustupný 1986, 529). Pro překonání této transformace je modelování nezbytným východiskem (Neustupný 1986, 530), jak se pokusit mrtvé prameny oživit. Archeologické prameny jsou tak ze své podstaty vždy neúplné, což velice komplikuje snahu o jejich interpretaci a samozřejmě tím pádem i o rekonstrukci a vizualizaci. V souvislosti s tvorbou trojrozměrných počítačových rekonstrukcí archeologických situací, je tak potřeba vzít v potaz termín tzv. „nejistoty v datech“ a možnosti zobrazení této nejistoty ve vizualizacích.

Existuje obecná shoda, že jakákoliv forma nejistoty, ovlivňuje rozhodnutí, která učiníme. Věda proto vždy vyžaduje formální vyjádření správnosti a přesnosti použitých dat, aby bylo možné pochopit a komunikovat důvěryhodnost výsledků. Pokud je objektivně známa nepřesnost, může být vyjádřena jako chyba, pokud ovšem nepřesnost zcela známa není, lze použít termín nejistota, který tím pádem pokrývá širokou škálu pochybností nebo nesrovnalostí (MacEachren a kol. 2005, 140). Neurčitost informací obecně ovlivňuje proces analýzy a interpretace a vede k zaujatosti vůči počátečním možným řešením, k podceňování negativních důkazů a nadhodnocování minulých pozitivních výsledků (MacEachren a kol. 2005, 140).

⁹ Jen jedno je jisté a to, že nic není jisté a že nic není více deprimujícího a namyšleného, než je člověk. (překlad autor).

¹⁰ Hist. Nat. II, 7, viz Montaigne – Hazlitt 1923, 286

Pro vyjádření formy nevědomosti v určitém tvrzení nebo hypotéze, je užitečné kategorii nevědomosti a přidružené nejistoty nějak uchopit; bohužel jasná definice neexistuje. Bonissone a Tong (1985) definují tři obecné kategorie vyjádření nevědomosti:

1. neúplnost, kdy chybí hodnoty jednotlivých proměnných,
2. nepřesnost, kdy je hodnota proměnné známa, ale nemá požadovanou přesnost,
3. nejistota, odkazující na situace, kdy si divák může utvořit subjektivní dojem.

Klir a Yuan (1995) vztahuje nejistotu k nedostatku informací a identifikuje tři základní typy nejistoty:

1. nespecifičnost, kdy existují různé možnosti a jsou přítomny nepřesné údaje,
2. neurčitost, kdy jsou údaje nejasné a neohrazené,
3. disharmonie, kdy existuje konflikt mezi výběrem možných alternativ, a data mohou být v rozporu.

Téměř všechna reálná data mají nějaký stupeň přidružené nejistoty a prezentovat bez ní může naznačovat cosi skrytého a divák je tak ponechám v nejistotě. Bez informací o nejistotě, budou prezentovaným datům vždy chybět charakteristické aspekty, které popisují, jak byla získána, zpracována a transformována. A právě tyto vlastnosti jsou zásadní pro posouzení platnosti dat před jejich akceptováním a začleněním do lidského vědomí. Vizualizace mají potenciál zobrazovat jak data s jejich charakteristickými atributy, a měly by ovšem zobrazovat i stupeň jejich nejistoty (Zuk 2008, 2 – 3).

Faktor nejistoty vystupuje v komunikaci mezi divákem a tvůrcem na obou stranách do obecných procesů kódování a dekodování informací vložených do vizualizace při její tvorbě a jejím chápání. Jako názorný příklad lze uvést literární překlad, který se snaží zachovat podobu obrazů evokovaných textem, různé narážky, slovní hříčky, rytmus a samozřejmě význam, tak jak je chápe překladatel, což ovšem neznamená, že by výsledný dojem působil stejně, pokud by si byl čtenář schopen přečíst ten samý text v originále (Zuk 2008, 3 – 4).

Techniky vizualizace nejistoty v informacích zahrnují velice široký rozsah různých přístupů, jak divákovi pomoci interpretovat zobrazovaná data. Systematická klasifikace technik vizualizace nejistoty (Pang et al. 1997) zahrnuje přidání piktogramů, upravení geometrie, atributů, animace a zvuku a navrhuje použití různých vizuálních podnětů podle toho, jestli jde

o data numerická, vektorová nebo kategorická. Metody, které lze aplikovat na trojrozměrné počítačové modely (Griethe – Schumann 2006) jsou:

- Volné grafické proměnné – ovlivňují odstín, texturu, osvětlení, ostrost, průhlednost a lze použít sekvence barev,
- Side by side – porovnává vedle sebe dvě nebo více vizualizací,
- Animace – umožňuje dynamické znázorňování a identifikaci změn,
- Integrace objektů – přidání dalších objektů jako jsou piktogramy, grafy, tabulky nebo text.

Výzkum v oblasti vizualizace nejistoty byl oproti informační grafice pouze sporadický a příležitostný, navíc se obvykle zabýval nejistotou u ostrých měřitelných dat. Mnohem méně je tak rozvinut přístup k vizualizaci nejistoty spojené s rozhodováním, myšlenkovým procesem a subjektivními dojmy (Zuk – Carpendale 2007). Nicméně existuje zřetelný vývoj vytváření formálních vizualizačních rámců a vyhodnocování chápání vizualizací obsahující nejistotu různými uživateli (Johnson – Sanderson 2003).

Ačkoliv je nejistota většinou spojena s negativními konotacemi způsobenými strachem z neznámého, může mít i svoji pozitivní stránku a v rámci tvůrčích procesů může být dokonce velice prospěšná. I když vývoj v oblasti počítačové grafiky směřuje k co největší realističnosti, stále větší pozornost je především v oblasti odborných vizualizací věnována technikám bez fotorealismu.¹¹ Bylo potvrzeno, že hrubé skeče architektonických návrhů vyvolávají větší diskuzi a aktivní účast diváka než realistický obrázek nebo tradiční CADovské prezentace (Strothotte – Schlechtweg 2002). Přiznaná dvojznačnost nebo nejistota v detailech, otevírá dveře k alternativním interpretacím a nápadům. Z těchto důvodů může být nejistota hnacím motorem kreativity, která vyžaduje odvahu zřici se jistoty.¹²

Vizualizování nejistoty zaměřené na temporální a prostorové informace, chybějící data a systematické rozhodování, je interdisciplinární problém (MacEharen et al. 2012). Historicky první komunita, která si uvědomila důležitost vizualizace nejistoty, byla geografie, která se již dlouhou dobu musela zabývat limitací nedostatečných dat a jejich zobrazení v mapách. Na

¹¹ Tzv. NPR – “non-photo realistic”. NPR zahrnuje celou řadu alternativních cílů jako je podpoření vědecké zvědavosti, lepší komunikace specifických informací, lepší porozumění celému mechanismu přenosu zobrazovaných informací a pro některé okruhy diváků její větší přijatelnost vzhledem k podobnosti s ruční grafikou (Strothotte – Schlechtweg 2002).

¹² “Creativity requires the courage to let go of certainties.” Erich Fromm
(<https://www.azquotes.com/quote/103376>)

základě výzkumu MacEachren (MacEachren a kol. 2005, 155 – 157) identifikoval sedm hlavních úkolů zpřístupnění nejistoty dat v geografických datech, které vyžadují interdisciplinární spolupráci:

1. Porozumění jednotlivým komponentám nejistoty a jejich vztahu k oblasti zájmu, uživatelům a informačním potřebám. Velmi málo známe rozsah konceptu nejistoty mezi jednotlivými obory a oblastmi praxe, systémem analýzy dat a rozhodování a mezi jednotlivci a většina známých prací je zaměřena na konkrétní problematiku nejistoty, jako je např. nejistota v prostorových datech nebo časové specifikace, ale málo pozornosti bylo věnováno abstraktním formám nejistoty, jako je otázka úplnosti a konzistence.

2. Porozumění tomu jak znalost nejistoty ovlivňuje analýzu, rozhodování a výsledky. Navzdory značnému úsilí věnovanému formám vizualizace nejistoty, bylo málo pozornosti věnováno jejich dopadu na práci s informacemi. Bylo by tak záhodno porovnat obecný rozhodovací proces a specifický rozhodovací proces se zahrnutou nejistotou, pro vytvoření formálních a testovatelných modelů role vizuálního externího zobrazení při rozhodovacích procesech.

3. Pochopení jak, či zdali vůbec, vizualizace nejistoty pomáhá výzkumné analýze. Vizualizace je obvykle používána pro analýzu, která neposkytuje jednoduchou odpověď, ale spíše poskytuje divákovi možnost uceleného pohledu do daných dat. Základní otázkou je, jak zobrazení a jejich vzájemná komunikace s nejistotou může divákovi pomoci najít a vyhodnotit toto nahlédnutí do daných dat. Je tak otázkou, jak přítomnost nejistoty ovlivňuje proces zkoumání dat a zda jsou pak výsledky výzkumu jiné nebo lepší, když jsou data nejistoty explicitně vizualizována.

4. Vypracování metody pro zachycení nejistoty u jedinců analyzujících data a tvořících rozhodnutí. Pokud je nejistota spojena např. s parametry měření, tak se dá vyjádřit numericky, pokud je ale nejistota spojena s lidským úsudkem, je stěžejním zachycení a zakódování rozhodování do zpracování informací.

5. Vypracování metod vizualizace pro zobrazování různých druhů nejistoty. Ačkoliv většina prací zabývající se vizualizací nejistoty kladla důraz na její zobrazování, komplexní manuál jak vizualizovat nejistotu, stále neexistuje.

6. Vývoj metodologie a nástrojů pro interaktivní zobrazení nejistoty. V důsledku rostoucí pozornosti interaktivitě jako základní komponentě vizuálního prostředí, limitovaná pozornost se ve výzkumu vizualizace nejistoty upírá na přímé manipulační rozhraní jako možnost dynamických dotazů, propojení komponent nebo možnosti uživatelské kontroly nad

zobrazováním nejistoty. Jedná se o důležitý obecný problém, protože chybí koncepční rámec pro pochopení interaktivních prezentací.

7. Posouzení použitelnosti a užitečnosti metod zachycení a prezentace nejistoty. Nové empirické metody jsou potřeba ke zvážení role vizuální prezentace jako vstupní strategie pro řešení špatně strukturovaných problémů.

Kromě výše zmíněného rámce pro posouzení nejistoty a kvality dat v geografických systémech, je k dispozici řada dalších teorií a rámců pro analýzu nejistoty a způsoby její vizualizace. Ve výzkumu vizualizace nejistoty představil Alex Pang (Pang a kol. 1996) celou skupinu metod, které zahrnují techniky jako je přidání piktografů, geometrických prvků, změnu atributů, animaci, převádění dat do zvukových signálů nebo užití vizuální percepce založené na psychologických faktorech. Torre Zuk a Sheelagh Carpendale (2006) se zaměřili na kognitivní analýzu a teorii vnímání a pro nastíněné perspektivy vizualizace nejistoty využili především práce „Semiology of graphics“ od Jacquesa Bertina (1983), „The Visual Display of Quantitative Information“ od Edwarda Tufte (2001) a „Information Visualization: Perception for Design“ od Colina Ware (2004):

Jacques Bertin (1983) v grafickém systému zaměřeném na kartografii uvádí osm vizuálních proměnných, které lze použít k zobrazování míry nejistoty a které jsou tvořeny rozměry x , y , které tvoří plochu a na této rovině může být umístěn viditelný bod, který obsahuje zbylých šest proměnných – velikost, intenzitu, texturu, barvu, orientaci a tvar. Každá z těchto proměnných je kategorizována na základě asociace, kvalitativního rozdílu, selekce, uspořádání a proporcionalitě, což tvoří celkem 63 kombinací, které lze použít při sestavování znaků. Tyto proměnné mohou být užity pro vyjádření kvantitativních i kvalitativních charakteristik, přičemž zároveň zastupují také funkci estetickou (Bertin 1983, Zuk – Carpendal 2006) a lze je považovat za základ pro pokrytí práce především s 2D vizualizacemi, ale i když jsou 3D vizualizace rozšířeny o hloubku a případně i čas, lze nastíněné rámce aplikovat i pro ně.

Edward Tufte (2001) zavedl základní principy grafické integrity, které lze shrnout jako koncept grafické excelence, která divákovi zprostředkuje co největší počet informací, v co nejkratším čase, s použitím co nejméně inkoustu, na co nejmenším prostoru. K dosažení grafické čistoty, přesnosti a efektivitě, specifikoval pokyny jak se vyhnout se zkreslení zobrazených dat, povzbudit diváka k porovnávání dat, představit velký objem dat na malém prostoru, odhalit více úrovní detailu v datech a úzce integrovat statistické a textové popisy. Je tak nezbytné dodržet několik základních principů:

- grafická prezentace číselných údajů by měla přímo proporčně úměrná zobrazovaným údajům;
- srozumitelný a detailní text by měl být použitý, kdykoliv je nutné předejít nejednoznačnosti;
- ukázat variaci dat a ne variaci designu;
- počet rozměrů použitých pro čtení dat nesmí překročit počet prezentovaných dimenzí dat;
- neukazovat data vytržená z kontextu.

Další zásadou je „data-ink maximalization“, princip, který nutí tvůrce vizualizace prezentovat co největší počet dat s co nejmenší spotřebou inkoustu. Za datový inkoust jsou považovány grafické elementy, jejichž odstranění by vedlo k narušení integrity zobrazovaných dat a všechny grafické elementy, které nereprezentují žádná data, by tak měly být odstraněny (Tufte 2007, Zuk – Carpendal 2006).

Colin Ware (2004) vytvořil oproti prakticky zakotveným teoriím Bertina a Tufteho principy vizualizace informací na základě psychologie, zaměřené na vizuální vnímání a porozumění. Jeho výzkum vyzdvihuje čtyři hlavní okruhy:

- Předběžné zpracování - přidání dalších vizuálních proměnných k Bertinovým selektivním kategoriím jako je prostorové seskupení, přidání znaků a další;
- Gestalt Laws – název pochází z německé Gestaltovy školy psychologie, ze které vzešel soubor základních zákonitostí, které popisují jak vlastnosti jako je similarita, kontinuita, symetrie nebo relativní velikost, mají vliv na vzory vnímání, a jak mohou být použity jako designové principy při tvorbě vizualizací;
- Slova a obrazy – text je nadřazen obrazu při zprostředkování abstraktních myšlenek, logiky a podmíněné informace;
- Myšlení vizualizací – výzkum zabývající se dalšími aspekty vizualizací jako je obrazová či dlouhodobá paměť, modely pohybu očí a kognitivní struktura dat (Ware 2004, Zuk – Carpendal 2006).

Hned zpočátku debaty o principech vizualizace nejistoty ve vědeckých datech, byly navrženy metody zahrnující překrývání a porovnávání dat využitím jak 3D, tak i 2D vizualizace (např. vložení grafu), použití piktogramů ve formě fyzického modelu, modifikace vizuálních atributů dat (jako např. iluze nerovnosti povrchu texturováním), vylepšení psycho-vizuálních metafor (např. zvýraznění určitých částí), lepší využití vysvětlivek a interaktivních informací, zlepšení

vizuální reprezentace a interakce statistických dat a používání metod informační grafiky aplikované na 3D vizualizace vědeckých dat (Johnson – Sanderson 2003, 5).

Výše uvedené principy jsou relevantní pro všechny typy vizualizace nejistoty dat, ale je důležité si uvědomit, že nejsou plně aplikovatelné v rámci různých vědeckých disciplín. Trojrozměrné virtuální rekonstrukce archeologických situací, které se v souvislosti s digitální revolucí objevily během posledních desetiletí, v podstatě hned ve svém názvu vyjadřují, že se jedná jen o pravděpodobnou rekonstrukci minulosti. Už z povahy archeologických pramenů je zřejmé, že v těchto digitálních modelech je přiznání nejistoty v datech rozhodující a proto by mělo být odpovídajícím způsobem vizualizováno. Archeologická komunita si této problematice byla vědoma hned od 90. let a od té doby bylo prezentováno mnoho různých metod vizuálního znázornění nejistoty v digitálních modelech.

2.2 VÝVOJ ZOBRAZOVÁNÍ NEJISTOTY DAT V ARCHEOLOGICKÝCH DIGITÁLNÍCH REKONSTRUKCÍCH

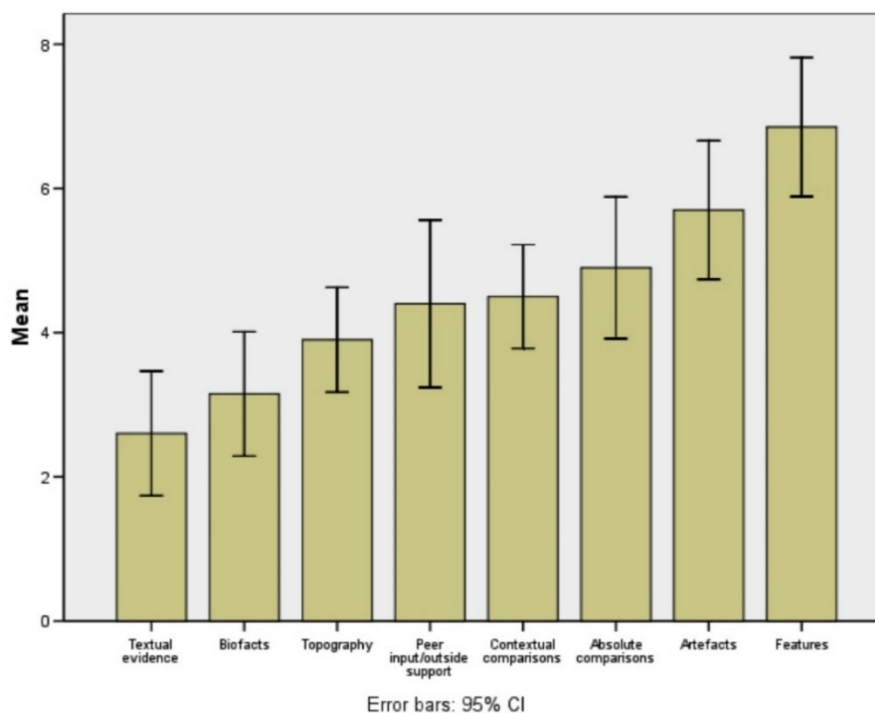
V archeologii není možné vyloučit nejistotu v datech, která je vždy v určité míře přítomna a v případě rekonstrukčních modelů může připadat v úvahu většinou hned několik hypotéz (Eitelhorg 2000, Kantner 2000, 47). Nejistota je způsobena různými druhy dostupných dat a různými způsoby, jak je interpretovat (Reilly 1992, 158) a mnohé předpoklady vycházejí pouze z individuálních názorů. Pokud je ovšem k dispozici solidní základ důvěryhodných dat, které umožňují celý proces sledovat zpět, není problematika nejistoty nepřekonatelná (Apollonio 2016, 174, 178). Samotnou interpretaci lze navíc rozdělit do skupin, které jsou identifikovatelné na základě rozdílných vizualizačních metod (Bruschke – Wacker 2016, 263). Nedostatek dat způsobený povahou archeologických pramenů samozřejmě drasticky zvyšuje stupeň nejistoty, i při jejich nahrazování analogiemi (McCurdy 2012; Reilly 1992, 159; Sifniotis a kol. 2006, 1).

Hlavní faktory kontextové i prostorové nejistoty tak mohou být zapříčiněny druhem dostupných dat, jejich úplností, spolehlivostí a interpretací, přičemž ve vizualizacích se hlavní problémy týkají geometrie a umístění, stáří, barvy, textury, materiálu, konstrukce, kontextu a krajiny (Brusaporci 2017, 142). V rekonstrukčním modelu jsou tak nejistotou ovlivněny tři oblasti, „tvar (geometrie, velikost, prostorové umístění), materiál (fyzická forma, stratifikace budov) a vzhled (povrchové znaky)“ (Apollonio 2016, 177).

První diskuze o metodologii rekonstrukce počítačových rekonstrukcí archeologických situací začaly hned po zavedení počítačového modelování (Miller – Richards 1995, 19) a stále běžící diskuze se tak točí kolem transparentnosti modelů a vizualizace nejistoty dat (Hermon a kol. 2006, 13). Bylo realizováno mnoho různých přístupů a výzkumů této problematiky, což vyústilo především ve vydání mezinárodních standardů „London Charter“ a „Principles of Seville“ (viz následující text). Byly vytvořeny pozitivní příklady využívající potenciál rekonstrukcí (Havemann a kol. 2014, 67), ale mnohá z navržených řešení se ukázala jako metody nevhodné pro praxi a tuto různorodost lze nejlépe demonstrovat historií vývoje této problematiky.

Vědecká transparentnost a nejistota dat archeologických rekonstrukcí byla řešena už pro fyzické modely a byly vydány pokyny “The Venice Charter 1964: The International Charter for the conservation and restoration of monuments and sites” a “The Charter of Krakow 2000: Principles for conservation and restoration of built heritage”. Digitální modely oproti těm fyzickým mají samozřejmě výhodu ve vynaložení menšího úsilí pomocí specializovaného softwaru, příchod nových technologií ovšem nepřinesl jen výhody, ale také mnoho otázek a konfliktů. V rozvíjející se debatě o transparentnosti počítačových modelů, zaujímali zúčastnění aktéři často zcela odlišné názory a hlavním problémem se stala nepřesnost vstupních dat (Gershon 1998, 43). Na základě dotazníku vytvořila Maria Sifniotis (Sifniotis a kol. 2007, 2) tabulku spolehlivosti různých zdrojů (viz obr. 8), kde za nejméně spolehlivé jsou považovány písemné prameny a za nejdůvěryhodnější dochované objekty.

Asi úplný počátek vytváření metodik a zásad, jak nakládat s počítačovými vizualizacemi v archeologii, lze dohledat v akčním plánu eEurope, prodiskutovaném v červnu 2000 ve městě Feira v Portugalsku; jeho cílem bylo plně využít možností vytvořených příchodem nových digitálních technologií a toho mělo být docíleno vytvořením koordinačního mechanismu programů digitalizace v jednotlivých členských státech. O rok později proběhla ve městě Lund ve Švédsku schůzka expertů Evropské Unie na podporu lepší koordinace v oblasti digitalizace vědeckých poznatků a kultury a kde byla jasně zmíněna hodnota a význam digitalizovaného kulturně-historického dědictví. Na základě těchto akcí členské státy Evropské Unie investovaly do programů podporujících projekty digitalizace různých oblastí kulturně-historického dědictví, jako byla digitalizace muzejních sbírek, archeologických lokalit, archívů, map nebo historických listin (Grande – Lopez-Mencherro 2011).



Obr. 8: Důvěryhodnost zdrojů pro tvorbu 3D počítačové rekonstrukce dle Maria Sifniotis (2012, 64).

Rostoucí obavy z nekontrolovatelného vývoje počítačových vizualizací vedl v roce 2000 k vytvoření organizace Virtual Reality Cultural Organisation (CVRO) a o rok později skupiny Virtual Archaeology Special Interest Group (VASIG), které si vzaly za úkol udržovat debatu s nejdůležitějšími světovými fóry jako CAA (Computer Applications and Quantitative Methods in Archaeology) nebo VAST (International Symposium on Virtual Reality, Archaeology and Cultural Heritage). V roce 2005 zahájila King's Visualisation Lab (KVL) spadající pod King's College London projekt nazvaný Making Space, jehož účelem bylo vytvoření metodiky pro dokumentaci kognitivního procesu trojrozměrných vizualizací. V únoru 2006 na padesát předních vědců diskutovalo na půdě Britské akademie o otázce transparentnosti počítačových modelů a v důsledku tohoto setkání připravila výzkumná skupina pod vedením Franca Niccoluccia dokument, který položil základy London Charter a poradní skupiny, která byla zodpovědná za jeho zdokonalování v příštích letech (Grande – Lopez-Menchero 2011).

Jako první prostředek ke stanovení zásad pro používání počítačových vizualizačních metod a implementace jejich výsledků do výzkumu a komunikace kulturního dědictví, tak byla vydána London Charter (viz příloha č. 1). V roce 2006 byl nejprve publikován stručný přehled zdůvodnění charty, která se soustředila na problematiku intelektuální transparentnosti

(Beacham a kol. 2006) a v roce 2009 bylo uvedeno její poslední znění.¹³ V nově uvedené verzi byly 3D vizualizace rozšířeny o slovo „počítačové“ zahrnující 2D, 3D, 4D a dokonce i fyzické objekty vytvořené počítačem. Důležitým posunem také bylo rozhodnutí, že dokument by měl usilovat i o ovlivnění používání vizualizací nejen v akademickém sektoru, ale i v odvětví zábavního průmyslu, pokud zahrnuje rekonstrukci nebo evokaci kulturního dědictví (Denard 2012, 61). V preambuli dokumentu je řečeno, že je potřeba vytvořit zásady, které zajistí, aby byly digitální vizualizace intelektuálně i technicky stejně precizní jako již etablované metody výzkumu kulturního dědictví. Většina pokynů týkající se problematiky nejistoty dat je uvedena v článku 4 – Documentation, ovšem jediná část obsahující přímo termín nejistota je bod 4.4 Documentation of Knowledge Claims. Jakkoliv tento bod popisuje co by se ohledně transparentnosti modelů mělo dělat, už nepopisuje, jak nejistotu v datech vizualizovat.

Další dokument, který se zaměřuje na pravidla virtuálních vizualizací, jsou Principles of Seville vydané v roce 2011 (viz příloha č. 2), které vycházejí a rozšiřují starší London Charter. V textu se pojem nejistoty dat přímo nevyskytuje a je nahrazován pojmy “transparentnost” (transparency) nebo autenticita (authenticity). Článek 4 – Authenticity je v principu podobný článku 4 z London Charter, zdůrazňuje důležitost oddělování skutečných a hypotetických dat a je zde zmíněno, že neúplná data mohou vést k odlišným interpretacím. Další podrobnosti jsou uvedeny v článku 7 - Scientific transparency, který se zabývá problematikou neúplných či nejednoznačných informací a jak naznačuje název, je zaměřen hlavně na transparentnost dat. Informace ilustrující nejistotu dat, by měly být uchovány v databázi, data z postupu tvorby modelu jsou nazývány jako paradata a měly by jasně demonstrovat transparentnost celého procesu a dosažených výsledků. V této části je tak nejistota dat vlastně zahrnuta pod neúplnost informací.

Další dokument, který se sice přímo netýká oblasti virtuální archeologie, ale zabývá se otázkami nejistoty dat v archeologických rekonstrukcích je “The ICOMOS Charter for the Interpretation and Presentation of Cultural Heritage sites” z roku 2008 (viz příloha č. 4), kde ve článku 2: Information Sources uvádí důležitost dokumentace všech dostupných zdrojů, což je ještě specifikováno v článku 2.4 v souvislosti s vizuálními rekonstrukcemi. Zde je důležité, že je zmiňováno rozhodování při tvorbě vizualizace a možnosti alternativních verzí v závislosti na dostupnosti dat. Dalším dokumentem je “The Charter of Krakow: Principles for conservation

¹³ Mezi březnem 2006 a únorem 2009 se verze nazvaná The London Charter for the Use of 3D Visualisation in the Research and Communication of Cultural Heritage (Draft 1) změnila na The London Charter for the Computer-based Visualisation of Cultural Heritage (2.1), aby bylo reflektováno rozšíření obsahu a ambicí.

and restoration of built heritage” vydaný v roce 2000 (viz příloha č. 3), který řeší podobné téma, ale jasně sděluje, že způsob rekonstrukce, by měl být vždy odlišitelný od původního stavu, přičemž je žádoucí k tomu využívat i digitální technologie. Důležitost odlišení nově rekonstruovaných částí a detailní dokumentace zvoleného postupu je zmiňována již ve Venice Charter z roku 1964.

Na rozdíl od těchto dokumentů, které poskytují pouze obecné zásady, lze v odborných publikacích nalézt širší škálu informací nejen o optimálním výsledku rekonstrukce, ale i o možných problémech a jejich řešení. Jako základ diskuze o trojrozměrných vizualizacích archeologických objektů je považován článek Paula Reilly (Reilly 1992), který definuje pojmy jako je vizualizace dat a trojrozměrné modelování a řeší otázky validity dat v digitálních vizualizacích a aspektu informování diváka o stupni důvěryhodnosti modelu (Reilly 1992, 156, 159). Zmíněný stupeň důvěryhodnosti v podstatě přímo souvisí s nejistotou dat, což navrhuje řešit tak, že by dokumentace z celého procesu vytváření modelu byla publikována společně. Jako možné přístupy k zobrazování nejistoty dat je zmíněna barevná škála nebo průhlednost a propojení s multimediálními soubory obsahujícími dodatečné informace o vizualizaci (Reilly 1992, 159). Rozšíření popisu nové technologie, ale také varování o tehdejší vývoji a možných důsledcích, je zmíněna o tři roky později (Miller – Richards 1995, 20 – 21) a je doporučeno vytvořit specializované odborníky pro oblast virtuální archeologie.

Tvrdá kritika dopadu virtuálních rekonstrukcí na diváka oproti schématickým výkresům zazněla v roce 1999 (Strothotte a kol. 1999) a je navrhováno snížit úroveň detailu, opustit fotorealistické vizualizace a zaměřit se na vyhodnocení stupně nejistoty a interpretaci výsledného modelu (Strothotte a kol. 1999, 36 - 37). K vyřešení této problematiky by tak v modelu měly být zakomponovány další údaje, které umožní sledovat rozhodování o nejistotě dat a tvorbě návrhu rekonstrukce. Oproti formulování nejistoty slovem, potřebuje počítač především kvantitativní údaje a řešením by tak mohlo být vytvoření klasifikace dat na bázi kódovaných informací, indikujících stupeň nejistoty (Strothotte a kol. 1999, 42).

Rozšíření možností vizualizace transparentnosti virtuálních modelů založených na provedených formách návrhových rozhodnutí, kde jsou vlastní data zakódována různými barvami a průhledností, typem zvoleného renderu povrchů a přidavnými informacemi ve formě textu a multimediálních souborů, které lze v rámci internetu propojit se sledovanými daty (Kensek et al. 2004, 175 – 180). Klíčovým prvkem je popis každé části modelované struktury, její prostorové a časové proměny a formulací rozhodnutí návrhu vizualizace, což vytvoří

potřebnou dokumentaci nejistoty dat. Tyto paradata musí být organizovány v databázi, která má stejnou strukturu jako model (Brusaporci 2017, 141). Samotný výstup vizualizace by pak zahrnoval grafické prostorové naznačení nejistoty ve formě stínování, průhlednosti, barev, zjednodušenými texturami a geometrií, informačními štítky a vícenásobnými okny (Brusaporci 2017, 143).

Detailní řešení technických procesů práce s digitálními daty v trojrozměrném prostoru poskytuje řada manuálů jako např. "3D-ICONS" (2014), "IT-Empfehlungen für den nachhaltigen Umgang mit digitalen Daten in den Altertumswissenschaften" (2017) nebo výstupy projektu Conpra „Virtual Reconstructions and Computer Visualisations in Archaeological Practise“ a „3D Digital Recording of Archaeological, Architectural and Artistic Heritage“ (2017).¹⁴ Jsou zde obvykle zařazeny podrobné metodické postupy k digitální dokumentaci, modelování nebo prezentaci, ale v podstatě se vůbec nezabývají ani neposkytují řešení problematiky vizualizace nejistoty dat.

Za výchozí bod pro práci s nejistotou v datech ve 3D počítačových rekonstrukcích, tak lze vzít znění všech zmíněných stanov pojednávajících jak o fyzických tak i virtuálních rekonstrukcích archeologických objektů. Ty zdůrazňují potřebnost dokumentace pracovního postupu a rozlišení dotvořených částí, a těch založených na skutečnosti. Každá rekonstruovaná část by měla obsahovat i informaci o nejistotě dat, na kterých je založena. Většina provedených virtuálních rekonstrukcí a studií ovšem ne vždy dodržují tyto pravidla a v některých případech si vytvářejí svoje vlastní, jak uvidíme v následujících kapitolách.

2.3 METODY ZOBRAZOVÁNÍ NEJISTOTY DAT V ARCHEOLOGICKÝCH DIGITÁLNÍCH REKONSTRUKCÍCH

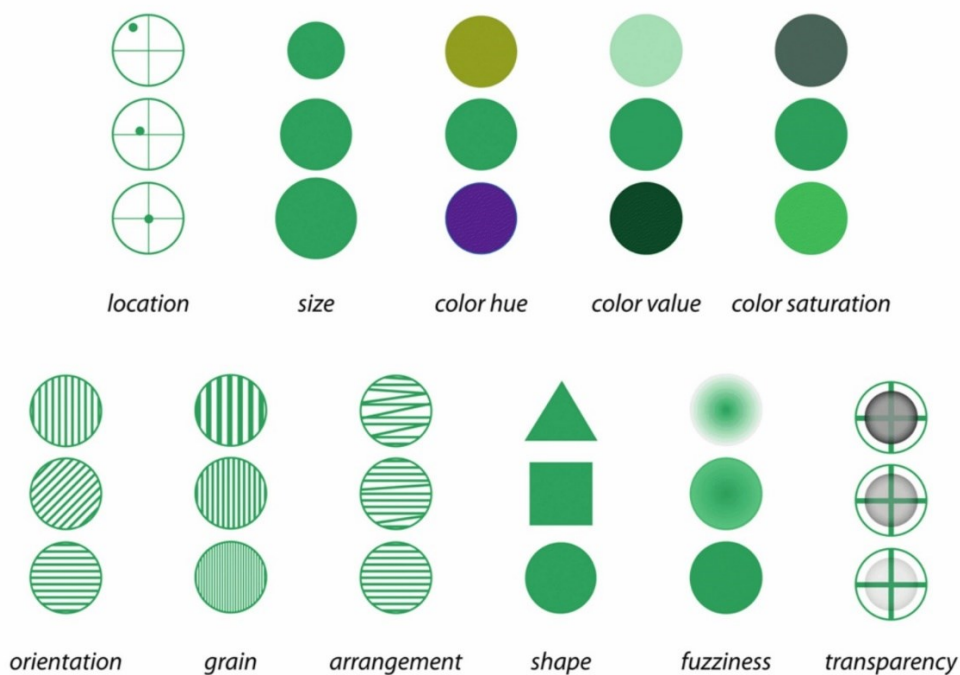
Jak je patrné z nastínění vývoje problematiky chápání nejistoty dat v počítačových vizualizacích, bylo k této otázce přistupováno rozmanitým způsobem; v této kapitole budou realizované koncepty popsány více do detailu. Pro postup vizualizace kulturního dědictví, který by měl odpovídat přesnosti tradičního výzkumu, musí být tento aspekt jasně zřetelný. Proto London Charter uvádí, že vizualizace by měla přesně informovat, jaké jsou rozdíly mezi

¹⁴ Všechny uvedené manuály jsou k dispozici online: 3D-ICONS (<http://3dicons-project.eu/guidelines-and-case-studies/guidelines>), IT-Empfehlungen für den nachhaltigen Umgang mit digitalen Daten in den Altertumswissenschaften (https://www.ianus-fdz.de/it-empfehlungen/sites/default/files/ianusFiles/IT-Empfehlungen_v1.pdf), Conpra projekt (<https://www.researchgate.net/project/CONPRA>).

reálnými daty a hypotézami a mezi rozdílnými úrovněmi jejich pravděpodobnosti (Denard 2012, 60).

Metody jak vizuálně označit nejistá data v počítačových rekonstrukcích byly v dosavadních projektech řešeny obvykle označením těchto informací pomocí barevné škály, smíšené průhlednosti, kombinací barevné stupnice a průhlednosti nebo použitím různého vykreslení povrchu modelu, jako je tzv. drátový model nebo různé formy texturování povrchu (viz obr. 9). Další možností pak je ztmavování nebo zesvětlování konkrétních prvků a používání změn v tloušťce čar pro označení různého stupně důvěryhodnosti. Všechny tyto postupy ovšem řeší podobné překážky, jako je zobrazování více druhů nejistoty v datech současně a jak zobrazit současně reálně působící povrch a míru pravděpodobnosti.

THE VISUAL VARIABLES

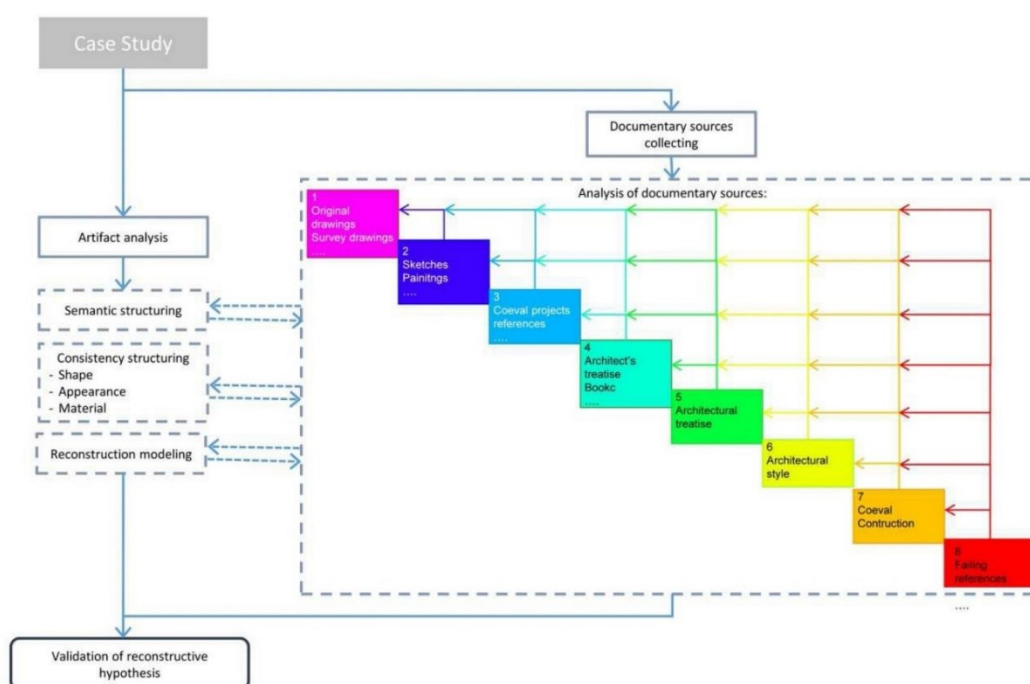


Obr. 9: Vizuální proměnné, které je možné použít pro zobrazování nejistoty dat (Schäfer 2018, fig. 1).

2.3.1 Postup tvorby rekonstrukce

Tvorba rekonstrukce vyžaduje přesnou metodiku celého procesu a to především z důvodu možnosti jeho ověření, možnosti opětovného využití použitých informací a k lepší interpretaci digitálního modelu. Appolonio (2015) navrhuje tento proces strukturovat následovně (viz obr. 10):

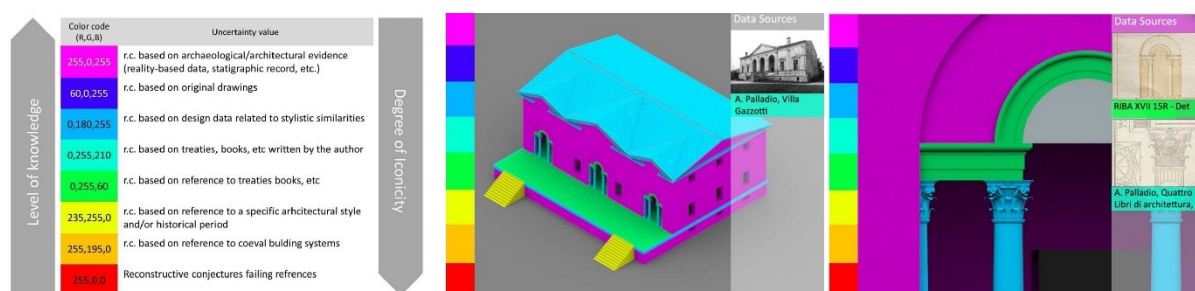
1. sběr dokumentačních zdrojů
2. sémantické strukturování artefaktů
3. analýza dokumentačních zdrojů a extrapolace informací stálých vlastností artefaktu (geometrický tvar, vzhled povrchu, fyzikální vlastnosti) zahrnující analýzu / interpretaci / rozhodnutí na základě evidence, vzájemných vztahů mezi informacemi, dedukce nebo domněnky
4. korelace mezi daty použitými v procesu rekonstrukce a mírou jejich nejistoty charakterizovanou pro každý jednotlivý element
5. rekonstrukční 3D modelování
6. sémantické rozšíření 3D rekonstrukčního modelu
7. validace rekonstrukční hypotézy získané z rozšířených dat každého základního nebo podstatného elementu a jeho zobrazení



Obr. 10: Struktura procesu tvorby modelu dle Appolonio 2015.

Pro kategorizaci nejistoty zdrojových dat Appolonio (2015) navrhuje následující stupně definované přesností geometrických, prostorových, formálních, materiálových a konstrukčních vlastností, které lze převzít nebo vyvodit z dostupných zdrojů (viz obr. 11):

1. rekonstrukce založená na archeologické / architektonické evidenci (reálná data, stratigrafický záznam)
2. rekonstrukce založená na originální kresebné dokumentaci (nižší úroveň přesnosti prostorových dat)
3. rekonstrukce založená na konstrukčních datech vztahujících se k časově stejným analogiím (krytina, typ střechy, rámová konstrukce, řešení suterénu, okna, dveře nebo dekorace)
4. reference na literaturu na dané téma přímo od autora rekonstrukce
5. reference na literaturu vztahující se ke studovanému tématu
6. interpretační hypotézy zaměřené na studovaný architektonický styl a časové období
7. interpretační hypotézy i z dalších oblastí výzkumu, které se vztahují ke konstrukčním systémům daného období a které mohou poskytnout konstrukčně věrohodné řešení
8. rekonstrukční hypotézy bez referencí



Obr. 11: Kategorizace nejistoty zdrojových dat dle Appolonio 2015.

Během procesu zpracování podkladových informací, jejich použití a výsledné interpretace jsou dle Schäfer (2018, 91) pro přenos a šíření nejistoty ústředními body:

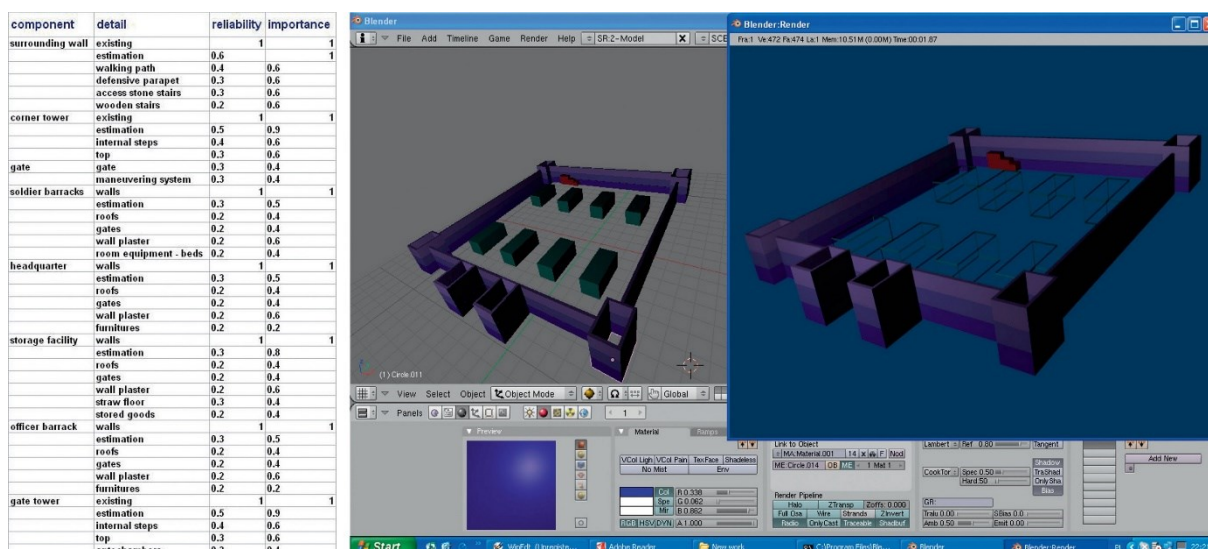
- Akvizice a shromažďování dat (klasifikace a kategorizace)
- Zpracování (filtrování, transformace, vzorkování, kvantifikace, zjednodušení atd.)
- Vizualizace (mapování, modelování, rendering)
- Vyhodnocení (lidský faktor, neúplné znalosti)
- Prezentace a diseminace (formát dat, operační systém, dekontextualizace)

Tím, že je nejistota přítomna ve všech krocích procesu, je nesmírně důležité celý proces pečlivě zdokumentovat, včetně všech nejasností, problémů a učiněných rozhodnutí. V archeologii navíc dochází k nutnosti hodnocení dat z mnoha různých zdrojů s různou kvalitou a specifikem je

určitě nezbytnost pokusit se kvantifikovat data z vědeckých diskuzí, která jsou často zatížena i subjektivními preferencemi a rozhodnutími. Totéž platí i pro písemné a ikonografické prameny, kde hraje lidský faktor také obrovskou roli (Schäfer 2018, 91).

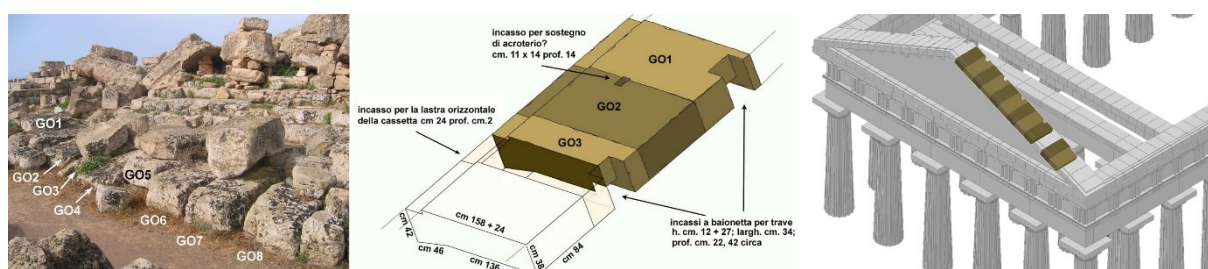
Jednou z hlavních potřeb udržení důvěryhodnosti virtuální rekonstrukce je transparentnost informací celého kognitivního procesu, kde musí být vysledovatelné i subjektivní rozhodnutí a domněnky, které výrazně ovlivňují míru nejistoty, otevírají možnosti pro alternativní rekonstrukci, a které nejsou obvykle deklarovány (Appolonio – Giovannini 2015, 7). Tématu paradat, tj. dat popisujících proces, kterým byla získána nebo jak byla data zvolena, se ve virtuálních rekonstrukcích věnovala celá řada prací (např. Forte 2010; Hermon – Kalisperis 2011; Bentkowska-Kafel 2012) a je o něm pojednáno i v London Charter (2.1) a The Seville Principles (7.3). I když je zde zřetelným záměrem vytvoření norem a metodik, jsou zde obvykle zmíněny spíše technické aspekty a důraz je kladen pouze na případovou studii. V procesu virtuální rekonstrukce činíme obvykle první rozhodnutí na základě archeologických nebo architektonických zdrojových dat a teprve poté se odvoláváme i na další druhy metadat. Metadata jsou informace, poskytující informace o jiných datech a mohou výrazně napomoci právě při organizování informací a jejich digitální identifikaci (Ogleby 2007). Pokud tedy paradata mohou být považována za data popisující proces, může být použita metodologie, která vytvoří systém pro dokumentaci a vizualizaci skrze kognitivní model řízení informací týkajících se tvorby rekonstrukce.

Jakmile musíme roztřídit jednotlivé komponenty modelu dle důvěryhodnosti, může se pro každou z nich použít i index spolehlivosti, který vyjadřuje autorovu jistotu nebo pochybnosti ohledně zařazení konkrétní komponenty. Tento index tak reflektuje důvěru, kterou má autor ve svoji interpretaci daných částí modelu a je založený především na datech primární dokumentace, analogiích, dalších srovnávacích výzkumech, vědeckých dedukcí atd. (Hermon – Nikodem 2008, 2). Druhým kritériem pro hodnocení důvěryhodnosti modelu, může být index důležitosti, který odráží přínos konkrétní komponenty pro vyznění modelu jako celku a jak jasně je provázáno s cíli, které má počítačová vizualizace splnit (Hermon – Nikodem 2008, 2). Tento přístup hodnocení byl použit při tvorbě modelu hypotetických římských kasáren a jako metoda znázornění nejistoty byl vybrán fuzzy systém, kde byly jednotlivé části modelu vyhodnoceny dle zmíněných indexů v hodnotách od 0 do 1 (viz obr. 12; Hermon – Nikodem 2008). Vzniklá databáze pak byla propojena přímo s prostředím modelovacího programu Blender, který automaticky v modelu renderoval různé stupně nejistoty dat.



Obr. 12: Proces tvorby modelu na základě indexů důvěryhodnosti a důležitosti vstupních dat (upraveno z Hermon – Nikodem 2007).

V rámci projektu virtuální rekonstrukce chrámu C v Selinunte (Amici 2009) bylo cílem vytvořit jak vědecký nástroj pro studium dórské architektury, tak i komunikační produkt pro širokou veřejnost. Aby vytvořený model splňoval kritéria transparentnosti, ale zároveň byl vizuálně atraktivní i pro veřejnost, bylo shromážděno a pečlivě prostudováno velké množství údajů včetně podrobné 3D dokumentace zachovalých relikvů, které byly zpracovány v prostředí CAD a projeny s 3D modelovacím softwarem. Tento přístup tak do modelu rekonponoval všechny původní architektonické prvky a automaticky ověřoval konzistenci řešení rekonstruovaných částí z hlediska stavební techniky daného období a zákony statiky (viz obr. 13).



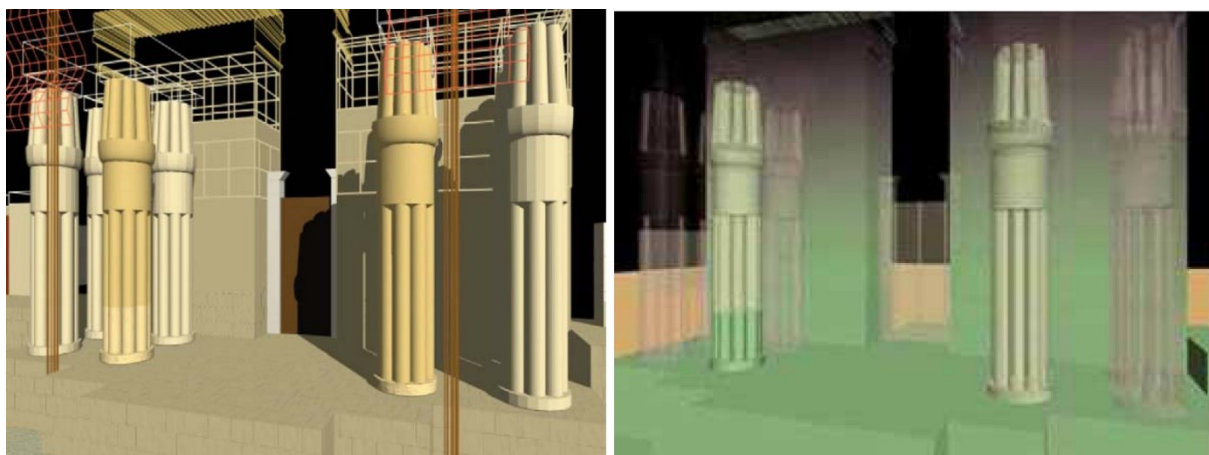
Obr. 13: Počítačová rekonstrukce chrámu C v Selinunte založená na 3D dokumentaci původních prvků (upraveno z Amici 2009).

2.3.2 Vizualizace nejistoty

Vizuální prezentace trojrozměrných dat nabízí čtyři různé přístupy k zobrazování nejistoty dat – drátový (mesh), hmotový, texturní a materiálový režim práce s modelem, kdy každý z těchto formátů umožňuje kódovat potřebné informace různými způsoby. Pro dosažení optimálních

výsledků by však tyto metody měly být svázány s jasně danými pravidly, která by definovala jak a pro kterou oblast nejistoty dat (nedostatek informací, prostorová nejistota, nejistá chronologie), je používat. Základní metodou pro zakódování úrovně nejistoty do vizualizace, ovšem zůstává použití barevné škály, která může představovat různé hodnoty, atributy a data.

Samotný model může být pro lepší názornost vykreslen v tzv. meshi - drátěném rámu, což napomáhá pochopit komplexní strukturu objektu nebo detailů stavebních konstrukcí (Reilly 1992, 156; Baker a kol. 2003, 2), používá se ale i pro vyjádření nejistoty (Zuk a kol. 2005, 102). Části modelu založené na reálných informacích tak mohou být vykresleny barevně a na částí u kterých klesne index nejistoty pod předem stanovenou hranici, je aplikován režim drátěného rámu (Hermon a Nikodem 2008, 4; Kensek a kol. 2004, 293). Technicky se tak v modelu rekonstruované části objektu objevují jako linie hran a ploch. Kensek (Kensek – Dood 2005) ve svém projektu kromě zmíněných znázorňování nejistoty umožňuje divákovi interaktivní manipulaci s vizualizací, kde je možné budovat egyptské sloupy kombinováním jejich jednotlivých částí a systém zároveň ukazuje míru důvěryhodnosti a zabraňuje uživateli v provádění chybných kombinací.



Obr. 14: Použití drátěného rámu a barevné škály poukazuje na nejslabší části úrovně důvěry rekonstrukce (upraveno z Kensek a kol. 2004, 179).

Přes zmíněný drátěný rám (mesh) je možné natáhnout texturu, u které je možné použít různý stupeň stínování a průhlednosti, což je základem pro další klasifikaci a manipulaci s objektem z hlediska důvěryhodnosti dat (viz obr. 14). Vysoká transparentnost obvykle značí nedostatek dat pro rekonstruovanou část a představuje tak vysokou míru nejistoty (Kensek a kol. 2004, 177; Zuk a kol. 2005, 5) a je pro svůj intuitivní charakter vizuálního sdělení často používána v tištěných médiích. Na této bázi lze ještě průhlednost dále různě stupňovat či barevně stínovat

dle stupně nejistoty. Problém ovšem je, že tato forma je někdy používána pro vyjádření nedostatku dat (Kensek a kol. 2004, 177), jindy jako metoda pro časovou nebo prostorovou nejistotu v datech (Zuk a kol. 2005).

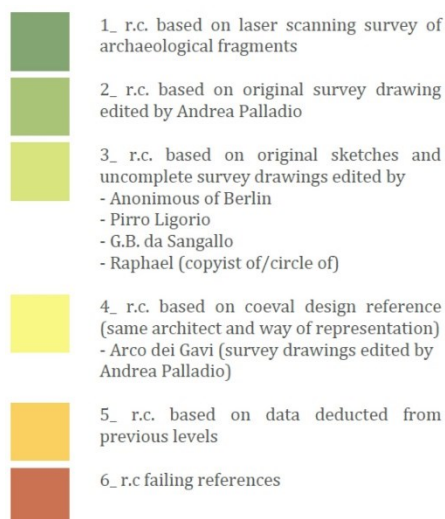
Způsob použitého stylu vizualizace je obvykle určen pravidly grafického designu, pro rekonstrukční modely je jejich použití ovšem deformováno, neboť mohou být spojeny s určitou formou výkladu dat. Kupříkladu použití fotorealistického stylu by tak teoreticky mělo znamenat vysokou jistotu, kdy je geometrie a vzhled objektu rekonstruován na skutečných naměřených datech. Fotorealistické modely obvykle obsahují tak vysokou míru detailu, že jejich použití a schopnost zobrazovat nejistotu je předmětem dlouhé diskuze, která obvykle konstatuje, že jsou nevhodné pro akademické prostředí (Olivito – Taccola 2004, 181; Wittur 2013, 48). Trend fotorealismu se ve velké míře objevuje hned počátku virtuálních rekonstrukcí (Strothotte 1999, 37, Sifniotis a kol., 2006) a pokračuje dodnes (Olivito – Taccola 2004, 182). Na jejich aplikaci panují rozdílné názory od nezbytnosti jejich používání, pokud tedy nejsou založeny na nejistých datech, přes jejich kombinaci s jinými grafickými styly (Bakker et al., 2003, 161, Olivito a Taccola 2004, 182), až po totální odmítnutí, neboť fotorealistické vykreslování nerozlišuje mezi reálnými a interpretovanými strukturami (Kantner 2000, 47). Vyskytly se ovšem i přístupy, že použití fotorealistického vykreslování, pokud je používáno rozumně, značně napomáhá vizualizaci kulturního dědictví a to z důvodu, že technika vizualizace závisí na cílovém publiku (Roussou – Drettakis 2003). Archeologická obec vyžaduje soubor nástrojů, který jim umožní vyhodnotit míru použité interpretace, pro což jsou vhodné spíše nefotorealistické vizualizační techniky, ale pro širokou veřejnost je fotorealismus nezbytnou součástí přenosu informací. Jako příklad posledně zmíněného přístupu lze ukázat interaktivní zobrazení Tholosu z Agory v Argu, kde uživatelé mohou interaktivně manipulovat s archeologickými fragmenty a měnit vizualizované hypotézy (viz obr. 15; Roussou – Drettakis 2003).



Obr. 15: Interaktivní prohlížení Tholosu s možností vizualizovat rozdílné interpretace počítačové rekonstrukce (upraveno z Roussou – Drettakis 2003).

Vzhledem k pravidlům mezinárodních úmluv o vizualizacích, lze ovšem konstatovat, že fotorealistický styl není vhodný pro zobrazování nejistoty a měl by tak být vyloučen z vědeckých rekonstrukcí (Kensek a kol. 2004, 183, Strothotte et al. 1999, 36). Oproti tomu jednoduché a abstraktní styly jsou často používány pro nejisté struktury, kde je použit jednoduchý geometrický tvar a snížení počtu zobrazených detailů, což zvyšuje úroveň jistoty celého objektu. Schématické vykreslování tak může zdůrazňovat nejisté části a naznačit spekulativní podobu takto zobrazených objektů, podobný princip je koneckonců běžně používán i v architektonických vizualizacích (Strothotte 1999, 36). Při použití tohoto stylu vykreslení jsou tak zcela vyloučeny detaily, aby vynikla nejistota v datech (Frischer a Stinson 2007, 66; Strothotte a kol. 1999, 36f). Výhoda v míchání a překrývání obou předchozích stylů spočívá v schopnosti snadné rozlišitelnosti reálných a interpretovaných dat. Při tomto přístupu je velice výhodné využít data z 3D digitální dokumentace, kdy se na model založený na skutečnosti umístí jednoduché geometrické tvary, které označují neexistující struktury. Je zde tak zřetelný rozdíl mezi fotorealistickými částmi s vysokou mírou detailů a tím pádem i vysokou jistotou dat a mezi abstraktními domodelovanými částmi.

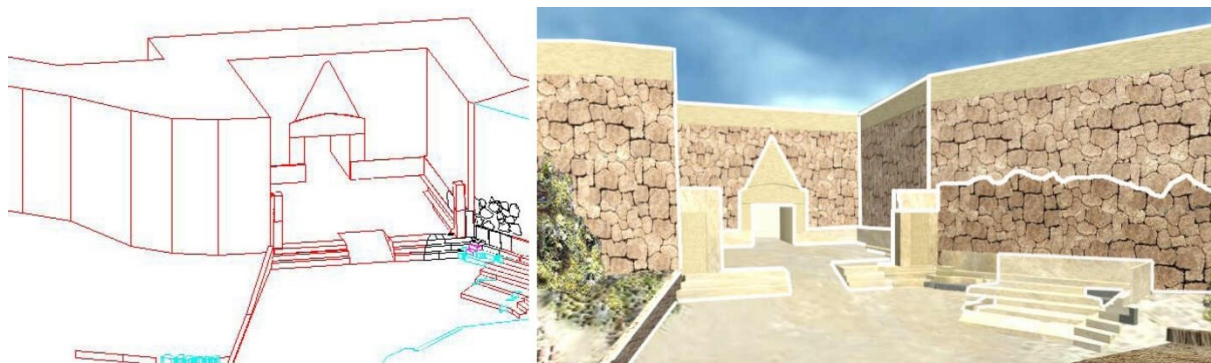
Barevné kódování je účinným prostředkem pro vizualizaci různých možností a býval už používán i pro klasické kresby nebo mapy. Používání barev ve 3D vizualizacích může být považováno za symbolický systém schopný sledovat nejistotu, která charakterizuje každý element na základě subjektivního, ale řízeného pochopení a interpretace dat (Bentkowska-Kafel et al. 2012). V dosavadních přístupech v počítačových vizualizacích tak můžeme vidět kupříkladu gradient od zelených po načervenalé barvy založený na klasifikaci jistoty jednotlivých částí (Apollonio - Giovannini 2015, 8). Dále škálu jednotlivých barev dle stupně nejistoty nebo také falešné barvy pro rekonstruované části (Dell'Unto a kol. 2013, 624, Hermon a Nikodem 2008, 144). Lze míchat vykreslování ve smíšeném, schématickém a fotorealistickém stylu, které naznačuje přechod od reálných dat k těm interpretovaným (Kensek et al., 2004, 178). Pro barevnou škálu lze používat gradient mezi dvěma barvami nebo naopak vzájemně kontrastní barvy (Apollonio - Giovannini 2015, 8; Sifniotis a kol. 2006, 1). Objevují se také průsvitné „falešné“ barvy, případně méně nasycené barvy či pouze stupně šedých tónů (Hermon a Nikodem 2008, 39; Frischer a Stinson 2007, 66 – 67). V dalším případě bylo použito schéma monochromatické modré, aby vyjádřila různé stupně nejistoty mayských chrámů (Schwerin a kol. 2016, 213). Bez ohledu na zvolené barevné schéma panuje mezi autory shoda ohledně jejich vztahu a deskripci stupňů nejistoty. Ve většině případových studií ovšem nejsou brány v potaz pravidla harmonie a kontrastu barev (viz obr. 16).



Obr. 16: Příklad barevné škály pro zobrazení nejistoty na základě důvěryhodnosti vstupních dat (Appolonio – Giovannini 2015, 8).

Textury jsou základním prvkem fotorealistických přístupů, neboť mohou obsahovat obrazy skutečných objektů a v důsledku toho zobrazují barvu a materiál s vysokou jistotou. Textury mohou být vytvořeny i z objektů přímo v terénu *in situ* a jejich použití pro rekonstruované části tak znamená vysoký stupeň jistoty (Kensek et al., 2004, 183, Reilly 1992, 158). Objevilo se i použití schématických struktur, aby byla jasně patrná důvěryhodnost dat (Alusik a Sovarova 2015, 441f).

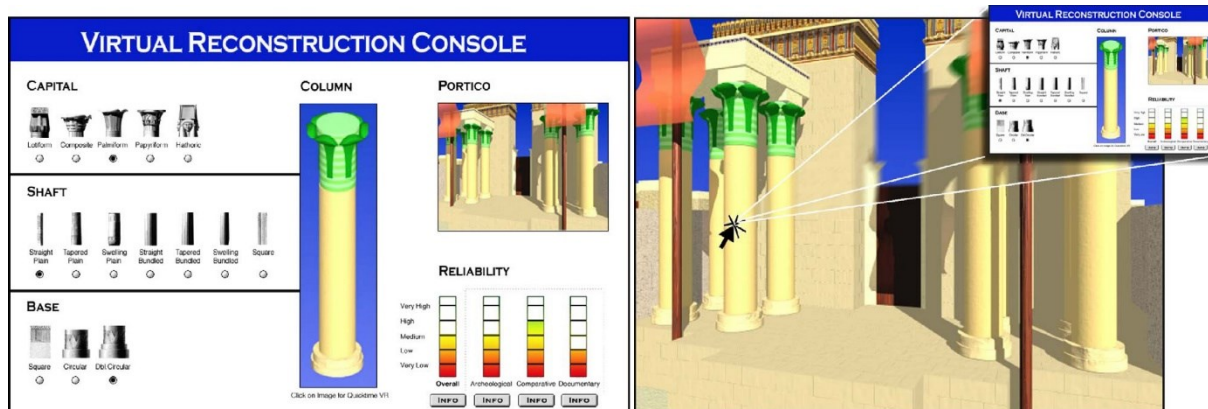
Konečná nejistota může být reprezentována i formou symbolů jako např. jednoduché linie oddělující stupně nejistoty (Hermon a Nikodem 2008, 39), které mohou mít dle přiřazených atributů nejistoty různou barvu nebo tloušťku (Strothotte 1999, 39f). H. Eiteljorg (1995, 1998) takto ve vizualizaci vstupu na Akropoli v Athénách jasně demonstruje rozdíl mezi skutečnými relikty a virtuálně domodelovanými částmi (viz obr. 17).



Obr. 17: Rozdílné linie naznačují nejistotu v datech rekonstrukce Akropole v Athénách (Eiteljorg 2000).

Je evidentní, že existuje mnoho způsobů jak kódovat stupně nejistoty do rekonstrukčních modelů formou zvolené modelovací techniky, vizuální prezentace a stylu. Nicméně doposud neexistuje jednotná regulace a autoři si vybírají metodu, která jim nejlépe vyhovuje.

Další možnou aplikací jak vizualizovat nejistotu, je vytvoření více modelů pro porovnání různých hypotéz. Toto řešení má výhodu v tom, že je někdy obtížné diskutovat o detailech konstrukce bez řádného posouzení v širším kontextu. Nevýhodou je ovšem velká časová náročnost, kdy každá z variant musí být modelována od začátku. Nutnost vytváření nových modelů pro každou z teorií, lze řešit možností interaktivního prohlížení, kdy lze zobrazovat různé verze jednotlivých konstrukčních prvků. Tento přístup byl testován na vizualizacích Augustova mauzolea (Pollini a kol. 2006) nebo Atonova chrámu v Amarně (Kensek a kol. 2004), pro které byla vytvořena tzv. virtual reconstruction console, která umožňuje divákovi v uživatelsky jednoduchém rozhraní vybírat různé architektonické varianty. Každý prvek je doprovázen archeologickou dokumentací a software zároveň dopočítává celkovou pravděpodobnost objektu (viz obr. 18). Multimediální řešení má pro zobrazování nejistoty v datech velký význam, neboť umožňuje flexibilně propojovat různé druhy dat. Propojení grafických a dalších typů dat může být řešeno celou škálou technik k předávání informací prostřednictvím zvuku, textu, fotografií, odkazy na další zdroje atd. V rámci zpřístupnění nejistoty dat ve virtuálních rekonstrukcích tak mohou být podniknuty kroky k jejich propojení např. s nálezovou zprávou a různými interpretacemi (Kensek a kol. 2004, 181).

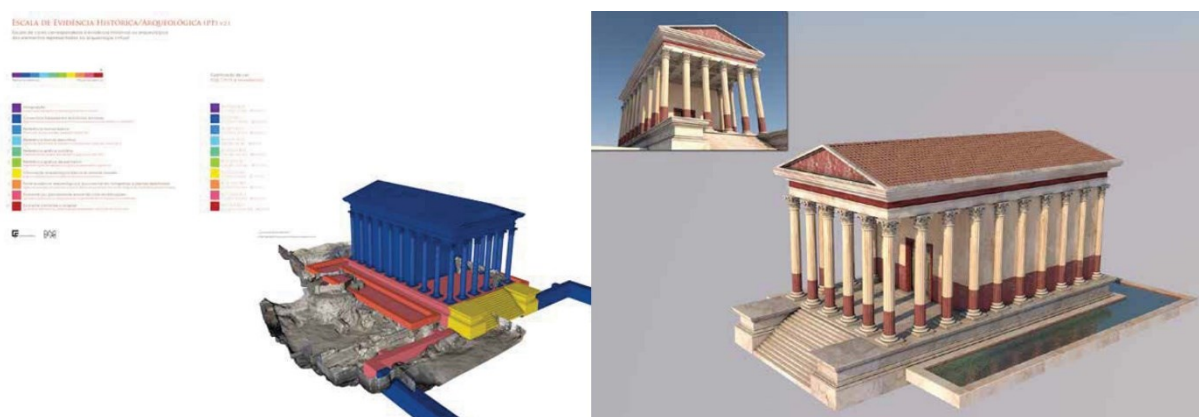


Obr. 18: Interaktivní konzole přístupná ve webovém rozhraní umožňuje ke každé části modelu získávat relevantní data včetně jejich stupně nejistoty (upraveno z Kensek a kol. 2004).

2.3.3 Organizace dat

Práce s nejistotou dat může zahrnovat i organizaci dat, kdy se míra nejistoty do modelu kóduje pomocí různého stupně detailu jednotlivých částí, prostřednictvím hierarchicky řazených vrstev modelu vyjadřujících možné proměny objektu a také může být vyjádřena segmentací modelu (Frischer and Stinson 2007, 66; Hermon a Nikodem 2008, 38; Kensek et al. 2004, 183; Manferdini et al. 2008). Pro segmentaci modelu byl vyvinut systém, který klasifikuje a přiřazuje data jednotlivým částem 3D modelu a následně je struktura rozdělena na jednotlivé komponenty podle základních geometrických pravidel (Manferdini et al. 2008, 1). Segmentace umožňuje snadný popis nejistoty a dalších atributů svým propojením s databází, kdy každému stupni nejistoty může být přiřazena hodnota, která se použije jako základ pro barevný kód (Manferdini et al., 2008, 5; Apollonio - Giovannini 2015, 9ff).

Problémem zůstává, že ačkoliv se při tvorbě vizualizace nejistoty často používá obdobný metodický rámec, zřídka se v něm používají stejné parametry. Zmíněné zásady vedly v dosavadním přístupu k různým metodám, které často kombinují několik z výše zavedených přístupů, aby zvládly i složitější systémy, jiné jsou založeny jen na jediném rámci.



Obr. 19: Virtuální rekonstrukce s použitím barevné škály nejistoty římského chrámu Pax Iulia v Beja v Portugalsku (upraveno z Correia 2016, 579).

Jakkoliv je vizualizace silnějším vyjádřením ve srovnání s textem, její vysvětlující hodnota může být bez řádné deskripce postupu tvorby modelu přeci jenom menší. Pokud totiž vizualizace jasně nekomunikuje proces svého vzniku, tak nezáleží na tom, jak byly pokládány výzkumné otázky, jak pečlivě byly studovány a interpretovány dostupné informace a jak náročně nebo kreativně je rekonstrukce zpracována. Vedle samotné tvorby vizualizace hraje důležitou roli i dokumentace toho, jak je o jednotlivých komponentách modelu rozhodováno a důležitost dokumentace tohoto postupu je zásadní pro zajištění úrovně transparentnosti, což je

zmiňováno i v London Charter (Brusaporci 2017, 124). Už Paul Reilly (1992, 160) poukazoval na nezbytnost řádného popisu všech údajů, aby byla umožněna jejich pozdější analýza. Obsah modelu je obecně založen na metadatech¹⁵, která jsou popisem technických aspektů a paradatech, které zahrnují systematiku rozhodování a interpretace a obě složky jsou zásadní k získání konkrétní stupnice nejistoty (Brusaporci 2017, 125). Deskripce i kritických údajů, subjektivních rozhodnutí a představ, umožní v pozdější analýze zhodnotit škálu možných interpretací (Bruschke a Wacker 2016, 257). Pouze takto vedená dokumentace poskytuje dostačující vysvětlení o transparentnosti postupu tvorby rekonstrukce a důvěryhodnosti vizualizovaného modelu. Přeskočení tohoto procesu tak značně může znevěrohodnit vědecké poznatky, ze kterých se vycházelo a hodnotu celého rekonstrukčního modelu. Vazba použitých dat a tlumočení jejich použití je tak pro posouzení reality obsažené v modelech zásadní a zřetelně tak rekonstrukci odděluje od umění (Bruschke a Wacker 2016, 257).

Hlavním typem dokumentace nejistoty dat byl písemný text doplněný ilustracemi nebo tabulkami, protože tisková forma omezovala rozsah dalších možných digitálních formátů (Reilly 1992, 148, 160). S příchodem databázových systémů pak došlo k explicitnější dokumentaci paradat a metadat a umožnilo zaznamenávat a analyzovat prostorové, časové i funkční aspekty dat včetně úrovní nejistoty (Bruschke a Wacker 2016, 262; Hermon 2008, 39). Databáze v kombinaci s patřičným modelovacím softwarem navíc umožňují propojit vnější informace s modelem a je možná i jejich interakce v reálném čase (Hermon - Nikodem 2008, 143; Fanini - Ferdani 2012, 108). Databáze a diagramy jsou ovšem obvykle velmi složité a 3D modely musí být navíc rozdělené na logické komponenty a architektonické části. Jedním z možných řešení je formát XML, jehož výhodou je dynamická struktura, kompatibilita s již existujícími databázemi a lze ho přímo vložit do 3D modelu, pokud je uložen ve formátu X3D (Bruschke a Wacker 2016, 267). Dalším z vyzkoušených formátů je SQL a tyto formy databází jsou vhodné pro propojení datových množin s vlastnostmi a částečně lze tyto datové množiny i vizualizovat (Bruschke a Wacker 2016, 267, 268). Použití databází pro deskripci výzkumu ve virtuální archeologii je výhodné především v možnosti propojit nejistotu hned s několika různými vztahy (Ryan 2001, 245 - 246). Ke každé hodnotě dat dle jejich typu a původu lze přiřadit konkrétní stupeň nejistoty, kterému lze v dalším kroku zpracování zvolit barevný kód (Apollonio a Giovannini 2015, 8).

¹⁵ Metadata jsou informace o datech a tento termín označuje širokou skupin jak analogových, tak digitálních dat. Standardy nakládání s metadaty zahrnuje Dublin Core (<http://dublincore.org>) a CIDOC (established by the International Council on Museums [ICOM], <http://cidoc.mediahost.org/>).

2.3.4 Koncepty

Ačkoliv v reálném světě se dá neurčitost vyjádřit mnoha způsoby, pro určování nejistoty dat v rekonstrukčních modelech je výhodné, aby existovalo co nejméně pravidel a systém zobrazování byl co nejvíce intuitivní (Cox 1994, 7). Možným řešením může být použití tzv. fuzzy množin prvků, ve kterých se v klasické booleovské teorii množin pracuje pouze se vstupy, které můžou nabývat jen hodnoty od 0 do 1 (https://cs.wikipedia.org/wiki/Fuzzy_mno%C5%BEina). To může být vhodný princip pro představu nejistoty, kdy je v archeologickém kontextu jasně patrné, kdy jsou k dispozici perfektní data založená na skutečnosti a která data mají pouze subjektivní charakter (Sifniotis a kol., 2006; Nicolucci a Hermon 2010, 28).

Použití barev má obvykle subjektivní charakter, už jen z toho důvodu, že byly vytvořeny různé sady pravidel, jak barevné kombinace zobrazují nejistotu dat. Pro barevné škály se tak používá různý barevný kontrast, saturace, jas, hodnoty protilehlých barev, chromatický a achromatický kontrast atd. Další možností je využití vlastností textur, které v sobě mohou obsahovat normálové, difúzní, reflexní a další mapy, z nichž každá má jiné vlastnosti v závislosti na nastavení osvětlení texturovaného modelu.

Dynamické propojení dat přímo s modelem má asi největší potenciál, protože obsahují nástroje pro analýzu kompletních dat a vybudování takto nastaveného informačního systému by tak měl být úkol virtuální archeologie. Zavedené vizuální i textové reference k objasnění zvolené vizuální strategie zobrazení nejistoty jsou totiž často kritizovány jako nedostatečné nebo chybějící a metody hodnocení vizualizace nejistoty zůstávají problémem napříč disciplínami. Vývoj a využití různých technik umožňujících smysluplnější a srozumitelnější prezentaci informací o nejistotě pro rozdílné typy vizualizací, je tak nicméně stále pod konstantním vývojem.

3. TROJROZMĚRNÉ MODELOVÁNÍ V ARCHEOLOGII

3.1 PŘÍPADOVÉ STUDIE

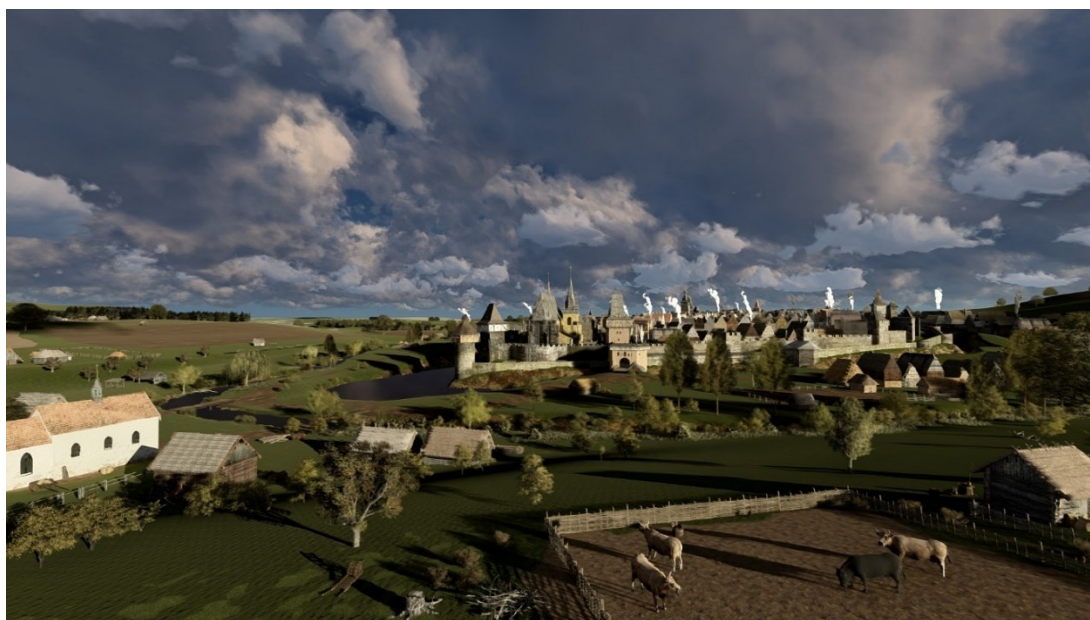
Ačkoliv London Charter jasně postuluje, že každá komunita, ať už akademická, kurátorská, vzdělávací nebo komerční, by měla dodržovat uvedené cíle a metody, ve skutečnosti se to až na ojedinělé případy v podstatě neděje. Z tohoto důvodu tak budou v následujících kapitolách uvedeny případové studie, jak k této problematice přistupoval autor práce. V českém prostředí 3D počítačových rekonstrukcí nebyly otázky vědecké transparentnosti a zobrazování nejistoty v datech doposud pojednány, v následujících ukázkách rekonstrukčních modelů tak je kladen důraz na podrobné osvětlení výběru vstupních dat a jejich interpretace v dané počítačové rekonstrukci. Zároveň je detailně pojednán postup tvorby rekonstrukce, kdy byly vybrány 4 příklady, které se od sebe výrazně odlišují právě metodikou tvorby rekonstrukčního modelu na základě dostupných zdrojových dat. Prvním příkladem je počítačová rekonstrukce města Slaný, pro kterou byla k dispozici poměrně široká škála dat, získaná především z ikonografických a historických pramenů. Jako druhý příklad byla zvolena počítačová rekonstrukce hradiště v Libici nad Cidlinou, kde už pro období raného středověku vidíme znatelný úbytek dostupných dat a tvorba rekonstrukce tak musela vycházet z dat systematických výzkumů v 50. – 70. letech minulého století, ale především z dat nedestruktivních průzkumů lokality. Třetím příkladem je rekonstrukce hradiště Závist v pol. 2. st. př. Kr., protože se jedná o lokalitu, kde byl výzkum proveden již před delší dobou a k dispozici tak byla pouze klasická analogová dokumentace a dále zde bylo testováno, jak probíhá sběr relevantních vstupních dat pro období zemědělského pravěku. Poslední příklad, počítačová rekonstrukce středověkých dolů na stříbro v Dippoldiswalde, byl vybrán z důvodu demonstrace postupu tvorby rekonstrukce na základě moderní dokumentace archeologického výzkumu pomocí laserového skenování. Autor se na těchto datech pokusil vizualizovat nejistotu v datech na základě již provedených řešení uvedených v kap. 2.3 a vytvořit klasifikaci jak kvantifikovat nejistotu počítačové rekonstrukce.

