

3D skenování lidových staveb – metodika a využití při dokumentaci usedlostí čp. 2 v Trstěnici a čp. 97 v Čisté

Jiří Kmošek

Klíčová slova: Čistá, Trstěnice 3D skenování, laserový skener, optický skener, mračno bodů, digitální model

Detailní tvarová informace o prostorových objektech je obvykle získávána pomocí 3D skenovacích technologií. První technologie tohoto typu byly testovány v 60. letech 20. století, v 80. letech 20. století pak byly vyvinuty první 3D skenery pro praktické využití. 3D skenování zažívá významný rozvoj zejména v posledních dvaceti letech, kdy se výrazně rozšiřuje nabídka skenovacích zařízení a s tím i spektrum možností skenování. V současné době jsou nejčastěji používané systémy pro 3D skenování založeny na principu projekce bodové nebo lineárně uspořádaného laserového paprsku a strukturovaných světelných paprsků na povrch skenovaného objektu.

V oblasti ochrany kulturního dědictví je metoda 3D skenování poměrně rozšířená a klade si za cíl v první řadě tvorbu kvalitní dokumentace památek ve 3D nebo 2D rozhraní. Převážná většina realizovaných projektů ale končí u archivace objemných a nákladně zhotovených digitálních modelů. Přesto lze konstatovat, že se pro

získaná data nabízí, zejména v případě silně poškozených nebo konstrukčně komplikovaných památek, množství dalších aplikací.¹

Cílem 3D skenování roubeného domu čp. 2 v Trstěnici u Litomyšle a roubené polygonální stodoly a roubeného domu čp. 97 v Čisté u Litomyšle bylo zpracování detailních trojrozměrných modelů staveb a jejich částí, které vytvořily výchozí bod pro další formy zpracování podrobné dokumentace objektů. Praktické možnosti aplikace dat se rozvinuly v řadě oblastí, které si vyžádal havarijný stav objektů. V případě polygonální stodoly v Čisté šlo zejména o detailní zachycení prostorových vztahů konstrukcí objektu, které jsou v úplnosti obtížně získatelné a zachytitelné jinými metodami a nabývají na důležitosti v souvislosti s uskutečněnou demontáží a transferem objektu na nové místo.² Stejný záměr byl realizován i v případě roubeného domu z Čisté, kde se 3D skenování soustředilo na dokumentaci drobných stavebních prvků (okenní zárubně, portál dveří) a reliktu topeniště,



1. Skenování ostění dveří ručním laserovým skenerem Exa Scan™, 2015, foto J. Kmošek. Door jambs scanned by manual laser scanner Exa Scan™. Abtasten der Türstoc-kes mit dem handgeführten Scanner Exa Scan™.



2. 3D model dřevěné okenní zárubně tvořený polygonovou sítí, 2015, vypracoval J. Kmošek. 3D model of the window frame in the form of a traverse net. 3D-Modell des gezimmerten Fensterstockes, bestehend aus einem Polygonnetz.

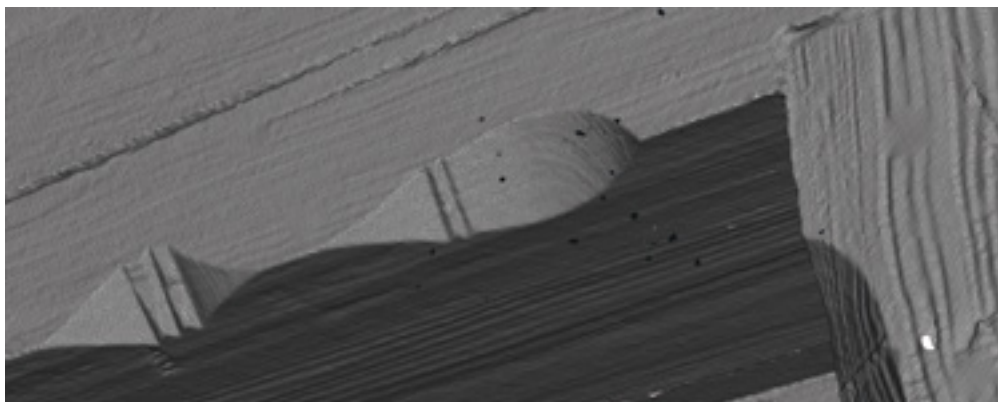


3. 3D model roubeného ostění dveří tvořený polygonovou sítí, 2015, vypracoval J. Kmošek. 3D model of the timbered door jambs in the form of a traverse net. 3D-Modell des gezimmerten Türstockes, bestehend aus einem Polygonnetz.



4. 3D model roubeného ostění dveří tvořený polygonovou sítí, 2015, vypracoval J. Kmošek. 3D model of the timbered door jambs in the form of a traverse net. 3D-Modell des gezimmerten Türstockes, bestehend aus einem Polygonnetz.

5. Detail polygonové sítě modelu okenní zárubně, 2015, vypracoval J. Kmošek. Detail of the traverse net of the window frame model. Detail des Polygonnetzes vom Modell des Fensterstockes.



ale se zaměřením na větší podrobnost dokumentace. U roubeného domu v Trstěnici bylo 3D skenování součástí nadstandardní dokumentace bezprostředně ohrožené stavby. Ta zachytila zanikající stavební situace a zároveň by měla vyústit v tvorbu editovatelného 3D modelu, prezentujícího jednotlivé etapy stavebního vývoje objektu sahající až do 16. století.

Systémy získávání 3D datových souborů

Prostorová informace ve vysokém rozlišení je nejčastěji získávána prostřednictvím 3D skenerů, pracujících na principu projekce bodových nebo lineárně uspořádaných laserových paprsků (laserové skenery) a strukturovaných světelných paprsků (optické skenery), promítaných na povrch dokumentovaného objektu.³

a) Optické 3D skenery

Optické 3D skenery pracují na bázi projekce sítě strukturovaného světla na objekt a zaznamenávají deformaci takto promítané sítě. Světlená síť je promítána na objekt prostřednictvím LCD projektoru nebo

jiných stabilních světelných zdrojů. Tvar promítané a deformované sítě je snímán kamerou, která se nachází v blízkosti zdroje strukturovaného světla a vypočítává vzdálenost každého bodu v zorném poli skeneru. Výhodou skenerů využívajících strukturované světlo je jejich značná rychlost a přesnost skenování. Oproti skenování jednoho bodu v určitém čase mohou tyto skenery snímat současně několik různých bodů nebo celou skenovanou oblast. Skenování celé oblasti zorného pole najednou v krátkém časovém intervalu eliminuje chyby vzniklé pohybem nebo deformacemi objektu.⁴

b) Laserové 3D skenery

Laserové 3D skenování vytváří 3D modely z mračna bodů nasnímaných na povrchu dokumentovaných objektů. Laserový paprsek je reflektován od objektu a zaznamenáván senzorem, který informaci zpracovává do bodů tvořících mapu povrchu objektu. V případě laserového skenování barevné textury laser navíc zaznamenává u každého bodu informaci o vlnových délkách červeného, zeleného a modrého světla, jejichž měřením získáme hodnotu ve škále RGB společně s XYZ





6, 7, 8. Prostorový virtuální model reliktu topeniště v roubeném domě v Čistě s barevnou texturou na povrchu, 2015, vypracoval J. Kmošek. Three-dimensional virtual model of the remains of the fireplace in the timbered house in Čistá with a colour texture on the surface. Virtuelles Raummodell von den Resten der Herdstelle im Blockhaus in Čistá mit einer farbigen Textur der Oberfläche.

