

Univerzita Karlova

Filozofická fakulta

Ústav pro archeologii

Teze 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.

1. ÚVOD

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 zaměřila na hledání nových metod a východisek pro tvorbu a vizuální prezentaci 3D počítačových rekonstrukčních modelů.

2. VIZUALIZACE JAKO KOMUNIKACE

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. Oproti slovnímu nebo textovému sdělení je navíc 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).

3. SPECIFIKA TROJROZMĚRNÝCH DIGITÁLNÍCH VIZUALIZACÍ V ARCHEOLOGII

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 směrodatné. 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.

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 jsou tedy 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 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).

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. 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).

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. 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).

4. TROJROZMĚRNÉ MODELOVÁNÍ V ARCHEOLOGII

Ačkoliv London Charter jasně vyžaduje, 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. V českém prostředí 3D počítačových rekonstrukcí nebyly otázky vědecké transparentnosti a zobrazování nejistoty v datech doposud pojednány, v rekonstrukčních modelech prezentovaných v disertační práci 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 čtyři 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. 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 a vytvořit metodiku jak kvantifikovat nejistotu počítačové rekonstrukce.

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

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. 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 a v dizertační práci jsou demonstrovány příklady využití tohoto typu dat na konkrétních příkladech.

Vizuální komunikace výstupů ze 3D počítačových rekonstrukcí

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. Vizuální výstupy ze 3D rekonstrukčních modelů musejí být doplněny dalším 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 a vědeckého poslání. Toho lze docílit vytvořením propracovaného grafického konceptu se zřetelnou vizuální hierarchií a scénářem sdělování potřebných informací. Výstup ze 3D počítačové rekonstrukce je tak 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 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.

Popularizační výstupy

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. Pokud se nerozhodneme pro řešení grafického kódování dalších informací přímo do výsledné vizualizace, zmíněné v předcházejícím textu, je řešením 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. 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).

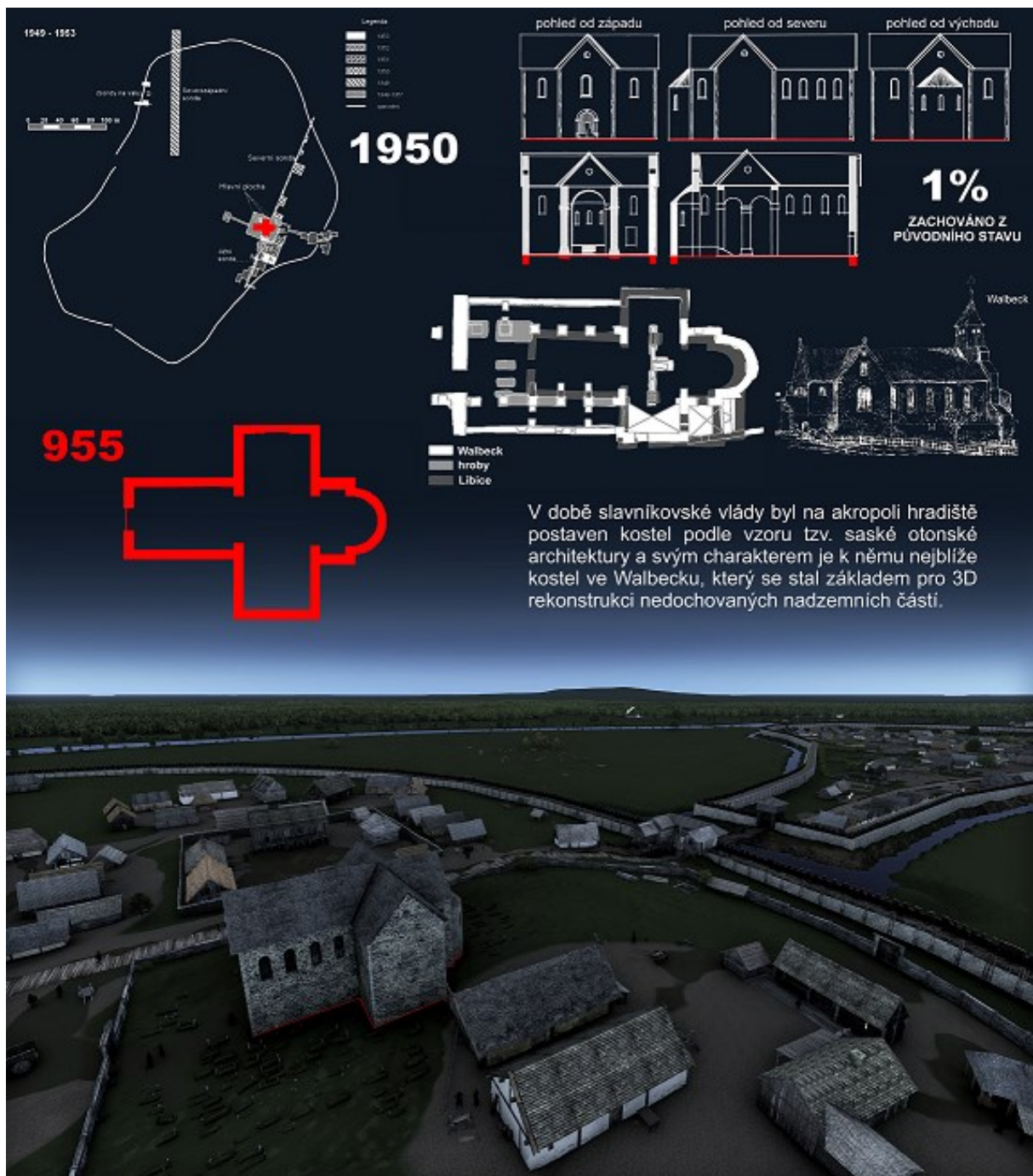
Výraznou roli může mít použití NPR technik i u odborné veřejnosti, neboť umělecké ztvárnění výstupů ze 3D rekonstrukčních modelů svým charakterem zahrnujícím kombinaci