3.2 3D POČÍTAČOVÁ REKONSTRUKCE NA ZÁKLADĚ HISTORICKÝCH PRAMENŮ

3.2.1 Úvod – rekonstrukce města Slaný v r. 1602

Archeologický ústav AV ČR, Praha, v.v.i. provedl ve Slaném v posledních letech několik záchranných výzkumů v souvislosti s revitalizací městského jádra, které zdokumentovaly jedny z nejdůležitějších částí středověkého opevnění města. Autor této práce vedl v roce 2011 výzkum v ulici Vinařického, kde stávala Pražská brána, parkánové hradby v ulici Na hradbách v roce

2012, a v ulici Husova na místě bývalé Lounské brány v roce 2015. V rámci těchto výzkumů byly výrazně posunuty poznatky o stavebním vývoji a charakteru městského opevnění a došlo i k výrazným nálezům, kdy v Pražské bráně byly odkryty kasematy, a před Lounskou branou byl objeven do té doby neznámý kamenný most. Výzkumy byly prezentovány formou výstav a přednášek ve Vlastivědném muzeu ve Slaném a na základě pozitivní odezvy od veřejnosti se autor rozhodl nabyté poznatky prezentovat i prostřednictvím nových technologií. V součinnosti s Městským úřadem a Vlastivědným muzeem tak byl realizován projekt „Virtuálního průvodce po královském městě Slaný ve středověku“ ve formě aplikace s virtuální a rozšířenou realitou, pro který vznikla 3D počítačová rekonstrukce. Ta se z uvedených důvodů soustředila především na městskou fortifikaci a z důvodu dostupných dat byl zvolena její podoba pro rok 1602 (viz obr. 20).



Obr. 20: Pohled na počítačovou rekonstrukční vizualizaci města z úpatí Slánské hory.

3.2.2 Kontext lokality

Z období 8 až 9. st. po Kr. je doloženo osídlení z jihovýchodního úpatí Slánské hory a v 11. st. se rozptýlené sídlištní aktivity stáhly k brodu na místo pozdějšího pražského předměstí, kde obchodní komunikace vedoucí z Prahy do Saska překračovala Červený potok. Místo zvané *Nazlanem* se pak objevuje v zakládací listině břevnovského kláštera a benediktýni z něj mají pobírat díl z trhových a soudních poplatků. Což nasvědčuje tomu, že Slaný plnilo v rámci knížecí administrativy střediskovou funkci a v 11. st. tak vystupuje v jedné řadě s dalšími centry hradské správy, ačkoliv zde pravděpodobně žádný hrad nestál. Kolem roku 1135 pak byl

ostrovskými benediktýny v těchto místech zřízen špitál a postaven kostel sv. Gotharda. Z roku 1239 pochází první dochovaná písemná zmínka o Slaném v listině papeže Řehoře IX., která potvrzuje statky kladrubského kláštera v kraji slánském. V průběhu 13. st. byla ve středních a severozápadních Čechách zřizována královská města, která byla důležitou složkou zemské a státní vojenské soustavy. V druhé polovině 13. st. tak již v této části země fungovaly Litoměřice, Ústí n. Labem, Žatec, Most, Beroun, Mělník a Louny, ale v městské síti stále zbývala jedna citelná a nápadná mezera a někdy v letech 1300 až 1305 tak byl Václavem II. Slaný konečně vysazen na královské město (Křesadlo 1973, 1997; Moucha 1994; Žemlička 1997).

Můžeme usuzovat, že k výstavbě obvodové fortifikace došlo ihned po založení města, i když ve své první podobě se jednalo pravděpodobně o dřevohlinité ohrazení. Existence zděných hradeb, které byly předním atributem středověkých královských měst a výrazem jejich společenského postavení, je pak spolehlivě doložena k roku 1336. Plánované jádro města bylo umístěno na ploché terasovité návrší, ale plánovaná pravidelná urbanistická osnova Slaného musela být deformována výběžkem k jihovýchodu tak, aby kostel sv. Gotharda, který se měl stát kostelem městským (a i s předlokační osadou se rozprostíral nízko u brodu), byl zahrnut do městské fortifikace. Hlavní městská hradba uzavírala plochu cca 10 ha, byla vybudována z místní lomové opuky a pročleněna hradebními věžemi s obdélným půdorysem. V pohusitské době došlo k výstavbě parkánové zdi ležící cca 10 m před hlavní hradbou, která byla vybavena baštami zejména půlkruhového půdorysu. Podobu městského opevnění nejlépe zachycuje veduta Josefa Willenberga z roku 1602, na které jsou jasně patrné fortifikační prvky jako detaily hlavní hradby, kde je viditelný ochoz chráněný předprsí s cimbuřím, či řešení nárožních hradebních věží a kromě toho nám ukazuje i dvě ze čtyř městských bran. Nejvýstavnější byla východní brána zvaná Pražská, která byla kvůli své zranitelné poloze v pohusitské době opatřena barbakánem a plochou rybníka. Na jižní straně města se nacházela fortna, na východní straně stála Lounská brána a jediným dochovaným vstupem do města je brána Velvarská na severu (Kuchyňka 2005; Razím 1997).



Obr. 21: Vizualizace lokace hlavní hradby a rozmístování jednotlivých věží na plánu cestmistra Jeřábka.

3.2.3 Postup tvorby počítačové rekonstrukce

Stanovení plánu města

Nejvýznamnějšími prameny pro rekonstrukci půdorysu podoby města v roce 1602 byl především plán cestmistra Jeřábka z roku 1838 (viz obr. 21), na kterém je dobře rozeznatelný především průběh hlavní hradby a systém rozmístění věží. Nejlépe rozeznatelná část je na západní straně, kde hradební úseky na obě strany od Lounské brány měří shodně cca 70 metrů, jsou opatřeny dvěma věžemi a nakoso umístěnou nárožní věží (Razím 1997, 28). Tato informace společně s pozorováním rozmístění dochovaných věží na jihozápadní straně umožnila stanovit délku kurtin na cca 20 metrů, což potvrzuje i mapa stabilního katastru z roku 1840. V rekonstrukci tak byly použity uvedené vzdálenosti, což vygenerovalo celkem 33 věží hlavní hradby a je tak ve shodě i s pozorováním dle Razíma (1997, 28).

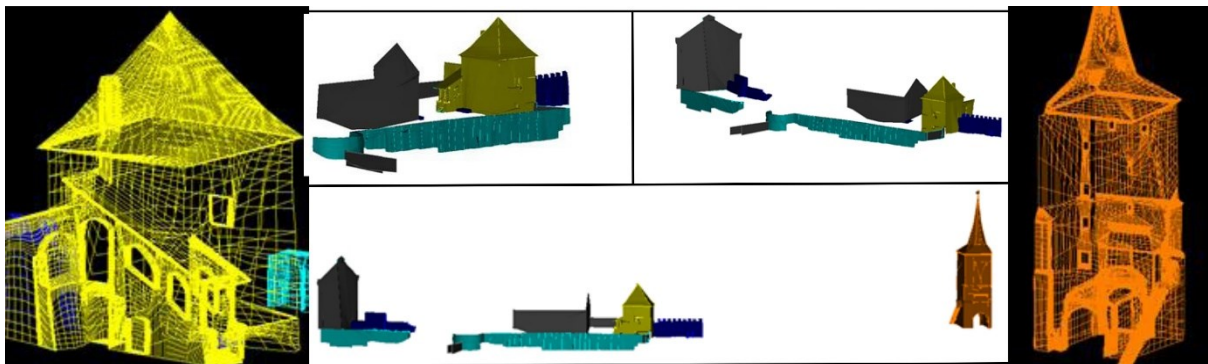
Další výrazné informace o lokalizaci zájmových objektů poskytla mapa stabilního katastru z roku 1841, ve které lze opět vystopovat jak částečný průběh hlavní hradby, tak i parkánu, který je nejlépe patrný především na jihovýchodní straně města (viz obr. 22).. Na obou plánech lze identifikovat celkem šest oblých bašt a dvě pětiboké bašty s osovým břitem, severně a jižně od Pražské brány. Průběh parkánové zdi a bašt, tak byl stanoven především na základě zmíněných plánů a dochovaných reliktnů.



Obr. 22: Postup lokalizace fortifikačních prvků na plánu stabilního katastru 1841.

Dalším nedocenitelným zdrojem informací byly relikty městské fortifikace. Do současné doby se zachovalo šest věží a drobné úseky hlavní hradby, lepší je situace s parkánovou zdí, kde jsou celé úseky včetně bašt dochovány na jižní a částečně i severní straně města. Nejvhodnější část na severní straně v ulici Na hradbách, kde je k dispozici část jak hlavní hradby s dvěma věžemi, tak i parkánu s baštou, navíc byla zdokumentována v průběhu zjišťovacího výzkumu v roce

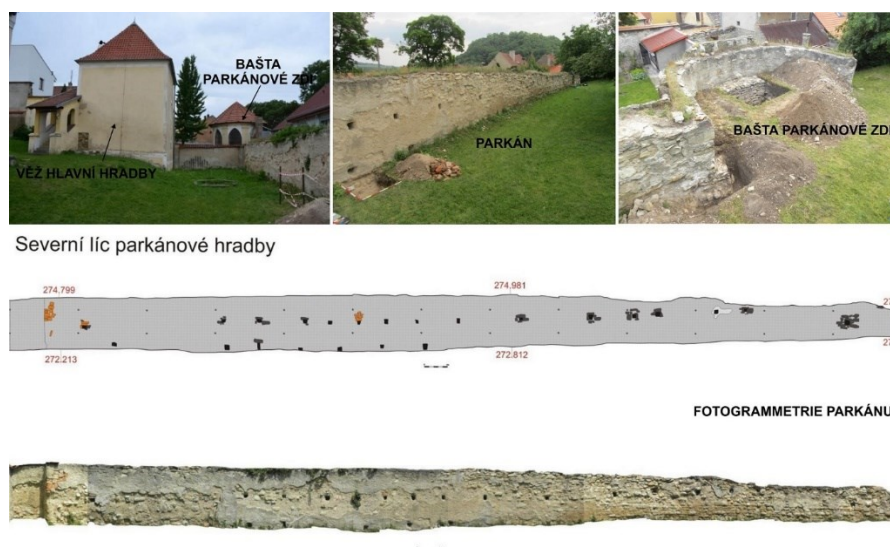
2012 včetně zaměření nebo fotogrammetrie (viz obr. 25) a k dispozici byly i data ze 3D laserového skenování poskytnuté Lukášem Hortem, studentem ČVUT, který tuto část opevnění dokumentoval pro svou bakalářskou práci a se kterým autor spolupracuje i na dalších projektech (viz obr.23).



Obr. 23: Data z laserového skenování části městského opevnění (Hort 2017). Žlutě – věž hlavní hradby, tmavě modře – hlavní hradba, světle modře - parkán včetně jedné bašty, oranžově – Velvarská brána, šedě – moderní objekty.



Obr. 24: Detail rozmístění fortifikačních prvků na severní straně města mezi Pražskou a Velvarskou bránou.



Obr. 25: Fotografie a ukázka výstupů ze zjišťovacího výzkumu Na hradbách z roku 2012.

Syntézou ze starých plánů, současné satelitní mapy, dokumentace z výzkumů a poznatků z literatury (Hoffmann 1992; Křesadlo 1973, 1997; Žemlička 1997) byl vytvořen schématický podkladový plán, kde už je zanesen kompletní průběh městského opevnění, uliční schéma a vnitřní zástavba. Vzhledem k tomu, že se 3D modelování primárně soustředilo na městskou fortifikaci, nebylo řešení vnitřní zástavby řešeno do detailu (viz obr. 26, 27).



Obr. 26: Vizualizace transparentního rozmístění jednotlivých objektů na podkladu mapy stabilního katastru zhotovená z důvodu kontroly a ověření správnosti lokací.



Obr. 27: Dalším krokem byl už hmotový model celého města, přičemž prvky městské fortifikace, na které byl kladen důraz, byly rovnou i otexturovány.

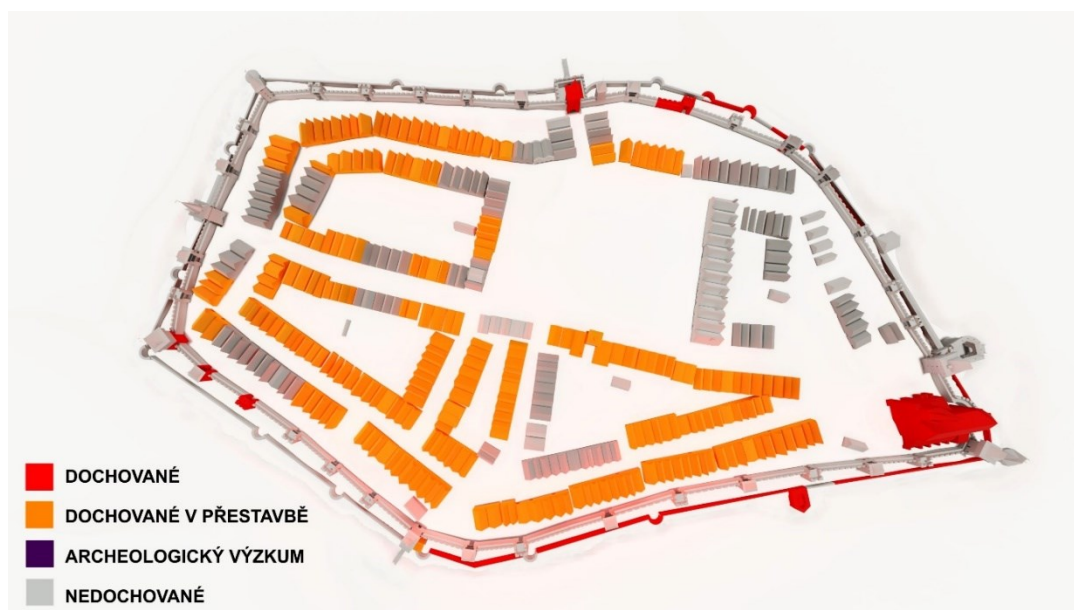
Pro import terénu byla zvolena metoda získání trojrozměrného digitálního modelu prostřednictvím pluginu programu SketchUp, který umožňuje získat tato data z Google Earth. Byla tak postupně naimportována data v rozsahu 1,5 km na všechny strany od centra města pomocí funkce Geolocation a převedena do 3D. Tato metoda není zcela přesná, protože hustota výškových dat se v rámci Google Earth liší v závislosti na poloze, většina dat pochází ze Satellite Radar Topographic Mapping a mohou nabývat vertikálních i horizontálních chyb i do několika desítek metrů (Sheppard – Cizek 2008). Vzhledem k tomu, že důraz byl kladen především na správné umístění jednotlivých objektů a na území města se nenacházejí nijak výrazné terénní zlomy, byla tato nepřesnost akceptována. Na vzniklý digitální model terénu pak byl importován model města a jednotlivé objekty byly elevačně upraveny, aby kopírovaly povrch (viz obr. 28).



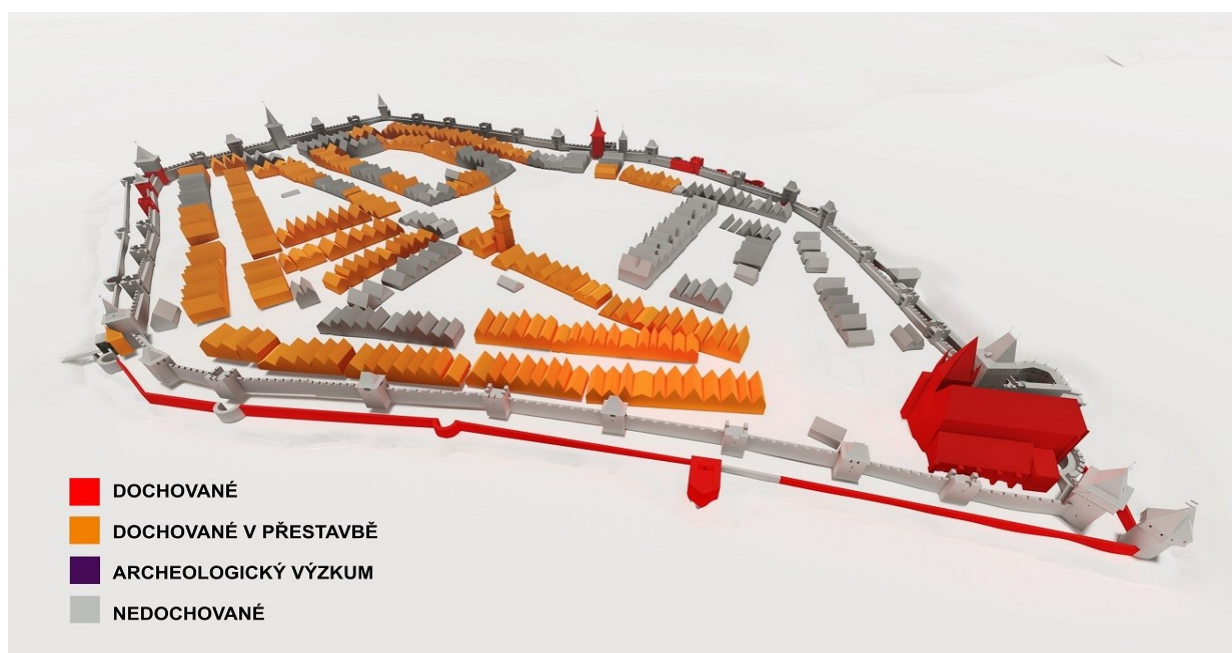
Obr. 28: Vsazení modelu rekonstrukce města na digitální model terénu.

Modelování jednotlivých objektů

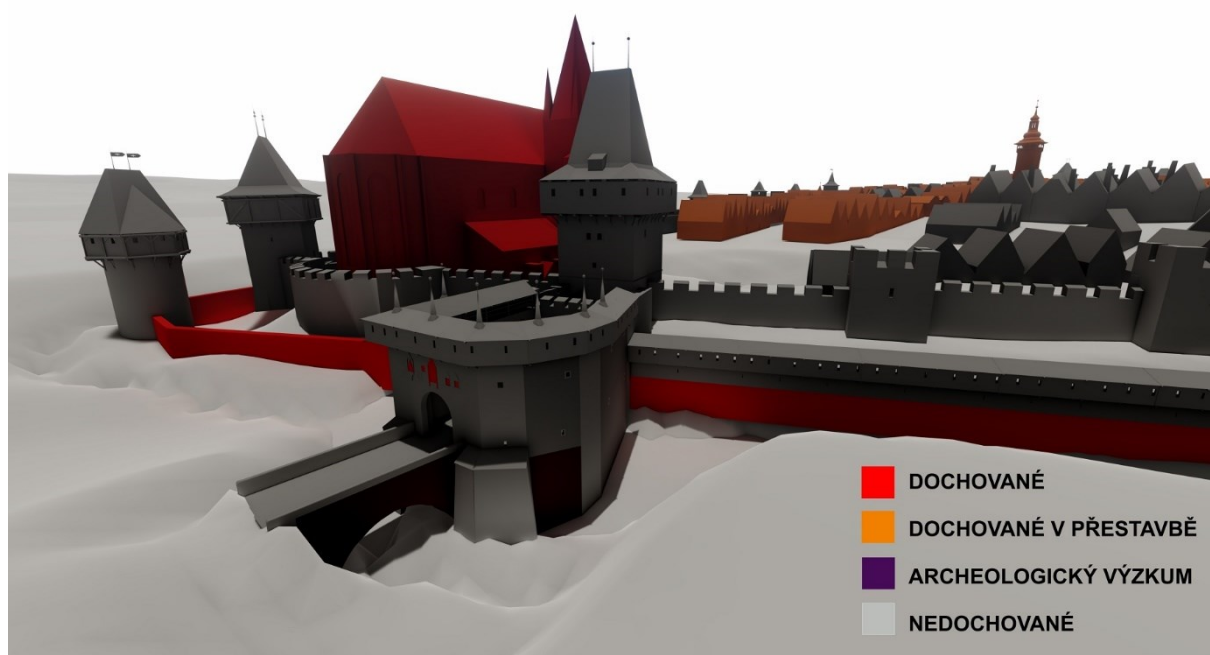
Pro získání podoby jednotlivých částí města bylo zásadním pramenem studium ikonografických pramenů, dále studium písemných pramenů a analogie z doposud stojících reliktnů z jiných vrcholně středověkých královských měst. Jak již bylo popsáno výše, z tak rozsáhlého komplexu městského opevnění zůstalo po vandalském boření během 19. století pouze torzo, tedy pouze několik úseků hlavní hradby nebo parkánové zdi, 6 věží hlavní hradby, čtyři bašty a ze čtyř městských bran stojí pouze Velvarská na severní straně města. Aby bylo možné si udělat představu o minimálním dochování městské fortifikace, byla vytvořena vizualizace znázorňující současný stav této nemovité kulturní památky (viz obr. 29 - 32).



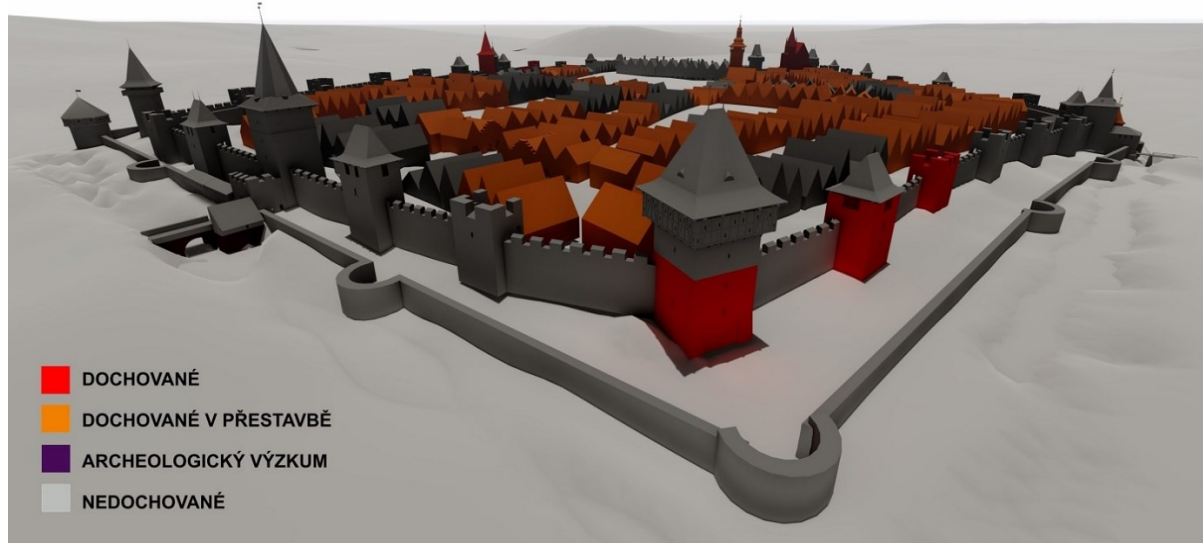
Obr. 29: Vizualizace stavu dochování městského opevnění ve Slaném.



Obr. 30: Stav dochování městského opevnění na jižní straně města.



Obr. 31: Stav dochování městského opevnění u Pražské brány.

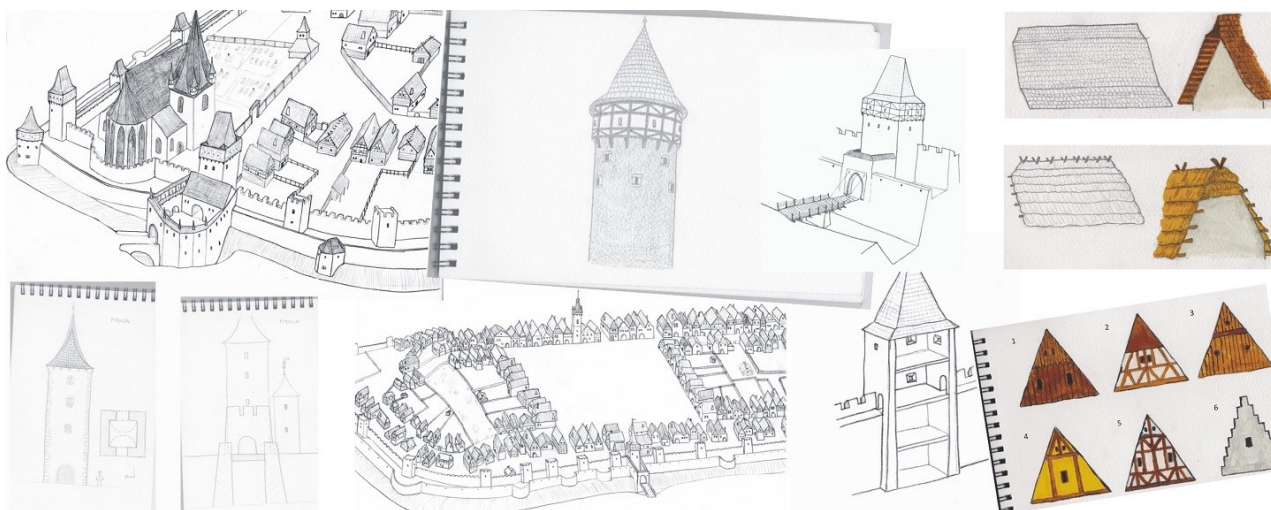


Obr. 32: Stav dochování městského opevnění jižně od Lounské brány s dochovanými věžemi hlavní hradby.

Jedním z nejdůležitějších pramenů, jak ostatně napovídá název celé počítačové rekonstrukce, se stala tzv. Willenbergova veduta z roku 1602 (Žemlička – Sematonová 1998, obr. č. 33). Jedná se o pohled na město od severovýchodu, které Jan Willenberg nakreslil kolem roku 1600 a aby zachytil celé panoráma města, použil výhledu ze Slánské hory. Díky tomuto „šťastnému“ výběru místa a částečnému nadhledu nás veduta informuje i o podobě vnitřní zástavby a charakteru všech důležitých staveb, což často schází u jeho jiných pohledů na města a hrady kreslených z obvyklé perspektivy. Veduta zachycuje zásadní prvky opevnění jako je podoba horních partií hradby, řešení nárožních věží, specifika průběhu hradeb u kostela sv. Gotharda a Velvarské brány, kompletní podobu Pražské brány atd. Ještě před samotným modelováním konkrétních objektů si autor na základě této veduty, ale i dalších pramenů (viz následující text) pro lepší představu vytvořil kreslenou skicu zachycující město a některé konkrétní objekty (viz obr. 34). To bylo velice vhodné při porovnávání nakreslené podoby s různými prameny a především těmi psanými, kdy tato předběžná vizualizace posloužila v podstatě ke korekci chyb, které by se jinak přihodily ve 3D počítačovém prostředí.



Obr. 33: Willenbergova veduta, v popředí nalevo Pražská brána s kostelem sv. Gotharda (Žemlička – Sematonová 1998, obr. č. 2).



Obr. 34: Skicy pro utváření představy o podobě města Slaný v roce 1602.

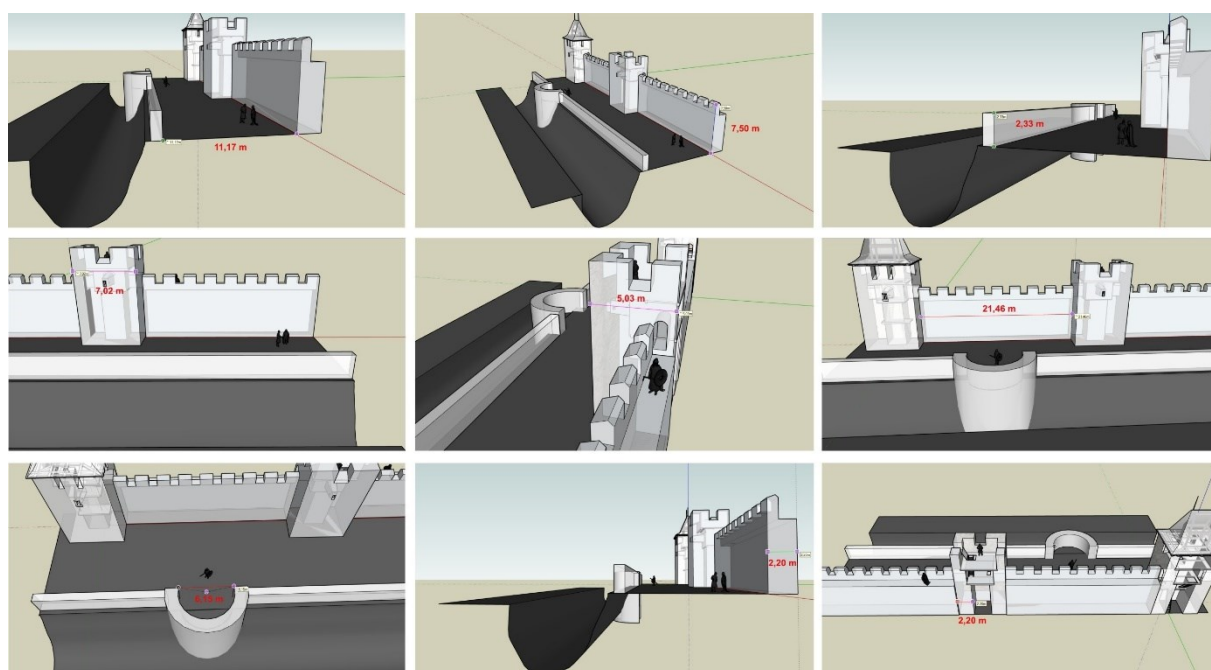
Hradby

Hlavní hradba byla vybudovaná z místní opuky, její tloušťka byla kolem 220 cm a o její výšce vypovídá dochovaná část v ulici Na hradbách a také vstup do prvního patra Velvarské brány, který je 5 m nad dnešní úrovní. O podobě horních partií nás informuje Willenbergova veduta, kde je ochoz chráněn předprsní s cimbuřím a k dispozici je i nákras profilu hradebního pásma z roku 1778 (Razím 1997, 27, 29). Parkánová zed' ležela ve vzdálenosti 10 – 13 m před hlavní

hradbou, což lze potvrdit jak pozorováním v terénu, tak i na starých plánech. Síla zdi se pohybuje mezi 80 – 90 cm, z vnitřní strany dosahovala výšky 2 – 2,5 m a obsahuje řadu střílen rozmístěných 3 – 4 m od sebe (Razím 1997, 29). Věže hlavní hradby mají obdélný půdorys s bočními stranami dlouhými 5 m a čelní stranou dlouhou 5 m, síla zdi byla stejná jako u hradby, plně předstupovaly před líc hradby a z vnitřní strany byly otevřené (Razím 1997, 28). Bašty byly kromě dvou vyjímek půlkruhového půdorysu o průměru 6,5 – 8 m a s tloušťkou zdiva větší než přilehlé úseky hradby (Razím 1997, 29). Uvedené rozměry a charakteristiky, tak byly zakomponovány do 3D modelu (viz obr. 35, 36).



Obr. 35: Vlevo profil hradebního úseku z roku 1778, uprostřed počítačová rekonstrukce, vpravo kresba J. Šembery z roku 1822.



Obr. 36: Příklady zachování rozměrů u modelu hradebního pásma a jejich kontrola v programu SketchUp.

Specifické nárožní věže hlavní hradby nebo parkánu musely být pro nedostatek jiných údajů řešeny pouze na základě Willenbergovy veduty (viz obr. 37). Specifické pětiboké bašty, které byly součástí fortifikačně exponovaného úseku u Pražské brány, byly modelovány na základě údajů z jediné dochované, jejíž symetrický pětiboký půdorys je stanoven dvěma bočními stranami o délce 10 m, které kolmo navazují na parkán a jsou pak spojeny navazujícími úseky tvořícími pravoúhlý břit. Dochované zdivo dnes dosahuje až 5 m výšky, síly 2,2 m a uprostřed zkosených stran jsou dochovány dvě komorové střílny (viz obr. 38).



Obr. 37: Řešení nárožních věží u Pražské brány na základě Willenbergovy veduty a vzájemné porovnání.



Obr. 38: Řešení bašty s pětibokým půdorysem na základě současného stavu a vzájemné porovnání.

Městské brány

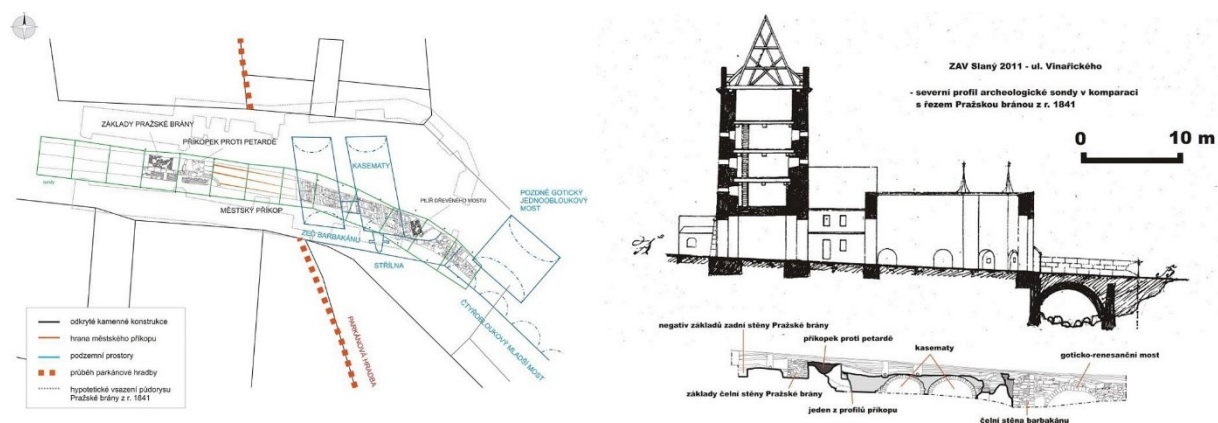
Pražské bráně byla jako nejzranitelnějšímu článku městského opevnění věnována vždy patřičná pozornost a v pohusitských přestavbách proto byla opatřena mohutným barbakánem

s kamenným mostem a hranolová průjezdní věž byla výrazně přestavěna a završena obranným podlažím. Barbakán byla obranná stavba nejčastěji okrouhlého nebo polygonálního půdorysu, v níž se lomila přístupová cesta tak, aby byla samotná brána chráněna před přímým postřelováním nepřítele. Barbakán Pražské brány byl jednopatrový s komorovými střílnami v obou podlažích a vrcholil ještě hrázděným patrem, krytým sedlovou stříškou s věžičkami v nárožích. Nad vjezdem byla zasazena bohatá heraldická výzdoba, která je dnes k vidění na chodbě Vlastivědného muzea. Pražská brána byla zbořena v letech 1841 – 1843 (Razím 1997, 30; Velc 1904, 216 – 218).

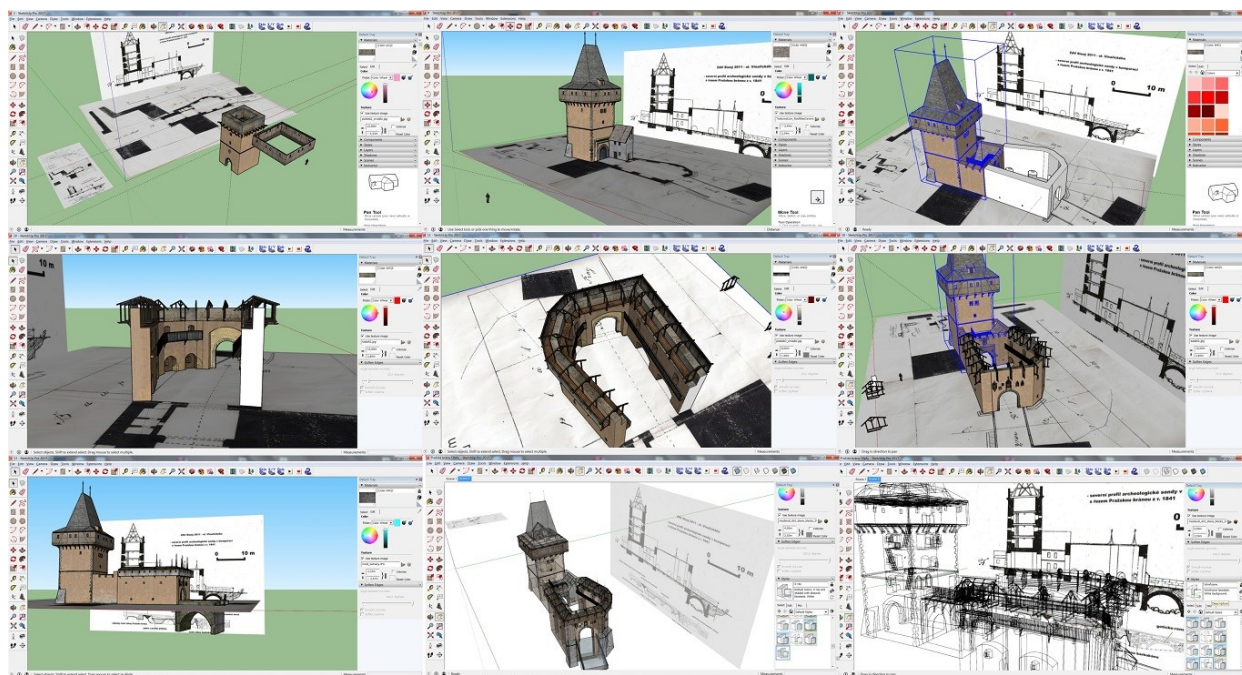
Nejvíce dostupných informací se vztahovalo k Pražské bráně, která byla pro svoji výstavnost častým cílem zobrazení a k dispozici tak bylo hned několik ikonografických pramenů (viz obr. 39). Architektonické prvky a detaily brány byly tedy vztaženy z ikonografických pramenů (Willenberg, Šembera, Prokop a další). Další údaje potvrzující především jednotlivé stavební fáze brány, byly získány během záchranného archeologického výzkumu (viz obr. 40). Ale především se zachoval plán brány z roku 1841, pořízený tedy těsně před jejím zbořením, který obsahoval jak půdorys, tak i řez branou. Údaje v plánu byly porovnány s plány a zaměřením z archeologického výzkumu a v podstatě nedošlo k žádným korekcím. Bylo tak zvoleno modelování přímo v plánu a byly dodrženy v něm obsažené veškeré prostorové údaje (viz obr. 41, 42). Další cenné informace obsahoval Soupis památek českých (Velc 1904, 216 – 218), kde je především dobře popsána bohatá heraldická výzdoba nad průjezdem barbakánu.



Obr. 39: Výběr z ikonografických pramenů vztahujících se k Pražské bráně (vlevo olejomalba Karla Wurbse 1855, uprostřed Josef Šembera 1822, vpravo Franz Prokop 1837).



Obr. 40: Porovnání dat ze záchranného výzkumu s plánem pořízeným před zbořením brány.



Obr. 41: Jednotlivé kroky postupu modelování Pražské brány.



Obr. 42: Pohled do nitra barbakánu Pražské brány v hotové počítačové 3D rekonstrukci.

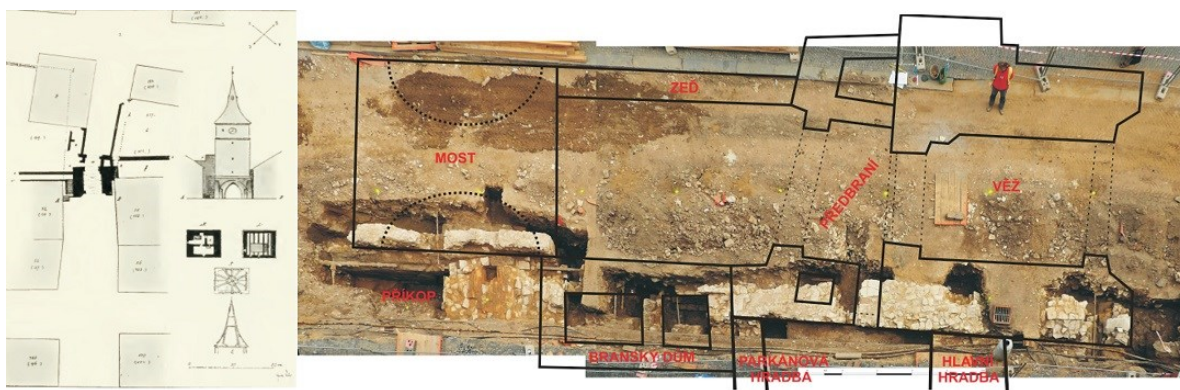
Lounská brána byla spolu s dalšími slánskými branami vystavěna bezprostředně po založení města. Po dobytí Slaného husity v roce 1425 byla brána stejně jako ostatní části obranného systému pobořena a v letech 1460 – 72 prošla, stejně jako celý systém městského opevnění, významnou přestavbou. Roku 1565 bylo rozhodnuto Lounskou bránu dále zkvalitnit, věž byla zvýšena a osazena jehlancovým krovem s cimbuřím a s věžičkami v rozích. V neklidných časech Třicetileté války byla brána při požáru 1634 spolu s dalšími 196 městskými domy znovu poničena, dalším významným zásahem byl velký požár, který postihl město Slaný v roce 1795 a v roce 1835 byla Lounská brána zbořena (Velc 1904, 218 – 219).

Z hlediska dostupných dat byla podstatně složitější situace při rekonstrukci Lounské brány, jejíž podoba takřka zcela chybí v ikonografických pramenech a k dispozici jsou pouze dvě v podstatě identické rytiny s pohledem na město od západu (1678, 1680 – viz obr. 43) a opět Willenbergova veduta, ve všech jsou ovšem zachyceny pouze horní partie věže brány. Ohledně proporcí komplexu brány jsou k dispozici poměrně podrobné údaje v Soupisech památek českých (Velc 1904, 218 – 219), kde je uveden i půdorys brány zhotovený ze zchovalého privátního plánu z roku 1835. Ten bylo až do provedení záchranného výzkumu v roce 2015 poměrně těžké interpretovat, ale v komparaci s daty získanými v terénu bylo možné identifikovat jednotlivé části brány (viz obr. 44). K roku 1602 tak bylo možné komplex brány

rekonstruovat jako průjezdnou hranolovou věž, která měla 4 patra, z nichž poslední vzniklo v roce 1609 (Razím 1997, 30), mělké předbrání, před kterým výzkum odhalil vlčí jámu, branský domek a jedno-obloukový most překračující příkop (viz obr. 45).



Obr. 43: Jediná dostupná ikonografie vztahující se k Lounské bráně.



Obr. 44: Komparace plánu z roku 1835 s výsledky záchranného výzkumu.

Asi nejméně podkladových dat bylo k dispozici k městské brance pro pěší, fortně, na jižní straně města, jejíž už modifikovaný půdorys je zachycen na Jeřábkově plánu a mapě stabilního katastru, o fyzické podobě nás informuje Šemberova kresba z roku 1822. Z těchto informací lze odvodit, že v linii hradby stála průjezdná hranolová věž, k níž z východu přiléhala lehce směrem k jihu pootočená drobnější vodárenská věž a předbrání zasahovalo až do prostoru příkopu (Razím 1997, 30 – 31; viz obr. 46).

Diametrálně odlišná situace nastala u Velvarské brány, která se jako jediná dochovala, takže mohla být využita data ze 3D skenování a také 3D fotogrammetrie, která posloužila především k otexturování povrchu. O předbrání brány, které zaniklo bez dokumentace roku 1823, podává nejvýraznější informace opět Willenbergova veduta, která zobrazuje podélné předbrání s cimbuřím, které předstupuje až do prostoru příkopu o délce až 10 metrů, přes příkop je položen dřevěný most. Z východní strany parkánová zeď nepřiléhá přímo k předbrání, ale je zatažena

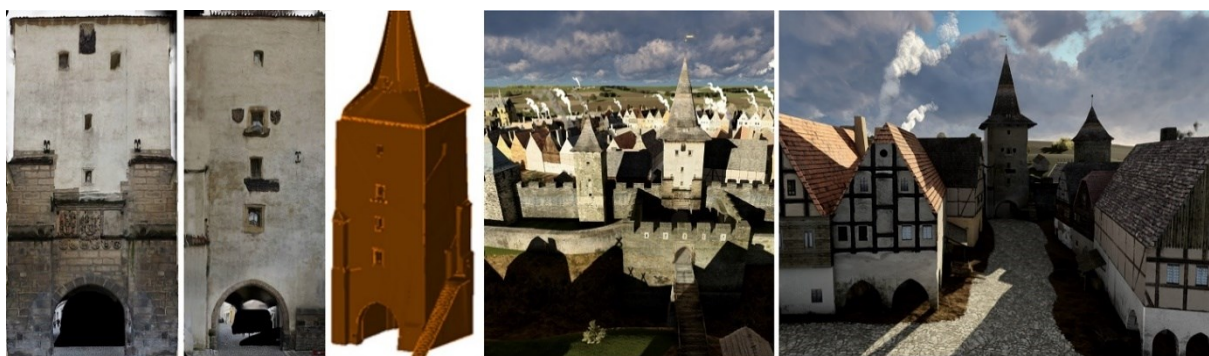
až k hlavní hradbě a po boku brány zvyšuje její obranu ještě štíhlá věž s jehlancovou střechou (Razím 1997, 30). Ze stavebně-historického průzkumu lze usuzovat, že v pol. 15. st. byla brána na vnitřní straně uzavřena a zvýšena, na přelomu 15. a 16. st. byla opatřena kvádrovým obkladem a bohatou heraldickou výzdobou (viz obr. 47).



Obr. 45: Finální podoba 3D počítačové rekonstrukce Lounské brány.



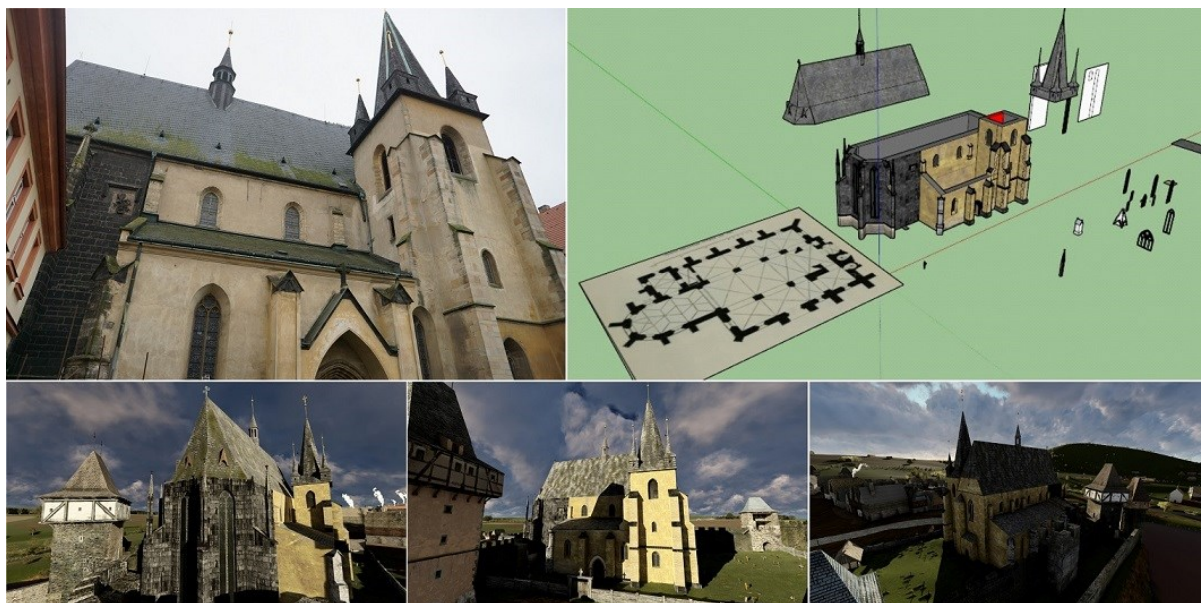
Obr. 46: Dostupné prameny a finální podoba rekonstrukce fortny.



Obr. 47: Využití dat z fotogrammetrie a skenování pro rekonstrukci Velvarské brány.

Další stavby

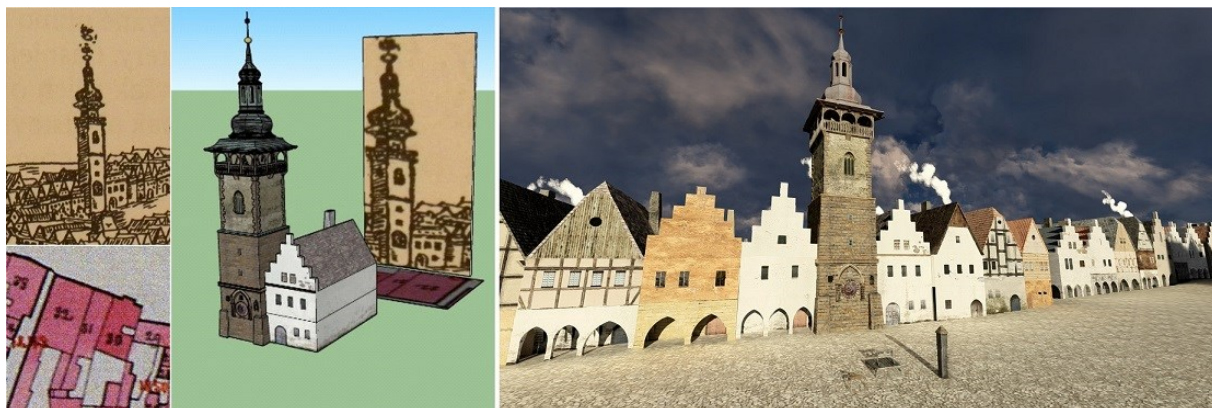
Pro rekonstrukci kostela sv. Gotharda byly využity ikonografické prameny identické s těmi použitými pro sousední Pražskou bránu, informace z literatury a komparace se současným stavem, neboť zmiňované opravy a úpravy (1614, 1641, 1788, 1874, 1890 – Velc 1904, 227 – 228) se povětšinou týkaly interiéru nebo krovů. V podstatě identická podoba provedené rekonstrukce a současného stavu byla zvolena i z toho důvodu, že kromě Velvarské brány, jde o jediný objekt, který má pro diváka jasný přesah do současnosti a umožňuje tak zřetelnější pochopení celé rekonstrukce města (viz obr. 48).



Obr. 48: Současný stav, postup modelování a finální vizualizace kostela sv. Gotharda.

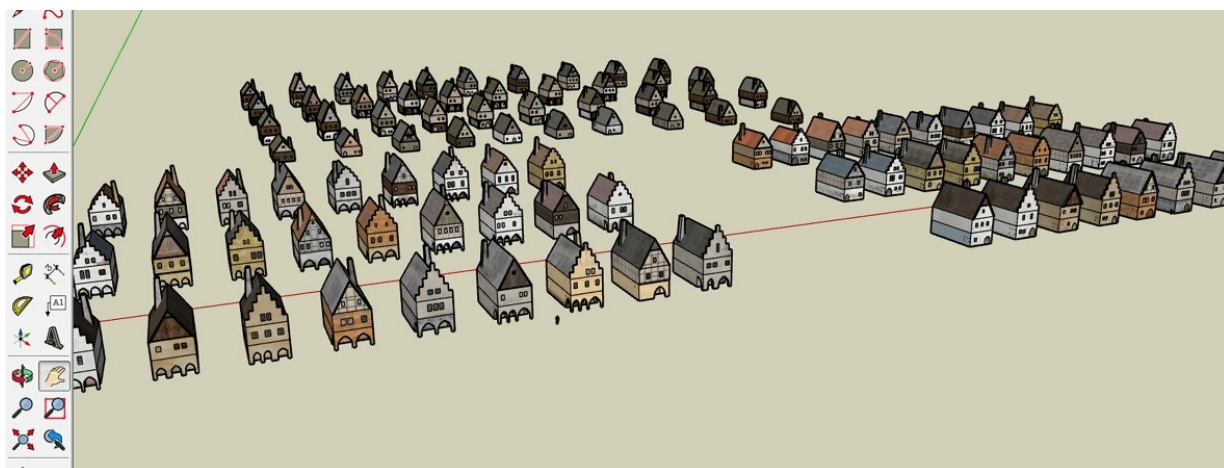
K městské radnici, která v přestavbě stojí na náměstí, byly k dispozici pouze údaje na mapě stabilního katastru ohledně půdorysu, z ikonografických pramenů opět zachycuje radnici nejlépe Willenberg (viz obr. 49) a podstatné informace byly čerpány z písemných pramenů. Ty

uvádějí, že šlo o stavení s vysokým stupňovitým štítem s okny a vysokou hranolovitou věží opatřenou galerií či pavlačí, na ní seděla cibulovitá střecha s makovicí, na které byla umístěna pozlacená hvězda jako odkaz na husitské období a ve výši prvního patra byl umístěn čtyřiaadvacetihodinový orloj, upomínající svojí výzdobou orloj staroměstský v Praze. Před radnicí stál praněř, trdlice a kruh s řetězy. Stará radnice roku 1795 shořela a byla obcí znovu postavena; poslední větší opravou při které jí byla vtisknuta renesanční podoba pak prošla roku 1890.



Obr. 49: Modelování stavby radnice především na základě písemného popisu.

Jak již bylo řečeno, tak vzhledem k tomu, že počítačová rekonstrukce byla zaměřená na městskou fortifikaci, nebyla vnitřní zástavba studována do detailu. Podoba parcel a domů tak byla získána z obecných poznatků literatury o středověkých českých městech (Hoffmann 1992), využita byla data z ikonografie (především Willenbergova veduta) a reálná podoba domů ve Slaném datovaných minimálně do 17. století, tak nebyla v rekonstrukci reflektována. Byly vytvořeny tři hlavní skupiny domů (viz obr. 50), jedna skupina honosných kamenných domů s podloubím především pro oblast náměstí, druhá skupina rozměrově stejných domů, s větším zastoupením dřevěných částí konstrukce pro oblast hlavních ulic (západojižní osa kudy probíhala cesta do Saska, dnešní ulice Vinařického a Husova) a třetí skupina rozměrově menších domů s dominantním zastoupením dřeva jako stavebního materiálu pro periferní oblasti mimo centrum).



Obr. 50: Ukázka připravených modelů městské zástavby rozdělených do tří hlavních skupin.

Texturování objektů

Aby byla zachována co největší historická věrnost rekonstrukce a vzhledem k tomu, že torzovité dochování ve Slaném neumožnilo pořídit dostatečná data k otexturování všech objektů, byla podniknuta studijní cesta pro vytvoření vhodné databanky textur (viz obr. 51). Cílem bylo navštívit taková místa, kde je stále možné pozorovat velké intaktní části městského opevnění a data tak byla nasbírána v Tachově (především hlavní hradba a její věže), Lounech (hlavní hradba, parkánová zeď, brána), Kadani (hlavní hradba, parkánová zeď, barbakán, ostění a střílny), Lokti (parkánová zeď, bašty, střílny) a Stříbře (parkánová zeď, most). Jak již bylo pojednáno v předchozí kapitole, výraznou pomocí a zároveň inovativním postupem, bylo využití fotogrammetrie, která oproti klasickému fotografování umožnila získat nové formy dat.



Obr. 51: Ukázka ze získaných textur dle typu (vlevo střílny a okna) nebo dle místa (vpravo část dat z Kadaně).

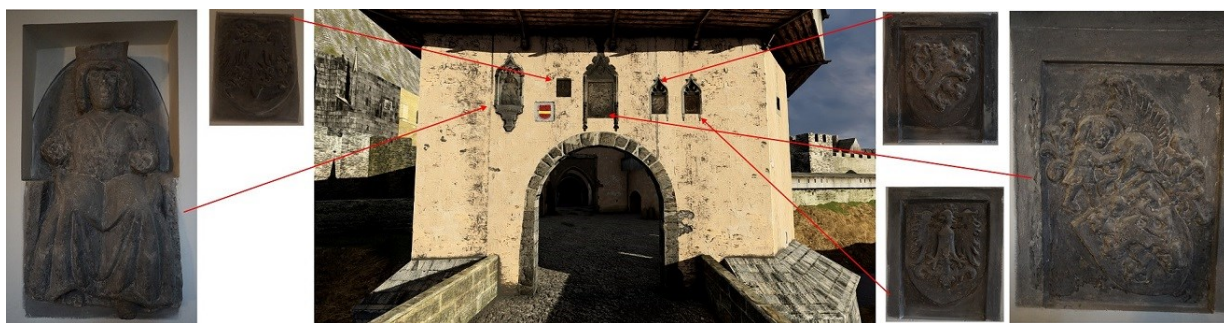
Bohatá sada textur byla nasbírána v historickém skanzenu v Bärnu, kde je více než 30 zrekonstruovaných budov z období středověku s přidruženými hospodářskými budovami (viz obr. 52). Důležité je, že se jedná o rekonstrukce s použitím původních materiálů a tehdejších technik. Ačkoliv těžiště prezentovaných staveb spadá do období 9 – 13. století, tak vzhledem

k tomu, že byly dokumentovány jen části konstrukcí, tzn. střechy, omítky, dveře, okna atd., je jejich použití i pro rok 1602 snad dobře obhajitelné.

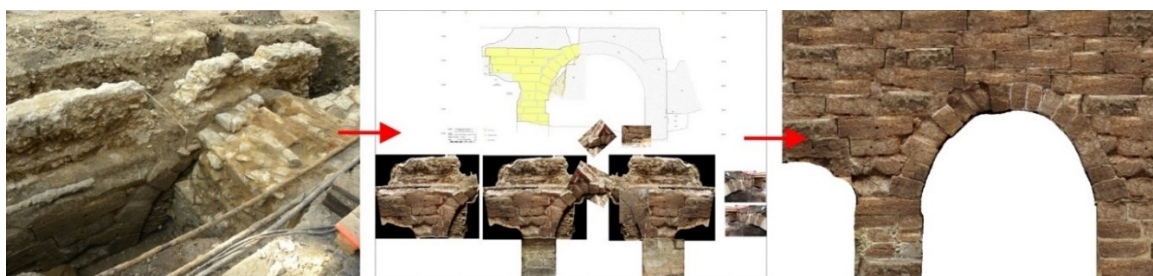


Obr. 52: Ukázka textur částí konstrukcí pořízených v archeoskanzenu v Bärnau.

Samozřejmě tam kde to bylo možné, tak byly využity textury z reálných povrchů z částí dochovaného městského opevnění přímo ve Slaném. Jak již bylo zmíněno v předchozím textu, byly prostřednictvím fotogrammetrie získány textury z Velvarské brány nebo pětiboké bašty. Získání většího počtu textur bránilo torzovité dochování opevnění, ale hlavně jeho pozdější úpravy, kdy je obvykle povrch kryt omítkou. Alespoň virtuálně se po 150 letech podařilo na Pražskou bránu navrátit heraldický program rozvinutý na barbakánu, který jako jediná část brány přežil její zbourání a je k vidění na chodbách Vlastivědného muzea (viz obr. 53). Z dat záchranného výzkumu se zase podařilo získat texturu pro most Lounské brány, která byla vytvořena úpravou fotografií v programu Adobe Photoshop, neboť část mostu byla v průběhu výzkumu krytá přiloženým mostem z 19. století, kdy se pravděpodobně po zbourání brány rozšiřoval vjezd do města (viz obr. 54).



Obr. 53: Navrácení heraldické výzdoby zpět na Pražskou bránu.



Obr. 54: Postup vytvoření textury pro most Lounské brány z dat získaných výzkumem.

3.2.4 Nejistota dat rekonstrukce

Pro vizualizaci nejistoty v datech při tvorbě rekonstrukce byla vytvořena tabulka, kde je několik deskriptorů hodnotících dostupnost a kvalitu vstupních informací. Pro každý z nich byl zvolen hodnotící systém umožňující na výběr ze tří možností a více variant nebylo vloženo hlavně z toho důvodu, aby se co nejvíce zamezilo subjektivnímu rozhodování. Dle zvolené možnosti je každému z deskriptorů přiřazena hodnota 100, 50 nebo 0, údaje jsou sečteny a jejich zprůměrováním vznikne finální vyjádření důvěryhodnosti konkrétního 3D modelu. Takto získaným údajům je pak možné podle zvoleného klíče přiřadit jejich vizuální vyjádření. Tento postup byl v počítačové rekonstrukci města Slaný vyzkoušen pro kompletní model městské fortifikace a výběrově pro rekonstrukci Pražské brány.

	100	50	0
ZACHOVÁNÍ	celý / z větší části	pouze relikv / výrazná přestavba	ne
PROSTOROVÁ LOKALIZACE	je zaměřeno / lze zaměřit	staré plány a mapy / jiné upřesnění	pouze odhadnuto
ARCHEOLOGICKÝ / SHP VÝZKUM	ano	částečně	ne
3D DIGITÁLNÍ DOKUMENTACE	ano / z větší části	jen částečně	ne
DETAILNÍ ZAMĚŘENÍ / STAVEBNÍ PLÁNY K OBJEKTU	ano	částečně	ne
IKONOGRAFICKÉ PRAMĚNY	3 a více / nebo Willenberg	1 nebo 2	žádné
JASNÁ ANALOGIE	ano	částečná	ne
PÍSEMNÉ PRAMĚNY	podrobně	pouze zmínka	ne
TEXTURA	reálná	odvozená	bez kontextu
ARCHITEKTONICKÝ KONTEXT, LOGIKA	ano	částečně	ne

Tab. 1: klasifikační systém nejistoty dat pro 3D rekonstrukční modely.

Vysvětlivky jednotlivých deskriptorů:

Zachování – stupeň zachování objektu samozřejmě zásadně ovlivňuje možnosti jeho virtuální rekonstrukce. Maximální hodnota je tak přiřazena pokud je objekt zachován celý nebo alespoň z větší části, kdy je stále možné pochopit celý kontext. Střední hodnota je zvolena, pokud se jedná pouze o relikv, což se ale týká třeba i zahloubených archeologických objektů typu polozemnic a kůlových konstrukcí.

Prostorová lokalizace – tento deskriptor zjišťuje, zdali je možné v rámci větších rekonstrukčních modelů přesně dodržet prostorové vztahy mezi jednotlivými objekty a dalšími entitami. Maximální hodnotu tak lze použít pro situace, kdy je daný objekt geodeticky zaměřen, případně ho lze lokalizovat pomocí nových digitálních nástrojů, jako jsou různé online mapy, LIDAR atd. Střední hodnota je definována použitím starých plánů a map, nebo použitím nepřesných skic či slovního popisu.

Archeologický / SHP výzkum – archeologický výzkum nebo stavebně-historický průzkum samozřejmě generují výrazný soubor dat, která v pozitivním smyslu ovlivňují práci na rekonstrukčním modelu, ať už jde o prostorová data a vztahy, detailní deskripci materiálů, kresebnou a fotografickou dokumentaci atd. Jednoduše je tak maximální hodnota zvolena, pokud je objekt prozkoumán v celistvosti a střední hodnota, pokud jen částečně.

3D digitální dokumentace – pokud jsou k dispozici data pocházející ze 3D laserového nebo optického skenování či více-snímkové fotogrammetrie, lze tyto výstupy použít pro výrazné zpřesnění počítačové rekonstrukce nejen z hlediska prostorové přesnosti, ale i pochopení použitých materiálů, struktury a barevnosti povrchu, textur atd. Lze tak zvolit, zdali je objekt zaznamenán celý nebo z větší části pro získání maximální hodnoty; pokud jsou k dispozici pouze částečná data, je zvolena střední hodnota.

Detailní zaměření / stavební plány – zde jde o to zjistit, zdali existuje dokumentace se záznamem detailních prostorových dat k danému objektu, jako je podrobné geodetické zaměření nebo kupříkladu stavební plány. Lze zvolit, je-li k objektu dostupná kompletní dokumentace pro maximální hodnotu nebo jen částečná pro střední hodnotu.

Ikonografické prameny – jsou-li k dispozici alespoň 3 a více zobrazení daného objektu a je možné si tak udělat poměrně podrobnou představu o charakteru objektu z více úhlů pohledu nebo rozdílných časových úseků, lze zvolit maximální hodnotu. Pokud je k dispozici pouze jedno nebo dvě zobrazení, je zvolena střední hodnota. Pokud je daný objekt zobrazen na zásadním ikonografickém prameni – jako v případě Slaného Willenbergova veduta – lze zvolit maximální hodnotu i při přístupnosti pouze tohoto zobrazení.

Jasná analogie – v případech, kdy je možné využít zřetelnou analogii k danému objektu, lze zvolit maximální hodnotu, pokud se jedná o volnější reminiscenci, je navolena střední hodnota.

Písemné prameny – poměrně diskutabilní pramen pro tvorbu rekonstrukce, ale pokud např. obsahuje podrobný metrický popis nebo deskripci výzdoby a zcela chybí ikonografie, nelze ho

ničím nahradit. Je-li tak možné optimálně z více pramenů čerpat podrobné informace k objektu, lze zvolit maximální hodnotu, pokud nejsou předmětné informace zcela detailní, ale pro objekt mají zásadní charakter, zvolí se střední hodnota.

Textura – tento deskriptor se týká přímo počítačového modelování, kdy je pro přesnost modelu zásadní i použití vhodné textury povrchu. Pokud tak můžeme použít originální texturu přímo z daného objektu (jako např. u mostu Lounské brány), lze navolit maximální hodnotu. V případě, že jde o texturu odvozenou z kulturně a historicky podobného objektu, lze zvolit střední hodnotu a pokud jde o texturu převzatou bez znalosti kontextu je její hodnota nulová.

Architektonický kontext / logika – vyjadřuje, zdali má konkrétní část modelu anebo model samotný, pokud je součástí většího celku, opodstatnění svého použití z hlediska základních architektonických, stavebních nebo fyzikálních zákonů, případně pokud je jeho použití podmíněno logickým fungováním celku (např. nedoložená hradební zeď mezi dvěma zachovanými věžemi). Pokud je toto využití neoddiskutovatelné, lze použít maximální hodnotu, pokud je dojem spíše diskutabilní volí se střední hodnota a pokud jde kupříkladu o jinak nedoložené výzdobné prvky stavby (věžičky na barbakánu Pražské brány), volí se hodnota nulová.

Vizualizace nejistoty dat pro městské opevnění

Podle charakteru, stavu zachování a dostupných pramenů, bylo městské opevnění ve Slaném rozděleno na celkem 21 oblastí, u kterých byla sledována nejistota v datech. Výstupem je vizualizace důvěryhodnosti jednotlivých částí počítačové rekonstrukce městského opevnění (viz obr. 55).

Největší důvěryhodnost má rekonstrukce Velvarské brány (90%), což je dáno především tím, že je jediná dochovaná; a zároveň zde proběhl stavebně-historický průzkum a laserové skenování (obr. X H) a jak vidíme, maximální důvěryhodnost mohou získat dochované objekty, u kterých máme ovšem k dispozici data z výzkumu a 3D digitální dokumentace. Pražská brána obdržela vysoké skóre (70%) z důvodu provedení záchranného výzkumu, velkého počtu ikonografických pramenů a k dispozici byly její kompletní plány pořízené před jejím zbouráním

SLANÝ	zachování	prost.lok.	archo	3D	plány	ikono	analogie	písemné	textura	architekt	DŮVĚRA
Pražská brána	50	100	50	50	100	100	100	100	0	50	70%
Lounská brána	50	100	50	50	50	50	100	50	50	50	60%
Velvarská brána	100	100	100	100	100	100	100	50	100	50	90%
Velvarská brána předbrání	0	0	0	0	0	100	50	0	50	50	25%
Fortna	50	50	0	0	0	100	50	0	0	50	30%
pětiboká bašta ul. Šultysova	100	100	100	0	0	0	100	0	100	50	55%
bašta ul. Šultysova	100	100	0	0	0	0	100	0	50	50	40%
parkán ul. Šultysova	50	100	0	0	0	50	100	0	50	50	40%
bašty ul. Na hradbách	100	100	100	100	0	100	100	0	50	50	70%
věž hl. "klubovna" hradby ul. Na hradbách	100	100	50	100	0	100	100	0	50	50	65%
věž hl. hradby "za poštou" ul. Na hradbách	50	100	50	100	0	100	100	0	50	50	60%
hlavní hradba ul. Na hradbách	100	100	50	100	0	100	100	0	50	50	65%
parkán ul. Na hradbách	100	100	100	100	0	100	100	0	50	50	70%
věže hlavní hradby ul. Soukenická	100	100	50	0	0	0	100	0	50	50	45%
bašta ul. Soukenická	100	100	50	0	0	50	100	0	50	50	50%
parkán ul. Vinařického - Havířská	100	100	0	0	0	100	100	0	50	50	50%
hlavní hradba ul. Havířská	50	50	0	0	0	100	100	0	50	50	40%
nárožní věž U brodu	0	0	0	0	0	100	50	0	50	50	25%
nárožní věže Palackého	0	0	0	0	0	100	50	0	50	50	25%
ostatní relikty hlavní hradby	0	50 / 0	0	0	0	100 / 0	100	0	50	50 / 100	10-30%
ostatní relikty parkánové zdi	0	50 / 0	0	0	0	100 / 0	100	0	50	50 / 100	10-30%

Tab. 2: Míra důvěryhodnosti jednotlivých komponent počítačové rekonstrukce městského opevnění.



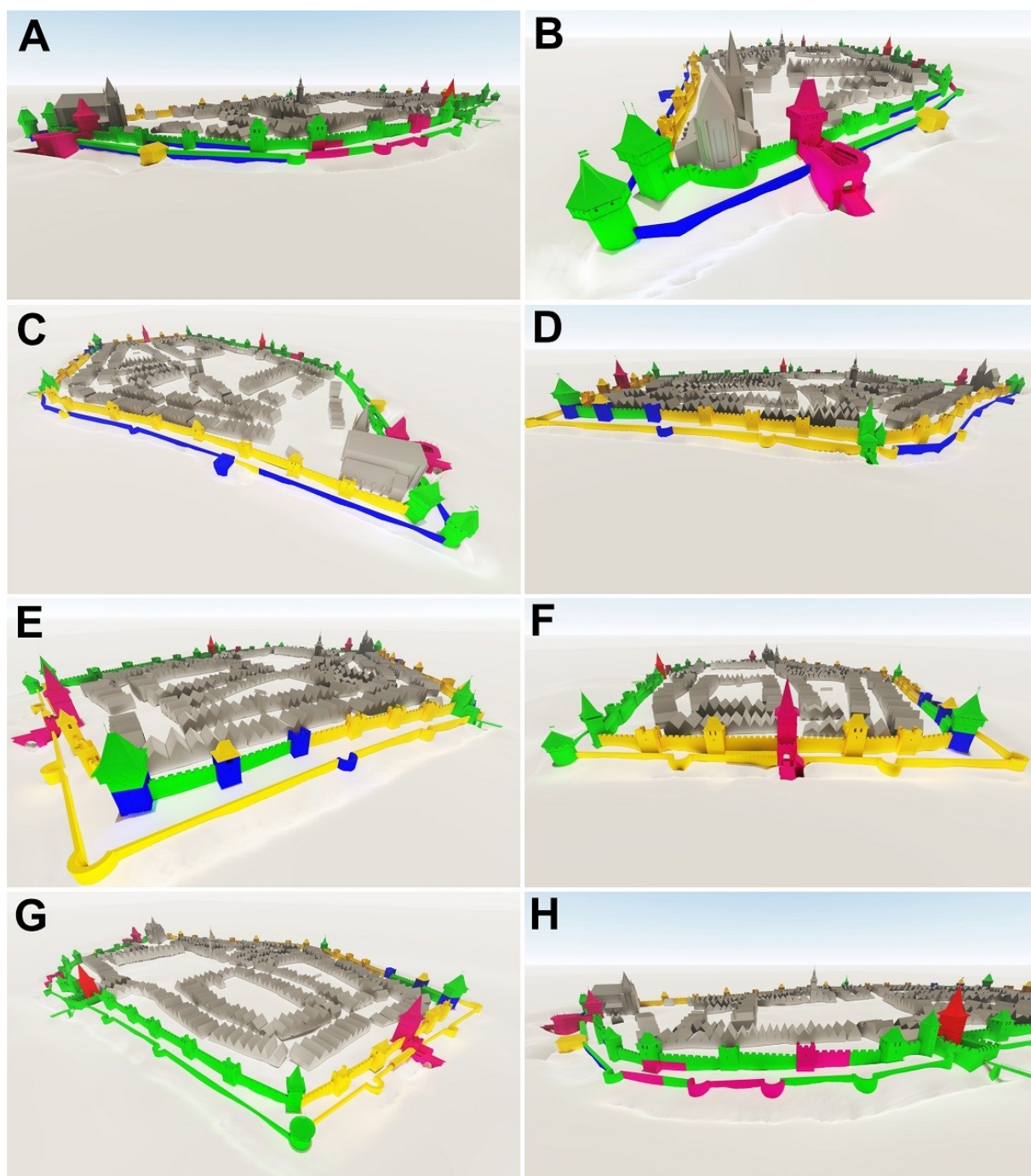
Obr. 55: Míra důvěryhodnosti jednotlivých částí městského opevnění.

(obr. 56 B). Vysoké skóre (70 – 65%) má i oblast hradebního pásma v ulici Na hradbách, neboť jde o nejlépe zachovanou část obou hradeb, navíc ve vzájemném kontextu a proběhl zde archeologický výzkum a laserové skenování - pouze relikv věže hlavní hradby „za poštou“ klesl na 60% z důvodu pouze torzovitě zachování (obr. 56 H). Lounská brána má oproti Pražské bráně nižší skóre důvěryhodnosti (60%), které je způsobeno tím, že ačkoliv byly obě brány archeologicky prozkoumány, tak k Lounské bráně se vztahuje pouze minimum písemných i ikonografických pramenů a plán, pořizovaný před jejím zbouráním obsahuje pouze půdorys a

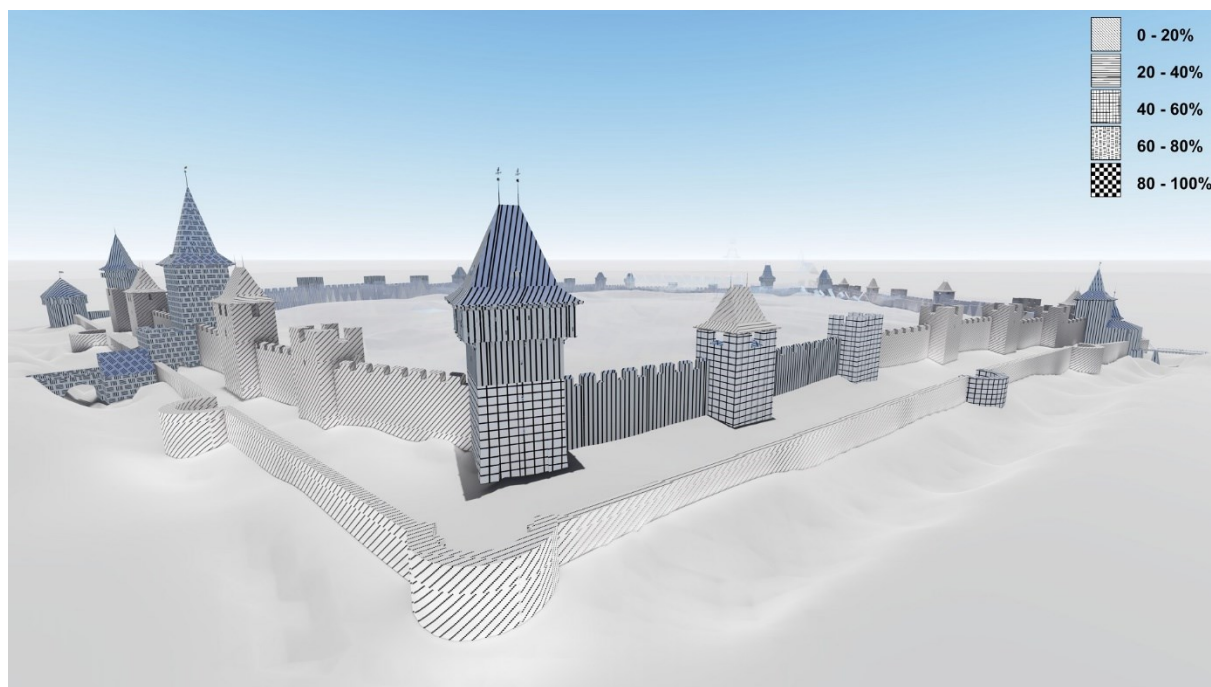
navíc není zcela informativní. Kupříkladu kamenný most přes příkop z něho není čitelný a byl potvrzen až záchranným výzkumem (obr. 56 F). Další oblasti, kde se dá ještě stále hovořit o poměrně přijatelných podkladových datech pro tvorbu 3D rekonstrukce (50 – 40%) mají zachovalé úseky hradebního pásma na východní a jižní straně města, kolísání skóre mezi jednotlivými částmi je způsobeno dostupností především ikonografických pramenů a o řád nižší důvěryhodnost oproti pásmu v ulici Na hradbách je způsobena absencí průzkumu a digitální 3D dokumentace (obr. 56 C, D, E). Podoba fortny v podstatě vychází pouze z ikonografie a starých plánů, je zde tedy odůvodněný předpoklad, že její podoba se mohla v roce 1602 podstatně odlišovat od provedené počítačové rekonstrukce a důvěryhodnost tak klesla na 30% (obr. 56 D). Stejně tak předbraní Velvarské brány, které zaniklo bez jakékoliv dokumentace, má svoji oporu v podstatě pouze na Willenbergově vedutě a lze tak předpokládat správnost modelu pouze na 25% (obr. 56 G, H). Zbylé části městské fortifikace kolísají mezi 30 a 10% a rozdíly mezi nimi tvoří čitelnost jejich umístění ze starých map a přítomnost jejich zobrazení na Willenbergově vedutě.