souřadnicemi a intenzitou odraženého signálu.⁵ V dnešní době jsou nejčastěji používané systémy laserového skenování založeny na principu měření doby šíření pulzu (time-of-flight), dále na principu fázových posunů a na principu triangulace (triangulation). Pracovní rozsah triangulační metody je značně omezen (přibližně 0,1–1 m), ale vyniká oproti jiným metodám vysokou přesností, dosahující běžně kolem 50 μm . Fixní vzdálenost mezi laserovým zdrojem a senzorem zároveň omezuje velikost skenovaných objektů a hodí se přednostně pro skenování menších těles.⁶ Skenování založené na principu měření doby šíření pulzu je známo zároveň pod pojmem LiDaR (Light Direction and Ranging). Jedním z druhů lidarů jsou pozemní skenery s dosahem až 300 m. Tato metoda pracuje na principu vysílání laserového pulzu směrem k dokumentovanému objektu a generování mračna bodů na základě kalkulace časové prodlevy, při které se laserový paprsek odrazí zpět k detektoru skeneru. Tato metoda není omezena použitím fixní vzdálenosti mezi zdrojem laserového paprsku a senzorem. Skenery pracující na tomto principu jsou z tohoto důvodu mnohem mobilnější a vynikají výrazně větším dosahem senzorů (přibližně 0,5–270 m), čímž

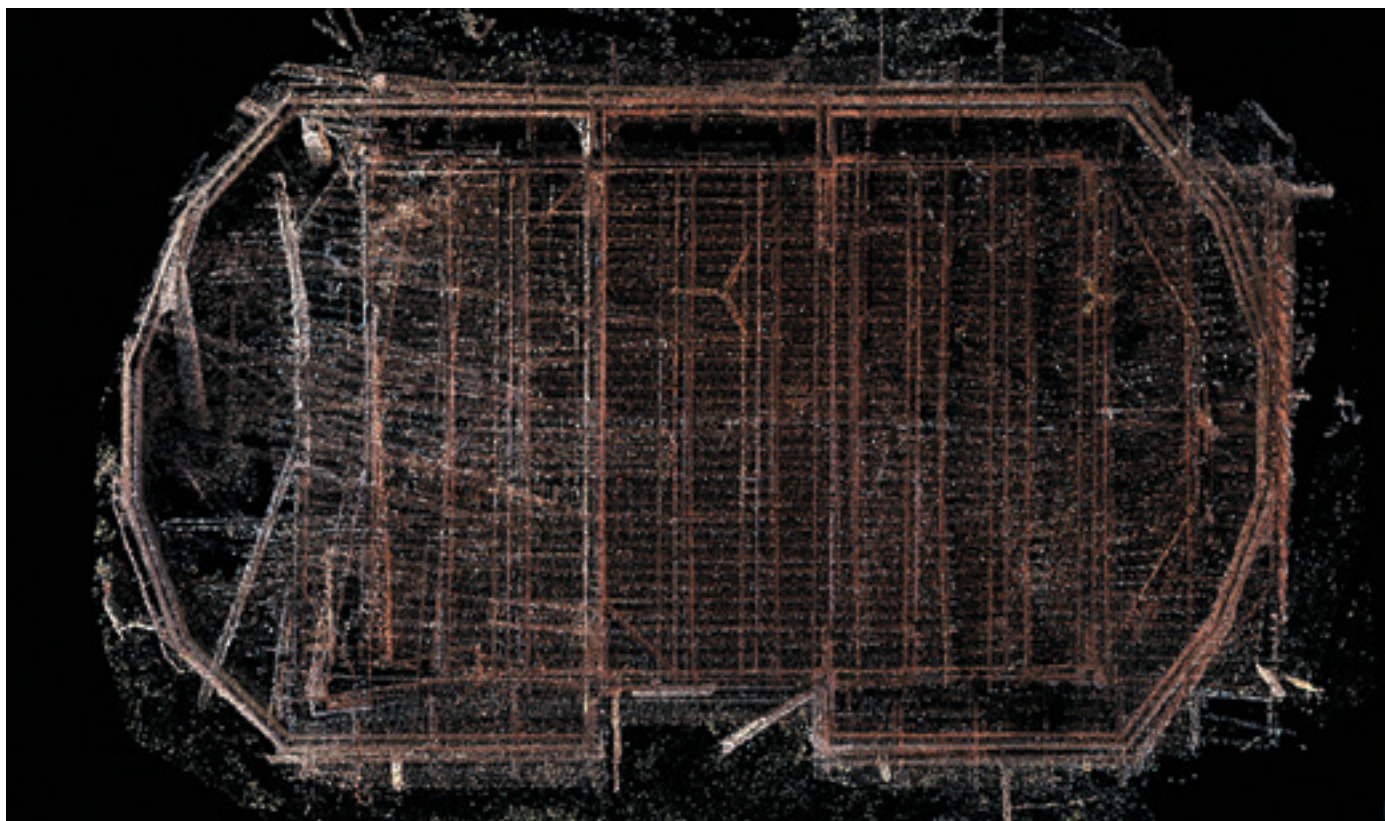
umožňují skenování větších objektů i celých lokalit. Skenování založené na principu měření doby šíření pulzu může být provozováno ve dne i v noci, ale je rušeno intenzivním slunečním svitem. Nicméně je tato metoda méně přesná než metoda triangulace, dosahuje přesnosti přibližně 3–6 mm.⁷

Zpracování 3D datových souborů

Informace získaná 3D skenovacími systémy je obvykle ve formě mračna bodů nebo polygonové sítě. Většina 3D skenovacích systémů však nevytváří finální kompletní 3D model, ale spíše obsáhlý soubor surových dat, které je nutné následně zpracovat. Mezi základní metody zpracování 3D datových souborů patří proces registrace skenů (Range Maps Alignment) neboli spojení jednotlivých skenů z různých stanovišť do jednoho lokálního kartézského souřadného systému. Další důležitou operací je vzájemné sloučení skenů (Range Maps Merge or Reconstruction), kterým jsou redukovány nadbytečné částečně se překrývající skeny z různých stanovisek, vzniklé jejich registrací. Po sloučení 3D modelu by měla následovat operace triangulace mračna bodů

9. Prostorový model polygonální stodoly v Čisté, obarvené průhledné mračno bodů, 2015, vypracoval J. Kmošek. Three-dimensional virtual model of the polygonal barn in Čistá, coloured transparent point cloud. Raummodell der polygonalen Scheune in Čistá, farbig gefasste durchsichtige Punktwolke.





10. Prostorový model polygonální stodoly v Čistě, obarvené mračno bodů, 2015, vypracoval J. Kmošek. Three-dimensional virtual model of the polygonal barn in Čistá, coloured transparent point cloud. Raummodell der polygonalen Scheune in Čistá, farbig gefasste Punktwolke.

do pravidelné polygonální sítě, která umožňuje větší variabilitu navazujících editačních úkonů. Postupy související s editací polygonální sítě (Mesh Editing) spočívají zejména ve zlepšování kvality rekonstruované sítě a zahrnují operace, jako čištění nepotřebných dat, ukotvení nevyvzorkovaných oblastí, vyplňování děr atd. Po dokončení editačních úprav mohou následovat operace spojené s nanášením barevných informací na povrch modelu (Color Mapping). Závěrečnou operací je export dat do vhodného formátu, prováděný za účelem pokročilejšího zpracování nebo prezentace prostorového modelu.⁸ Zpracování naskenovaných datových souborů zabere ve většině případů několikanásobně více času než samotné skenování a vyžaduje kvalitní technické vybavení a dostatek zkušeností s těmito aplikacemi.