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.

3D rekonstrukční model jako nástroj pro analýzu

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. 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 možnost opakované simulace fyzikálních zákonů a nomických vlastností.

Vizualizace je 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. 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).



Příklad komplexní vizualizace počítačové rekonstrukce kostela na akropoli v Libici nad Cidlinou.

Seznam literatury:

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.

Barceló, J. A. 2001. Virtual reality for archaeological explanation. Beyond “picturesque” reconstruction. *Archeologia e Calcolatori* 12: 221-244.

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.

Eiteljorg, H. 1998. Photorealistic visualizations may be too good. *CSA Newsletter* 11 (2) (Online: <http://papers.cumincad.org/data/works/att/819d.content.pdf>)

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

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.

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.

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.

Olivito, R., and E. Taccola, 2014. 3D Modelling in the Agora of Segesta: Techniques and data interpretation. *Archeologia e Calcolatori* 25: 175-188.

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., and S. Rahtz (eds). 1992. *Archaeology and the Information Age: A Global Perspective*. London and New York: Routledge.

Ryan, M.L. 2015: *Narativ jako virtuální realita. Imerze a interaktivita v literaturě a elektronických médiích*. Praha: Academia.

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.

Schäfer, U. U. 2018. Uncertainty Visualization and Digital 3D Modeling in Archaeology. A Brief Introduction. *International Journal for Digital Art History* 3: 87 – 105.

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.

Sims, D. 1997. Archaeological Models: Pretty Pictures or Research Tools?. *IEEE Computer Graphics* 17 (1): 13-15.

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)

Tondl, L. 1996. *Poznámky k sémiotice grafické komunikace*. Praha: Filosofia.

Wittur, J. 2013. *Computer-Generated 3D-Visualisations in Archaeology: Between added value and deception*. (BAR International Series 2463). Oxford: Archeopress.

Seznam prací J. Ungera k tématu disertační práce:

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.

Unger, J. 2015. 3D virtuální rekonstrukce nezapsané minulosti. *Minulost, kterou nikdo nezapsal*, Květina, P. a kol. Praha. 555 – 559.

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.