Pro právě popsanou vizualizaci nejistoty v datech při tvorbě 3D rekonstrukce byly pro každý interval hodnot zvoleny zcela rozdílné barvy. Výsledkem je tak snadno rozlišitelný obraz důvěryhodnosti jednotlivých fortifikačních komponent, ale pouze pokud je k dispozici informace, co která barva vlastně zobrazuje. Na základě přístupů popsaných v kapitole 2.3, byly k rozlišení důvěryhodnosti jednotlivých komponent vyzkoušeny metody texturování geometrickými vzory (viz obr. 57), změna struktury povrchu (viz obr. 58), transparentnost (viz obr. 59) a škála monochromatické modré (viz obr. 60).

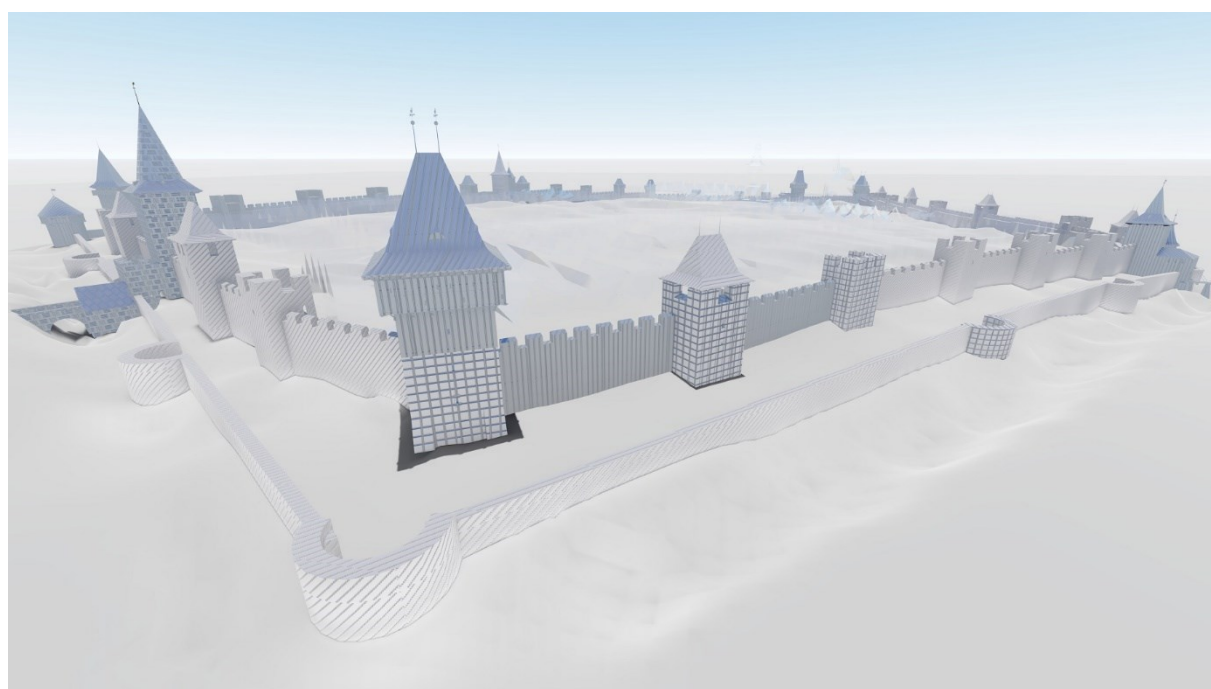
Jak je patrné, tak tyto metody sice dokážou rozlišit úroveň hodnot nejistoty pro jednotlivé modely, ale vizualizace nepůsobí vůbec přirozeně. Bez pomocných informací o tom podle jakého klíče se od sebe části městského opevnění liší a co rozdílné textury znamenají, nelze intuitivně vizualizaci pochopit a vizuální komunikace tak zde má jasné limity. Řešení nepodává ani kombinace rozdílných kresebných technik – v následujícím obrázku bylo pro objekty s důvěryhodností větší než 40% zvoleno vykreslení s texturami a pro objekty pod 40% styl kresby tužkou (viz obr. 61).



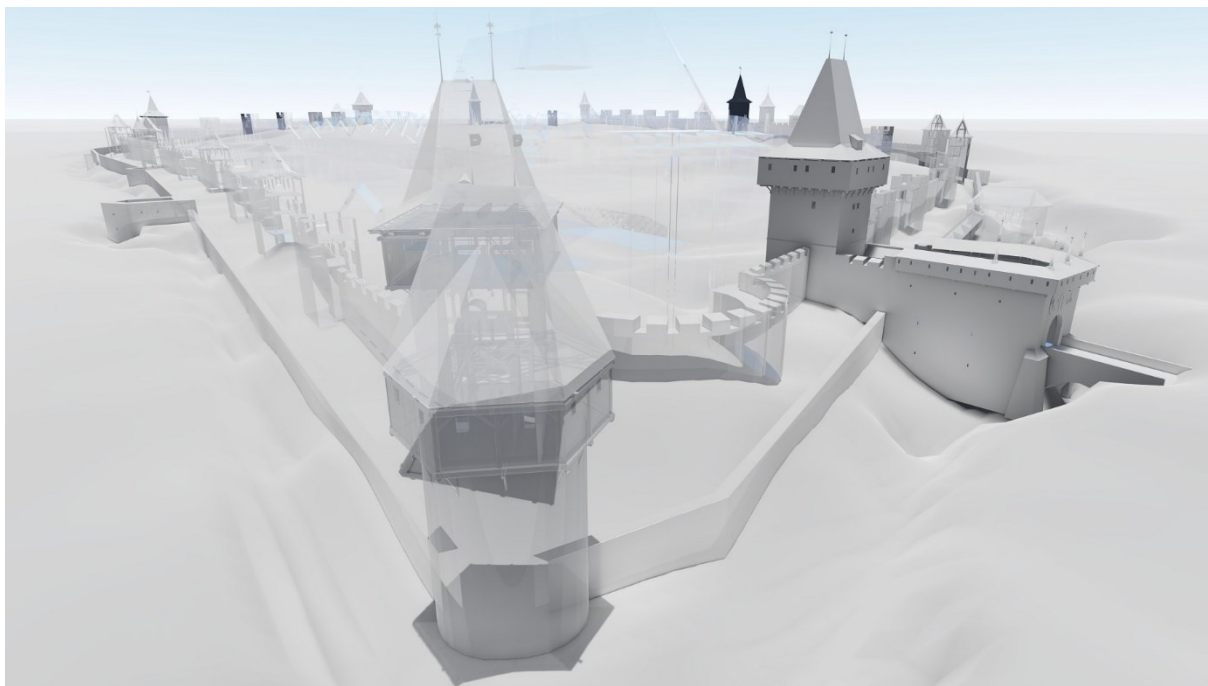
Obr. 56: Vizualizace nejistoty v datech pro tvorbu 3D počítačové rekonstrukce fortifikace ve Slaném (žlutá barva – nejméně jisté rekonstrukce opevnění, pouze 0 – 20%, zelená 20 – 40%, modrá 40 – 60%, fialová 60 – 80%, červená 80 – 100%).



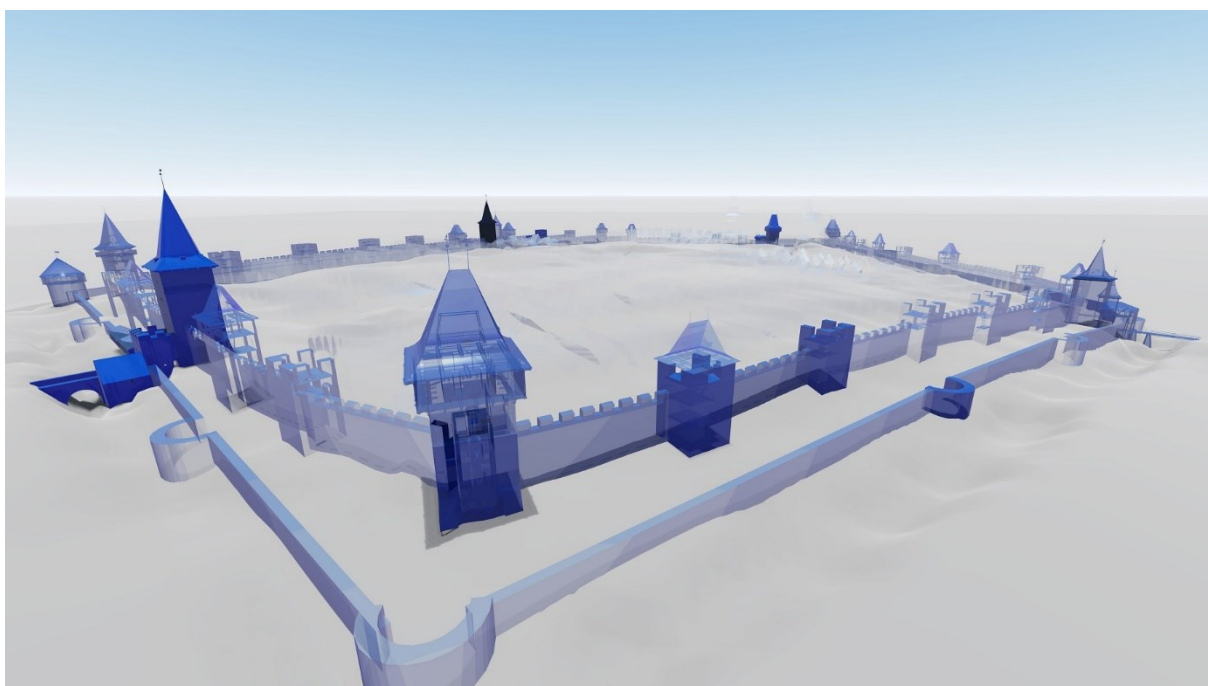
Obr. 57: Otexturování pomocí geometrických vzorů.



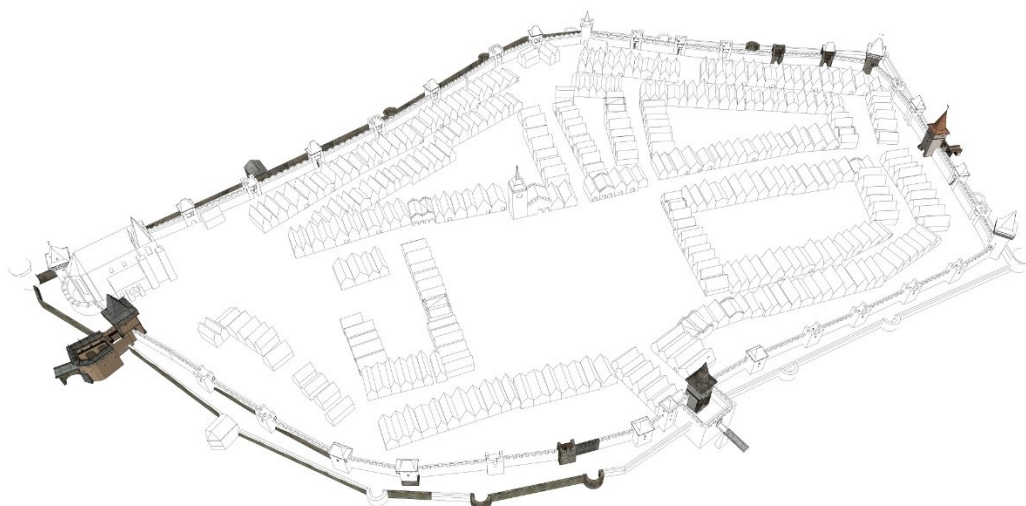
Obr. 58: Změna struktury povrchu vycházející z předešlého systému geometrických textur.



Obr. 59: Rozdílná průhlednost jednotlivých komponent fortifikace.



Obr. 60: Využití transparentnosti na škále monochromatické modré barvy.



Obr. 61: Kombinace rozdílného stylu vykreslování objektů podle jejich důvěryhodnosti.

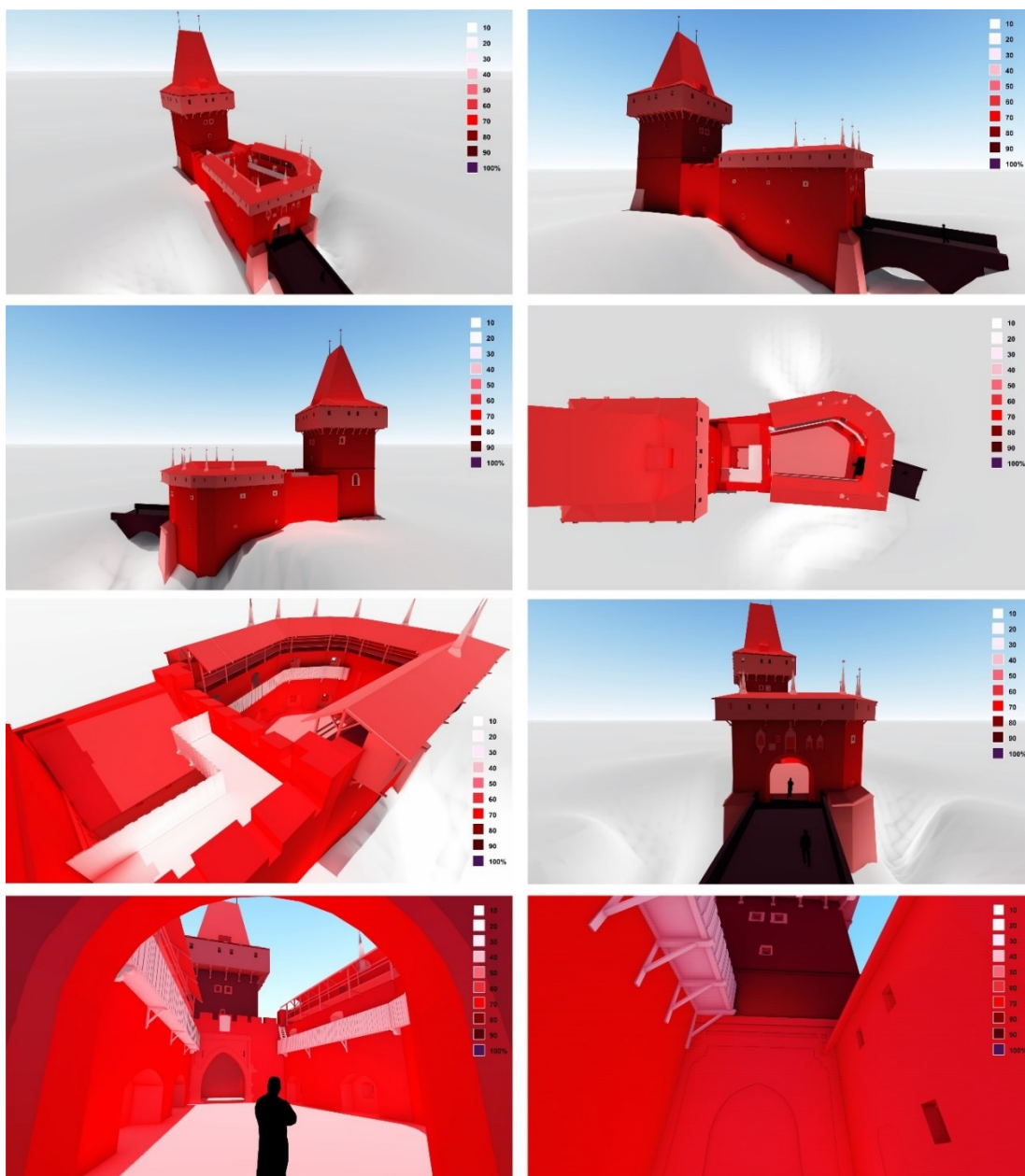
Pražská brána

Jako modelový příklad pro zobrazení nejistoty dat u jednotlivých objektů, byla vybrána rekonstrukce Pražské brány, především z toho důvodu, že je k tomuto prvku městského opevnění, k dispozici široký okruh různých pramenů. Pro hodnocení nejistoty dat byl zvolen naprosto stejný postup jako pro hodnocení nejistoty celé fortifikace v předchozím případě, protože zvolené deskriptory lze uplatnit i pro jednotlivé části a architektonické prvky komplexu Pražské brány. Hodnotil se tak opět rozsah zachování, zdali lze prostorově lokalizovat jednotlivé komponenty, zdali byly tyto části zachyceny archeologickým výzkumem a zdokumentovány pomocí 3D digitálních technologií, zda jsou k dispozici ikonografické a písemné prameny, zdali mají jednotlivé stavební prvky oporu v analogiích odjinud, jestli je k dispozici reálná textura objektu a zda mají jednotlivé architektonické části opodstatněný kontext a logiku.

PRAŽSKÁ BRÁNA	zachování	prost.lok.	archo	3D	plány	ikono	analogie	písemné	textura	architekt	NEJISTOTA
most	100	100	100	100	100	100	100	50	50	100	90%
barbakán	50	50	50	50	100	100	100	50	0	100	65%
barbakán opěrné sloupy	0	0	0	0	100	100	100	100	0	50	35%
barbakán brána	0	50	0	0	100	100	100	50	50	100	55%
barbakán střílny přízemí	0	0	50	50	100	50	100	0	50	50	45%
barbakán střílny 1. patro	0	0	0	0	0	50	100	0	50	50	25%
barbakán suterén	100	100	100	100	100	0	100	0	50	50	70%
barbakán vnitřní ochoz	0	0	0	0	0	0	50	0	0	50	10%
barbakán hrázděné patro	0	0	0	0	0	100	100	0	50	50	30%
barbakán sedlová stříška	0	0	0	0	100	100	100	50	0	50	40%
barbakán věžičky	0	0	0	0	50	100	50	50	0	0	25%
barbakán heraldická výzdoba	100	50	0	0	50	100	50	50	100	0	50%
předbrání	0	50	50	50	100	0	100	0	0	50	40%
předbrání ochoz	0	0	0	0	0	0	50	0	0	50	10%
předbrání brána	0	50	50	0	100	0	100	0	50	100	45%
předbrání heraldická výzdoba	0	0	0	0	0	0	50	50	50	0	15%
branský domek	0	50	0	0	100	0	100	0	0	50	30%
brána	50	50	50	50	100	100	100	50	50	100	70%
brána věž	0	50	50	50	100	100	100	50	0	100	60%
brána brána	0	50	0	0	100	0	100	0	50	100	40%
brána střílny, okna	0	0	0	0	50	100	100	0	50	50	35%
brána hrázděné podlaží	0	0	0	0	0	100	100	50	50	50	35%
brána střecha	0	0	0	0	100	100	100	50	0	100	45%
dlažba	50	50	100	0	0	0	50	0	0	50	30%

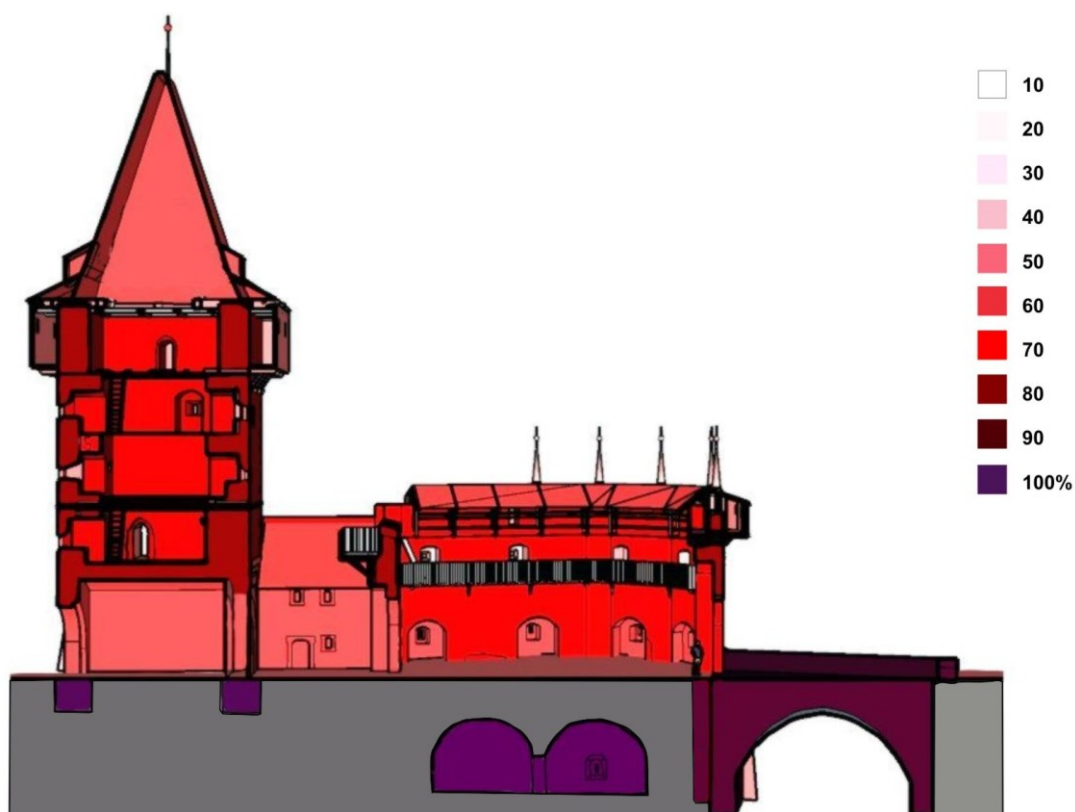
Tab. 3: Tabulka se stupněm důvěryhodnosti počítačové rekonstrukce jednotlivých komponent Pražské brány.

Byly hodnoceny jak jednotlivé stavební prvky jako kupříkladu ozdobné věžičky barbakánu, tak i komplexní stavební části brány, tedy věž, předbrání, barbakán a most. Jak je z tabulky patrné, tak největší míry důvěryhodnosti dosáhl kamenný most, kterému do 100% chybělo pouze použití reálné textury, která nebyla při výzkumu v roce 2011 nafocena a větší opora v písemných pramenech. Vysoká pravděpodobnost, že počítačová rekonstrukce je provedena správně, je u věže brány (70%) a barbakánu (65%) jako celku. Předbrání kleslo na 40% především z důvodu, že zcela chybí v ikonografických materiálech, neboť je kryté barbakánem a v rámci archeologického výzkumu bylo zachyceno velice zlomkovitě. V případě jednotlivých stavebních nebo architektonických částí mají vyšší pravděpodobnost (nad 50%) především kasematy barbakánu (70%), které byly kompletně dochované a tím pádem i podrobně dokumentované záchranným výzkumem – bohužel v počítačové rekonstrukci se na modelu projevují pouze suterénní střílnou, dále brána barbakánu (55%), díky silným oporám v ikonografii a heraldická výzdoba rozbalená nad bránou (50%), která jako jediná přečkala bourání brány v roce 1841.



Obr. 62: Vizualizace nejistoty dat jednotlivých stavebních částí Pražské brány.

Další části brány, kompletně nedochované, pak především ovlivňuje, zdali jsou zaznamenané na plánu brány pořízeném před jejím zbouráním (viz tab. 3) a zdali jsou zachyceny na ikonografických pramenech. Střílny v přízemí barbakánu tak dosahují 45%, zatímco střílny prvního patra mají 25%, protože v obou zmíněných typech pramenů chybějí. Obecně nižší skóre pak mají dřevěné stavební prvky, jako jsou hrázděná patra barbakánu i brány a ochozy v předbrání a barbakánu, které klesají až na 10%. Obdobně nižší skóre mají i ozdobné prvky jako jsou věžičky barbakánu, které ztrácí i proto, že nemají pro stavbu nezbytný stavební kontext a logiku.

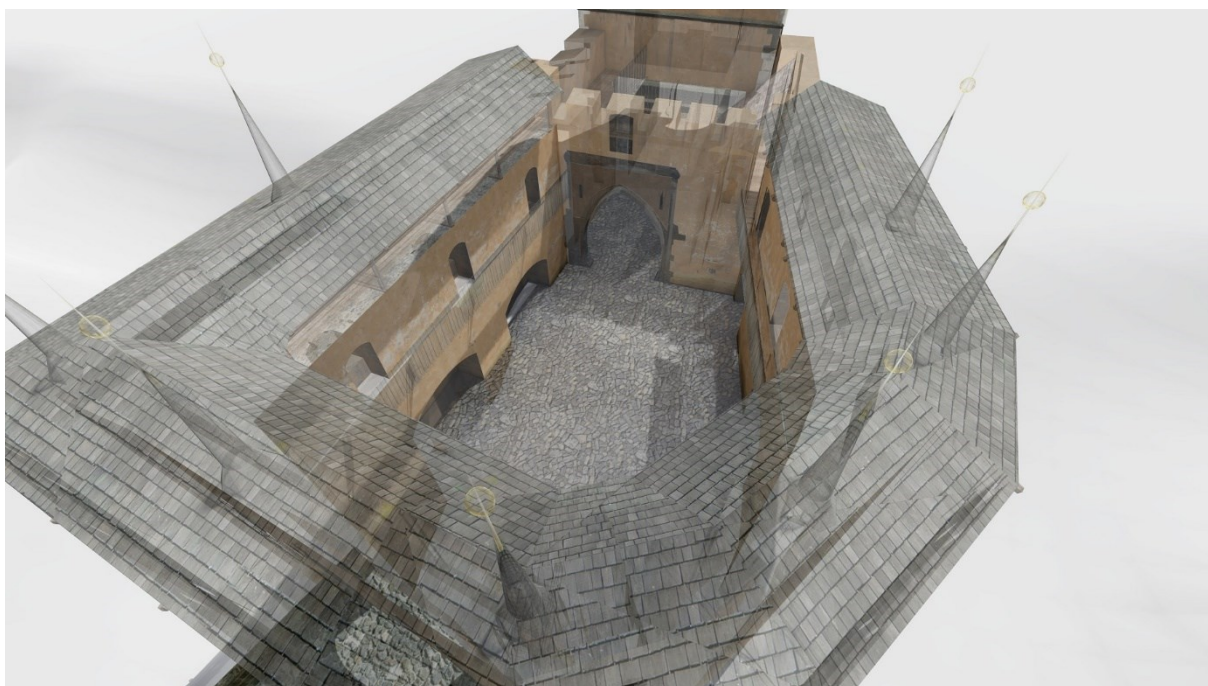


Obr. 63: Řez komplexem Pražské brány s doplněním zahloubených částí zachycených výzkumem.

Pro vizualizaci důvěryhodnosti částí brány byla zvolena další z již vyzkoušených metod a míra nejistoty byla dle výsledků jemněji rozdělena na stupnici po 10% (v případě potřeby byly výsledky zaokrouhleny), které byla přiřazena souvislá barevná škála od tónů červené k fialové (viz obr. 62, 63). Tento typ zobrazení jednoho gradujícího barevného tónu s vyšším rozlišením již působí vizuálně přirozeněji, problémem ovšem pořád zůstává, že nezasvěceného diváka takto pojatý výstup uvádí ve zmatek, pokud není připojena informace o významu jednotlivých barev. Byla proto vyzkoušena další metoda využívající rozdílnou průhlednost otexturovaných částí modelu, kdy byla dle výsledků volena hodnota transparentnosti od 10 do 100%. Jak je patrné z následujících obrázků (obr. 64 – 67), takto zobrazená nejistota dat již působí ve vizuální komunikaci daleko více intuitivněji a objekty s malou mírou transparentnosti dosahují u diváka automaticky větší míru pozornosti a důvěryhodnosti.



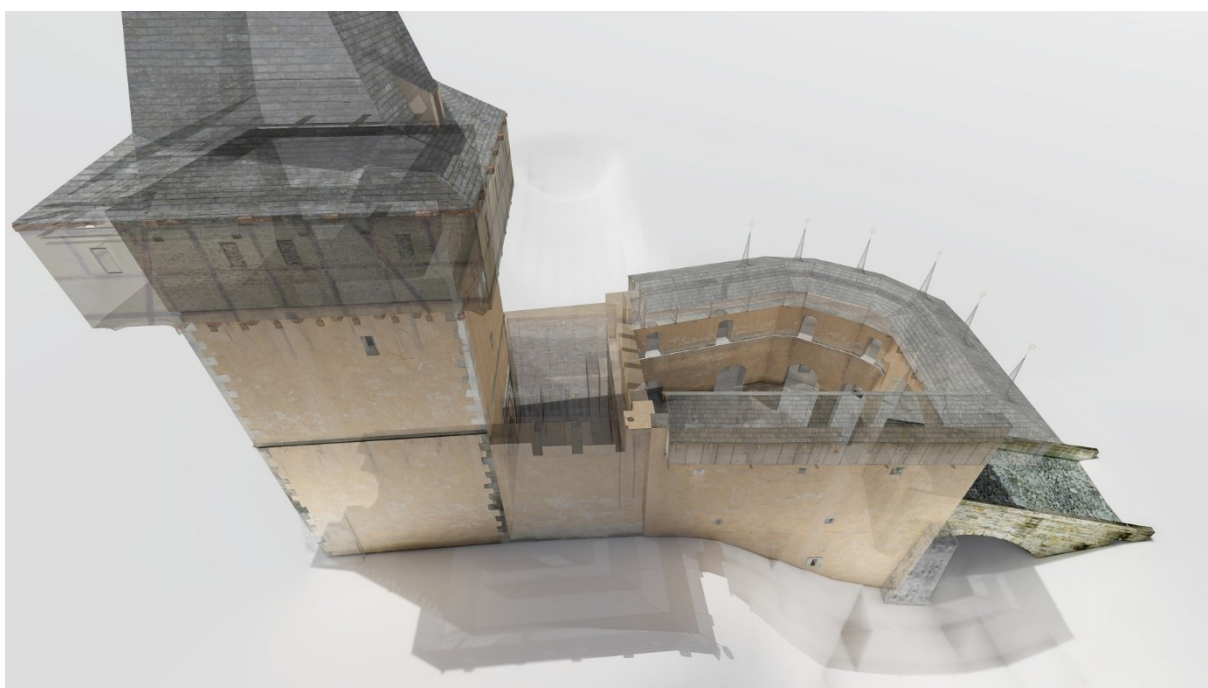
Obr. 64: Míra důvěryhodnosti jednotlivých komponent Pražské vizualizovaná pomocí různé průhlednosti textur.



Obr. 65: Míra důvěryhodnosti jednotlivých komponent Pražské vizualizovaná pomocí různé průhlednosti textur.



Obr. 66: Míra důvěryhodnosti jednotlivých komponent Pražské vizualizovaná pomocí různé průhlednosti textur.

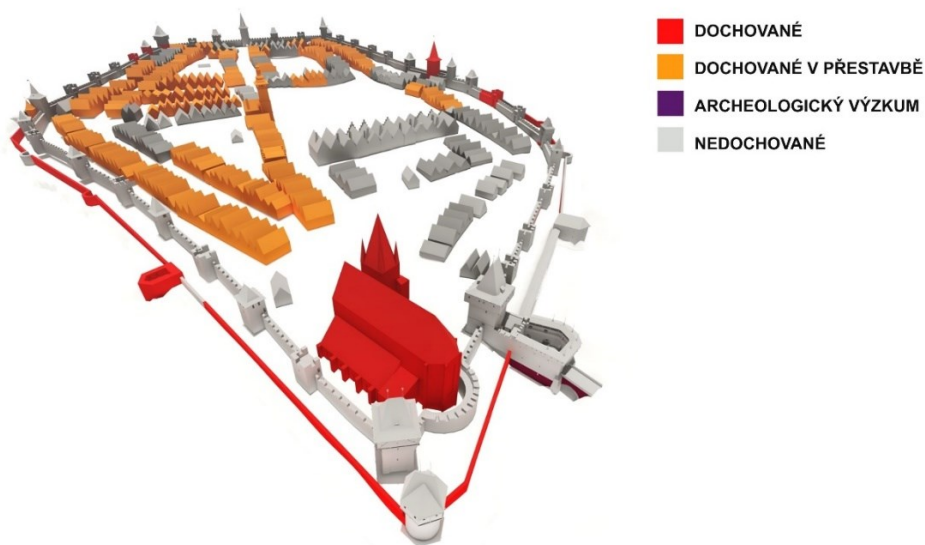


Obr. 67: Míra důvěryhodnosti jednotlivých komponent Pražské vizualizovaná pomocí různé průhlednosti textur.

3.2.5 Závěr

Vytvoření prezentované 3D počítačové rekonstrukce cílilo svým využitím především na veřejnost a lokální obyvatele především. Právě zájem o výsledky archeologických výzkumů Pražské a Lounské brány, byl hnacím motorem k tomu, prezentovat získané vědomosti i novou atraktivní formou. Tím, že vznikla rekonstrukce města Slaný, tak na sebe v rychlém sledu navázala několik přednášek pro veřejnost, financování aplikace s virtuální a rozšířenou realitou městským úřadem a prezentaci této aplikace formou letáků v městském informačním centru. V neposlední řadě je během roku 2019 plánováno zcela upravit stálou expozici o městském opevnění ve Velvarské bráně, která bude stát právě na prezentovaných vizualizacích a krátkém filmu s animacemi.

Díky poměrně detailní znalosti městského opevnění ve Slaném, kterou autor získal díky dlouholetému působení v rámci záchranných výzkumů, bylo možné vyzkoušet různé přístupy vizualizace nejistoty dat pro tvorbu 3D počítačové rekonstrukce města. Vzhledem k tomu, že tento postup není doposud v českém prostředí tvorby počítačových rekonstrukcí v archeologii plně reflektován, bylo použito znalostí a metod publikovaných jinde (viz kapitola 2.3). Problematika hodnocení a vizualizace tohoto aspektu budou probrány v následujícím textu i pro další archeologické situace. Jako silný nástroj památkové péče se jeví vizualizace stavu dochování městského opevnění (viz obr. 68). Tím, že jsou dochované části vykresleny na počítačovém rekonstrukčním modelu, vizualizace jasně a silně komunikuje značnou torzovitost zachovaných reliktnů opevnění a tím pádem i nutnost jejich památkové ochrany.



Obr. 68: Vizualizace stavu dochování městského opevnění ve Slaném.

3.3 3D POČÍTAČOVÁ REKONSTRUKCE PODKLADĚ NEDESTRUKTIVNÍCH METOD

3.3.1 Úvod – rekonstrukce hradiště v Libici nad Cidlinou

Pro počítačovou 3D rekonstrukci bylo vybráno hradiště v Libici nad Cidlinou (viz obr. 69) především z toho důvodu, že se jedná o jedno z archeologicky nejlépe prozkoumaných raně středověkých center v Čechách a byl zde tak tím pádem předpoklad, že bude k dispozici dostatečný soubor dat. Archeologické sondy pokrývají více než 6000 m², plocha vnitřního hradiště byla předmětem intenzivního průzkumu pomocí nedestruktivních metod a k dispozici byly výstupy z projektu Archeologické mapy Libice (Mařík 2009). Navíc zde byl tak jako v případě Slaného přesah do archeologie pro veřejnost s tím, že vytvořená počítačová rekonstrukce libické aglomerace bude využita pro další prezentaci jak obvyklou formou v expozici vybudované na městském úřadu v roce 2016, tak i interaktivní formou virtuální reality v aplikaci pro mobilní telefony, která je plánována během roku 2019. Tvorba rekonstrukčního modelu byla od počátku intenzivně konzultována s Janem Maříkem, který na lokalitě dlouhodobě působí a autorovi poskytl mnoho nezbytných údajů včetně obrazových materiálů použitých v této kapitole.



Obr. 69: 3D počítačová rekonstrukce raně středověké aglomerace v Libici nad Cidlinou.

3.3.2 Kontext lokality

Nejstarší raně středověké osídlení hradiště sahá do období kultury s keramikou Pražského typu, kdy bylo v aglomeraci hradiště zachyceno několik sídlišť. Doklady intenzivního osídlení, kdy Libice začíná plnit roli centrální funkce, jsou datovány do druhé poloviny 9. století. V tomto období se na akropoli hradiště objevují bohatě vybavené hroby se šperky a zbraněmi. Přibližně v polovině 10. století dochází k zásadní změně na akropoli hradiště, kde bylo postaven kamenný kostel. Do tohoto období je také spolehlivě datováno opevnění celého hradiště. Mladohradištní období představuje nejvýznamnější vývojovou fázi hradiště. Její závěr spadá přibližně do poloviny 11. století, kdy byla definitivně opuštěna akropole a význam Libice jako centra výrazně klesá. Naposledy je hradiště uvedeno kastelánskými hrady k roku 1130 (Mařík 2009).

Raně středověké centrum v Libici je děleno na opevněné části akropoli nebo také vnitřní hradiště a předhradí. Na vnitřním hradišti probíhal v letech 1949 až 1953 a 1969 až 1973 výzkum Rudolfa Turka, který prozkoumal 4,5% z celkové plochy a odkryl především pozůstatky zděného kostela a rozsáhlého pohřebiště. Položené sondy se ovšem soustředí na východní část hradiště, takže o charakteru další zástavby je k dispozici minimum informací. Oproti tomu plocha předhradí je pokryta archeologickými sondami rovnoměrně díky dohledům, které probíhají od roku 1974 při stavebních aktivitách na území nynější obce, která se zde rozkládá. Sice se tak podařilo prozkoumat cca 7% celkové plochy předhradí, ale o intenzitě a rozsahu osídlení lze zprostředkovat pouze obecné závěry. Výrazně bylo prozkoumáno i okolí mimo opevněný areál hradiště v souvislosti s velkými stavbami na přelomu 19./20. století, které provedl Jan Hellich a od roku 1979, kdy byla zahrnuta i tato část do ochranného pásma památkové rezervace, se podařilo při záchranných výzkumech prozkoumat plochu cca 10 000 m² (Mařík 2009, 15 – 17).

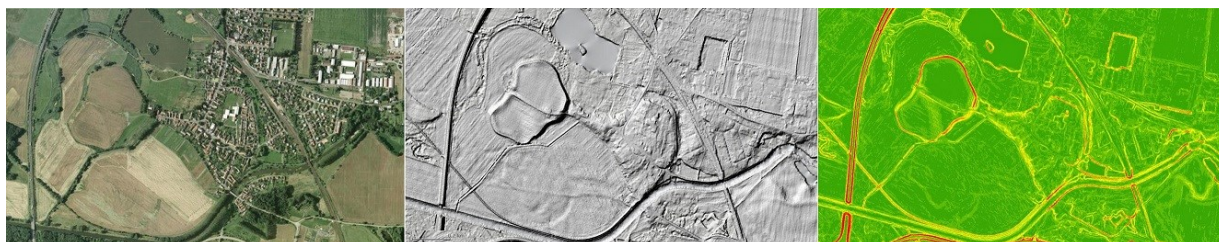
Rekonstrukce Libice je tak postavena na třech hlavních zdrojích – systematického výzkumu provedeného v 50. – 70. letech 20. století, sítě sond záchranných výzkumů a výsledků nedestruktivních výzkumů, kdy u každé skupiny narážíme na určité limity. Systematický výzkum R. Turka zatěžuje nedostatečně provedené terénní dokumentace a řada alternativních interpretací autora, která je v řadě případů v rozporu s nálezovou situací. Záchranné výzkumy sice pokrývají celou aglomeraci hradiště relativně rovnoměrně, ale pokrývají především části aglomerace mimo opevněný areál. Nedestruktivní výzkum je pak zásadní pro akropoli, kde doplňuje systematický výzkum R. Turka. Pro rekonstrukci není ani tak podstatná výměra prozkoumaných ploch, jako komplexní přístup ke všem dostupným typům pramenů, které byly doplněny environmentálním výzkumem v opevněném areálu i v blízkém okolí. Rekonstrukce

hradiště se soustředí na mladohradištní fázi (druhá pol. 10. – první pol. 11. století), pro kterou máme k dispozici nejvíce informací.

3.3.3 Postup tvorby 3D počítačové rekonstrukce

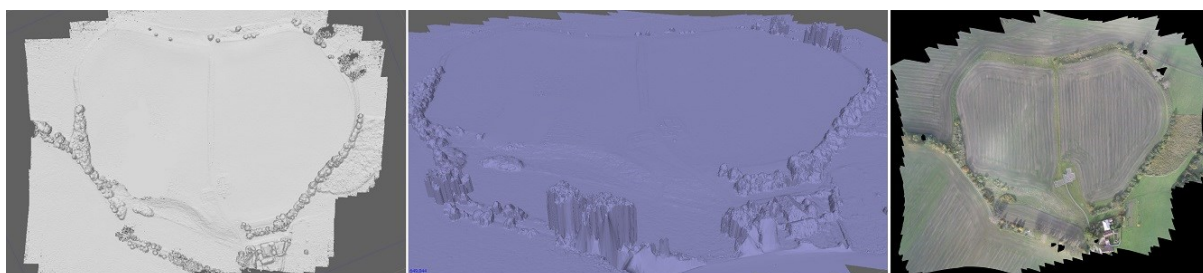
Stanovení podoby hradiště a jeho zázemí

Je evidentní, že oproti stanovení plánu v předchozím modelovém příkladu u města Slaný v roce 1602, je situace pro období raného středověku diametrálně odlišná, protože nemůžeme vycházet z žádných mapových podkladů. Důraz tak musel být kladen na zcela jiný typ dostupných dat; tedy na výstupy z výzkumů prováděných především na ploše vnitřního hradiště nedestruktivními metodami. Při tvorbě hranic a rozsahu libického hradiště bylo přihlédnuto k výstupům z leteckého skenování a snímkování, kde lze tvar opevněného areálu poměrně jasně identifikovat (viz obr. 70). Hradiště je totiž situováno na dvou štěrkopískových terénních vyvýšeninách přesahujících okolní terén i o několik metrů, které i přirozeně dělí areál na dvě části. To umožnilo identifikovat hlavní průběh fortifikace. Hranice opevněného areálu byly kromě využití dat moderního georeliéfu, doplněny také na základě několika terénních odkryvů (Mařík – Princová 2006), které jsou zásadní pro rekonstrukci rozsahu a stavební podoby opevnění.



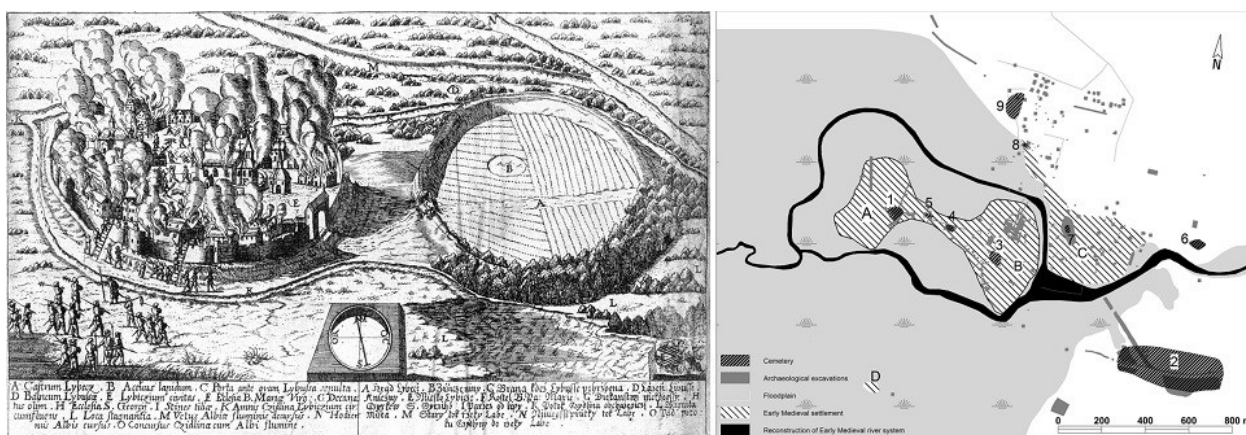
Obr. 70: Letecké snímkování a výstupy z leteckého laserového skenování DMR 5G, uprostřed stínovaný reliéf a vlevo zvýrazněná sklonitost svahů (zdroj mapy.cz a ČUZK).

Na ploše vnitřního hradiště autor provedl snímkování dronem a získaná data byla prostřednictvím vícesnímkové fotogrammetrie převedena na trojrozměrný digitální model terénu a ortofoto (viz obr. 71). Vzhledem k tomu, že tento způsob dokumentuje současný stav, kde jsou některé části pokryty vegetací, zástavbou nebo cestami, které fotogrammetrie nedokáže jednoduše odfiltrovat, byl tento model využit jen částečně. Pro okolní plochy tak byla využita opět data z Google Earth převedená do 3D a z důvodu změny terénu oproti dnešku bylo částečně použito i ruční modelování.



Obr. 71: Výstupy vícenámkové fotogrammetrie plochy vnitřního hradiště.

Na základě rozboru sedimentů zachycených ve dvou sondách na vnější straně opevnění předhradí při rozhraní říční terasy a nivy, lze usuzovat, že zde byla zachycena část zaniklého říčního meandru. Na základě těchto údajů i výsledků výzkumu v obdobných přírodních podmínkách (Opravil 1983, Dreslerová 1995) lze předpokládat, že labská niva byla v okolí hradiště během raného středověku prostředím, kde se vyskytovala vedlejší ramena a meandry (Mařík 2009, 22). Z leteckých fotografií, LIDARu a morfologie terénu jsou patrná říční ramena, která obtékají hradiště z jižní i severní strany. Tyto údaje v kombinaci s geologickými průzkumnými vrty dovolují rekonstruovat průběh vodního toku tak, že říční ramena ve sledovaném období obtékala plochu hradiště, přičemž na východní straně se vodní tok těsně přimyká k hraně předhradí a do blízkého kontaktu se dostává i na jižní straně akropole (viz obr. 72; Mařík 2009, 22). Podobný obraz lokace říčního toku kolem hradiště nám podává i jediný využitelný ikonografický pramen, kresbu z roku 1668 „Rosa Boëmica sive Vita Sancti Woytechi agnomine Adalberti Pragensis Episcopi, Ungariae, Poloniae, Prusiae, Apostoli“.



Obr. 72: Ikonografický pramen z roku 1668 (pohled od severu) a provedená rekonstrukce rozsahu libické aglomerace a přírodního prostředí (Mařík 2009).

Přírodní prostředí lze na základě pylových analýz a analýz rostlinných makrozbytků charakterizovat tak, že v bezprostředním okolí hradiště se rozkládala luka a pastviny, jak

potvrzuje zachycená skladba lučních porostů. Palynologické analýzy dále ukazují na vysokou míru odlesnění v blízkém okolí, nicméně vzorky odrážejí skladbu vegetace pouze na malé vzdálenosti a rozbory provedené ve větších vzdálenostech od raně středověkých hradišť dokládají naprostou převahu lesních porostů (Mařík 2009, 24 – 27).



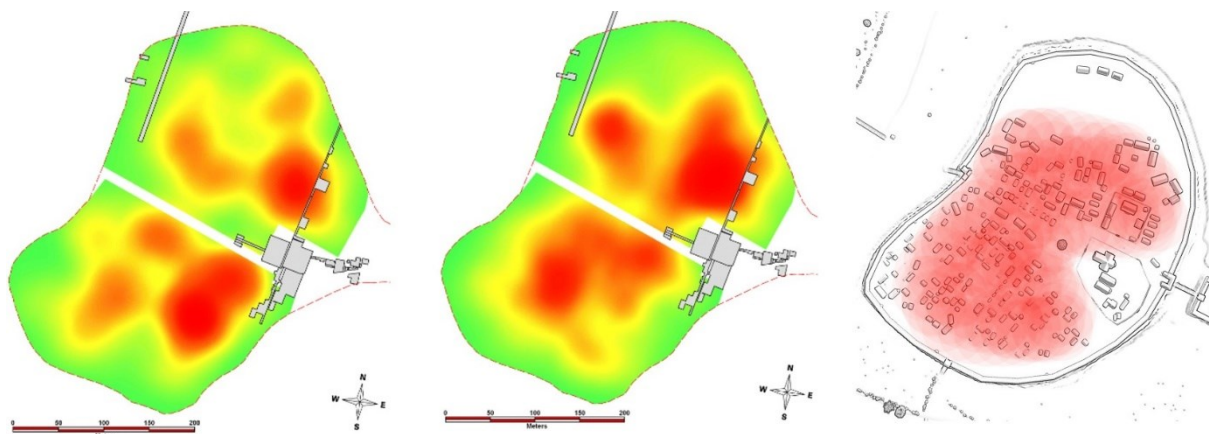
Obr. 73: Provedený model libické aglomerace dle uvedených údajů

Při rekonstrukci zástavby byl plně využit soubor dat získaný nedestruktivními metodami, protože jediné objekty, které je možné plně lokalizovat na základě terénních archeologických výzkumů jsou kostel na akropoli, východní klešťovitá brána vnitřního hradiště a tzv. kněžský dům na předhradí.

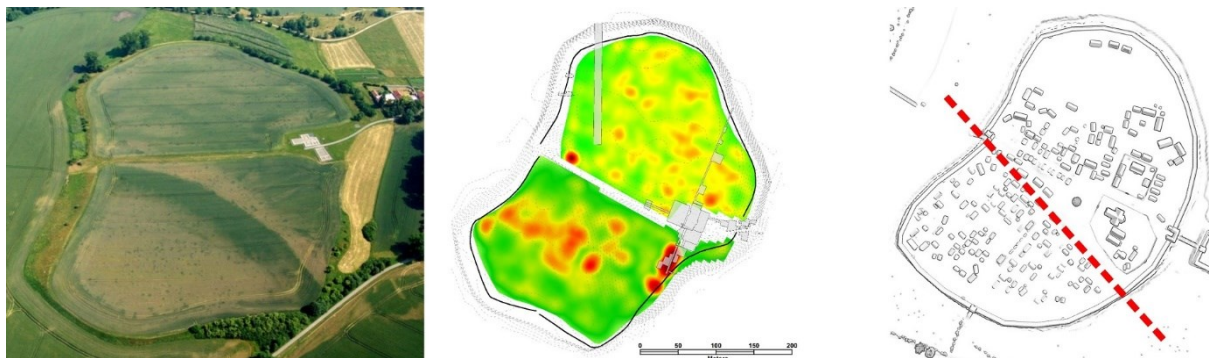
Byla tak provedena syntéza výstupů z povrchových sběrů, geofyzikálního průzkumu a z průzkumu detektory kovů. Porovnáním těchto dat pak byl stanoven charakter zástavby vnitřního hradiště a osídlení bylo rozděleno na několik celků. Postup interpretace dat z nedestruktivních průzkumů pro tvorbu 3D počítačové rekonstrukce je vysvětlen v rámci následující obrazové dokumentace (obr. 74 – 79), kde jsou z levé strany vždy vizualizovaná data z průzkumů a vpravo je zvýrazněno jejich použití v digitálním modelu vnitřního hradiště.



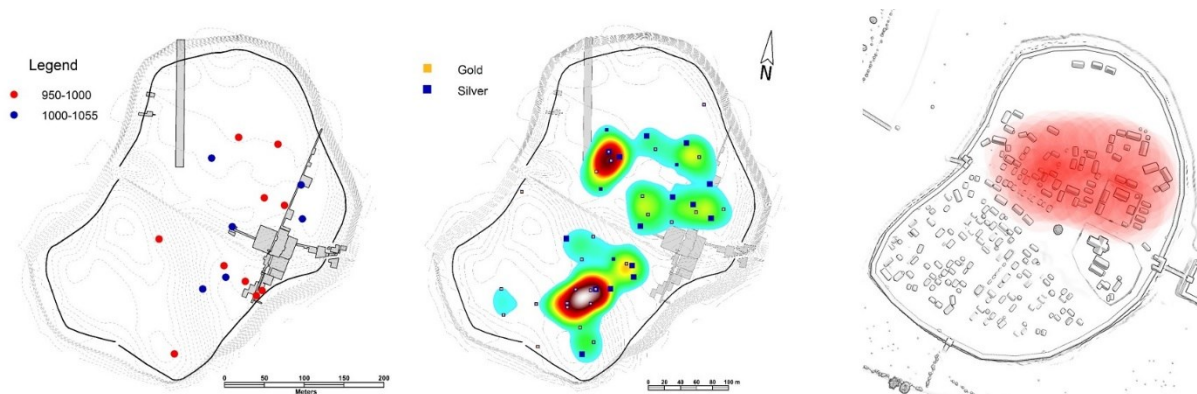
Obr. 74: Geofyzikální měření – tato metoda kromě identifikace zahloubených objektů především výrazně napověděla o umístění a řešení dalších vstupních bran (zvýrazněno v červené kružnici) a možné komunikační síti, kde je výrazná především cesta od jižní brány směrem k hlavní cestě běžící hradištěm v ose východ – západ (zdroj: dokumentace ARUP – Křivánek, Mařík)



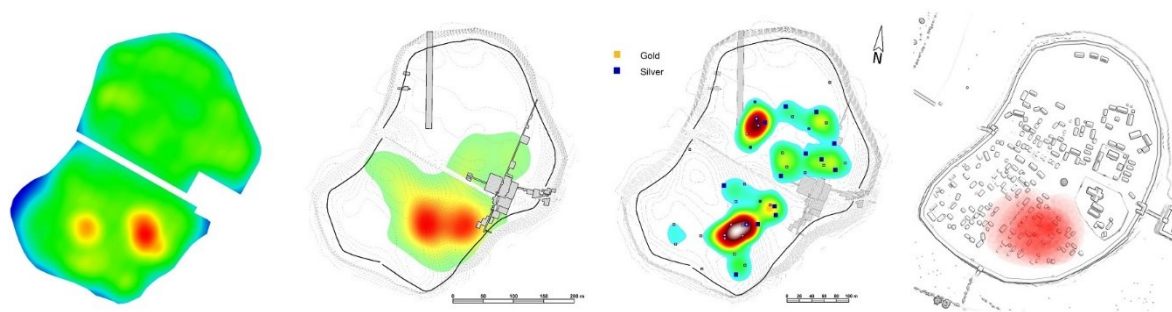
Obr. 75: Povrchové sběry – o umístění déletrvajících aktivit a sekundárně snad i o hustotě osídlení nás mohou informovat výsledky povrchových sběrů, které zdokumentovaly na 55 kg keramiky, z nichž celých 80% spadá do raného středověku (vlevo hustota keramiky 9 – 1. pol. 10. st., uprostřed 2. pol. 10. st.). (zdroj: dokumentace ARUP – Křivánek, Mařík)



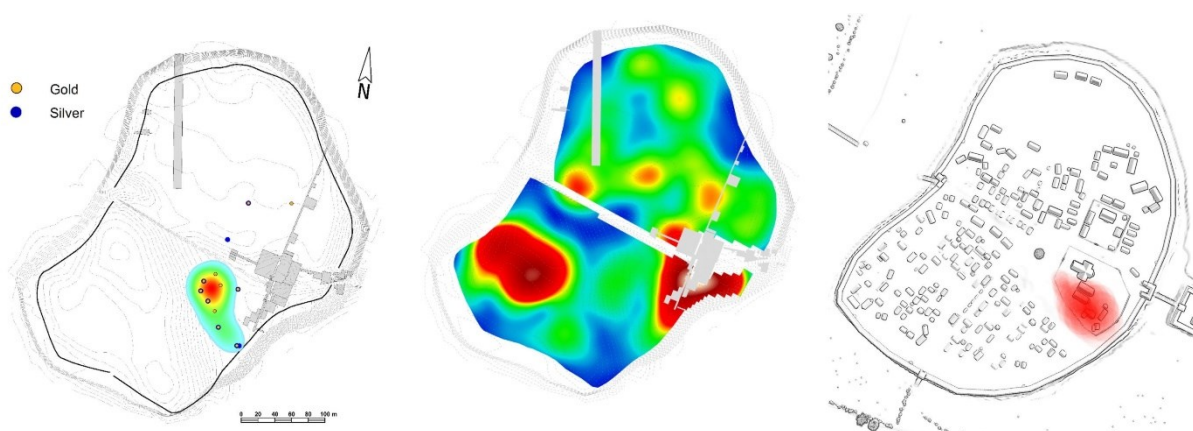
Obr. 76: Porostové příznaky a geofyzika – porovnáním dat z leteckých fotografií a identifikací zahloubených objektů z geofyzikálního měření, lze areál vnitřního hradiště rozdělit na dvě části. Větší hustota zahloubených objektů je zřetelná v jižní polovině, zatímco v severní části vidíme menší aktivitu, ale jsou zde přítomny větší objekty. Toto dělení areálu navíc přirozeně kopíruje terénní hranu, která běží ve stejném směru, jak je zvýrazněno červenou čarou. (zdroj: dokumentace ARUP – Křivánek, Gojda, Mařík)



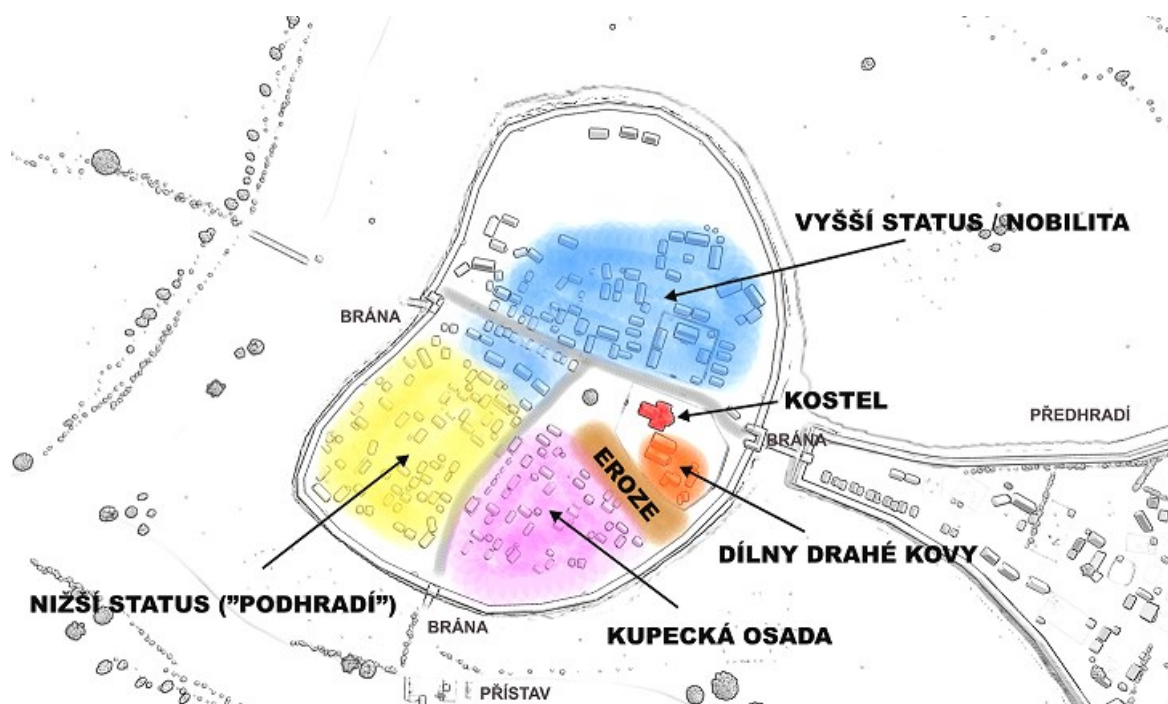
Obr. 77: Detektory kovů – vlevo jsou vyneseny nálezy mincí a jejich datování, uprostřed vidíme nálezy stříbrných, pozlacených a zlatých artefaktů. V souvislosti s interpretacemi uvedenými v následujících odstavcích, lze uvažovat o tom, že severní část vnitřního hradiště byla vyčleněna pro vyšší společenskou vrstvu obyvatelstva. (zdroj: dokumentace ARUP – Křivánek, Mařík)



Obr. 78: Povrchové sběry, detektory kovů – vlevo je znázorněna hustota a váha nasbíraných keramických zlomků, následují nálezy odpadu z výroby mědi a dále jsou opět vyneseny nálezy stříbrných, pozlacených a zlatých artefaktů. Zvolená interpretace tak do jihovýchodní části hradiště v počítačové rekonstrukci umístila kupeckou osadu a místo trhu. (zdroj: dokumentace ARUP – Křivánek, Mařík)



Obr. 79: Detektory kovů, geofyzika – na levém obrázku je znázorněna hustota nálezů odpadu vzniklého při zpracování zlata a stříbra, uprostřed vidíme místa s největší intenzitou impaktu ohně. Tato data a jejich identické umístění v prostoru u kostela, vedle k domněnce, že na místě fungovala zlatnická dílna. (zdroj: dokumentace ARUP – Křivánek, Mařík)



Obr. 80: Celkový plán 3D rekonstrukce hradiště.

Na obrázku 80 je na základě uvedených dedukcí vizualizován celkový plán vnitřního hradiště, kde je severní a západní část u kostela vyhrazena pro sídlení nobility a jižně přímo u kostela byl knížecí palác nahrazen dvěma domy s kamennou podezdívkou a zlatnickou dílnou. V jižní části hradiště, která je přirozeně oddělena i terénním zlomem, pak byla na západní straně umístěna chudší zástavba řadových obyvatel hradiště a na východní polovině kupecká osada, kde mohl pravděpodobně fungovat i trh. Důležitou informací z geofyzikálního měření je pak lokace cesty, která od hlavní východo-západní komunikace směřuje k jižní bráně, což by nepřímo mohlo vypovídat o umístění přístavu v její blízkosti.

Osídlení předhradí bylo na základě výstupů ze záchranných archeologických výzkumů ve 3D počítačové rekonstrukci pojato jako hustě osídlené (viz obr. 73, pravá část). Další informace o charakteru zástavby předhradí poskytly analýzy semen a uhlíků, kde vysoký podíl rumištních rostlin a plevelů, potvrzuje předpoklad intenzivně osídleného prostoru a lze zde předpokládat i menší obdělávané plochy, které dokládají plevele okopanin (Mařík 2009, 24). Z důležitých objektů uvnitř předhradí pak byl k počítačové rekonstrukci zvolen kostel, který se pravděpodobně nacházel na místě dnešní fary a dále tzv. kněžský dům v jeho blízkosti (Mařík 2007, 128 – 129). Mimo opevněný areál pak bylo k vizualizaci vybráno pohřebiště U nádraží (viz obr. 81).

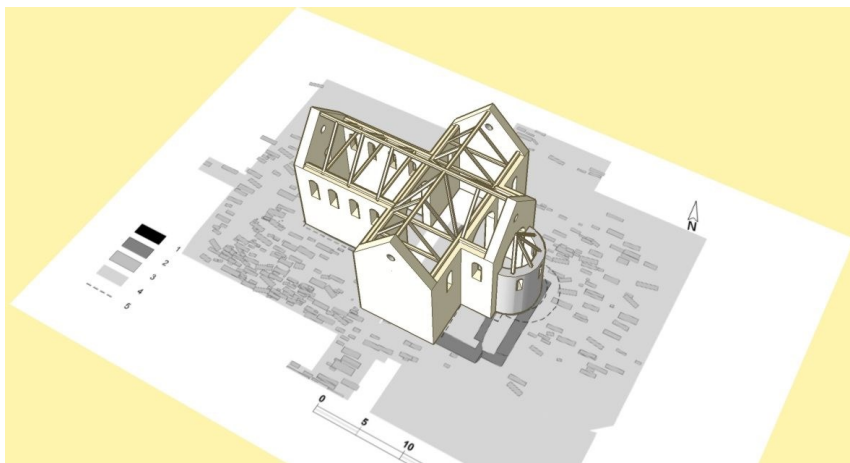


Obr. 81: Na obrázku vpravo je vyznačený rozsah archeologických výzkumů v libické aglomeraci a zvýrazněny objekty určené k rekonstrukci (1 – kostel, 2 – kněžský dům, 3 – pohřebiště). Vlevo ukázka možné hustoty osídlení na předhradí, jak bylo zachyceno záchranným výzkumem. (zdroj: dokumentace ARUP Mařík)

Postup tvorby rekonstrukčních modelů jednotlivých objektů

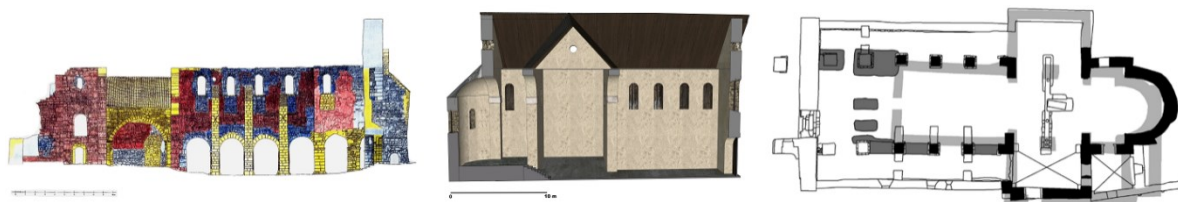
Získávání podkladů pro utváření podoby jednotlivých objektů muselo ze zcela jasných důvodů probíhat jinou formou než v předchozím případě města Slaný a na místo historických pramenů, byla potřebná data získávána z výsledků archeologických výzkumů v celoevropském záběru, kde jsou prezentovány především dochované části dřevěných konstrukcí. Dále bylo využito i již provedených vizualizací staveb raného středověku z odborné literatury a jako nezastupitelný pramen se projevila experimentální archeologie a skanzeny.

Zásadním objektem, kterému byla věnována největší pozornost, se stal kostel neznámého zasvěcení na akropoli a k tomuto objektu se váže i nejvíce dostupných podkladových dat. Jeho půdorys tvořený z větší části pouze negativem zdiva byl odkryt archeologickým výzkumem v roce 1949. Pro tvorbu počítačové rekonstrukce byl zvolen půdorys po revizi výzkumu a interpretace Rudolfa Turka, který zhotovil Jan Mařík a ve kterém byly oproti předchozímu stavu odstraněny emporie v patře příčné lodi, ke kostelu příděná čtvercová křestní kaple a úzká sakristie (Mařík 2007; Turek 1963, 223), viz obr. 82.



Obr. 82: Ukázka postupu modelování na upraveném půdorysu dle Jana Maříka (2007).

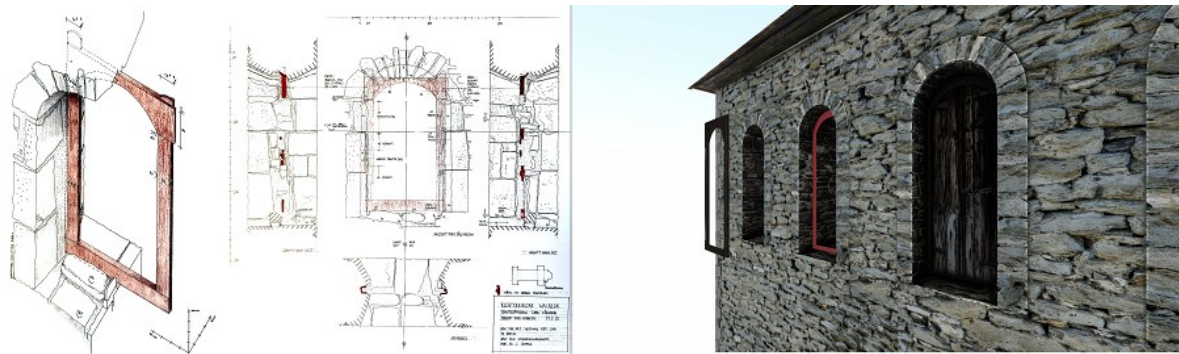
Vzhledem k nedostatku jiných dat, která by dovolila stanovit představu o nedochovaných nadzemních částech kostela, byly přejaty rozměrové proporce a charakter chrámu ve Walbecku (viz obr. 83 – 85), který je uváděn jako možný vzor pro libický kostel, který byl hned po svém objevení spojován s prostředím saské otonské architektury (Turek 1958). Obě stavby vykazují řadu podobností a mají v podstatě shodné půdorysy (Mařík 2007, 125). K dispozici navíc byla kompletní studie walbeckého kostela, takže bylo možné získat zcela přesné údaje potřebné k provedení rekonstrukce (Heinecke – Ingelmann 2007).



Obr. 83: Vlevo příčný řez kostelem ve Walbecku, uprostřed rekonstrukcí kostela na akropoli v Libici a vpravo porovnání půdorysů obou staveb (všechny plány ve stejném měřítku).



Obr. 84: Vlevo dochované řešení oken kostela ve Walbecku, uprostřed a vpravo jejich rekonstrukce v počítačovém modelu kostela na akropoli v Libici.

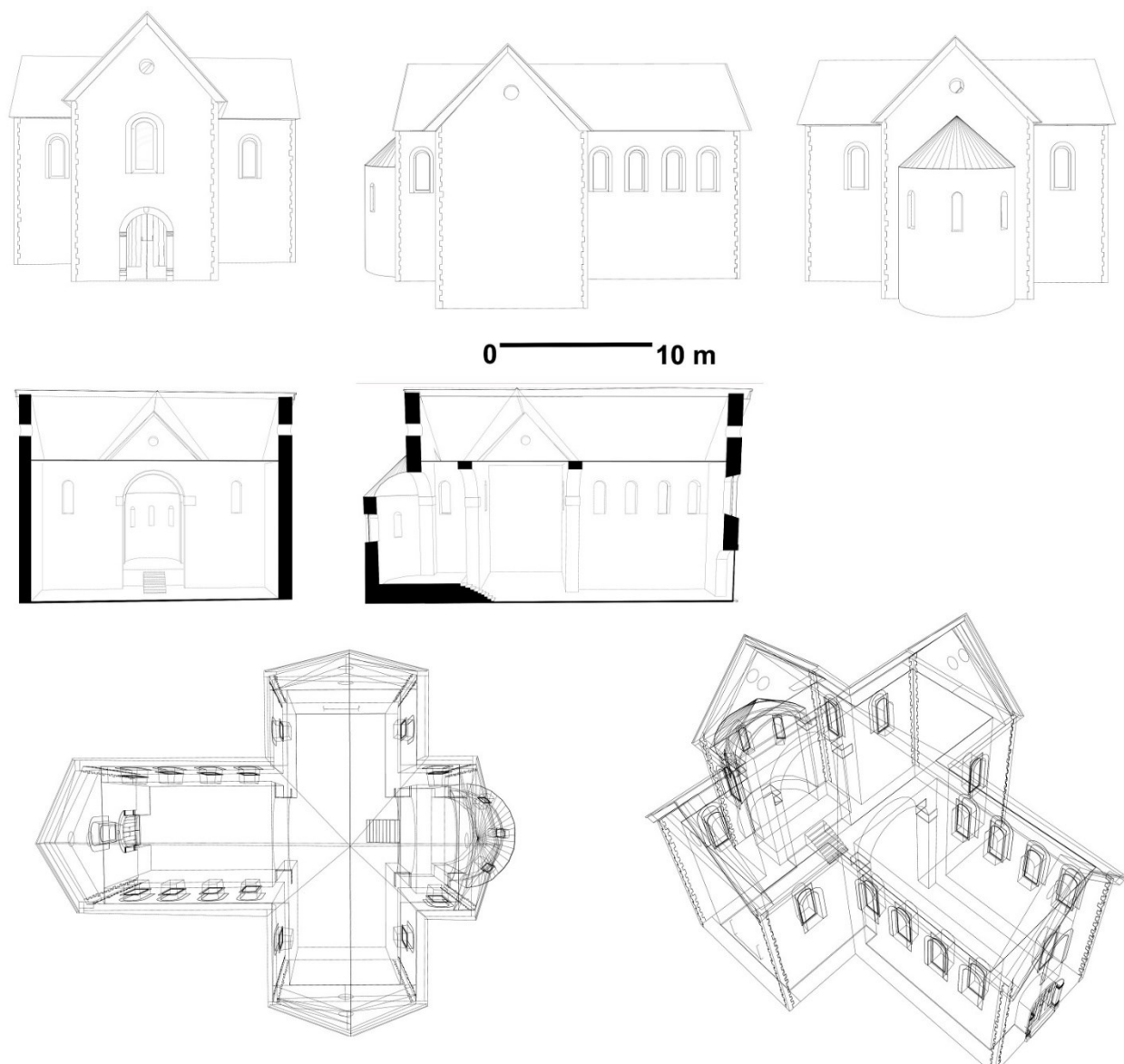


Obr. 85: Vlevo poznatky o konstrukci okenního rámu v kostelu ve Walbecku, vpravo převzetí tohoto prvku pro rekonstrukci kostela na akropoli v Libici.

Jako jediný dostupný ikonografický pramen vztahující se kostelu na akropoli, je pouze odvozený, protože znázorňuje kostel ve Walbecku v roce 1841 (Heinecke - Ingelmann 2007, 43), kde je ovšem stav už po gotických přestavbách (viz obr. 86).

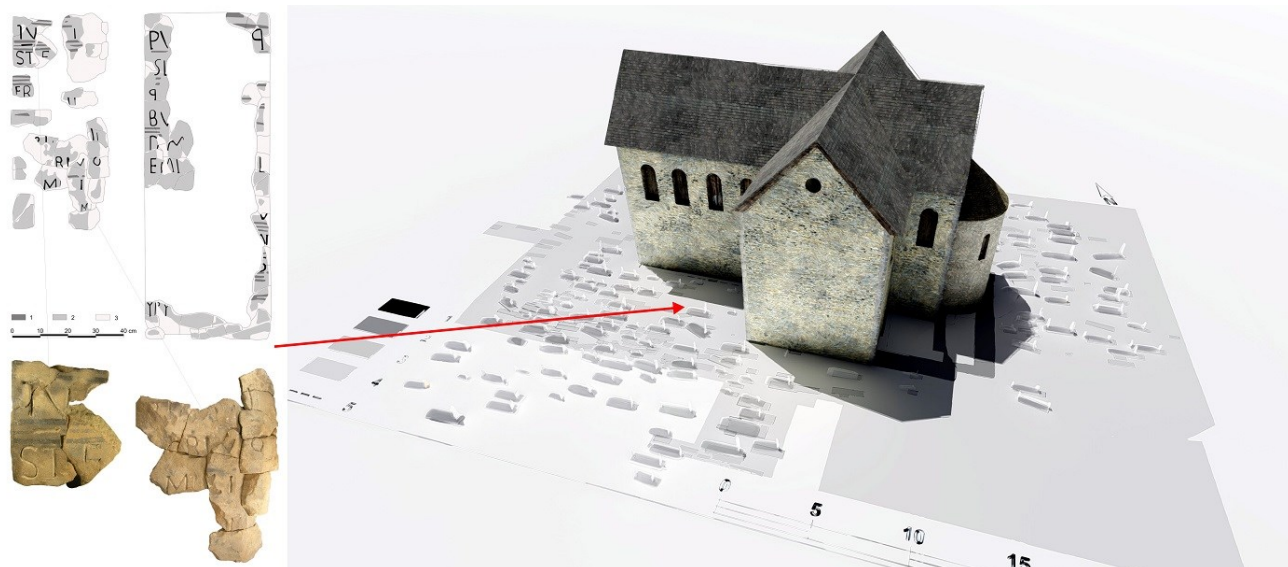


Obr. 86: Problematické využití ikonografických pramenů je v případě libického kostela (počítačová rekonstrukce libického kostela a vpravo kostel ve Walbecku).



Obr. 87: Schématické pohledy a řezy počítačovou rekonstrukcí kostela na akropoli.

Na základě plánu z archeologického výzkumu v roce 1959, bylo kolem kostela vymodelováno přilehlé pohřebiště, kde jednotlivé hroby tvořily mělce nasypané rovy označené nízkými náhrobními kameny z opuky, které byly zachyceny v několika hrobech (Mařík – Roháček 2013, Turek 1978; viz obr. 88).



Obr. 88: Rekonstrukce pohřebiště na plánu výzkumu z r. 1978 (Turek 1978).



Obr. 89: Finální podoba počítačové rekonstrukce kostela na akropoli.