Použití 3D modelů

Zapojení 3D technologií do oblasti kulturního dědictví lze dnes vnímat jako aktuální trend, jehož cílem je pořizování kvalitních prostorových modelů z velkého množství historických objektů, které však vznikají bez pokročilejší vize praktického využití takto vytvořené dokumentace. Skenovací technologie jsou finančně a časově náročné operace, které by měly být směřovány

k přesně definovaným cílům a s jasnou vizí jejich aplikace, neboť ta do velké míry ovlivňuje parametry použitých technologií a postupů. K dispozici je velká škála možností, kterými by se mohlo 3D skenování v oblasti kulturního dědictví ubírat.

Skenování objektů kulturního dědictví ve většině případů směřuje do oblasti archivace vysoce přesných informací o zaznamenávaných objektech. Ty mohou být zdrojem prostorových informací jinými metodami jinak obtížně zachytitelných, které jsou nezbytné při tvorbě kvalitní 2D dokumentace. Shromážděná data je možné dále využít například při sledování a vyhodnocování degradačních procesů konkrétních umělecko-historických objektů v průběhu času. Správně vytvořené prostorové modely jsou s odstupem času zdrojem nedocenitelných informací o zaniklých situacích a mohou posloužit zároveň jako kvalitní podklad pro zhodnocení rekonstrukčních a restaurátorských zásahů.

Důležitou aplikací je i oblast počítačem podporovaného restaurování a rekonstrukce fragmentárních nebo demontovaných objektů. Virtuální 3D modely jsou často využívaným rozhraním pro simulaci nejrůznějších rekonstrukčních zásahů na objektech kulturního dědictví. Na poli popularizace jsou 3D modely nejčastěji používány v souvislosti virtuálními prezentacemi

a katalogy. U kvalitních modelů stavebních objektů nebo celých areálů je možné vytvářet i virtuální prohlídky nebo jiné formy zpřístupnění informací široké veřejnosti.

Metodika 3D dokumentace a zpracování dat

Získávání 3D dat vybraných historických stavebních objektů a jejich detailů v Čisté a Trstěnici bylo provedeno třemi různými typy skenerů. Detailní technické parametry použitých zařízení jsou uvedeny na obrázku 11. Ke skenování drobných architektonických detailů (okenní zárubně, dveřní zárubně s výplní) roubeného domu v Čisté byl použit ruční laserový skener Exa Scantm od společnosti Creaform.⁹ Ruční skener Exa Scantm byl zvolen pro tento druh skenování, nevyžadující skenování barevné textury, zejména s ohledem na jeho vysoké rozlišení dosahující až 0,05 mm. Oba dokumentované prvky byly před samotným skenováním rovnoměrně pokryty referenčními body, které usnadnily registraci jednotlivých skenů. Snímání dat bylo prováděno prostřednictvím softwaru VxScan od společnosti Creaform a souběžně se skenováním byla data kontrolována v přenosném počítači. Příprava referenčních značek, získávání dat a základní zpracování obou vytvořených modelů zabralo přibližně 8 hodin práce. Ke skenování reliktu zděného topeniště v interiéru roubeného domu v Čisté byl použit ruční optický skener Artectm Eva.¹⁰ Součástí skenování tvarově komplikovaného objektu bylo i snímání barevné textury, umožněné vestavěnou kamerou. Získání dat



11 – Parametry 3D skenerů použitých při dokumentaci vybraných stavebních objektů. Parameters of the 3D scanners used for the documentation of the chosen buildings. Parameter der 3D-Scanner, welche beim Abtasten von ausgesuchten Bauwerken gebraucht wurden.

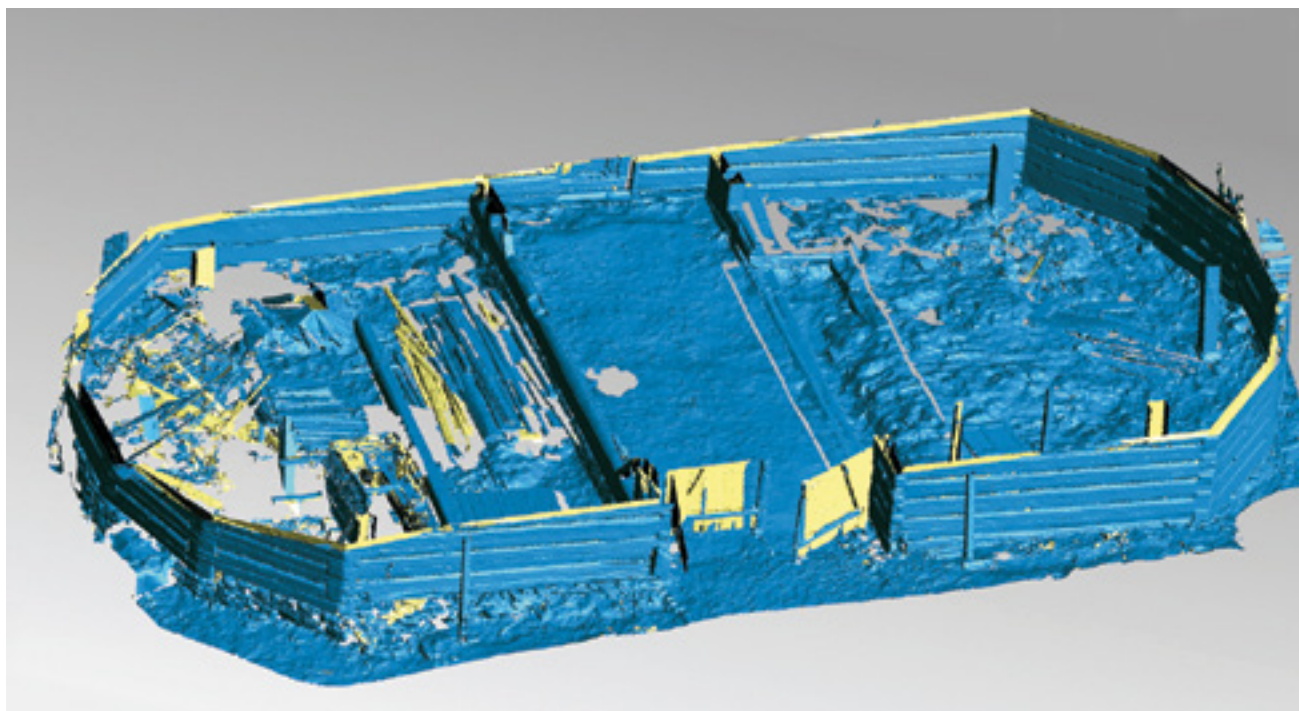
Parametry	Exa Scan tm	Artec tm Eva ⁹	Leica ScanStation P40 ¹¹
Výrobce	Creaform	Artec	Leica Geosystems
Snímání textury	ne	ano	ano
Rozlišení textury	-	1,3 mp	4 mp, 700 mp pro panoramatický snímač
Referenční body	ano	ne	ano
3D rozlišení	0,05 mm	0,5 mm	1,2 mm
3D přesnost	0,04 mm	0,1 mm	3 mm/50 m
Světelný zdroj	laser II. třídy	záblesková žárovka	laser I. třídy
Pracovní vzdálenost	0,2 - 0,5 m	0,4 - 1 m	0,4 - 270 m
Rychlost získávání dat	25 000 snímků/s	2 000 000 bodů/s	1 000 000 bodů/s
Výstupní formáty	DAE, FBX, MA, OBJ, PLY, STL, TXT, WRL, X3D, X3DZ	OBJ, PLY, WRL, STL, AOP, ASCII, PTX, E57, XYZRGB	formáty podporované Leica Geosystems
Manipulace	ruční režim	ruční režim	statický režim, horizontálně 360°, vertikálně 270°
Přenos dat	USB 2.0	USB 2.0	Gigabit Ethernet, integrovaný Wireless LAN nebo USB 2.0
Rozměry zařízení	172 x 260 x 216 mm	262 x 158 x 64 mm	238 x 358 x 395 mm
Váha zařízení	1,25 kg	0,85 kg	12,25 kg + 0,4 kg baterie
Napájení	12 V	12 V	24 V integrovaná baterie (výdrž 5,5 h)
Pracovní teploty	5°C až 40°C	10°C až 35°C	-20°C až +50°C



12. Prostorový model interiéru polygonální stodoly v Čisté, obarvené mračno bodů, 2015, vypracoval J. Kmošek. Three-dimensional virtual model of the interior of the polygonal barn in Čistá, coloured transparent point cloud. Raummodell des Inneren von der polygonalen Scheune in Čistá.

a registrace mračna bodů byly provedeny v softwaru Artec Studio 10 a tyto pracovní operace zabraly přibližně 5 hodin. Technicky nejnáročnější bylo 3D skenování celých stavebních objektů, demonstrováné na polygonální stodole z Čisté a roubeném domu z Trstěnice.¹¹ Pro tuto operaci byl použit stacionární laserový skener ScanStation P40 od společnosti Leica Cyclone. Skenování bylo provedeno celkem z 27 stanišť v případě roubeného domu a z 16 stanišť v případě polygonální stodoly. Pozice jednotlivých stanišť byly voleny takovým způsobem, aby bylo možné vytvořit kompletní prostorový model exteriéru a interiéru objektů. Součástí tvorby prostorových modelů bylo i snímání barevné informace skenovaných povrchů. Příprava sítě referenčních bodů pro skenování a samotné skenování zabralo v případě polygonální stodoly 22 hodin, u roubeného domu 33 hodin. Výstupem ze skenování byla obarvená mračna bodů.

Následné základní zpracování dat ve formě mračna bodů, které zahrnovalo v některých případech operace spojené s registrací jednotlivých mračen bodů do jednoho celku a odstranění nežádoucích objektů, bylo provedeno v softwarech VxScan, Artec Studio 10 nebo Leica Geosystems. Pokročilé zpracování dat se soustředilo na operace jako převod mračna bodů do polygonální sítě a základní editaci modelů, zahrnující redukci množství polygonů, odstranění defektů, ořez atd. Pro tyto operace byl využit software Geomagic Wrap, Geomagic Design X a Microstation. Vektorizace řezů nebo pohledů z prostorových modelů byla prováděna v softwaru AutoCAD s nadstavbou Leica CloudWorx. Pomocí systémů od Leica Geosystems bylo možné nezávisle na pokročilém zpracování dat obarvená mračna bodů získaná skenováním téměř okamžitě prohlížet a proměřovat v prohlížečích softwarech Cyclone, TruView a ReCap od AutoDesku.



13. Prostorový model části obvodových konstrukcí polygonální stodoly v Čisté, polygonová síť, 2015, vypracovala I. Kociánová.
Three-dimensional virtual model of a part of the perimeter constructions of the polygonal barn in Čistá. Raummodell vom Teil der Umfassungskonstruktionen der polygonalen Scheune in Čistá, Polygonnetz.

Prohlížeč software Cyclone umožňuje neomezené posouvání a prohlížení mračna bodů v různých režimech zobrazení, např. průhledný, stínovaný a nebarevný režim, s možností tvorby základních řezů modelem. Software TruView slouží k prohlížení obarveného mračna bodů z pozic jednotlivých skenovacích stanovišť a umožňuje dále přibližování a oddalování obrazu a měření souřadnic, výšky terénu od pomyslné roviny a měření vzdáleností vybraných bodů. Výhodou této aplikace je možnost sdílet data prostřednictvím internetové sítě a možnost nahlížet je z různých míst.

Výsledky a diskuse

Prostorová dokumentace metodou 3D skenování byla uplatněna na celkem třech historických stavebních objektech: roubeném domě čp. 97 v Čisté, polygonální roubené stodole čp. 97 v Čisté a roubeném domě čp. 2 v Trstěnici. 3D skenování probíhalo souběžně s dalšími běžně používanými metodami 2D dokumentace,¹⁵ jako je stavební technická dokumentace a fotogrammetrie.¹⁶

a) 3D skenování drobných architektonických detailů

Metodou ručního laserového skenování (obr. 1) byl dokumentován portál vstupního otvoru v patře

roubeného domu (obr. 3, 4) a okenní zárubeň ve světnici roubeného domu v Čisté (obr. 2). Dokumentaci byly vytvořeny prostorové modely ve vysokém rozlišení, tvořené polygonovou sítí (obr. 5). Tyto modely byly pořizovány zejména s cílem podrobné dokumentace současného stavu konstrukčních prvků před jejich demontáží a transferem. Modely vzniklé 3D skenováním doplňují 3D model domu, který byl vytvořen v rámci fotogrammetrického průzkumu. Modely budou dále využity pro prezentační účely.

b) 3D skenování reliktu zděného topeniště

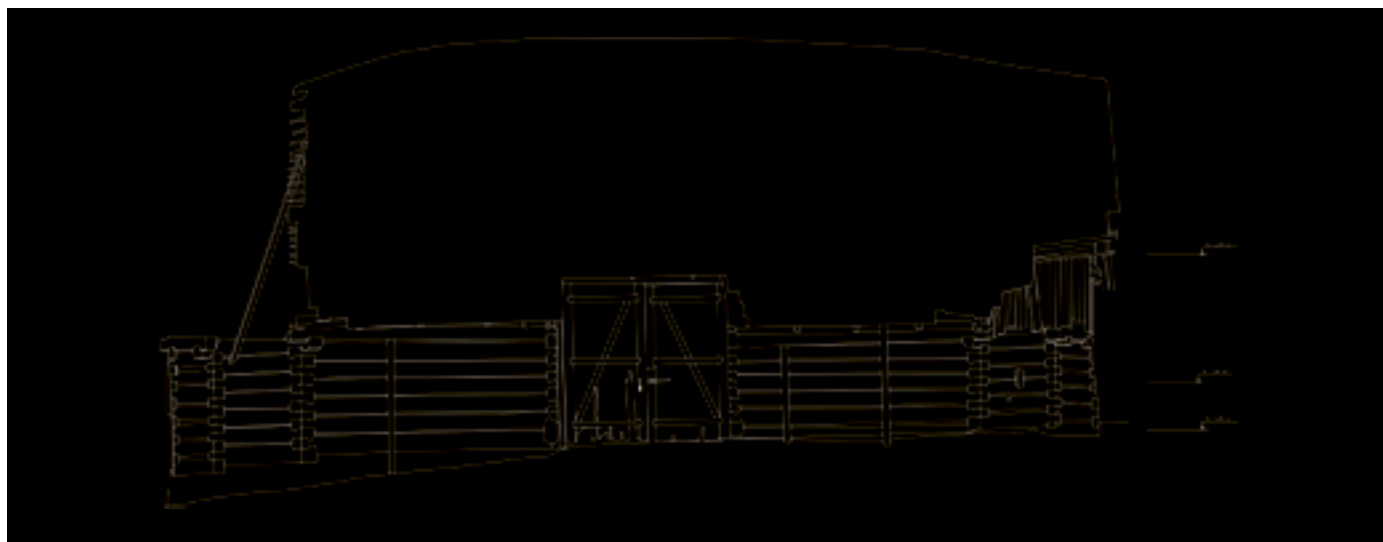
Skenováním reliktu otopného zařízení ve světnici, síni a části patra roubeného domu v Čisté ručním optickým skenerem byla vytvořena podrobná prostorová dokumentace, která zahrnuje zděné těleso černé kuchyně, pozůstatek pece, zděného dymníku a reliktu výmazu původního dřevohliněného dymníku (obr. 6, 7, 8). Prostorový model byl snímán společně s barevnou texturou povrchu, která umožňuje snadnější rozlišení jednotlivých použitých stavebních materiálů. Z tohoto typu modelu je dodatečně vytvářena 2D vektorová stavební dokumentace, která poslouží jako podklad při opětovné rekonstrukci otopného zařízení v transferovaném objektu na novém místě.