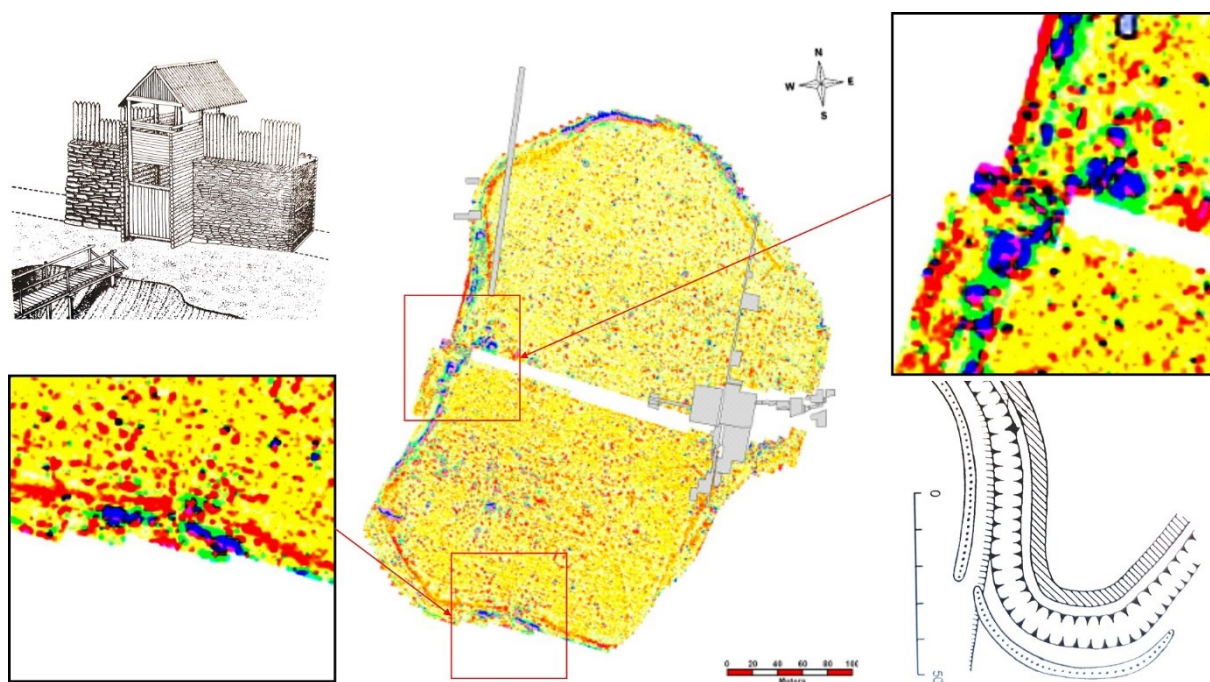
Při rekonstrukci bran do vnitřního hradiště bylo částečně postupováno dle výstupů z archeologického výzkumu či nedestruktivního průzkumu a možných analogií z již provedených rekonstrukčních vizualizací v literatuře. Přestože v prostoru předpokládané východní, snad klešťovité, brány výzkumy proběhl, tak z dochované terénní dokumentace nebylo možné získat relevantní data pro její rekonstrukci. Vzhledem k tomu, že se jednalo pravděpodobně o hlavní vstup na akropoli, byl objekt pojat jako mohutná brána se zataženými rameny, podobné řešení můžeme vidět např. v Arkoně nebo Bródně Starem (viz obr. 90; Procházka 2009, 16). U západní brány, která nebyla zkoumána, byl hlavní informací pro její rekonstrukci, výstup z geofyzikálního měření. Zde je patrné, že na sebe linie valu nenavazují

v jedné přímce, ale běží chvíli souběžně, čímž se vytváří ulička, kde útočník nemá krytý pravý bok štítem a podobné řešení můžeme vidět např. na Klučově (viz obr. 91; Procházka 2009, 17 – 18; Turek 1963, 133).



Obr. 90: Vlevo řešení bran s dovnitř zalomenými rameny z Bródno Stare (nahore) a Arkony (dole), vpravo počítačová rekonstrukce klešťovité brány v Libici, pohled na vnitřní část brány.

U jižní brány byla také brána v potaz data z geofyzikálního měření, kde vidíme náznak obvyklého vstupu v přímé linii valu. Ten je obvykle řešen věží, která jen lehce převyšuje korunu okolní hradby a v půdorysu má o něco delší strany kolmé valu, což lze vysledovat např. v Kouřimi nebo v Břeclavi – Pohansku (viz obr. 92; Procházka 2009, 60, 125). U obou bran pak byla použita buď dřevěná konstrukce (východní brána) nebo konstrukce kombinovaná s kamennými prvky (západní brána) a charakterově byly rekonstrukční modely řešeny na základě analogií z jiných obdobných lokalit. Tento postup v podstatě neuspořádané rekonstrukce bran, kdy pro každou z nich byl zvolen zcela jiný postup, vychází především z pozorování odjinud, kdy málokdy vidíme identická řešení vstupů na raně středověká hradiště a výstižná je tak teze Rudolfa Turka (1963, 83), že „na těchto opevněních je málo stereotypních situací, často i na jednom a témž objektu se měnila technika z důvodu taktického překvapení“.

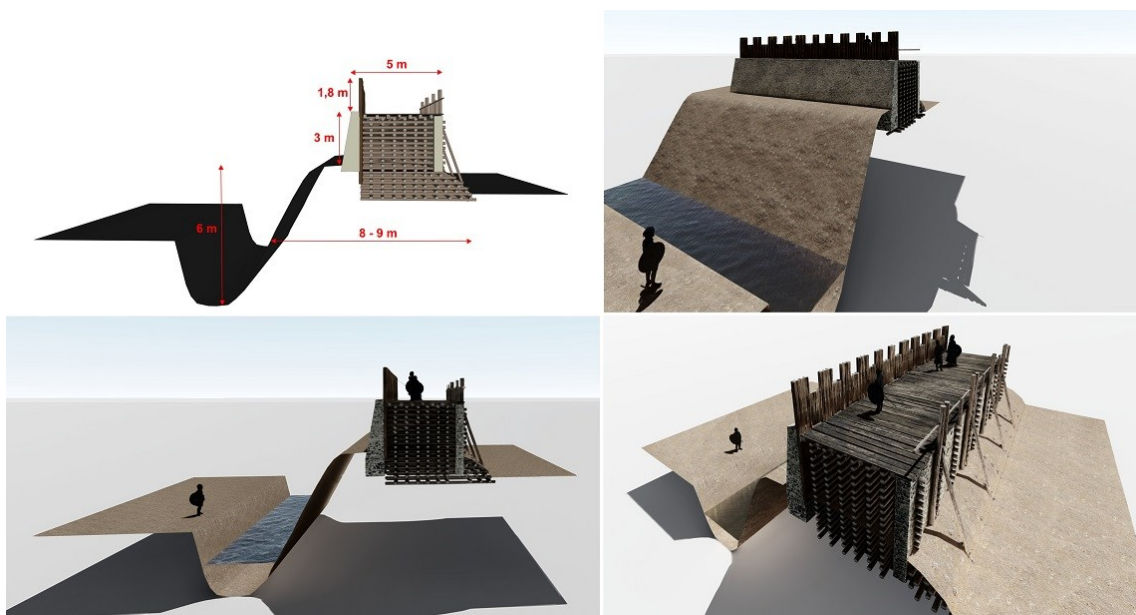


Obr. 91: Výstupy z geofyzikálního měření a analogie jako hlavní prameny pro tvorbu rekonstrukce východní a jižní brány.



Obr. 92: Počítačová rekonstrukce východní brány (vlevo) a jižní brány (vpravo).

Rekonstrukce hradby vnitřního hradiště vznikla na základě informací z archeologického výzkumu (Mařík 2006, Turek 1966-68), tvaru georeliéfu a statických posudků provedených pro hradiště v Kozárovích (Pavlis 1978). Výška valu byla stanovena na 10 m ode dna příkopu, 6 m nad úroveň okolního terénu a jeho šířka na 8 – 9 m, vnější kamenná zeď dosahuje výšky 3 m, její koruna tvořená palisádou výšku ještě o 1,8 m zvedá a šířka tělesa je 4 – 5 m (viz obr. 93). Konstrukce hradby byla zvolena jako skořepinová s dvěma kamennými stěnami a vnitřním dřevěným roštem (Procházka 2009, 11). Na základě výsledků záchranných výzkumů lze hradbu předhradí rekonstruovat jako skořepinové konstrukce s čelní kamennou zdí i vnitřním dřevěným bedněním a dřevěným roštem. Rozměry byly ponechány obdobné jako v případě hradby vnitřního hradiště.



Obr. 93: Rozměry a konstrukce hradby vnitřního hradiště.

V prostoru u kostela na akropoli byly ještě detailněji modelovány objekty zlatnických dílen a knížecího dvorce. Na základě nového vyhodnocení výzkumu R. Turka, výsledků z nedestruktivních průzkumů a provedených sondáží v roce 2018 (Mařík, ústní sdělení) byly na místo knížecího paláce do areálu kostela situovány dva domy s kamennou podezdívkou a dílna na zpracování neželezných kovů. Ty byly modelovány jako seskupení obytných domů a přidružených přístřešků a budov, kde probíhalo zpracování a výroba – vzhledem k absenci detailních informací o podobě tohoto typu objektu v raném středověku, nemusela mít dílna nijak specifickou podobu (jak vidíme např. v Birce nebo Tilledě) a model byl vytvořen poměrně volně jako dům, v jehož okolí jsou rozmístěna pyrotechnická zařízení a výrobní odpad (viz obr. 94; Ambrosiani 2013; Klanica 1974, Grimm 1968).



Obr. 94: Pohled do prostoru možných zlatnických dílen.

Pokud tedy nebudeme brát v potaz interpretaci knížecího paláce u kostela na základě výzkumu R. Turka, nebylo možné pro rekonstrukci knížecího dvorce najít oporu v datech přímo z archeologického výzkumu a pro tvorbu rekonstrukce, musely být použity analogie z jiných oblastí. Byl tak vytvořen areál ohrazený palisádou, jak vidíme např. na Břeclavi – Pohansku, ve kterém byly kromě samotného paláce umístěny i další stavby převážně hospodářského charakteru. Pro palác pak byla použita data z Tilledy (Grimm 1968), podobné řešení vidíme i na akropoli v Sulzbach-Rosenbergu (Ettel 2014, 126) a palác tak byl volně zrekonstruován jako dlouhý halový dům (15 x 7 m), dřevěné konstrukce (viz obr. 95, 96).

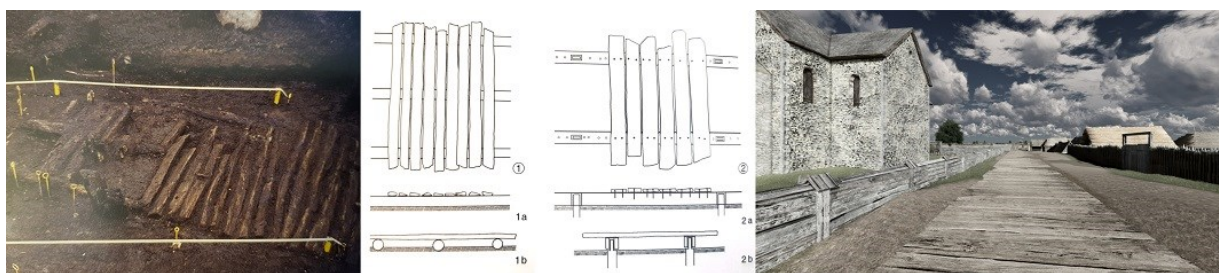


Obr. 95: Analogie z Břeclavi-Pohanska (vlevo) a Tilledy (vpravo) pro rekonstrukci knížecího dvorce na akropoli.

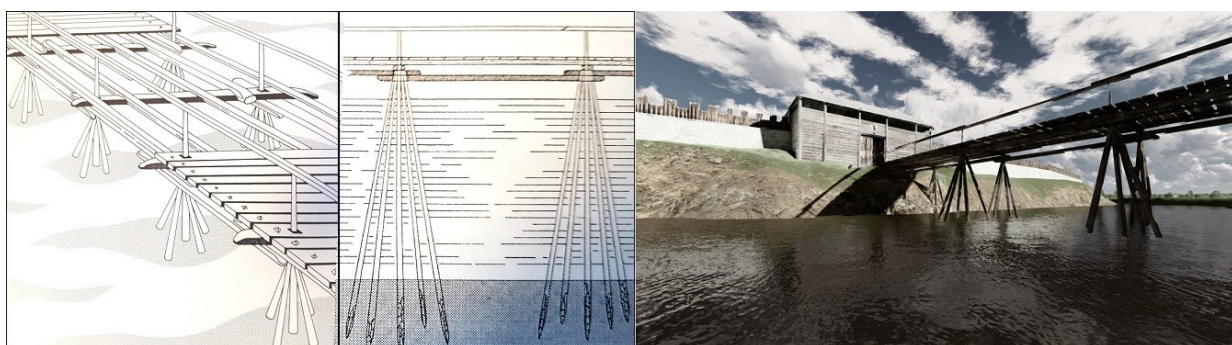


Obr. 96: Pohled do interiéru paláce, který byl pojat jako halová stavba s ohništěm uprostřed.

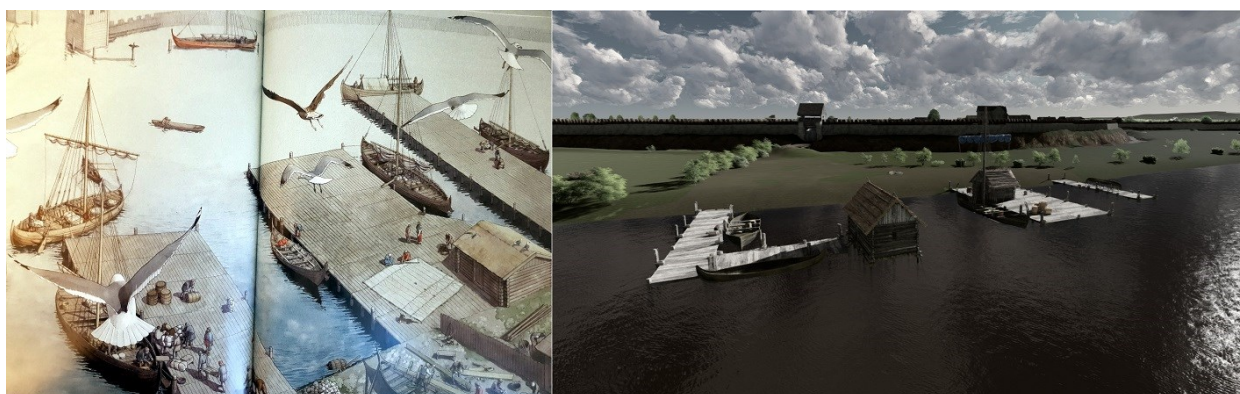
Pro rekonstrukci hlavní komunikační osy procházející celým hradištěm ve směru východ – západ, byla použita data z Haithabu, kde byly zachyceny relikty dřevěných konstrukcí cest (Schietzel 2014, 108 – 114) a pro Libici tak byla komunikace vyložena masivními dřevěnými fošnami (viz obr. 97). Pro dřevěné mosty byla jako vzor použita data z lokality Ostrow Lednicki, kde se podařilo zdokumentovat kompletní konstrukční řešení (viz obr. 98; Kola – Wilke 2000). Rekonstrukce přístavu, který byl umístěn na břeh Cidliny u jižní brány a který nemá žádnou oporu v archeologickém záznamu, byla pojata jako volná analogie rekonstrukce přístavu v Haithabu (Schietzel 2014, 562 – 563) a stejně tak byly modelovány i dřevěné lodě (viz obr. 99; Schietzel 2014, 472, 512).



Obr. 97: Vlevo a uprostřed dřevěné konstrukce cest používané v Haithabu, vpravo jejich rekonstrukce v Libici.



Obr. 98: Vlevo a uprostřed konstrukce mostu na Ostrowě Lednickim, vpravo rekonstrukce v Libici.



Obr. 99: Vlevo ilustrovaná rekonstrukce přístavu v Haithabu, vpravo počítačová rekonstrukce přístavu v Libici.

Na předhradí, které bylo pojato jako intenzivní zástavba s menšími obdělávanými plochami, byla pozornost věnována kostelu na místě dnešní fary a kněžskému domu. Kostel nebyl zachycen archeologickým výzkumem a jeho existenci naznačují pouze nálezy raně středověkých hrobů, které dovolily stanovit rozsah celého pohřebiště. Umístění kostela tak snad lze klást na mírnou vyvýšeninu převyšující okolní terén cca o 2 m, kde se nyní nachází budova katolické fary, původní kostel Panny Marie (Mařík 2007, 128 – 129). Kostel byl rekonstruován

jako jednoduchá jednolodní stavba s hrázděnou konstrukcí pobitou prkny a sedlovou střechou (viz obr. 100). Kněžský dům nacházející se cca 140 m od kostela, lze na základě archeologického výzkumu rekonstruovat jako dřevěnou budovu založenou na kamenné podezdívce o rozměrech minimálně 22 x 45 m (viz obr. 100; Mařík 2007, 129).



Obr. 100: Rekonstrukce kostela a kněžského domu na předhradí.

Texturování objektů

Pro většinu objektů byly použity textury buď z volně dostupných databank na internetu, které byly aplikovány na dřevěné struktury (prkna, klády atd.), krytinu střech či stěny budov (viz obr. 101) nebo byly opět využity textury nasbírané v archeoskanzenu v Bärnau, který svým zaměřením na 9 – 13. víceméně spadá do sledovaného období a to hlavně pro specifitější prvky jako jsou okna, dveře nebo omítky. Jediná identicky odvozená textura byla připravena pro kostel na akropoli, která byla nafocena na zdivech přímo v Libici, aby byla zachována struktura a charakter opukového zdiva.



Obr. 101: Příklad volně dostupných obecných textur použitých v počítačovém modelu Libice.

3.3.4 Nejistota dat rekonstrukce

Podíváme-li se na tabulku nejistoty dat v provedené počítačové rekonstrukci jednotlivých objektů na hradišti v Libici, je zde zřetelný rozdíl oproti předchozímu případu. Hodnoty důvěryhodnosti modelů objektů se ve Slaném pohybovaly ponejvíce v rozmezí 40 – 70%, zatímco v Libici obvykle kolísají mezi 10 a 30%. Tento pokles tkví především v absenci ikonografických, faktografických a písemných pramenů, samozřejmě ve stavu dochování a problému s lokalizací, který souvisí s tím, že bylo archeologicky prozkoumáno pouze 6% plochy libického hradiště. Tím, že výzkum probíhal před více než půl stoletím, nebylo také možné použít moderní technologie 3D digitální dokumentace a problematické jsou ve většině případů textury, které nebylo možné pro objekty raného středověku autenticky nafotit.

LIBICE	zachování	prost.lok.	archoe	3D	plány	ikono	analogie	písemné	textura	architekt	DŮVĚRA
kostel na akropoli	50	100	100	0	0	0	100	0	50	50	50%
kostel na předhradí	0	0	0	0	0	0	50	0	0	0	5%
kněžský dům	50	50	100	0	0	0	0	0	0	0	20%
hlavní brána na akropoli	50	100	100	0	0	0	50	0	0	50	35%
jižní brána	0	50	0	0	0	0	50	0	0	50	15%
západní brána	0	50	0	0	0	0	50	0	0	50	15%
hradby akropole	50	100	50	0	0	0	50	0	0	50	30%
hradby předhradí	0	50	50	0	0	0	50	0	0	50	20%
brány na předhradí	0	0	0	0	0	0	50	0	0	50	10%
most	0	0	0	0	0	0	100	0	0	100	20%
zlatnické dílny	50	50	50	0	0	0	0	0	0	0	15%
knížecí dvorec	0	0	0	0	0	0	50	0	0	50	10%
přístav	0	0	0	0	0	0	50	0	0	0	5%
zástavba akropole	0	0	0	0	0	0	100	0	0	100	20%
zástavba předhradí	50	0	50	0	0	0	100	0	0	100	30%

Tab. 4: Nejistota dat jednotlivých objektů libického hradiště.

Největší pravděpodobnost, že provedená rekonstrukce odpovídá tehdejší skutečnosti, je u kostela na akropoli, který ale i tak dosáhl pouhých 50%. To bylo zapříčiněno především možností použít analogie otonské architektury ze Saska, kompletním archeologickým průzkumem a aplikací alespoň odvozené textury na povrch modelu. Co se týče bran, tak největší důvěryhodnost má hlavní západní brána na akropoli (35%), protože na ní proběhl archeologický výzkum a je tak přesně lokalizována. Ostatní dvě brány vnitřního hradiště, pak vzhledem k absenci archeologického výzkumu klesly na 15% a brány na předhradí, u kterých není jasná lokalizace mají 10%. Důvěryhodnost rekonstrukce hradeb je mezi 20 – 30%, což je opět dáno rozsahem archeologického výzkumu; hradby vnitřního hradiště mají vyšší pravděpodobnost i díky jejich lepší čitelnosti v terénu a zachování. Velice malou pravděpodobnost mají objekty, které nebyly archeologicky zkoumány a do rekonstrukčního modelu byly zařazeny pouze na základě druhotných informací, poukazujících na jejich existenci (kostel na předhradí 15%, knížecí dvorec 10%, přístav 5%). Vnitřní zástavba hradiště kolísá mezi 20 a 30% a tato hodnota je dosažena v podstatě pouze na základě předpokladu, že hradiště bylo osídleno

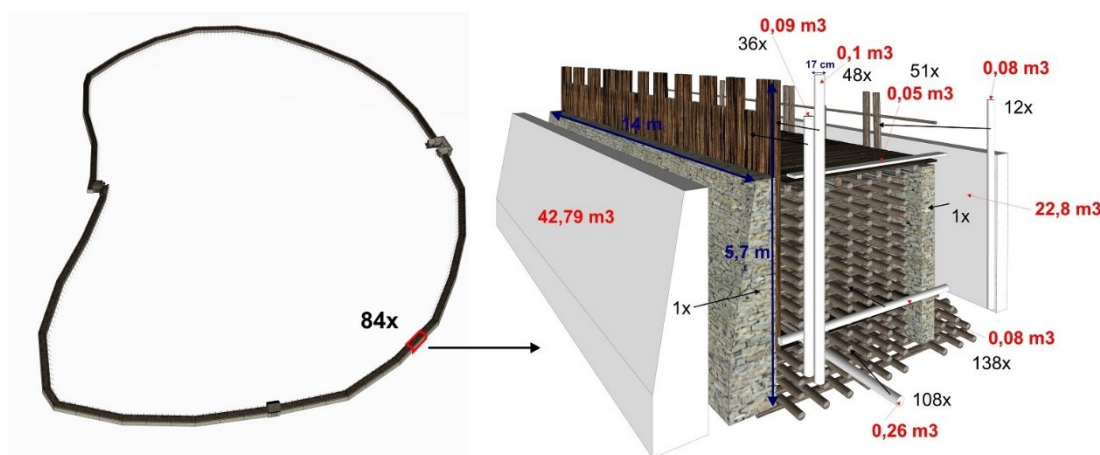
(architektonický kontext/logika tedy 100%) a byla přiřazena i plná hodnota pro analogie, z důvodu, že obytné stavby raného středověku jsou nejlépe archeologicky zdokumentované objekty pro toto období a zároveň byly provedeny jejich experimentální rekonstrukce. Plné hodnoty pro tyto kategorie obdržel také dřevěný most, kdy je k dispozici jasná analogie z dochovaných konstrukcí a je zde také oprávněný předpoklad jeho existence k překonání příkopu fortifikace.

3.3.5 Analýza dat z počítačového modelu

Vzhledem k tomu, že pro hradiště v Libici byl proveden odhad objemu stavebního materiálu potřebného k výstavbě fortifikace a odhad počtu obyvatel (Mařík 2009, 139 – 144), byly tyto údaje ověřeny i na základě počítačové 3D rekonstrukce.

Výpočet objemu stavebního materiálu pro výstavbu fortifikace

Veškeré 3D rekonstrukční modely byly modelovány v reálných rozměrech v programu SketchUp, který umožňuje pro uzavřené části modelu vypočítávat plochu a objem. Pro výpočty libické fortifikace tak nebylo nezbytné již hotové modely nijak dále upravovat a byla provedena analýza na modelu hradby vnitřního hradiště a modelu hradby předhradí. Obě opevnění se od sebe odlišují rozdílným typem konstrukce, kdy hradba akropole obsahuje vnitřní kamennou plentu, zatímco hradba předhradí má vnitřní stranu krytou pouze dřevěným bedněním a drobné rozdíly jsou i v rozměrech.

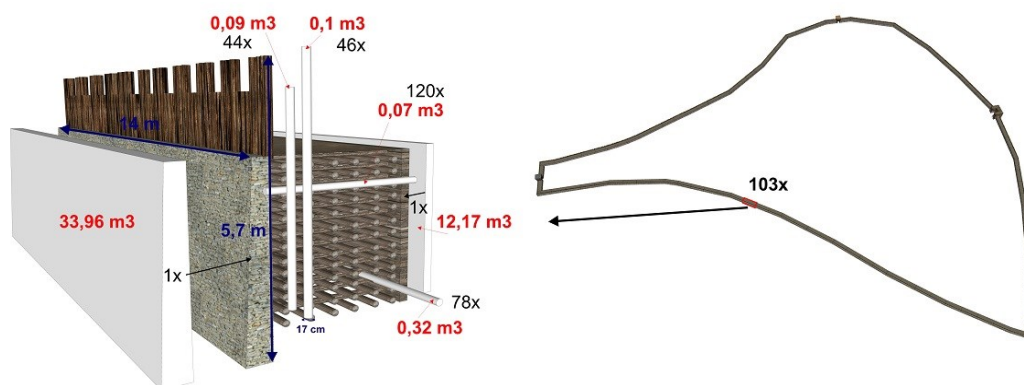


Obr. 102: Postup získávání údajů z počítačového modelu části hradby akropole.

AKROPOLE				
STAVEBNÍ PRVEK	m3	počet/díl	celkem/díl	celkem hradba
kam. vnější zeď	42,79	1	42,79	3594,36
kam. vnitřní zeď	22,8	1	22,8	1915,2
palisáda delší sloup	0,1	48	4,8	403,2
palisáda kratší sloup	0,09	36	3,24	272,16
rošt příčný	0,08	138	11,04	927,36
rošt podélný	0,26	108	28,08	2358,72
podpěry	0,08	12	0,96	80,64
akropole celkem dřevo				4042,82
akropole celkem kámen				5509,56

Tab. 5: Tabulka výpočtu objemů na základě údajů z 3D rekonstrukčního modelu.

Na přiloženém obrázku 102 je znázorněn postup výpočtu objemu stavebního materiálu pro hradbu akropole. Pro tvorbu rekonstrukce byl vytvořen model části hradby o délce 14 m, z těchto jednotlivých dílů byl vystaven celý průběh fortifikace na akropoli (celkem jich bylo použito 84). Tento model byl pro účely analýzy upraven vložením dřevěné roštové konstrukce a jednotlivé části hradby byly hmotově zkopírovány a uzavřeny, aby mohl být proveden výpočet. Pro každý prvek tak byl vygenerován údaj o objemu zvlášť a vypočítán počet opakování tohoto prvku v modelu. Rozměry opevnění byly dodrženy na základě údajů uvedených v kapitole o tvorbě rekonstrukce a průměry kmenů byly koncipovány o průměru 17 cm, což je údaj uváděný v odborné literatuře pro raně středověká opevnění (Procházka 1986) i konkrétně pro Libici (Mařík 2009, 144). Získané údaje o objemu jednotlivých prvků v modelu části opevnění pak byly vynásobeny počtem jeho opakování v rekonstrukci, tzn. x 84 a byly tak získány konečné počty pro celý fortifikační pás akropole. Do analýzy nebyly zahrnuty vstupní brány, finální objem stavebního materiálu tak mohl být o něco vyšší. Stejný postup byl zvolen i pro opevnění předhradí, kde byly potřebné údaje získány z 3D rekonstrukčního modelu hradby (viz obr. 103).

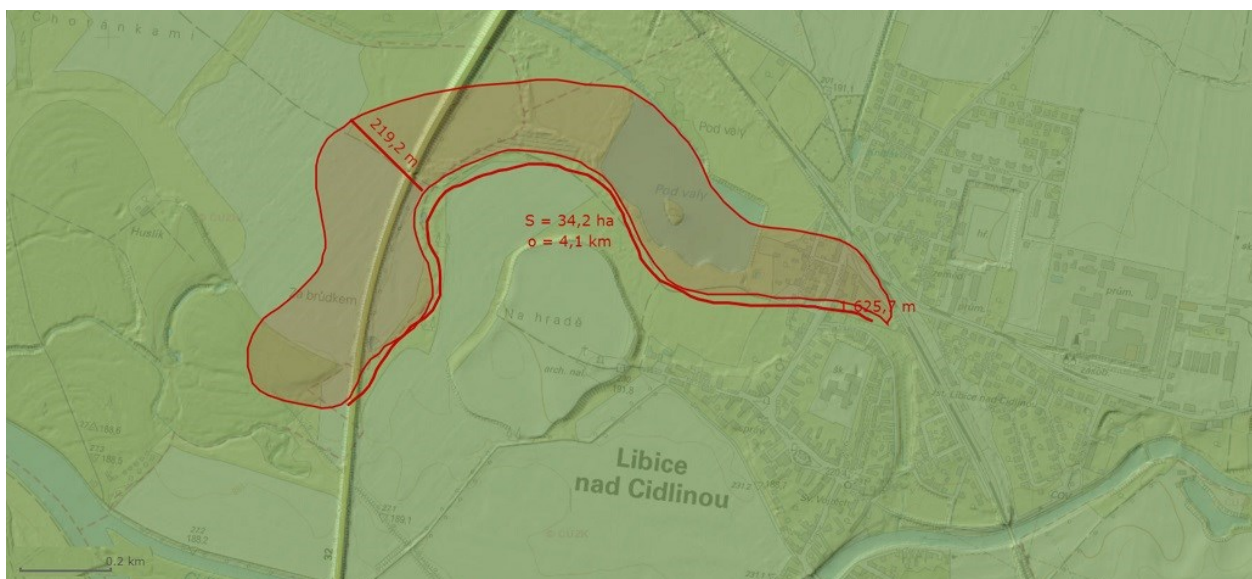


Obr. 103: Postup získávání údajů z počítačového modelu části hradby předhradí.

PŘEDHRADÍ				
STAVEBNÍ PRVEK	m3	počet/díl	celkem/díl	celkem hradba
kam. vnější zeď	33,96	1	33,96	3497,88
bednění vnitřní zeď	12,17	1	12,17	1582,1
palisáda delší sloup	0,1	46	4,6	598
palisáda kratší sloup	0,09	44	3,96	514,8
rošt příčný	0,07	120	8,4	1092
rošt podélný	0,32	78	24,96	3244,8
předhradí celkem dřevo				7031,7
předhradí celkem kámen				3497,88
HRADIŠTĚ				
hradiště celkem dřevo				11074,52
hradiště celkem kámen				9007,44

Tab. 6: Tabulka výpočtu objemů na základě údajů z 3D rekonstrukčního modelu.

Pokud byly zvoleny správné rozměrové proporce modelu a charakter jednotlivých konstrukčních prvků jako je např. hustota dřevěného roštu, řešení palisády atd., tak pro hradbu vnitřního hradiště muselo být spotřebováno 4043 m³ dřeva a 5510 m³ opuky, pro hradbu předhradí pak 7032 m³ dřeva a 3498 m³ opuky. Celkem by tak pro stavbu fortifikace bez vstupních bran bylo zapotřebí přemístit 11 000 kubíků dřeva a 9 000 kubíků opuky. Tento výsledek je v rozporu s odhadem z literatury (Mařík 2009, 143), který uvádí takřka dvakrát menší výpočet objemu dřevěných konstrukcí, 6574 m³. Předpokládané výnosy těžby dřeva se pohybují od 700m³ v ideálních podmínkách po 187 m³ na 1 ha lesa (Mařík 2009, 144), což znamená, že pro výstavbu opevnění bylo zapotřebí vykácet plochu od 15 do 59 ha. Pokud vezmeme jako průměrnou hodnotu, že z jednoho ha lesa bylo možné získat 300 m³ dřeva vhodného pro stavbu, tak by šlo o plochu cca 37 ha. Podíváme-li se na obr. č. 104, tak by se jednalo o vykácení půlkruhového transektu kolem hradiště o délce přes 1,5 km a šířce 200 m. Plocha byla vybrána tak, aby kopírovala vnější břeh tehdejší vodoteče na severní straně od hradiště, neboť na základě analýz rostlinných makrozbytků lze předpokládat, že území směrem k Cidlině byla záplavová oblast. Toto zjištění provedené na základě výpočtů z 3D rekonstrukčního modelu by tak bylo v souladu s palynologickými analýzami, které vykazují vysokou míru odlesnění v blízkém okolí hradiště (Mařík 2009, 24 – 27).

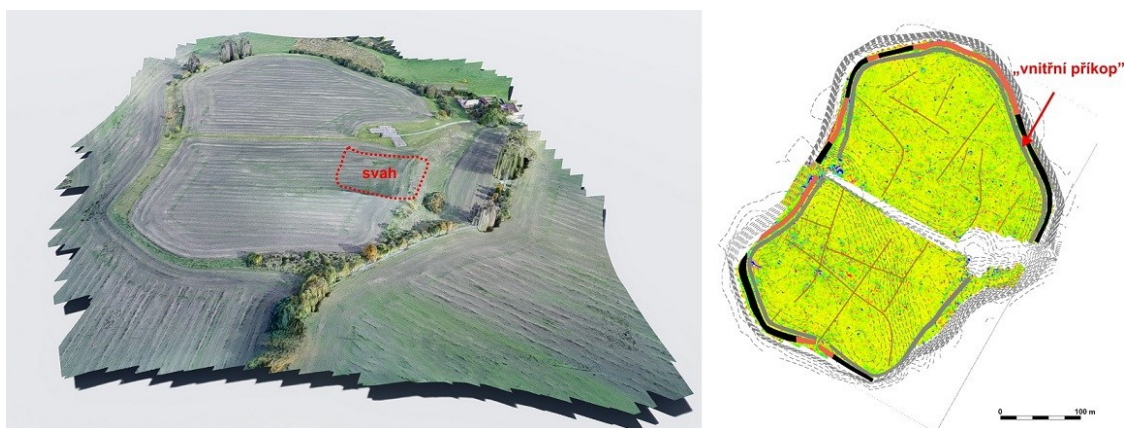


Obr. 104: Vyznačení pravděpodobného rozsahu vykáceného lesa pro získání dřeva pouze k výstavbě fortifikace (měření na základě nástroje ČUZK ArcGIS Web Application).

Vizualizace vnitřní zástavby pro výpočet počtu obyvatel hradiště

Přístupy pro výpočet počtu obyvatel jsou v dosavadních přístupech založené na odhadu počtu domů v nezkoumané části lokality dle doloženého počtu z archeologicky zkoumané části sídliště, stanovením výpočtu minimálního počtu obránců dle délky hrady a samozřejmě na základě údajů získaných z pohřebišť (Mařík 2009, 139).

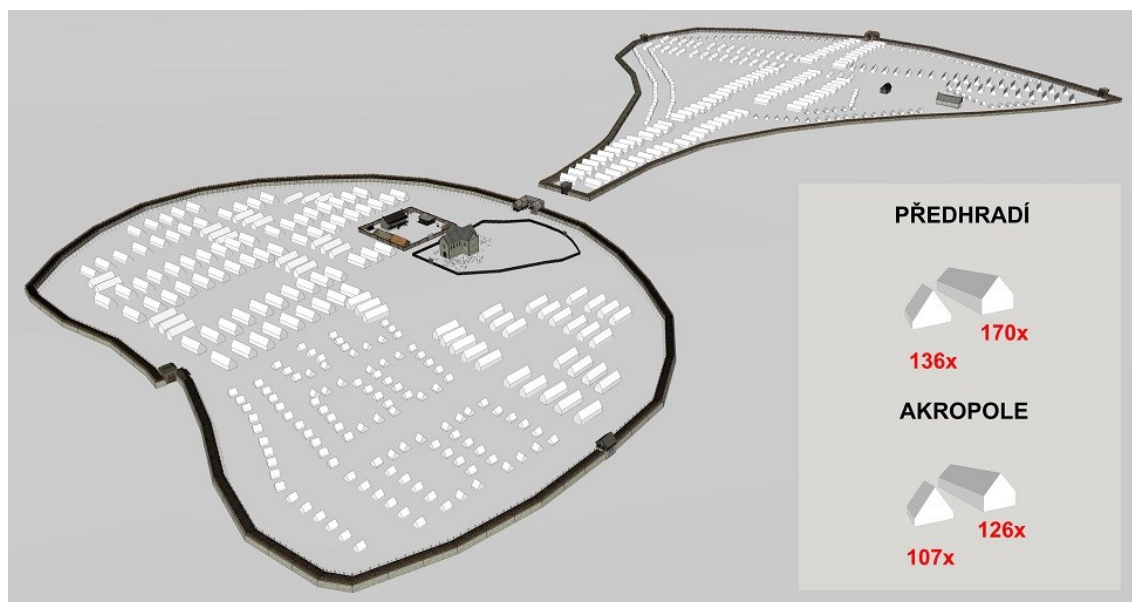
Pro libické hradiště byla vyzkoušena metoda vizuálního vyhodnocení možného počtu obyvatel na základě výstupů ze 3D rekonstrukčního modelu. Stejně jako v případě výpočtu objemu stavebního materiálu, byly veškeré použité rekonstrukce modelovány v reálných rozměrech. Byl vytvořen základní model hradiště obsahující kompletní fortifikaci, prozkoumané objekty a ponechán byl i knížecí dvorec na akropoli. Jako prostor nevhodný pro zástavbu a proto vynechaný v provedených vizualizacích, byl pás kolem hradeb na akropoli, kde geofyzikální měření identifikovalo vnitřní příkop, který by šel interpretovat jako místo odkud byla těžena zemina na stavbu valu a v pozdějším období využívání hradiště, zde pravděpodobně zůstávala výrazná sníženina. Dalším nezastavěným územím byl svah běžící jižně od prostoru kostela (viz obr. 105).



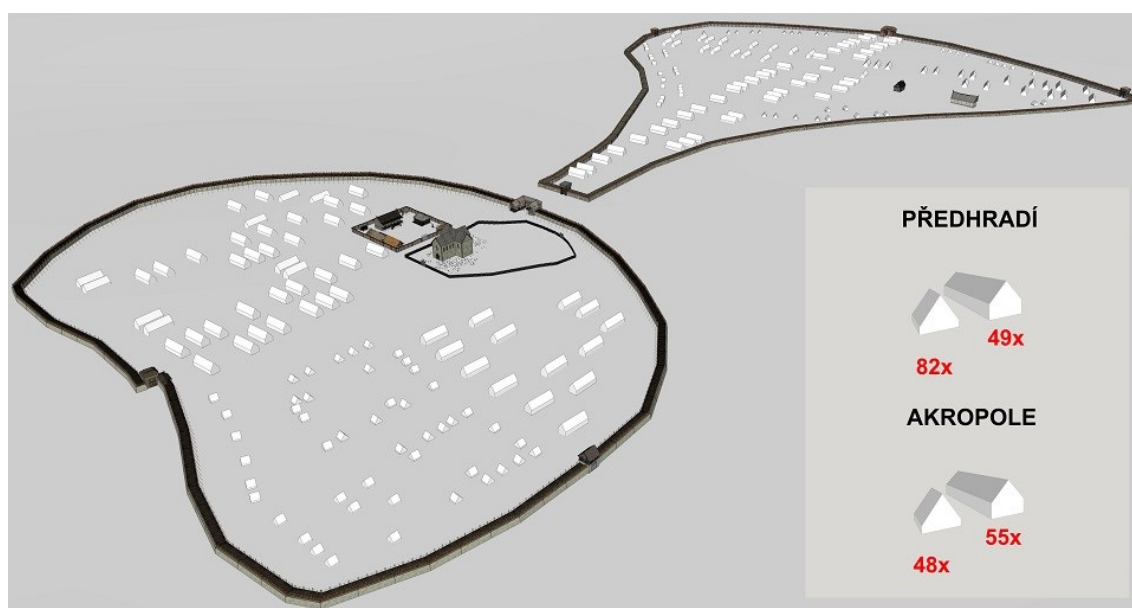
Obr. 105: Oblasti na vnitřním hradišti vynechané ze zástavby pro zhodnocení možného počtu obyvatel.

Jako základní typ obytné jednotky byly do počítačové rekonstrukce zvoleny menší obytné jednotky o rozměrech 4x4 m a větší obytné jednotky o rozměrech 15x5 m. Menší obytná jednotka reprezentuje chudší typ, kupříkladu ve formě polozemnice a počtem možných obyvatel 2 – 4, větší obytná jednotka reprezentuje možný dům s povrchovou snad roubenou konstrukcí a počtem obyvatel 5 -7 lidí (Vařeka 2004).

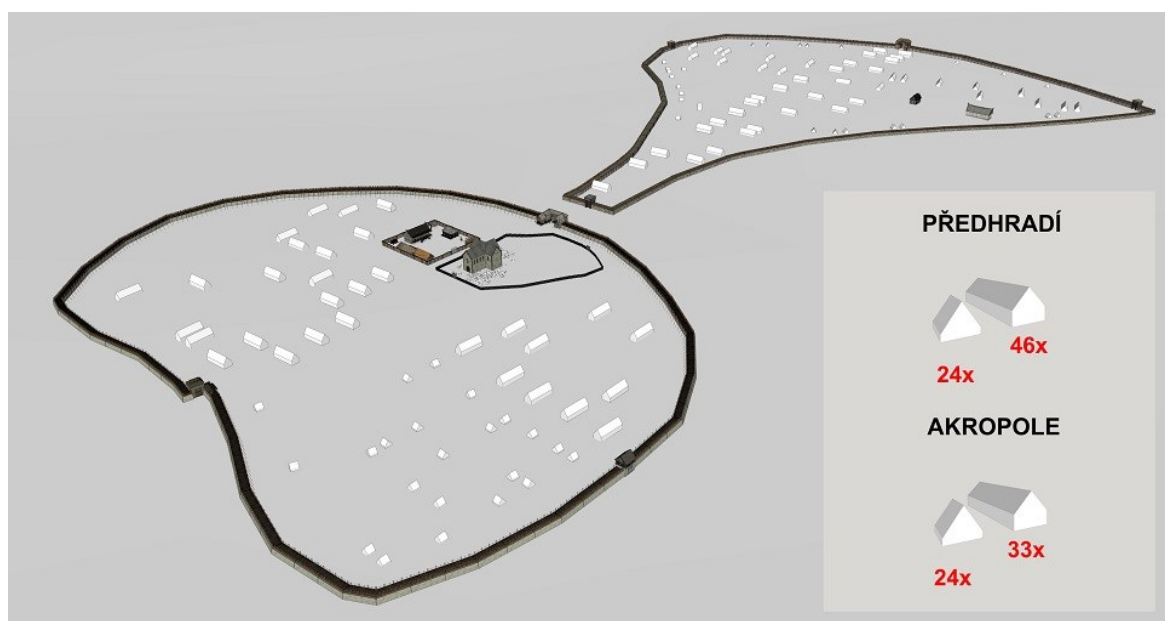
Byly připraveny tři vizualizace možné hustoty zástavby hradiště dle počtu umístěných zmíněných dvou typů obytných jednotek. První vizualizace (viz obr. 106) byla cíleně pojednána jako velice hustá zástavba s urbanistickými rysy (volnější podobu lze vidět např. na lokalitě Janow Pomorski), v další (viz obr. 107) byl počet obytných jednotek výrazně snížen a jde o volnější zástavbu respektující komunikační schéma hradiště. V poslední vizualizaci (viz obr. 108) byl počet jednotek ještě o řád snížen a jde tak o roztroušenou zástavbu velice nízké intenzity.



Obr. 106: Model 1 - Vizualizace s maximální zástavbou modelu (červená čísla znázorňují počet jednotek přítomných v modelu).



Obr. 107: Model 2 - Vizualizace se střední hustotou zástavby modelu.



Obr. 108: Model 3 - Vizualizace s nejnižší hustotou zástavby modelu.

MODEL 1					
	zemnice počet	střed. dům počet	výpočet ob.zem.	výpočet ob.dům	celkem obyvatel
AKROPOLE	107	126	214 - 428	625 - 882	839 - 1310
PŘEDHRADÍ	136	170	272 - 544	850 - 1190	1122 - 1734
HRADIŠTĚ	243	296	486 - 972	1475 - 2072	1961 - 3044
MODEL 2					
	zemnice počet	střed. dům počet	výpočet ob.zem.	výpočet ob.dům	celkem obyvatel
AKROPOLE	48	55	96 - 192	275 - 385	371 - 577
PŘEDHRADÍ	49	82	98 - 196	410 - 574	508 - 770
HRADIŠTĚ	97	137	194 - 388	685 - 959	879 - 1347
MODEL 3					
	zemnice počet	střed. dům počet	výpočet ob.zem.	výpočet ob.dům	celkem obyvatel
AKROPOLE	24	33	48 - 96	165 - 231	213 - 327
PŘEDHRADÍ	24	46	48 - 96	230 - 322	278 - 418
HRADIŠTĚ	48	79	96 - 192	395 - 553	491 - 745

Tab. 7: Tabulka s výpočtem možného počtu obyvatel v závislosti na hustotě zástavby v rekonstrukčním modelu.

Výpočet, který byl proveden na základě rozboru pohřebišť (Mařík 2009, 139 – 140), došel k závěru, že v průběhu první a druhé fáze se počet obyvatel libického hradiště pohyboval mezi 600 – 950 a v nejmladší fázi poklesl na 300 – 370 jedinců. Tyto údaje by odpovídaly hustotě zástavby o něco vyšší, než je vizualizováno v modelu 3 a počet obytných jednotek by tak mohl být odhadnut na 150. Další postup, který pro stanovení počtu obyvatel opevněných lokalit

počítá s jedním obráncem na 3 – 5 m hradby, by pro libické hradiště při počtu 600 – 1000 obránců, mohl dosahovat odhadu 1800 – 3000 obyvatel (Mařík 2009, 139), což odpovídá enormně husté zástavbě v modelu 1. Tento odhad založený na počtu obránců předpokládá, že všichni museli být přímými obyvateli hradiště a to by, jak vidíme na vizualizaci, nutně ústilo v předimenzované a nepravděpodobné využití vnitřního prostoru aglomerace.

3.3.6 Závěr

Cílem tvorby 3D počítačové rekonstrukce hradiště v Libici nad Cidlinou bylo vyzkoušet jaký impakt na finální výstup může mít nedostatek a zcela jiný charakter vstupních dat, především ve srovnání s rekonstrukcí města Slaný, kterou autor vytvořil těsně předtím. Zároveň byly zkoušeny možnosti provádění analýz v rekonstrukčním modelu, který na tuto možnost nebyl koncipován. Byla tak získána představa, jak při tvorbě počítačových rekonstrukcí postupovat od začátku tak, aby mohl být získán další typ informací formou pozdějších analýz modelu.

3.4 3D POČÍTAČOVÁ REKONSTRUKCE DLE KLASICKÉ ANALOGOVÉ DOKUMENTACE

3.4.1 Úvod – rekonstrukce oppida Závist u Zbraslavi

Závist u Zbraslavi je naším nejznámějším pozdně halštatským až časně laténským hradištěm a zároveň oppidem mladé doby laténské, což bylo důvodem, že tato lokalita byla vybrána jako hlavní prvek audiovizuální části výstavy Keltové v Národním muzeu v Praze (25. 5. 2018 – 31. 10. 2019). Archeologický ústav AV ČR, Praha, v.v.i. jako spolupořadatel výstavy tak realizoval 3D počítačovou rekonstrukci hradiště Závist a industriální zóny v Mšeckých Žehrovicích, které jsou prezentovány formou animací a virtuální reality. Tvorbu modelu Závisti autor konzultoval s Alžbětou Danielisovou a Viktorií Čišťakovou. Počítačová rekonstrukce představuje hradiště Závist přibližně v polovině 2. století př. Kr., kdy se stalo laténským oppidem (viz obr. 109), částečně byla modelována i halštatská fáze.



Obr. 109: 3D počítačová rekonstrukce oppidální fáze hradiště Závist

3.4.2 Kontext lokality

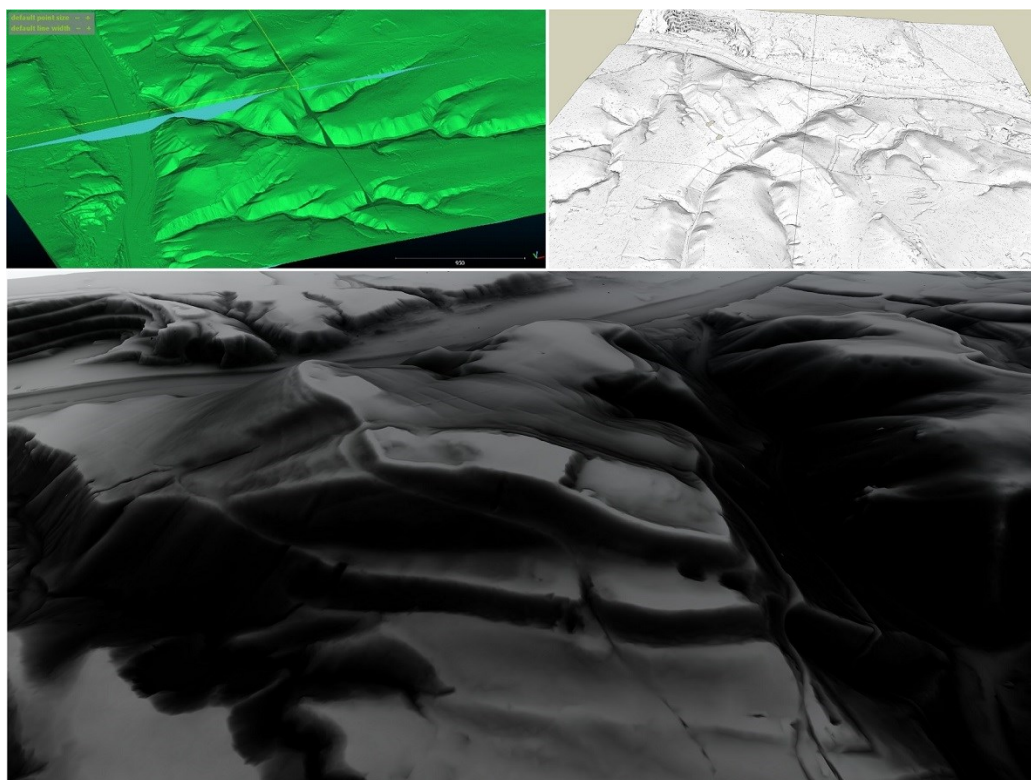
Hradiště Závist tvoří výraznou krajinou dominantu na Labsko-Vltavské vodní cestě a bylo jedním z nejvýznamnějších centrálních míst české kotliny s doloženými kontakty se západní Evropou a Středomořím. Význam lokality umocňuje rovněž strategické umístění nad soutokem Vltavy a Berounky. V průběhu výzkumu, který trval bez přestávky skoro 30 let, byl na ploše přesahující 2 ha prozkoumán komplexní fortifikační systém s branami, ale také rozsáhlé plochy uvnitř hradeb. Systematický terénní výzkum lokality byl zahájen v roce 1963 a pod vedením L. Jansové se zaměřil na plochu akropole a na tzv. hlavní bránu D. Od roku 1973 byla započata další etapa výzkumu s hlavní pracovní skupinou tvořenou A. Rybovou a P. Drdou pod vedením K. Motykové. Výzkum se soustředil převážně na oblast akropole a několika dalších dílčích ploch. Další plošný odkryv pak probíhal koncem 80. let 20. století pod vedením M. Čižmáře i na poli jihovýchodního předhradí, menší sondáže byly položeny také na vedlejším vrchu Šance.

3.4.3 Postup tvorby počítačové rekonstrukce

Stanovení podoby hradiště a jeho zázemí

Lokalita představuje naše plošně nejrozsáhlejší oppidum o rozloze přes 100 ha, celková délka jeho fortifikací činí 9 km a vrch, na kterém leží, má poměrně komplikovaný terén. Bylo tak zřetelné, že pro tvorbu počítačového modelu, bylo nezbytné nalézt postup odlišný od předchozích rekonstrukcí Slaného nebo Libice nad Cidlinou. Vzhledem k přesnosti se přímo nabízelo využít data z leteckého laserového skenování, nicméně nebylo zcela jasné, jak tento typ dat konvertovat do digitálního 3D prostoru, protože obvyklým postupem v archeologii je

jejich zobrazování ve 2D v prostředí GIS. Nejprve tak tedy byla zvolena možnost exportu těchto dat rovnou z ArcGIS v dostupném 3D formátu WRL, který tento program umožňuje. V tomto přístupu ovšem při exportu často docházelo k chybnému zapisování prostorových dat v doprovodném textovém souboru WRL a po importu do 3D grafických softwarů byl terén špatně zobrazován. Jako další postup, tak byl zvolen přímý export surových dat z leteckého laserového skenování, tedy jednotlivých bodů zaznamenaných v souřadnicích, do programu CloudCompare, který pracuje primárně s výstupy z laserových skenerů a kde již bylo poměrně jednoduché v několika krocích vytvořit polygonový model. Vzhledem k tomu, že digitální model terénu získaný z dat leteckého skenování samozřejmě zaznamenává současný stav, tak bylo nezbytné model dále importovat do programu SketchUp a ručně vymazat budovy nebo novodobé změny terénu (postup získání modelu terénu viz obr. 110).¹⁶



Obr. 110: Převedení dat z leteckého laserového skenování do 3D – vlevo nahoře vytvoření modelu ze souřadnic, vpravo nahoře ruční úpravy terénu, dole výsledná forma modelu použitelného pro rekonstrukci.

¹⁶ Za pomoc při řešení problému převedení dat LLS do 3D velice děkuji Davidu Novákovi z Archeologického ústavu AV ČR v Praze, v.v.i. a především Filipu Prekopovi z Národního památkového ústavu v Lokti, který vypracoval fungující postup v softwaru CloudCompare.

Na získaném modelu jsou velice dobře patrné jednotlivé části hradiště a to především průběh fortifikace, místa bran nebo platforma akropole. Prvním krokem tak bylo stanovení jednotlivých fortifikačních linií pro sledované období pol. 2. st. př. Kr., kdy se počítá s opevněním předhradí, které bylo chráněno dřevohlinitou hradbou s první vstupní bránou a od vnitřní plochy hradiště bylo odděleno několikanásobnou sekvencí hradeb (viz obr. 111).



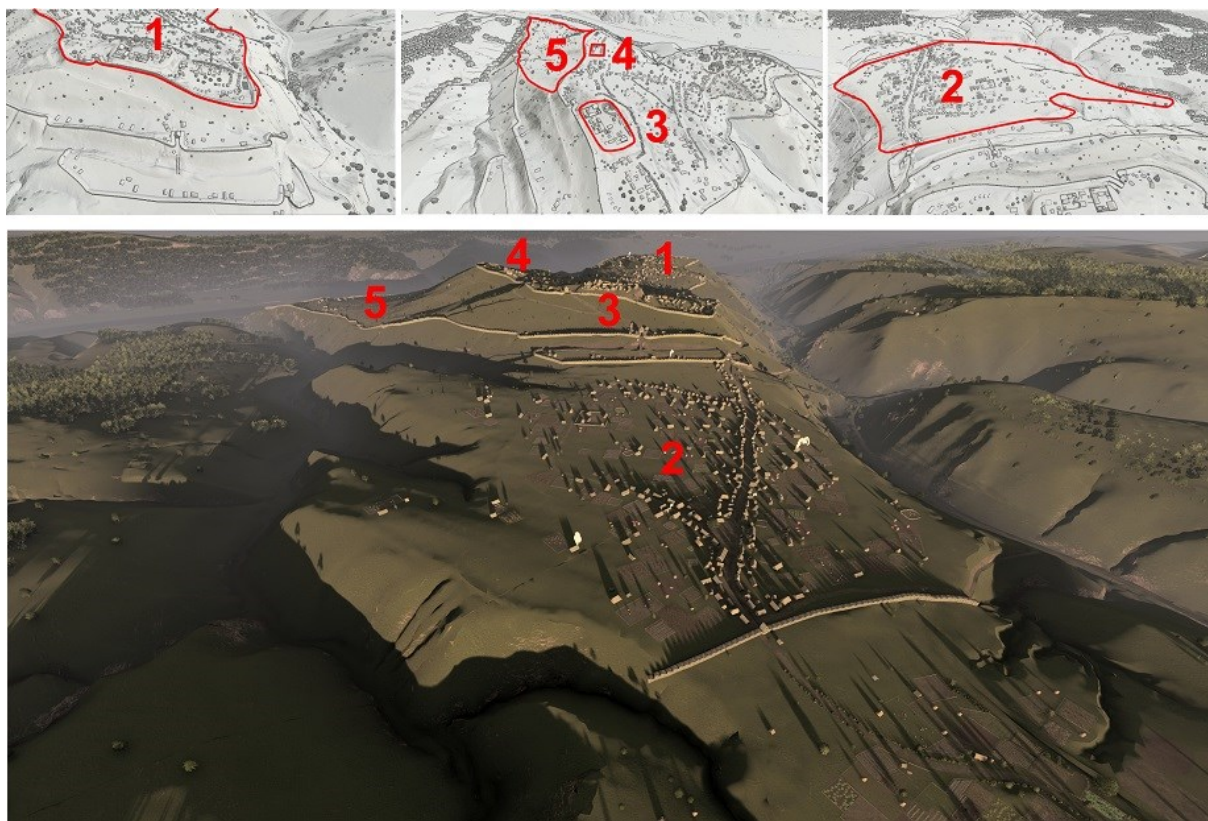
Obr. 111: Postup rekonstrukce opevnění hradiště na základě digitálního modelu terénu.

Rozsáhlé předhradí na východní straně, se táhne po celé ploše dnešního pole až k rokli Lhoteckého potoka na jižní straně. Z výsledků archeologických výzkumů (Čižmář 1989; Drda - Rybová 1997) lze dedukovat, že zde byl systém dvorců, rozptýlených usedlostí, vzácně polozemnic a hospodářských staveb jako špýchary a sýpky (Čižmář 1989, 63). Předhradí bylo pravděpodobně také intenzivně hospodářsky využíváno a v rekonstrukci jsou tak přítomna políčka a pastviny. Nejvýraznějším a nejvyšším bodem je akropole, na které rozsáhlé terénní úpravy ve 4. století překryly kamenné stavby ze 6. - 5. století, nejstarší dochovanou kamennou architekturu v Čechách. Terén zde byl navýšen o 4 až 5 metrů a akropole byla přeměněna na rovné plató, na kterém byla postupně vystavěna oppidální zástavba. V polovině 2. století tak byl na plošině akropole postaven ohrazený dvorec, dle bohatých nálezů pravděpodobně sídlo lokální elity. Nacházel se zde sakrální okrsek se čtvercovou stavbou interpretovanou jako „chrámek“ a v areálu akropole fungovala také kovárna (Drda – Rybová 2001). Zástavbu vnitřního oppida tvořily pravděpodobně rozptýlené usedlosti typu povrchových domů nebo částečně zahloubených chat ve vzájemných odstupech od 30 do 80 m, nicméně prozkoumán byl pouze zlomek plochy této části opevněného areálu (Drda - Rybová 2008, 10). Na poloze zvané Balda, kterou tvoří vyvýšené plató svým charakterem připomínající akropoli, jen

v menších rozměrech, byl pouze na základě této podobnosti situován ohrazený dvorec. Odlišná rekonstrukce od ostatních částí oppida byla zvolena pro polohu Adámkovo mýto, kde je předpokládána už jen lehčí konstrukce opevnění, které bylo rekonstruováno jako palisáda a vnitřní prostory byly v rekonstrukci pojaty jako pastviny s nahodile rozestými hospodářskými budovami (viz obr. 112).

Postup tvorby rekonstrukčních modelů jednotlivých objektů

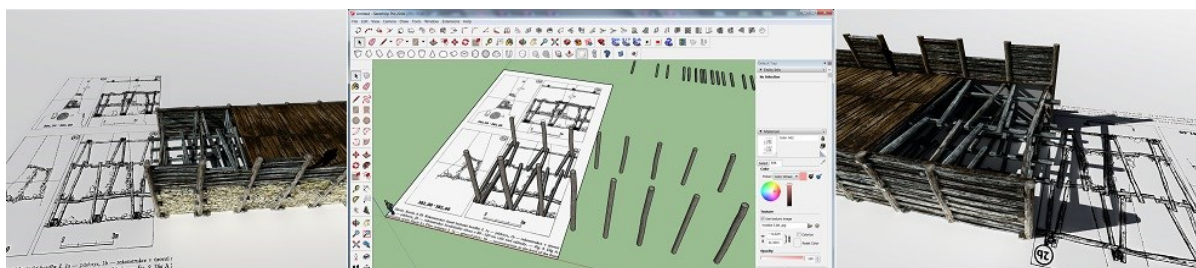
V případě počítačové rekonstrukce oppida Závist bylo zvoleno modelování především na podkladě výstupů z archeologických výzkumů, bylo výrazně přihlédnuto k již provedeným interpretacím a kresebným rekonstrukcím autorů výzkumu. Proběhlo i částečné porovnání s daty z experimentální archeologie a využity byly i kresebné rekonstrukce i od dalších autorů. Ve většině případů probíhalo modelování přímo do plánů archeologické dokumentace, které byly rektifikovány podle uvedeného měřítka a rekonstrukce inspirované ilustracemi Petra Drdy tak byly provedeny v reálném měřítku.



Obr. 112: Rozdílný charakter jednotlivých částí oppida v provedené rekonstrukci (1 – vnitřní oppidum, 2 – předhradí, 3 – akropole, 4 – poloha Balda, 5 – poloha Adámkovo mýto).

Opevnění

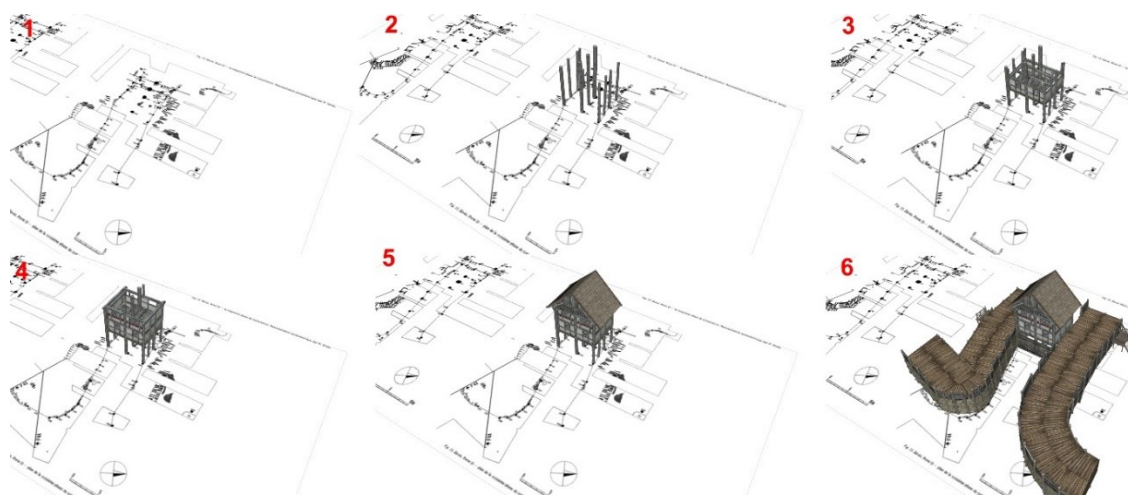
Obranný systém oppida na Závisti byl ve třetí a čtvrté fázi výstavby budován nejjednodušší variantou techniky Pfofenschlitzmauer. Snížená stabilita čelního zdiva způsobená rychlým zvětvřáním a rozpadem použitého kamene, byla řešena zhuštěním rozestupů vertikálních břeven v jejím líci a armaturu vytvářely skoro výhradně jen příčně kladené rošty (Drda – Rybová 1997, 75). Počítačová rekonstrukce hradby byla modelována na základě informací a plánů z literatury (viz obr. 113; Drda – Rybová 1997). Dle plánů a digitálního modelu terénu, ve kterém je jasně čitelný průběh fortifikace, byly jednotlivé části opevnění vsazeny do rekonstrukce. Pro rekonstrukci sledovaného období pol. 2. st. př. Kr. byla vymodelována linie dřevohlinité hradby na předhradí, IV. fortifikační linie, hlavní šíjová III. fortifikační linie a I. fortifikační linie vnitřního oppida (viz obr. 111). Příkop šíjového opevnění Závisti, který vznikl vytěžením místní horniny k vyzdělení hradebního líce, byl široký až 6 m a zvyšoval efektivní výšku fortifikace až o 1,5 m (Drda – Rybová 1997, 76).



Obr. 113: Modelování rekonstrukce hradby na základě publikovaných plánů a informací.

Jako chráněné vstupy skrze fortifikaci byly vymodelovány brány A, C, D, F, J, M, N a první vstupní brána na předhradí, přičemž podklady z výzkumu mohly být použity pouze pro bránu A, D a N. Brána D je ve středoevropském měřítku dokonalým prototypem brány kleš'ovitého typu s věžovitým patrovým uzávěrem (viz obr. 114, 115; Drda – Rybová 1997, 76). Méně exponovaná poloha u brány N vedla k redukcí dimenzí křídel a k zjednodušení stavby v uzávěru (viz obr. 116; Drda – Rybová 1997, 76). Brána A je na kresebných rekonstrukcích znázorňována jako jednopatrová jednoduchá věž, kterou doprovází zástavba za severovýchodním křídlem, jejímž jádrem byl velký povrchový dům (viz obr. 117; Motyková a kol. 1990, 325). Ostatní brány byly rekonstruovány volně dle inspirace z archeoskanzenů jako je např. brána na oppidu Nevězice nebo rekonstrukčních modelů jako je např. v muzeu v Manchingu (viz obr. 118).¹⁷

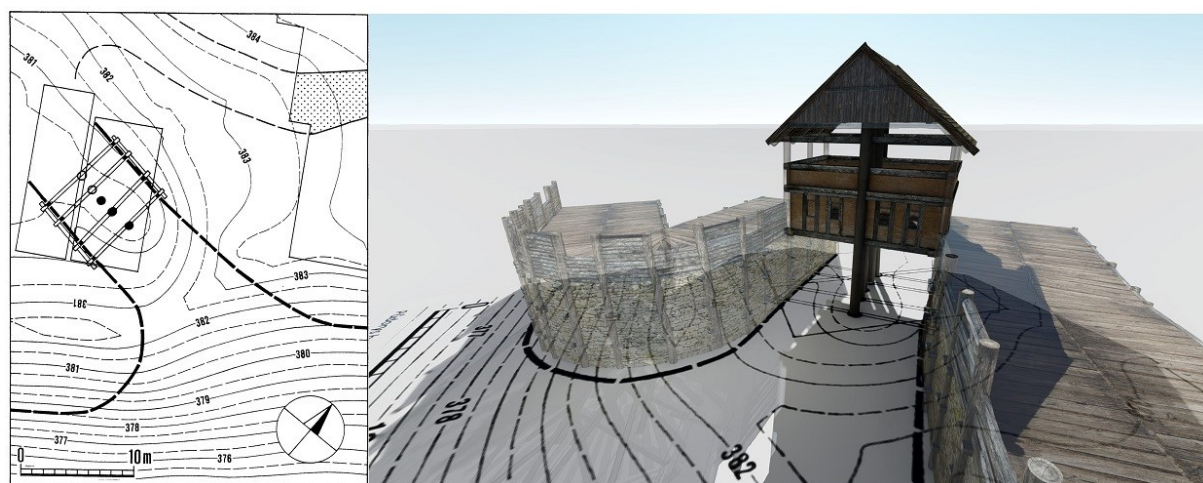
¹⁷ https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Oppidum_manching_osttor.JPG



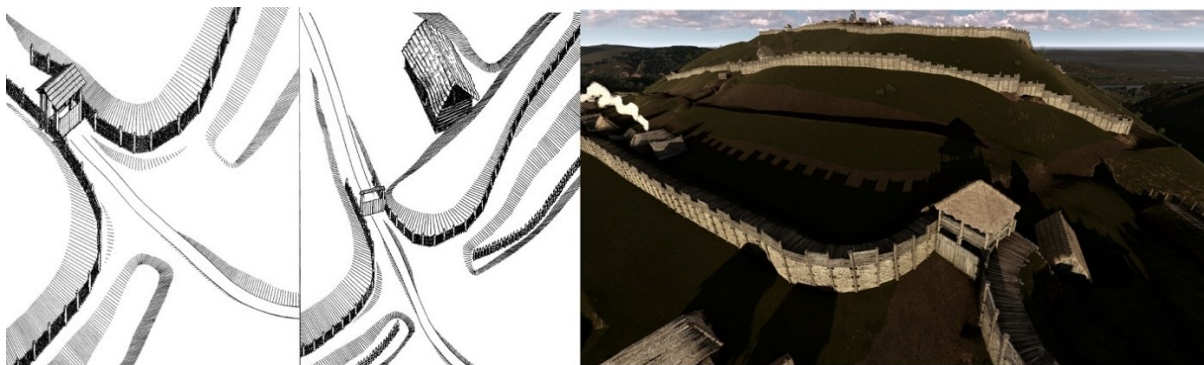
Obr. 114: Postup počítačového modelování při rekonstrukci brány D.



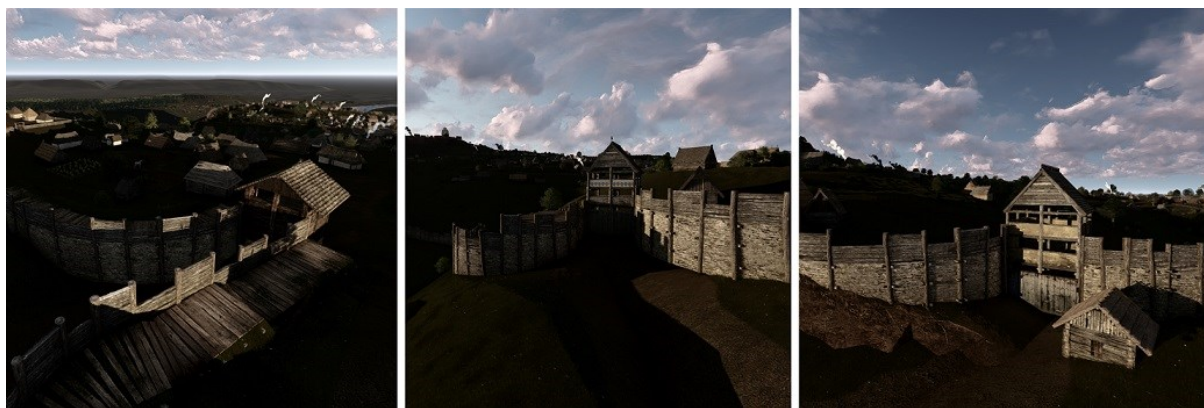
Obr. 115: Porovnání kresebné rekonstrukce autora výzkumu (Drda – Rybová 1992, obr. 12, str. 323) a provedené počítačové rekonstrukce.



Obr. 116: Rekonstrukce brány N dle plánu z výzkumu (Drda – Rybová 1992, obr. 4, str. 55).



Obr. 117: Oproti rekonstrukci autora výzkumu (Motyková a kol. 1990, obr. 29 str. 375) jinak pojatá počítačová rekonstrukce brány A, která kombinuje obě fáze a ponechává charakter opevnění z horizontu II.



Obr. 118: Vlevo volná rekonstrukce brány F, uprostřed brána C a vpravo brána J.

Charakter a zástavba předhradí

Výsledky zjišťovacích sond na předhradí provedené v 60. letech P. Drdou (1971, 285 – 286) a v 70. letech K. Motykovou, ukazovaly na poměrně husté pozdně latéské osídlení předhradí (Čižmář 1989, 59). Plošné výzkumy odkryly náznaky dvorcového uspořádání zástavby předhradí a na dvou místech byly zachyceny pozůstatky cest směřujících k bráně A a bráně D. Nejvyšší hustota zástavby se pravděpodobně koncentrovala v severozápadní části a jak poukázal např. odkryv větší plochy poblíž vnějšího opevnění, pravděpodobně velké části předhradí nebyly zastavěny (Čižmář 1989, 68). Charakter sídlištní zástavby doložené výzkumem tvořily především kúlové jámy a základové žlaby, zahloubené chaty, sídlištní jámy a komunikace (Čižmář 1998, 63). Hlavní polní práce se odehrávaly v dosahu oppida mimo samotný areál a skladba pěstovaných plodin na Závisti je v souladu s představou o příznivých půdních i klimatických podmínkách (Drda – Rybová 1997, 40). Záběr zemědělské produkce ilustruje velký soubor rostlinných zbytků, který pochází z objektů v prostoru brány A, předhradí

a podhradí, což by mohlo napovídat, že alespoň částečně se na předhradí mohla vyskytovat políčka s pšenicí, ječmenem, luštěninami a zeleninou (viz obr. 119; Drda – Rybová 1997, 103).



Obr. 119: Provedená počítačová rekonstrukce, tak pojala krajinu přiléhající k předhradí jako víceméně odlesněnou mosaiku polí, pastvin a doprovodných hospodářských objektů (v pozadí viditelná zřetelně dominující akropole).



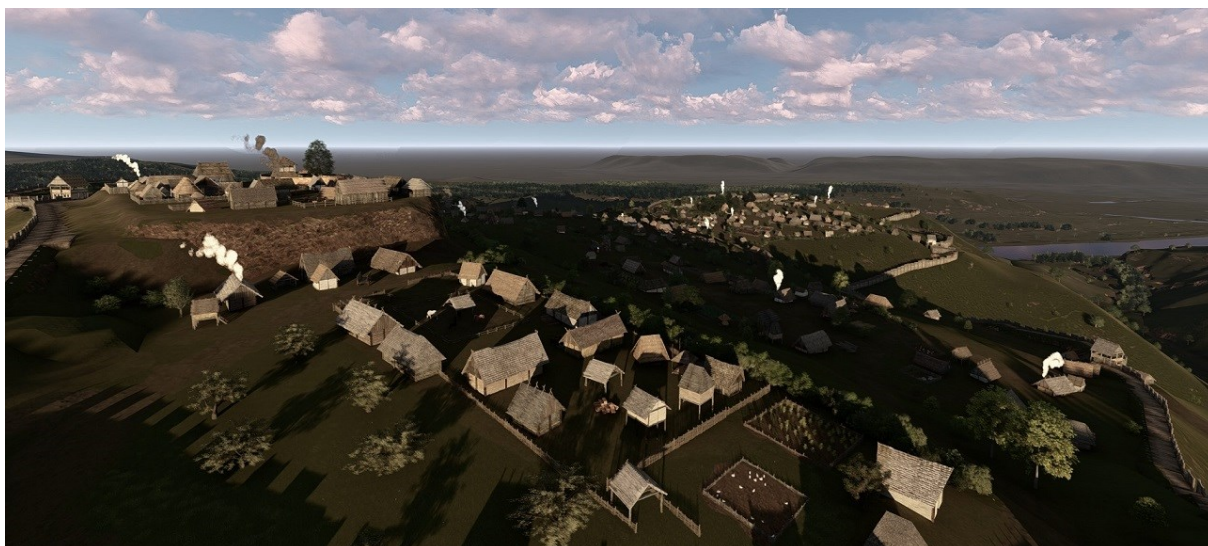
Obr. 120: Pohled od brány D směrem na předhradí s dvorci a roztroušenou zástavbou podél hlavní komunikace k bráně A.

Charakter a zástavba vnitřního oppida

Na Závisti se poměry organizace vnitřní zástavby jeví daleko komplikovaněji než u jiných oppid a počáteční organizaci stavebních prací lze hovořit pouze v případě akropole, otázka zástavby vnitřního oppida je z důvodu absence detailního výzkumu, konfigurace terénu a komunikačními důvody, stále otevřená. Lze počítat s tím, že se zde nacházely komplexy dvorcového typu, menší hospodářství a spontánně šířená zástavba menšího měřítka (Drda – Rybová 1997, 81). Kompletní zčásti oplocenou hospodářskou usedlost tvořenou hlavním

obytným domem, stodolou, chlévem a oborohem, se podařilo zdokumentovat těsně vedle plošiny akropole (viz obr. 121; Drda – Rybová 1997, 83). Na Závisti také vidíme obytná stavení v těsném sousedství hradebních pásem, u kterých se nabízí možné zapojení jejich obyvatel do systému ostrahy hradiště (Drda – Rybová 1997, 87).

Kromě dvorcových komplexů patřilo pevné místo v zástavbě i menším hospodářstvím s velice variabilním obrysem a výměrou pozemku, který byl přizpůsoben charakteru terénu, případně průběhu hradebních linií. Jádrem bylo obytné stavení doprovázené jedním až dvěma hospodářskými nebo výrobními objekty, v některých případech bylo hospodářství alespoň zčásti oploceno (Drda – Rybová 1997, 82). Základní komunikační síť tvořenou vozovými cestami lze často lokalizovat do dosud používaných recentních cest (Motyková a kol. 1990, 310), které byly dobře patrné v digitálním modelu terénu a byly tak v rekonstrukci ponechány beze změny.



Obr. 121: Pohled na řešení zástavby vnitřního oppida v počítačové rekonstrukci.

Akropole

Časně laténská akropole měla čtyřúhelníkovou formu s velikostí vnitřní plochy 55 x 70 m a ze všech stran byla uzavřena hradbami, hlavním podklad pro modelování tvořil plán z výzkumu se zachyceným opevněním a kamennými stavbami (Motyková a kol. 1984, 336 - 337). Větší část plošiny vznikla uměle navršením náspů až do výšky přes 6 m a její dominantní poloha umožnila jako jediná přehled přes celé oppidum (Drda – Rybová 2001, 286). Sami autoři výzkumu uvádějí, že jejich interpretace zástavby akropole je pouze modelem, který se nemusí přibližovat realitě s potřebnou jistotou (Drda – Rybová 2001, 286). Charakter stavebního

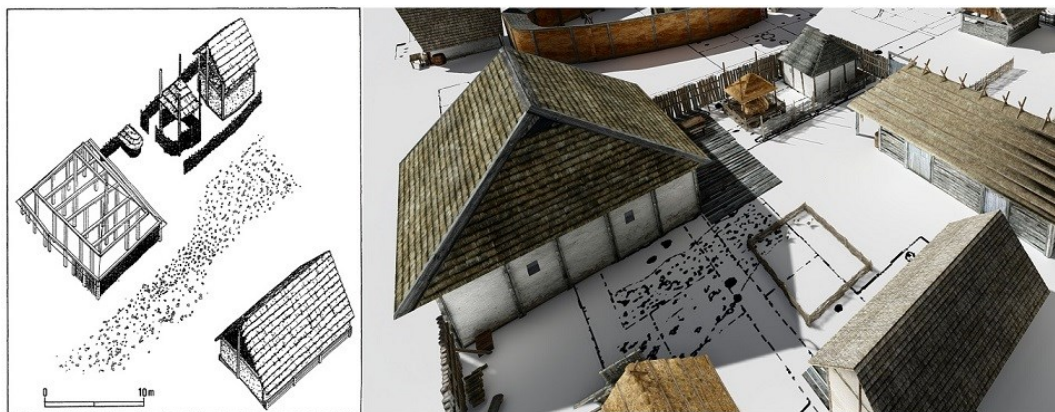
komplexu akropole je chápán jako velmožské sídlo se svébytnými rysy kombinující i sakrální funkce v rozsáhlém kultovním zařízení, které mohlo být určeno členům elity (Drda – Rybová 2001, 344).