c) 3D skenování roubené polygonální stodoly

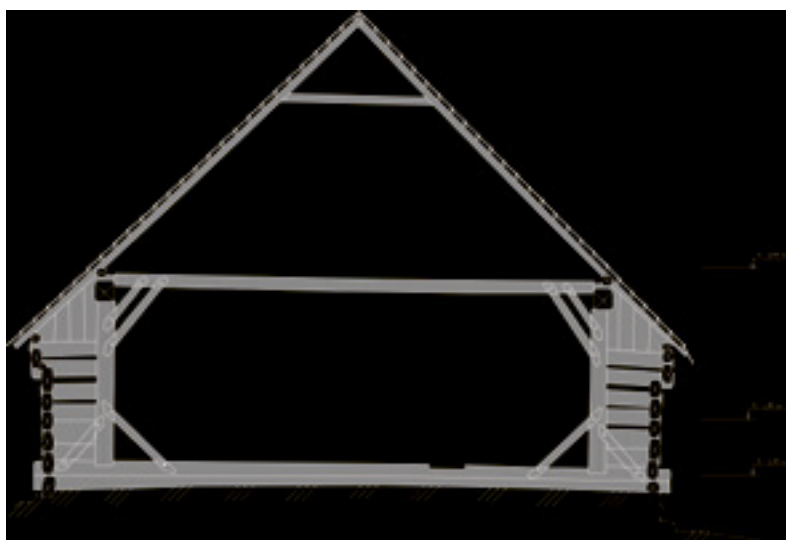
Dokumentací roubené polygonální stodoly, provedenou metodou laserového skenování pracující na principu měření doby šíření pulzu (obr. 22), byly získány velmi detailní prostorové informace o převážně většině stavebních konstrukcí objektu a okolního terénu (obr. 9, 10). V kombinaci s geodetickým zaměřením objektu a doplňkovou ruční kresebnou dokumentací posloužil 3D model pro vytvoření velmi detailní 2D vektorové dokumentace, která je nezbytná pro kvalitní rekonstrukci transferovaného objektu na novém místě. Jako užitečná se u demontované stavby ukázala i možnost dodatečného odečtu nejruznějších rozměrových parametrů, sledování konstrukčních řešení a prostorových vztahů těles (obr. 12). Řezy stavbou

(obr. 13), jejichž tvorba je další z aplikací prostorové dokumentace, byly využity při zpracování velmi podrobné a přesné technické stavební dokumentace. Podélný řez objektem (obr. 14) zachytil nejruznější deformace a jinak přesně nezaznamenané prostorové vztahy jednotlivých konstrukčních prvků. Na příčném řezu objektu (obr. 15) je možné odečítat deformace průběžných trámů objektu, přesný sklon střechy atd. V průběhu, ale i po dokončení rekonstrukčních prací na polygonální stodole bude model použit pro zhodnocení kvality provedeného zásahu a poslouží jako podrobný dokumentační zdroj jednotlivých historických stavebních úprav, které bude nutné při obnově stavby nahradit novými prvky nebo doplnit. Upravený virtuální model bude zároveň využit pro prezentační účely v rámci virtuálních prohlídek návštěvníků nově vznikajícího muzea.

14. Vektorová dokumentace polygonální stodoly v Čistě vytvořená z prostorového modelu, pohled od JZ, 2015, vypracovala I. Kociánová. Vector documentation of the polygonal barn in Čistá made on the basis of the three-dimensional virtual model, view from the SW. Vektorzeichnung der polygonalen Scheune in Čistá, entworfen aus dem Raummodell, Ansicht von Südwesten.



15. Vektorová dokumentace příčného řezu polygonální stodoly v Čistě vytvořená z prostorového modelu, 2015, vypracovala I. Kociánová. Vector documentation of the polygonal barn cross section in Čistá made on the basis of the three-dimensional virtual model. Vektorzeichnung des Längsschnitts durch die polygonale Scheune in Čistá, entworfen aus dem Raummodell.



d) 3D skenování roubeného domu

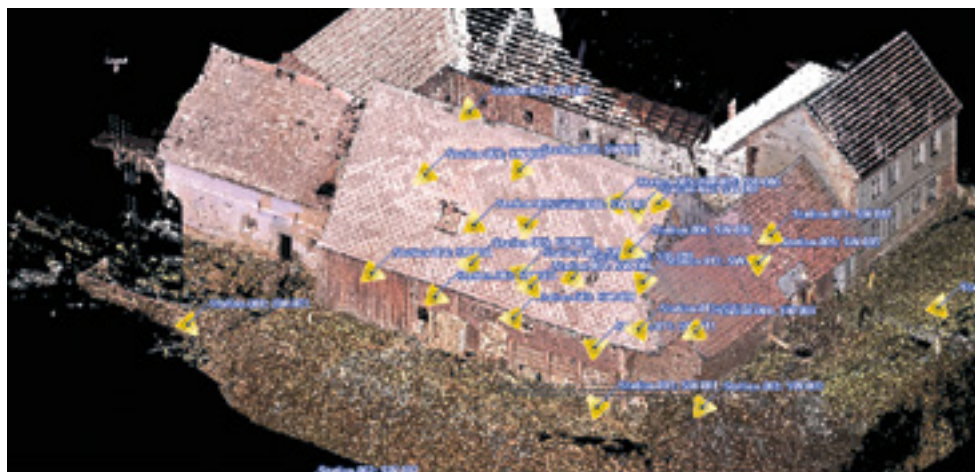
Laserovým 3D skenováním z velkého množství stanovišť (obr. 16) bylo možné vytvořit prostorový model roubeného domu v Trstěnici, zahrnující obtížně přístupná místa v přízemí objektu (světnice se zborceným povalovým stropem) až po konstrukce krovů v nejvyšších patrech objektu (obr. 19). Z modelu vzniklého takto detailním skenováním je možné stejně jako v případě modelu polygonální stodoly generovat řezy (obr. 18, 23), a z nich pak vektorizací vytvářet podrobnou stavební dokumentaci. Na příčném a podélném řezu roubeným domem (obr. 20, 21) jsou mimo jiné zachyceny tloušťky vrstev mazaniny na povalových stropech, které jsou velmi obtížně

dokumentovatelné standardním ručním měřením. Z vektorové dokumentace řezů roubeným domem jsou zároveň dobře čitelné celkové deformace objektu.