Místa náboženského života se koncentrovala ve zvláštních vyhrazených zónách a k oblíbeným místům patřily dominantní body (Drda – Rybová 1997, 88), při rekonstrukci svatyně tak byly pozůstatky žlabu a kúlových jamek interpretovány jako ohrazení. Svatyně se tyčila na nejvyšším bodě akropole a přebraná analogie vícepatrové svatyně z Acy Romance, ještě více zvýraznila její viditelnost v rekonstrukčním modelu (viz obr. 125, 126).

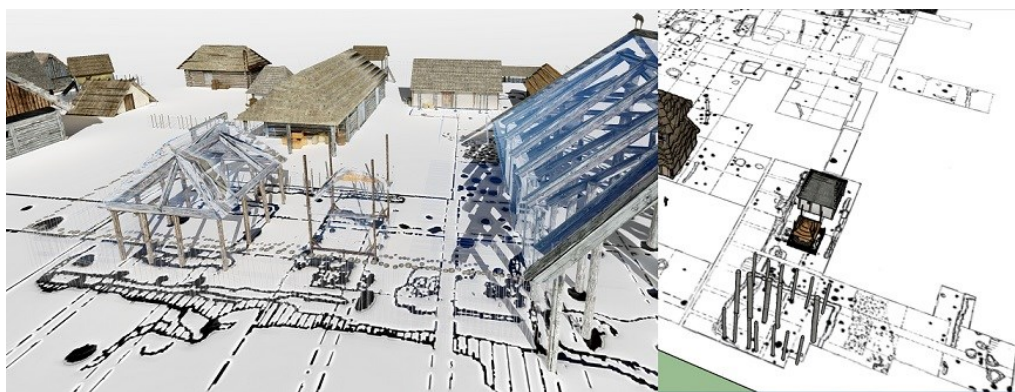
Rekonstrukce objektů na akropoli proběhla zcela na základě údajů autorů výzkumů, které byly shrnuty v článku věnovaném právě vývoji osídlení akropole ve sledovaném období (Drda – Rybová 2001). Byly zde načerpány informace o rozměrech a charakteru jednotlivých objektů a v rekonstrukci tak byl na akropoli umístěn hrazený areál, obytné povrchové nebo zahloubené domy, hospodářské stavby, ohrady a žlaby, dílenské objekty a kultovní areál (viz obr. 112, 127). Zvýšená pozornost byla při modelování věnována objektům kovárny, knížecího dvorce a kultovnímu areálu (viz obr. 123, 124, 128).



Obr. 122: Základní členění areálů na akropoli a modelování objektů dle plánu z výzkumu (Drda – Rybová 2001, obr. 2, str. 288).



Obr. 123: Porovnání kresebné rekonstrukce autora výzkumu (Drda – Rybová 1997, obr. 20, str. 89) a počítačového rekonstrukčního modelu.

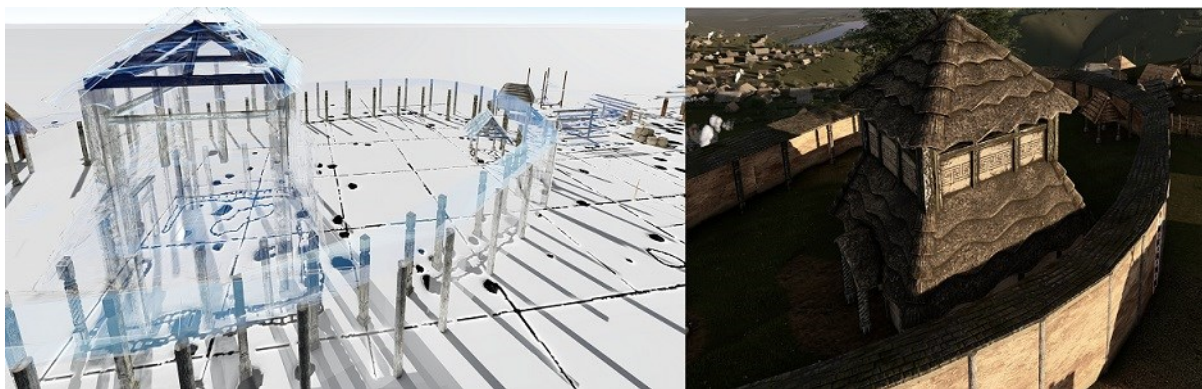


Obr. 124: Náhled postupu při modelování velmožského dvorce na akropoli.



Obr. 125: Vlevo počítačová rekonstrukce kultovního areálu v Acy Romance¹⁸, uprostřed nahoře půdorys svatyně s ohrazením zachycený v Acy Romance a dole na akropoli, vpravo výsledná počítačová rekonstrukce svatyně na Závisti.

¹⁸ Použitá data jsou dostupná zde: <http://archeologie.culture.fr/gaulois-ardennes/fr>



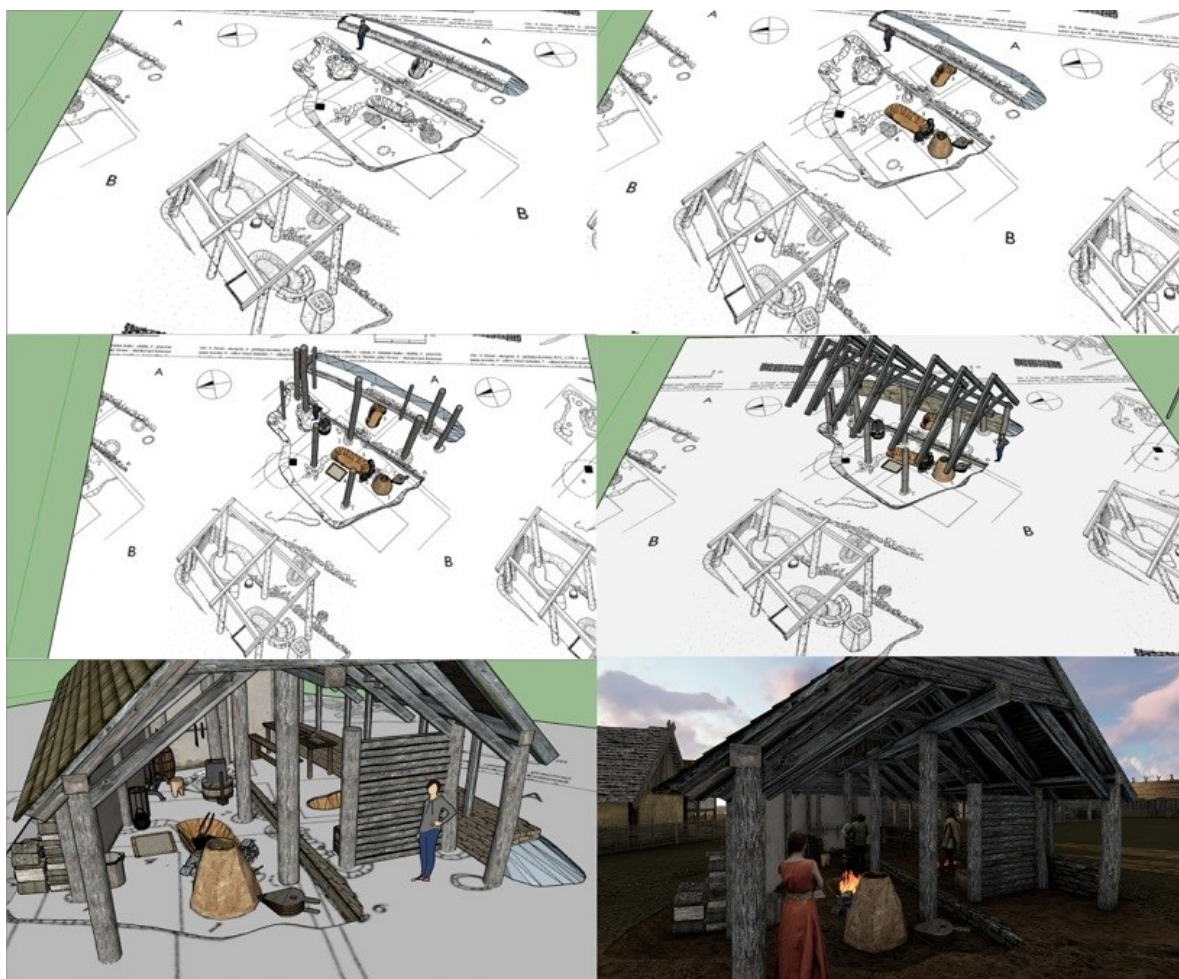
Obr. 126: Vizualizace konstrukčního řešení ohrazení kultovního areálu v počítačové rekonstrukci.



Obr. 127: Pohled na kompletní provedenou počítačovou rekonstrukci akropole pro pol. 2. st. př. Kr.

Texturování objektů

V případě počítačové rekonstrukce objektů na hradišti Závist nemohly být z objektivních důvodů (stavu dochování), použity reálné identické textury. Vzhledem k tomu, že tvorba modelu byla vázána na termín zahájení výstavy, nebyl tak dostatek času vytvořit databanku textur založenou na fyzických rekonstrukcích staveb stejného období v některém ze skanzenů. Byly použity textury z volně dostupných databank na internetu.



Obr. 128: Počítačová rekonstrukce kovárny modelovaná přímo do plánu z výzkumu a inspirována kresebnou rekonstrukcí autora výzkumu (Drda – Rybová 2001, obr. 9, str. 299).

3.4.4 Nejistota dat rekonstrukce

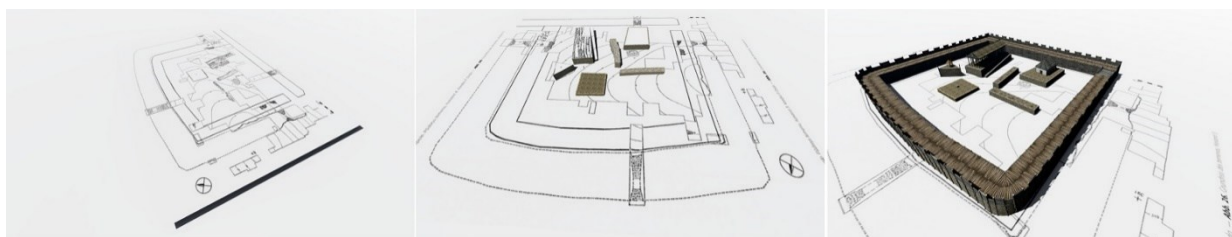
Pokud ponecháme klasifikaci nejistoty dat pro provedení rekonstrukce použitou v předchozích případech, vidíme zde podobný rozsah důvěryhodnosti jako pro raně středověkou aglomeraci v Libici nad Cidlinou. Při hodnocení jednotlivých areálů se dostáváme v důvěryhodnosti rekonstrukce tehdejší zástavby do rozmezí od 0 do 35%, kde největší jistota, že se provedený rekonstrukční model blíží možné skutečnosti, panuje u opevnění a akropole. U fortifikace je to především z důvodu její čitelnosti v dnešním terénu, kdy lze sledovat její průběh a charakter, dále díky výsledkům archeologického výzkumu a v neposlední řadě lze z těchto výsledků poměrně věrně odhadnout prostorové dimenze a řešení hradby. Akropole má pak vysokou pravděpodobnost důvěryhodnosti především na základě podrobného archeologického výzkumu. Charakter zástavby předhradí a vnitřního oppida lze pouze odhadovat (15%) a u dalších poloh jde v podstatě o čistou fikci (0 – 5%). Při posouzení jednotlivých objektů na

akropoli je pak pravděpodobnost o něco vyšší a kolísá mezi 20 – 40% a vyšší skóre je způsobeno podrobnými daty z archeologického výzkumu, ale i analogiemi, byť jen archeologického charakteru, z jiných časově shodných lokalit, pravděpodobně svědčících o ustálených konstrukčních formách a řešení těchto objektů.

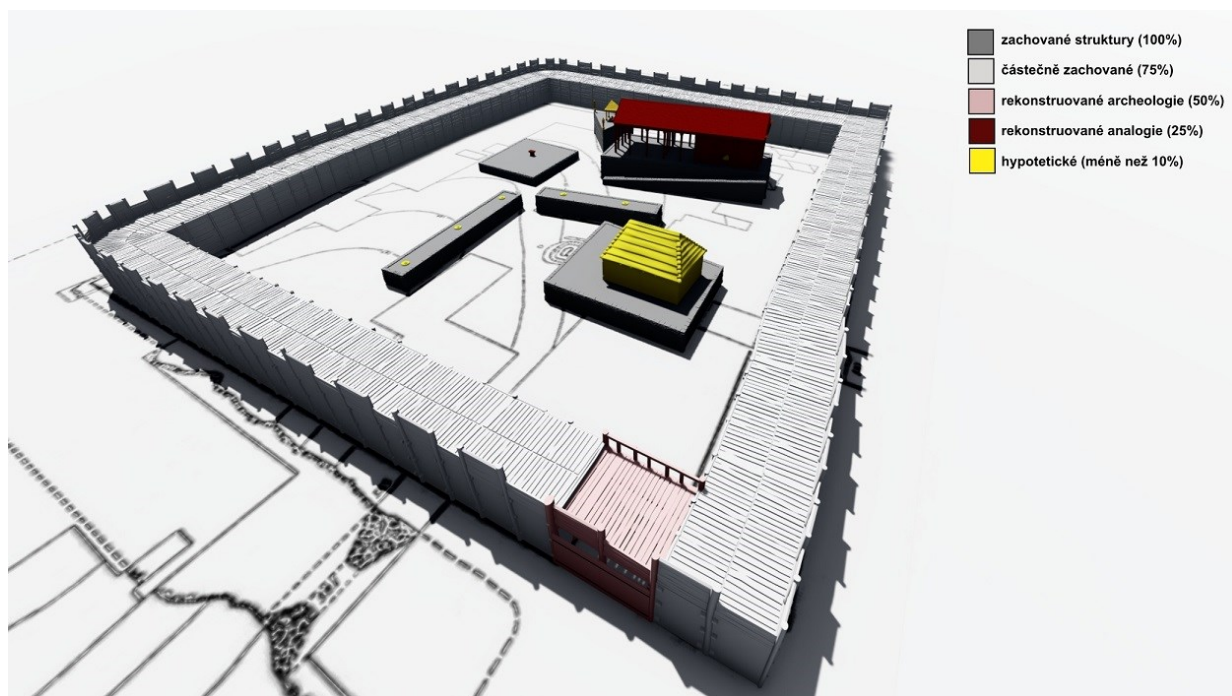
ZÁVIST	zachování	prost.lok.	archo	3D	plány	ikono	analogie	pisemné	textura	architekt	DŮVĚRA
opevnění	50	100	50	0	50	0	0	0	0	100	35%
předhradí	0	50	50	0	0	0	0	0	0	50	15%
vnitřní oppidum	0	50	50	0	0	0	0	0	0	50	15%
akropole	50	100	100	0	50	0	0	0	0	50	35%
poloha Balda	0	0	0	0	0	0	0	0	0	50	5%
poloha Adámkovo mýto	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0%
AKROPOLE											
knížecí dvorec	50	50	50	0	50	0	50	0	0	50	30%
kulturní areál	50	100	100	0	50	0	50	0	0	50	40%
kovárna a dílenské objekty	50	100	100	0	50	0	50	0	0	50	40%
ostatní zástavba	50	0 / 50	50	0	0 / 50	0	50	0	0	50	20 - 30%

Tab. 8: Tabulka s výpočtem nejistoty pro rekonstrukční modely oppida Závist.

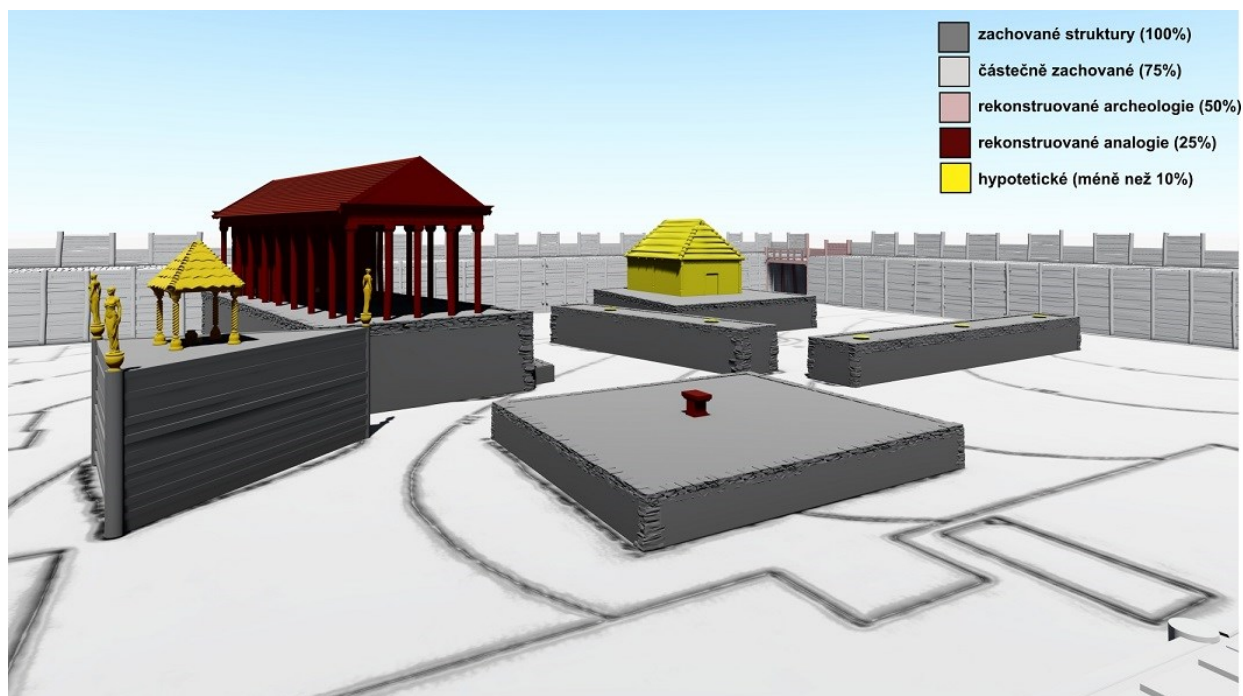
Pro zobrazení nejistoty ve vstupních datech byla provedena rekonstrukce akropole v horizontu 3, ve kterém byly zachyceny nejstarší kamenné stavby na našem území (viz obr. 129; Drda – Rybová 2008). Oproti předchozím případům byl zvolen poněkud jiný přístup; jednotlivé komponenty jsou sice opět rozlišeny barevně a je kvantifikována i jejich pravděpodobnost, ale klasifikace se opírá především o jejich archeologickou zachovalost a interpretovatelnost. Bylo tak zvoleno 5 kategorií, kde zachované struktury mají pravděpodobnost od 75 do 100%, částečně zachované od 50 do 75%, struktury, které jsou rekonstruovány na základě archeologických poznatků od 25 do 50%, struktury rekonstruované na základě analogií od 10 do 25% a struktury, které jsou pouze hypotetické, mají pod 10% (viz obr. 130, 131).



Obr. 129: Postup počítačové rekonstrukce akropole.



Obr. 130: Halštatská fáze akropole na hradišti Závist s vyznačením transparentnosti jednotlivých komponent 3D rekonstrukčního modelu.



Obr. 131: Halštatská fáze akropole na hradišti Závist s vyznačením transparentnosti jednotlivých komponent 3D rekonstrukčního modelu.

3.4.5 Závěr

Opět je evidentní, že čím hlouběji do minulosti jdeme, tím méně relevantních pramenů je k provedení 3D počítačové rekonstrukce k dispozici. Jak bylo uvedeno, tak v některých případech se bylo nutné spolehnout na fyzické rekonstrukce z archeologických skanzenů a v jiných případech pak byly inspirací již zhotovené 3D počítačové rekonstrukční modely odjinud. Pro práci na rekonstrukčních počítačových modelech zemědělského pravěku, tak je nezbytné věnovat několikanásobně více času systematické přípravě a ověřování podkladů než tomu bylo v předchozích případech.

3.5 3D POČÍTAČOVÁ REKONSTRUKCE NA ZÁKLADĚ DAT LASEROVÉHO SKENOVÁNÍ

3.5.1 Úvod – rekonstrukce důlního areálu v Dippoldiswalde

Prezentovaná 3D počítačová rekonstrukce středověkého důlního díla v Dippoldiswalde (viz obr. 133) v Německu vznikla pro Muzeum středověkého dolování v Krušných horách (MiBERZ), které bylo otevřeno 23. 8. 2018 na zámku v Dippoldiswalde. Pro expozici bylo vytvořeno krátké video s cílem prezentovat reálie středověkého hornictví, především na základě výsledků archeologického výzkumu v prostoru pod autobusovým nádražím v Dippoldiswalde. Celý postup rekonstrukce byl konzultován s Dr. Christian Hemker z Landesamt für Archäologie Sachsen v Drážďanech a model je jedinečný právě v tom, že při jeho tvorbě byla využita především data ze 3D skenování.



Obr. 133: Počítačová rekonstrukce hornického areálu v Dippoldiswalde.

3.5.2 Kontext lokality

V důsledku povodní v roce 2002 došlo k odplavení závalů ve starém důlním díle v saském Dippoldiswalde, což mělo za následek propady na několika místech ve městě. V roce 2011 tak byly v prostoru dnešního autobusového nádraží provedeny průzkumné vrty, které lokalizovaly důlní prostory. Zpřístupnění části dolů pro archeologický výzkum odhalilo prostor o celkové délce 55 m, šířkou rozfárání 20 m a maximální hloubkou 23 m (Hönig – Lentzsch 2014, 190). Do dnešního dne byl prozkoumán celý systém dalších šachet, chodeb a rozrážek v několika paralelních strukturách. V těchto prostorách byly nalezeny zlomky keramických nádob, rudního mlýna, hornických kladívek a dalších nástrojů. Především zde však byly zachované dřevěné důlní konstrukce jako výdřevy šachet, rámy s vrátky, rozpěry nebo větrací přepážky. Dochovaly se i nástroje z organických materiálů jako násady, žebříky, necičky, lopaty či pletená lana (Hrubý 2011, 13). Z části dolu pod autobusovým nádražím bylo vyzvednuto a ve své původní poloze zdokumentováno na 325 kusů dobře zachovaných dřevěných částí konstrukcí a výstroje (Hönig – Lentzsch 2014, 191). Dendrochronologická analýza umožňuje datovat začátek těžby do 80. let 12. století a práce v dolech byly ukončeny někdy po polovině 13. století (Hemker a kol. 2012, 97).

3.5.3 Postup tvorby 3D rekonstrukce

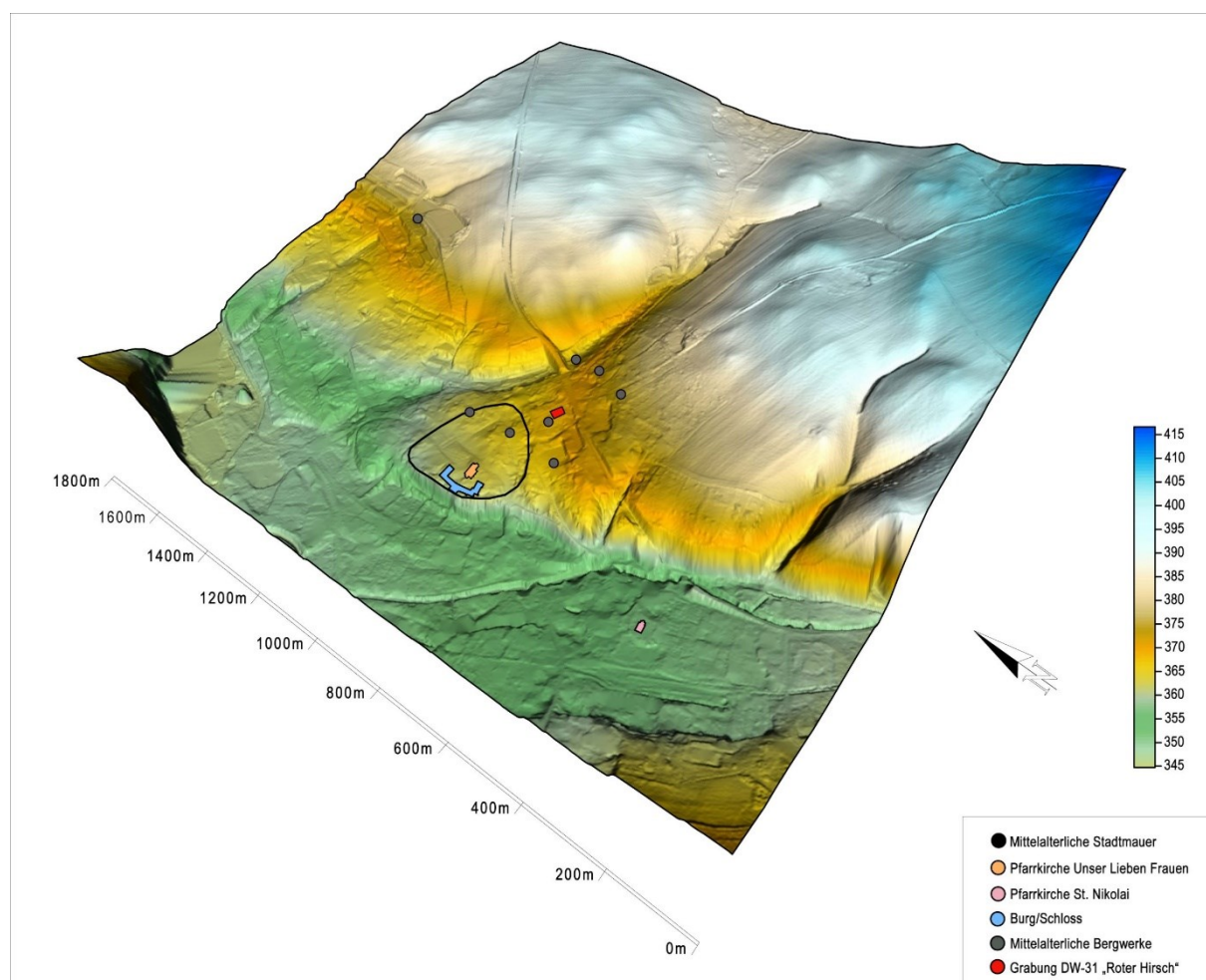
Stanovení podoby hornického sídelního a důlního areálu

Pokud pomineme tvorbu rekonstrukce povrchové části hornického sídelního a úpravnického areálu, tak postup rekonstrukce podzemní části dolu probíhal zcela odlišně od předchozích projektů, neboť byl založen na využití výstupů ze 3D laserového skenování.

Při rekonstrukci sídliště byla využita data ze záchranných archeologických výzkumů, které na několika místech zachytily důlní šachty a sídlištní horizonty s nálezy několika polozemnic (Hemker – Scholz 2010, 116 – 117). Produkce a zpracování vytěženého kovu bylo potvrzeno na několika místech, včetně pozůstatků pecí a dalších pyrotechnologických zařízení (Hemker – Scholz 2010, 116; Hrubý 2011, 51). Podoba areálu byla koncipována jako nejrozšířenější typ hornického sídliště, které bylo otevřené a předcházelo vlastnímu založení města Dippoldiswalde (Hrubý 2011, 64). Velkou roli při rekonstrukci hrály ikonografické prameny jako úvodní list z Kutnohorského graduálu z 90. let 15. st., kutnohorská iluminace také z 90. let 15. st.¹⁹ nebo pozdně gotický oltář z první čtvrtiny 16. století v kostele sv. Anny v saském

¹⁹ Dostupné zde: <https://www.kutnahora.cz/album/kutnohorska-iluminace>

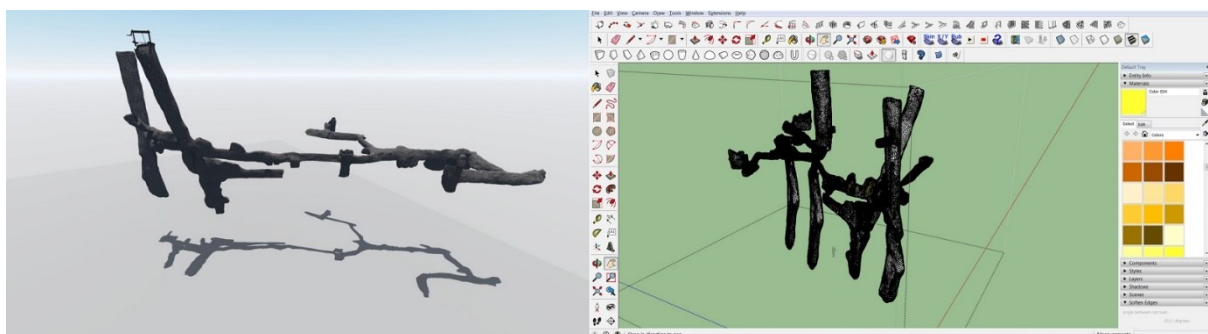
Annabergu (Hrubý a kol. 2012, 363). Vzhledem k tomu, že hornický areál byl zničen výstavbou města po ukončení činnosti dolů a nebyly tak k dispozici přesné údaje ohledně možného počtu a umístění jednotlivých objektů (viz obr. 134), byla rekonstrukce areálu pojata poměrně volně.



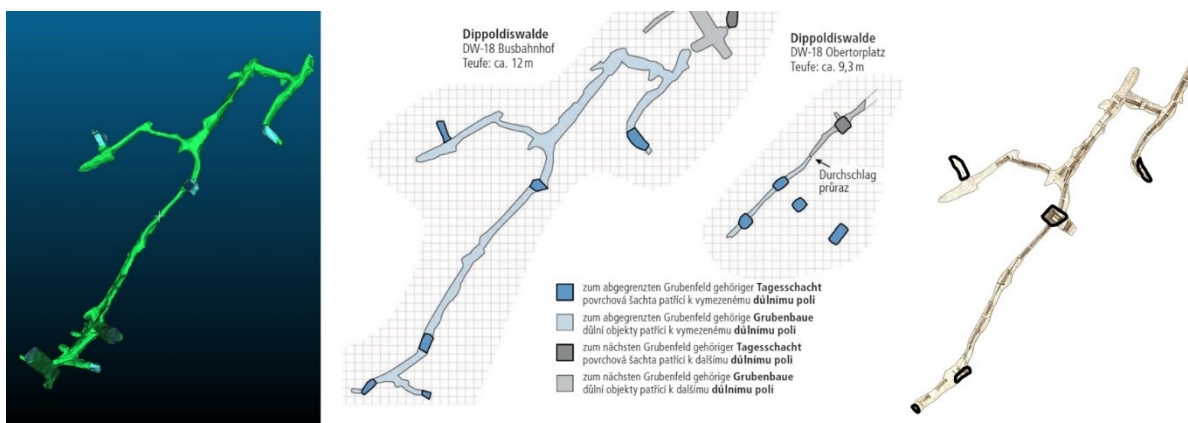
Obr. 134: Digitální model terénu zájmové oblasti s vyznačenými zdokumentovanými pozůstatky těžby (šedé body) a výzkumem v Roter Hirsch (červený bod), kde byly zachyceny sídlištní kontexty (zdroj LfA Sachsen).

Postup tvorby rekonstrukčních modelů jednotlivých objektů

Důraz tak byl kladen na rekonstrukci podzemních částí dolu, pro které byl k dispozici soubor 3D modelů laserového skenování a přesného geodetického zaměření. Data dodal Landesamt für Archäologie Sachsen, k dispozici byl 3D digitální model části důlního díla pod autobusovým nádražím a veškeré zde nalezené konstrukční prvky a artefakty. Digitální model musel být upraven domodelováním nezdokumentovaných částí, především kolmých šachet vedoucích na povrch nebo do nižších pater dolu a byla aplikována textura, kterou dodané výstupy ze 3D skenování primárně neobsahovaly (viz obr. 135, 136).

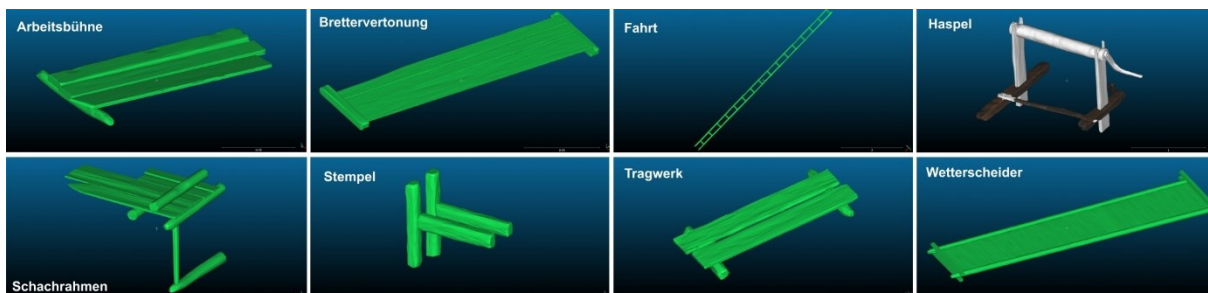


Obr. 135: Vlevo testování a podoba dodaných dat ze 3D skenování, vpravo domodelování chybějících částí.



Obr. 136: Vlevo vizualizace dat ze 3D skenování, uprostřed plán předmětné části (zdroj LfA) a vpravo vizualizace z provedené 3D rekonstrukce s již vloženými dřevěnými strukturami.

Stejně bylo postupováno i u modelů dřevěných konstrukcí a artefaktů, kde musela být u všech na povrch aplikována nová textura a u některých musely být dorekonstruovány chybějící části (viz obr. 137, 138). K dispozici byla široká škála artefaktů (hornické želízko, havířská stolička, necičky, hrabadlo, lopata, kahan) a důlních konstrukcí (podlážky, výdřevy, žebřík, vrátek, stojky, větrací přepážka), část prezentovaných předmětů, které se na místě nezachovaly (jako např. přepravní koš, konvice).



Obr. 137: Prvotní vizualizace dat z laserového skenování před úpravou.



Obr. 138: Vizualizace důlních nástrojů, výzbroje a konstrukcí upravených pro vložení do 3D rekonstrukčního modelu.

Digitální modely reálných předmětů nalezených *in situ* byly v počítačové rekonstrukci nejprve vloženy přesně na konkrétní místa, kde byly nalezeny a dle kontextu pak byly tyto modely využity i pro další části dolu (viz obr. 139 – 143).



Obr. 139: Pohled na sestup hlavní zdokumentovanou šachtou, kde byla zachována výdřeva, žebřík a dřevěná přepážka.



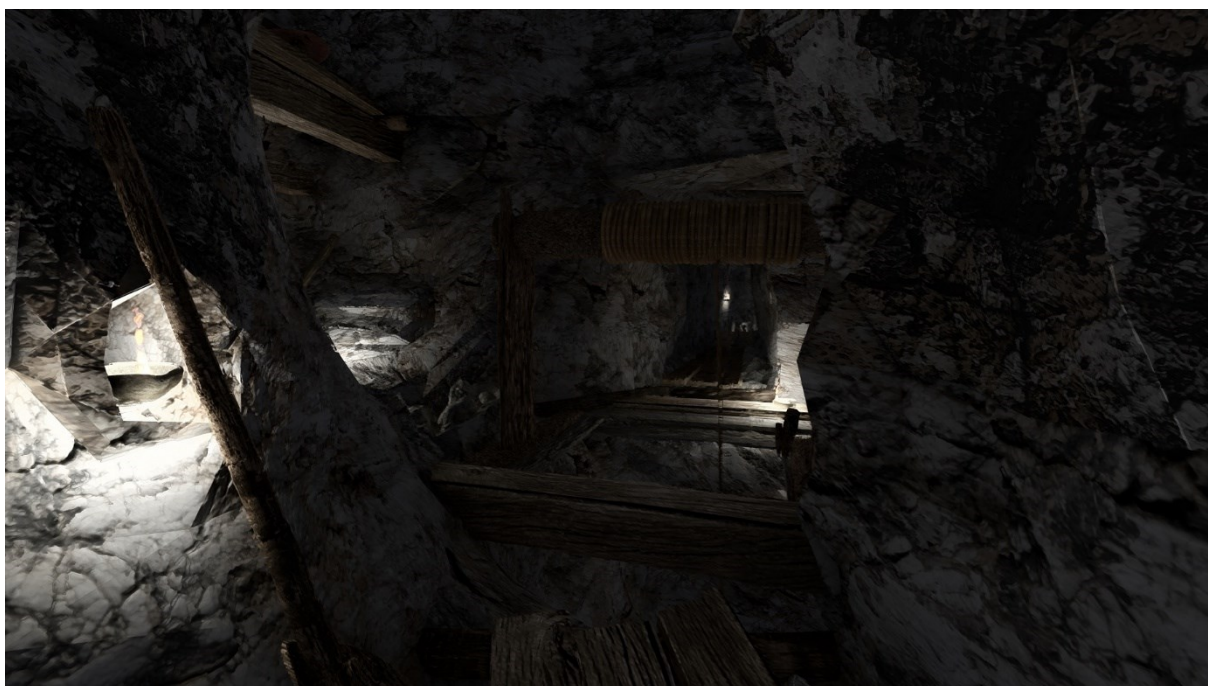
Obr. 140: Pohled na část štoly, kde byly dochovány rozpěry.



Obr. 141: Pohled do části štoly, kde byly zpětně rekonstruovány důlní nástroje a dřevěné podlahy.



Obr. 142: Pohled do šachty kam byly nově vloženy větrací přepážky.



Obr. 143: Rekonstrukce vrátku nad jednou ze šachet.

Texturování objektů

Při texturování povrchu stěn podzemních prostor důlního díla nemohla být použita fotografická dokumentace přímo ze záchranného výzkumu, neboť k dispozici byly většinou pouze detailní záběry. Ani pomocí vícenímkové fotogrammetrie se nepodařilo vygenerovat dostatečnou

plochu, kterou by bylo možné využít pro tvorbu textury. Pro povrchy dolu (viz obr. 144), důlní konstrukce a nástroje tak byly použity volně dostupné textury dřevěných povrchů.



Obr. 144: Komparace povrchů z nálezové situace (foto LfA Sachsen) a otexturovaného 3D počítačového modelu.

3.5.4 Nejistota dat rekonstrukce

Při použití metodiky výpočtu důvěryhodnosti 3D rekonstrukčního modelu použitého v předchozích případech, vidíme, že i pro dochovanou a zdokumentovanou podzemní část dolu má provedená vizualizace 80%, což je způsobeno absencí opory v písemných pramenech a absencí reálné textury povrchu. Povrchová část hornického areálu pak má 30%, což je dáno nedostatečným archeologickým výzkumem, který z objektivních důvodů nebylo možné provést a rekonstrukce tak vychází především z ikonografických pramenů.

DIPPOLDISWALDE	zachování	prost.lok.	archo	3D	plány	ikono	analogie	písemné	textura	architekt	DŮVĚRA
hornický areál	50	0	50	0	0	100	50	0	0	50	30%
podzemní část dolu	100	100	100	100	100	100	100	0	0	100	80%

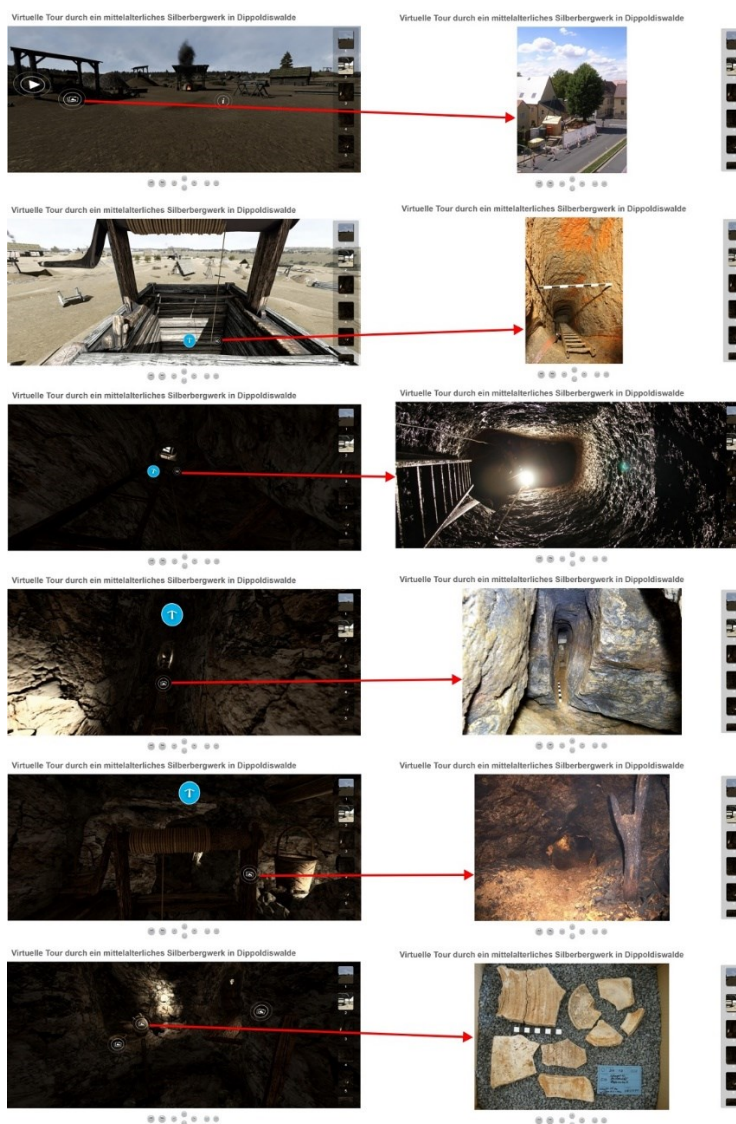
Tab. 9: Výpočet nejistoty dat pro rekonstrukční počítačový model povrchové a podzemní části hornického areálu.

Pro zobrazení nejistoty dat byly využity možnosti virtuální reality, která umožňuje interaktivně propojit trojrozměrná data s přidavnými informacemi. Byla vytvořena virtuální tour pomocí tzv. 360 panoramatických snímků vygenerovaných přímo z 3D rekonstrukčního modelu, která funguje tak, že je možné se libovolně přesouvat z jednoho bodu na další a na každém má uživatel možnost se z konkrétního místa rozhlížet kolem sebe. Do těchto 360 sférických pohledů lze vkládat další vrstvu informací, aby bylo zřetelné na jakých datech 3D počítačová rekonstrukce vznikla, byly využity fotografie přímo ze záchranného výzkumu. Je zde tak zřetelné propojení reálné podoby a stavu dochování jednotlivých částí důlního areálu a jejich řešení v provedeném počítačovém modelu. Názorně lze tak vizualizovat především zachování

nalezených artefaktů, jako např. u vrátku nebo fragmentované keramické nádoby (viz poslední dva náhledy v obr. 145).

3.5.5 Závěr

Je evidentní, že použití přesných dat z laserového skenování, které zdokumentovalo movité i nemovité objekty, značně zvyšuje transparentnost celého rekonstrukčního modelu. Jde ovšem o velice specifickou situaci, kdy byla celá část podzemního důlního díla zachována intaktní. Navíc se jednalo o jeden časový horizont bez pozdějších zásahů, neboť těžba zde byla cíleně ukončena. Vyjíměčně je také dochování konstrukcí a nástrojů z organických materiálů, které umožnilo v počítačové rekonstrukci použít přímo konkrétní artefakty a vložit je často i na místo *in situ*.



Obr. 145: Náhledy z virtuální tour po 3D počítačové rekonstrukci dolů v Dippoldiswalde.

4. VYUŽITÍ VIRTUÁLNÍ A ROZŠÍŘENÉ REALITY PRO PREZENTACI POČÍTAČOVÝCH VIZUALIZACÍ²⁰

4.1 Virtuální a rozšířená realita

„Zobrazovat 3D grafiku na obrazovce je jako dívat se do moře proskleným dnem lodi. Skrze ploché okno pozorujeme prostředí plné života; vědomě prožíváme fakt, že jsme na lodi. Nahlížet do virtuálního světa pomocí stereografické obrazovky je jako šnorchlovat. Jsme na hranici trojrozměrného prostředí, hloubku oceánu si prohlížíme z jeho hrany; vědomě prožíváme fakt, že jsme někdy mezi, na povrchu moře. Použit stereoskopický HDM je jako obléknout si potápěčský oblek a ponořit se do moře. Potápíme se do prostředí, pohybujeme se kolem útesů, nasloucháme písňím velryb, sbíráme mušle a zkoumáme je, komunikujeme s ostatními potápěči, maximálně rozumíme rozsahu podvodního světa. Jsme Tam.“

Meredith Bricken²¹

Velice rychlý vývoj v oblasti informačních technologií, dostupnost připojení k internetu a masové rozšíření výpočetní techniky během posledních let, vytvořilo prostor pro změnu systému a metod prezentace archeologických objektů. Rozšíření tradičního prezentačního rámce o virtuální prostor poskytuje zcela nové možnosti prezentace a termíny jako virtuální nebo rozšířená realita tak již nepředstavují milióny světelných let vzdálené science fiction pojmy, ale vytváří velice mocný nástroj pro archeologickou památkovou péči a popularizaci oboru.

Virtuální realita je technologie, která uživateli umožňuje interagovat s trojrozměrným počítačově vytvořeným prostředím, které zobrazuje buď reálný, nebo imaginární prostor (Mandal 2013, 304). Úplné počátky virtuální reality můžeme vysledovat od 50. let 20. století, ale plný rozvoj nastal až v 80. letech, kdy byl poprvé uveden i daný termín od Jaron Laniera (Mandal 2013, 304). Počítačové prostředí generuje vjemy, jejichž typ a kvalita ovlivňují lidské smysly v tom, jak uživatel hluboce prožívá svoji přítomnost ve virtuální realitě. Ideálním je tak nejen vysoké rozlišení obrazové části virtuální reality, ale i její působení na další smysly a dále schopnost realisticky reagovat na uživatelovo počínání. V současné době je využívání virtuální reality stále ještě daleko od ideálního působení, kdy většina systémů stimuluje pouze jeden či dva lidské smysly, ale vývoj jde rychle dopředu.

²⁰ V této kapitole jsou použity autorské texty a ilustrace z již publikovaných článků autora (Unger – Květina 2017; Unger et al. 2016; Květina et al. 2015).

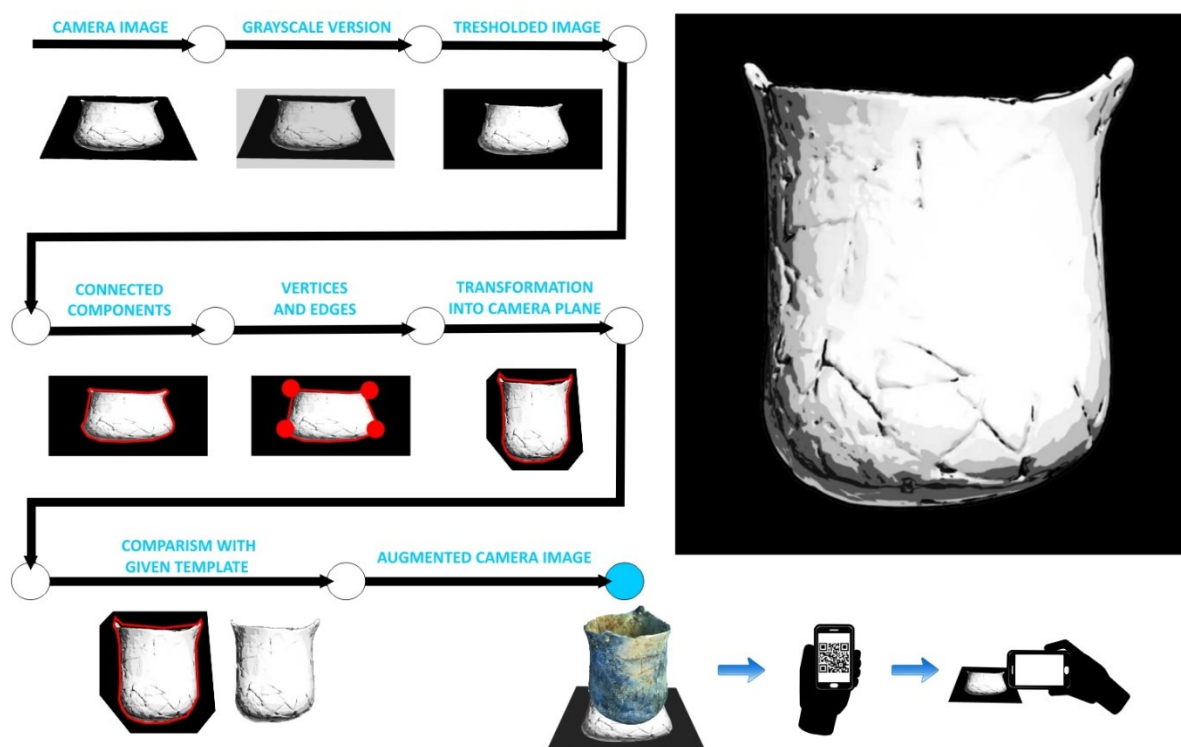
²¹ Ryan 2015, 69.

Předchůdcem virtuální reality jakožto obrazu obklopujícího diváka byly v 19. st. velice rozšířené tzv. panorama, pohyblivé obrázky odvíjené z kotouče, kdy v konkrétní moment byla viditelná pouze část z obrazového cyklu a tzv. cykloráma, což byly malby na vnitřních zdech kruhových budov, často doplněné i reálnými objekty v popředí, což umožňovalo divákovi libovolný rozhled ve 360 stupních kolem sebe (Ryan 2015, 75). Prvním digitálním systémem řešení virtuální reality byl „Sensorama machine“ z roku 1957, multismyslový simulátor, který přehrával stereo film doprovázený dalšími vjemy – zvukem, vibracemi, větrem a vůněmi. V roce 1965 byl průkopníkem virtuální reality Ivanem Sutherlandem navržen komplexní přístroj „The Ultimate display“, který zahrnoval interaktivní grafiku, zvuky, vůně a chuť. První hardwarové řešení přístroje, který by bylo možné upevnit přímo na uživatelskou hlavu, tzv. head mounted display (HMD), který reaguje na pohyby a orientaci hlavy, byl vynalezen opět Ivanem Sutherlandem a nazván „The Sword of Damocles“. V následujících letech tak vidíme snahu o vyřešení přístrojové části tohoto konceptu. Byly prezentovány první prototypy, GROPE v roce 1971 od University of North Carolina, v roce 1982 VCASS letový simulátor od US Air Force's Armstrong Medical Research Laboratories nebo VIVED zkonstruovaný NASA v roce 1984. Řešení virtuální reality prostřednictvím obrazovek nebo projekce, které reaguje na uživatele, bylo poprvé použito v roce 1975 a v roce 1992 byl uveden systém CAVE umožňující interakci na větším prostoru (Mandal 2013, 304 - 305). Systémy využívající „head mounted display“ a „CAVE“ se ukázaly jako stabilní koncepty pro využití virtuální reality a jsou používány i v současné době.

Rozšířená realita je technologie, která umožňuje doplnit reálný fyzický obraz světa o virtuální digitální prvky vygenerované počítačem (Carmigniani – Fuhr 2011, 3). To je podstatný rozdíl oproti virtuální realitě, která uživatele zcela pohltí a on tak nevnímá tak reálné prostředí, které ho obklopuje. První koncept rozšířené reality byl zmíněn v roce 1955 Mortonem Heiligem, který o 7 let později uvedl prototyp této vize nazvaný „Sensorama“, který ještě ovšem nepracoval s digitálními daty. V roce 1968 je uveden první „head mounted display“ s optickým přidáním digitálních prvků do výhledu reálného prostředí a v roce 1975 je postavena Videoplace, první místnost umožňující uživatelům interagovat s virtuálními předměty. O první outdooové použití rozšířené reality se pokusila hra ARQuake vyvinutá v roce 2000, ale větší rozvoj tohoto konceptu nastává až s příchodem mobilních aplikací od roku 2008 (Carmigniani – Fuhr 2011, 4 – 5).

Právě možnost překrývání reálných a virtuálních dat prostřednictvím rozšířené reality přímo na místech archeologických památek má pro obor velký potenciál a během posledního desetiletí

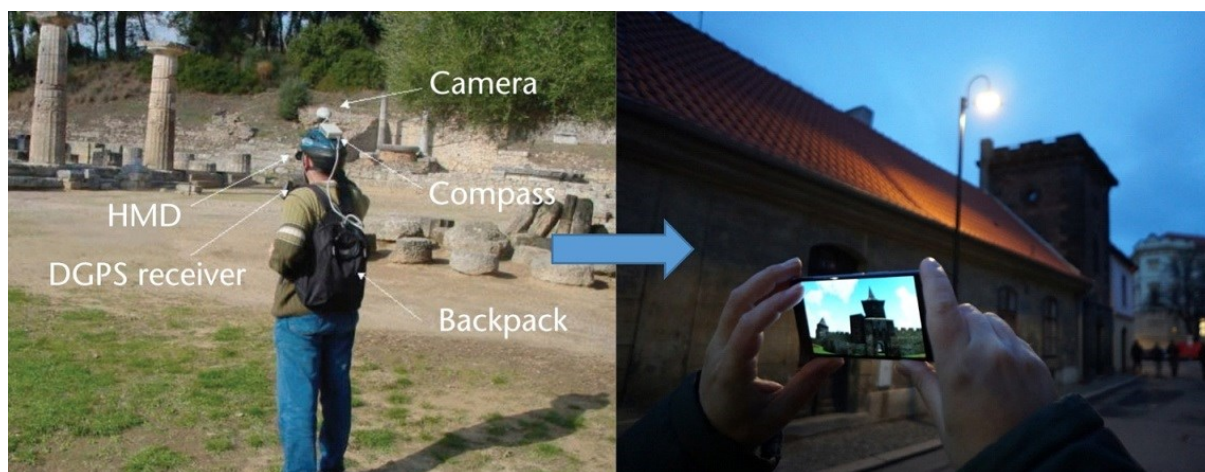
bylo vyvinuto hned několik systémů a konceptů v rámci aplikací pro chytré telefony. Dosavadní aplikace používají dvě základní techniky; první a nejrozšířenější metoda funguje na bázi tzv. markeru, kde jsou virtuální data provázána s dvourozměrnými obrazy a v některých případech i s trojrozměrnými objekty. Tyto specifické obrazy nebo objekty se snaží aplikace ve scéně snímané kamerou identifikovat a lokalizovat a na základě těchto informací na marker umístit požadovaný 3D model, který je správně nastaven a orientován (viz obr. 146; Květina a kol. 2015, 13 – 14).



Obr. 146: Princip fungování aplikace s rozšířenou realitou na bázi markeru.

Druhá metoda rozšířené reality již pracuje bez těchto pomocných markerů a pro umístění digitálních prvků využívá systém optického rozeznávání okolního prostředí. Prvním průkopnickým projektem byl Archeoguide, který se již v roce 2005 pokusil vyvinout systém, který by umožnil návštěvníkům starověké Olympie v Řecku spatřit počítačové 3D rekonstrukce přímo na místech, kde původně stály. Uživatelé museli být vybaveni přenosným počítačem s dostatečným výkonem, který byl propojen se zařízením umístěným na hlavě uživatele a vybavený displejem, kamerou a dalšími přídavnými technologiemi jako GPS přijímač, digitální kompas a systémem pro optické vyhledávání. Další zkušební lokalitou možností rozšířené reality se stalo římské město Pompeje, kde byly v rámci projektu Lifeplus oživeny scény ze starověkých fresek. U obou projektů bylo přesného umístění 3D počítačových rekonstrukcí či

animací docíleno hybridním systémem využívajícím DGPS, kompas a optickým trackingem videa. V něm byla reálná snímaná scéna porovnávána s databází referenčních fotografií načítaných z centrálního serveru podle údajů GPS o poloze uživatele (Unger – Květina 2017).



Obr. 147: Rozdíl mezi hardwarovým vybavením v roce 2005 (ArcheoGuide) a 2018 (aplikace v chytrém telefonu).

Tyto pionýrské systémy pro rozšířenou realitu vyžadovaly, aby jejich uživatel nosil na těle připevněnou celou sadu hardwarového vybavení včetně kamery a přenosného počítače, což je činilo značně uživatelsky nepřívětivými a velice limitovanými pro širší představení veřejnosti. Příchod přenosných chytrých telefonů a tabletů, které v sobě mají automaticky zakomponovanou celou řadou senzorů a funkcí jako GPS, kompas, akcelerometr nebo gyroskop a mají větší výpočetní výkon, než byl k zapotřebí k vyslání prvního člověka na Měsíc, otevřelo zcela nové možnosti využití technologie rozšířené reality (viz obr. 147). Nicméně systémy optického rozpoznávání okolního prostředí, nezbytné pro umístění 3D počítačových modelů do reálného prostředí bez pomocných grafických markerů je velice komplexní záležitostí. Vyskytlo se několik přístupů jak dosáhnout přesnosti, kterou disponoval zmíněný Archeoguide. Většina v minulosti realizovaných projektů narážela především na problémy s přesnou lokalizací uživatele a omezeného výkonu pro optické rozpoznávání prostředí a často se jednalo o hybridní systémy využívající výhody dalších technologií, jako jsou eBeacony či lokalizace pomocí Wifi spotů. Aplikace TimeWarp, která v německém Kolíně prezentuje 3D rekonstrukční modely zaniklých římských a středověkých staveb, tak tyto modely vzhledem k možnostem prostorových nepřesností umísťuje raději na otevřená prostranství. Aplikace Re-yuanminguyaun prezentující císařské zahrady během let 1707 až 1860 zase pro lokalizaci přístroje na místech spuštění rozšířené reality nejprve používá načtení z doprovodných

markerů. Další aplikace (např. Streetmuseum, ArchaeoApp) pak v rozšířené realitě zobrazují pouze dvourozměrný obsah (Unger – Květina 2017).

Výrazný obrat v možnostech rozšířené reality ovšem nastal v roce 2018, kdy v červnu společnost Apple představila platformu pro rozšířenou realitu nazvanou ARKit pro iPhone a iPady a v říjnu uvedla společnost Google platformu ARCore²². Obě dvě technologie mají zcela revoluční schopnosti robustního optického rozeznávání okolního prostředí a sledování pohybu přístroje v reálném čase. Apple dokázal tuto technologii implementovat do současné generace iPodů, zatímco ARCore běží pouze na nejnovějších modelech poslední generace. Ačkoliv se jedná o zcela novou technologii, je na základě autorových zkušeností opravdu možné hovořit o průlomu pro využití rozšířené reality v aplikacích pro mobilní aplikace.

4.2 Případové studie využití virtuální a rozšířené reality v archeologii

V následujících případových studiích budou prezentovány projekty využití virtuální a rozšířené reality na kterých se autor podílel nebo, které jsou jeho dílem.

4.2.1 Virtuální muzea: Archeologické 3D virtuální muzeum

Tento projekt financovaný Ministerstvem Kultury ČR²³ řešil kolektiv Archeologického ústavu AV ČR, Praha, v.v.i. pod vedením Petra Květiny během let 2011 – 2015. V české archeologii se jednalo o jeden z prvních pokusů komplexnějšího řešení využití nových technologií a virtuální reality pro dokumentaci a prezentaci archeologických objektů, testovaných především na lokalitě Bylany u Kutné Hory.

Prezentace prehistorických lokalit středoevropského pravěku naráží především na problém jejich krajinné neviditelnosti. A ocitne-li se tak člověk např. v Bylanech u Kutné Hory, kde leží pod nánosy zeminy pohřbené rozsáhlé sídelní areály prvních evropských zemědělců, projde nad nimi bez povšimnutí. V hlavním výstupu projektu, který byl koncipován jako virtuální webové muzeum, bylo ukázáno, že jednou z možností popularizace a zpřístupnění takových prehistorických lokalit, je virtualizace archeologických dat samých a současně také interpretační imaginace, jež z nich vychází. Bylo demonstrováno, že to lze úspěšně provést i v

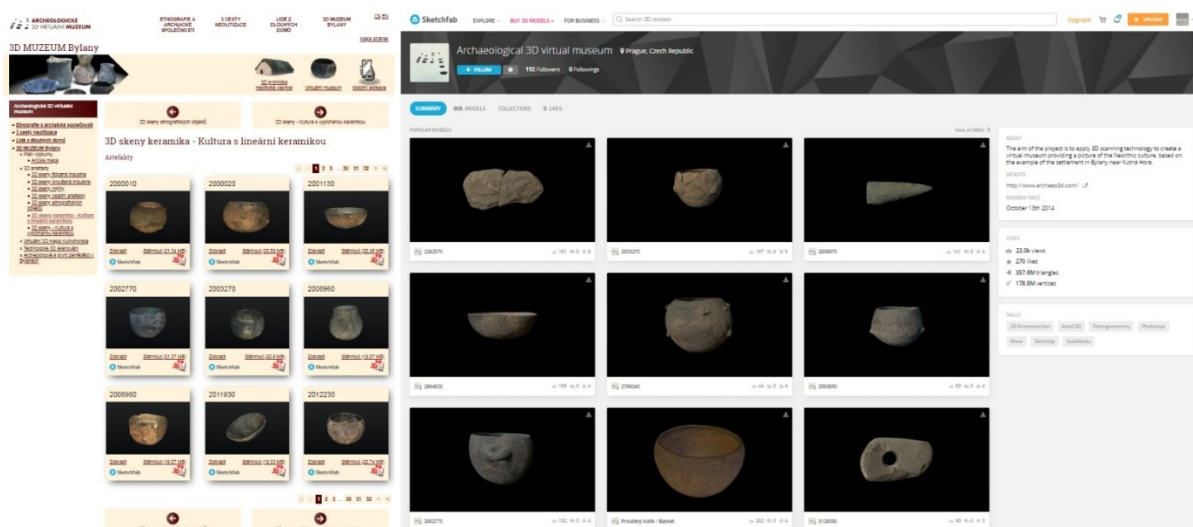
²² Více informací o fungování systému ARKit zde: <https://developer.apple.com/arkit/> a pro ARCore zde: <https://developers.google.com/ar/discover/>

²³ Tento projekt s názvem „Archeologické 3D virtuální muzeum. Nové technologie dokumentace a prezentace neolitického sídelního areálu“ byl podpořen Ministerstvem Kultury České republiky, číslo projektu DF12P01OVV032.

případech, kdy terénní archeologický výzkum proběhl několik desetiletí nazpátek, a není tak žádná možnost intencionálně vybírat a shromažďovat vhodná data přímo v průběhu vykopávek. To je bezpochyby pozitivní zjištění, protože to znamená, že je možné tímto způsobem prezentovat i klasické lokality, jejichž význam je naprosto zřejmý archeologické obci, ale ne tak už laické veřejnosti.

Technologickým záměrem daného projektu bylo prezentovat zaniklé reálie neolitické kultury a jejich rekonstrukce v trojrozměrném virtuálním prostředí. Tento přístup vyžadoval dva metodicky odlišné přístupy. Prvním je převedení movitých artefaktů (keramických nádob, kamenné štípané a broušené industrie, znotěrek...) a nemovitých objektů (zahlobené objekty typu jam, kúlových jamek, příkopů...) do 3D virtuální podoby. Druhým je počítačové modelování a rekonstrukce nemovitých struktur (domy, rondely, krajina...). Pro dematerializaci movitých artefaktů byla použita především metoda optického skenování a pro nemovité byly použity techniky 3D fotogrametrie a 3D virtuálního modelování. Získaná data ve formě klasických 3D souborů, virtuálních tour a rozšířené reality jsou použitelná, jak v prostředí PC, tak i v aplikacích určených pro mobilní zařízení.

Primární technologií pro akvizici trojdimenzionálního zobrazení movitých archeologických nálezů bylo optické 3D skenování, jehož výhodou je schopnost zachytit naprosto věrný virtuální prostorový model objektu. To jednak vytváří nové bezbariérové možnosti prezentace, a jednak znásobuje potenciál jejich zachování pro případ, kdy je originál zničen. Skenování bylo prováděno prostřednictvím přístroje SmartSCAN 3D od společnosti Breuckmann. Virtuální trojrozměrný obraz předmětu byl ve finále uložen v 3D formátu (.ply), který uchovává vedle tvaru i texturu originálu. Tyto polygonální modely představují relativně velké soubory a z tohoto důvodu nejsou vhodné pro přímou prezentaci. Pro tu se naopak hodí decimované kopie zpřístupňované pomocí vizualizačního plug-in ve formátu 3D PDF, nebo na webu přímo v internetovém prohlížeči v rámci platformy Sktechfab (viz obr. 148). Obě možnosti se na straně uživatele obejdou bez instalace specializovaného softwaru (<https://sketchfab.com/archaeo3d>).

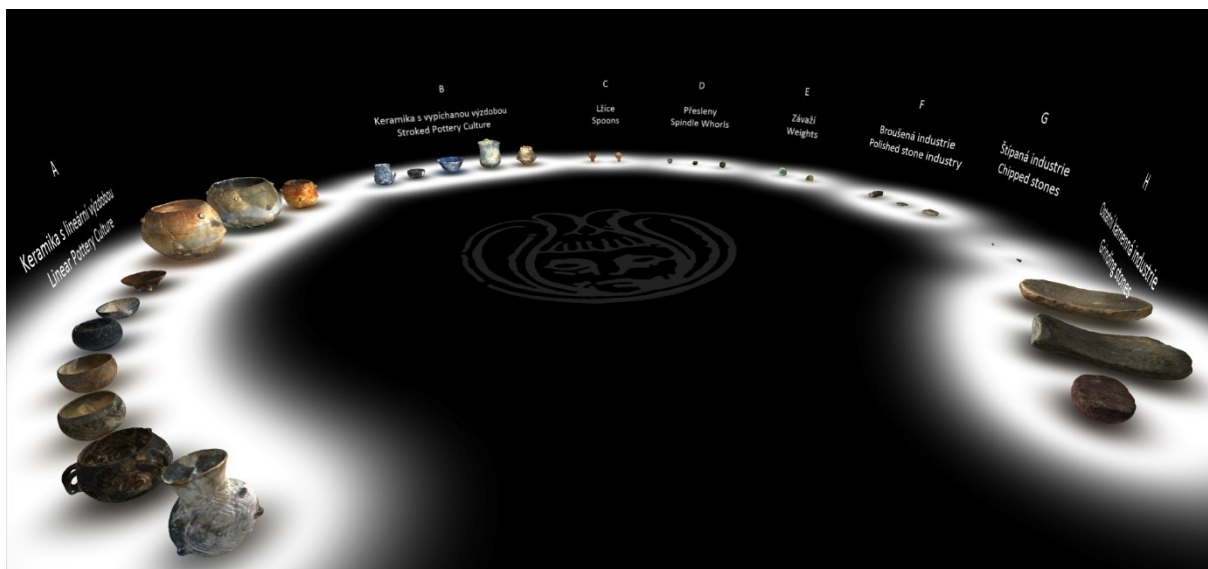


Obr. 148: Ukázka řešení virtuálního zpřístupnění neolitických artefaktů na webových stránkách virtuálního muzea (vpravo) a prostřednictvím platformy Sketchfab (vlevo).

Vybrané artefakty byly zpřístupněny také formou virtuální galerie, ve které byl využit princip herních enginů, v tomto případě konkrétně UDK od Epic Games, který byl původně vyvinut pro klasické počítačové hry z pohledu první osoby (viz obr. 149). Tento typ softwarové platformy umožňuje pomocí klávesnice a myši či dotykové obrazovky měnit dle vlastního výběru trasu a směr prohlídky ve virtuálním prostředí. Podstatnou výhodou pro interaktivní prezentaci 3D počítačových dat je především jejich ucelenost. Ve virtuální galerii je tak vystaveno 30 artefaktů rozdělených dle materiálu a částečně i chronologie, ve které se může návštěvník svobodně pohybovat a prohlížet vystavené exponáty ze všech úhlů a náhledů (<http://www.archaeo3d.com/>).

Pro vizualizaci nemovitých struktur bylo využito standardní počítačové manuální 3D modelování. Nástup nových grafických aplikací a exponenciální růst kvality a komplexnosti modelů v nich tvořených, umožňuje provádět stále lepší prostorové rekonstrukce zvolených objektů. Metodou tvorby 3D modelů je import vstupních dat typu 2D půdorysných plánů, leteckých fotografií nebo 3D fotogrammetrických plánů z terénních archeologických výzkumů do zvolených grafických programů (např. SketchUp nebo Blender). Zde jsou na jejich základě modelovány konstrukční prvky, které jsou následně doplněné o další vrstvy tvořící např. výplet zdí, střešní krytinu, vnitřní a vnější vybavení. Textury jsou z větší částí získávány z fotobanky projektu. V rámci zasazení 3D modelů nemovitých struktur do reálného prostředí je využit geografický informační systém (Esri ArcGIS). Výstup 3D modelu byl realizován buď v podobě statické rekonstrukce, která je v bitmapových grafických editorech typu Photoshop doplněna

vhodnou vegetací, panoramatem a dalšími vizualizacemi, a jedná se tak o kombinaci vektorové a malované bitmapové grafiky. Pomocí barevných filtrů, stínů a dalších grafických nástrojů je pak vytvořena finální vizualizace. Druhou možností výstupu byla animace nemovitých struktur vytvořená pomocí tzv. scén, kdy se převážně jedná o formu pouhého snímání objektů v různých směrech doplněnou o postupné zobrazení jednotlivých konstrukčních vrstev.



Obr. 149: Virtuální tour s možností procházet se mezi neolitickými artefakty realizovaná na bázi herních enginů.

Atraktivní možností využití 3D modelů nemovitých struktur je jejich prezentace formou virtuálních tour založených na již zmíněném principu herních enginů. Byla vytvořena aplikace, která umožňuje procházku částí neolitické vesnice v Bylanech u Kutné Hory, jejíž 3D rekonstrukce vznikla na základě poznatků archeologických výzkumů. Další z možností je prohlížení tohoto 3D modelu z pohledu ptáčích perspektivy, kterým lze otáčet a přibližovat do detailů. Abychom na místě dané památky docílili možnost návštěvníkovi lépe pochopit a prožít její 3D vymodelovanou rekonstrukci, byla v rámci aplikace použita funkce gyroskop módu. Na předem daném místě, tak lze po spuštění této části aplikace „vkročit“ přímo doprostřed neolitické vesnice a pohybem přístroje do stran se po ní rozhlédnout. Vznikla tak kombinace virtuálního světa tvořeného 3D rekonstrukcemi neolitických obydlí a světa reálného, neboť do modelu byla zakomponována podoba skutečné dnešní krajiny.

Jednou ze zcela nových možností virtuálního zobrazování archeologických dat bylo (v českém prostředí) využití mobilních aplikací. Současné masové rozšíření chytrých telefonů, totiž otevírá úplně nový prezentační rámec. Zatímco klasické PC formáty vycházejí z indoorové

perspektivy uživatele, u mobilních zařízení lze zohlednit i jejich outdoorové použití, přímo v terénu archeologických lokalit. V aplikacích je pak možné kombinovat prvky reálného a virtuálního světa, které se na displeji zařízení vzájemně doplňují. Pro potřeby projektu byla použita varianta rozšířené reality s tzv. markerem a aplikace zobrazuje objekty neolitické kultury (viz obr. 150). Ta byla provázána s turistickými panely postavenými v Bylanech před terénní základnou Archeologického ústavu AV ČR, Praha, v.v.i., které tak byly rozšířeny o virtuální prostor. Markery pro aplikaci byly zakomponovány přímo i do knihy *Minulost*, kterou nikdo nezapsal (Květina a kol. 2015).



Obr. 150: Aplikace s rozšířenou realitou prezentující jednu z neolitických nádob na bázi tzv. markeru.

Projekt byl inovativní hned v několika směrech. Podařilo se virtuálně prostřednictvím webové platformy zpřístupnit na 1000 artefaktů z výzkumu v Bylanech u Kutné Hory, které tak lze přímo interaktivně prohlížet a které by jinak zůstaly nedostupné v depozitářích. Dále byl do české archeologie uveden fenomén mobilních aplikací, ve kterých byly využity principy jak virtuální, tak i rozšířené reality a vyzkoušeny byly i možnosti použití herních enginů a virtuálních tour.²⁴

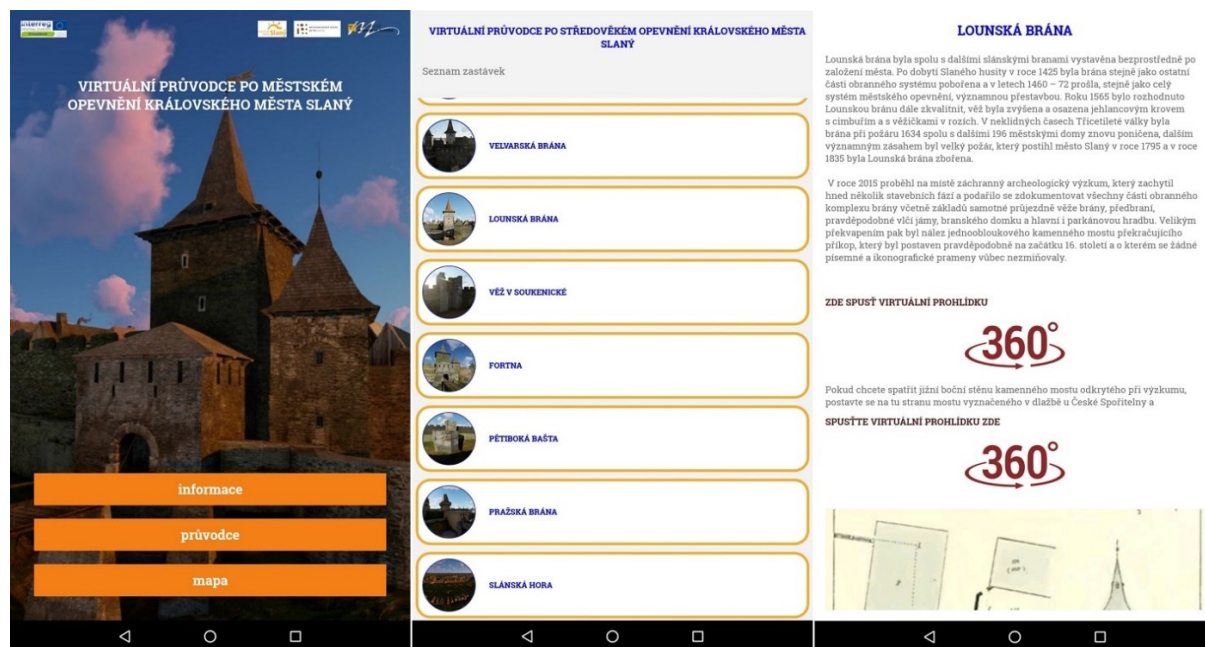
4.2.2 Aplikace pro mobilní telefony: Virtuální průvodce po městském opevnění královského města Slaný

Tento projekt autor realizoval na základě svého působení při záchranných výzkumech, které zdokumentovaly jedny z nejdůležitějších částí středověkého opevnění města, Pražskou a

²⁴ Zmíněné aplikace jsou přístupné zde: <http://www.archaeo3d.com/bylany/>

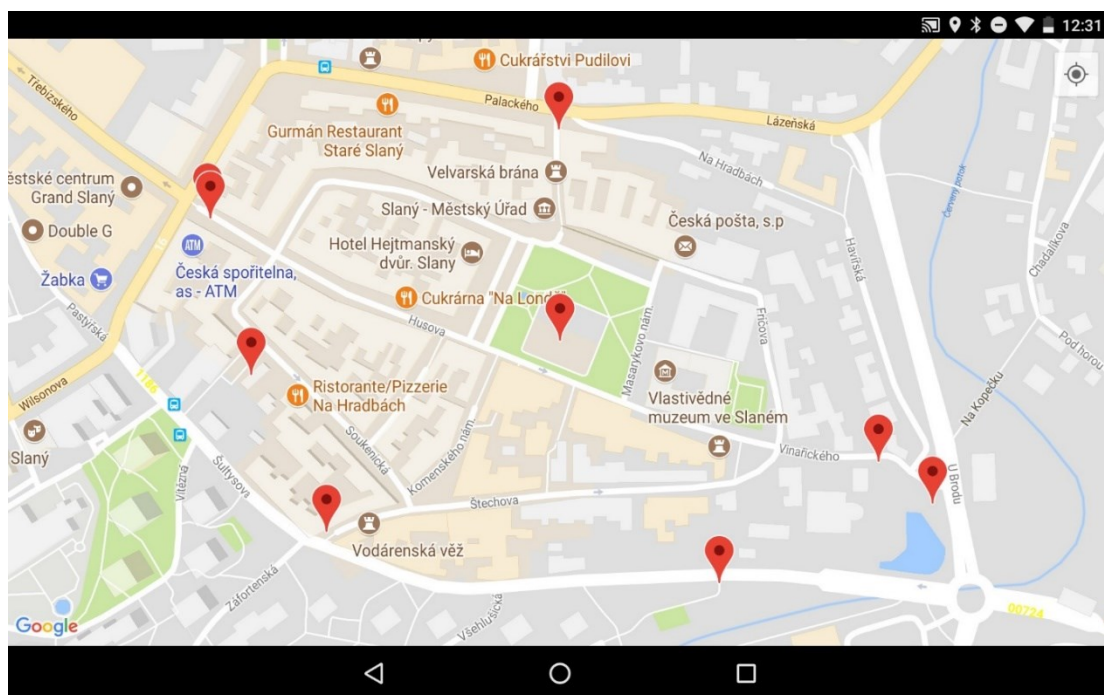
Lounskou bránu a které se rozhodl prezentovat i novými technologiemi virtuální a rozšířené reality. Byla vyhotovena 3D počítačová rekonstrukce města Slaný v roce 1602 (viz kap. 3.3) a ve spolupráci s Vlastivědným muzeem, byly získány finanční prostředky od Městského úřadu na vývoj aplikace pro chytré telefony. Aplikace byla testována v průběhu roku 2018 a oficiálně bude publikována v květnu 2019. Potenciál 3D počítačových rekonstrukcí a virtuální reality bude využit i pro novou koncepci a přebudování expozice o městském opevnění ve Velvarské bráně a infokiosku a webových stránek Vlastivědného muzea.

Projde-li se dnes člověk po královském městě Slaný, narazí pouze na několik málo památek upozorňujících na kdysi monumentální opevnění města, které jsou reprezentovány především dosud stojící Velvarskou bránou. Masivní středověká fortifikace se ovšem skládala z důmyslného obranného systému zahrnujícího další chráněné vstupy do města (Lounská brána, Pražská brána, fortna) a zdvojené linie hradeb s příkopem a mnoha věžemi a baštami. Většina opevnění byla ovšem v průběhu 19. století zbořena, neboť tehdejší společnost považovala oproštění měst od „tísňového fortifikačního pásma“ za symbol nového, svobodnějšího života. Jednala i pod vlivem teorií o nutném sanitárním a estetickém zvelebení zanedbávaných měst. Tato aplikace se tak díky novým technologickým možnostem rozhodla tyto památky, které již nadobro zmizely z povrchu zemského, zpřístupnit pomocí virtuální a rozšířené reality.



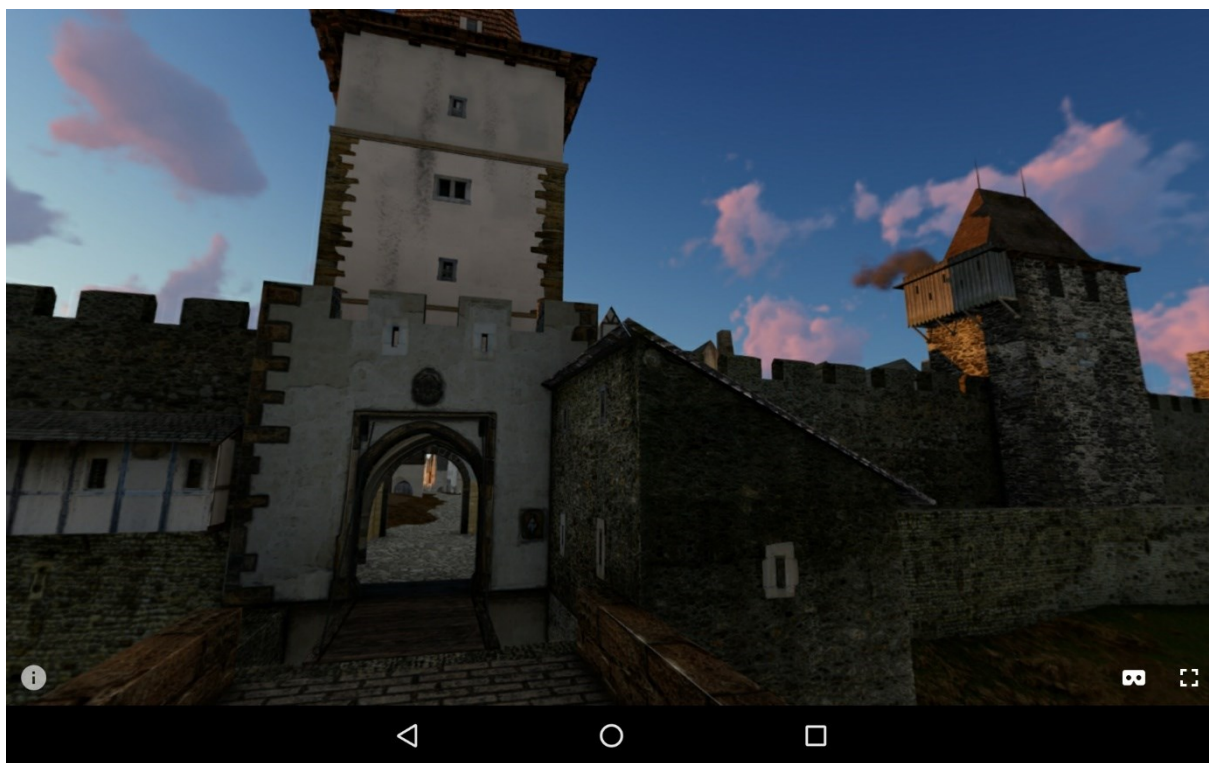
Obr. 151: Vlevo titulní stránka se základním dělením aplikace, uprostřed seznam bodů zájmu a vpravo ukázka informací ke každému z bodů s prolinkem na virtuální realitu ve formě 360° panoramatických snímků.

Aplikace funguje jako průvodce po středověké podobě města, kde bylo vybráno celkem osm zastávek představujících nejvýznamnější části opevnění a upozorňuje i na dodnes stojící relikty. Aplikace je dělena na tři části: Informace, Průvodce a Mapu (viz obr. 151 - 153). Informace je stránka s krátkým úvodem a návodem k ovládání aplikace. V části Průvodce je seznam zastávek, kde pro každou lze načerpat základní informace vztahující se k danému bodu zájmu ve formě textu, obrazových příloh nebo dokumentace ze záchranných výzkumů. Po kliknutí na ikonu 360° v textu u každé ze zastávek se lze pohybem přístroje rozhlédnout kolem sebe po 3D rekonstrukci tehdejšího města. Tato forma virtuální reality využívá u chytrého telefonu funkci gyroskopu a kompasu. Přístrojem tak lze pohybovat všemi směry a 360° panoramatický snímek je tak správně orientován dle světových stran. Směr pohledu lze otáčet i pohybem prstu po displeji telefonu. Pokud uživatel disponuje tzv. Google Cardboards, tedy skládacími papírovými brýlemi pro prohlížení virtuální reality, lze do tohoto módu přejít kliknutím na ikonu brýlí v levém dolním rohu (viz obr. 154). Část Mapa zobrazuje místa všech zastávek a aktuální pozici uživatele, po kliknutí na ikonu zastávky se zobrazí její popis jako v Průvodci. Na jednotlivé body zájmu je tak uživatel samostatně donavigován s přesností cca na 1 – 2 m dle GSP, což je dostatečná přesnost na to, aby při kombinaci pohledu na virtuální počítačovou rekonstrukci a reálné současné prostředí, oba pohledy prostorově souhlasily, neboť město si samozřejmě zachovává otisk své minulosti a v některých případech aplikace zobrazuje i doposud stojící objekty (Velvarská brána, hradební věže a bašty).



Obr. 152: Mapa s vyznačenými body zájmu a online vyznačenou pozicí uživatele.

Aplikace umožňuje pomocí virtuální reality i nahlédnout pod povrch chodníku a znovu tak spatřit sondy záchranných archeologických výzkumů, neboť při jejich dokumentaci již byla používána vícesnímková fotogrammetrie a byly tak k dispozici 3D modely dochovaných konstrukcí. U Pražské brány tak lze sestoupit do odkrytých kasemat barbakánu a u Lounské brány k odhalené jižní straně jednoobloukového pozdně gotického mostu.



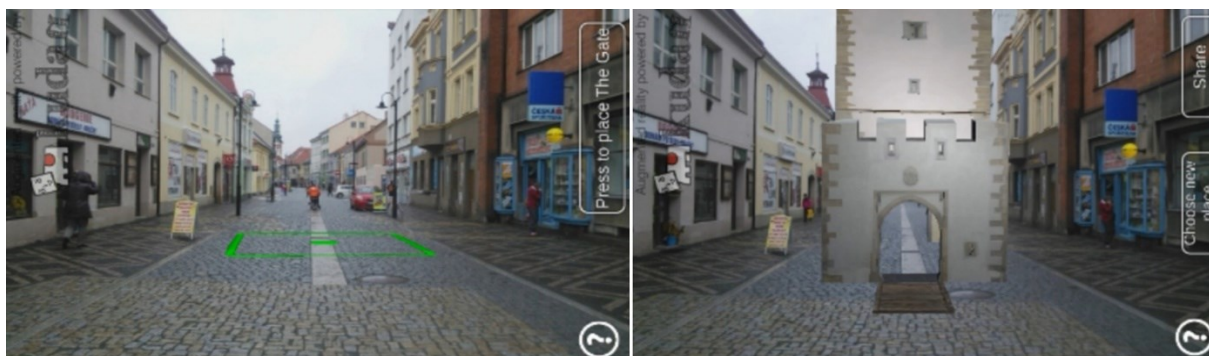
Obr. 153: Ukázka pohledu ve virtuální realitě po 3D počítačové rekonstrukci.



Obr. 154: Fungování virtuální reality při použití Google Cardboards.

Přídavnou aplikací ke stažení je aplikace zobrazující Lounskou bránu v rozšířené realitě, která funguje na principu, že lze umístit 3D model brány přímo na její půdorys vyznačený v dlažbě (viz obr. 155). Po nainstalování aplikace by si uživatel měl stoupnout přímo před kamenný most vyznačený v dlažbě obličejem směrem k náměstí a spustit aplikaci. Objeví se zelený čtvercový terč, který uživatel nasměruje na základy brány a klikne na tlačítko Press to place The Gate. Před uživatelem se tak zhmotní věž Lounské brány s předbraním a padacím mostem, tahem

prstu po dispeji zeshora dolů lze bránu natočit do správné polohy. Tahem prstu ze strany na stranu bránu zmenšovat a zvětšovat. Pokud bude telefon či tablet namířen na místo, kam byla brána umístěna, může uživatel k modelu přijít do bezprostřední vzdálenosti a pořídit fotografii brány, kterou lze stiskem tlačítka Share okamžitě sdílet na sociálních sítích uživatele.



Obr. 155: Vsazení počítačové rekonstrukce Lounské brány do dnešní ulice Husova v rozšířené realitě.

Aplikace je určeno pro operační systém Android a je možné si ji stáhnout na Google Play na <https://play.google.com/store/apps/details?id=com.virtualhistory.slany1602> nebo po zadání Slaný 1602 ve vyhledávači na Google Play.

Přídavnou aplikaci s Lounskou bránou v rozšířené realitě je možné stáhnout na Google Play na <https://play.google.com/store/apps/details?id=com.virtualhistory.branaslany> nebo po zadání Lounská brána ve vyhledávači na Google Play.

4.2.3 Virtuální prostor v muzeích

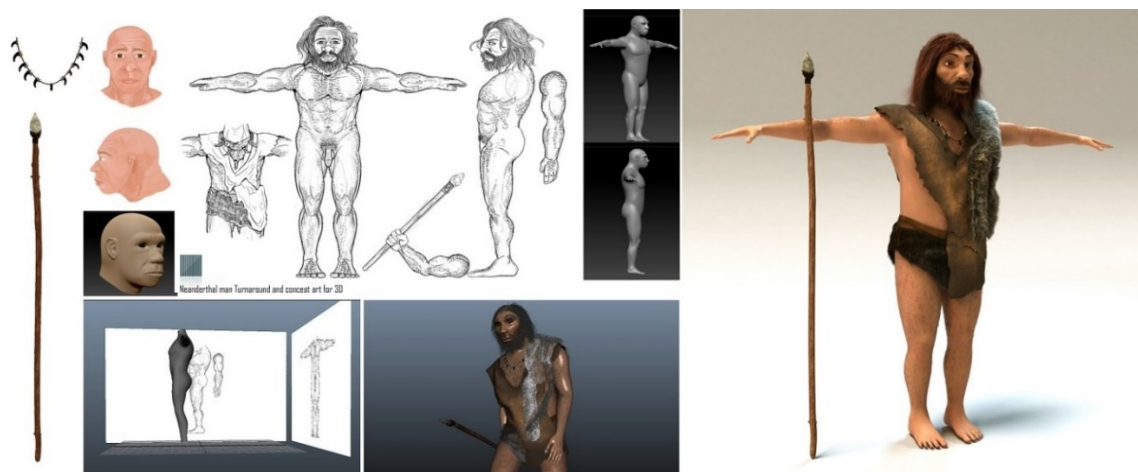
Obrovské možnosti samozřejmě přináší vnesení virtuálního prostoru i do klasických muzejních výstav a expozic. Právě využitím principů virtuální nebo rozšířené reality lze prezentovat i předměty, které by se do chystané výstavy jednoduše nevešly, které nejsou z určitého důvodu fyzicky dostupné nebo jsou obtížně pochopitelné a musí být zhotovena jejich virtuální počítačová rekonstrukce. Navíc lze do výstavy vložit i komplexní reálie nemovitých struktur, či celých archeologických lokalit nebo jejich počítačových rekonstrukcí a dát návštěvníkovi možnost si je prohlédnout či projít ve virtuálním trojrozměrném prostoru.

Pro výstavu „Věda – národ – dějiny, 125. výročí založení České akademie věd a umění“, která se konala v Národním muzeu v Praze od října 2015 do ledna 2016, připravil autor koncept tzv. live cinematic reality nazvané Setkání s pravěkými lidmi. Externí firmou byly zhotoveny animace 3D počítačových rekonstrukcí několika postav ze středoevropského pravěku –

neandrtálce, muže z ledovce Ötziho, keltského bojovníka a římského legionáře, pro jejichž modelování bylo shromážděno co nejvíce relevantních vstupních dat (viz obr. 156 – 158).



Obr. 156: Ukázka přípravy vstupních dat pro 3D model postavy neandrtálce.

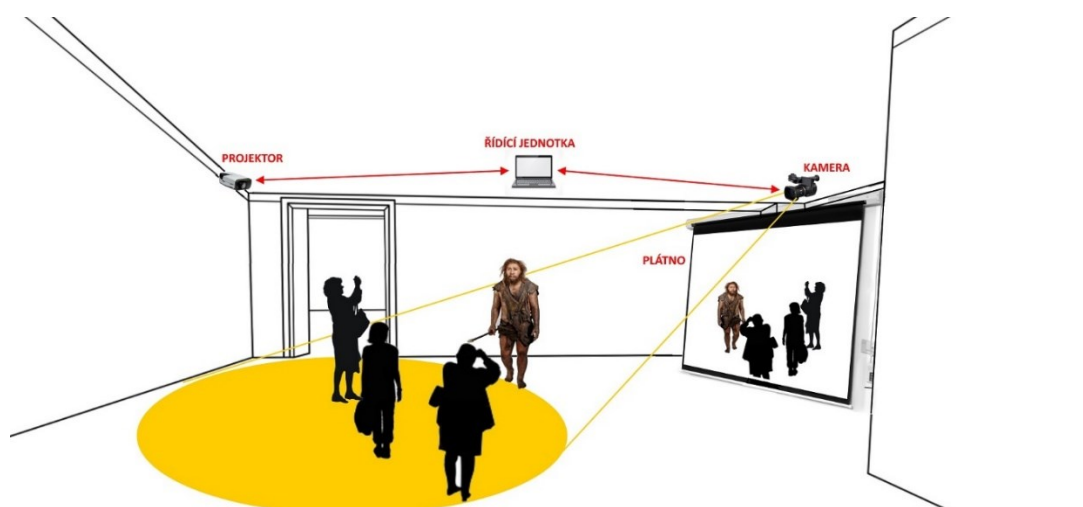


Obr. 157: Postup 3D počítačové rekonstrukce neandrtálce.

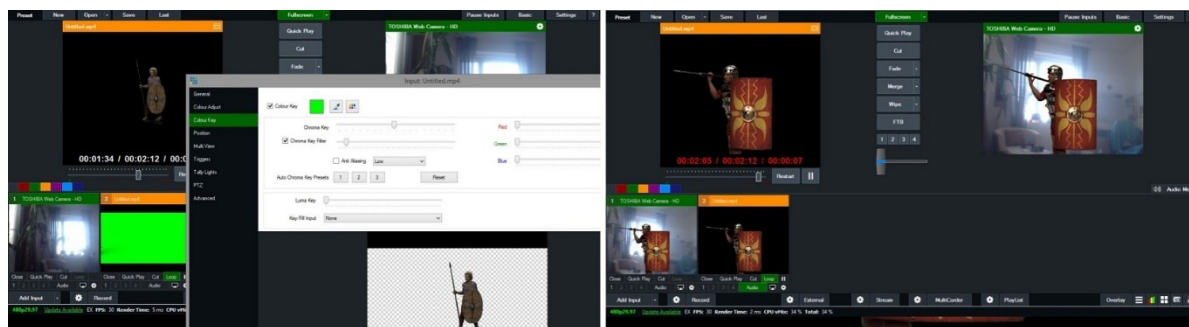


Obr. 158: Výsledné počítačové modely.

Technické řešení uvedení 3D modelů postav z historie do reálného prostoru bylo koncipováno systémem živé projekce. Kamera snímala prostor výstavy a v reálném čase byl obraz přenášen projektorem na plátno. V programu, který používají televizní studia, byly do tohoto živého přenosu vloženy animace s 3D modely, které byly vyrenderovány na zeleném pozadí, což umožnilo jeho eliminaci a mohlo tak dojít k prolnutí obou obrazů. Návštěvníci výstavy tak viděli svůj živě přenášený obraz na plátně před sebou, přičemž do vymezeného prostoru přicházely jednotlivě zmíněné 3D rekonstrukční animace a vybízely návštěvníky k různým formám interakce, velice časté bylo i pořizování tzv. selfie fotografií (viz obr. 159 – 161).



Obr. 159: Základní princip projekce počítačových animací do živého záznamu.



Obr. 160: Úprava obrazů pro projekci.



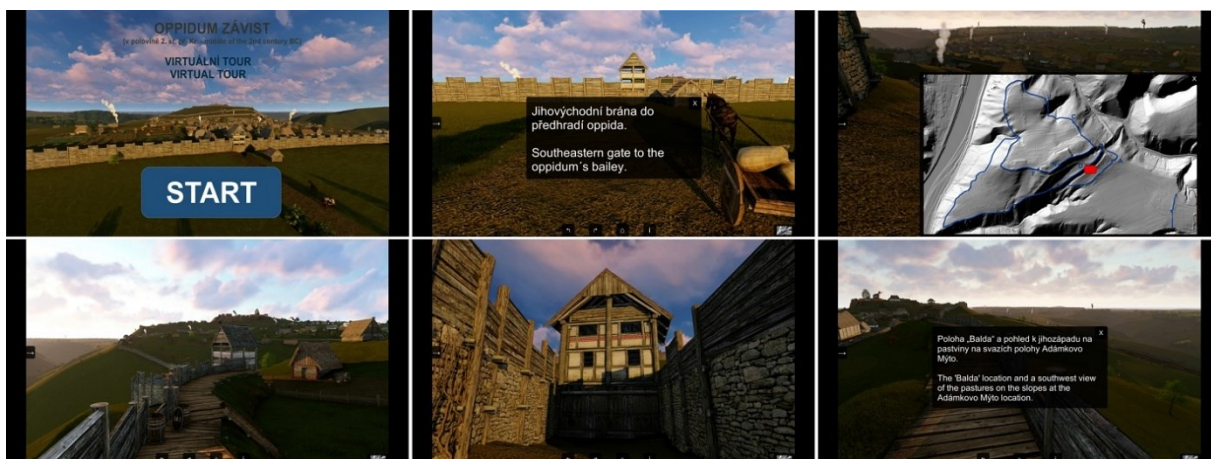
Obr. 161: Finální výstup v rámci výstavy v Národním muzeu.

Pro výstavu „Keltové“, která se koná v Národním muzeu v Praze od května 2018 do října 2019, připravil autor využití virtuální i rozšířené reality. Byla zhotovena 3D počítačová rekonstrukce hradiště Závist u Zbraslavi (viz kap. 3.4), kterou bylo rozhodnuto prezentovat i více interaktivně než jen ve formě videa. Pro dotykovou obrazovku tak vznikla virtuální tour, která je založená na výstupech ze 3D počítačové rekonstrukce pomocí 360° panoramatických snímků (viz obr. 162). Po ploše 3D počítačové rekonstrukce oppida v polovině 2. st. př. Kr. bylo vyrenderováno celkem 14 pohledů, zachycujících nejvýraznější nebo nejvýznamnější části hradiště.



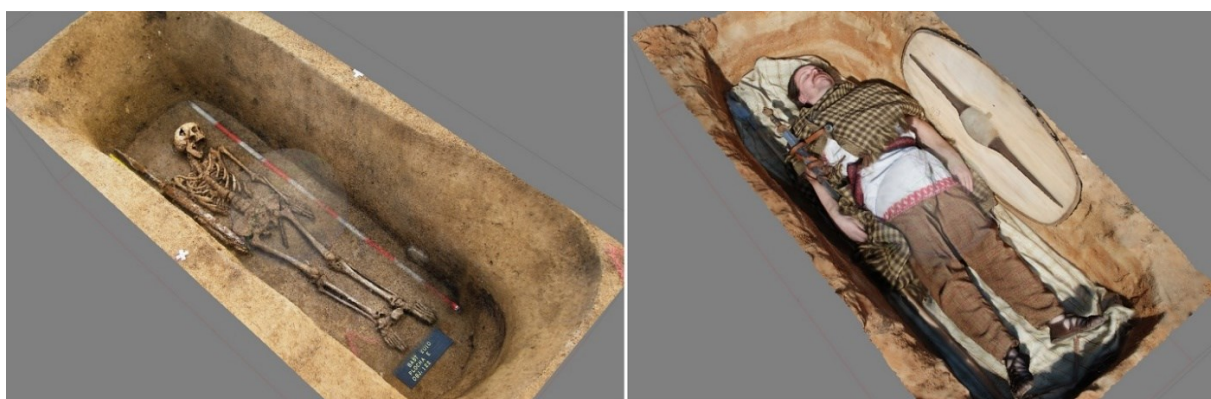
Obr. 162: Ukázka 360 panoramatického snímku ze 3D počítačové rekonstrukce kovárny na akropoli.

Ve virtuální tour se může uživatel libovolně přesouvat mezi jednotlivými body zájmu a na každém se z jednoho místa rozhlížet do všech stran kolem sebe. K orientaci slouží doprovodná mapa, kde jsou na výstupu z LIDARu vyznačeny základní obrysy oppida a červeným bodem je zvýrazněna aktuální pozice uživatele. Zároveň u každého z bodů zájmu jsou po kliknutí na ikonu informace k dispozici základní údaje, kde přesně se uživatel nachází a na co se v konkrétní části počítačové rekonstrukce dívá (viz obr. 163).

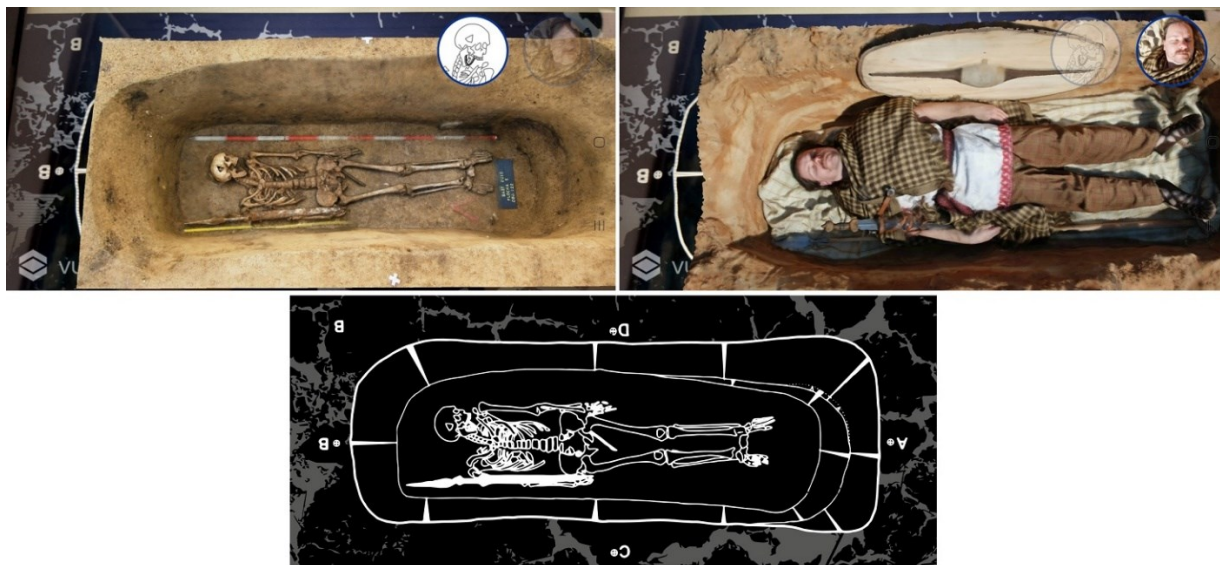


Obr. 163: Ukázka z virtuální tour, vlevo nahoře vstupní obrazovka, nahoře uprostřed informační okno, vpravo nahoře mapa s vyznačenou pozicí uživatele.

Pro prezentaci v rozšířené realitě byla zvolena 3D rekonstrukce plochého kostrového pohřbu. Jako předloha byla použita fotografická dokumentace hrobu č. 122 z výzkumu laténského pohřebiště v Bašti, kde byl pochován muž ve věku mezi 20 a 40 lety, vybavený železným mečem, kopím, dvěma sponami a drobnějšími železnými artefakty typu železných kroužků (Pecinová a kol. 2014, 747 – 748, 753) a prostřednictvím vícenímkové fotogrammetrie se podařilo zhotovit 3D model této nálezové situace. Ve spolupráci s Národním muzeem (Z. Beneš, V. Čišťáková) byla připravena fyzická rekonstrukce tohoto pohřbu s identickou výbavou a převedena do 3D digitálního modelu opět prostřednictvím vícenímkové fotogrammetrie (viz obr. 164). Aplikace pro OS Android s rozšířenou realitou fungující na bázi markeru umožňuje zobrazení těchto dvou modelů měnit a získat tak představu jak o nálezové situaci, tak i o její možné rekonstrukci. V rámci výstavy tak byl na podlahu vložen marker, vycházející z terénní dokumentace, pouze s konverzí barev, aby byl dostatečně kontrastní a na stěnu vedle instalován tablet s předmětnou aplikací (viz obr. 165).



Obr. 164: 3D modely hrobu č. 122 z Baště a jeho rekonstrukce.

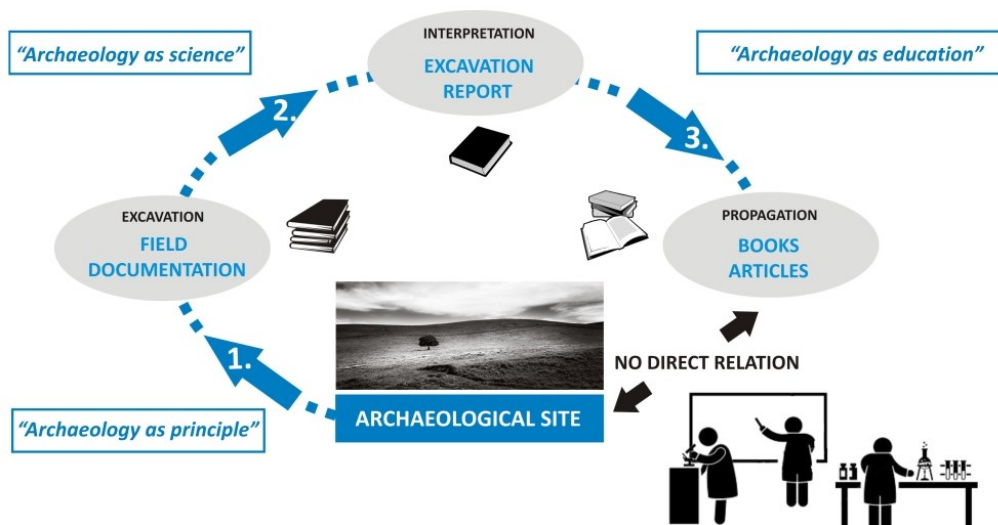


Obr. 165: Náhled do aplikace s možností volby 3D modelů v levém horním rohu obrazovky a marker (dole) použitý pro fixaci 3D modelů v rozšířené realitě.

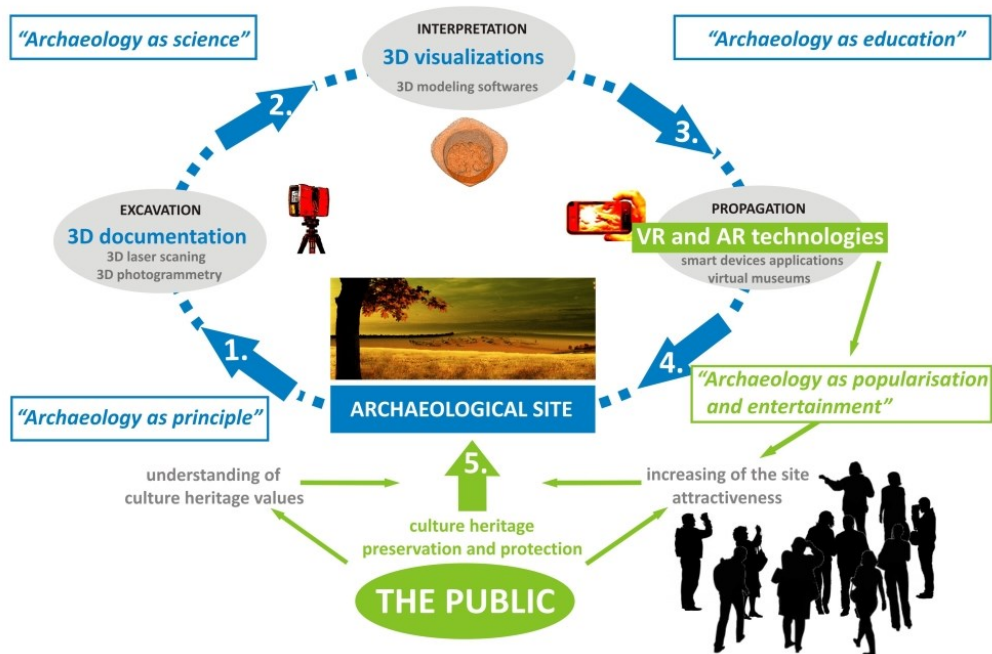
4.3 Důvody využití virtuální a rozšířené reality pro prezentaci archeologie

Prezentované projekty primárně cílí na tematický okruh archeologie pro veřejnost. Těživou realitou prezentace nejstarší minulosti lidské kultury je totiž skutečnost, že její poznávání zůstává uzavřeno v profesním kruhu archeologické památkové péče a partikulárních vědeckých projektů. Proto až na výjimky nedochází k vytváření přímých vazeb mezi prehistorickými lokalitami na jedné straně a veřejností a lokálními obyvateli na straně druhé. Alternativní žádoucí přístup proto představuje úsilí po virtuálním zpřístupnění poznatků, jímž náš obor disponuje díky technologiím virtuální i rozšířené reality, které dokáží jednoduše zpřístupnit archeologické artefakty i celé lokality. To umožní snadnou a zábavnou formou čerpat informace a vnímat lokální genius loci. Odbourává se tím také bariéra mezi veřejností a archeologií jako čistou vědou. Cílem je tak zainteresování veřejnosti, které by mohlo vést k pochopení hodnot obecného i zcela konkrétního kulturně-historického dědictví (viz obr. 166).

A) SCIENTIFIC APPROACH



B) COMMUNITY ENGAGEMENT APPROACH






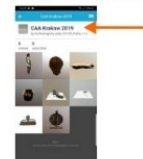



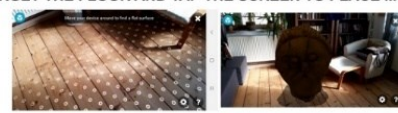

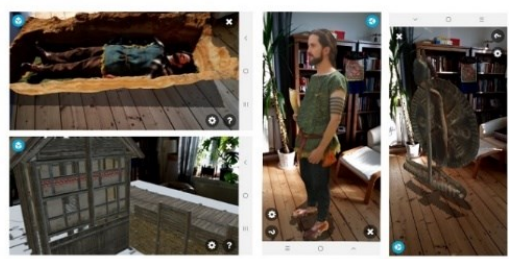
Obr. 166: Rozšířením standardních prezentačních mechanismů archeologie o virtuální prostor je možné zvětšit veřejné povědomí o významu archeologické památkové péče.

Je také velmi pravděpodobné, že virtuální prezentace archeologických objektů jsou zřetelným trendem budoucnosti. Tato forma přináší celou řadu výhod, mezi jinými i snadné a rychlé šíření, neboť existuje již vybudovaná a fungující infrastruktura, tj. především masivní rozšíření chytrých telefonů a dostupnost připojení k internetu. Otevírá se také prostor pro široké oslovení počítačově gramotné mladé generace, pro kterou je virtuální prostor již samozřejmou součástí reálného světa. Vybudování virtuálních prezentací je časově, organizačně i finančně o několik řádů jednodušší než v případě těch fyzických a v případě mobilních aplikací jsou náklady na další fungování a provoz v podstatě nulové. Virtuální open air muzea také mohou vzniknout i v prostředí, kde o jiné formě prezentace nelze uvažovat, jako kupříkladu přímo v místě chráněné kulturní památky nebo centru města.

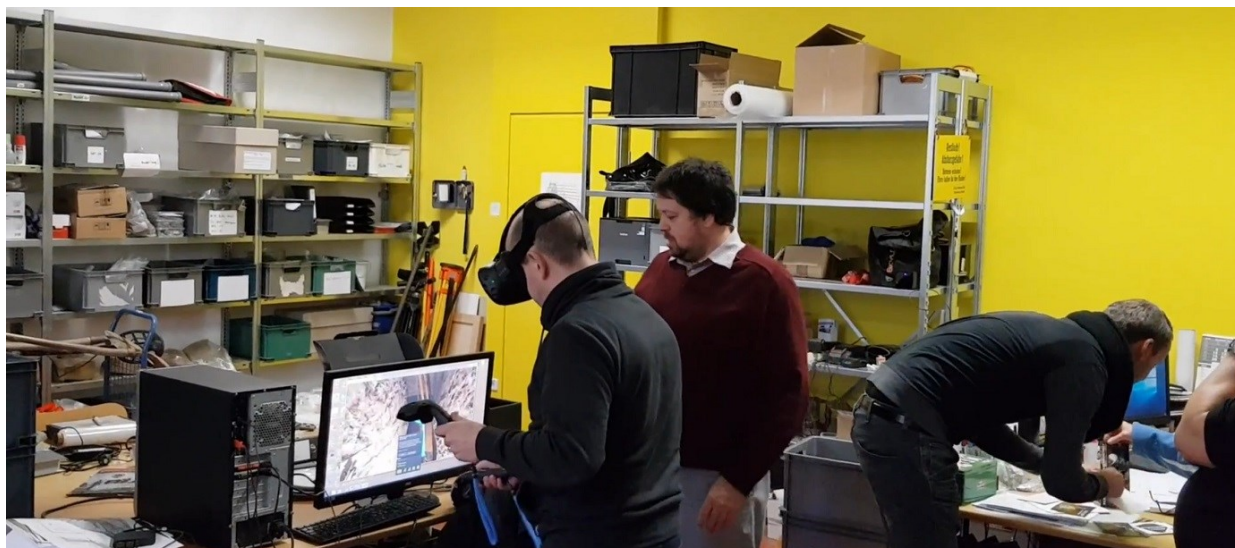
Rychlý vývoj informačních technologií navíc stále více umožňuje využívat výhody virtuální a rozšířené reality pro prezentaci archeologických památek i bez enormních finančních výdajů a k dispozici je i celá řada nástrojů, které jsou zcela zdarma. Pokud jsou k dispozici 3D data z rekonstrukčních modelů nebo digitální bezdotykové dokumentace, mohou být zcela zdarma prezentována v rozšířené realitě pomocí platformy Sketchfab. Ta po instalaci této aplikace do telefonu, umožňuje prezentovat veškeré 3D modely, které jsou na dané platformě nahrané. Stejně tak je možné pomocí mobilní aplikace jako např. VR Media Player přímo prezentovat 360° panoramatické snímky vygenerované ze 3D modelu. Celý postup využití těchto otevřených platform pro virtuální a rozšířenou realitu je na následujícím obrázku, který byl součástí autorova posteru pro konferenci Computer Applications in Archaeology v Krakově v dubnu 2019.

V rámci mezinárodního projektu VirtualArch, jehož řešitelského týmu je autor součástí, vzniká mimo jiné i otevřená platforma pro tvorbu mobilních aplikací pro prezentaci archeologických lokalit. Tu vyvíjí Gabriel Würzer z Technische Universität Wien; důraz je kladen především na uživatelskou přívětivost, aby mobilní aplikace mohli vytvářet i naprostí laici. Veškeré vkládání informací a obsahu tak probíhá v rozhraní webových stránek. Do aplikace je možné nahrát texty, doprovodné obrázky, 3D modely a 360 panoramatické snímky. Uživatel tak bude moci interaktivně prohlížet 3D modely a tahem prstu po obrazovce i 360 panoramatické výstupy z počítačových rekonstrukčních modelů. K dispozici bude i mapa s vyznačením bodů zájmu a aktuální pozicí uživatele. Platforma tedy funguje tak, že mobilní aplikace je vytvořena v podstatě jako webová stránka, kterou pak lze snadno vyexportovat jako nativní aplikace pro všechny druhy operačních systémů mobilních aplikací (tzn. Android, iOS, Windows atd.).

Na základě demonstrováných příkladů je patrné, že rychlý vývoj zmíněných technologií umožňuje využívat výhody prezentačních rámců virtuální a rozšířené reality i malým institucím jako jsou např. muzea. Ty obvykle stojí mimo velké dobře financované projekty, které se touto tematikou zabývají, ale jak bylo nastíněno, stále více se v současné době rozšiřují celé platformy, které jsou buďto zcela bezplatné nebo zahrnují jen menší investici do technologického vybavení (viz obr. 167). Vzhledem k aktuální situaci v odvětvích kreativního průmyslu je evidentní, že v dohledné době bude veřejností vyvíjen stále větší tlak na to, aby uvedené přístupy pro prezentaci archeologie byly již plným standardem. Jedinci i organizace činné v péči o naše kulturně-historické dědictví by tak měly věnovat zvýšenou pozornost aspektům rychlého vývoje platformů virtuální a rozšířené reality pro prezentaci a popularizaci oboru (viz obr. 168).

FREE OPEN MOBILE APP PLATFORM FOR: Virtual reality	FREE OPEN MOBILE APP PLATFORM FOR: Augmented reality
<p>1. GO TO GOOGLE PLAY AND INSTALL „VR Media Player” APP</p> 	<p>1. GO TO GOOGLE PLAY AND INSTALL „Sketchfab” APP</p> 
<p>2. DOWNLOAD 360 PANORAMAS FROM „https://tinyurl.com/oppidum” OR VIA THIS QR CODE</p> 	<p>2. AFTER INSTALLATION OPEN „CAA KRAKOW 2019” PAGE</p> 
<p>3. FROM THE UPPER LEFT CORNER MENU CHOOSE TO OPEN THE „Photo library” FOR DOWNLOADED PICTURES OR OPEN IT DIRECTLY VIA URL BY TYPING „https://tinyurl.com/oppidum”.</p> 	<p>3. CHOOSE ONE OF MODELS AND TOUCH „AR”</p> 
<p>4. OPEN ONE OF THE 360 PANORAMAS AND IN RIGHT UPPER CORNER MENU CHOOSE IF YOU WANT TO LOOK AROUND BY TOUCHING THE SCREEN OR USING COMPASS</p> 	<p>4. TARGET THE FLOOR AND TAP THE SCREEN TO PLACE MODEL</p> 
<p>5. OR YOU CAN USE GOOGLE CARDBOARDS</p> 	<p>5. SIZE OR ROTATE MODEL BY FINGER SWIPING OF SCREEN, WALK AROUND OR INSIDE THE MODEL</p> 

Obr. 167: Otevřené platformy mobilních aplikací pro použití virtuální nebo rozšířené reality.



Obr. 168: Testování virtuální reality na HTC Vive na základě provedeného 3D modelu dolů v Dippoldiswalde s kolegy z LfA v Drážďanech. Pokud je zhotovena podobná aplikace, lze ji pak volně šířit dále, pokud dotyčná instituce disponuje potřebným vybavením, tedy brýlemi pro virtuální realitu.

5. MOŽNÁ VÝCHODISKA PRO PRÁCI S 3D POČÍTAČOVÝMI REKONSTRUKCEMI A JEJICH VIZUALIZACEMI

5.1 Uvedení do problematiky

„Pokud obraz obsahuje smysl, měl by být přečten tím, komu je určen, tedy pozorovatelem, v tom je celý problém interpretace obrazu.“

Jacques Aumont²⁵

Otázka, proč doposud nebyla vytvořena metodologie vizuální komunikace počítačových rekonstrukcí, může spočívat v nedostatečném teoretickém diskurzu a kritickém vyhodnocení, které může pramenit z toho, že pro tuto oblast jsou nezbytné technické znalosti a vysoká úroveň počítačového modelování. V důsledku toho většinou probíhá odborná diskuze až nad hotovými počítačovými vizualizacemi, což má za následek spíše zdůvodňování postupu tvorby post-hoc, spíše než rozvíjení trvalejších metodik a manuálů. Vzhledem k mnoha významům, které může obraz evokovat, tak v akademické sféře spíše vidíme marginalizaci role vizualizací ve výzkumu, protože je obtížné jejich tvorbu přímo kontrolovat a destabilizují tak vědecký předpoklad objektivitu a přímé replikace.

Rámce vytvořené pro digitální rekonstrukce jako London Charter byly důležitým krokem pro vyhodnocení samotného tvůrčího procesu a jeho objektivizaci, ale vůbec se nezabývají dalším horizontem možností a kreativním potenciálem, které 3D počítačové vizualizace mohou přinést do archeologie. Navzdory úsilí vynakládanému na obhajobu transparentnosti rekonstrukce a dokumentace celého procesu tvorby vizualizace pomocí metadat a paradat, je stále obtížné prosadit ve vědeckém bádání využití počítačových rekonstrukcí, jejichž subjektivní povaha je činí nepřizpůsobivými vůči konvenčním hodnotícím vědeckým technikám. V současné době pro archeologické počítačové rekonstrukce stále ještě neexistují podrobné metodiky pro jejich tvorbu a především pro jejich výslednou vizuální komunikaci. Od roku 2006 tak v podstatě nevidíme snahu o produktivnější přístup pro vytváření počítačových vizualizací a zhodnocení jejich potenciálu pro získávání nových informací.

²⁵ Aumont 2005, 255

Typické pro humanitní vědy je jejich neochota zabývat se daty, která jsou neuspořádaná a nekoherentní. A ve snaze popsat a zjednodušit proces tvorby obrazů, který je vždy do jisté míry chaotický a interpretačně složitý, jsou počítačové vizualizace často redukovány jako bezvýznamná metoda. Kvantifikace a transparentnost dat totiž vyžadují pořádek, shodu, systematiku a opakovatelnost, přičemž tyto atributy nejsou v praxi vizuálního výzkumu často proveditelné nebo žádoucí. Pokud tedy rekonstrukční vizualizace nemohou být kvantifikovány v tradičním smyslu, je třeba, aby jejich tvorba podléhala hlubšímu reflexivnímu chápání celého procesu, který nemusí zcela nutně záviset jenom na otázkách transparentnosti použitých dat. Ačkoliv je podrobná dokumentace fundamentální částí každého výzkumu, mnohé z procesů vizualizační praxe jsou často prchavé a pomíjivé momenty, které je nemožné přesně formulovat a dokumentovat. Tvorba jakéhokoliv obrazu bude vždy částečně subjektivní a kreativní záležitostí, kde techniky a kontext procesu zahrnutí domněnek a výběru informací často zůstávají skryté. Koneckonců ani ve fotografii není nikdy docílena transparentní replikace skutečnosti, protože i proces fotografování v sobě obsahuje celou řadu různých rozhodnutí, od technického nastavení fotoaparátu až po volbu záběru. Je tak žádoucí, aby akademická obec zajistila větší investice do budování grafické gramotnosti a praktických dovedností v počítačovém modelování přímo u svých odborníků a nespolehala se na externí dodavatele 3D počítačových vizualizací mimo obor.

V následujícím textu tak budou na základě autorových zkušeností probrány dva opomíjené aspekty - jak by bylo možné alespoň částečně řešit problematiku nejistoty dat rekonstrukčních modelů prostřednictvím dat 3D digitální dokumentace a dále jaká by vlastně měla být samotná systematika vizuální komunikace výstupů z 3D počítačových rekonstrukcí.

5.2 Zvýšení důvěryhodnosti prostřednictvím dat digitální 3D dokumentace

Ačkoliv je začlenění dat z laserového skenování nebo vícesnímkové fotogrammetrie do tvorby počítačových rekonstrukcí evidentně velice žádoucí, neboť výrazně ovlivňuje přesnost výsledného modelu, není tento typ výstupů ve větším měřítku v archeologických počítačových rekonstrukcích vůbec využíván. To může být způsobeno tím, že oblast 3D digitální dokumentace vyžaduje zcela jiné znalosti než oblast 3D počítačového modelování a málokdy tak dochází k přímé spolupráci těchto dvou technologií v rámci jednoho projektu.

Data 3D digitální dokumentace poskytují nejen zcela přesné prostorové trojrozměrné digitální údaje využitelné při tvorbě počítačové rekonstrukce, ale i celé objekty, povrchy a modely využitelné pro zpřesnění a vyšší jistotu v transparentnosti počítačové rekonstrukce. Je tak zcela zásadním využívat tento druh vstupních dat v absolutní možné míře, jakou daná situace nebo kontext zvolený pro 3D počítačovou rekonstrukci dovoluje. V následujícím textu budou popsány možné přístupy a pozitiva začlenění technologií bezdotykové digitální dokumentace do tvorby 3D rekonstrukčních modelů.

5.2.1 Vícesnímková fotogrammetrie

Vícesnímková fotogrammetrie v kombinaci s bezpilotními leteckými prostředky (drony), umožňuje poměrně rychle vytvářet digitální modely terénu docela velkých ploch. Oproti výstupům z LIDARU, kde je vegetace automaticky odfiltrovaná, vícesnímková fotogrammetrie zachycuje reálný stav povrchu. A pokud má být model terénu použit jako podklad pro 3D rekonstrukční model, vyžaduje časově náročné ruční čištění nevhodných objektů a povrchů (viz obr. 169).



Obr. 169: 3D fotogrammetrický model hradiště v Libici zhotovený pomocí dronu a doplněný 3D počítačovou rekonstrukcí kostela na akropoli.

Vhodnější je tak využívat možnosti vícesnímkové fotogrammetrie pro dokumentaci menších komplexnějších kontextů, jako jsou např. záchranné archeologické výzkumy nebo ucelenější nemovité struktury. Tyto výstupy pak lze totiž velice vhodně kombinovat s počítačovým modelováním, kdy lze jasně rozlišovat reálná a interpretovaná data. Na fotogrammetrický model založený na skutečnosti tak lze umístit jednoduché geometrické nebo texturově odlišitelné objekty, které označují neexistující struktury. Je zde tak ihned zřetelný rozdíl mezi

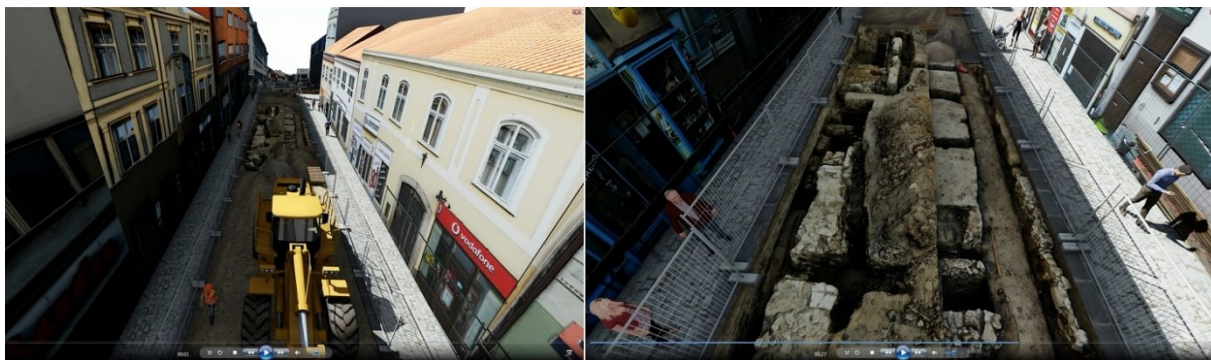
fotorealistickými částmi s vysokou mírou detailů a tím pádem i vysokou jistotou dat a mezi abstraktními domodelovanými částmi.

Tento přístup lze demonstrovat na příkladu komorového bylanského hrobu z Lovosic (obj. č. 2/2018), který byl zachycen záchranným archeologickým výzkumem na jaře 2018 (vedoucí výzkumu M. Pulpán, Ústav archeologické památkové péče severozápadních Čech). Autor byl přizván provést digitální dokumentaci a objekt byl zachycen ručním skenerem DPI-8 fungujícím na bázi strukturovaného světla a pomocí vícesnímkové fotogrammetrie. Na výsledné modely byla poté zhotovena počítačová rekonstrukce pravděpodobné situace v momentu uložení pohřbu, tedy rekonstruované nádoby, vůz, koňský postroj a samotný zemřelý; veškeré objekty byly prostorově lokalizované přesně dle nálezové situace (viz obr. 170).

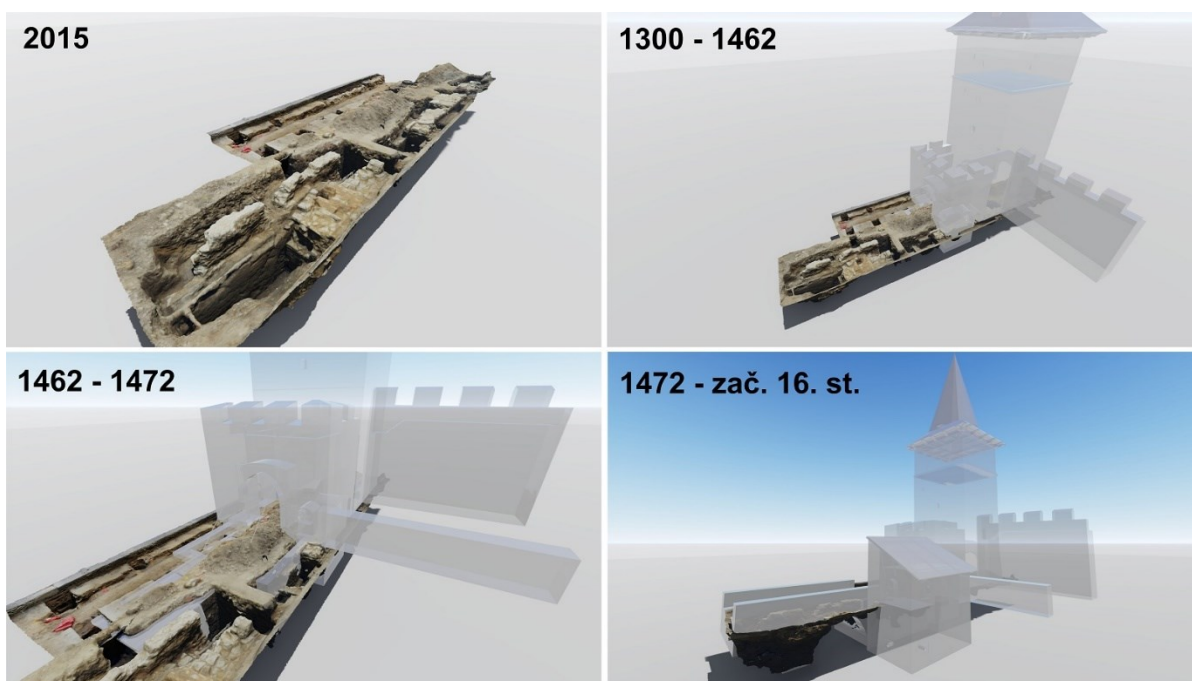


Obr. 170: 3D počítačová rekonstrukce na modelu získaném pomocí vícesnímkové fotogrammetrie v softwaru Agisoft Photoscan.

Dalším příkladem může být animace 3D rekonstrukčního modelu Lounské brány dle jednotlivých stavebních fází zjištěných záchranným výzkumem. 3D fotogrammetrický plán z výzkumu je nejprve vložen do modelu dnešní ulice Husovy, kde výzkum probíhal a posléze je na tomto plánu vizualizován stavební vývoj Lounské brány (viz obr. 171, 172).



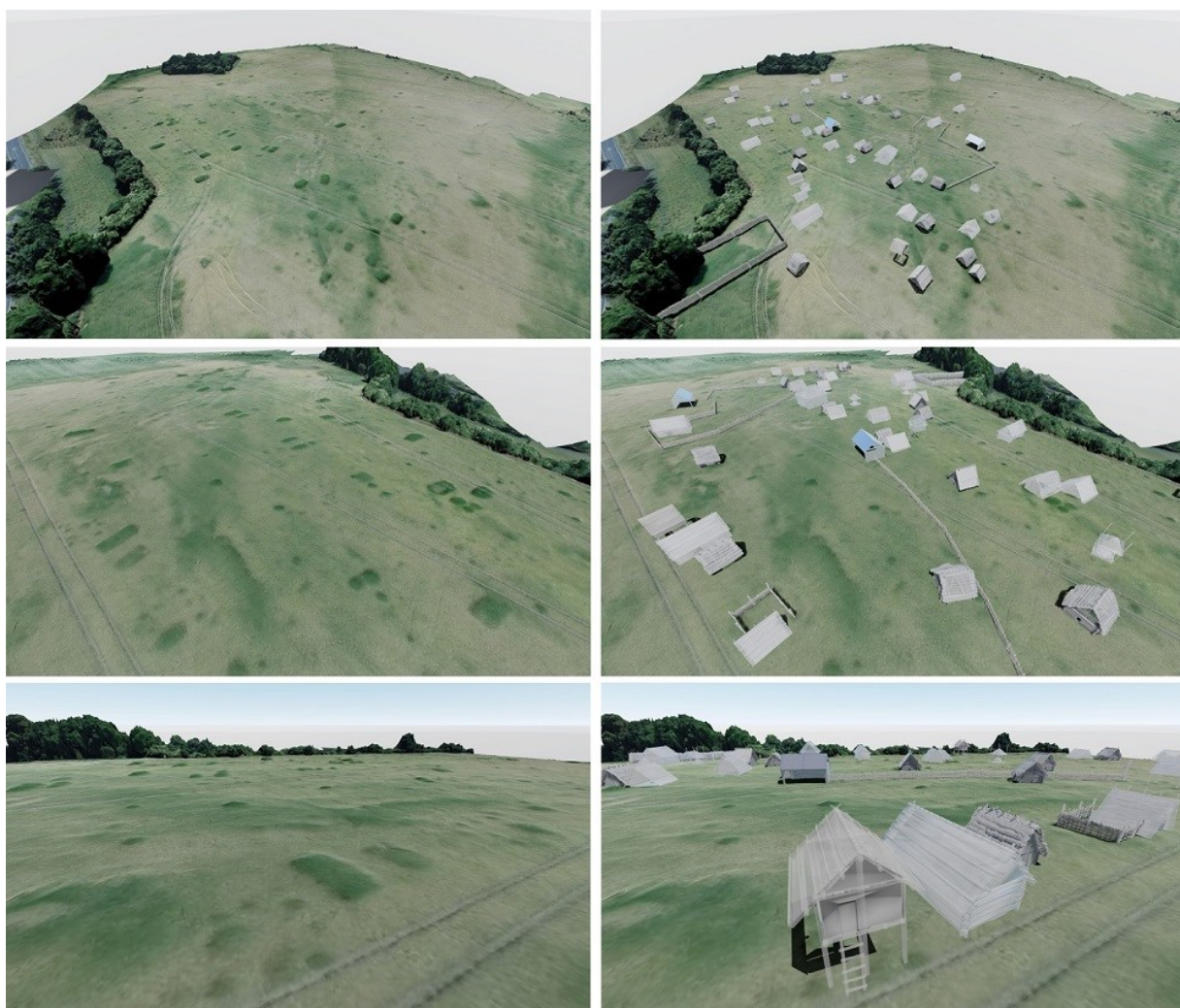
Obr. 171: Vsazení fotogrammetrického plánu do modelu ulice Husovy, jak vypadala v průběhu záchranného výzkumu.



Obr. 172: Vizualizace stavebních fází zachycených výzkumem na 3D fotogrammetrickém plánu.

Metoda kombinace transparentních rekonstrukčních modelů a fotogrammetrického 3D modelu se ukázala jako vhodnou i pro vizualizaci na základě tzv. vegetačních porostových příznaků, které indikují zahloubené archeologické objekty na vzrostlých polích. Pomocí dronu byla nasnímkována lokalita Bříza (okr. Litoměřice); jedná se o rozlehlý sídelní areál neznámé datace, v rámci testování možností vícesnímkové fotogrammetrie na podobném druhu lokalit společně s M. Gojdou. Na vzniklý model terénu s jasně patrným prostorovým rozmístěním jednotlivých vegetačních příznaků, byly vsazeny hypotetické rekonstrukce sídlištních objektů typu polozemnic, špýcharů, oborohů, oplocení atd. (viz obr. 173).

Z hlediska transparentnosti 3D rekonstrukce lze 3D digitální modely získané fotogrammetrií nebo skenováním kombinovat i s počítačovou rekonstrukcí zhotovenou ve fotorealistickém stylu. I v tomto případě je totiž stále patrné, jaký má počítačová rekonstrukce reálný základ, pokud je ve vizualizaci zachována jeho dostatečná viditelnost. Tento postup tak byl použitý při tvorbě animace rekonstrukce stavby dlouhého neolitického domu na 3D modelu plochy výzkumu u obce Lom u Mariánských Radčic (vedoucí výzkumu P. Lissek, Ústav archeologické péče severozápadních Čech; viz obr. 174) nebo při zpracování výzkumu ELI v Dolních Břežanech (vedoucí výzkumu M. Mácalová, Archeologický ústav AV ČR, Praha, v.v.i.; viz dále v textu).



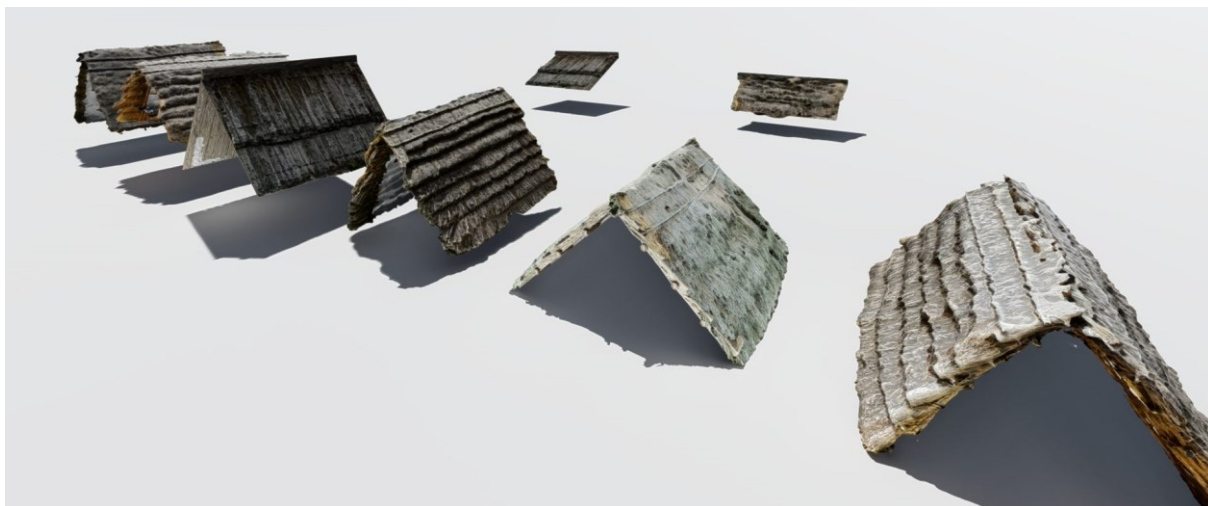
Obr. 173: 3D počítačová rekonstrukce sídelního areálu Bříza.



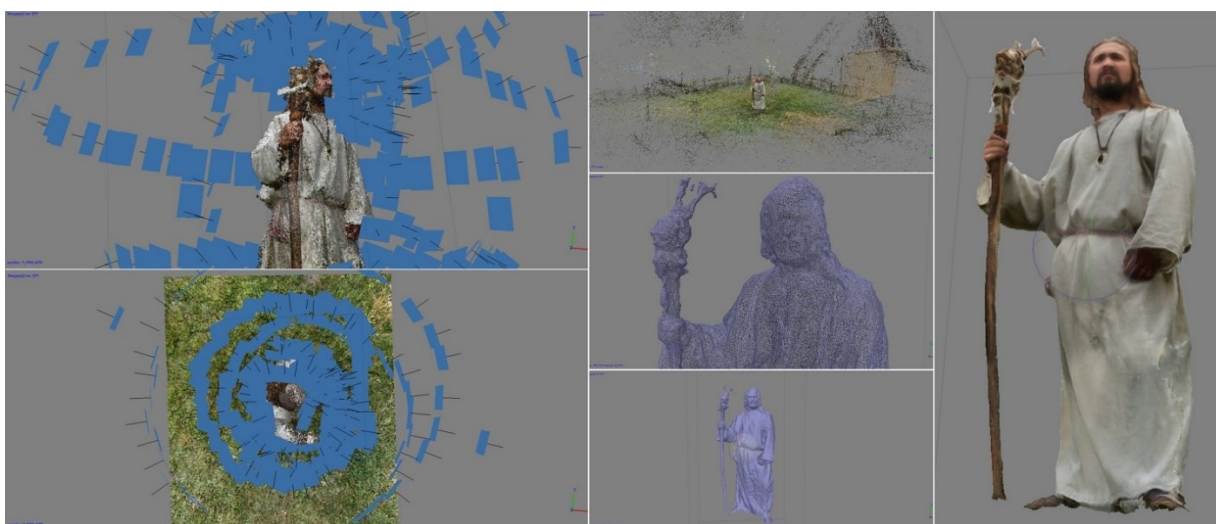
Obr. 174: Animace rozfázování konstrukce dlouhého neolitického domu na 3D fotogrammetrickém modelu ze záchranného výzkumu.

Pro zvýšení důvěryhodnosti počítačové rekonstrukce je také vhodné využít principy vícesnímkové fotogrammetrie i pro tvorbu 3D modelů celých objektů nebo jen jejich částí konstrukcí ve skanzenech. Lze tak získávat realistické modely různých druhů střech, různých konstrukčních řešení zdiva atd. Vzhledem k pravidlům mezinárodních úmluv o vizualizacích, není sice fotorealistický styl vhodný pro zobrazování nejistoty a měl by tak být vyloučen z vědeckých rekonstrukcí, ale právě toto řešení, vědeckému pojetí (alespoň částečně) neodporuje a může být použito pro tu formu výstupů, kde je naopak fotorealistické ztvárnění žádoucím. Navíc je tento přístup elegantním řešením pro situace, jejichž ruční modelování je složité nebo zdlouhavé (např. právě slaměná střecha) oproti vytvoření výsledného modelu pomocí vícesnímkové fotogrammetrie (viz obr. 175).

Stejně tak lze poměrně jednoduše získat i 3D digitální modely postav použitelných do rekonstrukčních modelů. V současné době existuje mnoho spolků praktikujících tzv. living history, které se specializují na co největší přiblížení života v konkrétním historickém období. Na rozdíl od historického šermu tak neusilují o efekt, ale o historickou věrnost představovaných postupů a užívaných předmětů včetně ošacení (viz obr. 176). Dle autorova mínění jde tak opět o ideální postup získání historicky věrných modelů, kde jejich fotorealističnost nemusí být překážkou pro použití ve 3D rekonstrukčních archeologických modelech.



Obr. 175: 3D fotogrammetrické modely střech pořízených ve skanzenu Curia Vitkov.

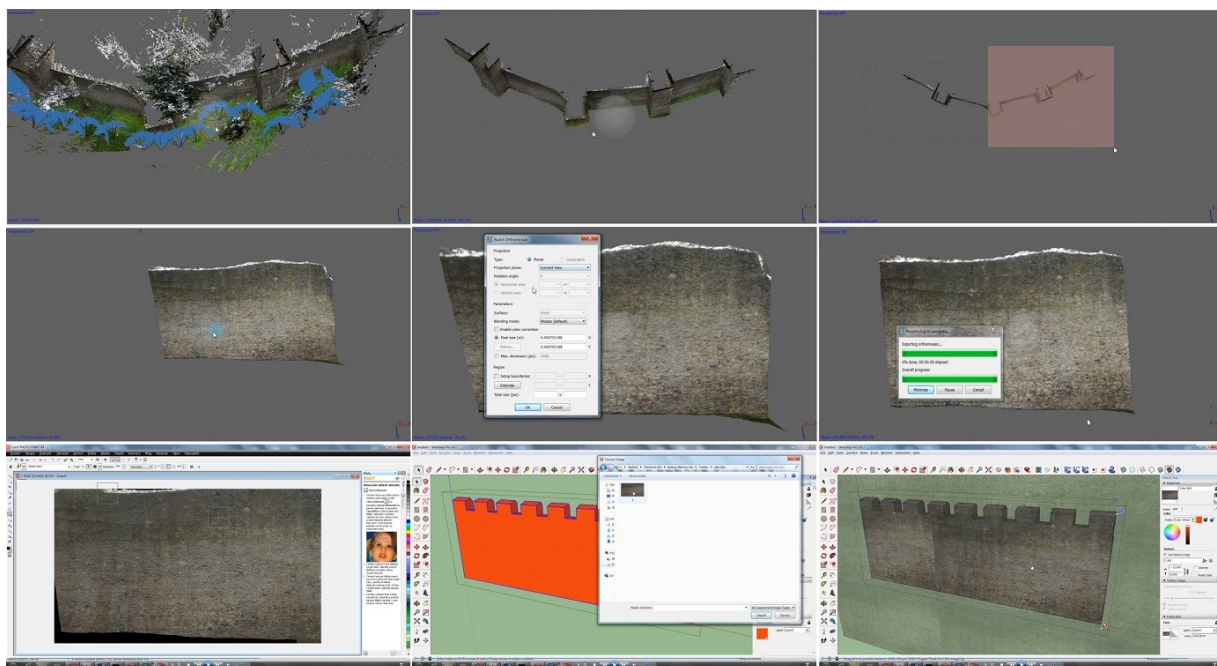


Obr. 176: Postup tvorby 3D fotogrammetrického modelu postavy druida na mezinárodním festivalu keltské kultury Lughnasad v Nasavrkách 2018.

A principy vícesnímkové fotogrammetrie mohou i výrazně ovlivnit tvorbu realistických textur, které jsou nezbytnou součástí 3D rekonstrukčních modelů. Pokud je pro modelovanou rekonstrukci dostupný analogický objekt nebo ještě lépe alespoň část objektu „in situ“ je vhodné pomocí vícesnímkové fotogrammetrie vytvořit jejich model. Ten je totiž možné dále upravovat např. odřezáním nevhodných částí a generovat z něj kolmé ortografické snímky, které by klasickou cestou nešlo jednoduše získat z důvodu komplikovanosti nebo nedosažitelnosti objektu (viz obr. 177, 178). Takto anebo fotograficky získané textury jsou základním prvkem fotorealistických přístupů, neboť obsahují obrazy skutečných objektů a v důsledku toho zobrazují barvu a materiál s vysokou jistotou.



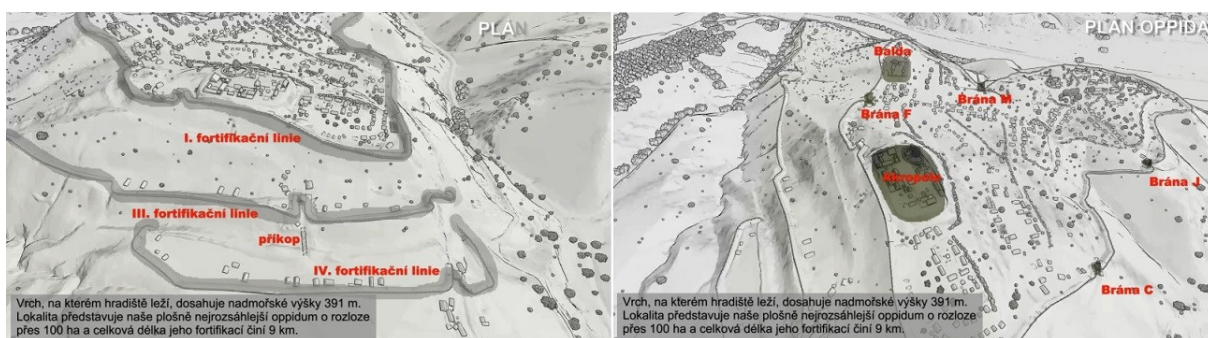
Obr. 177: Model střelny z bašty v Lokti a generace textur jejích jednotlivých částí, které byly použity v rekonstrukčním modelu města Slaný.



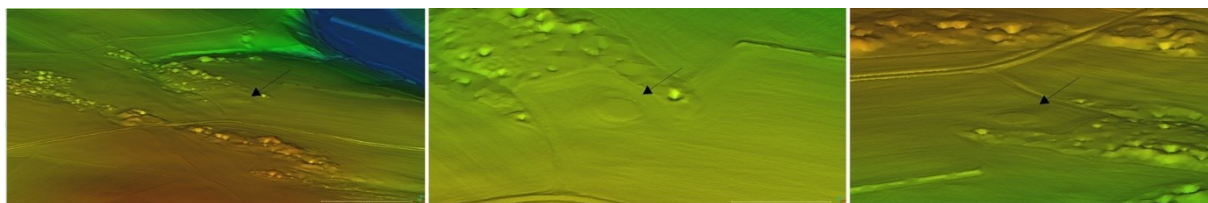
Obr. 178: Postup získání textury pomocí vícenímkové fotogrammetrie z hlavní hradby městského opevnění v Tachově a její použití pro 3D rekonstrukční počítačový model Slaného.

5.2.2 Laserové skenování

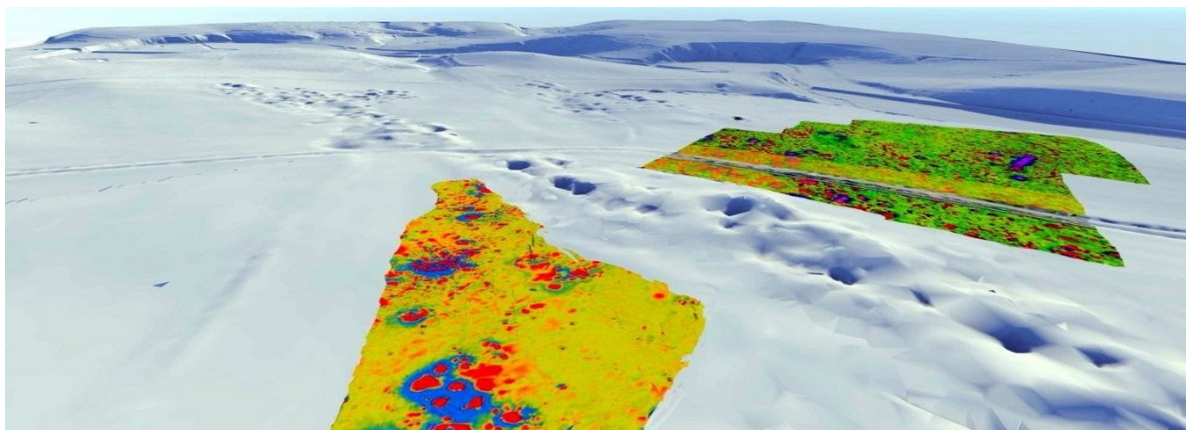
Jistotu počítačové rekonstrukce jakékoliv archeologické lokality výrazně ovlivňuje její zasazení do okolního terénu a optimálním řešením se jeví pro tvorbu digitálního modelu terénu využívat data z leteckého laserového skenování. Jak bylo ukázáno na rekonstrukčním modelu oppida Závist, LIDARová data kromě přesné kopie dnešního terénu poskytla i informace o průběhu obvodové fortifikace a možném vnitřním členění oppida (viz obr. 179). Převedení těchto dat do trojrozměrného virtuálního prostoru v patřičných grafických softwarech navíc odhaluje nový horizont možností interpretace oproti klasickému studiu LIDARových snímků ve 2D. Při přípravě vstupních dat pro aktuální 3D počítačovou rekonstrukci hornického areálu Buchberg nedaleko Utína, tak autor mezi reliktů těžebních šachet mohl identifikovat nově motte, které při klasické práci s LIDARovými daty nebylo vůbec patrné a při terénním průzkumu bylo zaměněné s pozůstatky těžby (viz obr. 180, 181).



Obr. 179: Záběr z animačního videa, kde jsou prezentované jednotlivé části oppida na Závisti, dobře viditelné díky podrobnému digitálnímu modelu terénu.



Obr. 180: Identifikace motte při vizualizaci LIDARových dat ve 3D virtuálním prostoru.



Obr. 181: Možnosti využití 3D počítačové vizualizace LIDARových dat pro prezentaci dalších archeologických výstupů a typů dat, jako je např. geofyzikální průzkum.

Skenování nemovitých i movitých struktur a kontextů archeologických výzkumů, se od vícesnímkové fotogrammetrie odlišuje především větší náročností zpracování vstupních dat. Jak už bylo zmíněno v případě 3D počítačové rekonstrukce důlního areálu v Dippoldiswalde založeném na datech laserového skenování, jde často o velice objemné soubory, vyžadující velký výpočetní výkon počítače pro jejich zpracování, dále jsou nezbytné specializované, obvykle finančně náročné, softwary pro jejich úpravu a export a v neposlední řadě je často obtížné udržet informaci o původní textuře objektu. Pokud je tedy 3D sken vhodně upraven pro export a další využití v grafických 3D vizualizačních softwarech, tak se případné postupy pro využití neliší od výstupů z vícesnímkové fotogrammetrie zmíněných v předchozím textu (viz obr. 182).



Obr. 182: Ukázka 3D počítačová rekonstrukce na modelu získaném pomocí ručního skeneru DPI-8.

Vzhledem k tomu, že skenování je v oblasti kulturně-historického dědictví většinou používáno pro dokumentaci artefaktů a menších objektů, k čemuž došlo hlavně díky velkým projektům zaměřeným na digitalizaci muzejních sbírek (přehled viz např. esbirky.cz), je nasnadě využít tento typ dat i v rámci 3D počítačových rekonstrukcí. V příložené počítačové rekonstrukci neolitického dlouhého domu tak byly použity naskenované artefakty z projektu Archeologického 3D virtuálního muzea (viz kap. 4.2.1), které pomocí optického skenování převedlo do digitální podoby na tisíc artefaktů z výzkumu v Bylanech u Kutné Hory (viz obr. 183). Tento přístup opět zvyšuje důvěryhodnost počítačové 3D rekonstrukce, neboť jsou do ní vloženy skutečné reálie neolitického světa.



Obr. 183: 3D počítačová rekonstrukce s využitím dat z laserového skenování.

5.3 Vizualní komunikace výstupů ze 3D počítačových rekonstrukcí

5.3.1 Tvorba konceptu vizuální komunikace

„Ilustrace objevuje poznání vědy jako naplněné smyslovou krásou, nečiníc to vždy záměrně, naopak, krásu tuší teprve tehdy, když se dobrala pravdy. Dochází k takovým výsledkům svou pokorou k faktu skutečnosti, svou důsledností v cestě za poznáním, svou touhou po pravdivosti.“

Dušan Šindelář²⁶

²⁶ Šindelář 1973, 112

Obrazy a vizualizace mají schopnost předávat myšlenky a informace velice rychle, jak je ostatně již formulováno ve rčení, že obraz vydá za tisíc slov. Aby ovšem bylo možné různými způsoby komunikovat prostřednictvím vizuálů, je nezbytné věnovat patřičnou pozornost jejich přípravě a obsahu. Vytváříme-li vizuální koncept, využíváme analytické i vizuální dovednosti a k vytvoření úspěšného výstupu je zapotřebí vědět, jak působí základní prvky vizuálního jazyka. Součástí přípravné fáze výstupů z tvorby 3D počítačové rekonstrukce by navíc vždy mělo být vymezení a kategorizace cílových skupin a vyjasnění jak by s cílovým publikem mělo ztvárnění vizualizace rezonovat. A dále je třeba zvážit celý koncept i v závislosti na tom, kde a jak bude vizualizace prezentována, neboť to kromě samotného formátu vizualizace, také výrazně ovlivňuje celou její formu, kdy např. při prezentaci na digitálních médiích a internetu má vizualizace pouze pár sekund na to, aby upoutala pozornost diváka, a je tak nezbytné jí více schématicizovat, zatímco tištěná prezentace v tomto ohledu poskytuje více času a může tak být více detailní.

Co je ovšem zcela zásadní, tak jakýkoliv vizuální výstup ze 3D rekonstrukčních modelů, nesmí nikdy figurovat samostatně a jen vygenerovaný obrázek nebo průletové video nemohou být objektivně považovány za finální produkt, pokud nedodržují pravidla vědecké ilustrace. Vědecká ilustrace musí klást důraz na názornost a přesvědčivost, a důvod její existence začíná tam, kde věda vstupuje do jiné duchovní oblasti, než jakou představuje sama o sobě (Šindelář 1973, 110). Primární převedení vědeckých poznatků do vizuální formy obvykle zahrnuje celou škálu grafických vyjádření od diagramů, map a schémat sloužících k vykreslení živého světa (Kevles 1992). Vědecká vizualizace tak používá principy technické ilustrace, založené na exaktnosti, geometričnosti a přesnosti, dále principy ilustrace schématické, která se vyznačuje velkým zjednodušením zobrazovaného a obvykle zahrnuje schéma, grafy nebo plány a nakonec i principy ilustrace didaktické, využívající typizace a názornosti (Šindelář 1973, 91 – 93). A právě i vizuální výstupy ze 3D rekonstrukčních modelů musejí být doplněny i tímto druhem dat, které zprostředkují další informace a vysvětlení celého kontextu dané situace. Je tak žádoucí do vizuálního konceptu zakomponovat i text, plány, mapy, grafy, technické kresby, měřítko, další výstupy typu 3D digitální dokumentace atd. Teprve v tento moment nabývá vizualizace 3D rekonstrukčního počítačového modelu konkrétního informačního sdělení a svého vědeckého poslání.