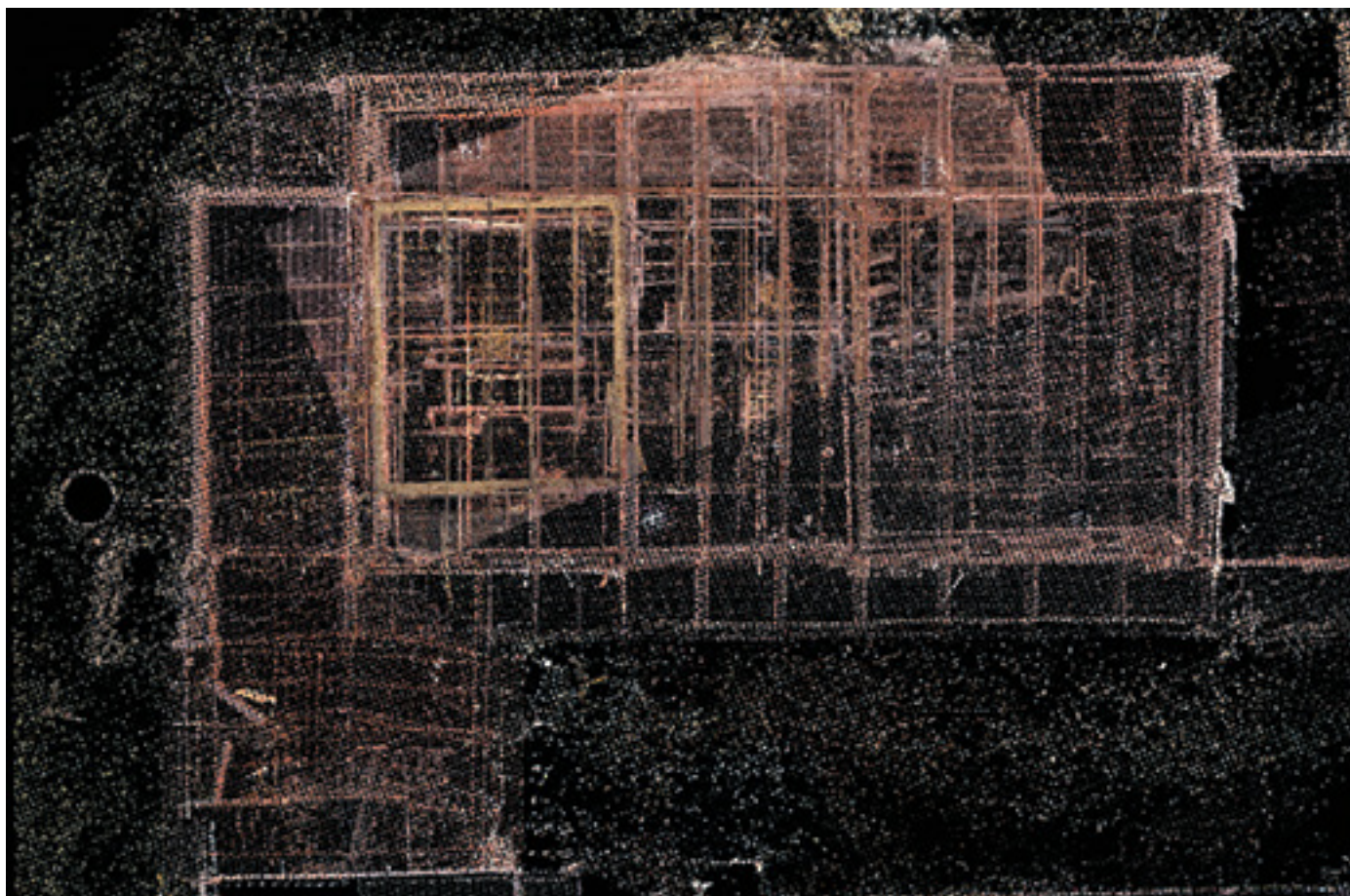
Vznik prostorového modelu stavby byl motivován především havarijním stavem hodnotného roubeného objektu, který bohužel nesměruje k obnově, ale k pokračující degradaci. Hlavním cílem tak bylo přesné zachycení aktuální podoby stavby, zajištění přesných dat o postupně mizejících stavebních situacích. Model vzniklý zpracováním mračna bodů do polygonové sítě bude následně, vzhledem k poměrně snadné editovatelnosti jednotlivých konstrukčních prvků, využit jako nástroj pro zanášení prostorových informací z výsledků stavebněhistorického, stavebnětechnického a dendrochronologického průzkumu.¹⁷



16. Prostorový model roubeného domu z Trstěnice, obarvené mračno bodů s vyznačenými stanovišti skenování, 2015, vypracoval J. Kmošek. Three-dimensional virtual model of the timbered house from Trstěnice, coloured transparent point cloud with highlighted scan stands. Raummodell vom Blockhaus aus Trstěnice, farbig gefasste Punktwolke mit eingezeichneten Orten der Aufnahmestellung.

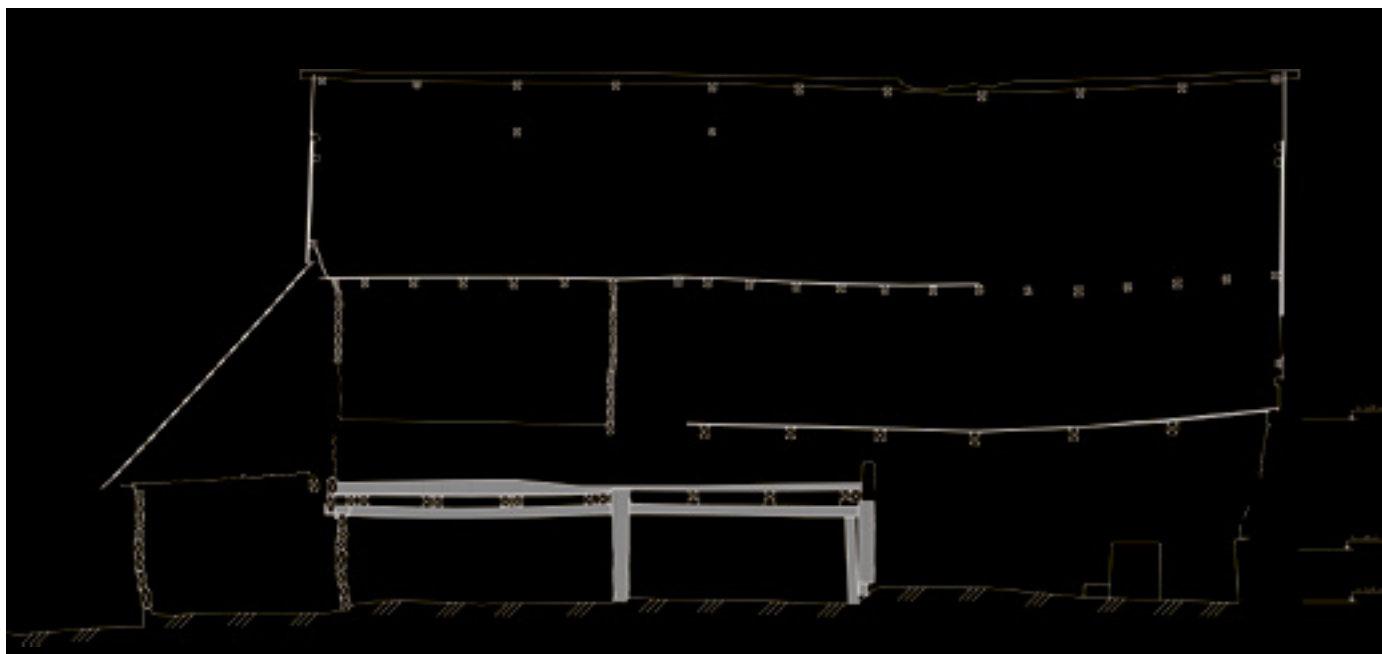


17. Prostorový model roubeného domu z Trstěnice, obarvené mračno bodů, 2015, vypracoval J. Kmošek. Three-dimensional virtual model of the timbered house from Trstěnice, coloured transparent point cloud. Raummodell vom Blockhaus aus Trstěnice, farbig gefasste Punktwolke.