5.3.2 Pochopení vizuální komunikace

Podíváme-li se na obvyklé obrazové výstupy ze 3D počítačových rekonstrukcí, je až s podivem, jak málo pozornosti je věnováno dodržování základních grafických pravidel, které výrazně ovlivňují vizuální přenos informací směrem k divákovi. To je asi způsobeno tím, že kromě znalostí samotné archeologie a počítačového 3D modelování musí autor dokázat komunikovat myšlenky a předávat jim vizuální podobu tak, aby jim ostatní lidé dokázali porozumět. Měl by tedy být schopen chápat sémiotiku, procesy a vztahy při vnímání a výkladu vizuálního i slovního materiálu. Cizí by mu neměla být ani problematika, jak vizualizovat tok informací, tedy návodné strategie, srozumitelnost a funkčnost, kognitivní uspořádání a hierarchické řešení problémů. A tvorba vizualizací dále vyžaduje umění tvorby obrazů, což znamená především vědět, jak docilovat estetické hodnoty a dynamiky, jak se na zobrazování myšlenek podílejí tvary, barvy a textury, jak předávat vyšší formu sdělení a jak vyvolat emociální reakce (Samara 2014, 8). V neposlední řadě je pak zapotřebí ovládat a prakticky využívat mnoho různých technických znalostí a dovedností nutných pro komplexní realizaci vizualizace v grafických softwarech. Jak vidíme, je toho celá řada, co by měl autor obsáhnout, aby vizuální sdělení zafungovalo správně a pokud autor není profesionální grafik, je pochopitelné, proč je většina dostupných vizualizačních výstupů z počítačových rekonstrukcí řemeslně nezvládnutá.

Veškerá grafická tvorba se zabývá prací s formami, které jsou tvořeny tvary, liniemi, texturami, textem a obrázky. Primárním účelem je jejich tvorba a rozmístování tak, aby nejen dobře vypadaly, ale aby zároveň pomáhaly uživateli pochopit nejen to, co vidí, ale i co viděné pro něj znamená. Nad výběrem forem je potřeba se proto vždy důkladně zamyslet neboť každá forma, i sebevíc abstraktní anebo zdánlivě velice jednoduchá, nese určitý význam a lidský mozek se při rozpoznávání věcí orientuje právě podle jejich tvaru (Samara 2014, 28).

Místo, kde forma působí a kde je umístěna, se nazývá prostor. Je potřeba si ovšem uvědomit, že tento trojrozměrný pojem, je aplikován na dvourozměrnou plochu (např. knižní ilustrace nebo webová stránka). Bez ohledu na konkrétní médium tak jde v podstatě vždy o to umístit formy tak, aby vznikl dojem trojrozměrného prostoru. V malířství se takto pojatý prostor nazývá obrazová rovina a umělci si ho představovali jako okno z fyzického světa do iluzorní hloubky namalovaného prostředí. Tento dojem iluzorní hloubky za nebo pod obrazovou rovinou platí jak pro obrazy figurativní i abstraktní (Samara 2014, 29). Obrazy nám umožňují vnímat trojrozměrnou skutečnost pouze tehdy pokud bylo vytvořeno co nejvěrnější napodobení některých vlastností přirozeného vidění. Doporučení jak docílit toho aby namalovaná scéna

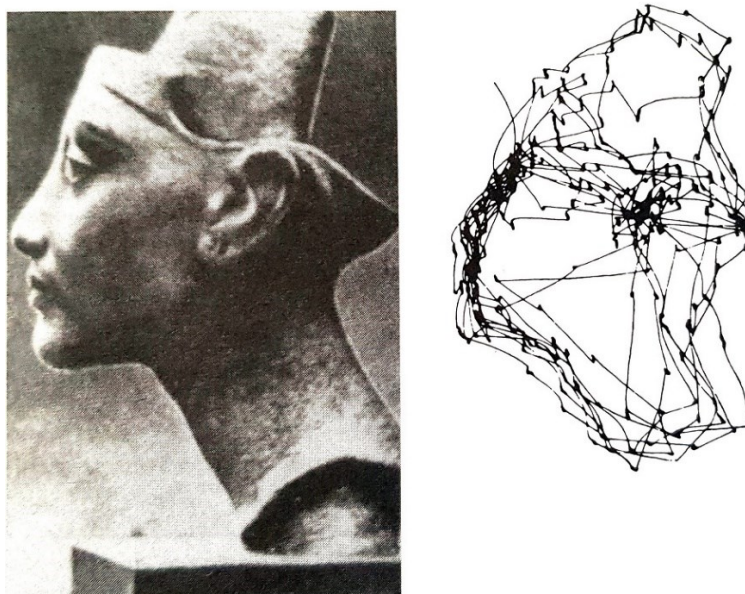
reprodukovala prostor pomocí nepravidelnosti v jasu a barevnosti, poskytl už Lenoardo da Vinci.²⁷ Psychologický jev nazývaný dvojí perceptivní skutečnost obrazů nebo také dvojí skutečnost obrazů, spočívá v tom, že obraz vnímáme současně jako fragment rovinné plochy a fragment trojrozměrného prostoru (Aumont 2005, 57).

Dobře vypracovaná kompozice obrazu má vytvářet srozumitelné a přístupné vizuální sdělení, což pro autora obnáší chápat, jaké sdělení mají jednotlivé formy, co v prostoru dělají a jaký má tato kombinace účinek na diváka. To znamená vědět důvody, proč jsou věci tam, kde jsou, jak mají být velké atd., v podstatě tedy mít promyšlenou každou část ve vztahu k ostatním a vytvářet tak vizuální logiku. Dílo by mělo být dořešeno tak, aby jednoduše a sebejistě sdělovalo jeden určitý typ vlastnosti. Srozumitelnost sdělení tak především závisí na vytříbenosti jednotlivých forem²⁸, vztahů mezi nimi a prostorem a na tom, zde celek působí jednoznačně, záměrně a nezpochybnitelně. Právě slabá a nejednoznačná kompozice může v divákovi vzbudit nejenom nudu, ale i neklid, což neumožňuje vystavět platformu složitěho sdělení, které má k něčemu vybízet (Samara 2014, 36). Pokud je kompozice srozumitelná, jistá a s funkčně propojenými prvky, dojde snáze k přilákání a udržení pozornosti diváka. To je zásadní z toho důvodu, aby divák nabízený obsah zkoumal dostatečně dlouho a lépe ho tak pochopil a přijmul. Pokud totiž hned zpočátku ztratí zájem z důvodu nezajímavé vizuální podoby, stěží pochopí předávané sdělení a stěží si vizualizaci zapamatuje a znovu vybaví. Jednoznačná kompozice tak přispívá k jejímu komplexnímu přijetí, a pokud ji divák oceňuje jako celek, ztrácí obavy z možné manipulace a sdělení přijímá bez dalších pochybností. V dobře zhotovené kompozici spolu jednotlivé části sice kontrastují, ale přesto je znát z jejich chování vizuální kontinuita a soulad. To vše slouží k uspořádání vizualizace do zřejmé hierarchie tak, aby bylo zřejmé kde a jak s ní má divák vstoupit do kontaktu a jak logicky či intuitivně pokračovat dále. V neposlední řadě pak úspěšná kompozice plní nejdůležitější cíl, a to, že se do ní autorovi podařilo vložit význam (Samara 2014, 72 - 73).

²⁷ Tzv. „Leonardova pravidla“ doporučují malovat bližší předměty sytějšími barvami a s výraznějšími kontrasty, vzdálenější předměty malovat menší s méně sytými barvami a umísťovat je do horní poloviny obrazu, rovnoběžné linie by se měly na obraze sbíhat atd. (Aumont 2005, 59).

²⁸ Forma je považována za pozitivní prvek, tvar, předmět, zatímco prostor je negativní, prázdný, opak formy. Prostor tvoří pozadí, na kterém je forma figurou a mezi nimi panuje vztah doplňování a vzájemné závislosti, kde není možné měnit jedno bez druhého. Tento vztah představuje jeden z nejdůležitějších vizuálních aspektů, protože představuje první krok ve tvorbě sdělení o obsahu díla, ještě předtím než divák upře pozornost na povahu obrazu či obsahu textu a určuje celé spektrum komunikovaných informací od emocionální reakce po hierarchii informací (Samara 2014, 32).

Při pozorování jakéhokoliv obrazu totiž dochází k vizuálnímu hledání, což je proces „kdy po sobě následuje několik fixací na určitou scénu za účelem jejího podrobného prozkoumání“ a navíc nikdy nepozorujeme obraz vcelku, ale postupně (Aumont 2005, 55). Pokud si bez předem daného záměru prohlédneme jakýkoliv obraz, jednotlivé fixace se automaticky soustředí na ty části obrázků, které nesou nejvíce informací a trvají pouze zlomek sekundy. Při pokusech vnímání obrázků bylo zjištěno, že pořadí jednotlivých fixací je naprosto nepravidelné, zrak nepostupuje podle žádného ustáleného vizuálního schématu, ale rovnou vyhledává vysoce informativní oblasti, mezi kterými různě chaoticky přebíhá. Jediným explicitním a opakujícím se pravidlem, které výzkum potvrdil, tak bylo, že trasy očního sledování se vždy sbíhají k výrazným znakům (viz obr. 184; Aumont 2005, 55 - 56).



Obr. 184: Pohyby očí při zrakovém zkoumání předmětu (Aumont 2005, 56, náčrt 8).

Vizuální hierarchie je vzorem tvořeným všemi aspekty kompoziční struktury, pohybu, hloubky a kontrastu tak, aby ji divák dokázal analyzovat a sledovat. Musí být schopen kompozici ihned roztřídit a zjistit, který prvek je nejdůležitější. Tomuto prvku tvořícímu první vizuální úroveň a vrchol celé hierarchie je přiřazen charakter odlišný od všech ostatních prvků a tento jeden konkrétní vztah se musí natolik odlišit od ostatních, druhořadých natolik, aby se na něj divák mohl zaměřit. Nejjasnější hierarchie má jen dvě úrovně, kde jedno sdělení je nejdůležitější a vše ostatní je méně, ale vzájemně stejně důležité. (Samara 2014, 80 - 81).

Dokázat vidět, pochopit a vybrat aspekty vizuální komunikace, znamená na té nejzákladnější úrovni iniciovat porozumění smyslu. Umístění forem a vyšší optické struktury skládají obecný kontext a orientační rámec, který ovlivňuje vnímaný smysl každého obsahového prvku.

Problematika tvorby kompozice, aby nesla smysluplné sdělení, se váže částečně na psychologii vnímání forem a významů v obraze, nelze ovšem přejít ani návaznost na základy řeči forem a jejich interakce v prostoru kompozice. Každý divák při prvním pohledu na vizuální dílo, ho nejdříve rozebírá jako celek a poté se vydá po určité myšlenkové a emocionální dráze obrazového sdělení. Každé rozhodnutí, které autor v kompozici udělá, tak nese určité poselství – např. vzdálenost od okrajů vyvolává pohodu nebo úzkost, rozestupy se mohou pravidelně opakovat nebo nelogicky měnit, prostor bude vnímán jako iluzorně hluboký nebo jako analyticky plochý atd. (Samara 2014, 82 – 83).

5.3.3 Obecné principy vizuální komunikace výstupů ze 3D rekonstrukčních modelů²⁹

Jak již bylo řečeno, tak při tvorbě konceptu finální vizualizace ze 3D rekonstrukčního modelu je prvním zásadním rozhodnutím definovat, pro kterou cílovou skupinu je vizualizace určená. Pokud se bude jednat o vizualizaci určenou odborné komunitě a případně i k dalšímu výzkumu, bude úsilí nasměrováno především k prezentaci tvrdých dat a výstavbě expertní vizualizace, zatímco pokud bude určená pro veřejnost, bude důraz kladen na vzbuzení přirozeného zájmu o prezentované téma a snadného pochopení zobrazených informací.

Výstup ze 3D počítačové rekonstrukce je třeba vždy brát pouze jako část širšího systému prezentace, protože z něho samotného nemusí být jasně patrné hlavní poselství a veškeré informace, které chceme sdělit. Specificky u vizualizací koncipovaných pro laickou veřejnost, má výstup ze 3D počítačové rekonstrukce obrovský potenciál nalákat a naladit diváka na dané téma a tím jej nenásilně přivést k dalšímu zkoumání vizualizace a přijímání doplňujících dalších a exaktních informací o zobrazeném kontextu. Právě stylizované výstupy ze 3D rekonstrukčních modelů mají velké možnosti jak předávat informace, neboť nejsou limitovány omezeními reálného světa, lze v nich svobodněji vybírat detaily i pojetí obrazu, skrze volbu techniky, kompozice a charakteru. Hlavním posláním jejich použití, by tak mělo být obohacení a rozvíjení divákovy porozumění pro další přímo ve vizualizaci znázorněný typ informací nebo alespoň rozvíjet pochopení doprovodného psaného textu. Je tedy nezbytné vytvořit mezi nimi takový vztah, aby obě složky přinášely informace takovým způsobem, který sdělení skládá v úplnější a smysluplnější celek. I když při použití výstupu ze 3D počítačové rekonstrukce

²⁹ Autor v současné době spolupracuje s Ing. arch. Daliborem Dzurillou a Ing. arch. Petrou Dzurillovou Kříčkovou z Visuin Institutu při vývoji postupů a metod prezentace a komunikace archeologie směrem k laikům i expertům a tato kapitola je tak zčásti kolektivním autorským dílem všech zmíněných. Do června 2020 by z této spolupráce měl vzejít "Manuál prezentace – didaktická příručka pro formy zobrazování archeologických nálezů".

hrozí, že z pohledu diváka může ztratit věrohodnost a svou vazbu na reálný svět, tak oproti třeba fotografii má větší schopnost vizuální komunikace především z hlediska emocí, poetiky a tím, že působí přirozeně a lidsky. Navíc se dokáže výborně propojit s dalším vizuálním materiálem jako je text nebo abstraktní grafické prvky (Samara 2014, 206 – 207).

U expertních vizualizací lze zase přidáním dalších informací ukázat na jakých datech se zobrazený výstup ze 3D počítačové rekonstrukce vlastně zakládá a zobrazit tak poměrně jednoduchou cestou výslednou důvěryhodnost rekonstrukce. Kombinace různých typů grafických zobrazení a specificky pro archeologii hlavně technických kreseb spolu s výstupem ze 3D rekonstrukčního modelu, může ve výsledné vizualizaci tvořit velice silné sdělení, které by jinak při použití pouze samotného obrazového výstupu ze 3D počítačové rekonstrukce, nemuselo být vůbec patrné.

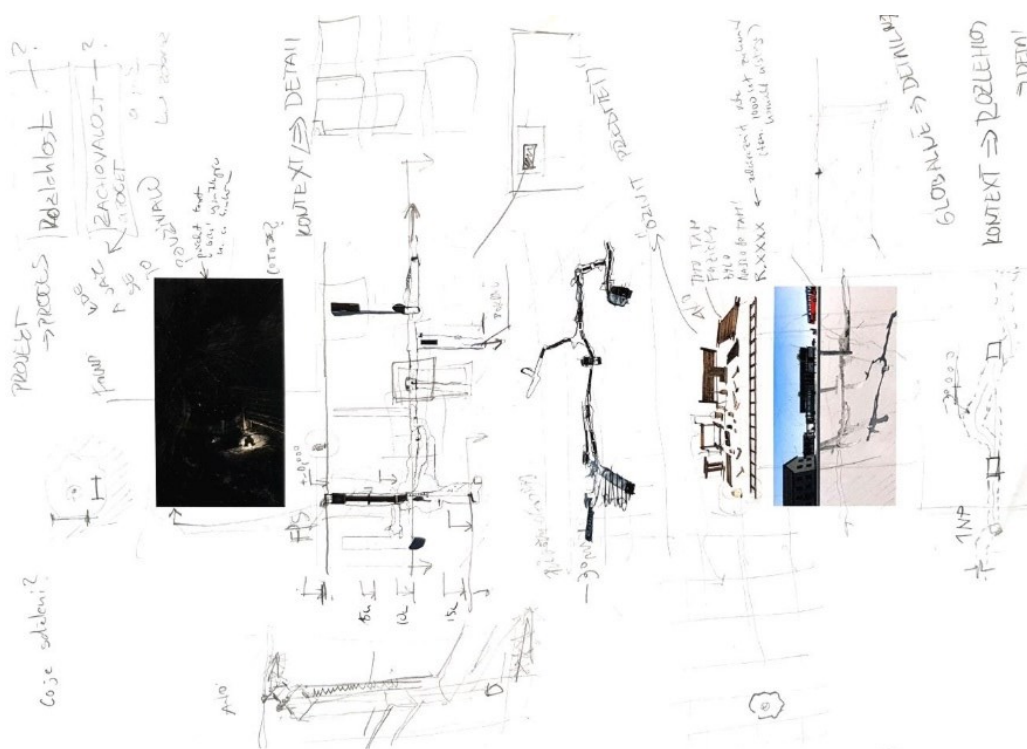
Koncept finální vizualizace by měl mít jasný scénář a důraz by měl být kladen vždy pouze na jednu hlavní myšlenku, která bude tvořit hlavní prvek a která spolu zároveň nenásilně propojí zobrazené informace druhotného významu. Prvním krokem je tak definování hlavního obsahu vizualizace a teprve potom následuje hledání formy zobrazení požadovaných informací. Zároveň je z hlediska vizuální hierarchie nezbytné prezentaci začít vždy od kontextu, kterému divák rozumí nebo který si může paměťově s něčím spojit, což mu výrazně pomůže se orientovat i v dalších informacích, které mu má vizualizace sdělit.

Jako testovací vizualizace byl zvolen výstup ze 3D počítačové rekonstrukce důlního areálu pod autobusovým nádražím v Dippoldiswalde, viz obr. 185. Tento typ výstupů, kdy je v podstatě libovolně vyrenderován nějaký pohled do 3D počítačové rekonstrukce, je nejběžnější formou, se kterou se dnes setkáváme (a autor v tomto směru není výjimkou). Jak je evidentní, není zde vůbec patrné, který prvek je ve vizualizaci hlavním sdělením a pro diváka je velice těžké se rozhodnout, na co zaměřit pozornost. U laického diváka je navíc zcela oprávněné předpokládat, že nemůže pochopit smysl ani kontext zobrazované scény a v podstatě vůbec netuší, na co se dívá nebo jaká má být hlavní informace této vizualizace.



Obr. 185: Pohled těžební šachtou do 3D počítačové rekonstrukce dolů v Dippoldiswalde.

Koncept využití tohoto konkrétního výstupu pro komplexní vizualizaci se zaměřil na prezentaci zdokumentované části středověkých dolů pod autobusovým nádražím s důrazem na zprostředkování informace o „podzemním světě“ o kterém nemá valná většina obyvatel nebo návštěvníků Dippoldiswalde tušení. Jako významově druhotné informace byly přidány data o rozlehlosti, celkovém rozsahu a stáří dolu a také o archeologického výzkumu (viz obr. 186).



Obr. 186: Skica návrhu konceptu vizualizace.

Jako „pomocný“ kontext, který laickému divákovi poskytné záchytný bod ve formě zobrazené situace, kterou si může spojit s něčím známým ze svých paměťových struktur nebo z každodenního života, byla zhotovena pomocná vizualizace autobusového nádraží, která zároveň poskytla nepřímé měřítko pro připojený plán důlního díla.³⁰ Pro zobrazení dolu byl použit obraz ze 3D skenování, který byl umístěn pod zobrazení autobusového nádraží a je zde tak ihned lehce pochopitelné hlavní sdělení, kdy míra kontrastu 3D skenu na tmavém pozadí a centrální umístění v prostoru by automaticky mělo přitáhnout pozornost jako první.³¹ Ústřední bod vizualizace závisí na svém umístění v ploše obrazu a vzájemných proporcích prostorového uspořádání jeho prvků.³²

Forma barevně zvýrazněného a také vysoce kontrastního textu po stranách by pak následně měla dodat informaci o stáří a hloubce dolu. V tento moment už jsou vizuálně sděleny potřebné informace k pochopení základního kontextu a divák může přistoupit k podrobnějšímu studiu výstupu ze 3D rekonstrukčního modelu s pohledem do nitra dolu. Pokud zájem přetrvává, může divák dále načerpat i informace o rozloze důlního díla ve formě číselného výpisu rozsahu dolu pod autobusovým nádražím, archeologicky prozkoumaných dalších částí dolu a odhadu jeho celkového rozsahu. Tyto údaje a informaci o lokalizaci prozkoumaných částí dolu si divák také může ověřit na mapě Dippoldiswalde (viz obr. 187).

³⁰ Vizuální podněty můžeme rozlišovat na označující, tedy vlastní vizuální forma a označené, myšlenka, kterou sděluje. Při tvorbě obrazu je tak potřeba věnovat pozornost těmto dvou aspektům, syntaxi (neboli čistě formální vlastnosti) a sémantice (co daný obraz znamená) a jejich vzájemného působení. Divák může nejprve vstřebat a vnímat syntax znaku a teprve pak ho porovnat s dosavadními poznatky a šablonami uloženými v paměti, aby znaku porozuměl nebo znak porovnává s prototypy, kdy namísto přesné shody dospívá zprůměrováním rysů ke zevšeobecnění. To je příklad zpracovávání obrazu „shora dolů“, kdy má divák s čím porovnávat a pokud nemá, tak spoléhá na zpracování „zdola nahoru“ a analyzuje jednotlivé prvky na základě vzpomínek a hledá společné rysy, aby odvodil povahu vjemu. Obrazy, které má člověk v paměti uložené jako šablony, jsou ze své povahy dokumentární a užitečné jako základní informace, ale z důvodu své okamžité rozpoznatelnosti jim ovšem schází zajímavost. Obrazy odpovídající prototypům, které vyžadují zpracování zdola nahoru, pak účinněji angažují diváka, neboť větší úsilí k jejich rozluštění vzbudí zájem a nutí zapojit do hry emoce, asociace, nové výklady a metafory (Samara 2014, 192 – 193). Pokud do kompozice, která obsahuje konkrétní výjevy, vneseme abstraktní obrazy, nutí to diváka přemýšlet o jejich vzájemné souvislosti. Pokud je abstraktní obraz ve funkci pozadí, vytváří takovýto obraz nový kontext rámuující pochopení popisných jevů (Samara 2014, 196).

³¹ Obrazy vizuálně vyvažují text, pomáhají upoutat diváka a podprahově evokují prožitky, o nichž pojednává text. Pomáhají zpřehlednit i složité informace, protože je vyjadřují názorně, jasně a přehledně a v kombinaci s textem mohou nabízet novou úroveň interpretace (Samara 2014, 188 – 189). Tvorba nebo výběr vhodných obrazů pro zamýšlený komunikační účel záleží na pochopení způsobu obrazů, jaké části je tvoří, jak tyto části rozpoznáváme a přiřazujeme jim význam a jak je lze upravit k docílení spolehlivosti výkladu a účinku sdělovaných informací (Samara 2014, 191).

³² Základní principy pro zacházení s proporcemi jsou např. pravidla třetin, zlatý řez nebo numerické metody (Ambrose – Harris 2011, 124).

Využití textu ve vizualizaci může nabídnout snadnější pochopení nebo i větší počet nových významů, ale funguje i jako plnohodnotný vizuální prvek. Tvar a velikost písma komunikuje s příjemcem sdělení stejně jako obsah a různé typy písma mají rozdílný charakter a mohou předávat rozdílné významy. Samotný tvar písma tak může pomoci informaci zprostředkovat, nebo jí zablokovat (Ambrose – Harris 2011, 168). Při vkládání textu do vizualizace je důležité vtisknout informacím řád, aby se v nich mohl čtenář orientovat a vytvořit tak informační hierarchii, která přisoudí různým částem textu různé úrovně důležitosti. To znamená určit, jaká část se má číst jako první, druhá atd. a zároveň je nezbytné určit funkce konkrétních částí jako nadpisy a podnápisy, hlavní souvislý text atd. Proto je nejprve vhodné si zodpovědět otázky, jaké části lze v textových informacích odlišit, na kterou část se má divák především zaměřit, jak souvisejí textové prvky s obrazy, má divák pochopit hlavní obsah sdělení dříve než začne číst text atd. Text ovšem nepřestává být abstraktním formálním prvkem jen proto, že něco sděluje – text je vizuální a v prostoru se chová stejně jako body, linie, plochy jakékoliv kompozice. Je tak vhodné, aby text ladil s obrazovým materiálem a vytvořil optický dojem, který text obohatí o další významy (Samara 2014, 162).



Obr. 187: Práce s formami a prostorem na příkladu vizualizace dolů v Dippoldiswalde.

Poté co divák vstoupí do kontaktu s vizualizací, kde hierarchicky nejvýše stojí zobrazení autobusového nádraží s dolem rozkládajícím se pod ním, jsou jako vodítka dalšího vizuálního postupu použity barvy.³³ Oranžově je tak orámována část dolu pod autobusovým nádražím, která má nést hlavní sdělení vizualizace, stejnou barvou je orámována i v mapě dnešního Dippoldiswalde a obě části jsou propojeny linií. Oranžově jsou pak i zvýrazněny dva hlavní údaje o této části dolu, tzn. označení měřítka a časové osy. Rozdílnou hnědou barvou je zase zvýrazněn text o celkové rozloze důlního díla, což ho propojuje s mapou, kde jsou zdokumentované části dolu provedeny stejnou barvou.

Je tak evidentní, že ve vizualizacích koncipovaných na zprostředkování většího objemu informací sloužících k pochopení celého kontextu výjevu ze 3D rekonstrukčního modelu, je výhodné ho kombinovat s dalšími obrazy, grafickými prvky a pravidly. Pro archeologii se jako hlavní jeví použití:

- 1. měřítka, kóty, časové osy** - slouží pro lepší orientaci diváka v obrazu.
- 2. text** - použití slov či čísel v kombinaci s obrazem pomáhá divákovi rychleji pochopit a dokreslí zásadní informaci, kterou se mu snažíte sdělit a nasměrovat úhel pohledu správným směrem.
- 3. piktogramy, diagramy** - obohacují dokumentaci a rozšiřují vizualizace o zjednodušené sdělení nějaké funkce, vlastnosti a pomáhají dovysvětlit podstatné.
- 4. axonometrie** - rovnoběžníkové zobrazení scény, velice vhodné využívat pro vizualizování komplexnějších soustav, kde potřebujeme ukázat skutečnou velikosti všech věcí.
- 5. perspektivní řez** – jde o klasický řez obohacen o třetí rozměr, který velice popisným způsobem ukazuje hloubku vizualizovaného objektu. Okolní plochy, které nejsou podstatné, mohou být vyplněné jednotnou barvou či šrafovou. Z hlediska vysvětlování se jedná o velice efektní a technický výstup dosažitelný i do pár minut např. v programu SketchUp.
- 6. perspektiva** - u perspektivního zobrazení je třeba vědomě dodržovat základní pravidla konstrukce obrazu: umístění horizontu, “plnost” obrazu, barevná vyváženost, kontrast,

³³ Dopad na informační hierarchii mají samozřejmě i barvy, které mohou výrazně posílit strukturální vlastnosti textu, jeho výraznost, světlost či hustota sazby a umístění do hloubky prostoru. Barva nese i možnost změnit smysl nebo psychologický účinek slov, neboť vytváří novou rovinu významu neodvozenou od tohoto sdělení (Samara 2014, 182 - 183).

pochopitelný děj. Důležité je také podotknout, že se vždy nemusí jednat pouze o fotorealistické zobrazení s detaily textur, ale například jen čisté čárové zobrazení.

- *horizont chodce x božský perspektiva* - výhodné je také převážně volit typ vizualizací z horizontu chodce a ne z lehkého nadhledu, tzv. božské perspektivy, kdy má divák pocit, že se lehce vznáší. Perspektivní zobrazení z horizontu chodce má na diváka laika největší efekt, jelikož se lépe ztotožní s obrazem.
- *1-úběžníková perspektiva* - nejdůležitější a nejjednodušší perspektivní zobrazení prostoru. Tento typ zobrazení je pro diváka nejčitelnější, zaměřuje pozornost jen na jeden primární děj, místo či sdělení.
- *2-úběžníková perspektiva* – je náročnější z hlediska provedení, ale umožňuje prezentaci širšího kontextu nálezu a jedná se o druhý nejrozšířenější způsob zobrazování
- *3-úběžníková perspektiva* – nevhodná k použití z důvodu své složitosti a zkrácení zobrazování
- *ptačí perspektiva* - pokud je třeba vizualizovat nález z nadhledu kvůli pojetí celku, je třeba využít tzv. ptačí perspektivu, kdy je horizont umístěn výrazně nad úrovní chodce, což divákovi umožní pochopit vzájemné vztahy v širším měřítku.

7. stafáž – výstupy ze 3D počítačových rekonstrukcí také musí obsahovat tzv. stafáž, tedy lidské postavy fungující jako doplňková součást obrazu. A to především ze dvou důvodů, ten první je, že díky nim má divák představu o rozměrech zobrazovaných reálií a za druhé má jejich přidání výrazný emoční efekt a divák se tak snáze s obrazem personifikuje.

Jako příklad splňující výše uvedené metody vizuální komunikace, byla vytvořena vizualizace zobrazující výstup ze 3D rekonstrukčního modelu kostela na akropoli v Libici nad Cidlinou. Kromě údajů o rozsahu a datu archeologického výzkumu, při kterém byl kostel objeven, je zde nenásilnou cestou zobrazena i samotná důvěryhodnost počítačové rekonstrukce. Červená linie půdorysu kostela je vložena i přímo do počítačové rekonstrukce a také do řezů objektem, kde vyplňuje pouze základy stavby a spolu s údajem o zachování (1%). Společně se zobrazenou analogií kostela ve Walbecku, která byla předlohou pro počítačovou rekonstrukci, tak vizualizace uceleně vypovídá i o formě dostupných vstupních dat a celkové nejistotě při tvorbě rekonstrukčního modelu (viz obr. 188).

5.3.4 Vizuální děj

„Na rozdíl od malíře je cílem ilustrátora vyprávět příběh“.

Norman Rockwell³⁴

Příběhy se pomocí obrazů vyprávěly od pradávna a rané epizodické či narativní obrazy můžeme vidět třeba na tapisérii z Bayeux nebo nástropních malbách Sixtínské kaple. Spojením více forem pak lze sémantický účinek ještě zvýšit a vytvořit konkrétní příběh nebo děj. A právě kombinace obrazů, grafických prvků a slov popsaná výše, má obrovský impact do obsahu vizualizace a myšlenkových, emočních i slovních významů včetně sdělení. Každý vložený prvek navíc ovlivňuje formy ve svém okolí, mění jejich individuální význam a posouvá děj celkového příběhu. Přidáním více obrazů vedle sebe mezi nimi dochází k tzv. sémantickým mezerám, které na základě stále složitějších domněnek provokují diváka k hledání významu mezi nimi, kterým konstruuje pomyslný děj. Tento dějový tah stále roste, neboť divák předpokládá, že sémantický obsah každého obrazu v dané sérii musí souviset s okolními obsahy, i kdyby detaily v pozdějším obraze popíraly ty předchozí (Samara 2014, 224 – 225). Stejná sémantická mezera jako mezi souvisejícími obrazy, existuje i mezi obrazy a slovy a může být tvořena přímočarým, výslovným vztahem mezi nimi nebo může být více nejednoznačná a dovolit divákovi konstruovat svůj vlastní příběh, který ze samostatného obrazu není zcela zjevný (Samara 2014, 226). Pokud tedy chceme, aby vizuální výstupy ze 3D rekonstrukčních počítačových modelů v sobě obsahovaly vědecké sdělení, které lze určitou formou děje odvyprávět divákovi, musíme tyto vizualizace rozšířit o další informace vyjádřené textovou i grafickou formou.

³⁴ Wigan 2010, 88

6. ZÁVĚR

Tak jak bylo patrné v kapitole o formování archeologie prostřednictvím zobrazování starožitností, kdy ze začátku nemohl být jasný dosah, který tyto vizualizace přinesou, tak i trojrozměrné vizualizace o kterých je nyní stále pochybováno, mohou svůj význam prokázat plně až později. Počítačový model je vždy zjednodušenou reprezentací skutečnosti a abstrakcí reality a počítačová vizualizace rekonstrukce archeologických situací už ze svého principu nikdy nemůže být objektivně věrná skutečnosti. Vždyť i zcela komplexní a přesné systémy digitálního sběru dat, jako je např. laserové skenování nikdy nereprezentuje, ale pouze určitou mírou reprodukuje, realitu zkoumané situace, neboť v každém procesu digitálního procesu zpracování dat, je do každé fáze nevyhnutelně zapojena jejich interpretace.³⁵ Navíc tvorba vizualizace zahrnuje vždy více perspektiv, technologickou, optickou, kulturní, estetickou i epistemologickou a vizualizace jsou tím pádem složité technické, osobní a kulturní paměťové struktury obsahující nestabilitu vznikající našim převyprávěním minulosti. Princip aby v rekonstrukčních vizualizacích byly zřetelné vztahy mezi jednotlivými komponentami dle jejich důvěryhodnosti, tak vyžaduje spíše flexibilní než rigidní absolutistický přístup. Tento přístup je v souladu s London Charter, která neposkytuje detailní seznam nezbytných úkonů, ale ve skutečnosti podává strukturovaný soubor návodů determinujících specifická opatření, která mohou být vhodná pro jednotlivý objekt vzhledem ke konkrétním cílům a okolnostem.

Úroveň dostupné dokumentace tak může být úměrná kvalitě zdrojů, na kterých je rekonstrukce vystavěna a váze důležitosti vizualizace jako celku. Takže i minimální počet dostupných dat může dostačovat pro spekulativní vizualizaci založenou na omezených důkazech, pokud nemá za cíl komunikovat víc než jen přibližný rozsah a možný smysl daného artefaktu, struktury, nebo místa. Oproti tomu model, který musí unést břemeno detailní rekonstrukční hypotézy a který je založen na přesném měření a závažných analogiích, bude vyžadovat přesnou dokumentaci jak zdrojů, tak i interpretačních procesů, pokud má být divák schopen zhodnotit důvěryhodnost uvedených argumentů.

Při tvorbě počítačové vizualizace musí autor modelu provádět obrovské množství okamžitých rozhodnutí, kdy každé z nich je tvořeno mnoha faktory a i přes technické znalosti a zákonitosti,

³⁵ Jako příklad lze uvést digitální převádění reálného povrchu objektu na mračno bodů, které je dále upravováno např. čištěním a poté je transformováno do drátěného modelu a následně potaženo otexturovanými plochami, dochází v každém kroku k volbě různých hodnot jejich zpracování a výsledné modely se od sebe dle zvolené metody mohou diametrálně odlišovat.

tak často do rozhodovacího procesu vstupuje jen pouhý pocit, co je v daný moment správné a co ne. Tvůrce modelu by si samozřejmě měl být co nejvíce vědom důvodů některých svých rozhodnutí, učiněných často zcela intuitivně, aby bylo možné přezkoumat jejich platnost, ale je otázka jakou úroveň podrobnosti rozhodování učiněné v interpretačním procesu, je vůbec reálné zachytit.

Vizualizace je tak v podstatě velice složitá sada různých vztahů a vzájemných souvislostí, ale právě to vizualizaci určuje jako velice mocný empirický nástroj, který zprostředkovává poznání, jaký má každá použitá forma a typ dat důsledky na další části vědomostí a dat v procesu tvorby modelu. Počítačová rekonstrukce by tak mohla fungovat minimálně jako nástroj na testování hypotéz. Prostředí, ve kterém se vizualizace tvoří, nám dává svobodu vyzkoušet různé možnosti a dynamicky je testovat na základě různých proměnných uvnitř digitálního prostředí. Lze tak podpořit i rozmanité interpretace, z nichž každá je jedním z možných příběhů, které lze vyprávět o naší minulosti. Pokud je k dispozici solidní dokumentace postupu tvorby modelu (což samo o sobě nutné neznamená legitimizaci výstupů), dovoluje to autorovi prezentovat i vysoce spekulativní hypotézy a experimenty. Dobře zdokumentovaná vizualizace je nejen hnací silou pro testování hypotéz, ale může ovlivnit i epistemologický postoj o povaze, cílech a metodách výzkumu a komunikace kulturního dědictví. Nejdůležitější vlastností je totiž to, že počet možných aktualizací virtuálního prostředí není nijak omezen a používáním ho nemůžeme nikdy vypotřebovat. **Virtualita je nevyčerpatelný zdroj** (Ryan 2015, 55).

Pokud bychom se tedy na závěr pokusili o jasné shrnutí diskutované problematiky, bude nejlépe znovu zmínit analýzu použití virtuální archeologie od Pujol-Tost (2008), kde autorka navrhuje typologii čtyřech rozdílných přístupů, se kterým lze souhlasit a na jeho základě navrhnout i možná řešení.

1. tradiční přístup, kdy je počítačová vizualizace použita jako názorná a popisná ilustrace.

Přístup, který bere počítačové vizualizace jako názorné a popisné ilustrace, je zapotřebí rozvinout na základě principů tvorby vědecké ilustrace a návrhy tohoto řešení byly popsány v předchozí kapitole. Vědecká ilustrace představuje zcela svébytnou disciplínu, v níž splývají elementy zobrazovaného faktu a elementy výtvarné a je proto zcela nezbytné ovládat alespoň základy grafického designu, aby vizuální sdělení bylo rychlé, přehledné a dostatečně informativní. Navžený přístup **graficky zobrazovat v rámci výsledné vizualizace 3D rekonstrukčních modelů i další nezbytná data k pochopení celého kontextu**, pak plně

odpovídá i obecným principům zobrazování nejistoty vědeckých dat, jak bylo definováno již v kapitole 2.1.

2. přístup vycházející z kombinace romantického vnímání archeologie a ekonomického využití, který je používán pro zážitková rozhraní prezentace významných památek.

Oddělovat striktně populární vizuální prezentace ze světa vědy v podstatě nelze, neboť i tyto vizualizace spoluvytvářejí představy o minulosti v celé společnosti, jejíž součástí je i vědecká komunita. Prezentace virtuálních rekonstrukcí veřejnosti populární formou naráží především na etický problém, jak vyřešit otázku zobrazení důvěryhodnosti daného modelu. Velkou neznámou zde ovšem zůstává, zdali vůbec má veřejnost zájem informace typu zobrazení důvěryhodnosti použitých dat vědět. Archeologie má určitě povinnost prezentovat výsledky svého výzkumu společnosti, nicméně je otázka jaké vizuální formy tedy použít v době, ve které jsou k dispozici vizuální vjemy hollywoodských filmů typu Pána prstenů nebo počítačových her jako je Kingdom Come: Deliverance.

Pokud je počítačová vizualizace namířená především směrem k laickému publiku, je vhodné i v tomto druhu výstupů dodržovat základní principy vizuální komunikace a vědecké ilustrace zmíněné v předchozí kapitole. Ani v tomto přístupu bychom tak neměli nikdy koncipovat virtuální model jako konečný produkt považovaný za autentickou verzi minulosti (Barceló 2001), pokud není doplněn dalšími vizuálně zpracovanými informacemi a to především z toho důvodu, aby laický divák vůbec pochopil, na co se to přesně dívá.

Velkou roli v tomto segmentu popularizačních výstupů by dle autora mělo hrát **cílené používání tzv. NPR technik**. Non-photorealistic rendering (NPR) je v podstatě jakákoliv technika, která dokáže vytvářet nerealistické zobrazení z virtuálních trojrozměrných dat (Isenberg a kol. 2006). Právě umění oproti omezení konvenčních technických kreseb je lépe přizpůsobeno pro přenos a výměnu informací mezi autorem, zobrazeným tématem a divákem a stává se komplexním sociálním procesem ovlivňujícím způsob poznání. NPR techniky jsou i velice jednoduchou, ale zároveň efektivní metodou, jak dát také najevo důvěryhodnost vizualizace a cíleně z nich vytvořit lépe přijatelné nedokonalé prezentace. Díky rychlému vývoji v oblasti kreativního průmyslu je k dispozici celá řada grafických nástrojů, která umožňuje napodobovat umělecké styly jako olejomalba, vodové barvy, perokresba nebo charakteristický styl technických výkresů (ukázky viz obr. 189 – 191). Použití těchto grafických stylů je pro vizualizaci nejistoty intuitivním způsobem, protože vypadají jako kreslené lidskou

rukou a divák se tak nemusí učit novému paradigmatu a obraz interpretuje tak jak je zvyklý u konvenčních obrazů (Strothotte a kol. 1999).³⁶

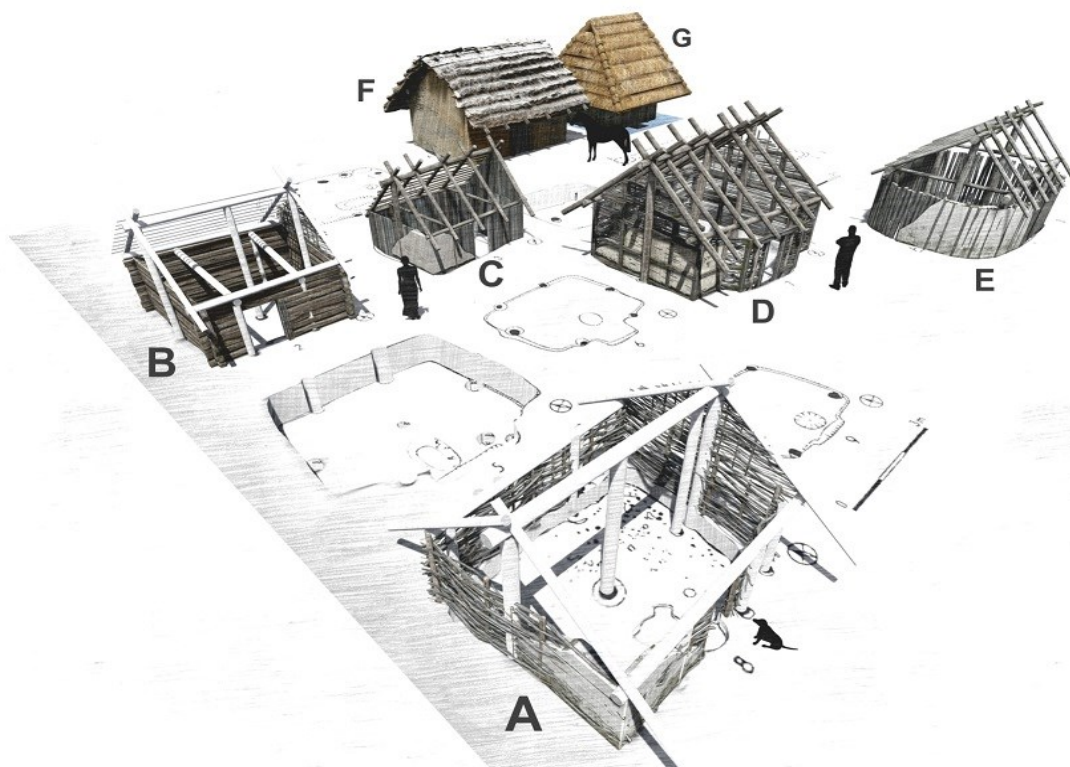
Výraznou roli může mít použití NPR technik i u odborné veřejnosti, neboť umělecké ztvárnění výstupů ze 3D rekonstrukčních modelů svým charakterem zahrnujícím kombinaci objektivního i subjektivního přístupu, může destabilizovat zavedenou formu myšlenkových procesů a ukazovat nové horizonty náhledu do archeologických dat. NPR techniky vytvářejí abstraktní vizuální stylizace a ve srovnání s fotorealismem tak mají zcela rozdílné percepční vlastnosti, neboť vytvářejí dojem neúplného obrazu otevřeného dalším proměnám. Redukcí detailů se zase zvyšuje prostor pro interpretaci, ale i myšlenkové abstrakci.

Záměrná úprava a změna vizuálního jazyka, která ho zprostředkovává směrem od realistického znázornění k abstraktnímu, je označována také jako stylizace obrazu. Stylizace jasně sděluje, že obraz je umělý, rozumem vykalkulovaný znak a je v ní kladen důraz na prvky, které jsou snadno rozpoznatelné spíše než na prvky konkrétní. Stylizovaný obraz tak může především komunikovat na formální, univerzální a neutrální úrovni tím, že z rysů objektu abstrahuje přesně ty, které představují jeho základní podstatu (Samara 2014, 202). Vyhýbání se estetické a osobní zkušenosti při tvorbě vizualizaci tak může být iracionální a „dehumanizace“ reprezentací naší minulosti nemusí být produktivním řešením (Wheatley 2000).



Obr. 189: Rekonstrukce města Slaný v roce 1602 stylizovaná jako malba vodovými barvami.

³⁶ Přímočarost ručně vytvořených obrazů je přitažlivou formou především z důvodu, že oslovuje divákovu chuť tvořit a oslovuje ho na velice osobní úrovni. Ilustrace mají oproti hladkému perfekcionismu fotografického zpracování větší míru opravdovosti, vřelosti a poctivosti a dokáže v designerském díle silně a přesvědčivě působit. Nejvíce záleží na autentičnosti pocitu, který ilustrace chce předat a jeho sladění se zamýšleným sdělením (Samara 2014, 208 – 209).



Obr. 190: Počítačová rekonstrukce různých typů a konstrukčních řešení polozemnic z doby římské stylizovaná do kresby tužkou.



Obr. 191: Halštatská fáze akropole na Závisti u Zbraslavi stylizovaná jako olejomalba.

3. empirický přístup, který považuje virtuální archeologii za experimentální nástroj pro analýzu a ověření údajů a hypotéz.

Pokusy o získání nových poznatků z virtuálních rekonstrukcí jsou poměrně málo časté a ve vědecké komunitě je k tomuto přístupu znatelná značná rezervovanost. Ta může souviset s obecnými pochybnostmi o důvěryhodnosti virtuálních rekonstrukčních modelů jakožto formy vědeckých důkazů. Což plyne z otázky, jak by virtuální prostředí vlastně mělo generovat nové znalosti, když je samo vystaveno na již existujících důkazech a informacích. A dále je zde zřetelné zklamání ze současného stavu virtuální a rozšířené reality, o které se předpokládalo, že ukáže zcela nové možnosti.

Pokud tedy mají být virtuální rekonstrukce zhodnoceny jako výzkumný nástroj, je v první řadě třeba specifikovat jejich epistemologickou funkci, což vyžaduje velice dobře formulovanou výzkumnou otázku nebo hypotézu, kterou je možné potvrdit na základě kvalitativních nebo kvantitativních dat získaných z virtuálního prostředí. Ze současného diskurzu o možnostech výzkumu ve virtuálním prostředí, je patrné, že se diskuze soustředí na to, zdali mohou počítačové simulace nahradit skutečnou realitu. To je, jak bylo poukázáno na problematice nejistoty dat, zcela neproduktivní směr debaty, neboť v současných technologických možnostech ještě není možné zajistit plnou transparentnost virtuálního prostředí a žádoucím by tedy mohlo být **vytvářet spíše úzce zaměřené výzkumné úkoly**. Tím by nebylo nutné vytvářet virtuální modely s co největší mírou realismu nebo interaktivity a virtuální prostředí by tak bylo od počátku funkčně koncipováno tak, aby byla zodpovězena konkrétní otázka, pro kterou bylo navrženo. Silnou devízou, které virtuální prostředí již nyní určitě poskytuje, je tak možnost opakované simulace fyzikálních zákonů a nomických vlastností. Problém nevyužívaného analytického potenciálu 3D počítačových rekonstrukcí tkví také v tom, že tvorba modelu na kterém lze simulovat různé fyzikální vlastnosti, vyžaduje oproti tvorbě modelu určeného pouze jako vizualizace, zcela jiný náročnější přístup a znalost práce ve více sofistikovaných modelovacích softwarech.

4. postmoderní přístup, který bere virtuální archeologii jako sémantický a symbolický zdroj určený k rozvinutí strukturovaného narativu.

Nálepka virtuální se stala mocnou metaforou stále se zrychlujícího letu technologie do neznáma, a ačkoliv virtuální archeologie svoje předpoklady pro zprostředkování nového horizontu dat doposud nepotvrdila, může vzhledem k překotnému vývoji informačních technologií dojít v blízké budoucnosti k obratu. Zásadním by tak nyní mělo být **obnovení širší**

debaty o směřování a metodice 3D počítačového modelování v archeologii včetně reflexe nových možností virtuální a rozšířené reality.

7. SEZNAM LITERATURY

Alusik, T., and D. Sovarova. 2015. The accuracy requirements and sources for 3D reconstructions of the prehistoric archaeological sites: The case of Agios Antonios Chomates (Crete). In *3D-Arch 2015 - 3D Virtual Reconstruction and Visualization of Complex Architectures (XL-5/W4), 25-27 February 2015*, eds. D. Gonzalez-Aguilera, F. Remondino, J. Boehm, T. Kersten, and T. Fuse, 437-445. Amsterdam and New York: International Society for Photogrammetry and Remote Sensing, Elsevier.

Ambrose, G., and P. Harris. 2011. *Grafický design. Designové myšlení*. Brno: Computer Press.

Ambrosiani, B. 2013. The Bronze Caster's Workshop, *Birka Studies 9*, Stockholm 2013, 71-313.

Amici, C.M. 2009. *Selinunte, Tempio C: analisi tecnica per la ricostruzione*. *Palladio* 44: 1-30. (Online: http://www.rilievoarcheologico.it/home-articoli-li_g000023.pdf)

Angell, I. O. and P. L. Main. 1983. A Construction of Three-Dimensional Views from the Silhouette Data of Pottery. In *Computer Applications in Archaeology 1982. Conference Proceedings*, ed. S. Laflin, 117- 127. Birmingham: Centre for Computing and Computer Science, University of Birmingham.

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. (Online: http://www.chnt.at/wp-content/uploads/eBook_CHNT20_Apollonio_2015.pdf)

Apollonio, F. I., 2016. Classification Schemes for Visualization of Uncertainty in Digital Hypothetical Reconstruction, in *3D Research Challenges in Cultural Heritage II: How to Manage Data and Knowledge Related to Interpretative Digital 3D Reconstructions of Cultural Heritage*, eds. S. Münster, M. Pfarr-Harfst, P. Kuroczynski and M. Ioannides, 173-198. Cham: Springer International Publishing.

Apollonio, F. I., and E. C. Giovannini. 2015. A paradata documentation methodology for the Uncertainty Visualization in digital reconstruction of CH Artifacts. *SCientific RESearch and Information Technology* 5 (1): 1-24.

Arnold, C. J., J. W. Huggett, P. Reilly, and C. Springham. 1989. Mathrafal: A Case Study in the Application of Computer Graphics. In *Computer Applications and Quantitative Methods in*

- Archaeology* 1989. CAA89, ed. S. Rahtz, 147-156. (BAR International Series 548). Oxford: Archaeopress.
- Aumont, J. 2005. *Obraz*. Praha: Akademie múzických umění.
- Bakker, G., F. Meulenberg, and J. D. Rode. 2003. Truth and credibility as a double ambition: reconstruction of the built past, experiences and dilemmas. *The Journal of Visualization and Computer Animation* 14 (3): 159-167.
- Barceló, J. A. 2001. Virtual reality for archaeological explanation. Beyond “picturesque” reconstruction. *Archeologia e Calcolatori* 12: 221-244.
- Baribeau, R., L., Godin, L. Cournoyer, and M. Rioux. 1996. Color Three-Dimensional Modeling of Museum Objects. In *Imaging the Past. Electronic Imaging and Computer Graphics in Museums and Archaeology*. British Museum Occasional Paper 114, eds. T. Higgins, P. Main and J. Lang, 199 – 210. London: British Museum Press.
- Beacham, R., H. Denard, and F. Niccolucci. 2006. An Introduction to The London Charter. In *The e-volution of Information Communication and Technology in Cultural Heritage, Proceedings of VAST 2006*, eds. M. Ioannides, D. Arnold, F. Niccolucci, and K. Mania, 263–269. Budapest: Archaeolingua.
- Bentkowska-Kafel, A., Denard, H., & Baker, D. (2012). *Paradata and Transparency in Virtual Heritage*. Burlington: Ashgate.
- Bertin, J. 1983. *Semiology of Graphics*. Madison: University of Wisconsin Press.
- Beuckers, K. G., Cramer, J., Imhof, M. 2006 . *Die Ottonen. Kunst – Architektur – Geschichte*. Haldensleben: Michael Imhof Verlag.
- Biek, L. 1974. Progress with LERNIE. In *Computer Applications in archaeology 1974. Proceedings of the Annual Conference organised by the Computer Centre University of Birmingham, January 1974*, eds. J. D. Wilcock, and S. Laflin, 59-63. Birmingham: Computer Centre, University of Birmingham.
- Biek, L. 1976. LERNIE – Phase III. In *Computer Applications in Archaeology 1976. Proceedings of the Annual Conference organised at the Computer Centre, University of Birmingham, January 1976*, ed. S. Laflin, 65-71. Birmingham: Computer Centre, University of Birmingham.

- Biek, L. 1978. LERNIE – Phase V. In *Computer Applications in Archaeology 1978. Proceedings of the Annual Conference organised at the Computer Centre, University of Birmingham*, ed. S. Laflin, 53-60. Birmingham: Computer Centre, University of Birmingham.
- Biek, L. 1985. LERNIE XIV: Comparology and Stereovideo. In *Computer Applications in Archaeology 185: Proceedings of the Conference on Quantitative Methods, Institute of Archaeology, London, March 29 – 30*, ed. E. Webb, 1-35. (Online: https://proceedings.caaconference.org/paper/01_biek_caa_1985/)
- Bonissone P. P., and R. M. Tong. 1985. Editorial: Reasoning with uncertainty in expert systems. *International Journal of Man-Machine Studies* 22 (3): 241 – 250.
- Brather, S. 2012. *Der wikingerzeitliche Seehandelsplatz von Janów (Truso): geophysikalische, archäopedologische und archäologische Untersuchungen 2004 – 2008*. Bonn: Habelt.
- Brusaporci, S. 2017. The Importance of Being Honest: Issues of Transparency in Digital Visualization of Architectural Heritage. In *Handbook of Research on Emerging Technologies for Architectural and Archaeological Heritage*, ed. A. Ippolito, 66-92. Hershey: IGI Global.
- Bruschke, J., and M. Wacker. 2016. Simplifying Documentation of Digital Reconstruction Processes. In *3D Research Challenges in Cultural Heritage II: How to Manage Data and Knowledge Related to Interpretative Digital 3D Reconstructions of Cultural Heritage*, eds. S. Münster, M. Pfarr-Harfst, P. Kuroczynski, and M. Ioannides, 256-271. Cham: Springer International Publishing.
- Carmigniani, J., and B. Fuhr. 2011. Augmented Reality: An Overview. In *Handbook of Augmented Reality*, ed. B. Fuhr, 3 – 46. New York: Springer
- Correia, M. et al. 2016. CGI storytelling in archaeological and cultural heritage public interpretation: scientific facts or Hollywood movies? In *Entre ciência e cultura: da interdisciplinaridade à transversalidade da arqueologia*, Actas das VIII Jornadas de Jovens em Investigação Arqueológica, eds. I. P. Coelho, J. B. Torres, L. S. Gil, and T. Ramos, 569 - 592. https://www.academia.edu/35088608/CGI_storytelling_in_archaeological_and_cultural_heritage_public_interpretation_scientific_facts_or_Hollywood_movies
- Cox, E. 1994. *The Fuzzy Systems Handbook: A Practitioner's Guide to Building, Using, and Maintaining Fuzzy Systems*. Chestnut Hill: AP Professional.

- Čižmář, M. 1989. Pozdne latenske osídlení predhradí závisti. *Památky archeologické* 80: 59-122.
- Daston, L., and P. Galison. 1992. *The Image of Objectivity*. *Representations* 40 (Special Issue: Seeing Science): 81 – 128.
- Dell'Unto, N., A. M. Leander, D. Ferdani, M. Dellepiane, M. Callieri, and S. Lindgren. 2013. Digital reconstruction and visualization in archaeology: Case-study drawn from the work of the Swedish Pompeii Project. In *Proceedings of the 2013 Digital Heritage International Congress (DigitalHeritage), Volume 2, Marseille, 28 Oct - 1 Nov*, eds. C. Jianping, Z. Ying, and W. Juan, 621-628. Piscataway: Institute of Electrical and Electronics Engineers.
- Denard, H. 2012. A New Introduction to the London Charter. In *Paradata and Transparency in Virtual Heritage*, eds. A. Bentkowski-Kafel, H. Denard, and D. Baker, 57-71. Farnham: Ashgate.
- Drda, P. 1971. Vorburg und Unterburg des Oppidums Závist. *Archeologické rozhledy* 23, 282-287.
- Drda, P., and A. Rybová. 1992. L'oppidum de zavist: construction de la porte principale (d) et sa chronologie. *Památky archeologické* 83: 309-349.
- Drda, P., and A. Rybová. 1993. Oppidum Zavist. Tore und Wege in Seiner Geschichte. *Památky archeologické* 84: 49-68.
- Drda, P., and A. Rybová. 1997. Keltská oppida v centru Boiohaema. *Památky archeologické* 88: 65-123.
- Drda, P., and A. Rybová. 2001. Model vyvoje velmozskeho dvorce 2.-1. století před Kristem. *Památky archeologické* 92: 284-349.
- Drda, P., and A. Rybová. 2008: Akropole na hradišti Závist v 6. – 4. stol. př. Kr. Praha.
- Dreslerová, D. 1995. The Prehistory of the Middle Labe(Elbe) Floodplain in the light of Archaeological Finds. *Památky archeologické* 86, 105–145.
- Dubois, D., and H. Prade, 2001. Possibility theory, probability theory and multiplevalued logics: A clarification. *Annals of Mathematics and Artificial Intelligence* 32 (1-4): 35–66.

- Earl, G. P., and D. W. Wheatley. 2001. Virtual reconstruction and the interpretative process: a case study from Avebury. In *Contemporary Themes in Archaeological Computing*, eds. D. W. Wheatley, G. P. Earl, and S. J. Poppy, 5-15. Oxford: Oxbow books.
- Effros, B. 2011. Writing History from Manuscript and Artifact: Building an Object-Based Narrative of the Early Middle Ages in Eighteenth- and Nineteenth-Century France. In *Medieval Manuscripts, Their Makers and Users: A Special Issue of Viator in Honor of Richard and Mary Rouse*, ed. H. A. Kell, 133 – 150. Turnhout: Brepols Publishers.
- Eiteljorg, H. 1995. Virtual reality and rendering. *CSA Newsletter* 7 (4) (Online: <http://www.csanet.org/newsletter/feb95/nl029508.html>)
- Eiteljorg, H. 1998. Photorealistic visualizations may be too good. *CSA Newsletter* 11 (2) (Online: <http://papers.cumincad.org/data/works/att/819d.content.pdf>)
- Eiteljorg, H. 2000. The Compelling Computer Image – a double-edged sword. *Internet archaeology* 8. (online: http://intarch.ac.uk/journal/issue8/eiteljorg_index.html)
- Ettel, P. 2014. The State of the Question Regarding Early Medieval Fortress Construction in Southern Germany. *History Compass* 12 (12): 112 – 132.
- Fanini, B., and D. Ferdani. 2012. A New Approach from 3D Modelling and Scanning of Archaeological Data to RealTime Online Exploration. In *Revive the Past. Computer Applications and Quantitative Methods in Archaeology (CAA). Proceedings of the 39th International Conference, Beijing, April 12-16*, eds. M. Zhou, I. Romanowska, Z. Wu, P. Xu, and P. Verhagen, 107-115. Amsterdam: Pallas Publications.
- Fejfer, J., T. Fischer-Hansen, and A. Rathje (eds). 2003. *The Rediscovery of Antiquity: The Role of the Artist*. Copenhagen: Museum Tusulanum Press.
- Findlen, P. 1994. *Possessing Nature: Museums, Collecting, and Scientific Culture in Early Modern Italy*. Berkeley: University of California Press.
- Findlen, P. 2002. Scientific Spectacle in Baroque Rome: Athanasius Kircher and the Roman College Museum. In *Jesuit Science and the Republic of Letters*, ed. M. Feingold, 225 – 284. London: The MIT Press.
- Forte, M. 2008. Virtual archaeology: communication in 3D and ecological thinking. In *Beyond Illustration: 2D and 3D Digital Technologies as Tools for Discovery in Archaeology*, eds. B. Frischer, and A. Dakouri-Hild, 20-34. BAR International Series 1805. Oxford: Archaeopress.

Forte, M. 2014. Virtual reality, cyberarchaeology, teleimmersive archaeology. In *3D Recording and Modelling in Archaeology and Cultural Heritage. Theory and best practices*, eds. F. Remondino, and S. Campana, 113-127. BAR International Series 2598. Oxford: Archaeopress.

Forte, M., A. Siliotti (eds). 1997. *Virtual Archaeology: Re-creating Ancient Worlds*. New York: Harry N. Abrams.

Frischer, B. 2008. Introduction: From Digital Illustration to Digital Heuristics. In *Beyond Illustration: 2D and 3D Digital Technologies as Tools for Discovery in Archaeology*, eds. B. Frischer, and A. Dakouri-Hild, 5-24. BAR International Series 1805. Oxford: Archaeopress. (online: http://frischer.org/wp-content/uploads/2016/03/Frischer_Heuristics.pdf)

Frischer, B. and A. Dakouri-Hild (eds). 2008. *Beyond Illustration: 2D and 3D Digital Technologies as Tools for Discovery in Archaeology*. BAR International Series 1805. Oxford: Archaeopress.

Frischer, B., and P. Stinson. 2007. The importance of scientific authentication and a formal visual language in virtual models of archaeological sites: The case of the house of Augustus and villa of the mysteries. In *Interpreting the Past: Heritage, New Technologies, and local Development; Proceedings of the Conference on Authenticity, Intellectual Integrity and Sustainable Development of the Public Presentation of Archaeological and Historical Sites and Landscapes, Ghent, East-Flanders, 11-13 September, 2002*, ed. N. A. Silberman, and D. Callebaut, 49-83. Brussels: Flemish Heritage Institute.

Gershon, N. 1998. Visualization of an Imperfect World. *EEE Computer Graphics and Applications* 18 (4): 43-45.

Golvin, J.-C. 2012. Drawing Reconstruction Images of Ancient Sites. In *Picturing the Past. Imaging and Imagining the Ancient Middle East*, eds. J. Green, E. Teeter, and J. A. Larson, 77-82. Chicago: The Oriental Institute of the University of Chicago.

Grande, A., and V. Lopez-Mencherero. 2011. The implementation of an international charter in the field of virtual archaeology. <http://cipa.icomos.org/wp-content/uploads/2018/12/Grande-Lopez-Mencherero-The-implementation-of-an-international-charter-in-the-field-of-virtual-archaeology.pdf>

Griethe, H., and H. Schumann. 2006. The Visualization of Uncertain Data: Methods and problems. In *Simulation und Visualisierung (SimVis 2006)*, eds. T. Shuize, G. Horton, B. Preim, and S. Schlechtweg, 143–156. Magdeburg: SCS Publishing House.

Grimm, P. 1968. *Tilleda; eine Königspfalz am Kyffhäuser Teil 1. Die Hauptburg*. [Tilleda; a Royal Palace at Kyffhäuser. Part 1. The Donjon] Akademie-Verlag, Berlin 1968 (= Deutsche Akademie der Wissenschaften zu Berlin. Schriften der Sektion für Vor- und Frühgeschichte, Vol. 24.

Halin, G., C. Chevrier, K. Jacquot, and Humbert, P. 2015. Virtual 3D reconstruction of Plans-Reliefs from historical document analysis for valorisation applications. *Digital Heritage International Congress 2015, Granada, Spain*.
https://www.researchgate.net/publication/283773169_Virtual_3D_reconstruction_of_Plans-Reliefs_from_historical_document_analysis_for_valorisation_applications

Havemann, S., O. Wagener, and D. Fellner. 2014. Procedural Shape Modeling in Digital Humanities: Potentials and Issues. In *3D research challenges in cultural heritage a roadmap in digital heritage preservation*, eds. M. Loannides, and E. Quak, 64-77. Heidelberg: Springer.

Heinecke, B. – Ingelmann, K.. 2007. *Tausend Jahre Kirche in Walbeck*. Haldensleben: Michael Imhof Verlag.

Hemker, C. - Hoffmann, Y. - Scholz, V. 2012: Silver mining at Dippoldiswalde during the medieval mining period in Saxony - První doba stříbrorudného hornictví v Dippoldiswalde, Sasko, *Acta rerum naturalium 12 - Stříbrna Jihlava*, 79-98.

Hemker, Ch., and V. Scholz. 2010. Archaeological Finds and Results regarding high-medieval Mining at Dippoldiswalde. In *Mining archeological Research Interdisciplinary Methodology. 5th International Symposium on archeological Mining History*, ed. J. Silvertant, 108–119. *Freiberg and Valkenburg aan Geul*: Institute Europa Subterranea Valkenburg a/d Geul.

Hermon, S., and J. Nikodem. 2008. 3D Modelling as a Scientific Research Tool in Archaeology. In *Layers of Perception. Proceedings of the 35th International Conference on Computer Applications and Quantitative Methods in Archaeology (CAA), Berlin, Germany, April 2–6, 2007*, (Kolloquien zur Vor- und Frühgeschichte, Vol. 10), eds. A. Posluschny, K. Lambers, and I. Herzog, 1-6. *Bonn*: Dr. Rudolf Habelt GmbH.

Hermon, S., and P. Fabian. 2002. Virtual reconstruction of archaeological sites: some archaeological scientific considerations. Avdat Roman Military Camp as a Case-study. In *Virtual Archaeology, Proceedings of the VAST Euroconference, Arezzo 24-26 November 2000*, ed. F. Niccolucci, 103-108. BAR International Series 1075. Oxford: Archaeopress.

Hermon, S., J. Nikodem and C. Perlingieri. 2006. Deconstructing the VR-Data Transparency, Quantified Uncertainty and Reliability of 3D Models. In *VAST06: The 7th International Symposium on Virtual Reality, Archaeology and Intelligent Cultural Heritage, Nicosia, Cyprus, 2006, Proceedings*. eds. M. Ioannides, D. Arnold, F. Niccolucci, and K. Mania, 123-129. Geneve: Eurographics Association.

Hoffmann, F. 1992. *České město ve středověku*. Praha: Panorama – ČLF.

Hönig, H., and S. Lentzsch. 2014. Das Bergwerk unter dem Busbahnhof – Beschreibung der untersuchten mittelalterlichen Grubenbaue unter dem Busbahnhof in Dippoldiswalde, Lkr. Sächsische Schweiz-Osterzgebirge. *ArchaeoMontan 2014, Ergebnisse und Perspektiven Internationale Fachtagung Dippoldiswalde 23. bis 25. Oktober 2014, Arbeits- und Forschungsberichte zur sächsischen Bodendenkmalpflege Beiheft 29*, 181 – 193.

Hort, L. 2017. Zaměření části středověkého opevnění ve Slaném. Bakalářská práce, Katedra speciální geodézie, ČVUT, Praha. 35 stran.

Hrbek, J. 1968. *Neurologie I*. Praha: Státní zdravotnické nakladatelství.

Hrubý, P. 2011. Jihlava – Staré Hory. Archeologický výzkum středověkého důlního, úpravnického a obytného areálu v letech 2002 – 2006. Příspěvek ke studiu středověkého rudného hornictví. *Dissertationes Archaeologicae Brunenses / Pragensesques*. Praha – Brno.

Hrubý, P., P. Hejhal, A. Hoch, P. Kočár, K. Malý, L. MacHáňová, L. Petr, and J. Štelcl. 2012. Středověký úpravnický a hornický areál Cvilínek u Černova na Pelhřimovsku - Das mittelalterliche Aufbereitungs- und Bergbauareal Cvilínek bei Černov in der Gegend Pelhřimov. *Památky archeologické* 103: 339-418.

Hugget, J. 2012. Core or Periphery? Digital Humanities from an Archaeological Perspective. *Historical Social Research / Historische Sozialforschung* 37 (3): 86-105.

Isenberg, T., P. Neumann, S. Carpendale, M. C. Sousa, and J. A. Jorge. 2006. Non-Photorealistic Rendering in Context: An Observational Study. In *Proceedings of the 4th International Symposium on Non-Photorealistic Animation and Rendering 2006, Annecy*,

France, June 5-7, 2006, eds. D. DeCarlo, and L. Markosian, 115-126. New York: AMC Press.
(Online: https://tobias.isenberg.cc/personal/papers/Isenberg_2006_NPR_small.pdf)

Johnson, C., and A. Sanderson. 2003. A next step: Visualizing errors and uncertainty. *IEEE Computer Graphics and Applications* 23 (5): 6–10. (Online: <http://www.sci.utah.edu/publications/crj03/g5visv-lo.pdf>)

Kantner, J. 2000. Realism vs. Reality: Creating Virtual Reconstructions of Prehistoric Architecture. In *Virtual Reality in Archaeology*, eds. J. A. Barcelo, M. Forte, and D. H. Sanders, 47-52. BAR International Series 843. Oxford: Archaeopress.

Kensek, K. M., L. S. Dodd, and N. Cipolla, 2004. Fantastic reconstructions of the fantastic? Tracking and presenting ambiguity, alternatives, and documentation in virtual worlds. *Automation in Construction* 13: 175-186.

Kevles, D. 1992. Historical foreword. In *The scientific image: From cave to computer*, ed. H. Robins, 11-19. New York: Harry N. Abrams.

Klanica, Z. 1974. Práce klenotníků na slovanských hradištích (Die Arbeit von Juwelieren auf den slawischen Burgwällen). *Studie Archeologického ústavu ČSAV v Brně II(6)*. Praha: Academia.

Klir, G., and B. Yuan. 1995. *Fuzzy Sets and Fuzzy Logic: Theory and Applications*. Upper Saddle River: Prentice Hall PTR.

Kola, A., and G. Wilke. 2000. *Mosty sprzed tysiac lat. Archeologiczne badania podwodne przy rezydencji pierwszych Piastów na Ostrowie Lednickim*. Torun: Uniwersytet Mikołaja Kopernika, Wydział nauk Historycznych.

Krakk, M-J. 2014. *Mapping Time: Illustrated by Minard's Map of Napoleon's Russian Campaign of 1812*. California: Esri Press.

Křesadlo, K. 1973. K dějinám města Slaného do porážky husitské revoluce. *Středočeský sborník historický* 8 : 55 – 68.

Křesadlo, K. 1997. Poznámky ke středověké historii Slaného. *Slaný, české město ve středověku*: 12 – 14.

Kuchyňka, Z. 2005. Pražská brána ve Slaném. Příspěvek ikonografie k datování stavby. *Slánský obzor* 13 – 2005, str. 4 – 10.

- Květina, P. a kol. 2015: *Minulost, kterou nikdo nezapsal*. Praha.
- Květina, P. J. Unger, P. Vavrečka. 2015. Presenting the invisible and unfathomable: Virtual museum and augmented reality of the Neolithic site in Bylany, Czech Republic. *Archeologické rozhledy* 67 (1): 3 – 22.
- Lock, G. 2003. *Using Computers in Archaeology: Towards Virtual Pasts*. London: Routledge.
- Lüthy, Ch. and A. Smets. 2009. Words, Lines, Diagrams, Images: Towards a History of Scientific Imagery. *Early Science and Medicine* 14 (1): 398–439.
- MacEachren, A. M., A. Robinson, S. Hopper, S. Gardner, R. Murray, M. Gahegan, and E. Hetzler. 2005. Visualizing Geospatial Information Uncertainty: What We Know and What We Need to Know. *Cartography and Geographic Information Science* 32 (3): 139-160.
- MacEachren, A. M., R. E. Roth, J. O'Brien, B. Li, D. Swingley, and M. Gahegan. 2012. Visual Semiotics & Uncertainty Visualization: An Empirical Study. *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics* 18 (12): 2496 – 2505.
- Mandal, S. 2013. Brief Introduction of Virtual Reality & its Challenges. *International Journal of Scientific & Engineering Research* 4 (4): 304 – 309.
- Manferdini, A. M., F. Remondino, S. Baldissini, M. Gaiani, and B. Benedetti. 2008. 3D modeling and semantic classification of archaeological finds for management and visualization, in 3D archaeological databases. In *Proceedings of the 14th International Conference on Virtual Systems and Multimedia, 20 - 25 Oct, Limassol*, eds. M. Ioannides, A. Addison, A. Georgopoulos, and L. Kalisperis, 221-228. Geneva: Eurographics Association.
- Mařík, J. – Roháček, J. 2013. Ještě jednou a jistě ne naposledy tzv. libickým stélám, *Epigraphica & sepulcralia* 4, 315-330.
- Mařík, J. 2006. Výzkum raně středověkého opevnění v Libici nad Cidlinou – sonda 236. *Archeologické rozhledy* 58, 511-519.
- Mařík, J. 2009. *Libická sídelní aglomerace a její zázemí v raném středověku*. Praha: Univerzita Karlova v Praze, Filozofická fakulta – Archeologický ústav AV ČR, Praha, v. v. i.
- Mccormick, B. H., T. A. Defanti, and M. D. Brown. 1987. Visualization in Scientific Computing. *Computer Graphics* 21 (6): 1-14

- McCurdy, L. 2012. Virtual Architectural Reconstruction and Visual Anthropology. *Anthropologies* 10. (online: <http://www.anthropologiesproject.org/2012/01/virtual-architectural-reconstruction.html>.)
- Miller, P., and J. Richards. 1995. The Good, the Bad, and the Downright Misleading: Archaeological Adoption of Computer Visualisation. In *CAA94. Computer Applications and Quantitative Methods in Archaeology 1994*, eds. J. Huggett, and N. Ryan, 19-22. BAR International Series 600. Oxford: Tempus Reparatum.
- Montaigne, M. and Hazlitt, W. 1923. The complete works of Michael de Montaigne; comprising the essays – Primary Source edition. London: Nabu press.
- Montfaucon, B., and D. Humphreys. 1721 – 1722. *Antiquity explained, and represented in sculptures. By the learned Father Montfaucon*. London: J. Tonson & J. Watts. (dostupné online z: <https://catalog.hathitrust.org/Record/012314676>)
- Moser, S. 2014. Making Expert Knowledge through the Image: Connections between Antiquarian and Early Modern Scientific Illustration. *Isis: A Journal of the History of Science* 105 (1): 58 – 99.
- Motyková, K., P. Drda, and A. Rybová. 1990. Oppidum Závist – prostor brány A v předsunutém šíjovém opevnění. *Památky archeologické* 81: 308 – 433.
- Motyková, K., P. Drda, and A. Rybová. 1984. Opevnění pozdně halštatského a časně laténského hradiště Závist. *Památky archeologické* 75: 331 – 444.
- Moucha, V. 1994. V hlubinách věků (archeologické nálezy na území města Slaného). *Kniha o Slaném*: 7 – 42.
- Neustupný, E. 1986. Nástin archeologické metody. *Archeologické rozhledy* 38: 515-539.
- Neustupný, E. 2002. Archeologie a historie. In *Archeologie nenalézaného. Sborník přátel, kolegů a žáků k životnímu jubileu Slavomila Vencla*, ed. E. Neustupný, 141-152. Dobrá Voda u Pelhřimova: Aleš Čeněk.
- Neustupný, E. 2007. Vymezení archeologie. In *Archeologie pravěkých Čech 1. Pravěký svět a jeho poznání*, ed. M. Kuna, 11 – 22. Archeologický ústav AV ČR, Praha, v.v.i., Praha.
- Nevěřilová, Z. 2004. *Český vizuální lexikon*. Diplomová práce, Fakulta informatiky, Masarykova univerzita, Brno. 46 str.

- Ogleby, C., 2007. The 'Truthlikeness' of Virtual Reality Reconstructions of Architectural Heritage: Concepts and Metadata. In *Proceedings of 2nd International Workshop 3DARCH'2007. 3D Virtual Reconstruction and Visualization of Complex Architectures, International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Vol. XXXVI-5/W47*, eds. F. Remondino, S. El-Hakim. https://pdfs.semanticscholar.org/8753/3316e22a172b015d10e67cd69f758f18c887.pdf?_ga=2.199510894.170668462.1556608219-582171786.1556608219
- Olivito, R., and E. Taccola, 2014. 3D Modelling in the Agora of Segesta: Techniques and data interpretation. *Archeologia e Calcolatori* 25: 175-188.
- Opravil, E. 1983. Údolní niva v době hradištní. Praha: Academia.
- Pang, A. T., C. M. Wittenbrink, and S. K. Lodha. 1997. Approaches to uncertainty visualization. *The Visual Computer* 13 (8): 370–390.
- Pardyl, V. H. 2017. *Perspektiva*. Praha: Akademie múzických umění.
- Pavlis, J. 1978. Posudek stability čelní zdi valu 1, odkryté archeologickým výzkumem v r. 1961 na hradišti u Kozárovic (okr. Příbram). *Praehistorica VI*, 107–109.
- Pecinovská, M., L. Baloun, and P. Sankot. 2014. Laténské pohřebiště v Bašti. *Archeologie ve středních Čechách* 18: 745 – 766.
- Piggot, S. 1978. *Antiquity depicted: Aspects of Archaeological Illustration*. London: Thames and Hudson.
- Pollini, J., L. S. Dodd, and K. M. Kensek. 2006. *Problematics of Making Ambiguity Explicit in Virtual Reconstructions: A Case Study of the Mausoleum of Augustus*. In *Theory and Practice, Proceedings of the 21st Annual Conference of CHArt: Computers and the History of Art, British Academy, London, November 2005*, eds. A. Bentkowska, T. Cashen, and H. Gardiner. www.chart.ac.uk/chart2005/papers/pollini.html
- Princová, J. – Mařík, J. 2006. Libice nad Cidlinou – stav a perspektivy výzkumu. *Archeologické rozhledy* 58, 643-664.
- Procházka, R. 2009. *Vývoj opevňovací techniky na Moravě a v českém Slezsku v raném středověku*. Brno: Archeologický ústav AV ČR.

- Pujol-Tost, L. 2008. Does Virtual Archaeology Exist?. In *Layers of Perception. Proceedings of the 35th International Conference on Computer Applications and Quantitative Methods in Archaeology (CAA), Berlin, Germany, April 2-6, 2007*, eds. A. Posluschny, K. Lambers, and I. Herzog, 101-107. Bonn: Dr. Rudolf Habelt GmbH.
- Razím, V. 1997. Opevnění města Slaného v minulosti a dnes. *Slaný, české město ve středověku*. 26 - 35.
- Reilly, P. 1991. Towards a Virtual Archaeology. In *CAA90. Computer Applications and Quantitative Methods in Archaeology 1990*, eds. S. Rahtz, and K. Lockyear, 132-139. BAR International Series 565. Oxford: Tempus Reparatum.
- Reilly, P. 1992. Three-dimensional modelling and primary archaeological data. In *Archaeology and the information age: a global perspective*, eds. P. Reilly, and S. Rahtz, 92-107. London: Routledge.
- Reilly, P., and S. Rahtz (eds). 1992. *Archaeology and the Information Age: A Global Perspective*. London and New York: Routledge.
- Reilly, P., Richards, J., Walter, A. 1988: Three-dimensional graphics at Sutton Hoo: Some preliminary investigations. *Bulletin of Sutton Hoo Research Committee*, no 5, 24-27. Woodbridge: Boydell press.
- Roussou, M., and G. Drettakis. 2003. Photorealism and non-photorealism in virtual heritage representation. In *Proceedings of VAST International Symposium on Virtual Reality, Archaeology and Cultural Heritage including the First References 201 Eurographics Workshop VAST '03*, eds. A. Chalmers, D. Arnold, and F. Niccolucci, 51-60. Aire-la-Ville: Eurographics Association. <http://www-sop.inria.fr/revs/Basilic/2003/RD03b/>
- Ryan, M.L. 2015: *Narativ jako virtuální realita. Imerze a interaktivita v literature a elektronických médiích*. Praha: Academia.
- Samara, T. 2014. *Grafický design: Základní pravidla a způsoby jeho porušování*. Praha: Slovart.
- Sanders, D. 2014. More than Pretty Pictures of the Past: An American Perspective on Virtual Heritage. In *Paradata and Transparency in Virtual Heritage*, eds. A. Bentkowski-Kafel, H. Denard, and D. Baker, 37-56. Farnham: Ashgate.

- Sheppard, S. R. J., P. Cizek. 2008. The ethics of Google Earth: Crossing thresholds from spatial data to landscape visualization. *Journal of Environmental Management* 90 (6): 2102-17.
- Schäfer, U. U. 2018. Uncertainty Visualization and Digital 3D Modeling in Archaeology. A Brief Introduction. *International Journal for Digital Art History* 3: 87 – 105.
- Schietzel, K. 2014. *Archäologische Spurensuche in der frühmittelalterlichen Ansiedlung Haithabu. Dokumentation un Chronik 1963 – 2013*. Neumünster and Hamburg: Wachholtz.
- Sifniotis, M. 2012. Representing Archaeological Uncertainty in Cultural Informatics. PhD thesis, University of Sussex, 216 stran.
- Sifniotis, M., B. Jackson, M. White, K. Mania, and P. Watten. 2006. Visualising uncertainty in archaeological reconstructions: a possibilistic approach. In *Proceedings SIGGRAPH '06 ACM SIGGRAPH 2006 Sketches, July 30 – August 03, Boston*, eds. J. Finnegan and H. Pfister, 1-1. New York: ACM.
- Sifniotis, M., P. Watten, K. Mania, and M. White. 2007. Influencing Factors on the Visualisation of Archaeological Uncertainty. In *VAST07: The 8th International Symposium on Virtual Reality and Intelligent Cultural Heritage, Brighton, November 26-30*, eds. D. Arnold, F. Niccolucci, and A. Chalmers, 1-4. Aire-La-Ville: Eurographics Association.
- Sims, D. 1997. Archaeological Models: Pretty Pictures or Research Tools?. *IEEE Computer Graphics* 17 (1): 13-15.
- Smith, P. H. 2004. *The Body of the Artisan: Art and Experience in the Scientific Revolution*. Chicago: University of Chicago Press.
- Sochor, J., B. Beneš, P. Felkel, and J. Žára. 1997. *Vizualizace*. Praha: FEL ČVUT.
- Spaulding, A.C. 1960. The dimensions of archaeology. In *Essays in the Science of Culture: In Honor of Leslie A. White*, ed. J.E. Dole, and R.L. Carneiro, 437- 456. New York: Thomas Y. Crowell.
- Strothotte, T. M. – Schlechtweg, S. 2002. Non-Photorealistic Computer Graphics. Modeling, Rendering, and Animation. San Francisco: Morgan Kaufman Series.
- Strothotte, T., M. Masuch, and T. Isenberg. 1999. Visualizing Knowledge about Virtual Reconstructions of Ancient Architecture. In *Proceedings Computer Graphics International. The Computer Graphics Society, IEEE Computer Society, 7-11 June, 1999, Los Alamitos*, ed.

- T. Lewis, 36-43. Los Alamitos: IEEE Computer Society Press. (Online: https://tobias.isenberg.cc/personal/papers/Strothotte_1999_VKV.pdf)
- Šindelář, D. 1973. *Vědecká ilustrace v Čechách*. Praha: Obelisk.
- Štikar, J. 1992. *Obrazová komunikace*. Praha: Karolinum.
- Tondl, L. 1996. *Poznámky k sémiotice grafické komunikace*. Praha: Filosofia.
- Tufte, E. R. 1997. *Visual Explanations: Images and Quantities, Evidence and Narrative*. Cheshire: Graphics Press.
- Tufte, E. R. 2001. *The Visual Display of Quantitative Information*. Cheshire: Graphics Press.
- Tufte, E. R. 2006. *Beautiful Evidence*. Cheshire: Graphics Press.
- Turek, R. 1963. *Čechy na úsvitě dějin*. Praha: Orbis – Knihnice Vědění Všem.
- Turek, R. 1966-68: *Libice – knížecí hradisko X. věku*. Praha.
- Turek, R. 1978. Libice – Hroby na libickém vnitřním hradisku, *Sborník Národního muzea v Praze, řada A, Historie, sv. XXXII*, 1–150
- Unger, J., and P. Květina. 2017. An On-Site Presentation of Invisible Prehistoric Landscapes. *Internet Archaeology* 43.
- Unger, J., L. Jiráň, and P. Vavrečka. 2016. Neue Möglichkeiten zur Rekonstruktion archäologischer Objekte. *Fines Transire* 25: 157 – 166.
- Vařeka, P. 2004. *Archeologie středověkého domu I: Proměny vesnického obydlí v Evropě v průběhu staletí (6.–15. století)*. Plzeň
- Velc, F. 1904. *Soupis památek historických a uměleckých v politickém okresu Slanském*. Praha: Archaeologická kommise při České akademii.
- Ware, C. 2004. *Information Visualization: Perception for Design*. San Francisco: Morgan Kaufmann Publishers.
- Webb, E. (eds). 1986. *Computer Applications in Archaeology 1985: Proceedings of the Conference on Quantitative Methods. Institute of Archaeology, London, March 29 – 30. 1995* Institute of Archaeology, University of London.

- Wheatley, D. 2000. Spatial Technology and Archaeological Theory Revisited. In *Computer Applications and Quantitative Methods in Archaeology*, eds. K. Lockyear, T. Sly, and V. Mihailescu-Birlitsa, 123-131. (BAR International Series 2000). Oxford: Archaeopress.
- Wigan, M. 2010. *Umění ilustrace. Vizuální myšlení*. Brno: Computer Press.
- Wilcock, 17–21.
- Wilcock, J. D. 1973. *A General Survey of Computer Applications in Archaeology*. In *Computer*
- Wittur, J. 2013. *Computer-Generated 3D-Visualisations in Archaeology: Between added value and deception*. (BAR International Series 2463). Oxford: Archeopress.
- Zeki, S. 1992. *The visual image in mind and brain*. *Scientific American* 267 (3): 68 – 76.
- Zuk, T. D. 2008. *Visualizing Uncertainty*. PhD. Thesis, Department of computer science, The University of Calgary, Calgary, Alberta, 311 stran.
- Zuk, T., and S. Carpendale. 2007. Visualization of uncertainty and reasoning. In *Smart Graphics. SG 2007. Lecture Notes in Computer Science*, vol. 4569, eds. A. Butz, B. Fisher, A. Krüger, P. Olivier, and S. Owada, 164–177. Berlin and Heidelberg: Springer-Verlag.
- Zuk, T., Carpendale, S. 2006. Theoretical Analysis of Uncertainty Visualizations. *Proceedings of SPIE 6060, Visualization and Data Analysis 2006*. 15–19. January 2006, San Jose, California, USA, p. 606007. DOI: <https://doi.org/10.1117/12.643631>.
- Zuk, T., M. Carpendale, and W. Glanzman, 2005. Visualizing temporal uncertainty in 3d virtual reconstructions. In *Proceedings of the 6th International Symposium on Virtual Reality, Archaeology and Cultural Heritage (VAST 2005)*, eds. M. Mudge, N. Ryan, and R. Scopigno, 99-106. Aire-la Ville: The Eurographics Association.
- Žemlička, J. 1997. Slaný – opožděné založení jednoho královského města. *Slaný, české město ve středověku*: 4 – 11.
- Žemlička, J., and E. Sematonová. 1998. *Historický atlas měst české republiky*, sv. 6 – Slaný. Praha.

8. SEZNAM OBRÁZKŮ

Pokud není uveden zdroj, jedná se o dílo autora.

Obr. 1: Jak najít epidemiologické riziko, poprvé vizualizoval John Snow v roce 1854 při epidemii cholery v Londýně (Tuft 1997, 30).

Obr. 2: Mapa Napoleonova tažení na Moskvu 1812-1813 od Charlese Minarda (Tuft 2006, 124)..

Obr. 3: Příklad na svou dobu bezchybné vizualizace základních vlastností archeologických dat z mohylníku ve Štáhlavech od F. X. France (zdroj Wikimedia Commons).

Obr. 4: Vývoj kresebné dokumentace na příkladu Stonehenge (Piggot 1978).

Obr. 5: Kresebné invence kresebné dokumentace archeologických artefaktů v díle komta de Cayluse (upraveno z Moser 2014, 93 – 96).

Obr. 6: Model Le Château-d'Oléron od Vaubana z roku 1703 (zdroj Wikimedia Commons).

Obr. 7: Uvedení třetího rozměru do archeologie - model ze Sutton Hoo (Reilly et al. 1988, 27).

Obr. 8: Důvěryhodnost zdrojů pro tvorbu 3D počítačové rekonstrukce dle Maria Sifniotis (2012, 64).

Obr. 9: Vizualní proměnné, které je možné použít pro zobrazování nejistoty dat (Schäfer 2018, fig. 1).

Obr. 10: Struktura procesu tvorby modelu dle Appolonio 2015.

Obr. 11: Kategorizace nejistoty zdrojových dat dle Appolonio 2015.

Obr. 12: Proces tvorby modelu na základě indexů důvěryhodnosti a důležitosti vstupních dat (upraveno z Hermon – Nikodem 2007).

Obr. 13: Počítačová rekonstrukce chrámu C v Selinunte založená na 3D dokumentaci původních prvků (upraveno z Amici 2009).

Obr. 14: Použití drátěného rámu a barevné škály poukazuje na nejslabší části úrovně důvěry rekonstrukce (upraveno z Kensek a kol. 2004, 179).

Obr. 15: Interaktivní prohlížení Tholosu s možností vizualizovat rozdílné interpretace počítačové rekonstrukce (upraveno z Roussou – Drettakis 2003).

Obr. 16: Příklad barevné škály pro zobrazení nejistoty na základě důvěryhodnosti vstupních dat (Appolonio – Giovannini 2015, 8).

Obr. 17: Rozdílné linie naznačují nejistotu v datech rekonstrukce Akropole v Athénách (Eiteljorg 2000).

Obr. 18: Interaktivní konzole přístupná ve webovém rozhraní umožňuje ke každé části modelu získávat relevantní data včetně jejich stupně nejistoty (upraveno z Kensek a kol. 2004).

Obr. 19: Virtuální rekonstrukce s použitím barevné škály nejistoty římského chrámu Pax Iulia v Beja v Portugalsku (upraveno z Correia 2016, 579).

Obr. 20: Pohled na počítačovou rekonstrukční vizualizaci města z úpatí Slánské hory.

Obr. 21: Vizualizace lokace hlavní hradby a rozmístování jednotlivých věží na plánu cestmistra Jeřábka.

Obr. 22: Postup lokalizace fortifikačních prvků na plánu stabilního katastru 1841.

Obr. 23: Data z laserového skenování části městského opevnění (Hort 2017). Žlutě – věž hlavní hradby, tmavě modře – hlavní hradba, světle modře - parkán včetně jedné bašty, oranžově – Velvarská brána, šedě – moderní objekty.

Obr. 24: Detail rozmístění fortifikačních prvků na severní straně města mezi Pražskou a Velvarskou bránou.

Obr. 25: Fotografie a ukázka výstupů ze zjišťovacího výzkumu Na hradbách z roku 2012.

Obr. 26: Vizualizace transparentního rozmístění jednotlivých objektů na podkladu mapy stabilního katastru zhotovená z důvodu kontroly a ověření správnosti lokací.

Obr. 27: Dalším krokem byl už hmotový model celého města, přičemž prvky městské fortifikace, na které byl kladen důraz, byly rovnou i otexturovány.

Obr. 28: Vsazení modelu rekonstrukce města na digitální model terénu.

Obr. 29: Vizualizace stavu dochování městského opevnění ve Slaném.

Obr. 30: Stav dochování městského opevnění na jižní straně města.

Obr. 31: Stav dochování městského opevnění u Pražské brány.

Obr. 32: Stav dochování městského opevnění jižně od Lounské brány s dochovanými věžemi hlavní hradby.

Obr. 33: Willenbergova veduta, v popředí nalevo Pražská brána s kostelem sv. Gotharda (Žemlička – Sematonová 1998, obr. č. 2).

Obr. 34: Skicy pro utváření představy o podobě města Slaný v roce 1602.

Obr. 35: Vlevo profil hradebního úseku z roku 1778, uprostřed počítačová rekonstrukce, vpravo kresba J. Šembery z roku 1822.

Obr. 36: Příklady zachování rozměrů u modelu hradebního pásma a jejich kontrola v programu SketchUp.

Obr. 37: Řešení nárožních věží u Pražské brány na základě Willenbergovy veduty a vzájemné porovnání.

Obr. 38: Řešení bašty s pětibokým půdorysem na základě současného stavu a vzájemné porovnání.

Obr. 39: Výběr z ikonografických pramenů vztahujících se k Pražské bráně (vlevo olejomalba Karla Wurbse 1855, uprostřed Josef Šembera 1822, vpravo Franz Prokop 1837).

Obr. 40: Porovnání dat ze záchranného výzkumu s plánem pořízeným před zbořením brány.

Obr. 41: Jednotlivé kroky postupu modelování Pražské brány.

Obr. 42: Pohled do nitra barbakánu Pražské brány v hotové počítačové 3D rekonstrukci.

Obr. 43: Jediná dostupná ikonografie vztahující se k Lounské bráně.

Obr. 44: Komparace plánu z roku 1835 s výsledky záchranného výzkumu.

Obr. 45: Finální podoba 3D počítačové rekonstrukce Lounské brány.

Obr. 46: Dostupné prameny a finální podoba rekonstrukce fortny.

Obr. 47: Využití dat z fotogrammetrie a skenování pro rekonstrukci Velvarské brány.

Obr. 48: Současný stav, postup modelování a finální vizualizace kostela sv. Gotharda.

Obr. 49: Modelování stavby radnice především na základě písemného popisu.

Obr. 50: Ukázka připravených modelů městské zástavby rozdělených do tří hlavních skupin.

Obr. 51: Ukázka ze získaných textur dle typu (vlevo střílny a okna) nebo dle místa (vpravo část dat z Kadaně).

Obr. 52: Ukázka textur částí konstrukcí pořízených v archeoskanzenu v Bärnau.

Obr. 53: Navrácení heraldické výzdoby zpět na Pražskou bránu.

Obr. 54: Postup vytvoření textury pro most Lounské brány z dat získaných výzkumem.

Obr. 55: Míra důvěryhodnosti jednotlivých částí městského opevnění.

Obr. 56: Vizualizace nejistoty v datech pro tvorbu 3D počítačové rekonstrukce fortifikace ve Slaném (žlutá barva – nejméně jisté rekonstrukce opevnění, pouze 0 – 20%, zelená 20 – 40%, modrá 40 – 60%, fialová 60 – 80%, červená 80 – 100%).

Obr. 57: Otexturování pomocí geometrických vzorů.

Obr. 58: Změna struktury povrchu vycházející z předešlého systému geometrických textur.

Obr. 59: Rozdílná průhlednost jednotlivých komponent fortifikace.

Obr. 60: Využití transparentnosti na škále monochromatické modré barvy.

Obr. 61: Kombinace rozdílného stylu vykreslování objektů podle jejich důvěryhodnosti.

Obr. 62: Vizualizace nejistoty dat jednotlivých stavebních částí Pražské brány.

Obr. 63: Řez komplexem Pražské brány s doplněním zahloubených částí zachycených výzkumem.

Obr. 64: Míra důvěryhodností jednotlivých komponent Pražské vizualizovaná pomocí různé průhlednosti textur.

Obr. 65: Míra důvěryhodností jednotlivých komponent Pražské vizualizovaná pomocí různé průhlednosti textur.

Obr. 66: Míra důvěryhodností jednotlivých komponent Pražské vizualizovaná pomocí různé průhlednosti textur.

Obr. 67: Míra důvěryhodností jednotlivých komponent Pražské vizualizovaná pomocí různé průhlednosti textur.

Obr. 68: Vizualizace stavu dochování městského opevnění ve Slaném.

Obr. 69: 3D počítačová rekonstrukce raně středověké aglomerace v Libici nad Cidlinou.

Obr. 70: Letecké snímkování a výstupy z leteckého laserového skenování DMR 5G, uprostřed stínovaný reliéf a vlevo zvýrazněná sklonitost svahů (zdroj mapy.cz a ČUZK).

Obr. 71: Výstupy vícesnímkové fotogrammetrie plochy vnitřního hradiště.

Obr. 72: Ikonografický pramen z roku 1668 (pohled od severu) a provedená rekonstrukce rozsahu libické aglomerace a přírodního prostředí (Mařík 2009).

Obr. 73: Provedený model libické aglomerace dle uvedených údajů

Obr. 74: Geofyzikální měření.

Obr. 75: Povrchové sběry.

Obr. 76: Porostové příznaky a geofyzika.

Obr. 77: Detektory kovů.

Obr. 78: Povrchové sběry, detektory kovů.

Obr. 79: Detektory kovů, geofyzika.

Obr. 80: Celkový plán 3D rekonstrukce hradiště.

Obr. 81: Na obrázku vpravo je vyznačený rozsah archeologických výzkumů v libické aglomeraci a zvýrazněny objekty určené k rekonstrukci (1 – kostel, 2 – kněžský dům, 3 – pohřebiště). Vlevo ukázka možné hustoty osídlení na předhradí, jak bylo zachyceno záchranným výzkumem. (zdroj: dokumentace ARUP Mařík)

Obr. 82: Ukázka postupu modelování na upraveném půdorysu dle Jana Maříka (2007).

Obr. 83: Vlevo příčný řez kostelem ve Walbecku, uprostřed rekonstrukcí kostela na akropoli v Libici a vpravo porovnání půdorysů obou staveb (všechny plány ve stejném měřítku).

Obr. 84: Vlevo dochované řešení oken kostela ve Walbecku, uprostřed a vpravo jejich rekonstrukce v počítačovém modelu kostela na akropoli v Libici.

Obr. 85: Vlevo poznatky o konstrukci okenního rámu v kostelu ve Walbecku, vpravo převzetí tohoto prvku pro rekonstrukci kostela na akropoli v Libici.

Obr. 86: Problematické využití ikonografických pramenů je v případě libického kostela (počítačová rekonstrukce libického kostela a vpravo kostel ve Walbecku).

Obr. 87: Schématické pohledy a řezy počítačovou rekonstrukcí kostela na akropoli.

Obr. 88: Rekonstrukce pohřebiště na plánu výzkumu z r. 1978 (Turek 1978).

Obr. 89: Finální podoba počítačové rekonstrukce kostela na akropoli.

Obr. 90: Vlevo řešení bran s dovnitř zalomenými rameny z Bródno Stare (nahore) a Arkony (dole), vpravo počítačová rekonstrukce kleš'ovité brány v Libici, pohled na vnitřní část brány.

Obr. 91: Výstupy z geofyzikálního měření a analogie jako hlavní prameny pro tvorbu rekonstrukce východní a jižní brány.

Obr. 92: Počítačová rekonstrukce východní brány (vlevo) a jižní brány (vpravo).

Obr. 93: Rozměry a konstrukce hradby vnitřního hradiště.

Obr. 94: Pohled do prostoru možných zlatnických dílen.

Obr. 95: Analogie z Břeclavi-Pohanska (vlevo) a Tilledy (vpravo) pro rekonstrukci knížecího dvorce na akropoli.

Obr. 96: Pohled do interiéru paláce, který byl pojat jako halová stavba s ohništěm uprostřed.

Obr. 97: Vlevo a uprostřed dřevěné konstrukce cest používané v Haithabu, vpravo jejich rekonstrukce v Libici.

Obr. 98: Vlevo a uprostřed konstrukce mostu na Ostrowě Lednickim, vpravo rekonstrukce v Libici.

Obr. 99: Vlevo ilustrovaná rekonstrukce přístavu v Haithabu, vpravo počítačová rekonstrukce přístavu v Libici.

Obr. 100: Rekonstrukce kostela a kněžského domu na předhradí.

Obr. 101: Příklad volně dostupných obecných textur použitých v počítačovém modelu Libice.

Obr. 102: Postup získávání údajů z počítačového modelu části hradby akropole.

Obr. 103: Postup získávání údajů z počítačového modelu části hradby předhradí.

Obr. 104: Vyznačení pravděpodobného rozsahu vykáčeného lesa pro získání dřeva pouze k výstavbě fortifikace (měření na základě nástroje ČUZK ArcGIS Web Application).

Obr. 105: Oblasti na vnitřním hradišti vynechané ze zástavby pro zhodnocení možného počtu obyvatel.

Obr. 106: Model 1 - Vizualizace s maximální zástavbou modelu (červená čísla znázorňují počet jednotek přítomných v modelu).

Obr. 107: Model 2 - Vizualizace se střední hustotou zástavby modelu.

Obr. 108: Model 3 - Vizualizace s nejnižší hustotou zástavby modelu.

Obr. 109: 3D počítačová rekonstrukce oppidální fáze hradiště Závist

Obr. 110: Převedení dat z leteckého laserového skenování do 3D – vlevo nahoře vytvoření modelu ze souřadnic, vpravo nahoře ruční úpravy terénu, dole výsledná forma modelu použitelného pro rekonstrukci.

Obr. 111: Postup rekonstrukce opevnění hradiště na základě digitálního modelu terénu.

Obr. 112: Rozdílný charakter jednotlivých částí oppida v provedené rekonstrukci (1 – vnitřní oppidum, 2 – předhradí, 3 – akropole, 4 – poloha Balda, 5 – poloha Adámkovo mýto).

Obr. 113: Modelování rekonstrukce hradby na základě publikovaných plánů a informací.

Obr. 114: Postup počítačového modelování při rekonstrukci brány D.

Obr. 115: Porovnání kresebné rekonstrukce autora výzkumu (Drda – Rybová 1992, obr. 12, str. 323) a provedené počítačové rekonstrukce.

Obr. 116: Rekonstrukce brány N dle plánu z výzkumu (Drda – Rybová 1992, obr. 4, str. 55).

Obr. 117: Oproti rekonstrukci autora výzkumu (Motyková a kol. 1990, obr. 29 str. 375) jinak pojatá počítačová rekonstrukce brány, která kombinuje obě fáze a ponechává charakter opevnění z horizontu II.

Obr. 118: Vlevo volná rekonstrukce brány F, uprostřed brána C a vpravo brána J.

Obr. 119: Provedená počítačová rekonstrukce, tak pojala krajinu přiléhající k předhradí jako víceméně odlesněnou mosaiku polí, pastvin a doprovodných hospodářských objektů (v pozadí viditelná zřetelně dominující akropole).

Obr. 120: Pohled od brány D směrem na předhradí s dvorci a roztroušenou zástavbou podél hlavní komunikace k bráně A.

Obr. 121: Pohled na řešení zástavby vnitřního oppida v počítačové rekonstrukci.

Obr. 122: Základní členění areálů na akropoli a modelování objektů dle plánu z výzkumu (Drda – Rybová 2001, obr. 2, str. 288).

Obr. 123: Porovnání kresebné rekonstrukce autora výzkumu (Drda – Rybová 1997, obr. 20, str. 89) a počítačového rekonstrukčního modelu.

Obr. 124: Náhled postupu při modelování velmožského dvorce na akropoli.

Obr. 125: Vlevo počítačová rekonstrukce kultovního areálu v Acy Romance³⁷, uprostřed nahoře půdorys svatyně s ohrazením zachycený v Acy Romance a dole na akropoli, vpravo výsledná počítačová rekonstrukce svatyně na Závisti.

Obr. 126: Vizualizace konstrukčního řešení ohrazení kultovního areálu v počítačové rekonstrukci.

Obr. 127: Pohled na kompletní provedenou počítačovou rekonstrukci akropole pro pol. 2. st. př. Kr.

Obr. 128: Počítačová rekonstrukce kovárny modelovaná přímo do plánu z výzkumu a inspirována kresebnou rekonstrukcí autora výzkumu (Drda – Rybová 2001, obr. 9, str. 299).

Obr. 129: Postup počítačové rekonstrukce akropole.

Obr. 130: Halštatská fáze akropole na hradišti Závist s vyznačením transparentnosti jednotlivých komponent 3D rekonstrukčního modelu.

Obr. 131: Halštatská fáze akropole na hradišti Závist s vyznačením transparentnosti jednotlivých komponent 3D rekonstrukčního modelu.

Obr. 133: Počítačová rekonstrukce hornického areálu v Dippoldiswalde.

Obr. 134: Digitální model terénu zájmové oblasti s vyznačenými zdokumentovanými pozůstatky těžby (šedé body) a výzkumem v Roter Hirsch (červený bod), kde byly zachyceny sídlištní kontexty (zdroj LfA Sachsen).

Obr. 135: Vlevo testování a podoba dodaných dat ze 3D skenování, vpravo domodelování chybějících částí.

³⁷ Použitá data jsou dostupná zde: <http://archeologie.culture.fr/gaulois-ardennes/fr>

Obr. 136: Vlevo vizualizace dat ze 3D skenování, uprostřed plán předmětné části (zdroj LfA) a vpravo vizualizace z provedené 3D rekonstrukce s již vloženými dřevěnými strukturami.

Obr. 137: Prvotní vizualizace dat z laserového skenování před úpravou.

Obr. 138: Vizualizace důlních nástrojů, výbroje a konstrukcí upravených pro vložení do 3D rekonstrukčního modelu.

Obr. 139: Pohled na sestup hlavní zdokumentovanou šachtou, kde byla zachována výdřeva, žebřík a dřevěná přepážka.

Obr. 140: Pohled na část štoly, kde byly dochovány rozpěry.

Obr. 141: Pohled do části štoly, kde byly zpětně rekonstruovány důlní nástroje a dřevěné podlážky.

Obr. 142: Pohled do šachty kam byly nově vloženy větrací přepážky.

Obr. 143: Rekonstrukce vrátku nad jednou ze šachet.

Obr. 144: Komparace povrchů z nálezové situace (foto LfA Sachsen) a otexturovaného 3D počítačového modelu.

Obr. 145: Náhledy z virtuální tour po 3D počítačové rekonstrukci dolů v Dippoldiswalde.

Obr. 146: Princip fungování aplikace s rozšířenou realitou na bázi markeru.

Obr. 147: Rozdíl mezi hardwarovým vybavením v roce 2005 (ArcheoGuide) a 2018 (aplikace v chytrém telefonu).

Obr. 148: Ukázka řešení virtuálního zpřístupnění neolitických artefaktů na webových stránkách virtuálního muzea (vpravo) a prostřednictvím platformy Sketchfab (vlevo).

Obr. 149: Virtuální tour s možností procházet se mezi neolitickými artefakty realizovaná na bázi herních enginů.

Obr. 150: Aplikace s rozšířenou realitou prezentující jednu z neolitických nádob na bázi tzv. markeru.

Obr. 151: Vlevo titulní stránka se základním dělením aplikace, uprostřed seznam bodů zájmu a vpravo ukázka informací.

Obr. 152: Mapa s vyznačenými body zájmu a online vyznačenou pozicí uživatele.

- Obr. 153: Ukázka pohledu ve virtuální realitě po 3D počítačové rekonstrukci.
- Obr. 154: Fungování virtuální reality při použití Google Cardboards.
- Obr. 155: Vsazení počítačové rekonstrukce Lounské brány do dnešní ulice Husova v rozšířené realitě.
- Obr. 156: Ukázka přípravy vstupních dat pro 3D model postavy neandrtálce.
- Obr. 157: Postup 3D počítačové rekonstrukce neandrtálce.
- Obr. 158: Výsledné počítačové modely.
- Obr. 159: Základní princip projekce počítačových animací do živého záznamu.
- Obr. 160: Úprava obrazů pro projekci.
- Obr. 161: Finální výstup v rámci výstavy v Národním muzeu.
- Obr. 162: Ukázka 360 panoramatického snímku ze 3D počítačové rekonstrukce kovárny na akropoli.
- Obr. 163: Ukázka z virtuální tour, vlevo nahoře vstupní obrazovka, nahoře uprostřed informační okno, vpravo nahoře mapa s vyznačenou pozicí uživatele.
- Obr. 164: 3D modely hrobu č. 122 z Baště a jeho rekonstrukce.
- Obr. 165: Náhled do aplikace s možností volby 3D modelů v levém horním rohu obrazovky a marker (dole) použitý pro fixaci 3D modelů v rozšířené realitě.
- Obr. 166: Rozšířením standardních prezentačních mechanismů archeologie o virtuální prostor je možné zvětšit veřejné povědomí o významu archeologické památkové péče.
- Obr. 167: Otevřené platformy mobilních aplikací pro použití virtuální nebo rozšířené reality.
- Obr. 168: Testování virtuální reality na HTC Vive na základě provedeného 3D modelu dolů v Dippoldiswalde s kolegy z LfA v Drážďanech. Pokud je zhotovena podobná aplikace, lze jí pak volně šířit dále, pokud dotyčná instituce disponuje potřebným vybavením, tedy brýlemi pro virtuální realitu.
- Obr. 169: 3D fotogrammetrický model hradiště v Libici zhotovený pomocí dronu a doplněný 3D počítačovou rekonstrukcí kostela na akropoli.

Obr. 170: 3D počítačová rekonstrukce na modelu získaném pomocí vícesnímkové fotogrammetrie v softwaru Agisoft Photoscan.

Obr. 171: Vsazení fotogrammetrického plánu do modelu ulice Husovy, jak vypadala v průběhu záchranného výzkumu.

Obr. 172: Vizualizace stavebních fází zachycených výzkumem na 3D fotogrammetrickém plánu.

Obr. 173: 3D počítačová rekonstrukce sídelního areálu Bříza.

Obr. 174: Animace rozfázování konstrukce dlouhého neolitického domu na 3D fotogrammetrickém modelu ze záchranného výzkumu.

Obr. 175: 3D fotogrammetrické modely střech pořízených ve skanzenu Curia Vítkov.

Obr. 176: Postup tvorby 3D fotogrammetrického modelu postavy druida na mezinárodním festivalu keltské kultury Lughnasad v Nasavrkách 2018.

Obr. 177: Model střílny z bašty v Lokti a generace textur jejích jednotlivých částí, které byly použity v rekonstrukčním modelu města Slaný.

Obr. 178: Postup získání textury pomocí vícesnímkové fotogrammetrie z hlavní hradby městského opevnění v Tachově a její použití pro 3D rekonstrukční počítačový model Slaného.

Obr. 179: Záběr z animačního videa, kde jsou prezentované jednotlivé části oppida na Závisti, dobře viditelné díky podrobnému digitálnímu modelu terénu.

Obr. 180: Identifikace motte při vizualizaci LIDARových dat ve 3D virtuálním prostoru.

Obr. 181: Možnosti využití 3D počítačové vizualizace LIDARových dat pro prezentaci dalších archeologických výstupů a typů dat, jako je např. geofyzikální průzkum.

Obr. 182: Ukázka 3D počítačová rekonstrukce na modelu získaném pomocí ručního skeneru DPI-8.

Obr. 183: 3D počítačová rekonstrukce s využitím dat z laserového skenování.

Obr. 184: Pohyby očí při zrakovém zkoumání předmětu (Aumont 2005, 56, nákres 8).

Obr. 185: Pohled těžební šachtou do 3D počítačové rekonstrukce dolů v Dippoldiswalde.

Obr. 186: Skica návrhu konceptu vizualizace.

Obr. 187: Práce s formami a prostorem na příkladu vizualizace dolů v Dippoldiswalde.

Obr. 188:Příklad komplexní vizualizace počítačové rekonstrukce kostela na akropoli v Libici nad Cidlinou

Obr. 189:Počítačová rekonstrukce různých typů a konstrukčních řešení polozemnic z doby římské stylizovaná do kresby tužkou.

Obr. 190: Halštatská fáze akropole na Závisti u Zbraslavi stylizovaná jako olejomalba.

Obr. 191: Rekonstrukce města Slaný v roce 1602 stylizovaná jako malba vodovými barvami.

9. SEZNAM TABULEK

Tab. 1: klasifikační systém nejistoty dat pro 3D rekonstrukční modely.

Tab. 2: Míra důvěryhodnosti jednotlivých komponent počítačové rekonstrukce městského opevnění.

Tab. 3: Tabulka se stupněm důvěryhodnosti počítačové rekonstrukce jednotlivých komponent Pražské brány.

Tab. 4: Nejistota dat jednotlivých objektů libického hradiště.

Tab. 5: Tabulka výpočtu objemů na základě údajů z 3D rekonstrukčního modelu.

Tab. 6: Tabulka výpočtu objemů na základě údajů z 3D rekonstrukčního modelu.

Tab. 7: Tabulka s výpočtem možného počtu obyvatel v závislosti na hustotě zástavby v rekonstrukčním modelu.

Tab. 8: Tabulka s výpočtem nejistoty pro rekonstrukční modely oppida Závist.

Tab. 9: Výpočet nejistoty dat pro rekonstrukční počítačový model povrchové a podzemní části hornického areálu.

10. PŘÍLOHY

(dne 23/02/19 zkopírováno z:

http://www.londoncharter.org/fileadmin/templates/main/docs/london_charter_2_1_en.pdf)

DRAFT 2.1

7 February 2009

**THE LONDON CHARTER
FOR THE COMPUTER-BASED VISUALISATION OF
CULTURAL HERITAGE**

Preamble

Objectives

Principles

Principle 1: Implementation
Principle 2: Aims and Methods
Principle 3: Research Sources
Principle 4: Documentation
Principle 5: Sustainability
Principle 6: Access

Glossary

PREAMBLE

While computer-based visualisation methods are now employed in a wide range of contexts to assist in the research, communication and preservation of cultural heritage, a set of principles is needed that will ensure that digital heritage visualisation is, and is seen to be, at least as intellectually and technically rigorous as longer established cultural heritage research and communication methods. At the same time, such principles must reflect the distinctive properties of computer-based visualisation technologies and methods.

Numerous articles, documents, including the AHDS Guides to Good Practice for CAD (2002) and Virtual Reality (2002) and initiatives, including the Virtual Archaeology Special Interest Group (VASIG) and the Cultural Virtual Reality Organisation (CVRO) and others have underlined the importance of ensuring both that computer-based visualisation methods are applied with scholarly rigour, and that the outcomes of research that include computer-based visualisation should accurately convey to users the status of the knowledge that they represent, such as distinctions between evidence and hypothesis, and between different levels of probability.

The London Charter seeks to capture, and to build, a consensus on these and related issues in a way that demands wide recognition and an expectation of compliance within relevant subject communities. In doing so, the Charter aims to enhance the rigour with which computer-based visualisation methods and outcomes are used and evaluated in heritage contexts, thereby promoting understanding and recognition of such methods and outcomes.

The Charter defines principles for the use of computer-based visualisation methods in relation to intellectual integrity, reliability, documentation, sustainability and access.

The Charter recognises that the range of available computer-based visualisation methods is constantly increasing, and that these methods can be applied to address an equally expanding range of research aims. The Charter therefore does not seek to prescribe specific aims or methods, but rather establishes those broad principles for the use, in research and communication of cultural heritage, of computer-based visualisation upon which the intellectual integrity of such methods and outcomes depend.

The Charter is concerned with the research and dissemination of cultural heritage across academic, educational, curatorial and commercial domains. It has relevance, therefore, for those aspects of the entertainment industry involving the reconstruction or evocation of cultural heritage, but not for the use of computer-based visualisation in, for example, contemporary art, fashion, or design. As the aims that motivate the use of visualisation methods vary widely from domain to domain, Principle 1: "Implementation", signals the importance of devising detailed guidelines appropriate to each community of practice.

OBJECTIVES

The London Charter seeks to establish principles for the use of computer-based visualisation methods and outcomes in the research and communication of cultural heritage in order to:

Provide a benchmark having widespread recognition among stakeholders.

Promote intellectual and technical rigour in digital heritage visualisation.

Ensure that computer-based visualisation processes and outcomes can be properly understood and evaluated by users

Enable computer-based visualisation authoritatively to contribute to the study, interpretation and management of cultural heritage assets.

Ensure access and sustainability strategies are determined and applied.

Offer a robust foundation upon which communities of practice can build detailed London Charter Implementation Guidelines.

PRINCIPLES

Principle 1: Implementation

The principles of the London Charter are valid wherever computer-based visualisation is applied to the research or dissemination of cultural heritage.

1.1 Each community of practice, whether academic, educational, curatorial or commercial, should develop London Charter Implementation Guidelines that cohere with its own aims, objectives and methods.

1.2 Every computer-based visualisation heritage activity should develop, and monitor the application of, a London Charter Implementation Strategy.

1.3 In collaborative activities, all participants whose role involves either directly or indirectly contributing to the visualisation process should be made aware of the principles of the London Charter, together with relevant Charter Implementation Guidelines, and to assess their implications for the planning, documentation and dissemination of the project as a whole.

1.4 The costs of implementing such a strategy should be considered in relation to the added intellectual, explanatory and/or economic value of producing outputs that demonstrate a high level of intellectual integrity.

Principle 2: Aims and Methods

A computer-based visualisation method should normally be used only when it is the most appropriate available method for that purpose.

2.1 It should not be assumed that computer-based visualisation is the most appropriate means of addressing all cultural heritage research or communication aims.

2.2 A systematic, documented evaluation of the suitability of each method to each aim should be carried out, in order to ascertain what, if any, type of computer-based visualisation is likely to prove most appropriate.

2.3 While it is recognised that, particularly in innovative or complex activities, it may not always be possible to determine, *a priori*, the most appropriate method, the choice of computer-based visualisation method (e.g. more or less photo-realistic, impressionistic or schematic; representation of hypotheses or of the available evidence; dynamic or static) or the decision to develop a new method, should be based on an evaluation of the likely success of each approach in addressing each aim.

Principle 3: Research Sources

In order to ensure the intellectual integrity of computer-based visualisation methods and outcomes, relevant research sources should be identified and evaluated in a structured and documented way.

3.1. In the context of the Charter, research sources are defined as all information, digital and non-digital, considered during, or directly influencing, the creation of computer-based visualisation outcomes.

3.2 Research sources should be selected, analysed and evaluated with reference to current understandings and best practice within communities of practice.

3.3 Particular attention should be given to the way in which visual sources may be affected by ideological, historical, social, religious and aesthetic and other such factors.

Principle 4: Documentation

Sufficient information should be documented and disseminated to allow computer-based visualisation methods and outcomes to be understood and evaluated in relation to the contexts and purposes for which they are deployed.

Enhancing Practice

4.1 Documentation strategies should be designed and resourced in such a way that they actively enhance the visualisation activity by encouraging, and helping to structure, thoughtful practice.

4.2 Documentation strategies should be designed to enable rigorous, comparative analysis and evaluation of computer-based visualisations, and to facilitate the recognition and addressing of issues that visualisation activities reveal.

4.3 Documentation strategies may assist in the management of Intellectual Property Rights or privileged information.

Documentation of Knowledge Claims

4.4 It should be made clear to users what a computer-based visualisation seeks to represent, for example the existing state, an evidence-based restoration or an hypothetical reconstruction of a cultural heritage object or site, and the extent and nature of any factual uncertainty.

Documentation of Research Sources

4.5 A complete list of research sources used and their provenance should be disseminated.

Documentation of Process (Paradata)

4.6 Documentation of the evaluative, analytical, deductive, interpretative and creative decisions made in the course of computer-based visualisation should be disseminated in such a way that the relationship between research sources, implicit knowledge, explicit reasoning, and visualisation-based outcomes can be understood.

Documentation of Methods

4.7 The rationale for choosing a computer-based visualisation method, and for rejecting other methods, should be documented and disseminated to allow the activity's methodology to be evaluated and to inform subsequent activities.

4.8 A description of the visualisation methods should be disseminated if these are not likely to be widely understood within relevant communities of practice.

4.9 Where computer-based visualisation methods are used in interdisciplinary contexts that lack a common set of understandings about the nature of research questions, methods and outcomes, project documentation should be undertaken in such a way that it assists in articulating such implicit knowledge and in identifying the different lexica of participating members from diverse subject communities.

Documentation of Dependency Relationships

4.10 Computer-based visualisation outcomes should be disseminated in such a way that the nature and importance of significant, hypothetical dependency relationships between elements can be clearly identified by users and the reasoning underlying such hypotheses understood.

Documentation Formats and Standards

4.11 Documentation should be disseminated using the most effective available media, including graphical, textual, video, audio, numerical or combinations of the above.

4.12 Documentation should be disseminated sustainably with reference to relevant standards and ontologies according to best practice in relevant communities of practice and in such a way that facilitates its inclusion in relevant citation indexes.

Principle 5: Sustainability

Strategies should be planned and implemented to ensure the long-term sustainability of cultural heritage-related computer-based visualisation outcomes and documentation, in order to avoid loss of this growing part of human intellectual, social, economic and cultural heritage.

5.1 The most reliable and sustainable available form of archiving computer-based visualisation outcomes, whether analogue or digital, should be identified and implemented.

5.2 Digital preservation strategies should aim to preserve the computer-based visualisation data, rather than the medium on which they were originally stored, and also information sufficient to enable their use in the future, for example through migration to different formats or software emulation.

5.3 Where digital archiving is not the most reliable means of ensuring the long-term survival of a computer-based visualisation outcome, a partial, two-dimensional record of a computer-based visualisation output, evoking as far as possible the scope and properties of the original output, should be preferred to the absence of a record.

5.4 Documentation strategies should be designed to be sustainable in relation to available resources and prevailing working practices.

Principle 6: Access

The creation and dissemination of computer-based visualisation should be planned in such a way as to ensure that maximum possible benefits are achieved for the study, understanding, interpretation, preservation and management of cultural heritage.

6.1 The aims, methods and dissemination plans of computer-based visualisation should reflect consideration of how such work can enhance access to cultural heritage that is otherwise inaccessible due to health and safety, disability, economic, political, or environmental reasons, or because the object of the visualisation is lost, endangered, dispersed, or has been destroyed, restored or reconstructed.

6.2 Projects should take cognizance of the types and degrees of access that computer-based visualisation can uniquely provide to cultural heritage stakeholders, including the study of change over time, magnification, modification, manipulation of virtual objects, embedding of datasets, instantaneous global distribution.

APPENDIX – Glossary

The following definitions explain how terms are used within this document. They are not intended to be prescriptive beyond that function.

Computer-based visualisation

The process of representing information visually with the aid of computer technologies.

Computer-based visualisation method

The systematic application, usually in a research context, of computer-based visualisation in order to address identified aims.

Computer-based visualisation outcome

An outcome of computer-based visualisation, including but not limited to digital models, still images, animations and physical models.

Cultural heritage

The Charter adopts a wide definition of this term, encompassing all domains of human activity which are concerned with the understanding of communication of the material and intellectual culture. Such domains include, but are not limited to, museums, art galleries, heritage sites, interpretative centres, cultural heritage research institutes, arts and humanities subjects within higher education institutions, the broader educational sector, and tourism.

Dependency relationship

A dependent relationship between the properties of elements within digital models, such that a change in one property will necessitate change in the dependent properties. (For instance, a change in the height of a door will necessitate a corresponding change in the height of the doorframe.)

Intellectual transparency

The provision of information, presented in any medium or format, to allow users to understand the nature and scope of “knowledge claim” made by a computer-based visualisation outcome.

Paradata

Information about human processes of understanding and interpretation of data objects. Examples of paradata include descriptions stored within a structured dataset of how evidence was used to interpret an artefact, or a comment on methodological premises within a research publication. It is closely related, but somewhat different in emphasis, to “contextual metadata”, which tend to communicate interpretations of an artefact or collection, rather than the process through which one or more artefacts were processed or interpreted.

Research sources

All information, digital and non-digital, considered during, or directly influencing, the creation of the computer-based visualisation outcomes.

Subject community

A group of researchers generally defined by a discipline (e.g. Archaeology, Classics, Sinology, Egyptology) and sharing a broadly-defined understanding of what constitute valid research questions, methods and outputs within their subject area.

Sustainability strategy

A strategy to ensure that some meaningful record of computer-based visualisation processes and outcomes is preserved for future generations.

Editor: Hugh Denard, King’s College London, 7 February 2009

Příloha č. 2 – The Seville Principles

(dne 23/02/19 zkopírováno z: <http://smartheritage.com/wp-content/uploads/2015/03/FINAL-DRAFT.pdf>)

THE SEVILLE PRINCIPLES INTERNATIONAL PRINCIPLES OF VIRTUAL ARCHAEOLOGY

PREAMBLE

Today, the worldwide application of computer-based visualisation in the field of archaeological heritage may be described as full of "lights and shadows". The spectacular growth of cultural tourism and the amazing technological advances in recent years have led to the development and implementation of a myriad of projects to investigate, preserve, interpret and present various elements of archaeological heritage using computer-based visualisation. These projects have demonstrated not only the extraordinary potential of computer-based visualisation but also its many weaknesses and inconsistencies. Therefore, there is a clear need for a theoretical debate with practical implications to enable heritage managers use the best that new technology can offer them in this area while minimizing its most controversial applications. In short, some basic principles must be established to govern practices in this growing field.

The London Charter (<http://www.londoncharter.org>) is currently the most advanced international document in this direction. Its various updates reveal the overwhelming need to find a document with recommendations that can serve as a basis for designing new projects with greater rigour in the field of cultural heritage, but also to propose new recommendations and guidance tailored to the specific needs of each branch of learning and community of experts. For this reason, the objectives set out in The London Charter aim to "offer a robust foundation upon which communities of practice can build detailed London Charter Implementation Guidelines". And we must not forget the immeasurable scope of the concept of Cultural Heritage, which encompasses such broad areas as monumental, ethnographic, documentary, industrial, artistic, archaeological and oral heritage.

The London Charter takes full account of the Cultural Heritage as a concept, and therefore the specific needs required by each of its constituent parts. For this reason, the Preamble to the London Charter recognises these needs: "as the aims that motivate the use of visualisation methods vary widely from domain to domain, Principle 1: "Implementation", signals the importance of devising detailed guidelines appropriate to each community of practice". Principle 1.1 recommends: "Each community of practice, whether academic, educational, curatorial or commercial, should develop London Charter Implementation Guidelines that cohere with its own aims, objectives and methods". It therefore seems obvious that, given the importance of archaeological heritage as part of cultural heritage, and since many recognise the existence of a community of experts who focus specifically on the concept of Virtual Archaeology, consideration must be given to the preparation of guidelines, documents and recommendations that even following the general guidelines established by the London Charter, take into account the specific nature of Virtual Archaeology.

The principles discussed below aim to increase the conditions of applicability of the London Charter in order to improve its implementation specifically in the field of archaeological heritage, including industrial archaeological heritage, simplifying and organising its bases sequentially, while at the same time offering new recommendations taking into account the specific nature of archaeological heritage in relation to cultural heritage.

DEFINITIONS

Virtual archaeology: the scientific discipline that seeks to research and develop ways of using computer-based visualisation for the comprehensive management of archaeological heritage.

Archaeological heritage: the set of tangible assets, both movable and immovable, irrespective of whether they have been extracted or not and whether they are on the surface or underground, on land or in water, which together with their context, which will also be considered a part of archaeological heritage, serve as a historical source of knowledge on the history of humankind. The distinguishing feature of these elements, which were or have been abandoned by the cultures that produced them, is that they may be studied, recovered or located using archaeological methodology as the primary method of research, using mainly excavation and surveying or prospection techniques, without compromising the possibility of using other complementary methods for knowledge.

Comprehensive management: this includes inventories, surveys, excavation work, documentation, research, maintenance, conservation, preservation, restoration, interpretation, presentation, access and public use of the material remains of the past.

Virtual restoration: this involves using a virtual model to reorder available material remains in order to visually recreate something that existed in the past. Thus, virtual restoration includes virtual anastylosis.

Virtual anastylosis: this involves restructuring existing but dismembered parts in a virtual model.

Virtual reconstruction: this involves using a virtual model to visually recover a building or object made by humans at a given moment in the past from available physical evidence of these buildings or objects, scientifically-reasonable comparative inferences and in general all studies carried out by archaeologists and other experts in relation to archaeological and historical science.

Virtual recreation: this involves using a virtual model to visually recover an archaeological site at a given moment in the past, including material culture (movable and immovable heritage), environment, landscape, customs, and general cultural significance.

OBJECTIVES

Since the theoretical framework for the Seville Principles is the London Charter, this document would adopt all the objectives approved by the Advisory Board of the London Charter. These general objectives should be accompanied by some new objectives, namely:

- Generate easily understandable and applicable criteria for the whole community of experts, including indistinctly computer experts, archaeologists, architects, engineers, general managers or specialists in the field.
- Establish guidelines aimed at giving the public a greater understanding and better appreciation of the ongoing work of archaeology.
- Establish principles and criteria for measuring the quality of projects carried out in the field of virtual archaeology.
- Promote the responsible use of new technologies for the comprehensive management of archaeological heritage.
- Improve current archaeological heritage research, conservation and dissemination processes using new technologies.
- Open new doors for the application of digital methods and techniques in archaeological research, conservation and dissemination.
- Raise awareness of the international scientific community of the prevailing need to make concerted efforts worldwide in the growing field of virtual archaeology.

PRINCIPLES

Principle 1: Interdisciplinarity

Any project involving the use of new technologies, linked to computer-based visualisation in the field of archaeological heritage, whether for research, documentation, conservation or dissemination, must be supported by a team of professionals from different branches of knowledge.

1.1 Given the complex nature of computer-based visualisation of archaeological heritage, it can not be addressed only by a single type of expert but needs the cooperation of a large number of specialists (archaeologists, computer scientists, historians, architects, engineers etc.).

1.2 A truly interdisciplinary work involves the regular and fluid exchange of ideas and views among specialists from different fields. Work divided into watertight compartments can never be considered interdisciplinary even with the participation of experts from different disciplines.

1.3 Among the experts who must collaborate in this interdisciplinary model, it is essential to ensure the specific presence of archaeologists and historians, preferably those who are or were responsible for the scientific management of the excavation work or archaeological remains to be reconstructed.

Principle 2: Purpose

Prior to the development of any computer-based visualisation, the ultimate purpose or goal of our work must always be completely clear. Therefore, different levels of detail, resolutions and accuracies might be required.

2.1 Any proposed computer-based visualisation will always aim to improve aspects related to the research, conservation or dissemination of archaeological heritage. The overall aim of the project must

be encompassed within one of these categories (research, conservation and/or dissemination). The category concerning dissemination includes both educational projects, whether formal or informal education, and recreational projects (cultural tourism)

2.2 In addition to clarifying the main purpose of computer-based visualisation, more specific objectives must always be defined in order to obtain more precise knowledge of the problem or problems to be resolved.

2.3 Computer-based visualisation must be always at the service of archaeological heritage rather than archaeological heritage being at the service of computer-based visualisation. The main objective of applying new technologies in the comprehensive management of archaeological heritage must be to satisfy the real needs of archaeologists, curators, restorers, museographers, managers and/or other professionals in the field of heritage and not viceversa.

2.4 Ultimately, the main purpose of virtual archaeology will always be to serve society as a whole and contribute to increase the human knowledge.

Principle 3: Complementarity

The application of computer-based visualisation for the comprehensive management of archaeological heritage must be treated as a complementary and not alternative tool to other more traditional but equally effective management instruments.

3.1 Computer-based visualisation should not aspire to replace other methods and techniques employed for the comprehensive management of archaeological heritage (e.g. virtual restoration should not aspire to replace real restoration, just as virtual visits should not aspire to replace real visits).

3.2 Computer-based visualisation should seek forms of collaboration with other methods and techniques of a different nature to help improve current archaeological heritage research, conservation and dissemination processes. To do so, compliance with “Principle 1: Interdisciplinarity” will be fundamental.

3.3. Nevertheless, computer-based visualisations might be an alternative approach when original archaeological remains have been destroyed (e.g. due to the construction of large infrastructures), are placed in areas with difficult accessibility (e.g. without roads) or at risk of deterioration due to the huge influx of tourists (e.g. rock paintings).

Principle 4: Authenticity

Computer-based visualisation normally reconstructs or recreates historical buildings, artifacts and environments as we believe they were in the past. For that reason, it should always be possible to distinguish what is real, genuine or authentic from what is not. In this sense, authenticity must be a permanent operational concept in any virtual archaeology project.

4.1 Since archaeology is complex and not an exact and irrefutable science, it must be openly committed to making alternative virtual interpretations provided they afford the same scientific validity. When that equality does not exist, only the main hypothesis will be endorsed.

4.2 When performing virtual restorations or reconstructions, these must explicitly or through additional interpretations show the different levels of accuracy on which the restoration or reconstruction is based.

4.3 In so far as many archaeological remains have been and are being restored or reconstructed, computer-based visualisation should really help both professionals and public to differentiate clearly

among: remains that have been conserved “in situ”; remains that have been returned to their original position (real anastylosis); areas that have been partially or completely rebuilt on the original remains; and finally, areas that have been virtually restored or reconstructed.

Principle 5: Historical rigour

To achieve optimum levels of historical rigour and veracity, any form of computer-based visualisation of the past must be supported by solid research, and historical and archaeological documentation.

5.1 The historical rigour of any computer-based visualisation of the past will depend on both the rigour with which prior archaeological research has been performed and the rigour with which that information is used to create the virtual model.

5.2 All historical phases recorded during archaeological research are extremely valuable. Thus, a rigorous approach would not be one that shows only the time of splendour of reconstructed or recreated archaeological remains but rather one that shows all the phases, including periods of decline. Nor should it display an idyllic image of the past with seemingly newlyconstructed buildings, people who look like models, etc., but rather a real image, i.e. with buildings in varying states of conservation, people of different sizes and weights, etc.

5.3 The environment, landscape or context associated with archaeological remains is as important as the ruin itself. Charcoal, paleobotanical, paleozoological and physical paleoanthropological research must serve as a basis for conducting rigorous virtual recreations of landscape and context. They cannot systematically show lifeless cities, lonely buildings or dead landscapes, because this is an historical falsehood.

5.4 Archaeological heritage recording is extremely important not only for archiving, documentation, analyses and dissemination but for management. New techniques such as photogrammetry or laser scanners can be used to increase the quality of the scientific documentation. In the way that better metric documentation of archaeological heritage is carried out higher will be the chance to monitor and obtain historically and valuable replicas.

Principle 6: Efficiency

The concept of efficiency applied to the field of virtual archaeology depends inexorably on achieving appropriate economic and technological sustainability. Using fewer resources to achieve steadily more and better results is the key to efficiency.

6.1 Any project that involves the use of computer-based visualisation in the field of archaeological heritage must pre-screen the economic and technological maintenance needs that will be generated once installed and operative.

6.2 Priority must be given to systems that may initially require high investments but long term profit, with minimum maintenance cost and high reliability, i.e. low-consumption resistant, easy to repair or modify systems will be preferred.

6.3 Whenever possible, draw on the results obtained by previous visualisation projects, avoiding duplicity, i.e. performing the same work twice.

Principle 7: Scientific transparency

All computer-based visualisation must be essentially transparent, i.e. testable by other researchers or professionals, since the validity, and therefore the scope, of the conclusions produced by such visualisation will depend largely on the ability of others to confirm or refute the results obtained.

7.1 It is clear that all computer-based visualisation involves a large amount of scientific research. Consequently, to achieve scientific and academic rigour in virtual archaeology projects it is essential to prepare documentary bases in which to gather and present transparently the entire work process: objectives, methodology, techniques, reasoning, origin and characteristics of the sources of research, results and conclusions.

7.2 Without prejudice to the creation of such databases it is essential to promote the publication of the results of virtual archaeological projects in journals, books, reports and editorial media, both scientific and popular science, for information, review and consultation of the international scientific community and society in general.

7.3 The incorporation of metadata and paradata is crucial to ensure scientific transparency of any virtual archaeology project. Paradata and metadata should be clear, concise and easily available. In addition, it should provide as much information as possible. The scientific community should contribute with international standardization of metadata and paradata.

7.4 In any case, and in general, the registration and organisation of all documentation relating to virtual archaeological projects will be based on the "Principles for the recording of monuments, groups of buildings and sites" ratified by the 11th ICOMOS General Assembly in 1996.

7.5 In the interests of scientific transparency, it is necessary to create a large globally-accessible database with projects that offer optimum levels of quality (Art 8.4), without undermining the creation of national or regional databases of this type.

Principle 8: Training and evaluation

Virtual archaeology is a scientific discipline related to the comprehensive management of archaeological heritage that has its own specific language and techniques. Like any other academic discipline, it requires specific training and evaluation programmes.

8.1 High-level postgraduate training programmes must be promoted to strengthen training and specialisation of a sufficient number of qualified professionals in this field.

8.2 When computer-based visualisations are designed as instruments for edutainment and knowledge of the general public, the most appropriate method of evaluation will be visitors' studies.

8.3 When computer-based visualisations are intended to serve as an instrument for archaeological research and conservation, the most appropriate archaeological evaluation method will be testing by a representative number of end users, i.e. professionals.

8.4 The final quality of any computer-based visualisation must be evaluated based on the rigour of the measures and not the spectacularity of its results. Compliance with all the principles will determine whether the end result of a computer-based visualisation can be considered or not "top quality".

Příloha č. 3 – Principles for the recording of monuments, groups of building and sites

(dne 23/02/19 zkopírováno z: <https://www.icomos.org/charters/archives-e.pdf>)

PRINCIPLES FOR THE RECORDING OF MONUMENTS, GROUPS OF BUILDINGS AND SITES (1996)

Ratified by the 11th ICOMOS General Assembly in Sofia, October 1996.

As the cultural heritage is a unique expression of human achievement; and

As this cultural heritage is continuously at risk; and

As recording is one of the principal ways available to give meaning, understanding, definition and recognition of the values of the cultural heritage; and

As the responsibility for conserving and maintaining the cultural heritage rests not only with the owners but also with conservation specialists and the professionals, managers, politicians and administrators working at all levels of government, and with the public; and

As article 16 of the Charter of Venice requires, it is essential that responsible organisations and individuals record the nature of the cultural heritage.

The purpose of this document is therefore to set out the principal reasons, responsibilities, planning measures, contents, management and sharing considerations for the recording of the cultural heritage.

DEFINITIONS OF WORDS USED IN THIS DOCUMENT:

Cultural Heritage refers to monuments, groups of buildings and sites of heritage value, constituting the historic or built environment.

Recording is the capture of information which describes the physical configuration, condition and use of monuments, groups of buildings and sites, at points in time, and it is an essential part of the conservation process.

Records of monuments, groups of buildings and sites may include tangible as well as

intangible evidence, and constitute a part of the documentation that can contribute to an understanding of the heritage and its related values.

THE REASONS FOR RECORDING

1. The recording of the cultural heritage is essential:

- a) To acquire knowledge in order to advance the understanding of cultural heritage, its values and its evolution;
- b) To promote the interest and involvement of the people in the preservation of the heritage through the dissemination of recorded information;
- c) To permit informed management and control of construction works and of all change to the cultural heritage;
- d) To ensure that the maintenance and conservation of the heritage is sensitive to its physical form, its materials, construction, and its historical and cultural significance.

2. Recording should be undertaken to an appropriate level of detail in order to:

- a) Provide information for the process of identification, understanding, interpretation and presentation of the heritage, and to promote the involvement of the public;
- b) Provide a permanent record of all monuments, groups of buildings and sites that are to be destroyed or altered in any way, or where at risk from natural events or human activities;
- c) Provide information for administrators and planners at national, regional or local levels to make sensitive planning and development control policies and decisions;
- d) Provide information upon which appropriate and sustainable use may be identified, and the effective research, management, maintenance programmes and construction works may be planned.

3. Recording of the cultural heritage should be seen as a priority, and should be undertaken especially:

- a) When compiling a national, regional, or local inventory;
- b) As a fully integrated part of research and conservation activity;
- c) Before, during and after any works of repair, alteration, or other intervention, and when evidence of its history is revealed during such works;
- d) When total or partial demolition, destruction, abandonment or relocation is contemplated, or where the heritage is at risk of damage from human or natural external forces;
- e) During or following accidental or unforeseen disturbance which damages the cultural heritage;
- f) When change of use or responsibility for management or control occurs.

RESPONSIBILITY FOR RECORDING

1. The commitment at the national level to conserve the heritage requires an equal commitment towards the recording process.

2. The complexity of the recording and interpretation processes requires the deployment of individuals with adequate skill, knowledge and awareness for the associated tasks. It may be necessary to initiate training programmes to achieve this.

3. Typically the recording process may involve skilled individuals working in collaboration, such as specialist heritage recorders, surveyors, conservators, architects, engineers, researchers, architectural historians, archaeologists above and below ground, and other specialist advisors.

4. All managers of cultural heritage are responsible for ensuring the adequate recording, quality and updating of the records.

PLANNING FOR RECORDING

1. Before new records are prepared, existing sources of information should be found and examined for their adequacy.

a) The type of records containing such information should be searched for in surveys, drawings, photographs, published and unpublished accounts and descriptions, and related documents pertaining to the origins and history of the building, group of buildings or site. It is important to search out recent as well as old records;

b) Existing records should be searched for in locations such as national and local public archives, in professional, institutional or private archives, inventories and collections, in libraries or museums;

c) Records should be searched for through consultation with individuals and organisations who have owned, occupied, recorded, constructed, conserved, or carried out research into or who have knowledge of the building, group of buildings or site.

2. Arising out of the analysis above, selection of the appropriate scope, level and methods of recording requires that:

a) The methods of recording and type of documentation produced should be appropriate to the nature of the heritage, the purposes of the record, the cultural context, and the funding or other resources available. Limitations of such resources may require a phased approach to recording. Such methods might include written descriptions and analyses, photographs (aerial or terrestrial), rectified photography, photogrammetry, geophysical survey, maps, measured plans, drawings and sketches, replicas or other traditional and modern technologies;

b) Recording methodologies should, wherever possible, use non-intrusive techniques, and should not cause damage to the object being recorded;

c) The rationale for the intended scope and the recording method should be clearly stated;

d) The materials used for compiling the finished record must be archivally stable.

CONTENT OF RECORDS

1. Any record should be identified by:

a) The name of the building, group of buildings or

b) A unique reference number;

c) The date of compilation of the record;

d) The name of the recording organisation;

e) Cross-references to related building records and reports, photographic, graphic, textual or bibliographic documentation, archaeological and environmental records.

2. The location and extent of the monument, group of buildings or site must be given accurately - this may be achieved by description, maps, plans or aerial photographs. In rural areas a map reference or triangulation to known points may be the only methods available. In urban areas an address or street reference may be sufficient.

3. New records should note the sources of all information not obtained directly from the monument, group of buildings or site itself.

4. Records should include some or all of the following information:

a) The type, form and dimensions of the building, monument or site;

b) The interior and exterior characteristics, as appropriate, of the monument, group of buildings or site;

c) The nature, quality, cultural, artistic and scientific significance of the heritage and its components and the cultural, artistic and scientific significance of:

- the materials, constituent parts and construction, decoration, ornament or inscriptions

- services, fittings and machinery,

- ancillary structures, the gardens, landscape and the cultural, topographical and natural features of the site;

d) The traditional and modern technology and skills used in construction and

maintenance;

- e) Evidence to establish the date of origin, authorship, ownership, the original design, extent, use and decoration;
- f) Evidence to establish the subsequent history of its uses, associated events, structural or decorative alterations, and the impact of human or natural external forces;
- g) The history of management, maintenance and repairs;
- h) Representative elements or samples of construction or site materials;
- i) An assessment of the current condition of the heritage;
- j) An assessment of the visual and functional relationship between the heritage and its setting;
- k) An assessment of the conflicts and risks from human or natural causes, and from environmental pollution or adjacent land uses.

5. In considering the different reasons for recording (see Section 1.2 above) different levels of detail will be required. All the above information, even if briefly stated, provides important data for local planning and building control and management. Information in greater detail is generally required for the site or building owner's, manager's or user's purposes for conservation, maintenance and use.

MANAGEMENT, DISSEMINATION AND SHARING OF RECORDS

1. The original records should be preserved in a safe archive, and the archive's environment must ensure permanence of the information and freedom from decay to recognised international standards.
2. A complete back-up copy of such records should be stored in a separate safe location.
3. Copies of such records should be accessible to the statutory authorities, to concerned professionals and to the public, where appropriate, for the purposes of research, development controls and other administrative and legal processes.
4. Up-dated records should be readily available, if possible on the site, for the purposes of research on the heritage, management, maintenance and disaster relief.
5. The format of the records should be standardised, and records should be indexed wherever possible to facilitate the exchange and retrieval of information at a local, national or international level.
6. The effective assembly, management and distribution of recorded information requires, wherever possible, the understanding and the appropriate use of up-to-date information technology.
7. The location of the records should be made public.
8. A report of the main results of any recording should be disseminated and published, when appropriate.

Příloha č. 4 – The Icomos Charter

(dne 23/02/19 zkopírováno z: https://www.icomos.org/charters/interpretation_e.pdf)

**THE ICOMOS CHARTER
FOR THE INTERPRETATION AND PRESENTATION
OF CULTURAL HERITAGE SITES**

**Prepared under the Auspices of the
ICOMOS International Scientific Committee on
Interpretation and Presentation of Cultural Heritage Sites**

**Ratified by the 16th General Assembly of ICOMOS,
Québec (Canada), on 4 October 2008**

PREAMBLE

Since its establishment in 1965 as a worldwide organisation of heritage professionals dedicated to the study, documentation, and protection of cultural heritage sites, ICOMOS has striven to promote the conservation ethic in all its activities and to help enhance public appreciation of humanity's material heritage in all its forms and diversity.

As noted in the Charter of Venice (1964) "It is essential that the principles guiding the preservation and restoration of ancient buildings should be agreed and be laid down on an international basis, with each country being responsible for applying the plan within the framework of its own culture and traditions." Subsequent ICOMOS charters have taken up that mission, establishing professional guidelines for specific conservation challenges and encouraging effective communication about the importance of heritage conservation in every region of the world.

These earlier ICOMOS charters stress the importance of public communication as an essential part of the larger conservation process (variously describing it as “dissemination,” “popularization,” “presentation,” and “interpretation”). They implicitly acknowledge that every act of heritage conservation—within all the world’s cultural traditions - is by its nature a communicative act.

From the vast range of surviving material remains and intangible values of past communities and civilisations, the choice of what to preserve, how to preserve it, and how it is to be presented to the public are all elements of site interpretation. They represent every generation’s vision of what is significant, what is important, and why material remains from the past should be passed on to generations yet to come.

The need for a clear rationale, standardised terminology, and accepted professional principles for Interpretation and Presentation is evident. In recent years, the dramatic expansion of interpretive activities at many cultural heritage sites and the introduction of elaborate interpretive technologies and new economic strategies for the marketing and management of cultural heritage sites have created new complexities and aroused basic questions that are central to the goals of both conservation and the public appreciation of cultural heritage sites throughout the world:

- What are the accepted and acceptable goals for the Interpretation and Presentation of cultural heritage sites?
- What principles should help determine which technical means and methods are appropriate in particular cultural and heritage contexts?
- What general ethical and professional considerations should help shape Interpretation and Presentation in light of its wide variety of specific forms and techniques?

The purpose of this Charter is therefore to define the basic principles of Interpretation and Presentation as essential components of heritage conservation efforts and as a means of enhancing public appreciation and understanding of cultural heritage sites.

DEFINITIONS

For the purposes of the present Charter,

Interpretation refers to the full range of potential activities intended to heighten public awareness and enhance understanding of cultural heritage site. These can include print and electronic publications, public lectures, on-site and directly related off-site installations, educational programmes, community activities, and ongoing research, training, and evaluation of the interpretation process itself.

Presentation more specifically denotes the carefully planned communication of interpretive content through the arrangement of interpretive information, physical access, and interpretive infrastructure at a cultural heritage site. It can be conveyed through a variety of technical means, including, yet not requiring, such elements as informational panels, museum-type displays, formalized walking tours, lectures and guided tours, and multimedia applications and websites.

Interpretive infrastructure refers to physical installations, facilities, and areas at, or connected with a cultural heritage site that may be specifically utilised for the purposes of interpretation and presentation including those supporting interpretation via new and existing technologies.

Site interpreters refers to staff or volunteers at a cultural heritage site who are permanently or temporarily engaged in the public communication of information relating to the values and significance of the site.

Cultural Heritage Site refers to a place, locality, natural landscape, settlement area, architectural complex, archaeological site, or standing structure that is recognized and often legally protected as a place of historical and cultural significance.

OBJECTIVES

In recognizing that interpretation and presentation are part of the overall process of cultural heritage conservation and management, this Charter seeks to establish seven cardinal principles, upon which Interpretation and Presentation—in whatever form or medium is deemed appropriate in specific circumstances—should be based.

Principle 1: Access and Understanding

Principle 2: Information Sources

Principle 3: Attention to Setting and Context

Principle 4: Preservation of Authenticity

Principle 5: Planning for Sustainability

Principle 6: Concern for Inclusiveness

Principle 7: Importance of Research, Training, and Evaluation

Following from these seven principles, the objectives of this Charter are to:

1. **Facilitate understanding and appreciation** of cultural heritage sites and foster public awareness and engagement in the need for their protection and conservation.
2. **Communicate the meaning** of cultural heritage sites to a range of audiences through careful, documented recognition of significance, through accepted scientific and scholarly methods as well as from living cultural traditions.
3. **Safeguard the tangible and intangible values** of cultural heritage sites in their natural and cultural settings and social contexts.
4. **Respect the authenticity** of cultural heritage sites, by communicating the significance of their historic fabric and cultural values and protecting them from the adverse impact of intrusive interpretive infrastructure, visitor pressure, inaccurate or inappropriate interpretation.
5. **Contribute to the sustainable conservation** of cultural heritage sites, through promoting public understanding of, and participation in, ongoing conservation efforts, ensuring long-term maintenance of the interpretive infrastructure and regular review of its interpretive contents.
6. **Encourage inclusiveness** in the interpretation of cultural heritage sites, by facilitating the involvement of stakeholders and associated communities in the development and implementation of interpretive programmes.

7. Develop technical and professional guidelines for heritage interpretation and presentation, including technologies, research, and training. Such guidelines must be appropriate and sustainable in their social contexts.

PRINCIPLES

Principle 1:

Access and Understanding

Interpretation and presentation programmes should facilitate physical and intellectual access by the public to cultural heritage sites.

1. Effective interpretation and presentation should enhance personal experience, increase public respect and understanding, and communicate the importance of the conservation of cultural heritage sites.
2. Interpretation and presentation should encourage individuals and communities to reflect on their own perceptions of a site and assist them in establishing a meaningful connection to it. The aim should be to stimulate further interest, learning, experience, and exploration.
3. Interpretation and presentation programmes should identify and assess their audiences demographically and culturally. Every effort should be made to communicate the site's values and significance to its varied audiences.
4. The diversity of language among visitors and associated communities connected with a heritage site should be taken into account in the interpretive infrastructure.
5. Interpretation and presentation activities should also be physically accessible to the public, in all its variety.
6. In cases where physical access to a cultural heritage site is restricted due to conservation concerns, cultural sensitivities, adaptive re-use, or safety issues, interpretation and presentation should be provided off-site.

Principle 2:

Information Sources

Interpretation and presentation should be based on evidence gathered through accepted scientific and scholarly methods as well as from living cultural traditions.

1. Interpretation should show the range of oral and written information, material remains, traditions, and meanings attributed to a site. The sources of this information should be documented, archived, and made accessible to the public.

2. Interpretation should be based on a well researched, multidisciplinary study of the site and its surroundings. It should also acknowledge that meaningful interpretation necessarily includes reflection on alternative historical hypotheses, local traditions, and stories.

3. At cultural heritage sites where traditional storytelling or memories of historical participants provide an important source of information about the significance of the site, interpretive programmes should incorporate these oral testimonies—either indirectly, through the facilities of the interpretive infrastructure, or directly, through the active participation of members of associated communities as on-site interpreters.

4. Visual reconstructions, whether by artists, architects, or computer modelers, should be based upon detailed and systematic analysis of environmental, archaeological, architectural, and historical data, including analysis of written, oral and iconographic sources, and photography. The information sources on which such visual renderings are based should be clearly documented and alternative reconstructions based on the same evidence, when available, should be provided for comparison.

5. Interpretation and presentation programmes and activities should also be documented and archived for future reference and reflection.

**Principle 3:
Context and Setting**

The Interpretation and Presentation of cultural heritage sites should relate to their wider social, cultural, historical, and natural contexts and settings.

1. Interpretation should explore the significance of a site in its multi-faceted historical, political, spiritual, and artistic contexts. It should consider all aspects of the site's cultural, social, and environmental significance and values.

2. The public interpretation of a cultural heritage site should clearly distinguish and date the successive phases and influences in its evolution. The contributions of all periods to the significance of a site should be respected.

3. Interpretation should also take into account all groups that have contributed to the historical and cultural significance of the site.

4. The surrounding landscape, natural environment, and geographical setting are integral parts of a site's historical and cultural significance, and, as such, should be considered in its interpretation.

5. Intangible elements of a site's heritage such as cultural and spiritual traditions, stories, music, dance, theater, literature, visual arts, local customs and culinary heritage should be considered in its interpretation.

6. The cross-cultural significance of heritage sites, as well as the range of perspectives about them based on scholarly research, ancient records, and living traditions, should be considered in the formulation of interpretive programmes.

**Principle 4:
Authenticity**

The Interpretation and presentation of cultural heritage sites must respect the basic tenets of authenticity in the spirit of the Nara Document (1994).

1. Authenticity is a concern relevant to human communities as well as material remains. The design of a heritage interpretation programme should respect the traditional social functions of the site and the cultural practices and dignity of local residents and associated communities.
2. Interpretation and presentation should contribute to the conservation of the authenticity of a cultural heritage site by communicating its significance without adversely impacting its cultural values or irreversibly altering its fabric.
3. All visible interpretive infrastructures (such as kiosks, walking paths, and information panels) must be sensitive to the character, setting and the cultural and natural significance of the site, while remaining easily identifiable.
4. On-site concerts, dramatic performances, and other interpretive programmes must be carefully planned to protect the significance and physical surroundings of the site and minimise disturbance to the local residents.

**Principle 5:
Sustainability**

The interpretation plan for a cultural heritage site must be sensitive to its natural and cultural environment, with social, financial, and environmental sustainability among its central goals.

1. The development and implementation of interpretation and presentation programmes should be an integral part of the overall planning, budgeting, and management process of cultural heritage sites.
2. The potential effect of interpretive infrastructure and visitor numbers on the cultural value, physical characteristics, integrity, and natural environment of the site must be fully considered in heritage impact assessment studies.
3. Interpretation and presentation should serve a wide range of conservation, educational and cultural objectives. The success of an interpretive programme should not be evaluated solely on the basis of visitor attendance figures or revenue.
4. Interpretation and presentation should be an integral part of the conservation process, enhancing the public's awareness of specific conservation problems encountered at the site and explaining the efforts being taken to protect the site's physical integrity and authenticity.
5. Any technical or technological elements selected to become a permanent part of a site's interpretive infrastructure should be designed and constructed in a manner that will ensure effective and regular maintenance.
6. Interpretive programmes should aim to provide equitable and sustainable economic, social, and cultural benefits to all stakeholders through education, training and employment opportunities in site interpretation programmes.

**Principle 6:
Inclusiveness**

The Interpretation and Presentation of cultural heritage sites must be the result of meaningful collaboration between heritage professionals, host and associated communities, and other stakeholders.

1. The multidisciplinary expertise of scholars, community members, conservation experts, governmental authorities, site managers and interpreters, tourism operators, and other professionals should be integrated in the formulation of interpretation and presentation programmes.
2. The traditional rights, responsibilities, and interests of property owners and host and associated communities should be noted and respected in the planning of site interpretation and presentation programmes.
3. Plans for expansion or revision of interpretation and presentation programmes should be open for public comment and involvement. It is the right and responsibility of all to make their opinions and perspectives known.
4. Because the question of intellectual property and traditional cultural rights is especially relevant to the interpretation process and its expression in various communication media (such as on-site multimedia presentations, digital media, and printed materials), legal ownership and right to use images, texts, and other interpretive materials should be discussed, clarified, and agreed in the planning process.

**Principle 7:
Research, Training, and Evaluation**

Continuing research, training, and evaluation are essential components of the interpretation of a cultural heritage site.

1. The interpretation of a cultural heritage site should not be considered to be completed with the completion of a specific interpretive infrastructure. Continuing research and consultation are important to furthering the understanding and appreciation of a site's significance. Regular review should be an integral element in every heritage interpretation programme.
2. The interpretive programme and infrastructure should be designed and constructed in a way that facilitates ongoing content revision and/or expansion.
3. Interpretation and presentation programmes and their physical impact on a site should be continuously monitored and evaluated, and periodic changes made on the basis of both scientific and scholarly analysis and public feedback. Visitors and members of associated communities as well as heritage professionals should be involved in this evaluation process.
4. Every interpretation programme should be considered as an educational resource for people of all ages. Its design should take into account its possible uses in school curricula, informal and lifelong learning programmes, communications and information media, special activities, events, and seasonal volunteer involvement.
5. The training of qualified professionals in the specialised fields of heritage interpretation and presentation, such as content creation, management, technology, guiding, and education, is a crucial objective. In addition, basic academic conservation programmes should include a component on interpretation and presentation in their courses of study.
6. On-site training programmes and courses should be developed with the objective of updating and informing heritage and interpretation staff of all levels and associated and host communities of recent developments and innovations in the field.
7. International cooperation and sharing of experience are essential to developing and maintaining standards in interpretation methods and technologies. To that end, international conferences, workshops

and exchanges of professional staff as well as national and regional meetings should be encouraged. These will provide an opportunity for the regular sharing of information about the diversity of interpretive approaches and experiences in various regions and cultures.