18. Prostorový model roubeného domu z Trstěnice, obarvené průhledné mračno bodů, 2015, vypracoval J. Kmošek. Three-dimensional virtual model of the timbered house from Trstěnice, coloured transparent point cloud. Raummodell vom Blockhaus aus Trstěnice, farbig gefasste durchsichtige Punktwolke.





20. Vektorová dokumentace podélného řezu roubeným domem z Trstěnice vytvořená z prostorového modelu, 2015, vypracovala I. Kociánová.
 Vector documentation of a longitudinal section of the timbered house from Trstěnice created on the basis of the three-dimensional virtual model.
 Vektorzeichnung des Längsschnitts durch das Blockhaus aus Trstěnice, entworfen aus dem Raummodell.



21. Vektorová dokumentace příčného řezu roubeným domem z Trstěnice vytvořená z prostorového modelu, 2015, vypracovala I. Kociánová.
 Vectorial documentation of a longitudinal section of the timbered house from Trstěnice created on the basis of the three-dimensional virtual model.
 Vektorzeichnung des Längsschnitts durch das Blockhaus aus Trstěnice, entworfen aus dem Raummodell.

19. Prostorový model roubeného domu z Trstěnice, obarvené mračno bodů, 2015, vypracoval J. Kmošek.
 Three-dimensional virtual model of the timbered house from Trstěnice, coloured transparent point cloud.
 Raummodell vom Blockhaus aus Trstěnice, farbig gefasste Punktwolke.

Editovatelný model zároveň poslouží jako podklad pro vizualizaci stavebního vývoje objektu od konce 16. století až do současnosti.

Závěr

Metody 3D skenování patří v posledních letech bezesporu k důležitým trendům na poli památkové péče. Využívány jsou především v oblasti dokumentace objektů památkového zájmu, rozvíjí se ovšem i jejich využití ve sférách vlastní obnovy památek a restaurování. Potenciál nových technologií, spočívající nejen v tvorbě kvalitní dokumentace, ale i v možnostech širokého využití

dat pro následný výzkum, obnovu a prezentaci památek, je vyvážen poměrně vysokými finančními nároky souvisejícími s jejich pořízením. Ekonomická náročnost aplikace 3D technologií je tak dnes jejich největší limitou. Sledované roubené stavby z Čisté a Trstěnice poskytly prostor pro demonstraci možností využití dat získaných 3D skenováním v celém spektru aplikací. Potenciál technologií byl zhodnocen zejména v závislosti na stavu objektů, postupně zanikajících konstrukcích roubeného domu v Trstěnici a transferovaných stavbách v Čisté. V takovém kontextu nabývá tento typ dokumentace na důležitosti a stává se nedoceníitelným zdrojem informací.

22. Skenování polygonální stodoly v Čisté laserovým skenerem Leica Scan Station P40, 2015, foto J. Kmošek. Scanning of the polygonal barn in Čistá by laser scanner Leica Scan Station P40. Abtasten der polygonalen Scheune mit dem Laserscanner Leica Scan Station P40.





23. **Prostorový model přízemních místností roubeného domu z Trstěnice, obarvené mračno bodů, 2015, foto I. Kociánová.** Three-dimensional virtual model of the downstairs rooms of the timbered house from Trstěnice, coloured transparent point cloud. Raummodell der Räume im Erdgeschoss des Blockhauses aus Trstěnice, farbig gefasste Punktwolke.

Poznámky

- 1 DOLANSKÝ, Tomáš a ŠTRONEROVÁ, Jana. Prostorové metody pro stavební dokumentaci historických staveb. In: *Sborník příspěvků z konference Dějiny staveb 2013*, Plzeň: Klub Augusta Sedláčka – Sdružení pro SHP, 2013.
- 2 KMOŠEK, Jiří, KŘENKOVÁ, Zuzana, KMOŠEK, Vojtěch a ŘÍHOVÁ Vladislava. Záchrana a prezentace lidového kulturního dědictví Českomoravského pomezí. *Museum vivum*, 2014/2015, X, s. 140–149.
- 3 BARBER, D. M., ROSS, W. A. a MILLS, J. P. Laser scanning for architectural conservation. *Journal of Architectural Conservation*. 2006, 12 (1), s. 35–52.
- 4 CIGNONI, Paolo a SCOPIGNO, Roberto. Sampled 3D Models for CH Applications: A Viable and Enabling New Medium or Just a Technological Exercise? *Journal on Computing and Cultural Heritage*. 2008, Vol. 1 (1), s. 1–23.
- 5 HESS, M., ROBSON, S. 3D Colour Imaging for Cultural Heritage Artefacts. *International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*. 2010, XXXVIII, part 5, s. 288–292.
- 6 BRYAN, P. User Requirements for Metric Survey. In: MACDONALD, L. (ed.). *Digital Heritage: Applying Digital Imaging to Cultural Heritage*. 2006, s. 165.
- 7 JONES, D. M. (ed.). *3D Laser Scanning for Heritage: Advice and guidance to users on laser scanning in archaeology and architecture*. 2007, s. 7.
- 8 CIGNONI, Paolo a SCOPIGNO, Roberto. Sampled 3D Models for CH Applications: A Viable and Enabling New Medium or Just a Technological Exercise? *Journal on Computing and Cultural Heritage*. 2008, Vol. 1 (1), s. 1–23.
- 9 Skenování bylo zajištěno pracovníky Centra pro dokumentaci a digitalizaci kulturního dědictví při FF UJEP v Ústí nad Labem v rámci semináře *Průzkum a dokumentace památek lidové architektury*, uskutečněného v červenci roku 2015.
- 10 Skenování zajistila společnost Abbas, a. s., před demontáží objektu v srpnu roku 2015.
- 11 Skenování a zpracování dat do formy vektorové dokumentace zajistila společnost Gefos, a. s., v červenci roku 2015.
- 12 Technické parametry skeneru dostupné online [cit. 1. 10. 2015]. Dostupné z: http://www.amtekcompany.com/pdf/EXAscan_Brochure.pdf.
- 13 Technické parametry skeneru dostupné online [cit. 1. 10. 2015]. Dostupné z: <http://www.central-scanning.co.uk/pdf/Artec-Eva-3D-Scanner-Product-Specifications.pdf>.
- 14 Technické parametry skeneru dostupné online [cit. 1. 10. 2015]. Dostupné z: http://www.gefos-leica.cz/public/img/produkty_leica/cyrax/p30_p40/leica_scanstation_p30-p40_ds_832266_0315_en_plant_ships_lr.pdf.
- 15 Více informací o metodě a výsledcích stavebnětechnické dokumentace objektů v Čisté a Trstěnici v kapitole Jana Krauta a Vojtěcha Kmoška *Stavebnětechnická dokumentace lidových staveb – zaměření a dokumentace polygonální stodoly a roubeného domu usedlosti čp. 97 v Čisté a roubeného domu usedlosti čp. 2 v Trstěnici* v této publikaci.
- 16 Více informací o metodě a výsledcích fotogrammetrické dokumentace roubeného domu v Čisté v kapitole Zdeňka Poloprutského a Jindřicha Hodače, *Fotogrammetrická dokumentace lidových staveb – roubený dům čp. 97 v Čisté* v této publikaci.
- 17 Model roubeného domu ve formě obarveného mračna bodů je v současné době zpracováván odborníky z Katedry geomatiky Fakulty stavební ČVUT v Praze a společnosti GEFOS, a. s. do formy modelu tvořeného polygonovou sítí.

3D scanning of vernacular buildings – methodology and its use for buildings No. 97 in Čistá and No. 2 in Trstěnice

Jiří Kmošek, Association of Archaic Enthusiasts

Keywords: Čistá, Trstěnice, 3D scanning, laser scanner, optical scanner, point cloud, digital model

Detailed shape information about spatial objects is usually obtained using 3D scanning technologies. These technologies have been experiencing a great development especially in the last 20 years when the offer of scanning devices and the range of scanning options have significantly increased. The technologies are used mainly in the field of documentation of monuments, but their use is also developing in the spheres of renovation and restoration of monuments. The potential of new technologies lies not only in the creation of quality documentation but also in the possibility of using the data for subsequent investigation, restoration and presentation of the monuments. The benefits of the above-mentioned technologies come at the cost of rather high financial expenditures connected with their acquisition. The economic demands of 3D technology applications have become the greatest restraint nowadays.

The spatial documentation using the 3D scanning method has been applied to three historical buildings: the timbered house No. 97 in Čistá, the polygonal timbered barn No. 97 in Čistá and the timbered house No. 2 in Trstěnice. The monitored timbered buildings make it possible to demonstrate the ways of using data obtained from 3D scanning within a whole range of applications. The potential of the technologies has been utilised above all in the description of the state of the buildings and gradually disappearing constructions of the timbered house in Trstěnice and of the transferred buildings in Čistá. Within such a context, this type of documentation is gaining in importance and becoming a priceless source of information. 3D scanning was used simultaneously with other commonly used methods of 2D documentation, such as construction technical

documentation and photogrammetry. The acquisition of 3D data about the chosen historical buildings and their details has been done by three different types of scanners: manual laser scanner Exa Scan™ by Creaform, manual optical scanner Artec™ Eva and manual stationary laser scanner ScanStation P40 by Leica Geosystems.

The aim of 3D scanning of the timbered house in Trstěnice and of the timbered polygonal barn and the timbered house in Čistá was to create detailed 3D models of the buildings and their parts as a starting point for other forms of detailed documentations of the buildings. The data have been practically applied to a whole range of fields, necessitated by the disrepair of the buildings. In the case of the polygonal barn in Čistá, they included above all detailed capturing of the spatial relationships among the building's constructions, which are difficult to fully obtain and record by other methods and which became important in connection with the realized disassembling and transfer of the building to its new location. The same intention was realized also in the case of the timbered house from Čistá, where 3D scanning concentrated on the documentation of minor building elements (window frames, door portals) and on the remains of the fireplace with a focus on more detailed documentation. As for the timbered house in Trstěnice, 3D scanning was a part of above-standard documentation of an immediately endangered building. The documentation has captured disappearing building situations. Moreover, it is supposed to result in the creation of an editable 3D model presenting the individual phases of the building development dating back to the 16th century.

Das 3D-Scanning ländlicher Bauten – Methodik und ihre Durchführung bei den Objekten Čistá Hs.-Nr. 97 und Trstěnice Hs.-Nr. 2

Jiří Kmošek, Bund der Freunde des Archaischen

Schlüsselwörter: Čistá, Trstěnice, 3D-Scanning, Laserscanner, optischer Scanner, Punktwolke, digitales Modell

Eine detaillierte Forminformation über räumliche Objekte wird in der Regel mithilfe der 3D-Scanning-Technologien erfasst. Diese Technologien erlebten insbesondere seit den letzten zwanzig Jahren einen bedeutsamen Aufschwung, denn das Angebot von Scann-Geräten und dadurch auch das Möglichkeitsspektrum vom Scanning wurden beträchtlich erweitert. Diese Technologien werden hauptsächlich im Bereich der Erfassung von Gegenständen der Denkmalpflege genutzt, es entwickelt sich aber auch deren Gebrauch im Bereich der Erneuerung und Restaurierung von Bauwerken. Das Potential der neuen Technologien besteht aber nicht nur in der Herstellung von hochrangiger Dokumentation, sondern auch in der breiten Nutzung der gewonnenen Daten durch die anschließende Forschung, sowie während der Erneuerung und Präsentation der Denkmäler. Der Nutzen dieser Technologien wird jedoch durch einen relativ hohen Erwerbspreis erkauft. Es ist eben der ökonomische Aufwand, welcher den Gebrauch von 3D-Technologien heutzutage am meisten limitiert.

Die räumliche Erfassung mittels der Methode des 3D-Scannings wurde insgesamt an drei historischen Bauobjekten ausgeführt, es wurden folgende Objekte abgetastet: das Blockhaus Hs.-Nr. 97 in Čistá, die in Blockbauweise gezimmerte polygonale Scheune Hs.-Nr. 97 in Čistá und das Blockhaus Hs.-Nr. 2 in Trstěnice. Anhand dieser Bauten konnte vorgeführt werden, wie die durch das 3D-Scanning gewonnenen Daten durch ein breites Spektrum von Applikationen weiter genutzt werden können. Das Potential von diesen Technologien wurde vor allem hinsichtlich des Erhaltungszustandes der Objekte geschätzt, d. h. der allmählich eingehenden Konstruktionen des Blockhauses in Trstěnice und der translozierten Bauten vom Dorf Čistá. Denn in solch einem Kontext gewinnt dieser Dokumentationstyp an Wichtigkeit und wird zu einer unschätzbaren Informationsquelle. Das 3D-Scannen wurde parallel zu anderen geläufig gebrauchten Methoden der 2D-Dokumentation, wie bautechnische

Dokumentation und Fotogrammetrie, ausgeführt. Die ausgesuchten historischen Bauten und deren Details wurden mit drei unterschiedlichen Scanner-Typen erfasst: dem tragbaren Scanner Exa Scantm von der Firma Creaform, dem handgeführten optischen Scanner Arctectm Eva und dem stationären handgeführten Laserscanner ScanStation P40 vom Hersteller Leica Geosystems.

Die Erstellung von 3D-Aufnahmen des Blockbaus in Trstěnice und der gezimmerten polygonalen Scheune sowie des Blockhauses in Čistá hatte das Ziel, detailgenaue dreidimensionale Modelle von diesen Bauten sowie deren Bestandteilen zu entwerfen, welche den Ausgangspunkt für ein weiteres Ausarbeiten von einer ausführlichen Dokumentation dieser Objekte bildeten. Praktische Möglichkeiten, wie die Daten angewandt werden können, wurden in einer Anzahl von Bereichen entfaltet, welche der Noterhaltungszustand der Bauwerke erforderte. Im Falle der polygonalen Scheune in Čistá sollten insbesondere die räumlichen Beziehungen zwischen den Konstruktionen des Objektes detailgenau erfasst werden, weil diese in ihrer Ganzheit mittels anderen Methoden nur schwer zu bekommen und aufzunehmen sind. Diese werden in Zusammenhang mit dem erfolgten Abbau und Transferierung des Objekts an einen neuen Aufstellungsort wichtig. Dasselbe Ziel wurde auch im Falle des Blockhauses in Čistá verfolgt, wo sich das 3D-Scanning allerdings auf das Abtasten von kleineren Bauelementen konzentrierte (Fensterlaibung, Türeingang) und auf das Erfassen von Resten einer Herdstelle, wobei eine noch ausführlichere Dokumentation angestrebt wurde. Beim Blockhaus in Trstěnice wurde die 3D-Vermessung Bestandteil der außerordentlichen Dokumentation eines unmittelbar bedrohten Baus. Es wurden die bereits sich im Verschwinden befindenden Bausituationen dokumentiert und das Abtasten sollte in einem editierbaren 3D-Modell münden, welches einzelne Etappen der bis in das 16. Jahrhundert reichenden Bauentwicklung dieses Objekts veranschaulichen wird.